

## طراحی زنجیره تامین چند سطحی فازی همکارانه با در نظر گرفتن تخفیف و هزینه بازاریابی: رویکرد تئوری بازی‌ها

جواد بهنامیان\*، محمد مهدی بشر\*\*

تاریخ دریافت: ۹۶/۱/۲۶

تاریخ پذیرش: ۹۷/۳/۱۹

### چکیده

یکی از مهم‌ترین بحث‌های امروزه در مدیریت زنجیره تامین ایجاد همکاری در زنجیره تامین با وجود تضاد در اهداف و خواسته‌ها است که در آن اعضای درون سطوح با یکدیگر توافق نموده و به عنوان یک کل در بازی زنجیره تامین مشارکت داشته باشند. به منظور دستیابی به حداکثر سود ممکن در کل زنجیره تامین در شرایط همکاری، در اینجا با استفاده از مفهوم تئوری بازی‌ها و بر اساس قرارداد جانی مشارکت در سود و در نظر گرفتن هزینه بازاریابی بین تولیدکننده و خرده‌فروش، مدلی برای زنجیره تامین چند سطحی در شرایط همکاری طراحی شده است. در این تحقیق برای اولین بار مدل‌سازی ریاضی در محیط فازی با در نظر گرفتن تخفیف ارائه شده که برای نزدیک‌تر شدن به شرایط واقعی، در آن هزینه بازاریابی به صورت عدد فازی مثلثی در نظر گرفته شده است. در ادامه و با توجه به پیچیدگی مدل پیشنهادی، برای چند مثال تصادفی با استفاده از الگوریتم‌های فراابتکاری ژنتیک، انجماد تدریجی و ترکیبی ژنتیک - انجماد تدریجی حل شده و کارایی الگوریتم‌های پیشنهادی با یکدیگر مقایسه شده است. در ضمن اعتبار سنجی مدل با استفاده از نرم‌افزار گمز مورد بررسی قرار گرفته است.

**واژگان کلیدی:** زنجیره تامین، تئوری بازی، بازی همکارانه، الگوریتم فراابتکاری، هزینه بازاریابی

---

\* دانشیار گروه مهندسی صنایع دانشکده مهندسی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان؛ (نویسنده مسئول)

Behnamian@basu.ac.ir

\*\* کارشناسی ارشد گروه مهندسی صنایع دانشکده مهندسی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان

## مقدمه

از مشکلات زنجیره تامین می توان به نبود هماهنگی میان اعضای زنجیره اشاره کرد که این عدم هماهنگی به مرور زمان باعث کاهش سود کل زنجیره خواهد شد، به طوری که هر چه از پایین زنجیره به سمت بالا حرکت کنیم، تأثیر این عدم همکاری بیشتر نمود پیدا خواهد کرد. به طور مثال در مورد فروشگاه های زنجیره ای که به عنوان یکی از اصلی ترین اعضای زنجیره تامین شناخته می شوند و خود را موظف به تأمین هر چه بهتر نیازهای خریداران می دانند، مدیریت زنجیره تامین به عنوان یک عامل اصلی در موفقیت محسوب می شود و سهم بسزایی در افزایش سهم بازار خرده فروشی فروشگاه دارد. در صورت ایجاد یک نوسان در سفارشات فروشگاه، زمانی که از طرف خرده فروشان به سمت عمده فروشان و سپس تولید کنندگان و در نهایت به سمت تأمین کنندگان می رویم، این نوسانات بیشتر شده و باعث ایجاد اثر شلاقی در زنجیره شده و مشکلات بسیاری را بر سازمان تحمیل می کند، به همین منظور برای جلوگیری از این اتفاق بهتر است که بین اعضای زنجیره، هماهنگی و یکپارچگی صورت گرفته شود. از طرفی این هماهنگی در زنجیره زمانی بهبود یافته و موجب افزایش سود کلی زنجیره می شود که کلیه اعضای آن اقداماتی هماهنگ انجام داده و اعضا از عملکرد یکدیگر و اقداماتی که جهت بهبود توسط هر عضو اتخاذ می شود آگاهی داشته باشند. به عبارت دیگر، می توان برای هر یک از گزینه های فوق، ساختاری چند سطحی تجسم نمود. ضرورت توجه به سیستم های چند سطحی را می توان با نگرش به ضرورت و اهمیت هماهنگی در تصمیمات زنجیره تامین مشاهده نمود که در هر یک از مراحل زنجیره های تامین، صدها و هزاران تصمیم اتخاذ می شود که این تصمیمات، دامنه ای از تصمیمات جزئی تا کلان را شامل شده و هر چه اهمیت یک تصمیم بیشتر باشد، برنامه ریزی برای آن از اهمیت بیشتری برخوردار خواهد بود و در این هنگام ممکن است بین اهداف اجزا و سطوح مختلف در جهت رسیدن به اهداف کلی زنجیره تامین، تضاد و تناقضات بسیاری مشاهده شود که این اختلالات و تناقضات به مرور زمان، به کاهش قدرت و رقابت پذیری زنجیره تامین منجر خواهد شد. در نتیجه در یک زنجیره تامین، اتخاذ تصمیماتی هماهنگ و با در نظر گرفتن نیازمندی ها و ویژگی های مراحل مختلف

زنجیره، اهمیت بسیاری دارد. در جدول ۱ تاثیرات عدم همکاری در زنجیره تامین آورده شده است.

جدول ۱. آثار عدم همکاری بر زنجیره تامین (چوپرا و میندل، ۲۰۰۷)

معیارهای عملکردی	نحوه تأثیر
هزینه‌های تولید	افزایش
هزینه‌های موجودی	افزایش
زمان انتظار	افزایش
هزینه‌های حمل و نقل	افزایش
هزینه دریافت و ارسال	افزایش
سطح دسترسی به محصول	کاهش
سودآوری	کاهش

مدیران سازمان‌ها و شرکت‌های فعال در زنجیره تامین، پیش از عقد قراردادهای مشارکتی باید سوال‌های زیر را مد نظر داشته باشند: ۱- چگونه یک قرارداد می‌تواند با توجه به معیارهای اندازه‌گیری عملکرد بر عملکرد تامین‌کنندگان گذار خواهد بود؟ ۲- یک قرارداد در چه صورتی می‌تواند سود سازمان یا زنجیره تامین را تحت تأثیر قرار داده و منجر به بهبود آن شود؟ ۳- آیا انگیزه‌های مالی موجود در عقد قرارداد بر کیفیت و صحت اطلاعات اشاره شده بر قرارداد تأثیر گذار است؟ به عبارتی آیا سازمان‌ها با هدف بستن قرارداد، حاضر به تولید اطلاعات انحرافی و نادرست در پیشنهاد هستند؟

نظریه بازی‌ها حوزه‌ای از ریاضیات کاربردی است که در بستر علم اقتصاد توسعه یافته و به مطالعه رفتار استراتژیک بین عوامل عقلانی می‌پردازد. رفتار استراتژیک، زمانی بروز می‌کند که مطلوبیت هر عامل، نه فقط به استراتژی انتخاب شده توسط خود فرد، بلکه به استراتژی انتخاب شده توسط بازیگران دیگر، وابستگی داشته باشد. در دنیای متلاطم امروز، نظریه بازی به عنوان یک ابزار پیش‌بینی کننده برای ارائه دیدگاه، درباره چگونگی نقش آفرینی هر فرد در سمت سازمانی خود در محیط‌های متغیر و دیگر اطلاعات ارزشمند برای تصمیم‌گیری درآمده است. همان‌طور که می‌دانید پیروزی در هر بازی تنها تابع شانس نیست بلکه اصول و قوانین

ویژه خود را دارد. البته هر بازیکن سعی می‌کند طی بازی با دانسته‌ها و نادانسته‌ها و با به‌کارگیری اصولی، خود را به برد نزدیک کند و صدالبته در این میان کسی پیروز میدان خواهد بود که بیش از دیگران از این اصول بهره‌گیرد.

اهمیت و تأکید بر رقابت و همکاری در زنجیره‌های تأمین، باعث تجدید حیات نظریه بازی‌ها به‌عنوان یک ابزار مناسب برای تحلیل فعل‌وانفعالات در یک زنجیره‌ی تأمین گردیده است. به‌طوری‌که دو دهه‌ی اخیر گواه بر علاقه‌مندی مجدد دانشگاهیان و شاغلان در مدیریت زنجیره‌ی تأمین، بر تأکید بر روی فعل‌وانفعالات تصمیم‌گیرندگان (بازی‌کنندگان) در یک زنجیره‌ی تأمین، می‌باشد.

در یک زنجیره‌ی تأمین متمرکز، ممکن است تصمیم‌گیرنده‌ی مرکزی جهت افزایش قابلیت رقابتی زنجیره‌ی تأمین، فعالیت‌های اعضای زنجیره را هماهنگ کند. به‌عبارت‌دیگر یک تصمیم‌گیرنده، حل بهینه را تعیین می‌کند به‌طوری‌که عملکرد زنجیره‌ی تأمین را به‌طور کلی بهبود بخشد، بنابراین، به دلیل اینکه اعضای یک زنجیره‌ی تأمین متمرکز باهم رقابتی ندارند و تصمیماتشان را بر اساس تصمیمات تصمیم‌گیرنده‌ی مرکزی اتخاذ می‌کنند، نظریه بازی‌ها بکار گرفته نمی‌شود، اما ممکن است دو زنجیره‌ی تأمین متمرکز نیز باهم به رقابت پردازند، بنابراین، نظریه بازی‌ها در این نوع از مسائل زنجیره‌ی تأمین کاربرد دارد.

یکی از برجسته‌ترین و پرکاربردترین نقش‌های نظریه بازی‌ها در زنجیره تأمین، چگونگی تأثیر آن بر ایجاد همکاری و هماهنگی سطوح مختلف است که در زیر به آن‌ها اشاره شده است:

۱- برخی از قراردادهای ایجاد همکاری در زنجیره تأمین (با کمک نظریه بازی‌ها) به دنبال هماهنگی و همکاری با استفاده از تقسیم سود، تقسیم درآمد، مشارکت در سرمایه‌گذاری، مشارکت در سود، مشارکت یا تقسیم هزینه‌ها و یا ایجاد هماهنگی‌های منصفانه هستند.

۲- گروه دوم شامل قراردادهایی هستند که با هدف همکاری و هماهنگی و به کمک نظریه بازی‌ها، به دنبال ارتقای فروش و یا توسعه وضعیت زنجیره تأمین به کمک قراردادهای انتخابی و پیشنهادهای خاص هستند.

۳- گروه سوم شامل قراردادهایی هستند که با هدف همکاری و هماهنگی و به کمک نظریه بازی‌ها، حالت‌هایی که در آن امکان ارجاع کالا، بازپس‌گیری کالا و یا برهم زدن سفارش وجود دارد، بررسی می‌شوند.

۴- گروه چهارم قراردادهایی هستند که باهدف همکاری و هماهنگی و به کمک نظریه بازی‌ها، وضعیت‌های پیش‌خرید، مشارکت در طراحی محصول، مشارکت در تسهیم اطلاعات و مواردی از این قبیل را بررسی می‌نمایند.

۵- گروه پنجم قراردادهایی هستند که باهدف همکاری و هماهنگی و به کمک نظریه بازی‌ها، مدل‌های تخفیف مختلف و نحوه تأثیر آن‌ها بر سودآوری سطوح و کلیت زنجیره تأمین را، بررسی می‌نمایند.

در این تحقیق با استفاده از رویکرد تئوری بازی‌ها و در نظر گرفتن تعاریف و مفهومات آن یک مدل همکاری برای زنجیره‌تأمین سه سطحی متشکل از تعداد نامحدودی تأمین‌کننده، تولیدکننده و خرده‌فروش با در نظر گرفتن وابستگی تقاضا به قیمت فروش و هزینه بازاریابی و بر اساس قرارداد مشارکت در سود بین تمامی سطوح و هزینه بازاریابی بین خرده‌فروش و تولیدکننده به منظور حداکثری سازی سود کل زنجیره‌تأمین ارائه شده است. با توجه به اینکه مسئله قویاً دشوار<sup>۱</sup> است، حل مسائل در ابعاد بزرگ تر زمان معقول غیرممکن بوده و در نتیجه در این مقاله استفاده از فراابتکاری‌ها پیشنهاد شده است.

### پیشینه تحقیق

ژاو<sup>۲</sup> و همکارانش (۲۰۱۴) مدل دوسطحی زنجیره تأمین را، با استفاده از بازی همکاری در شرایطی که تقاضا فازی بوده و به قیمت فروش وابسته است را در دو مدل مختلف ارائه کردند که در مدل اول اطلاعات به صورت کامل و در مدل دوم اطلاعات به صورت ناقص در اختیار خریدار قرار گرفته شده است. هدف از ارائه این مدل مقایسه و تجزیه تحلیل تأثیر اطلاعات بر سود اعضای زنجیره تأمین است.

1. NP-hard  
2. Zhao

ژو<sup>۱</sup> و همکارانش (۲۰۰۸) مدل دوسطحی زنجیره تأمین را با استفاده از رویکرد تئوری بازی‌ها و نوع بازی همکاری در شرایطی که تقاضا فزیدر نظر گرفته شده را ارائه کردند که تولیدکننده و خرده‌فروش با یکدیگر همکاری کرده و به‌عنوان یک شرکت به دنبال رسیدن به حداکثر سود می‌باشند. هدف از هر دو مدل مشخص نمودن بهترین تصمیم هر یک از اعضای مجموعه برای دستیابی به حداکثر سود ممکن با توجه به شرایط مسئله است.

ریو<sup>۲</sup> و همکارش (۲۰۱۰) مدل زنجیره تأمین دوسطحی را، با استفاده از تئوری بازی‌ها و بازی همکاری، در شرایطی که تقاضا و قیمت خرده‌فروش به‌صورت فازی در نظر گرفته شده را ارائه کردند که در بازی همکاری دو سناریوی مختلف مشارکت در سود و مشارکت در به اشتراک گذاری اطلاعات مورد بررسی قرار گرفته شده است که هدف از آن مشخص نمودن قیمت فروش عمده‌فروش به خرده‌فروش برای دستیابی به کمترین هزینه و در نتیجه افزایش سود اعضای زنجیره است، سپس نتایج به‌دست‌آمده در حالت همکاری با غیر همکاری مقایسه شده و نشان داده شده است که در حالت همکاری، هزینه‌های کمتری به اعضای زنجیره تأمین تحمیل خواهد شد.

وانگ<sup>۳</sup> و همکارانش (۲۰۱۱) مدل دوسطحی زنجیره‌تأمین دوسطحی شامل یک خریدار و فروشنده را با استفاده از رویکرد تئوری بازی‌ها و بازی همکاری در شرایطی که تقاضا به‌صورت فازی در نظر گرفته شده است را ارائه کردند. هدف از مدل بررسی تأثیر همکاری طی یک قرارداد کوتاه‌مدت یک دوره‌ای و قرارداد بلندمدت بر تغییرات سوددهی هر عضو مجموعه و کل زنجیره است که نتایج نشان می‌دهد همکاری در بلندمدت سود بیشتری را نصیب اعضای زنجیره‌تأمین خواهد کرد.

موتاز خوجا<sup>۴</sup> (۲۰۰۳) مدل سه سطحی زنجیره تأمین را با در نظر گرفتن یک تأمین‌کننده، سه تولیدکننده و چندین خرده‌فروش را با استفاده از رویکرد تئوری بازی‌ها و بازی همکاری با در

---

1. Zhou  
2. Ryu  
3. Wang  
4. Khouja

نظر گرفتن سه سیکل زمانی مختلف برای هر یک از اعضای زنجیره ارائه کرد که هدف از این مدل کاهش هزینه‌ها و دستیابی به سود بیشتر برای هر یک از اعضای زنجیره است. همچنین هزینه‌ها در حالت همکاری و حالت غیر همکاری با یکدیگر مقایسه و مشخص شد که هزینه‌ها در حالت همکاری کمتر از حالت غیر همکاری می‌باشند.

آوست<sup>۱</sup> و همکارش (۲۰۱۲) در پژوهشی مدل دوسطحی زنجیره‌تامین شامل تولیدکننده و خرده‌فروش را با استفاده از رویکرد تئوری بازی‌ها و نوع بازی غیرهمکاری و همکاری بین اعضا ارائه کردند، که هدف از آن تصمیم‌گیری در مورد هزینه بازاریابی و قیمت فروش برای دستیابی به حداکثر سود اعضای زنجیره در بازی‌های مختلف است. همچنین در آخر سود هر یک از اعضا در بازی‌های مختلف با یکدیگر مقایسه شده و نشان داده شده است که سود کل اعضا در حالت همکاری بیشتر از حالت غیرهمکاری است.

جابر<sup>۲</sup> و همکارانش (۲۰۰۶) مدل سه سطحی زنجیره تامین را با استفاده از نوع بازی همکاری و با در نظر گرفتن تخفیف به صورت کلی و وابستگی تقاضای خرده‌فروش به قیمت را ارائه کردند، که هدف از مدل، تقسیم سود بین اعضا و دستیابی به حداکثر سود اعضای زنجیره است. در تحقیقی دیگر، جابر و همکارانش (۲۰۰۸) مدل سه سطحی را با استفاده از دو نوع بازی همکاری و غیر همکاری بین اعضای زنجیره ارائه کردند که هدف از این مدل، مقایسه هزینه و سود برای هر یک از اعضا، در دو حالت همکاری و عدم همکاری است. یو<sup>۳</sup> و همکارانش (۲۰۱۰) مدل سه سطحی را با استفاده از دو نوع مختلف بازی نش ارائه کردند که هدف از این مدل به دست آوردن بهترین انتخاب برای هر یک از اعضای زنجیره با توجه به استراتژی‌های بازاریابی، پلتفرم‌های تولید محصول و سیاست‌های موجودی است که برای به دست آوردن جواب از الگوریتم ژنتیک استفاده شده است. هوانگ<sup>۴</sup> و همکارانش (۲۰۱۱) مدل سه سطحی زنجیره تامین را برای انتخاب تامین‌کنندگان، قیمت‌گذاری و سیاست‌های موجودی با استفاده از نوع بازی غیر همکاری ارائه کردند که هدف از مدل تعیین نقطه تعادلی

- 
1. Aust
  2. Jaber
  3. Yu
  4. Huang

نش برای دستیابی به حداکثر سود می‌باشد. سینها<sup>۱</sup> و همکارانش (۲۰۱۴) مدل سه سطحی زنجیره تأمین را با استفاده از نوع بازی استاکلیبرگ و با در نظر گرفتن هزینه و تقاضا، به صورت غیرخطی ارائه کردند که هدف مدل، انتخاب بهترین استراتژی برای هر یک از بازیکنان برای دستیابی به حداکثر سود ممکن است.

عموزادمهدیرجی و همکاران (۱۳۹۴) با فرض عدم همکاری بین سطوح گوناگون و در حالت بازی‌های پویا با اطلاعات کامل، در تحقیق خود به دنبال شناسایی رهبر مناسب از بین سطوح مختلف بودند. در این تحقیق فرض شده است که بازی در حالت غیرهمکارانه پویا بوده و در نتیجه هر یک از سطوح، اعم از خرده‌فروشان، تأمین‌کنندگان و تولیدکنندگان، بسته به قدرت چانه‌زنی و جایگاه خود در بازار، می‌توانند نقش پیشرو را داشته باشند. با بررسی مدل‌های گوناگون، نویسندگان این مقاله با استفاده از بازی استاکلیبرگ به این نتیجه‌گیری رسیدند که حرکت رهبری از انتهای زنجیره به ابتدا، سود کلی زنجیره تأمین را کاهش خواهد داد.

عطیه ماشلی و محمدی تبار (۱۳۹۶) زنجیره‌تأمینی شامل یک خریدار و چندین تأمین‌کننده را در نظر گرفته و به تحلیل تصمیمات انتخاب تأمین‌کننده، تصمیمات موجودی و سیاست‌های ارسال محصول پرداخته و به این منظور یک مدل همکارانه به منظور یکپارچگی این تصمیمات توسعه دادند. در مدل پیشنهادی آنها، سیکل سفارش خریدار مضرب صحیحی از سیکل تأمین‌کننده بوده و تأمین‌کنندگان امکان برون‌سپاری باقی‌مانده ظرفیت خود را دارند. محققان در این پژوهش نشان دادند که همکاری بین اعضای زنجیره تأمین منجر به پاسخ‌های پایداری می‌گردد که هزینه‌های زنجیره را برابر مدل متمرکز خواهد نمود.

با توجه به دسته‌بندی ساختارهای زنجیره تأمین به متمرکز و غیر متمرکز، زارع مهرجردی و همکاران (۱۳۹۲) به مدل سازی زنجیره تأمین در حالت‌های متمرکز و غیر متمرکز پرداخته و عملکرد زنجیره تأمین در حالت متمرکز را براساس یک مدل بهینه سازی ریاضی تشریح نمودند. برای تحلیل عملکرد سیستم در حالت غیر متمرکز نیز محققین از مفهوم تئوری بازیها و مفهوم استاکلیبرگ استفاده نمودند.



در یک زنجیره تامین دوسطحی متشکل از یک تولیدکننده و یک خرده فروش، خدیور و همکاران (۱۳۹۵) از متغیرهای فازی شهودی به منظور توصیف بهتر اطلاعات مبهم و نادقیق و مواجه با عدم قطعیت و ابهام موجود در فرآیند قیمت گذاری محصول استفاده کردند. در اینجا در طراحی بازی قیمت گذاری پیشنهادی از ساختار برنامه ریزی دو سطحی در قالب بازی استکلبرگ استفاده شده است.

داداشی و همکاران (۱۳۹۷) در یک زنجیره تامین متمرکز دو سطحی شامل دو شرکت حمل و نقل انحصاری و یک خرده فروش مدل ارایه دادند که در آن هزینه های حمل و نقل مربوط به وسایل نقلیه منجر به تابع سود غیرخطی عدد صحیح شده است. در این پژوهش ابتدا قسمت پیوسته تابع سود تحلیل شد، سپس با روشی ابتکاری نقاط شکستگی که در اثر متغیر عدد صحیح ایجاد شده برای یافتن مقدار بهینه جستجو گردید. با بررسی پارامترهای مختلف بر سود نهایی، آنها نشان دادند که کاهش ظرفیت کامیون ها باعث کاهش سود و افزایش هزینه ثابت هر وسیله نقلیه باعث کاهش محسوس سود می گردد.

عزیزی و نویدی (۱۳۹۶) یک سیستم توزیع چند دوره ای با یک تأمین کننده و دو خرده فروش را در نظر گرفتند که در آن مشتریان در چند دوره زمانی برای خرید کالا به هر خرده فروش مراجعه می کنند. با فرض آنکه اگر خرده فروشی قادر به تأمین تقاضای مشتریان خود در هر دوره زمانی نباشد، آنها برای ارضای تقاضایشان به خرده فروش دیگری در همان دوره زمانی مراجعه می کنند، در این مقاله از رویکرد تئوری بازیها برای بررسی استراتژی های دو خرده فروش وقتی که آن دو با یکدیگر برای ظرفیت تأمین کننده و تقاضای مشتریان در  $n$  دوره زمانی رقابت می کنند، استفاده شده است. نویسندگان مقاله نشان دادند در صورتیکه ظرفیت تأمین کننده نامحدود باشد، همیشه یک تعادل منحصر بفرد وجود دارد و اگر ظرفیت تأمین کننده محدود باشد، تنها تحت شرایط خاصی تعادل وجود دارد.

## تشریح مساله و مدل‌سازی

یکی از مهم‌ترین بحث‌های امروزه در مدیریت زنجیره‌تأمین ایجاد همکاری در زنجیره‌تأمین با وجود تضاد در اهداف و خواسته‌ها است. در ادامه مدل همکاری در یک زنجیره‌تأمین سه سطحی با در نظر گرفتن مشارکت سود و هزینه بازاریابی بین اعضای زنجیره به صورت شماتیک مدل شده است.

مسئله زنجیره‌تأمین سه سطحی از  $M$  تأمین‌کننده،  $N$  تولیدکننده و  $R$  خرده‌فروش تشکیل شده است که در آن، خرده‌فروش محصول را از تولیدکننده خریداری و به مشتری نهایی عرضه می‌کند. از طرفی تولیدکننده برای تولید محصولات و عرضه آن به خرده‌فروش نیازمند تأمین مواد اولیه است که این مواد اولیه با توجه به نوع محصول تولیدی می‌تواند از یک یا چند تأمین‌کننده مختلف تهیه شود، تولیدکننده پس از تهیه مواد اولیه و صرف هزینه محصولات را تولید و به خرده‌فروشان عرضه می‌کند. تأمین‌کنندگان نیز برای تهیه مواد اولیه تولیدکنندگان، باید مواد اولیه موردنظر تولیدکننده را با صرف هزینه‌ای تهیه یا استخراج نمایند و برای تولید به دست تولیدکنندگان برسانند.

## مفروضات

مدل پیشنهادی با توجه به مفروضات زیر ارائه شده است:

- ۱- تقاضای محصولات در زنجیره‌تأمین تابعی از قیمت خرده‌فروشان به مشتریان و هزینه‌های صرف شده بابت تبلیغات محصول است.
- ۲- هزینه‌ها صرف شده برای تبلیغات محصول جزء آن دسته از هزینه‌هایی است که به طور قطعی نمی‌توان آن را مشخص نمود در این مدل هزینه بازاریابی به صورت عدد فازی در نظر گرفته شده است.
- ۳- برای مواد اولیه که تأمین‌کنندگان به تولیدکنندگان عرضه می‌کنند، تخفیف به صورت کلی در نظر گرفته شده است. بدین ترتیب قیمت ارائه شده در هر سطح برای

تمامی واحدها منظور شده و هر چقدر مقدار سفارش تولیدکننده برای خرید مواد اولیه بیشتر باشد، هزینه خرید کمتری بابت کل محصول به تأمین کننده پرداخت خواهد کرد.

۴- کمبود در سیستم برای تولیدکننده مجاز است و به ازای هر واحد کمبود، هزینه‌ای به تولیدکننده تحمیل خواهد شد. همچنین تولید به صورت تدریجی در نظر گرفته شده است.

۵- هزینه تولید هر واحد محصول برای تولیدکننده، تابع خطی از تقاضای محصول است و با افزایش یا کاهش تقاضا، هزینه متغیر تولید هر واحد محصول تغییری نخواهد یافت.

۶- هر تولیدکننده تنها یک محصول تولید می‌کند و تنها به خرده‌فروش طرف قرارداد خود محصول را ارائه می‌نماید.

۷- تولیدکننده برای تولید محصول می‌تواند مواد اولیه مورد نیاز را از چندین تامین کننده تهیه کند اما هر تامین کننده فقط یک نوع ماده اولیه را برای تولیدکنندگان ارسال می‌کند.

۸- انواع قراردادهای همکاری چون مشارکت در سود مشارکت در فروش از دست‌رفته، تقسیم هزینه‌ها، کالاهای مرجوعی و بازپرداخت در زنجیره‌تامین قابل استفاده است. در تحقیق حاضر به منظور ایجاد همکاری در سطوح زنجیره تامین، قرارداد مشارکت در سود بین تمامی سطوح زنجیره‌تامین و هزینه بازاریابی بین تولیدکننده و خرده‌فروش استفاده شده است.

هدف هر یک اعضای زنجیره‌تامین نیز مشخص است کاهش هزینه، افزایش درآمد و در نتیجه دستیابی به بیشترین سود ممکن که برای رسیدن به این هدف، هر یک از اعضای زنجیره تامین به دنبال انتخاب بهترین تصمیم از دیدگاه خود هستند که این بهترین تصمیم برای خرده‌فروش و تامین کننده، قیمت و برای تولیدکننده قیمت و مقدار بهینه سفارش مواد اولیه و کمبود خواهد بود.

## اندیس‌ها

تعداد تامین‌کنندگان  $M = \{1, 2, 3, \dots, m\}$

تعداد تولیدکنندگان  $N = \{1, 2, 3, \dots, n\}$

تعداد خرده‌فروشان  $R = \{1, 2, 3, \dots, r\}$

## پارامترها

$P_n$ : قیمت فروش انبوه محصول  $n$  ام از سوی تولیدکننده

$D_n$ : تابع تقاضای محصول  $n$  ام

$C_m$ : هزینه بازاریابی صرف شده از سوی خرده‌فروش  $r$  ام

$Q_n$ : مقدار تولید تولیدکننده  $n$  ام از محصول  $n$  ام

$K$ : ثابت تابع تقاضا

$\alpha$ : ضریب کشش قیمت در تابع تقاضا

$\beta$ : ضریب تأثیر تبلیغات در تابع تقاضا

$C_{s_r}$ : هزینه ثابت سفارش‌دهی برای خرده‌فروش  $r$  ام در هر بار سفارش

$k'_n$ : سهم هزینه نگهداری از قیمت خرید محصول  $n$  ام

$PC_n$ : ظرفیت تولید برای تولیدکننده  $n$  ام

$k_{s_n}$ : ضریب مصرف ماده اولیه  $s$  ام در تولید محصول  $n$  ام

$C_{p_s}^l$ : قیمت خرید هر واحد از ماده اولیه  $s$  ام با توجه به محدوده تخفیف  $l$  ام

$C_{s_n}$ : هزینه ثابت راه‌اندازی برای تولید هر واحد محصول  $n$  ام برای تولیدکننده  $n$  ام

$C_{O_{sn}}$ : هزینه ثابت سفارش‌دهی هر واحد ماده اولیه از تأمین‌کننده  $s$  برای تولید محصول  $n$  ام

$u$ : ثابت تابع هزینه تولید هر واحد محصول  $n$  ام

$C_{h_n}$ : هزینه نگهداری هر واحد محصول  $n$  ام

$C_{B_n}$ : هزینه هر واحد کمبود برای محصول نهایی  $n$  ام برای تولیدکننده  $n$  ام

$\phi'_n$ : ضریب قیمت فروش  $n$  ام در حالت بهترین تصمیم

$k_{s_n}$ : ضریب مصرف ماده اولیه  $s$  ام در تولید محصول  $n$  ام  
 $\phi_s^1$ : ضریب قیمت فروش بهترین تصمیم تامین کننده  $s$  ام با توجه به مقدار خرید تولید کننده  $n$  ام  
تخفیف در مدل پیشنهادی به صورت تخفیف کلی و برای تمامی واحدها و مطابق با جدول ۲ در نظر گرفته شده است.

جدول ۲. مقادیر تخفیف کلی

محدوده تخفیف	قیمت
$Q_2 < Q_{r_n} < Q_3$	$\phi_s^1$
$Q_2 < Q_{r_n} < Q_3$	$\phi_s^2$
$Q_3 < Q_{r_n} < Q_4$	$\phi_s^3$

$C_{p_s}^l$ : قیمت فروش هر واحد از ماده اولیه  $s$  ام با توجه به محدوده تخفیف  $l$  ام  
 $C_{s_s}$ : هزینه ثابت هر بار تأمین یا استخراج ماده اولیه  $s$  ام برای تأمین کننده  $s$  ام  
 $K_{s_s}$ : سهم هزینه نگهداری از هزینه تأمین یا استخراج ماده اولیه  $s$  ام  
 $C_{s_o}$ : هزینه تأمین یا استخراج هر واحد از ماده اولیه  $s$  ام  
 $Q_n$ : مقدار تولید تولید کننده  $n$  ام از محصول  $n$  ام

## متغیر تصمیم

$P_r$ : قیمت فروش از سوی خرده فروش  $r$  ام به مشتری نهایی  
 $B_n$ : مقدار کمبود محصول  $n$  ام برای تولید کننده  $n$  ام  
 $Q_n$ : مقدار تولید تولید کننده  $n$  ام از محصول  $n$  ام  
 $P_n$ : قیمت فروش انبوه محصول  $n$  ام از سوی تولید کننده  
 $C_{p_s}^l$ : قیمت خرید هر واحد از ماده اولیه  $s$  ام با توجه به محدوده تخفیف  $l$  ام

با استفاده از قرارداد مشارکت در شرایطی که خرده‌فروشان، تأمین‌کنندگان و تولیدکنندگان، در درون سطوح خود با یکدیگر توافق نموده باشند که به‌عنوان یک کل در بازی زنجیره‌تأمین سه سطحی موردنظر مشارکت داشته باشند. اولین تغییر مربوط به تابع هدف زنجیره‌تأمین است که باید از اجماع توابع سود و هزینه بازاریابی خرده‌فروشان، تولیدکنندگان و تأمین‌کنندگان با در نظر گرفتن سهم هریک از آن‌ها به دست آید. در این حالت، خرده‌فروشان در زنجیره‌تأمین فرضی موردبررسی به‌عنوان باج‌دهنده عمل نموده و تولیدکنندگان و تأمین‌کنندگان، ذینفع خواهند بود. با توجه به سود بالای خرده‌فروشان در حالت غیرهمکارانه و سود پایین تولیدکنندگان و تأمین‌کنندگان به‌منظور بقا و دوام فعالیت زنجیره، همکاری مذکور صورت می‌پذیرد. جدول ۳ نمادهای اضافه‌شده به بازی حالت همکارانه را معرفی کرده است. تابع سود زنجیره‌تأمین، از ترکیب سود هر یک از سطوح زنجیره‌تأمین با در نظر گرفتن سهم هر یک از آن‌ها از سود کلی زنجیره‌تأمین حاصل می‌شود.

جدول ۳. وزن‌های بازی در حالت مشارکت در سود

نماد	شرح
$\lambda_R$	سهم کل خرده‌فروشان از سود کلی زنجیره‌تأمین
$\lambda_N$	سهم کل تولیدکنندگان از سود کلی زنجیره‌تأمین
$\lambda_M$	سهم کل تأمین‌کنندگان از سود کلی زنجیره‌تأمین

سود کل زنجیره‌تأمین به‌عنوان یک مجموعه برابر با ۱۰۰ درصد در نظر گرفته می‌شود، که مقداری از آن نصیب خرده‌فروشان و مقداری از آن نصیب تولیدکنندگان می‌شود، بنابراین سهم تأمین‌کنندگان از تفاضل سهم کل زنجیره از سهم دو سطح دیگر به صورت روابط (۱) و (۲) قابل حصول است:

$$T_{z_{sc}} = \lambda_R \cdot T_{z_k} + \lambda_N \cdot T_{z_n} + \lambda_M \cdot T_{z_m} \quad (1)$$

$$\lambda_M = 1 - \lambda_R - \lambda_N \quad (2)$$

تابع هزینه بازاریابی زنجیره تأمین، از ترکیب هزینه بازاریابی بین تولیدکننده محصول و خرده-فروشی مربوطه با در نظر گرفتن سهم هر یک از آنها از هزینه بازاریابی حاصل می‌شود. جدول ۴ وزن‌های بازی همکارانه در هزینه بازاریابی را معرفی کرده است.

جدول ۴. وزن‌های بازی همکارانه در هزینه بازاریابی

نماد	شرح
$\lambda_A$	سهم کل خرده‌فروشان از هزینه بازاریابی زنجیره‌تأمین
$\lambda_B$	سهم کل تولیدکنندگان از هزینه بازاریابی زنجیره‌تأمین

تابع هزینه بازاریابی زنجیره تأمین، از ترکیب هزینه بازاریابی بین تولیدکننده محصول -م و خرده‌فروشی مربوطه با در نظر گرفتن سهم هر یک از آنها از هزینه بازاریابی حاصل می‌شود. هزینه بازاریابی کل زنجیره تأمین به‌عنوان یک مجموعه برابر با ۱۰۰ درصد در نظر گرفته می‌شود که مقداری از آن نصیب خرده‌فروشان و مقداری از آن نصیب تولیدکنندگان شده که از تفاضل سهم خرده‌فروش به صورت روابط (۳) و (۴) بدست می‌آید:

$$T_{C_{m_r}} = \lambda_A (K.P_r^{-\alpha} . C_{m_r}^{\beta+1}) + \lambda_B (K.P_r^{-\alpha} . C_{m_r}^{\beta+1}) \quad (3)$$

$$\lambda_B = 1 - \lambda_A \quad (4)$$

زمانی که اعضای زنجیره‌تأمین تصمیم به همکاری گرفتند، کل اعضای زنجیره‌تأمین به صورت یک شرکت واح دکه به دنبال دستیابی به حداکثر سود شرکت بوده در نظر گرفته می‌شوند. حال با توجه به توضیحات داده‌شده در بالا، مدل زنجیره تأمین سه سطحی در حالت مشارکت در سود و هزینه بازاریابی بصورت رابطه (۵) است:

$$\begin{aligned}
Max T_{Z_{sc}} = & \sum_{r=1}^r \left[ \lambda_R \left( (K.P_r^{-\alpha}.C_{m_r}^\beta [P_r - P_n - \lambda_A C_{m_r} - C_{s_r} Q_n^{-1}]) - \frac{1}{2} Q_n.K_n'.P_n \right) \right] \\
& + \sum_{n=1}^n \left[ \lambda_N \left( \left( P_n - \sum_{s=1}^m (K_{s_n}.C_{p_s}^l) \right) D_n \right) - \left[ \left( \sum_{s=1}^m (C_{o_m}) + C_{s_n} \right) \frac{D_n}{Q_n} \right] - \left[ u.K.P_r^{-\alpha}.C_{m_r}^\beta \right] \right] \\
& - \left[ C_{h_n} \frac{(\lambda_n Q_n - B_n)^2}{2\lambda_n Q_n} \right] - \left[ \frac{C_{B_n} B_n^2}{2\lambda_n Q_n} \right] - \left[ \lambda_B K.P_r^{-\alpha} E_{m_r}^{\beta+1} \right] + \sum_{s=1}^m \lambda_M \left( (C_{p_s}^l - C_{s_o}) \sum_{n=1}^n K_{s_n}.D_n \right) \\
& - \left[ \sum_{n=1}^n \frac{D_n}{Q_n} C_{s_s} \right] - \left[ \sum_{n=1}^n K_{s_s}.C_{s_o}.K_{s_n} \cdot \frac{Q_n}{2} \right] \quad (5)
\end{aligned}$$

برای دستیابی به بهترین بیشترین سود ممکن برای کل زنجیره در حالت مشارکت در سود و هزینه بازاریابی، اعضای زنجیره با توجه متغیرهای تصمیم که شامل قیمت فروش محصول  $n$  ام از سوی خرده فروش  $r$  ام به مشتری نهایی  $(P_r)$ ، قیمت فروش انبوه محصول  $n$  ام از سوی تولیدکننده  $(P_n)$ ، قیمت فروش هر واحد از ماده اولیه  $s$  ام با توجه به محدوده تخفیف  $am$  ( $C_{p_s}^l$ ) و مقدار تولید تولیدکننده  $n$  ام از محصول  $n$  ام برای خرده فروش  $r$  ام ( $Q_n$ ) و مقدار کمبود محصول  $n$  ام برای تولیدکننده  $n$  ام ( $B_n$ ) بوده به دنبال انتخاب بهترین تصمیمی خواهند بود که سود کل زنجیره تامین بیشترین مقدار ممکن شود.

برای به دستیابی به بیشترین سود ممکن با توجه به اینکه تابع از نوع حداکثر سازی بوده و نسبت به تمامی متغیرهای تصمیم تابع مقعر است بنابراین بهترین جواب برای دستیابی به حداکثر سود ممکن، با مشتق گیری از تابع سود کلی زنجیره تامین نسبت به متغیرها به دست خواهد آمد. در روابط (۶) و (۷) محاسبات مربوط به مشتق گیری از تابع سود کلی زنجیره- تامین آورده شده است:



$$\frac{\partial TZ_{sc}}{\partial C_{P_s}} = 0 \rightarrow \left[ -\lambda_N \sum_{n=1}^n \sum_{s=1}^m k_{S_n} \cdot D_n \right] + \left[ \lambda_M \sum_{n=1}^n \sum_{s=1}^m k_{S_n} \cdot D_n \right] = 0 \rightarrow \lambda_N = \lambda_M, \lambda_N = \frac{1-\lambda_R}{2} \quad (۶)$$

$$\frac{\partial TZ_{sc}}{\partial P_n} = 0 \rightarrow \left[ -\lambda_R \sum_{n=1}^n \frac{Q_n \cdot k_n}{2} \right] - \left[ \lambda_R \sum_{n=1}^n D_n \right] + \left[ \lambda_N \sum_{n=1}^n D_n \right] = 0 \rightarrow \lambda_R = \lambda_N \frac{\sum_{n=1}^n D_n}{\sum_{n=1}^n D_n + \sum_{r=1}^r \frac{Q_n \cdot k_n}{2}} \quad (۷)$$

حال با جایگذاری رابطه (۶) در رابطه (۷) نتیجه‌ای بصورت روابط (۸) و (۹) حاصل می‌شود:

$$\lambda_R = \frac{\sum_{n=1}^n D_n}{3 \sum_{n=1}^n D_n + \sum_{r=1}^r \frac{Q_n \cdot k_n}{2}} \quad (۸)$$

$$\lambda_N = \lambda_M = \frac{1}{2} - \frac{\sum_{n=1}^n D_n}{2 \left[ 3 \sum_{n=1}^n D_n + \sum_{n=1}^n Q_n \cdot k_n \right]} = \frac{2 \sum_{n=1}^n D_n + \sum_{n=1}^n \frac{Q_n \cdot k_n}{2}}{2 \left[ 3 \sum_{n=1}^n D_n + \sum_{n=1}^n Q_n \cdot k_n \right]} \quad (۹)$$

$$\lambda_N = 1 - \lambda_R - \lambda_M \quad (۱۰)$$

سهم هر یک از اعضای داخلی هر سطح از تقسیم سهم کلی بر تعداد اعضای هر سطح بصورت رابطه (۱۱) محاسبه شده است.

$$\lambda_N = \frac{\lambda_N}{n}, \lambda_M = \frac{\lambda_M}{m}, \lambda_R = \frac{\lambda_R}{r} \quad (۱۱)$$

برای به دست آوردن مقدار تولید اقتصادی و مقدار کمبود از آنجایی که هر دو این‌ها متغیر هستند، امکان مشتق‌گیری به حالت عادی وجود ندارد، بنابراین ابتدا فرض شده که  $Q_{r_n}$  عددی ثابت بوده و از تابع سود برحسب  $B_n$  بشکل رابطه (۱۲) مشتق گرفته می‌شود:

$$\frac{\partial T_{Z_{sc}}}{\partial B_n} = 0 \rightarrow B_n = E_n \lambda_n Q_n \quad (۱۲)$$

سپس مقدار به دست آمده از  $B_n$  را در معادله (۱۲) جایگذاری کرده و سپس از آن برحسب  $Q_{r_n}$  مشتق گرفته شده و سپس مقدار به دست آمده از آن در معادله (۱۲) جایگذاری شده و مقدار  $B_n$  بصورت رابطه (۱۴) به دست می‌آید.

$$\frac{\partial T_{Z_{sc}}}{\partial Q_n} = 0 \rightarrow Q_n = \sqrt{\frac{2D_n \left[ (\lambda_R C_{S_r}) + (\lambda_N (\sum_{s=1}^m C_{O_{sn}}) + C_{S_n})) + (\lambda_M \sum_{s=1}^m C_{S_s}) \right]}{(\lambda_N E_N C_{B_n} \lambda_n) + (\lambda_R k_n P_n) + (\lambda_M \sum_{s=1}^m k_{S_s} C_{S_o} k_{S_n})}} \quad (13)$$

$$\frac{\partial T_{Z_{sc}}}{\partial B_n} = 0 \rightarrow B_n = E_n \lambda_n \sqrt{\frac{2D_n \left[ (\lambda_R C_{S_r}) + (\lambda_N (\sum_{s=1}^m C_{O_{sn}}) + C_{S_n})) + (\lambda_M \sum_{s=1}^m C_{S_s}) \right]}{(\lambda_N E_N C_{B_n} \lambda_n) + (\lambda_R k_n P_n) + (\lambda_M \sum_{s=1}^m k_{S_s} C_{S_o} k_{S_n})}} \quad (14)$$

$P_n$  نیز با مشتق از تابع سود به بصورت رابطه (۱۵) دست می‌آید:

$$\frac{\partial T_{Z_{sc}}}{\partial P_n} = 0 \rightarrow P_n = \frac{\alpha \lambda_R (P_n + \lambda_A C_{m_r} + C_{S_r} Q_n^{-1}) + \lambda_N (C_{P_n} + \sum_{m=1}^m (k_{S_n} C_{P_s}^l) - P_n)}{\lambda_R (\alpha - 1)} + \frac{\sum_{m=1}^M (C_{O_{sm}}) + C_{S_n} Q_n^{-1} + u + \lambda_B C_{m_r} + \lambda_M (C_{S_o} - C_{P_s}^l) k_{S_n} + C_{S_s} Q_n^{-1}}{\lambda_R (\alpha - 1)} \quad (15)$$

در نظر گرفتن توضیحات ارائه شده، تابع سود کلی زنجیره تأمین در حالت همکاری سود و هزینه بازاریابی مدل کلی زیر به دست خواهد آمد:

$$\begin{aligned}
Max T_{Z_{sc}} = & \sum_{r=1}^r \left[ \lambda_R \left( (K.P_r^{-\alpha}.C_{m_n}^\beta [P_r - P_n^* - \lambda_A C_{m_r} - C_{s_r} Q_n^{*-1}]) - \frac{1}{2} Q_n^*.K_n'.P_n^* \right) \right] \\
& + \sum_{n=1}^n \left[ \lambda_N \left( (P_n - \sum_{s=1}^m (K_{s_n}.C_{p_s}^{*l})) D_n \right) - \left[ \left( \sum_{s=1}^m (C_{o_m}) + C_{s_n} \right) \frac{D_n}{Q_n} \right] - \left[ u.K.P_r^{-\alpha}.C_{m_r}^\beta \right] \right] \\
& - \left[ C_{h_n} \frac{(\lambda_n Q_n - B_n)^2}{2\lambda_n Q_n} \right] - \left[ \frac{C_{B_n} B_n^2}{2\lambda_n Q_n} \right] - \left[ \lambda_B K.P_r^{-\alpha} E_{m_r}^{\beta+1} \right] + \sum_{s=1}^m \lambda_N \left( (C_{p_s} - C_{s_o}) \sum_{n=1}^n K_{s_n}.D_n \right) \\
& - \left[ \sum_{n=1}^n \frac{D_n}{Q_n^*} C_{s_s} \right] - \left[ \sum_{n=1}^n K_{s_s}.C_{s_o}.K_{s_n} \cdot \frac{Q_n^*}{2} \right] \quad (16)
\end{aligned}$$

$$\lambda_R = \frac{\sum_{n=1}^n D_n}{3 \sum_{n=1}^n D_n + \sum_{r=1}^r \frac{Q_n.k_n}{2}} \quad (17)$$

$$\lambda_N = \frac{1}{2} - \frac{\sum_{n=1}^n D_n}{2 \left[ 3 \sum_{n=1}^n D_n + \sum_{r=1}^r Q_n.k_n \right]} \quad (18)$$

$$\lambda_M = \frac{1}{2} - \frac{\sum_{n=1}^n D_n}{2 \left[ 3 \sum_{n=1}^n D_n + \sum_{r=1}^r Q_n.k_n \right]} \quad (19)$$

$$Q_n = \sqrt{\frac{2D_n \left[ (\lambda_R.C_{s_r}) + (\lambda_N \left( \sum_{s=1}^m C_{o_m} \right) + C_{s_n}) \right] + (\lambda_M \sum_{s=1}^m C_{s_s})}{\left[ (\lambda_N E_N C_{B_n} \lambda_n) + (\lambda_R k_n P_n) + (\lambda_M \sum_{s=1}^m k_{s_s} C_{s_o} k_{s_n}) \right]}} \quad \forall n \in N \quad (20)$$

$$B_n = E_n \lambda_n \sqrt{\frac{2D_n \left[ (\lambda_K.C_{s_r}) + (\lambda_N \left( \sum_{s=1}^m C_{o_m} \right) + C_{s_n}) \right] + (\lambda_M \sum_{s=1}^m C_{s_s})}{\left[ (\lambda_N E_N C_{B_n} \lambda_n) + (\lambda_R k_n P_n) + (\lambda_M \sum_{s=1}^m k_{s_s} C_{s_o} k_{s_n}) \right]}} \quad \forall r \in R \quad (21)$$

$$P_r = \frac{\alpha \lambda_R (P_n + \lambda_A E_{m_r}^{-1} + C_{s_m} Q_n^{-1}) + \lambda_N (C_{p_n} + \sum_{s=1}^m (k_{s_n} C_{p_s}) - P_n + \sum_{s=1}^m (C_{o_m}) + C_{s_n} Q_n^{-1} + u + \lambda_B E_{m_r}^{-1})}{\lambda_R (\alpha - 1)}$$

$$\frac{+ \lambda_M (C_{s_o} - C_{p_s}) k_{s_n} + C_{s_s} Q_n^{-1}}{\lambda_R (\alpha - 1)} \quad \forall r \in R \quad (22)$$

$$P_r - P_n \geq 0, \quad \forall r \in R, \forall n \in N \quad (23)$$

$$C_{p_s}^l - C_{s_o} \geq 0 \quad \forall s \in M \quad (24)$$

$$(P_n - \sum_{s=1}^M (K_{s_n} \cdot C_{p_s}^{*l})) \geq 0 \quad \forall n \in N \quad (25)$$

$$D_n \leq PC_n \quad \forall n \in N \quad (26)$$

$$K > 0, u > 0, P_n > 0, K_{s_n} > 0, C_{p_s}^l > 0, D_n \geq 0, C_{O_{sm}} > 0, C_{s_n} > 0$$

$$Q_n \geq 0, P_r^{-\alpha} > 0, C_{m_r}^\beta > 0, PC_n > 0, B_n > 0, C_{B_n} \geq 0, C_{h_n} \geq 0$$

$$\alpha > 1, 0 < \beta < 1, \alpha - \beta > 1 \quad (27)$$

محدودیت (۱۷)، (۱۸) و (۱۹) به ترتیب سهم کل خرده‌فروشان، تولیدکنندگان و تامین‌کنندگان را از سود کلی زنجیره‌تامین در حالت مشارکت در سود و هزینه بازاریابی نشان می‌دهد. محدودیت (۲۰)، (۲۱) و (۲۲) به ترتیب بهترین تصمیمات اعضای زنجیره‌تامین را برای مقدار تولید بهینه تولیدکننده محصول  $n$  ام، مقدار کمبود بهینه تولیدکننده محصول  $n$  ام و قیمت فروش خرده‌فروش  $r$  ام به مشتری نهایی را در شرایط مشارکت در سود و هزینه بازاریابی نشان می‌دهند. همچنین محدودیت‌های منطقی نیز برای مدل وجود دارد از جمله محدودیت (۲۳) که نشان می‌دهد قیمت فروش محصول  $n$  ام از سوی خرده‌فروش  $r$  ام به مشتری نهایی باید بزرگتر یا مساوی قیمت فروش انبوه محصول  $n$  ام از سوی تولیدکننده باشد، محدودیت (۲۴) که نشان می‌دهد قیمت فروش هر واحد از ماده اولیه  $s$  ام با توجه به محدوده تخفیف  $l$  ام باید بزرگتر یا مساوی هزینه ثابت هر بار تأمین یا استخراج ماده اولیه  $s$  ام برای تأمین‌کننده  $s$  ام باشد، محدودیت (۲۵) که نشان می‌دهد قیمت فروش انبوه محصول  $n$  ام از سوی تولیدکننده باید بزرگتر یا مساوی مجموع هزینه خرید مواد اولیه مورد نیاز محصول باشد و محدودیت (۲۶) که نشان می‌دهد تقاضا محصول  $n$  ام باید کوچکتر یا مساوی ظرفیت تولیدکننده محصول  $n$  ام باشد. همچنین محدودیت (۲۷) نیز حدود پارامترها و متغیرهای مسئله را مشخص می‌کند.

### مدل‌سازی در محیط فازی

در این تحقیق برای نزدیک‌تر شدن به شرایط واقعی هزینه بازاریابی به صورت عدد فازی مثلی در نظر گرفته شود، علت این امر نیز این چنین بیان می‌شود که هزینه‌ی صرف شده برای تبلیغات را نمی‌توان به طور قطعی مشخص نمود و از آنجایی که تقاضای خرده‌فروش با هزینه بازاریابی وابسته بوده و رابطه مستقیم دارد پس هرچه هزینه بیشتری برای تبلیغات صرف شود تقاضای محصول نیز افزایش یافته و درآمد حاصل از فروش بیشتر خواهد شد، اما این افزایش در هزینه بازاریابی از طرف دیگر باعث افزایش هزینه‌های تحمیل شده به سیستم خواهد شد، همچنین با توجه به اینکه تقاضا به شرایط بازار و قیمت فروش وابسته است بنابراین صرف هزینه بیشتر در تبلیغات تا مقدار مشخصی باعث افزایش تقاضا شود و بعد از آن این افزایش نه تنها تاثیری بر افزایش درآمد و سود نخواهد داشت بلکه باعث تحمیل هزینه‌های بیشتری نیز به سیستم خواهد شد. بنابراین در مدل‌ها هزینه بازاریابی به صورت عدد فازی در نظر گرفته شده است.

همانطور که در هر چهار مدل پیشنهادی مشاهده شد، تنها پارامتر فازی، هزینه بازاریابی برای از طرف خرده‌فروش  $r$  ام بوده و باعث شده تا قسمتی از تابع و محدودیت‌ها هدف مبهم و غیر دقیق شود، بنابراین با اعمال این استراتژی که یک عدد غیرفازی مانند  $A$  می‌تواند به عنوان یک عدد فازی مثلی به صورت  $A = (A, A, A)$  نمایش داده شود، پارامترهای قطعی مربوط به مدل مانند  $C_{O_m}, C_{S_n}, Q_n, P_r^{-\alpha}, \dots$  به شکل فازی آورده می‌شوند. حال با توجه به توضیحات ارائه شده برای دیفازی کردن عدد فازی از روش تابع رتبه بندی که در مدل‌سازی استفاده شده است.

### تابع رتبه‌بندی

در این بخش روش رتبه‌بندی اعداد فازی تولید شده که توسط چن و همکاران ارائه شده، پیشنهاد می‌شود. مزیت روش پیشنهادی در این است که مقادیرهای دیفازی شده، ارتفاع و دامنه را برای اعداد فازی تولیدی مورد ملاحظه قرار می‌دهند.

فرض می‌شود که  $n$  عدد فازی مثلثی  $\tilde{A}_1, \tilde{A}_2, \dots, \text{and } \tilde{A}_n$  وجود دارد، که  $w_{\tilde{A}_i} \in [0, 1]$   $1 \leq i \leq n$   $\tilde{A}_i = (a_{i1}, a_{i2}, a_{i3}; w_{\tilde{A}_i})$  است. در اینجا برای ساده سازی محاسبات  $w_{\tilde{A}_i} = 1$  فرض می‌شود. روش پیشنهادی برای رتبه‌بندی اعداد فازی مثلثی به صورت زیر پیشنهاد شده است:

گام ۱: هر عدد فازی تولید شده  $\tilde{A}_i$  به عدد فازی استاندارد شده  $\tilde{A}_i^*$  تبدیل می‌شود. نرمال-سازی به صورت رابطه (۲۸) انجام می‌شود:

$$\tilde{A}_i^* = \left( \frac{a_{i1}}{g}, \frac{a_{i2}}{g}, \frac{a_{i3}}{g}; w_{\tilde{A}_i} \right) = (a_{i1}^*, a_{i2}^*, a_{i3}^*; w_{\tilde{A}_i}) \quad (28)$$

که  $g$  به شکل رابطه (۲۹) محاسبه می‌شود:

$$g = \max(\left[ |a_{ij}| \right], 1) \quad (29)$$

$|a_{ij}|$  مقدار مطلق  $a_{ij}$  است،  $\left[ |a_{ij}| \right]$  کوچکترین عدد صحیح بزرگتر از  $|a_{ij}|$  را نشان می‌دهد، بطوریکه  $1 \leq j \leq 3$  و  $1 \leq i \leq n$ .

گام ۲: مقدار دیفازی ( $x_{\tilde{A}_i}$ ) هر عدد استاندارد شده فازی از مرحله قبل به صورت رابطه (۳۰) بدست می‌آید:

$$x_{\tilde{A}_i} = \frac{a_{i1}^* + 2a_{i2}^* + a_{i3}^*}{4}; x_{\tilde{A}_i} \in [-1, 1], 1 \leq i \leq n \quad (30)$$

گام ۳: گستره  $STD_{\tilde{A}_i}$  هر عدد استاندارد شده فازی به صورت رابطه (۳۱) نمایش داده می‌شود که در آن  $STD_{\tilde{A}_i}$  برای اعداد قطعی برابر صفر است.

$$STD_{\tilde{A}_i} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^4 (a_{ij}^* - x_{\tilde{A}_i})^2}{4-1}} \quad (31)$$

گام ۴: امتیاز فازی هر عدد نرمال شده  $\tilde{A}_i^*$  به شکل رابطه (۳۲) محاسبه می‌شود:

$$score_{\tilde{A}_i^*} = \frac{x_{\tilde{A}_i^*} \times w_{\tilde{A}_i^*}}{1 + STD_{\tilde{A}_i^*}} \quad (32)$$

با توجه به مراحل بالا هزینه بازاریابی که به صورت عدد فازی مثلثی در نظر گرفته شده بود به یک عدد تبدیل شده و برای حل مدل از آن استفاده خواهد شد.

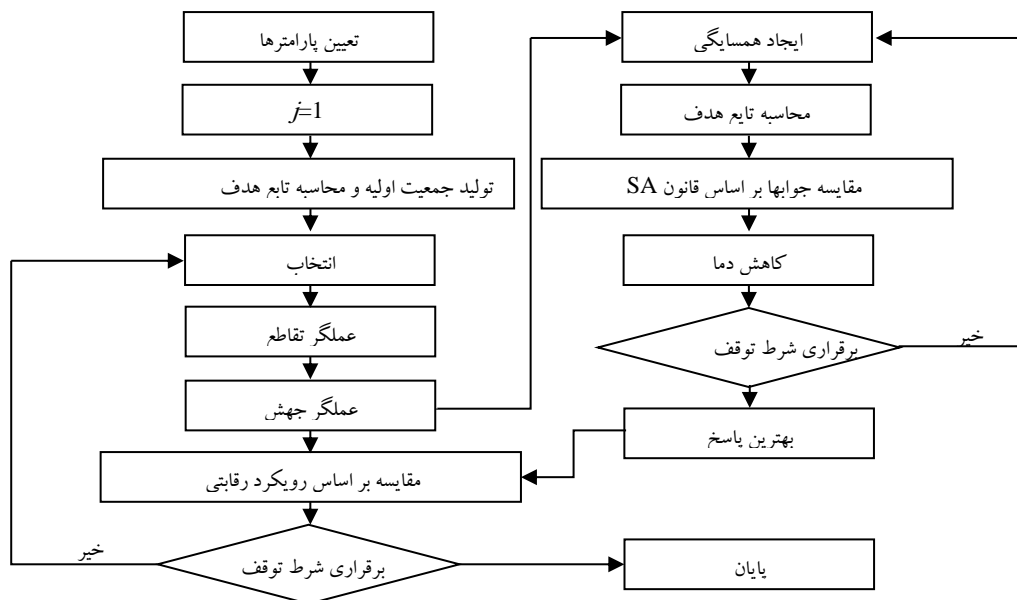
## روش حل پیشنهادی

برای حل مدل با توجه به NP-hard بودن مسئله مورد تحقیق از الگوریتم‌های فراابتکاری ژنتیک، انجماد تدریجی و ترکیبی ژنتیک-انجماد تدریجی استفاده شده است و برای اعتبار-سنجی مدل با نرم افزار گمز مقایسه شده است. در ادامه فلوچارت کلی الگوریتم ترکیبی برای فهم بهتر نمایش داده شده است.

الگوریتم انجماد تدریجی یکی از الگوریتم‌های فراابتکاری است که برای حل مسائل بهینه سازی خوب عمل می‌کند (آوست<sup>۱</sup> و همکارش، ۲۰۱۲) ترکیب الگوریتم انجماد تدریجی با الگوریتم‌هایی نظیر الگوریتم ژنتیک که ابزاری قوی برای حل مسائل برنامه ریزی غیر خطی عدد صحیح می‌باشد، از ایده‌های جدیدی است که با هدف ایجاد پتانسیل لازم برای فرار از نقاط بهینه محلی در تحقیق کریک پاتریک<sup>۲</sup> و همکاران (۱۹۸۳) ارائه شده است در واقع الگوریتم ژنتیک الگوریتمی با جستجوی سراسری قوی و الگوریتم انجماد تدریجی الگوریتمی با جستجوی محلی قوی می‌باشد که ترکیب این دو معایب یکدیگر را برطرف می‌کند و کارایی الگوریتم را افزایش می‌دهد (کرنی<sup>۳</sup>، ۱۹۸۵). در ترکیب این دو الگوریتم، ساختار اصلی الگوریتم ژنتیک حفظ می‌شود اما بعد از اینکه عملگرهای تقاطع و جهش روی جمعیت تصادفی انتخاب شده، انجام گرفت وارد الگوریتم انجماد تدریجی می‌شوند، در آنجا برای جواب بدست آمده از الگوریتم ژنتیک، همسایه تعریف می‌شود و طبق قواعد موجود در الگوریتم انجماد تدریجی جواب با همسایه بدست آمده مورد ارزیابی قرار می‌گیرد و در نهایت جواب حاصل از این دو الگوریتم با هم مقایسه می‌شوند و بهترین جواب را نمایش می‌دهند. در ادامه فلوچارت الگوریتم، نحوه کد گذاری، تولید جمعیت، تعیین برازندگی، نحوه انتخاب و عملگرهای تقاطع و جهش آمده است.

---

1. Aust  
2. Kirkpatrick  
3. Cerny



شکل ۱. فلوچارت الگوریتم ترکیبی ژنتیک-انجماد تدریجی

همانطور که در شکل ۱ دیده می‌شود ابتدا در این الگوریتم پارامترها تنظیم، سپس جمعیت اولیه برای الگوریتم ژنتیک تولید و برای هر عضو این جمعیت تابع هدف محاسبه می‌شود. از میان جمعیت فعلی بعد از اعمال چرخ رولت جهت تولید مجدد، برای اعمال عملگر تقاطع و جهش والدینی انتخاب می‌شوند. در ادامه جمعیت حاصل از عملگرها با جمعیت فعلی ادغام و مرتب شده، سپس جمعیت اضافی حذف و بهترین جواب مشخص می‌شود، این جواب وارد الگوریتم انجماد تدریجی می‌شود. در این مرحله برای جواب مورد نظر همسایگی تعریف می‌شود. همسایگی تعریف شده در این تحقیق به این صورت است که از بین ژن‌های کروموزوم یک ژن به صورت تصادفی انتخاب و به مقدار آن ژن یک عدد تصادفی اضافه کرده یا از آن کم می‌کنیم که در صورت منفی شدن نیز آن را به عدد مثبت تبدیل می‌کنیم. در ادامه همسایه بدست آمده را با جواب فعلی مقایسه کرده به صورتی که در صورت بهتر

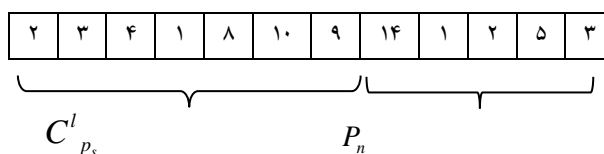


بودن همسایه، کروموزوم همسایه جایگزین جواب فعلی شده و در صورت عدم برتری، با استفاده از تابع انرژی در مورد پذیرش آن تصمیم گرفته می‌شود. به گونه ای که با یک احتمال که متناسب با انرژی و دما در آن تکرار است یک مقدار را به دست آورده و با یک عدد تصادفی تولید شده مقایسه می‌شود اگر این مقدار از عدد تصادفی تولید شده بیشتر باشد کروموزوم پذیرفته شده و در غیر این صورت کروموزوم رد خواهد شد.

در نهایت به بررسی شرط توقف پرداخته که اگر شرط توقف برقرار نباشد (تعداد تکرار) دما کاهش می‌یابد و الگوریتم انجماد تدریجی دوباره تکرار می‌شود (تعداد تکرار، دمای اولیه و مقدار کاهش دما با استفاده از تنظیم پارامتر برای حل مسئله مشخص می‌شود)، در غیر اینصورت جواب بدست آمده از الگوریتم انجماد تدریجی با جواب بدست آمده از الگوریتم ژنتیک ادغام و مرتب می‌شوند سپس در صورت برقراری شرط توقف الگوریتم ترکیبی (تعداد تکرار)، بهترین جواب نمایش داده می‌شود.

### نحوه کدگذاری کروموزوم‌ها

با توجه به اینکه قیمت فروش هر واحد از ماده اولیه  $s$  ام با توجه به محدوده تخفیف  $l$  ام و قیمت فروش انبوه محصول از سوی تولیدکننده  $n$  ام متغیرهای تصمیم مسئله می‌باشند بنابراین الگوریتم پس از اجرا، باید مقادیر آن‌ها را بدست آورد، به همین دلیل برای هر یک از این متغیرها یک ژن در کروموزوم در نظر گرفته که مقدار این ژن همان مقدار متغیر مورد نظر را نشان می‌دهد. از آنجایی که تعداد متغیرها برابر  $s + n$  می‌باشد که  $n$  در آن تعداد تولیدکننده‌ها و  $s$  تعداد تامین کنندگان را نشان می‌دهد، پس کروموزوم مدنظر نیز دارای  $s + n$  ژن می‌باشد که  $s$  ژن اول قیمت فروش هر واحد از ماده اولیه  $s$  ام با توجه به محدوده تخفیف  $l$  ام،  $n$  ژن دوم قیمت فروش انبوه محصول از سوی تولیدکننده  $n$  ام را نشان می‌دهد. به عنوان مثال همان‌گونه که در شکل ۲ آمده است فرض کنید تعداد کل تولیدکنندگان ۵ و تعداد تامین کنندگان ۷ باشد بنابراین ما یک کروموزوم با ۱۲ ژن خواهیم داشت که برای جمعیت اولیه این مقادیر به صورت تصادفی انتخاب می‌شوند.



شکل ۲. ساختار کروموزوم جواب

### تولید جمعیت اولیه الگوریتم

الگوریتم ژنتیک جزء الگوریتم‌های مبتنی بر جمعیت اولیه است. برای مسئله مورد بررسی لازم است به منظور تولید جمعیت اولیه در خصوص متغیرهای تصمیم مسئله، تصمیم‌گیری شود و این متغیرهای به نوعی تعیین شوند که ضمن سرعت بخشیدن جهت دستیابی به جواب یا جواب‌های بهینه و یا نزدیک به بهینه به جستجوی بخش‌های وسیعی از فضای جواب کمک نماید بدین منظور جمعیت اولیه می‌بایست هم دارای تنوع و گوناگونی بوده و هم به بخش-هایی از فضای جواب که تصور می‌شود جواب‌های مناسبی را می‌توان در آن فضا یافت نزدیکی داشته باشد. بنابراین با توجه به متغیرهای تصمیم مسئله، تولید جمعیت اولیه به صورت تصادفی در محدوده مجاز متغیرها تولید می‌شود. بعد از تولید جمعیت اولیه به منظور بررسی محدودیت‌های مدل حاضر از تابع جریمه استفاده شده است به گونه‌ای که نقض هر محدودیت دارای جریمه‌ای می‌باشد که به تابع هدف اضافه می‌شود. به عبارت دیگر در این مطالعه، میزان تخطی هر جواب از هر محدودیتی را بدست آورده، سپس میانگین آن‌ها را در یک عدد بزرگ منفی ضرب کرده و با تابع هدف جمع کرده، با انجام این روند جواب‌هایی که از محدودیت‌ها تخطی دارند به عنوان جواب نشدنی نشان داده می‌شوند و برای هر جوابی که میزان تخطی آن صفر باشد به عنوان یکی از جواب‌های شدنی مسئله در نظر گرفته می‌شوند.

### نحوه تولید همسایگی در الگوریتم انجماد تدریجی

شکل ۳ نشان دهنده ساختار یک جواب فعلی در الگوریتم انجماد تدریجی می‌باشد که در ادامه برای تولید همسایگی این جواب فعلی به صورت زیر عمل می‌کنیم:

ابتدا یکی از ژن‌های این کروموزوم را به صورت تصادفی انتخاب کرده که برای این کار، در بازه یک تا  $l$  که  $l$  طول کروموزوم است یک عدد تصادفی را بدست آورده، برای مثال عدد تصادفی اگر ۵ باشد پس ژن موردنظر مربوط به بیت پنجم کروموزوم می‌شود در ادامه با احتمال ۰,۵ یک عدد تصادفی به محتوای این بیت اضافه و یا با احتمال ۰,۵ یک عدد تصادفی از آن کم می‌شود که در صورت منفی شدن محتوای بیت، آن را به مثبت تبدیل می‌کنیم. شکل ۴ همسایگی موردنظر برای این جواب فعلی را نشان می‌دهد که در آن با احتمال ۰,۵ یک عدد تصادفی به محتوای بیت پنجم اضافه شده است.

۲	۳	۴	۱	۸	۱۰	۹	۱۴	۱	۲	۵	۳
---	---	---	---	---	----	---	----	---	---	---	---

شکل ۳. ساختار کروموزوم جواب فعلی

۲	۳	۴	۱	۱۱	۱۰	۹	۱۴	۱	۲	۵	۳
---	---	---	---	----	----	---	----	---	---	---	---

شکل ۴. ساختار کروموزوم همسایه برای جواب فعل

### تعیین برازندگی جواب‌های عضو

میزان برازندگی جواب‌های عضو جمعیت الگوریتم ژنتیک برابر با ارزش تابع هدف مسئله است. با توجه به اینکه تابع هدف مسئله یک تابع بیشینه سازی است بنابراین هرچه قدر مقدار تابع هدف یک عضو جمعیت بیشتر باشد آن جواب از ارزش و برازندگی بیشتری نسبت به سایر جواب‌ها برخوردار است.

### نحوه انتخاب برای تولید مجدد

به منظور انتخاب کروموزم‌هایی از جمعیت فعلی جهت تولید نسل بعد از روش‌های تصادفی، تورنومنت، چرخ رولت استفاده می‌شود به گونه ای که مجموع احتمال بکارگیری هر کدام از

روش‌های نام برده برابر یک شود. در روش چرخ رولت به هر فرد قطعه‌ای ۱ از یک چرخ رولت مدور اختصاص داده می‌شود. اندازه این قطعه متناسب با برازندگی آن فرد است. چرخ  $N$  بار چرخانده می‌شود که  $N$  تعداد افراد در جمعیت است. در هر چرخش، فرد زیر نشانگر چرخ انتخاب می‌شود و در مخزن والدین نسل بعد قرار می‌گیرد. این روش می‌تواند به صورت زیر پیاده‌سازی شود:

۱- مقدار شایستگی کل افراد جمعیت را جمع کنید و حاصل آن را  $T$  بنامید.

۲- مراحل زیر را  $N$  بار تکرار کنید:

یک عدد تصادفی  $r$  بین ۰ و  $T$  انتخاب کنید.

در میان افراد جمعیت بگردید و مقدار شایستگی آنها را با هم جمع کنید تا این که مجموع بزرگتر یا مساوی  $r$  شود. فردی که مقدار شایستگی آن باعث بیشتر شدن جمع از این حد می‌شود، به عنوان فرد برگزیده انتخاب می‌شود. در روش تورنومنت دو فرد از جمعیت به صورت تصادفی انتخاب می‌شوند. سپس، یک عدد تصادفی  $r$  بین ۰ و ۱ انتخاب می‌شود. اگر  $r < k$  (که  $k$  یک پارامتر است، برای مثال ۰/۷۵) باشد، فرد برازنده‌تر و در غیر اینصورت فردی که برازندگی کمتری دارد، به عنوان والد انتخاب می‌شود. این دو سپس به جمعیت اولیه بازگردانده می‌شوند و دوباره در فرآیند انتخاب شرکت داده می‌شوند. در روش تصادفی نیز به تصادف از میان جمعیت حاضر، والدین انتخاب می‌شوند که در تحقیق حاضر از روش چرخ رولت استفاده شده است.

### عملگر تقاطع

چندین نوع عملگر تقاطعی متداول وجود دارد که در بسیاری از مسائل بهینه‌سازی قابل کاربرد است. برای تقاطع در بخش‌های کروموزوم می‌توان تقاطع یک نقطه‌ای، دونقطه‌ای و یکنواخت استفاده کرد. در تقاطع یک نقطه‌ای بصورت تصادفی یک نقطه از کروموزوم انتخاب می‌شود و ژن‌های مابعد آن نقطه از کروموزوم‌ها جابجا می‌شود. شکل‌های ۵ و ۶ این

موضوع را نشان می‌دهد. کروموزوم فرزندان جدید حاصل از تقاطع یک نقطه ای بصورت شکل‌های ۷ و ۸ خواهد بود.

۵	۳	۴	۱	۲	۱۰	۸	۱۵	۲	۷
---	---	---	---	---	----	---	----	---	---

شکل ۵. کروموزوم والد اول

۲	۶	۳	۱	۴	۱۳	۷	۱۵	۲	۴
---	---	---	---	---	----	---	----	---	---

شکل ۶. کروموزوم والد دوم

۵	۳	۴	۱	۲	۱۰	۸	۱۵	۲	۷
---	---	---	---	---	----	---	----	---	---

شکل ۷. کروموزوم فرزند اول

۲	۶	۳	۱	۴	۱۳	۷	۱۵	۲	۴
---	---	---	---	---	----	---	----	---	---

شکل ۸. کروموزوم فرزند دوم

در تقاطع دو نقطه‌ای نیز همچنان که در شکل‌های ۹-۱۰ ملاحظه می‌کنید دو نقطه به صورت تصادفی در کروموزوم‌ها انتخاب شده و مقادیر بین این دو نقطه جابجا می‌شوند. کروموزوم فرزندان جدید حاصل از تقاطع دو نقطه ای نیز بصورت شکل‌های ۱۱-۱۲ آمده است.

۵	۳	۴	۱	۲	۱۰	۸	۱۵	۲	۷
---	---	---	---	---	----	---	----	---	---

شکل ۹. کروموزوم والد اول

۲	۶	۳	۱	۴	۱۳	۷	۱۵	۲	
---	---	---	---	---	----	---	----	---	--

شکل ۱۰. کروموزوم والد دوم

۵	۳	۴	۱	۴	۱۳	۷	۱۵	۲	۷
---	---	---	---	---	----	---	----	---	---

شکل ۱۱. کروموزوم فرزند اول

۲	۶	۳	۱	۲	۱۰	۸	۱۵	۲	۴
---	---	---	---	---	----	---	----	---	---

شکل ۱۲. کروموزوم فرزند دوم

در تقاطع یکنواخت یک کروموزوم تصادفی با مقادیر صفر و یک، هم طول با کروموزوم‌های موجود ایجاد کرده و با استفاده از ترکیب خطی بین کروموزوم والدین مطابق رابطه (۳۳)، کروموزوم فرزندان را تولید می‌کنیم.

$$y1=alfa.*x1+(1-alfa).*x2, y2=alfa.*x2+(1-alfa).*x1 \quad (33)$$

که در روابط بالا  $x1$  و  $x2$  کروموزوم والدین،  $alfa$  کروموزوم تصادفی و  $y1$  و  $y2$  کروموزوم فرزندان حاصل از روش تقاطع یکنواخت می‌باشد. به شکل‌های ۱۳ تا ۱۷ توجه کنید.

۵	۳	۴	۱	۲	۱۰	۸	۱۵	۲	۷
---	---	---	---	---	----	---	----	---	---

شکل ۱۳. کروموزوم والد اول

۲	۶	۳	۱	۴	۱۳	۷	۱۵	۲	۴
---	---	---	---	---	----	---	----	---	---

شکل ۱۴. کروموزوم والد دوم

۱	۱	۱	۰	۰	۱	۰	۱	۰	۰
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

شکل ۱۵. بردار تصادفی

۵	۳	۴	۱	۴	۱۰	۷	۱۵	۲	۴
---	---	---	---	---	----	---	----	---	---

شکل ۱۶. کروموزوم فرزند اول

۲	۶	۳	۱	۲	۱۳	۸	۱۵	۲	۷
---	---	---	---	---	----	---	----	---	---

شکل ۱۷. کروموزوم فرزند دوم

ولی از آنجایی که تقاطع دو نقطه ای راه حل‌های بهتری را نسبت به تقاطع یک نقطه ای ارائه می‌دهد، در این تحقیق نیز از تقاطع دو نقطه ای استفاده شده است.

### عملگر جهش

در این پژوهش همچنان که در شکل‌های ۱۸ و ۱۹ برای عملگر جهش ابتدا از بین جمعیت موجود یک کروموزوم را به تصادف انتخاب کرده و آن را کروموزوم والد می‌نامیم حال به صورت تصادفی یکی از مولفه‌های کروموزوم والد را انتخاب کرده و آن را  $z$  می‌نامیم، در

مرحله بعد مولفه مربوط به زرا با یک عدد تصادفی که می تواند از توزیع نرمال یا یکنواخت پیروی کند جمع می کنیم و آن را با کروموزوم فرزند یا  $y$  نشان می دهیم.

۵	۳	۴	۱	۴	۱۰	۷	۱۵	۲	۴
---	---	---	---	---	----	---	----	---	---

شکل ۱۸. کروموزوم والد

۵	۳	۴	۱	۴	۱۴	۷	۱۵	۲	۴
---	---	---	---	---	----	---	----	---	---

شکل ۱۹. کروموزوم فرزند

برای اطمینان خاطر از اینکه مقدار بدست آمده بین حدود تعیین شده برای متغیرها قرار گیرد از دستوره های کنترلی زیر استفاده می کنیم که در روابط بالا  $varmin$  و  $varmax$  بیشترین و کمترین مقدار متغیرها را نشان می دهد.

$$Y_{new} = \min(y, varmax), Y_{new} = \max(y, varmin)$$

## نتایج عددی

به منظور استفاده از مدل های فوق در حل مسائل در دنیای واقعی، چند نمونه مثال عددی تولید و نتایج آن طی جدول ۵ آورده شده است (اعداد اول در جدول تعداد تامین کننده و عدد دوم تعداد تولیدکننده و خرده فروش را نشان می دهد، همچنین داده های مسئله مبتنی بر توزیع یکنواخت و به صورت تصادفی تولید شده است).

## نتیجه گیری و مطالعات آتی

با توجه به آنکه هر یک از اعضای زنجیره نمی توانند بدون در نظر گرفتن تصمیمات دیگر اعضا اقدام به اخذ تصمیم در راستای افزایش سود خود کنند و شرایط بازار به گونه ای است که تغییر کوچکی در تصمیم هر یک از اعضا می تواند باعث به وجود آمدن تغییرات اساسی در هزینه ها و درآمد و تغییر در تصمیم گیری دیگر اعضای زنجیره شود، در این تحقیق حالت همکاری در شرایط مشارکت در سود برای تمامی اعضای زنجیره و مشارکت در هزینه بازاریابی برای محصول در نظر گرفته شده است که هدف مشخص نمودن قیمت فروش برای

خرده فروش، تولید کننده و تامین کننده و مقدار سفارش و مقدار کمبود بهینه برای تولید کننده است. با توجه به اینکه مدل ارائه شده NP-Hard است، از روش های فراابتکاری برای حل مدل استفاده شده است. همچنین برای گسترش مدل پیشنهادات زیر ارائه می شود: در شرایط واقعی امکان به اشتراک گذاری اطلاعات بین اعضای زنجیره به صورت کامل صورت نمی گیرد از بازی های اطلاعات ناقص و ناکامل همچون علامت دهی استفاده شود، در شرایط همکاری از دیگر قراردادهای مشارکت، همچون مشارکت در درآمد، قرارداد بازپس گیری، قراردادهای توافق و ... در مدل سازی استفاده شود، همچنین از دیگر رویکردهای دیفازی کردن برای پارامترهای فازی استفاده شود.

جدول ۵. نتایج الگوریتم های پیشنهادی برای مسائل کوچک

مسائل نمونه				الگوریتم	
۶,۶,۴	۴,۴,۴	۳,۳,۳	۳,۳,۲		
۱۴.۹۲۰۸۴	۳۹.۸۵۲۰۵	۰۳.۳۹۸۷۳	۹.۳۲۷۳۶	ژنتیک	جواب
۳۳۳.۱۱۰۲۱۱	۸۸۲۲۶	۲۴.۳۹۷۷۰	۳۰.۶۶۷.۳۲۷۳۷	انجماد	
۲۶.۱۱۵۸۹۰	۰۳.۹۰۷۲۹	۳۸.۳۹۹۴۱	۹۸.۳۲۷۳۷	ترکیبی	
۲۶.۱۱۹۸۹۰	۰۳.۹۰۹۲۹	۴۵.۴۰۰۱۲	۳۲۷۳۸	گمز	
۳۴.۲۹	۹۹.۲۶	۷۸.۲۵	۵۱.۲۵	ژنتیک	زمان
۷۶.۳۲	۰۱.۲۷	۷۶.۲۶	۲۳.۲۶	انجماد	
۷۶.۳۴	۳۵.۲۹	۲۸	۵۴.۲۷	ترکیبی	
۳.۷۶۷	۴.۵۵۶	۸.۳۷۴	۴.۱۷۳	گمز	
۱۹۲۹۷۶۶.۲۳	۲۹۴۶۲۳۴.۶	۳۴۸۴۴۱۵۴۸.۰	۰۰۳۳۶۰۰۱.۰	ژنتیک	مقدار انحراف از بهترین جواب
۰۷۳۱۵۵۱۲.۸	۹۷۲۶۸۱.۲	۶۰۵۳۳۶۵۸۹.۰	۰۰۲۱۱۷۸۲۴.۰	انجماد	
۳۳۶۳۸۴۴۶.۳	۲۱۹۹۵۱۸.۰	۱۷۷۶۱۹۷۱۶.۰	۰,۶۱۰۹۱۱	ترکیبی	



جدول ۵ (ادامه). نتایج الگوریتم‌های پیشنهادی برای مسائل بزرگ

مسائل نمونه					
۱۲,۱۲,۱۰	۲۰,۲۰,۸	۱۱,۱۱,۹	۱۰,۱۰,۸	۸,۸,۸	الگوریتم
۴.۳۱۴۹۸۲	۳۲۶۴۹۴	۳۷۴۰۰۲	۲۴۷۳۷۸	۷.۱۴۰۱۶۲	ژنتیک
۵.۴۶۷۹۹۲	۲.۵۷۳۵۴۵	۴۰۰۷۱۲	۳۴۲۹۴۶	۶.۱۴۴۸۹۲	انجماد
۱.۵۰۰۳۹۸	۷.۸۵۷۰۰۱	۴۲۸۹۰۴	۵۱۴۹۰۱	۱۵۱۰۱۰	ترکیبی
۶۲.۴۸	۶۹.۴۳	۸۳.۳۹	۸۹.۳۵	۳۵.۳۰	ژنتیک
۶.۴۹	۸.۴۵	۶.۴۲	۶.۳۷	۳۳	انجماد
۶.۵۲	۹.۴۷	۷.۴۵	۸.۳۸	۹.۳۵	ترکیبی
۰.۵۳۶۳.۳۷	۹۰.۲۷۶.۶۱	۸۰۰۴.۱۲	۹۵۶۱.۵۱	۱۸۳۱۷۸.۷	ژنتیک
۴۷۵۹۷۸.۶	۰.۷۵۳۷.۳۳	۵۷۲۹۵.۶	۳۹۵۸.۳۳	۰.۵۰۹۵۲.۴	انجماد
۰	۰	۰	۰	۰	ترکیبی
مقدار انحراف از بهترین جواب					

مسائل نمونه					
۲۰,۲۰,۲۰	۲۰,۲۰,۱۶	۲۸,۲۸,۱۵	۱۵,۱۵,۱۵	۱۵,۱۵,۱۲	الگوریتم
۵۹۷۳۰۲	۶۸۹۲۰۲	۱.۵۰۲۷۶۳	۷.۴۳۳۸۶۸	۴۰۹۲۲۸	ژنتیک
۸۹۲۷۴۴	۸۹۹۹۲۳	۴.۶۱۰۹۳۲	۷.۶۷۲۹۰۱	۶۰۰۳۶۰	انجماد
۹۹۲۷۸۲	۹۰۹۹۸۷	۸.۹۰۲۸۴۳	۱.۹۷۲۷۴۴	۶۸۹۲۷۴	ترکیبی
۳۲.۶۷	۸۲.۶۱	۸.۵۸	۹۳.۵۵	۴۵.۵۲	ژنتیک
۴.۸۲	۶.۷۳	۸.۶۴	۲.۵۸	۹.۵۵	انجماد
۸.۹۷	۸.۸۳	۶.۷۲	۷.۶۵	۹.۵۹	ترکیبی
۸۳۵۵.۳۹	۲۶۲۵.۲۴	۳۱۳۳۹.۴۴	۳۹۷۴۵.۵۵	۶۲۹۲.۴۰	ژنتیک
۰.۷۶۵.۱۰	۱۰۵۹۹.۱	۳۳۲۴۳.۳۲	۸۲۴۳۹.۳۰	۸۹۹۶.۱۲	انجماد
۰	۰	۰	۰	۰	ترکیبی
مقدار انحراف از بهترین جواب					

## منابع

- حنان عموزادمهدير جی ، محمد مدرس یزدی، علی محقر، احمد جعفر نژاد، طراحی مدل رهبری در زنجیره های تامین سه سطحی نامحدود: تئوری بازیهای غیر همکارانه پویا، نشریه مدیریت تولید و عملیات، دوره ۶، شماره ۱، ۱۳۹۴، صفحه ۲۰-۱.
- عطیه ماشلی، داود محمدی تبار، انتخاب تامین کنندگان با رویکرد تئوری بازی همکارانه با در نظر گرفتن محدودیت ظرفیت و ارسال همزمان اقلام، نشریه پژوهش های مهندسی صنایع و سیستم های تولید، دوره ۵، شماره ۱۰، ۱۳۹۶، صفحه ۹۷-۸۳.
- یحیی زارع مهرجردی، حسن رسایی، محمد صابر فلاح نژاد، سیستم مدیریت موجودی توسط فروشنده در حالت یک فروشنده و چندین خرده فروش، نشریه بین المللی مهندسی صنایع و مدیریت تولید جلد ۲۴، شماره ۳، ۱۳۹۲، صفحات ۲۶۹-۲۸۲.
- آمنه خدیور، عادل آذر، فاطمه مجیبیان، قیمت گذاری محصول در یک زنجیره تامین دوسطحی با استفاده از مفهوم تئوری بازیها در محیط فازی شهودی، مطالعات مدیریت صنعتی، دوره ۱۴، شماره ۴۳، ۱۳۹۵، صفحه ۲۵-۱.
- مسعود داداشی، مرتضی راستی برزکی ، سیدرضا حجازی، قیمت گذاری در یک زنجیره تامین متمرکز دوسطحی شامل یک خرده فروش و دو حمل و نقل کننده با استفاده از رویکرد متمرکز در نظریه بازیها، نشریه مدیریت و صنایع شریف، سال ۳۴ شماره ۱، ۱۳۹۷، صفحه ۱۵-۳.
- مریم عزیزی، حمیدرضا نویدی، ارائه مدل تخصیص ظرفیت در زنجیره تامین چند دوره ای: رویکرد تئوری بازیها، مجله مدیریت و صنایع شریف، دوره ۳۳، شماره ۱، ۲، ۱۳۹۶، صفحه ۳۵-۴۲.

Chopra, S., & Meindl, P. (2007). *Supply chain management. Strategy, planning & operation* (pp. 265-275).

Zhao, J., & Wei, J. (2014). *The coordinating contracts for a fuzzy supply chain with effort and price dependent demand*. *Applied Mathematical Modelling*, 38(9), 2476-2489.

Zhou, C., Zhao, R., & Tang, W. (2008). *Two-echelon supply chain games in a fuzzy environment*. Computers & Industrial Engineering, 55(2), 390-405.

Ryu, K., & Yücesan, E. (2010). *A fuzzy newsvendor approach to supply chain coordination*. European Journal of Operational Research, 200 (2), 421-438.

Wang, S. D., Zhou, Y. W., Min, J., & Zhong, Y. G. (2011). *Coordination of cooperative advertising models in a one-manufacturer two-retailer supply chain system*. Computers & Industrial Engineering, 61(4), 1053-1071.

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.

Aust, G., & Buscher, U. (2012). *Vertical cooperative advertising and pricing decisions in a manufacturer-retailer supply chain: A game-theoretic approach*. European Journal of Operational Research, 223(2), 473-482.

Jaber, M. Y., Osman, I. H., & Guiffrida, A. L. (2006). *Coordinating a three-level supply chain with price discounts, price dependent demand, and profit sharing*. International Journal of Integrated Supply Management, 2(1), 28-48.

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.

Yu, Y., & Huang, G. Q. (2010). *Nash game model for optimizing market strategies, configuration of platform products in a Vendor Managed Inventory (VMI) supply chain for a product family*. European Journal of Operational Research, 206, 361-373.

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.

Sinha, A., Malo, P., Frantsev, A., & Deb, K. (2014). *Finding optimal strategies in a multi-period multi-leader-follower Stackelberg game*

---

*using an evolutionary algorithm.* Computers & Operations Research, 41, 374-385.

Kirkpatrick, S., Gelatt, C.D., & Vecchi, M. P. (1983) *Optimization by simulated annealing*, Science, 220, 671-680.

Cerny, V. (1985). *A Thermodynamical approach to the traveling salesman problem: An efficient simulation algorithm*, Journal of Optimization Theory and Applications, 45, 41-51.