پژوهش‌های نوین در تصمیم‌گیری
دوره ۲، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۶

مدل‌سازی چندمرحله‌ای مسئله زنجیره تأمین سه سطحی غیرهمکارانه با در نظر گرفتن تخفیف در شرایط عدم قطعیت

جواد بهنامیان[۱*]، محمدمهدی بشر[۲]

۱- استادیار، گروه مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران
۲- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران

پذیرش: ۱۳۹۵/۸/۱۳ دریافت: ۱۳۹۶/۲/۱۷

چکیده

هدف مدیریت زنجیره تأمین، بهبود فعالیت‌های مختلف اجزا و سطوح یک زنجیره تأمین به‌منظور دستیابی به حداکثر سود ممکن است، اما دستیابی به این هدف با توجه به این نکته که بین اهداف اجزا و سطوح مختلف تضاد و تناقضات بسیاری مشاهده می‌شود، به‌صورت کامل امکان‌پذیر نخواهد بود و این تناقضات به‌مرورزمان به کاهش قدرت و رقابت‌پذیری منجر خواهد شد؛ ازجمله این تناقضات می‌توان به قیمت‌گذاری، موجودی و هزینه‌های مرتبط به اجزا و سطوح اشاره کرد. در این تحقیق، مسئله زنجیره تأمین سه سطحی با استفاده از رویکرد نظریه بازی‌ها و در نظر گرفتن وابستگی تقاضا به قیمت فروش و هزینه بازاریابی فازی، به‌صورت تخفیف کلی موردبررسی قرار گرفته است. مسئله با فرض عدم همکاری بین سطوح گوناگون و بازی استاکلبرگ که در آن هر یک از سطوح با توجه به شرایط بازار می‌توانند نقش رهبر را داشته باشند، مدل شده است. اهداف مسئله شامل تعیین بهترین تصمیم هر یک از بازیکنان برای تعیین مقدار سفارش بهینه و کمبود برای تولیدکننده و قیمت فروش هر بازیکن با توجه به کمبود، تخفیف و هزینه‌های نگهداری، خرید و بازاریابی برای دستیابی به حداکثر درآمد، حداقل هزینه‌ها و درمجموع آن، حداکثر سود ممکن برای کل بازیکنان شرکت‌کننده در زنجیره است. برای حل مدل از نرم‌افزار گمز و الگوریتم‌های فرا ابتکاری استفاده شده و نهایتاً با تولید مثال‌های مختلف، سود اعضای زنجیره در شرایط مختلف رهبری موردبررسی و تجزیه‌وتحلیل قرار گرفته است.

---

* نویسنده مسئول مقاله: E-mail: behnamian@basu.ac.ir

واژگان کلیدی: زنجیره تأمین، نظریه بازی، استاکلبرگ، الگوریتم فرا ابتکاری، قیمت فروش.

۱- مقدمه

مسئله موردبررسی در این مقاله، یک زنجیره تأمین سه سطحی، شامل یک یا چند تأمین‌کننده، تولیدکننده و خرده‌فروش است. هر یک از این بازیکنان با توجه به فرضیات در نظر گرفته شده به دنبال انتخاب بهترین تصمیم ممکن و راهکارهایی برای کاهش هزینه‌های خود، ازجمله هزینه نگهداری، خرید، سفارش دهی و از طرف دیگر، افزایش فروش و کسب درآمد بیشتر و درنهایت افزایش سود خود می‌باشند، اما تصمیم آن‌ها ممکن است درنهایت منجر به کاهش درآمد و افزایش هزینه‌ها شود، زیرا این تصمیم‌گیری بدون در نظر گرفتن دیگر عوامل دخیل در شرایط زنجیره تأمین صورت گرفته است [۱]. در واقعیت، هر یک از اعضای زنجیره نمی‌توانند بدون در نظر گرفتن تصمیمات دیگر اعضا اقدام به اخذ تصمیم در راستای افزایش سود خود کنند، زیرا شرایط بازار به‌گونه‌ای است که تغییری کوچک در تصمیم هر یک از اعضا می‌تواند باعث به وجود آمدن تغییرات اساسی در هزینه‌ها و درآمد دیگر اعضای زنجیره شده و باعث به وجود آمدن تغییر در تصمیم‌گیری اعضا شود. از آنجائی که هدف اصلی در این مسئله، تحلیل اثرات رفتارهای گوناگون رقابتی میان اعضای زنجیره و تأثیر تصمیمات آن‌ها بر روی تصمیمات بهینه اعضا و درنهایت، سود یک زنجیره تأمین است، استفاده از نظریه بازی‌ها در این‌گونه مسائل مورد توجه است [۲]. در اینجا فرض وجود وابستگی تقاضا به قیمت فروش و هزینه بازاریابی فازی با هدف بیشینه کردن سود موردبررسی قرار گرفته است. برای حل مسئله از رویکرد نظریه بازی‌ها در شرایط غیرهمکارانه استفاده شده است و با توجه به غیرهمکارانه بودن بازی، از تعادل استاکلبرگ، با فرض وجود سه سناریو، استفاده شده است که در هر سناریو یکی از سطوح نقش رهبر را بر عهده دارد. هدف از این مدل‌ها مشخص نمودن قیمت بهینه فروش به خرده‌فروشان، تولیدکنندگان و تأمین‌کنندگان و مقدار تولید اقتصادی و مقدار کمبود تولیدکننده برای بیشینه‌سازی سود است. بعد از حل این مدل‌ها در ابعاد کوچک مسائل با استفاده از نرم‌افزار گمز و با توجه *NP-Hard* بودن مسئله، روش فرا ابتکاری ترکیبی برای حل پیشنهاد شده است [۳].

بخش دوم به مرور ادبیات و بخش سوم بـه معرفـی مـدل ریاضـی مـی‌پـردازد. در بخش چهارم بازی‌های استاکلبرگ و فازی‌سازی آن موردتوجه قرار گرفته اسـت. در بخش پنجم توضیح مربوط به الگوریتم پیشنهادی ارائه شـده اسـت. بخـش ششـم بـه گـزارش نتـایج عـددی بـرای اعتبارسـنجی مـدل ریاضـی و الگـوریتم پیشـنهادی در مثال‌های با ابعاد کوچک و بزرگ اختصاص یافته است. درنهایت نیـز در بخـش هفـتم نتیجه‌گیری ارائه شده است.

۲- مرور ادبیات

آوست[۱] و همکارش در پژوهشی مدل دوسطحی زنجیـره تـامین شـامل تولیدکننـده و خرده‌فروش را با استفاده از رویکـرد نظریـه بـازی‌هـا و نـوع بـازی غیـر همکـاری 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 بـازی‌هـای مختلـف است [۵].

کای[۲] و همکارانش در پژوهشی مـدل دوسـطحی زنجیـره تـأمین شـامل خریـدار و فروشنده را با استفاده از رویکرد نظریه بازی‌هـا در شـرایطی کـه کمبـود بـه‌صـورت فروش ازدست‌رفته، مجاز بوده و تقاضا بـه دو صـورت قطعـی و غیرقطعـی در نظـر گرفتـه شـده را ارائـه کردنـد. هـدف از مـدل مشـخص نمـودن قیمـت‌گـذاری و مقـدار سفارش‌دهی بهینه برای رسیدن به حداکثر سود هر یـک از اعضـای زنجیـره اسـت و برای حل آن، از الگوریتم جستجو استفاده شده است [۴].

ژاوو[۳] و همکارانش مدل دوسطحی زنجیره تأمین را با استفاده از بازی همکاری در شرایطی که تقاضا فازی بوده و به قیمت فـروش وابسـته اسـت، در دو مـدل مختلـف ارائـه کردنـد کـه در مـدل اول اطلاعـات بـه‌صـورت کامـل و در مـدل دوم اطلاعـات به‌صورت ناقص در اختیار خریدار قرار گرفته شده است [۶].

موتاز خوجا[۴] مدل سه سطحی زنجیره تأمین را با استفاده از بـازی همکـاری و بـا در نظر گرفتن سه سیکل زمانی مختلف برای هر یک از اعضای زنجیره ارائه کـرد کـه هدف از این مدل کاهش هزینه‌ها و دستیابی به سود بیشتر بـرای هـر یـک از اعضـای زنجیره است [۷].

جابر[۵] و همکارانش مدل سه سطحی زنجیره تأمین را با استفاده از نوع بازی همکاری و با در نظر گرفتن تخفیف به‌صورت کلی و وابستگی تقاضای خرده‌فروش به قیمت با هدف تقسیم سود بین اعضا و دستیابی به حداکثر سود اعضای زنجیره را ارائه کردند [۸].

جابر و همکارانش 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 [۹].

یو[۶] و همکارانش مدل سه سطحی را با استفاده از دو نوع مختلف بازی نش[۷] 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؛ برای به دست آوردن جواب از الگوریتم ژنتیک استفاده شده است [۱۰].

هوانگ[۸] و همکارانش مدل سه سطحی زنجیره تأمین را برای انتخاب تأمین‌کنندگان، قیمت‌گذاری و سیاست‌های موجودی با استفاده از نوع بازی غیر همکاری ارائه کردند که هدف از مدل، تعیین نقطه تعادلی نش برای دستیابی به حداکثر سود می‌باشد [۱۱].

سینها[۹] و همکارانش مدل سه سطحی زنجیره تأمین را با استفاده از نوع بازی استاکلبرگ و با در نظر گرفتن هزینه و تقاضا، به‌صورت غیرخطی ارائه کردند که هدف مدل، انتخاب بهترین استراتژی برای هریک از بازیکنان برای دستیابی به حداکثر سود ممکن است [۱۲].

با توجه به مرور صورت گرفته می‌توان به این نتیجه رسید که اولاً تعداد مقالات انجام‌شده در مدل سه سطحی زنجیره تأمین و نظریه بازی‌ها در مقایسه به دوسطحی بسیار کمتر بوده است. در ضمن، بررسی‌های صورت گرفته نشان از عدم توجه کافی به موضوع وابستگی تقاضا به قیمت فروش دارد. همچنین با وجود واقعی‌تر شدن مسئله با در نظر گرفتن عدم قطعیت در آن، به دلیل پیچیدگی مضاعف حاصل، در هیچ تحقیقی عدم قطعیت از جنس فازی موردتوجه محققین قرار نگرفته است. لذا در این تحقیق مسئله زنجیره تأمین سه سطحی با استفاده از رویکرد نظریه بازی‌ها و در نظر گرفتن وابستگی تقاضا به قیمت فروش و هزینه بازاریابی فازی و تخفیف به‌صورت کلی موردبررسی قرار گرفته است.

۳- بیان مسئله و مدل‌سازی

مسئله زنجیره تأمین 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 تهیه‌ی مواد اولیه و صرف هزینه محصولات را تولید و به خرده‌فروشان عرضه می‌کند. تأمین‌کنندگان نیز برای تهیه‌ی مواد اولیه‌ی تولیدکنندگان، باید مواد اولیه‌ی موردنظر تولیدکننده را با صرف هزینه‌ای تهیه یا استخراج نمایند و برای تولید به دست تولیدکنندگان برسانند. مدل پیشنهادی با توجه به مفروضات زیر ارائه شده است:

(۱) تقاضای محصولات در زنجیره تأمین، تابعی از قیمت خرده‌فروشان به مشتریان و هزینه‌های صرف شده بابت تبلیغات محصول است. (۲) هزینه‌های صرف شده برای تبلیغات محصول، جزء آن دسته از هزینه‌هایی است که به‌طور قطعی نمی‌توان آن را مشخص نمود؛ در این مدل هزینه بازاریابی به‌صورت عدد فازی در نظر گرفته شده است. (۳) برای مواد اولیه‌ای که تأمین‌کنندگان به تولیدکنندگان عرضه می‌کنند، تخفیف به‌صورت کلی در نظر گرفته شده است. (۴) کمبود در سیستم برای تولیدکننده مجاز است و به ازای هر واحد کمبود، هزینه‌ای به تولیدکننده تحمیل خواهد شد. همچنین تولید به‌صورت 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 موردنیاز را از چندین تأمین‌کننده تهیه کند، اما هر تأمین‌کننده فقط یک نوع ماده اولیه را برای تولیدکنندگان ارسال می‌کند.

۳-۱- مدل‌سازی

مدل پایه بر اساس مقاله [۱۳] بنا شده و درنتیجه انتخاب توابع هدف، متغیرهای تصمیم، پارامترها بر اساس این مقاله صورت گرفته است. گفتنی است مدل دوسطحی

موجود در ادبیات به مدل واقعی‌تر سه سطحی تبدیل شده و نیز وابستگی تقاضا به قیمت فروش و هزینه بازاریابی فازی و تخفیف در مدل گنجانده شده و مدل به‌روزآوری شده است. اندیس‌های استفاده‌شده در تمام مدل‌ها به‌صورت تعداد تأمین‌کنندگان $M = \{1,2,3,...,m\}$، تعداد تولیدکنندگان $N = \{1,2,3,...,n\}$، تعداد خرده‌فروشان $R = \{1,2,3,...,r\}$ است.

۳-۲- تابع سود خرده‌فروشان

تعداد R خرده‌فروش در زنجیره تأمین فعالیت می‌نمایند که هر خرده‌فروش محصول موردنظر خود را تنها از یک تولیدکننده تأمین می‌نماید. در حالت کلی، سود هر خرده‌فروش حاصل تفاضل درآمدهای وی از هزینه‌های اوست. در چنین شرایطی، خرده‌فروش با هزینه‌های سفارش، هزینه‌های نگهداری و هزینه‌های بازاریابی صرف شده برای هر محصول مواجه است. از سوی دیگر، حاشیه سود هر خرده‌فروش حاصل تفاضل قیمت پرداخت‌شده‌ی تولیدکننده برای خرید انبوه از قیمت فروش به مشتری است. متغیرها و پارامترهای مورداستفاده برای محاسبه سود خرده‌فروشان در زیر فهرست و معرفی شده است. همچنین با توجه به فرض مسئله، محصول نهایی هر تولیدکننده تنها برای یک خرده‌فروش ارسال می‌شود، درنتیجه تعداد تولیدکنندگان و خرده‌فروشان برابرند.

پارامترها

P_n: قیمت فروش انبوه محصول nام از سوی تولیدکننده؛

D_n: تابع تقاضای محصول nام؛

C_{m_r}: هزینه بازاریابی صرف شده از سوی خرده‌فروش rام؛

Q_n: مقدار تولید تولیدکننده nام از محصول nام؛

K: ثابت تابع تقاضا؛

α: ضریب کشش قیمت در تابع تقاضا؛

β: ضریب تأثیر تبلیغات در تابع تقاضا؛

C_{s_r}: هزینه ثابت سفارش‌دهی برای خرده‌فروش rام در هر بار سفارش؛

k'_n: سهم هزینه نگهداری از قیمت خرید محصول nام؛

PC_n: ظرفیت تولید برای تولیدکننده nام؛

TR_r: مجموع درآمد خرده‌فروش rام؛

TMC_r: مجموع هزینه بازاریابی خرده‌فروش rام؛

TSC_r: مجموع هزینه سفارش دهی خرده‌فروش rام؛

THC_r: مجموع هزینه نگهداری خرده‌فروش rام؛

TC_r: مجموع هزینه‌های خرده‌فروش rام.

متغیر تصمیم P_r: قیمت فروش از سوی خرده‌فروش rام به مشتری نهایی.

مدل خرده‌فروش، با در نظر گرفتن محدودیت‌های تقاضا و حاشیه فروش، به‌صورت زیر است:

$$Max\, z_r = TR_r - TMC_r - THC_r - TSC_r - TC_r \quad (۱)$$

$$Max\, z_r = K.P_r^{-\alpha}.\bar{C}_{m_r}^{\beta}.P_r - K.P_r^{-\alpha}.\bar{C}_{m_r}^{\beta}.P_n - K.P_r^{-\alpha}.\bar{C}_{m_r}^{\beta+1} - K.P_r^{-\alpha}.\bar{C}_{m_r}^{\beta}C_{s_r}.Q^{-1}{}_n - \frac{1}{2}Q_n.K'_n.P_n \quad (۲)$$

$$Max\, z_r = (K.P_r^{-\alpha}.\bar{C}_{m_r}^{\beta}[P_r - P_n - \bar{C}_{m_r}^{\beta} - \bar{C}_{m_r}^{\beta}C_{s_r}.Q^{-1}{}_n] - \frac{1}{2}Q_n.K'_n.P_n \quad (۳)$$

$$S.t:\ P_r - P_n \geq 0 \quad (۴)$$

$$CP_n \geq D_n \quad (۵)$$

$$D_n = K.P_r^{-\alpha}.\bar{C}_{m_r}^{\beta} \quad (۶)$$

$$K > ۰, D_n > ۰, P_r^{-\alpha} > ۰, C_{m_r}^{\beta} > ۰, P_n > ۰,\ Q_n \geq ۰, K'_n > ۰, C_{s_r} > ۰, \alpha > ۱, ۰ < \beta < ۱,\ \alpha - \beta > ۱ \quad (۷)$$

تابع هدف (۱) نشان‌دهنده سود خرده‌فروش است که از تفاضل درآمد و هزینه‌ها (هزینه خرید، هزینه بازاریابی و هزینه سفارش‌دهی) به دست آمده است. محدودیت (۴) نشان می‌دهد که قیمت فروش خرده‌فروش rام به مشتری نهایی باید بزرگ‌تر یا مساوی قیمت فروش انبوه محصول nام از سوی تولیدکننده باشد. محدودیت (۵)

محدودیت ظرفیت تولیدکننده است؛ یعنی تقاضای مشتری محصول nام باید کوچک‌تر یا مساوی ظرفیت تولید تولیدکننده nام باشد. محدودیت (۶) نحوه به دست آمدن مقدار تقاضا برای محصول nام را نشان می‌دهد. محدودیت (۷) حدود پارامترها و متغیرهای مسئله را مشخص می‌کند.

۳-۳- تابع تولیدکنندگان

تعداد N تولیدکننده در زنجیره تأمین فعالیت می‌نمایند که هر تولیدکننده محصول خود را تنها به یک خرده‌فروش ارائه می‌نماید. از سوی دیگر، تولیدکننده مواد موردنیاز برای تولید محصولات خود را از M تأمین‌کننده‌ی فعال در زنجیره تأمین دریافت می‌نماید که هر یک از مواد خام می‌توانند سهم متفاوتی در تأمین نیاز تولیدی محصولات مختلف داشته باشند. از طرفی فرض شده که هر تأمین‌کننده، بر اساس شرایط خود، تخفیفی برای فروش ماده اولیه برای تولیدکننده در نظر می‌گیرد. هر تولیدکننده از فروش محصول به خرده‌فروش درآمدی کسب نموده و از سوی دیگر، برای تولید محصول با هزینه‌هایی مثل تأمین مواد اولیه، کمبودهای احتمالی، سفارش‌دهی و راه‌اندازی خط تولید مواجه است؛ بنابراین در این بخش، سود تولیدکنندگان فعال در زنجیره تأمین موردنظر است. متغیرها و پارامترهای مورداستفاده برای محاسبه سود تولیدکنندگان در زیر معرفی شده است:

پارامترها

k_{s_n}: ضریب مصرف ماده اولیه sام در تولید محصول nام؛

$C^{l}_{p_s}$: قیمت خرید هر واحد از ماده اولیه sام با توجه به محدوده تخفیف lام؛

C_{s_n}: هزینه ثابت راه‌اندازی برای تولید هر واحد محصول nام برای تولیدکننده nام؛

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

u: ثابت تابع هزینه تولید هر واحد محصول nام؛

C_{h_n}: هزینه نگهداری هر واحد محصول nام؛

C_{B_n}: هزینه هر واحد کمبود برای محصول نهایی nام برای تولیدکننده nام؛

ϕ'_n: ضریب قیمت فروش nام در حالت بهترین تصمیم؛

PC_n: ظرفیت تولید برای تولیدکننده nام؛

D_n: تابع تقاضای محصول nام؛

TR_n: مجموع درآمدهای تولیدکننده nام؛

$\mathrm{TBC_n}$: مجموع هزینه‌های خرید از تأمین‌کنندگان برای تولیدکننده nام؛

TOC_n: مجموع هزینه‌های راه‌اندازی و سفارش برای تولیدکننده nام؛

TPC_n: مجموع هزینه‌های تولید برای تولیدکننده nام؛

$\mathrm{THC_n}$: مجموع هزینه‌های نگهداری محصول نهایی برای تولیدکننده nام؛

$\mathrm{TSC_n}$: مجموع هزینه‌های کمبود محصول برای تولیدکننده nام.

متغیرهای تصمیم

$\mathrm{B_n}$: مقدار کمبود محصول nام برای تولیدکننده nام؛

$\mathrm{Q_n}$: مقدار تولید تولیدکننده nام از محصول nام؛

$\mathrm{P_n}$: قیمت فروش انبوه محصول nام از سوی تولیدکننده.

همچنین گفتنی است که برای ساده‌سازی به‌جای $(1-\frac{\mathrm{D_n}}{\mathrm{PC_n}})$، پارامتر λ_n در مدل جایگذاری شده است. مدل کلی یک تولیدکننده در زنجیره تأمین سه سطحی، با در نظر گرفتن محدودیت، به‌صورت زیر است:

$$Max\ Z_n = TR_n - TBC_n - TOC_n - TPC_n - THC_n - TSC_n \qquad (۸)$$

$$= \left[(P_n - \sum_{s=1}^{M}(K_{s_n}.C^{l}_{p_s}))D_n\right] - \left[(\sum_{s=1}^{M}(C_{O_{sn}}) + C_{s_n})\frac{D_n}{Q_n}\right] - \left[u.K.P_r^{-\alpha}.C^{\beta}_{m_r}\right] - \left[C_{h_n}\frac{(\lambda_n Q_n - B_n)^2}{2\lambda_n.Q_n}\right] - \left[\frac{C_{B_n}B_n^{\ 2}}{2\lambda_n.Q_n}\right] \qquad (۹)$$

$$S.t: P_n - \sum_{s=1}^{M}(K_{s_n}.C^{l}_{p_s}) \geq 0 \qquad (۱۰)$$

$$CP_n \geq D_n \qquad (۱۱)$$

$$D_n = K.P_r^{-\alpha}.C^{\beta}_{M_r} \qquad (۱۲)$$

$$K>0, u>0, P_n>0, K_{s_n}>0, C^{l}_{p_s}>0, D_n>0, C_{O_{sn}}>0, C_{s_n}>0, Q_n \geq 0, P_r^{-\alpha}>0, C^{\beta}_{m_r}$$
$$, PC_n>0, B_n \geq 0, C_{B_n} \geq 0, C_{h_n} \geq 0, \alpha>1, 0<\beta<1, \alpha-\beta>1 \qquad (۱۳)$$

تابع هدف (۸) نشان دهنده سود تولیدکنندگان است که از تفاضل درآمد و هزینه‌ها (هزینه خرید، هزینه سفارش‌دهی، هزینه تولید، هزینه نگهداری و هزینه کمبود) به دست آمده است. محدودیت (۱۰) نشان می‌دهد که قیمت فروش انبوه محصول nام از سوی تولیدکننده باید بزرگ‌تر یا مساوی مجموع هزینه خرید مواد اولیه موردنیاز برای ساخت محصول nام باشد. محدودیت (۱۱) محدودیت ظرفیت تولیدکننده است؛ یعنی تقاضای مشتری برای محصول nام باید کوچک‌تر یا مساوی ظرفیت تولید برای تولیدکننده nام باشد. محدودیت (۱۲) نحوه به دست آمدن مقدار تقاضا برای محصول n ام را نشان می‌دهد. محدودیت (۱۳) حدود پارامترهای مسئله را مشخص می‌کند.

۳-۴- مدل تأمین‌کنندگان

سود هر تأمین‌کننده حاصل تفاضل درآمدهای حاصل از ارسال ماده اولیه به تولیدکنندگان مختلف از هزینه‌های صرف شده به‌منظور تأمین/استخراج مواد اولیه است. در ضمن، محدودیت عقلایی بودن رفتار تأمین‌کنندگان نیز باید مدنظر قرار گیرد؛ بدین منظور که تأمین‌کننده زمانی در بازی سه سطحی زنجیره تأمین مشارکت خواهد داشت که حاشیه سود بازی مثبت باشد در غیر این صورت مشارکت در بازی به‌طور کامل زیان‌آور بوده و عقلانی نیست و با فرض نظریه بازی‌ها در تضاد است. همچنین هر یک از تأمین‌کنندگان، با توجه به شرایط خود، تخفیفی به‌صورت کلی برای تمامی واحدها مطابق جدول زیر در نظر می‌گیرند؛ بنابراین قیمت فروش مواد اولیه به مقدار خرید تولیدکننده وابسته بوده و متناسب با آن تغییر می‌کند. متغیرها و پارامترهای مدل سود تأمین‌کنندگان در زیر معرفی شده است:

پارامترها

k_{s_n}: ضریب مصرف ماده اولیه sام در تولید محصول nام؛

$\phi^1{}_s$: ضریب قیمت فروش بهترین تصمیم تأمین‌کننده sام با توجه به مقدار خرید تولیدکننده nام. تخفیف در مدل پیشنهادی به‌صورت کلی و برای تمامی واحدها و مطابق با جدول ۱ است:

جدول ۱. مقادیر تخفیف کلی

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

$C^l{}_{p_s}$: قیمت فروش هر واحد از ماده اولیه sام با توجه به محدوده تخفیف lام؛

C_{s_s}: هزینه ثابت هر بار تأمین یا استخراج ماده اولیه sام برای تأمین‌کننده sام؛

K_{s_s}: سهم هزینه نگهداری از هزینه تأمین یا استخراج ماده اولیه sام؛

C_{s_o}: هزینه تأمین یا استخراج هر واحد از ماده اولیه sام؛

Q_n: مقدار تولید تولیدکننده nام از محصول nام؛

TR_s: مجموع درآمدهای تأمین‌کننده sام؛

TPC_s: مجموع هزینه‌های خرید/ تأمین یا استخراج ماده اولیه برای تأمین‌کننده sام؛

TSC_s: مجموع هزینه‌های ثابت تأمین یا استخراج ماده اولیه برای تأمین‌کننده sام؛

THC_s: مجموع هزینه‌های نگهداری ماده اولیه برای تأمین‌کننده sام؛

TC_s: مجموع هزینه‌های متحمل شده توسط تأمین‌کننده sام.

متغیر تصمیم

$C^l{}_{p_s}$: قیمت خرید هر واحد از ماده اولیه sام با توجه به محدوده تخفیف lام.

با در نظر گرفتن محدودیت رفتار عقلانی هر تأمین‌کننده، مدل به‌صورت زیر خواهد بود:

$$Max\ z_s = TR_s - TPC_s - TSC_s - THC_s \qquad (۱۴)$$

$$Max\ z_s = \left[(C^l{}_{p_s} - C_{s_o}) \sum_{n=1}^{N} K_{s_n} . D_n \right] - \left[\sum_{n=1}^{N} \frac{D_n}{Q_n} C_{s_s} \right] - \left[\sum_{n=1}^{N} K_{s_s} . C_{s_o} . K_{s_n} . \frac{Q_n}{2} \right] \qquad (۱۵)$$

$$S.t: C^{l}_{p_s} - C_{s_o} \geq 0 \qquad \forall s \in M \tag{۱۶}$$

$$D_n = K.P_r^{-\alpha}.\overline{C}^{\beta}_{m_r} \qquad \forall n \in N \tag{۱۷}$$

$$K>0, C^{l}_{p_s}>0, C_{s_o}>0, K_{s_n}>0,, D_n>0, C_{s_s}>0, Q_n \geq 0, K_{s_s}>0, C_{s_o}>0, \alpha>1 \tag{۱۸}$$
$$0<\beta<1, \alpha-\beta>1$$

تابع هدف (۱۴) نشان دهنده سود تأمین‌کنندگان است که از تفاضل درآمد و هزینه‌ها (هزینه خرید، هزینه سفارش‌دهی و هزینه نگهداری) به دست آمده است. محدودیت (۱۶) نشان می‌دهد که قیمت فروش هر واحد از ماده اولیه sام با توجه به محدوده تخفیف lام باید بزرگ‌تر یا مساوی هزینه ثابت هر بار تأمین یا استخراج ماده اولیه sام برای تأمین‌کننده sام باشد. محدودیت (۱۷) نحوه به دست آمدن مقدار تقاضا برای محصول n ام را نشان می‌دهد.

۳-۵- بهترین پاسخ‌های بازیکنان

همواره تمامی بازیکنان نبست به بهترین تصمیمات سایر بازیکنان از خود واکنش نشان می‌دهند. به این دلیل که سایر بازیکنان نیز از آگاهی برخوردار بوده و هیچ‌گاه به کمتر از حد بهینه‌ی خود رضایت نخواهند داد، بنابراین هر یک از تأمین‌کنندگان، تولیدکنندگان و خرده‌فروشان بهترین تصمیم ممکن برای رسیدن به حداکثر سود را شناسایی و در حل بازی از آن بهره خواهند برد. حال با توجه به اینکه بازی موردبررسی در این تحقیق، بازی غیر همکاری با استفاده از تعادل استاکلبرگ است، بنابراین بازیکنان پیرو بهترین پاسخ ممکن به تصمیم رهبر را انتخاب می‌کنند و رهبر با توجه به پاسخ پیرو تابع هدفش را بهینه می‌کند؛ یا به‌عبارت‌دیگر هر یک از اعضا به دنبال حداکثر سود ممکن خود هستند و بهترین تصمیم ممکن را با توجه به تابع هدف خود دنبال می‌کنند. حال که یکی از اعضای زنجیره تأمین در نقش رهبر قرار می‌گیرد و تصمیم اولیه از او شروع می‌شود، پس بهترین تصمیم برای رهبر همان تصمیمی خواهد بود که منجر به دستیابی به حداکثر سود ممکن شود، زیرا می‌داند که دیگر

اعضای زنجیره، بهترین تصمیمشان به چه صورتی خواهد بود. بنابراین بعد از تصمیم رهبر، دیگر اعضای مجموعه باید با توجه به تصمیم رهبر اقدام به حداکثرسازی سود خود نمایند. حال با توجه به توضیحات ارائه‌شده، به‌منظور مشخص شدن بهترین پاسخ ممکن برای هر یک از بازیکنان، بدون توجه به دیگر بازیکنان، باید از تابع سود برحسب متغیرهای تصمیم مشتق گرفته شود. با توجه به اینکه توابع ارائه‌شده همگی از نوع حداکثرسازی، و نسبت به متغیرهای تصمیم مقعر هستند، درنتیجه جوابی که از مشتق‌گیری به دست خواهد آمد، بهترین جواب ممکن خواهد بود. بنابراین برای به دست آوردن بهترین جواب بازیکنان، از تابع سود خرده‌فروش برحسب قیمت فروش، از تابع سود تولیدکننده برحسب قیمت فروش محصول به خرده‌فروش و مقدار سفارش‌دهی و کمبود و از تابع سود تأمین‌کننده برحسب قیمت فروش مواد اولیه مشتق گرفته می‌شود. در جدول ۲ وضعیت کلی بازیکنان زنجیره تأمین خلاصه شده است:

جدول ۲ وضعیت کلی بازیکنان زنجیره تأمین

نام بازیکن	نماد	تعداد	متغیرها	بهترین پاسخ
خرده‌فروش	R	$r \in \{1,2,...,k\}$	P_{r_n}	$P_r^* = \frac{\alpha(P_n + C_{m_r} + C_{s_r}.Q^{-1}{}_n)}{\alpha - 1}$
تولیدکنندگان	N	$n \in \{1,2,...,N\}$	P_n	$P_n = \phi_n'\left(\left[\sum_{s=1}^{M}(K_{s_n}.C^{*l}{}_{p_s})\right] + \left[\frac{(\sum_{s=1}^{M}(C_{o_m}) + C_{s_n})}{Q_n^*}\right]\right)$
			Q_{r_n}	$Q_n = \sqrt{\frac{2.(\sum_{s=1}^{M}(C_{o_m}) + C_{s_n}).D_n}{E_n.\lambda_n.C_{B_n}}}$
			B_n	$B_n = \sqrt{\frac{2.(\sum_{s=1}^{M}(C_{o_m}) + C_{s_n}).D_n.E_n.\lambda_n}{C_{B_n}}}$
تأمین‌کنندگان	S	$s \in \{1,2,...,M\}$	$C^l{}_{p_s}$	$C^l_{p_s} = \phi^l{}_s\left[C_{s_o} + \frac{(\sum_{n=1}^{N}\frac{D_n}{Q_n}C_{s_s}) + (\sum_{n=1}^{N}K_{s_s}.C_{s_o}.K_{s_n}.\frac{Q_n}{2})}{\sum_{n=1}^{N}K_{s_n}.D_n}\right]$

۴- بازی‌های استاکلبرگ

در اینجا در یک سناریوی رهبر- پیرو که بازی‌کننده‌ی رهبر می‌تواند قبل از بازی‌کننده‌ی پیرو عمل کند، استراتژی بهینه برای هر بازی‌کننده می‌تواند از طریق یافتن تعادل استاکلبرگ تعیین شود. در تعادل استاکلبرگ یکی از بازی‌کنندگان می‌تواند قبل از بازی‌کنندگان دیگر حرکت کند و نقش رهبر را بر عهده گیرد. به‌عنوان‌مثال، یکی از اعضای زنجیره تأمین، در بعضی مواقع، با اعلام استراتژی خود قبل از سایر اعضای زنجیره تأمین، نقش رهبری را بازی می‌کند؛ یا برای مثال، در یک مسئله‌ی تخفیف مقداری قیمت، شامل یک فروشنده و یک خرده‌فروش، ممکن است در ابتدا فروشنده سیاست تخفیف خود را به خریدار اعلام کند و خریدار در پاسخ به فروشنده، به‌عنوان پیرو، تصمیم به خرید می‌گیرد.

۴-۱- مدل استاکلبرگ خرده‌فروش

در حالت اول فرض می‌شود که خرده‌فروش پیشرو بوده و تأمین‌کنندگان و تولیدکنندگان پیرو هستند. در این حالت هدف حداکثرسازی سود خرده‌فروشان با در نظر گرفتن بهترین پاسخ‌های تولیدکنندگان و تأمین‌کنندگان است. به‌عبارتی‌دیگر، وقتی خرده‌فروش رهبر است، می‌داند دیگر بازیکنان بر اساس چه تصمیمی به دنبال دستیابی به حداکثر سود خود در زنجیره تأمین هستند. بنابراین با توجه به اینکه خرده‌فروش می‌تواند زودتر از دیگر بازیکنان بهترین تصمیم خود را اتخاذ کند، در تابع هدف، تابع سود خرده‌فروش قرار گرفته و در محدودیت‌ها بهترین پاسخ‌های تولیدکنندگان و تأمین‌کنندگان لحاظ شده است؛ بنابراین با در نظر گرفتن شرط عقلانیت و بهترین پاسخ برای سایر بازیکنان، بر اساس تعاریف رویکرد نظریه بازی‌ها، سود خرده‌فروش مطابق مدل زیر حداکثر خواهد شد:

$$Max\, T_{z_r} = \sum_{r=1}^{K}\left[(K.P_r^{-\alpha}.\bar{e}_{m_r}^{\beta}[P_r - P^*_n - \bar{e}_{m_r} - C_{s_r} Q^{*-1}_n]) - \frac{1}{2}Q^*_n.K'_n.P^*_n \right] \quad (۱۹)$$

$$S.t: P_n^* = \phi'_n\left(\left[\sum_{s=1}^{M}(K_{s_n}.C^{*l}{}_{p_s})\right] + \left[\frac{(\sum_{s=1}^{M}(C_{o_m}) + C_{s_n})}{Q_n^*}\right]\right) \forall n \in N \qquad (۲۰)$$

$$Q_n^* = \sqrt{\frac{2.(\sum_{s=1}^{M}(C_{o_m}) + C_{s_n}).D_n}{E_n.\lambda_n.C_{B_n}}} \quad \forall n \in N \qquad (۲۱)$$

$$B_n^* = \sqrt{\frac{2.(\sum_{s=1}^{M}(C_{o_m}) + C_{s_n}).D_n.E_n.\lambda_n}{C_{B_n}}} \quad \forall n \in N \qquad (۲۲)$$

$$C^{*l}_{p_s} = \phi^l{}_s\left[C_{s_o} + \frac{(\sum_{n=1}^{N}\frac{D_n}{Q^*{}_n}C_{s_s})}{\sum_{n=1}^{N}K_{s_n}.D_n} + \frac{(\sum_{n=1}^{N}K_{s_s}.C_{s_o}.K_{s_n}.\frac{Q^*{}_n}{2})}{\sum_{n=1}^{N}K_{s_n}.D_n}\right] \quad \forall s \in M \qquad (۲۳)$$

$$P_r - P_n^* \geq 0 \qquad \forall r \in R, \forall n \in N \qquad (۲۴)$$

$$D_n \leq PC_n \qquad \forall n \in N \qquad (۲۵)$$

$$K>0, u>0, P_n>0, K_{s_n}>0, C^l{}_{p_s}>0, D_n \geq 0, C_{O_{sn}}>0, C_{s_r}>0, Q_n \geq 0, P_r^{-\alpha}>0, \\ C^{\beta}_{m_r}>0, PC_n>0, B_n \geq 0, C_{B_n} \geq 0, C_{h_n} \geq 0, \alpha>1, 0<\beta<1, \alpha-\beta>1 \qquad (۲۶)$$

$$\phi'_n > 1 \qquad \forall n \in N \qquad (۲۷)$$

$$\phi^l{}_s > 1 \qquad \forall s \in M \qquad (۲۸)$$

تابع هدف (۱۹) نشان دهنده مجموع سود خرده‌فروشان است که از تفاضل درآمد و هزینه‌های هر یک از خرده‌فروشان (هزینه خرید، هزینه بازاریابی و

هزینه سفارش‌دهی) به دست خواهد آمد. همچنین محدودیت (۲۰) نشان دهنده بهترین تصمیم تولیدکننده برای قیمت فروش انبوه محصول nام، محدودیت (۲۱) نشان دهنده مقدار تولید بهینه تولیدکننده محصول nام، محدودیت (۲۲) نشان دهنده مقدار کمبود بهینه مورد انتظار برای تولیدکننده محصول nام، محدودیت (۲۳) نشان دهنده مقدار بهینه قیمت فروش هر واحد از ماده اولیه sام با توجه به محدوده تخفیف lام است. همچنین محدودیت‌های منطقی نیز برای مدل وجود دارد؛ ازجمله محدودیت (۲۴) که نشان می‌دهد قیمت فروش انبوه محصول nام از سوی تولیدکننده باید بزرگ‌تر یا مساوی مجموع هزینه خرید مواد اولیه موردنیاز محصول باشد و محدودیت (۲۵) که نشان می‌دهد ظرفیت تولیدکننده محدود است یعنی تقاضای مشتری محصول nام باید کوچک‌تر یا مساوی ظرفیت تولید برای تولیدکننده nام باشد. درنهایت خرده‌فروش با توجه به این محدودیت‌ها به دنبال انتخاب بهترین تصمیم برای دستیابی به حداکثر سود ممکن است.

۴-۲- مدل استاکلبرگ تولیدکننده

در حالت دوم، تولیدکننده پیشرو بوده و خرده‌فروشان و تأمین‌کنندگان پیرو هستند. در چنین حالتی، هدف حداکثرسازی سود تولیدکنندگان با در نظر گرفتن بهترین پاسخ‌های خرده‌فروشان و تأمین‌کنندگان است. بدین منظور در تابع هدف، تابع تولیدکننده قرار گرفته و در محدودیت‌ها بهترین پاسخ‌های تأمین‌کنندگان و خرده‌فروشان لحاظ شده است؛ بنابراین با در نظر گرفتن شرط عقلانیت و بهترین پاسخ برای سایر بازیکنان بر اساس تعاریف رویکرد نظریه بازی‌ها، سود تولیدکنندگان مطابق مدل زیر،حداکثر خواهد شد:

$$Max T_{z_n} = \sum_{n=1}^{N} \left[\begin{array}{l} \left[(P_n - \sum_{s=1}^{M} (K_{s_n} C^{*l}_{p_s})) D_n \right] - \left[(\sum_{s=1}^{M} (C_{o_m}) + C_{s_n}) \frac{D_n}{Q_n} \right] - \left[\frac{C_{B_n} B_n^2}{2\lambda_n Q_n} \right] \\ - \left[u K P^{*-\alpha}_r \bar{C}^{\beta}_{m_r} \right] - \left[C_{h_n} \frac{(\lambda_n Q_n - B_n)^2}{2\lambda_n Q_n} \right] \end{array} \right] \quad (۲۹)$$

$$S.t: P^*_r = \frac{\alpha (P_n + \bar{C}_{m_r} + C_{s_r} Q^{-1}_n)}{\alpha - 1} \qquad \forall n \in N \quad (۳۰)$$

$$C^{*l}_{p_s} = \phi^l{}_s \left[C_{s_o} + \frac{(\sum_{n=1}^{N} \frac{D_n}{Q^*{}_n} C_{s_s})}{\sum_{n=1}^{N} K_{s_n} . D_n} + \frac{(\sum_{n=1}^{N} K_{s_s} . C_{s_o} . K_{s_n} . \frac{Q^*{}_n}{2})}{\sum_{n=1}^{N} K_{s_n} . D_n} \right] \quad \forall s \in M \tag{۳۱}$$

$$(P_n - \sum_{s=1}^{M} (K_{s_n} . C^{*l}{}_{p_s})) \geq 0 \quad \forall n \in N \tag{۳۲}$$

$$D_n \leq PC_n \qquad \forall n \in N \tag{۳۳}$$

$$\phi_s > 1 \qquad \forall s \in M \tag{۳۴}$$

$$\begin{aligned} & K > 0, u > 0, P_n > 0, K_{s_n} > 0, C^l{}_{p_s} > 0, D_n \geq 0, C_{O_{sn}} > 0, C_{s_r} > 0, Q_n \geq 0, P_{r_n}{}^{-\alpha} > 0, \\ & e^{\beta}_{m_r} > 0, PC_n > 0, B_n \geq 0, C_{B_n} \geq 0, C_{h_n} \geq 0, \alpha > 1, 0 < \beta < 1, \alpha - \beta > 1 \end{aligned} \tag{۳۵}$$

تابع هدف (۲۹) نشان دهنده مجموع سود تولیدکنندگان است که از تفاضل درآمد و هزینه‌ها (هزینه خرید، هزینه سفارش‌دهی، هزینه تولید، هزینه نگهداری و هزینه کمبود) به دست آمده است. همچنین محدودیت (۳۰) نشان دهنده قیمت بهینه فروش از سوی خرده‌فروش rام به مشتری نهایی، محدودیت (۳۱) نشان‌دهنده مقدار بهینه قیمت فروش هر واحد از ماده اولیه sام با توجه به محدوده تخفیف l ام است. همچنین محدودیت‌های منطقی نیز برای مدل وجود دارد؛ ازجمله محدودیت (۳۲) که نشان می‌دهند که قیمت فروش انبوه محصول nام از سوی تولیدکننده باید بزرگ‌تر یا مساوی مجموع هزینه خرید مواد اولیه موردنیاز محصول باشد و محدودیت (۳۳) که نشان می‌دهد ظرفیت تولیدکننده محدود است؛ یعنی تقاضای مشتری محصول nام باید کوچک‌تر یا مساوی ظرفیت تولید برای تولیدکننده nام باشد. درنهایت، با توجه به این محدودیت‌ها خرده‌فروش به دنبال انتخاب بهترین تصمیم برای دستیابی به بیشترین سود ممکن است.

۴-۳- مدل استاکلبرگ تأمین‌کننده

در حالت سوم، تأمین‌کننده پیشرو بوده و خرده‌فروشان و تولیدکنندگان پیرو هستند. در چنین حالتی، هدف حداکثرسازی سود تأمین‌کنندگان با در نظر گرفتن بهترین پاسخ‌های خرده‌فروشان و تولیدکنندگان است. بدین منظور در تابع هدف، تابع تأمین‌کنندگان قرار گرفته و در محدودیت‌ها بهترین پاسخ‌های تولیدکنندگان و خرده‌فروشان لحاظ شده است؛ بنابراین با در نظر گرفتن شرط عقلانیت و بهترین پاسخ برای سایر بازیکنان بر اساس تعاریف رویکرد نظریه بازی‌ها سود تأمین‌کنندگان مطابق مدل زیر حداکثر خواهد شد:

$$Max\, T_{z_s} = \sum_{s=1}^{M}\left[\left[(C^{l}{}_{p_s} - C_{s_o})\sum_{n=1}^{N} K_{s_n}.D_n\right] - \left[\sum_{n=1}^{N}\frac{D_n}{Q^{*}{}_n}C_{s_s}\right] - \left[\sum_{n=1}^{N} K_{s_s}.C_{s_o}.K_{s_n}.\frac{Q^{*}{}_n}{2}\right]\right] \quad (۳۶)$$

$$S.t:\ P_r^{*} = \frac{\alpha(P_n + C_{m_r} + C_{s_r}.Q^{-1}{}_n)}{\alpha - 1} \quad \forall n \in N \quad (۳۷)$$

$$P_n^{*} = \phi_n'\left(\left[\sum_{s=1}^{M}(K_{s_n}.C^{*l}{}_{p_s})\right] + \left[\frac{(\sum_{s=1}^{M}(C_{o_m}) + C_{s_n})}{Q_n^{*}}\right]\right) \quad \forall n \in N \quad (۳۸)$$

$$B_n^{*} = \sqrt{\frac{2.(\sum_{s=1}^{M}(C_{o_m}) + C_{s_n}).D_n.E_n.\lambda_n}{C_{B_n}}} \quad \forall n \in N \quad (۳۹)$$

$$C^{l}{}_{p_s} - C_{s_o} \geq 0 \quad \forall s \in M \quad (۴۰)$$

$$\phi_n' > 1 \quad \forall n \in N \quad (۴۱)$$

$$K>0,u>0,P_n>0,K_{s_n}>0,C^{l}{}_{p_s}>0,D_n\geq 0,C_{O_{sn}}>0,C_{s_n}>0,Q_n\geq 0,P_{r_n}{}^{-\alpha}>0,$$
$$\tilde{C}^{\beta}_{m_r}>0,PC_n>0,B_n\geq 0,C_{B_n}\geq 0,C_{h_n}\geq 0,\alpha>1,0<\beta<1,\alpha-\beta>1 \quad (۴۲)$$

تابع هدف (۳۶) نشان دهنده مجموع سود تولیدکنندگان است که از تفاضل درآمد و مجموع هزینه‌ها (هزینه خرید، هزینه سفارش‌دهی، هزینه تولید، هزینه نگهداری و هزینه کمبود) به دست آمده است. همچنین محدودیت (۳۷) نشان دهنده قیمت بهینه فروش سوی خرده‌فروش rام به مشتری نهایی، محدودیت (۳۸) نشان دهنده مقدار تولید بهینه تولیدکننده محصول nام، محدودیت (۳۹) نشان دهنده مقدار کمبود بهینه مورد انتظار برای تولیدکننده محصول n ام است. همچنین محدودیت‌های منطقی (۴۰) نشان می‌دهد که قیمت فروش هر واحد از ماده اولیه sام با توجه به محدوده تخفیف lام باید بزرگ‌تر یا مساوی هزینه ثابت هر بار تأمین یا استخراج ماده اولیه sام برای تأمین‌کننده sام باشد و محدودیت (۴۱) و (۴۲) حدود پارامترها و متغیرها را نشان می‌دهد. درنهایت، با توجه به این محدودیت‌ها تأمین‌کننده به دنبال انتخاب بهترین تصمیم برای دستیابی به بیشترین سود ممکن است.

۴-۴- مدل‌سازی در محیط فازی

در این تحقیق برای نزدیک‌تر شدن به شرایط واقعی، هزینه بازاریابی به‌صورت عدد فازی مثلثی در نظر گرفته شده است؛ علت این امر نیز این‌چنین بیان می‌شود که هزینه‌ی صرف شده برای تبلیغات را نمی‌توان به‌طور قطعی مشخص نمود و ازآنجاییکه تقاضای خرده‌فروش با هزینه بازاریابی وابسته است 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 تحمیل‌شده 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 بعدازآن این افزایش نه‌تنها تأثیری بر افزایش درآمد و سود نخواهد داشت، بلکه باعث تحمیل هزینه‌های بیشتری نیز به سیستم خواهد شد. همان‌طور که در هر چهار مدل پیشنهادی مشاهده شد، تنها پارامتر فازی هزینه بازاریابی از طرف خرده‌فروش rام بوده و باعث شده تا قسمتی از تابع و محدودیت‌های

هدف مبهم و غیردقیق شود؛ بنابراین با اعمال این استراتژی که یک عدد غیر فازی مانند A می‌تواند به‌عنوان یک عدد فازی مثلثی به‌صورت $A=(A,A,A)$ نمایش داده شود.

۴-۵- 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 مقدارهای دیفازی شده، ارتفاع و دامنه را برای اعداد فازی تولیدی مورد ملاحظه قرار می‌دهند. فرض کنید که n عدد فازی مثلثی $\tilde{A}_1,\tilde{A}_2,...and\ \tilde{A}_n$ وجود دارد که در آن $\tilde{A}_i=(a_{i1},a_{i2},a_{i3};w_{\tilde{A}_i})\ w_{\tilde{A}_i}\in[0,1]\ \ 1\le i\le n$ است. در اینجا برای ساده‌سازی محاسبات $w_{\tilde{A}_i}=1$ فرض می‌شود. روش پیشنهادی برای رتبه‌بندی اعداد فازی مثلثی به‌صورت زیر پیشنهاد شده است:

گام۱: هر عدد فازی تولیدشده $\tilde{A}_i$ به عدد فازی استانداردشده $\tilde{A}_i^*$ تبدیل می‌شود. نرمال‌سازی به‌صورت زیر انجام می‌شود که در آن g برابر $\max(\lceil|a_{ij}|\rceil,1)$ است و $|a_{ij}|$ مقدار مطلق a_{ij} است، $\lceil|a_{ij}|\rceil$ کوچک‌ترین عدد صحیح بزرگ‌تر از $|a_{ij}|$ را نشان می‌دهد، به‌طوری‌که $1\le j\le 3$ و $1\le i\le n$.

$$\tilde{A}_i^*=(\frac{a_{i1}}{g},\frac{a_{i2}}{g},\frac{a_{i3}}{g};w_{\tilde{A}_i})=(a^*_{i1},a^*_{i2},a^*_{i3};w_{\tilde{A}_i}) \qquad (۴۳)$$

گام۲: مقدار دیفازی ($x_{\tilde{A}_i}$) هر عدد استانداردشده فازی به‌صورت زیر به دست می‌آید:

$$x_{\tilde{A}_i}=\frac{a^*_{i1}+2a^*_{i2}+a^*_{i3}}{4};x_{\tilde{A}_i}\in[-1,1],1\le i\le n \qquad (۴۴)$$

گام۳: گستره $STD_{\tilde{A}_i^*}$ هر عدد استانداردشده فازی به‌صورت زیر نمایش داده می‌شود که $STD_{\tilde{A}_i^*}$ برای اعداد قطعی، برابر صفر است.

$$STD_{\tilde{A}_i^*}=\sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{4}(a^*_{ij}-x_{\tilde{A}_i^*})^2}{4-1}} \qquad (۴۵)$$

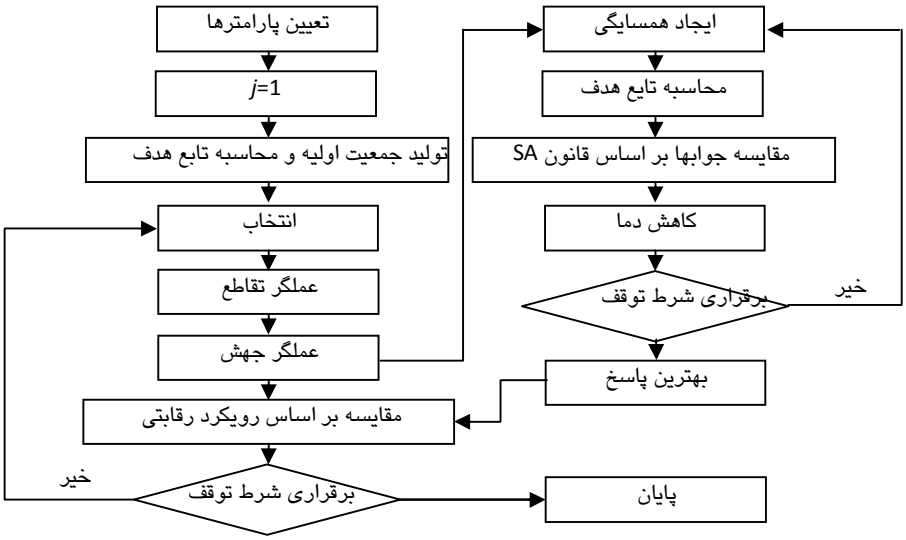
گام۴: امتیاز فازی هر عدد نرمال شده $\tilde{A}_i^*$ به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$score(_{\tilde{A}_i^*}) = \frac{x_{\tilde{A}_i^*} \times w_{\tilde{A}_i^*}}{1+STD_{\tilde{A}_i^*}} \qquad (۴۶)$$

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

۵- روش حل

برای حل مدل از الگوریتم‌های فرا ابتکاری ژنتیک، انجماد تدریجی و ترکیبی ژنتیک- انجماد تدریجی استفاده شده است که در ادامه فلوچارت آن نمایش داده شده است:

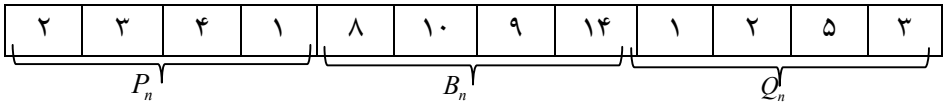


شکل ۱ فلوچارت الگوریتم پیشنهادی

۵-۱- نحوه کدگذاری کروموزوم‌ها

با توجه به اینکه در مدل استاکلبرگ تولیدکننده، مقدار سفارش از محصول n ام، مقدار کمبود محصول n ام و قیمت فروش انبوه محصول n ام، متغیرهای تصمیم مسئله می‌باشند، بنابراین الگوریتم پس از اجرا، باید مقادیر آن‌ها را به دست آورد؛ به همین

دلیل برای هر یک از این متغیرها یک ژن در کروموزوم در نظر گرفته شد که مقدار این ژن همان مقدار متغیر موردنظر را نشان می‌دهد. ازآنجایی‌که تعداد متغیرها برابر $3n$ می‌باشد که n در آن تعداد تولیدکننده‌ها را نشان می‌دهد، پس کروموزوم مدنظر نیز دارای $3n$ ژن است که n ژن اول مقدار سفارش خرده‌فروش rام از محصول nام ، n ژن دوم مقدار کمبود محصول n ام برای تولیدکننده nام و n ژن سوم قیمت فروش محصول n ام از سوی تولیدکننده n ام به خرده‌فروش r ام را نشان می‌دهد.



شکل ۲. ساختار کروموزوم پیشنهادی

۵-۲- جزییات بکارگیری الگوریتم

تولید جمعیت اولیه الگوریتم و برخورد با محدودیت‌ها: در الگوریتم پیشنهادی تولید جمعیت اولیه به‌صورت تصادفی در محدوده مجاز متغیرها صورت گرفته است و به‌منظور بررسی محدودیت‌های مدل حاضر نیز از تابع جریمه استفاده شده است؛ به‌گونه‌ای که نقض هر محدودیت دارای جریمه‌ای می‌باشد که به تابع هدف اضافه می‌شود.

تولید همسایگی: ابتدا یکی از ژن‌های این کروموزوم را به‌صورت تصادفی انتخاب کرده که برای این کار، در بازه یک l (که l طول کروموزوم است) یک عدد تصادفی را به دست آورده و 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.

انتخاب برای تولید مجدد: به‌منظور انتخاب از روش‌های تصادفی، تورنمنت و چرخ رولت استفاده می‌شود.

عملگر تقاطعی: در اینجا برای تقاطع در بخش‌های کروموزوم، از روش‌های تقاطع یک نقطه‌ای، دونقطه‌ای و یکنواخت استفاده شده است.

عملگر جهش: در این پژوهش، برای عملگر جهش ابتدا از بین جمعیت موجود یک کروموزوم را به‌تصادف انتخاب کرده سپس یکی از مؤلفه‌های کروموزوم آن را انتخاب کرده و در مرحله بعد، مؤلفه مربوطه را با یک عدد تصادفی از توزیع نرمال یا یکنواخت جمع می‌کنیم.

۶- نتایج عددی

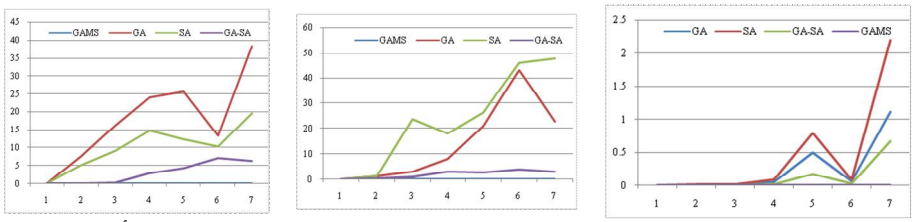
در این قسمت با استفاده از مسائل با ابعاد کوچک و با ابعاد بزرگ اعتبارسنجی روش پیشنهادی صورت گرفته است. به این منظور از دو الگوریتم ژنتیک و انجماد تدریجی برگرفته‌شده از تحقیقات قبلی استفاده شده است. نتایج در جدول زیر آمده است که در آن اعداد اول تعداد تأمین‌کننده و عدد دوم تعداد تولیدکننده و خرده‌فروش را نشان می‌دهد. همچنین داده‌های مسئله مبتنی بر توزیع یکنواخت و به‌صورت تصادفی تولید شده است.

جدول ۳ نتایج عددی

			مثال‌های با سایز کوچک				مثال‌های با سایز بزرگ			
			۳ و ۲	۴ و ۴	۸ و ۸	۱۱ و ۹	۱۵ و ۱۲	۲۰ و ۱۶	۲۰ و ۸	۲۰ و ۲۰
تابع تولیدکننده	الگوریتم	ژنتیک	۵۳۳	۶۵۶/۷	۶۱۴/۸	۴۵۱	۲۳۴	۴۲۹	۲۱۲	۲۰۳
		انجماد	۵۵۲/۷	۵۱۷/۲	۵۷۴/۳	۳۰۴	۱۹۱/۴	۲۹۲	۱۷۱	۱۵۰
		ترکیبی	۵۵۳	۶۷۱/۳	۷۵۷/۴	۵۶۵	۴۲۲	۶۴۵	۳۸۵	۳۵۸
		گمز	۵۳۳	۶۷۷/۴	۷۷۸/۶	۵۸۴	۱۲۵۷۰۸	۱۵۸۱۸۹۴	۱۱۳۶۵۴	۳۰۴۷۶۳۰
تابع خرده‌فروش	الگوریتم	ژنتیک	۱۲۶۳۵	۱۱۶۴۵۳	۱۰۳۳۶۵	۳۵۵۸۰	۱۲۵۶۹۱	۱۵۷۴۰۶۲	۱۱۳۲۰۸	۲۶۱۴۲۹۶
		انجماد	۱۲۶۳۵	۱۱۶۴۴۷	۱۰۳۰۵۵	۳۵۱۹۰	۱۲۵۹۶۸	۱۶۰۳۸۴۸	۱۱۴۰۵۴	۳۴۳۵۳۷۱
		ترکیبی	۱۲۶۳۶	۱۱۶۴۶۰	۱۰۳۷۰۶	۳۵۷۴۰	۸۳۹۳۳۰	۱۵۲۱۵۲۳۱	۱۱۸۸۶۹	۲۴۵۳۰۶۴۵
		گمز	۱۲۶۳۶	۱۱۶۴۶۲	۱۰۳۸۸۴	۳۵۹۸۲	۸۵۴۶۴۲	۱۵۸۶۸۹۳۴	۱۲۹۴۵۳	۲۵۶۳۸۹۷۸
تابع تأمین‌کننده	الگوریتم	ژنتیک	۳۰۶۱	۶۳۶۸	۱۹۳۹۴۰	۳۷۱۱۲	۸۸۸۶۲۳	۱۷۸۷۵۶۱۶	۱۳۲۶۸۹	۲۷۱۳۰۱۶۴
		انجماد	۳۰۶۱	۶۵۶۹	۲۲۸۴۶۰	۴۸۴۱۹	۲۳۴	۴۲۹	۲۱۲	۲۰۳
		ترکیبی	۳۰۶۱	۶۹۸۴	۲۴۹۷۳۰	۵۶۴۶۹	۱۹۱/۴	۲۹۲	۱۷۱	۱۵۰
		گمز	۳۰۶۱	۷۰۰۱	۲۶۰۷۶۳	۶۰۲۷۸	---	---	---	---

۶-۱- مقایسه شاخص GAP الگوریتم‌های پیشنهادی

شکل‌های زیر مقدار شاخص انحراف از بهترین جواب یافته شده برای هر مدل را نشان می‌دهد که در آن، محور افقی مثال موردنظر و محور عمودی مقدار شاخص است. از شکل می‌توان دریافت که الگوریتم ترکیبی ژنتیک-انجماد تدریجی در مقایسه با الگوریتم‌های ژنتیک و انجماد تدریجی از وضعیت بهتری برخوردار بوده است.



استاکلبرگ تأمین‌کننده | استاکلبرگ تولیدکننده | استاکلبرگ خرده‌فروش

شکل ۳ مقدار شاخص انحراف از بهترین جواب یافته شده

۶-۲- آزمون معناداری

در طراحی آزمایش نیز هرگاه بخواهیم اثر عاملی با بیش از دو سطح را بر متغیر پاسخ بررسی کنیم، از آنالیز واریانس یک‌طرفه کمک می‌گیریم. به این منظور بایستی پیش‌فرض‌های تصادفی، مستقل و نرمال بودن متغیر تصادفی به همراه برابری واریانس جوامع مورد بررسی قرار گیرند. با توجه به نتایج حاصل از بکارگیری نرم‌افزار SPSS 16.0 مشخص شد که تمامی فرضها به جز فرض نرمال بودن برقرار بوده در نتیجه ابتدا با استفاده از مفهوم درصد تفاوت نسبی، جوامع نرمال شده سپس آزمون فرض انجام گرفته است. نتایج تحلیل واریانس برای سه مدل ارائه‌شده به شرح زیر بوده و همچنانکه ملاحظه می‌کنید در هر سه حالات فرض صفر رد شده و در نتیجه نمی‌توان فرض برابری میانگین‌های جوامع را پذیرفت.

جدول ۴ تحلیل واریانس فرض برابری میانگین‌های جوامع در مدل استاکلبرگ خرده‌فروش

عامل تغییر	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F	معناداری
بین گروه‌ها	۰/۹۸۵	۲	۰/۴۹۳	۱۶/۲۸۳	۰/۰۰۰
داخل گروه‌ها	۱/۱۸۰	۳۹	۰/۰۳۰		
جمع	۲/۱۶۵	۴۱			

جدول ۵ تحلیل واریانس فرض برابری میانگین‌های جوامع در مدل استاکلبرگ تولیدکننده

عامل تغییر	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F	معناداری
بین گروه‌ها	۲/۶۹۶	۲	۱/۳۴۸	۵/۰۵۸	۰/۰۱۱
داخل گروه‌ها	۱۰/۳۹۳	۳۹	۰/۲۶۶		
جمع	۱۳/۰۸۹	۴۱			

جدول ۶ تحلیل واریانس فرض برابری میانگین‌های جوامع در مدل استاکلبرگ تأمین‌کننده

عامل تغییر	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F	معناداری
بین گروه‌ها	۱۰۹/۰۳۶	۲	۵۴/۵۱۸	۱۷/۳۳۵	۰/۰۰۰
داخل گروه‌ها	۱۲۲/۶۵۳	۳۹	۳/۱۴۵		
جمع	۲۳۱/۶۸۸	۴۱			

۷- نتیجه‌گیری

در تحقیق جاری، مسئله مدیریت زنجیره تأمین سه سطحی با فرض وجود وابستگی تقاضا به قیمت فروش و هزینه بازاریابی موردبررسی قرار گرفته است. در اینجا فرض شده است که تابع هدف بیشینه کردن سود بوده و تولیدکننده، طبق قرارداد، محصول خود را فقط می‌تواند به یکی از خرده‌فروشان ارائه دهد پس درنتیجه تعداد خرده‌فروشان و تولیدکنندگان با یکدیگر برابر بوده و تولیدکننده برای تولید محصول خود نیز می‌تواند از چند تأمین‌کننده، مواد اولیه موردنیاز را تهیه نماید. با توجه به غیر همکارانه زنجیره، در اینجا از تعادل استاکلبرگ استفاده شده است. به این منظور سه سناریو مختلف در نظر گرفته شد که در هر سناریو یکی از سطوح، نقش رهبر و باقی سطوح، نقش پیرو را خواهند داشت. هدف از این مدل‌ها مشخص نمودن قیمت بهینه فروش به خرده‌فروشان، تولیدکنندگان و تأمین‌کنندگان و مقدار تولید اقتصادی و مقدار کمبود تولیدکننده برای بیشینه‌سازی سود است. بعد از حل بهینه این مدل‌ها در ابعاد کوچک با استفاده از نرم‌افزار گمز و با توجه به *NP-Hard* بودن مدلها، از روش‌های فرا ابتکاری برای حل مدل استفاده و درنهایت، از چندین الگوریتم رقیب که از ادبیات موضوع برداشت شده، برای اعتبارسنجی الگوریتم پیشنهادی استفاده شده است. برای گسترش مدل، پیشنهاد می‌شود که شرایط زنجیره تأمین بدون در نظر گرفتن تعامل یک‌به‌یک بررسی شود، یعنی فرض شود که هر تولیدکننده می‌تواند

محصول خود را در بین تمامی خرده‌فروشان عرضه نماید. حل مسئله زنجیره تـأمین چند سطحی در شرایط همکاری، از دیگـر پیشـنهادها بـرای مطالعـات آتـی مـی‌باشـد. همچنین در شرایط واقعی امکـان بـه اشـتراک‌گـذاری اطلاعـات بـین اعضـای زنجیـره به‌صورت کامل وجود نداشته؛ لذا به عنوان مطالعـات آتـی مـی‌تـوان از بـازی‌هـای بـا اطلاعات ناقص نیز استفاده کرد.

۸- پی‌نوشت‌ها

1. Aust
2. Cai
3. Zhao
4. Khouja
5. Jaber
6. Yu
7. Nash
8. Huang
9. Sinha

۹- منابع

[1] Amoozad Mahdiraji, H., Jaafarnejad, A., Moddares Yazdi, M., & Mohaghar, A. (2014). Cooperation modeling for unlimited three echelon supply chain: Game theory approach, Management Research in Iran, 18(1), 171-191. (in Persian).

[2] Akbarfakhrabadi, H.R., Gheidar-Kheljani, J., & Ghodsypour, S.H. (2016). Competition modeling in coordinating a three level supply chain, Modern Research in Decision Making, 1(3), 1-22. (in Persian).

[3] Notash, M., Zandieh, M., & Dorri Nokorani, B. (2015). Using a genetic algorithm approach for designing multi-objective supply chain network, Management Research in Iran, 18(4), 183-203. (in Persian).

[4] Cai, G. G., Chiang, W. C., & Chen, X. (2011).Game theoretic pricing and ordering decisions with partial lost sales in two-stage supply chains.International Journal of Production Economics, 130(2), 175-185.

[5] 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.

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

[7] 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.

[8] 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.

[9] 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.

[10] 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.

[11] 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.

[12] 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.

[13] Esmaeili, M., Aryanezhad, M. B., & Zeephongsekul, P. (2009). A game theory approach in seller–buyer supply chain. European Journal of Operational Research, 195(2), 442-448.