ارائه مدل دوسطحی طراحی شبکه زنجیره تامین حلقه بسته در شرایط عدم قطعیت و رقابت بین زنجیره‌ای: حل با رویکرد تجزیه بندرز

حامد فلاح[1]، حمیدرضا اسکندری[2,*]، سید حسام‌الدین‌ذگردی[3]، سیدکمال چهارسوقی[3]

اطلاعات مقاله

دریافت مقاله: ۱۳۹۴/۰۲/۲۹
پذیرش مقاله: ۱۳۹۴/۰۴/۱۵

واژگان کلیدی:
زنجیره تامین،
رقابت،
مدل دوسطحی،
زنجیره حلقه بسته،
تجزیه بندرز.

چکیده

در این مقاله مساله طراحی شبکه زنجیره تامین حلقه بسته رقابتی در شرایط عدم قطعیت مدل‌سازی و حل شده است. رقابت بین دو زنجیره تامین بر سر قیمت محصولات نو در زنجیره مستقیم و قیمت پرداخت شده برای خرید محصولات برگشتی در زنجیره معکوس اتفاق می‌افتد. تقاضا وابسته به قیمت بوده و مقدار محصولات برگشتی نیز به صورت خطی وابسته به قیمت زنجیره رقیب است. برای برخورد با عدم قطعیت در مساله از تئوری فازی استفاده می‌شود. مدل دوسطحی ارائه شده ابتدا با اثبات تحدب مساله سطح پایین به یک مدل یک سطحی تبدیل می‌شود و سپس از طریق رویکرد تجزیه بندرز مورد حل قرار می‌گیرد. در انتها همگرایی الگوریتم مورد بررسی قرار گرفته و مدل دوسطحی حل شده است. نتایج محاسباتی نشان می دهد که الگوریتم ارائه شده در تعداد تکرار مناسبی به همگرایی می‌رسد. افزایش ضریب الاستیسیته تقاضا (افزایش رقابت) منجر به کاهش سود و افزایش ضریب الاستیسیته رقیب منجر به افزایش سود برای زنجیره خواهد شد.

۱- مقدمه

امروزه شاهد بازارهایی پویا و به شدت رقابتی هستیم که حاصل پیشرفتهای فناوری، اقتصاد جهانی و تغییرات سریع رفتار مشتریان است [۱]. در نتیجه‌ی این شرایط، نوع رقابت از حالت رقابت بین شرکت‌های مستقل در حال تغییر به رقابت بین زنجیره‌ای از شرکت‌ها و به عبارت بهتر رقابت بین زنجیره‌های تامین است [۳ و ۴]. نمونه‌های متعددی از رقابت بین زنجیره‌های تامین در صنایع مختلف مانند صنعت هواپیمایی، صنایع دریایی، خودروسازی، خرده‌فروشی، داروسازی و صنایع دیجیتال در دنیا وجود دارد. به عنوان مثال مایکروسافت (تامین‌کننده نرم‌افزار) و اچ‌تی‌سی (سازنده سخت‌افزار) در قالب یک زنجیره تامین با زنجیره تامینی متشکل از سیمبین (تامین‌کننده نرم‌افزار) و نوکیا (سازنده سخت‌افزار) به رقابت می‌پردازند [۵]. از آنجا

*. پست الکترونیک نویسنده مسئول: eskandari@modares.ac.ir
۱. دانشجوی دکتری مهندسی صنایع، بخش مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس
۲. استادیار بخش مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس
۳. دانشیار بخش مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس

که برنده‌ی این رقابت سهم بیشتری از بازار را تسخیر خواهد کرد، تعیین بهترین ساختار شبکه، استراتژی رقابت و سهم بازار اهمیت زیادی برای بازیگران این عرصه دارد و پژوهشگران را به ایجاد مدلها و تحلیل فضای رقابتی بین زنجیره‌های تامین تشویق می‌کند.

امروزه با توجه به کاهش استفاده از منابع، جلوگیری از آلودگی، مدیریت پسماندها، مسئولیت‌پذیری اجتماعی و فشارهای مشتریان، توجه روزافزونی به لجستیک معکوس در مدیریت زنجیره تامین می‌شود. فعالیت ها در این حوزه به طور کلی به دو بخش تقسیم می‌شوند: یک دسته متمرکز بر زنجیره برگشت هستند (شبکه بازیافت) و دسته دیگر زنجیره برگشت را به طور یکپارچه با زنجیره مستقیم در نظر می‌گیرند (شبکه حلقه بسته). زنجیره‌های حلقه بسته با ارائه محصولات متنوع در سطوح کیفیت مختلف (با توجه به محصولات بازیافتی) تاثیر زیادی در بهبود عملکرد کلی زنجیره تامین از طریق افزایش سود، افزایش تولید و افزایش رضایتمندی مشتریان دارند [۵]. بسیاری از تولیدکنندگان مانند جی ای، اچ پی [۶ و ۷]، آی بی ام، فورد، کاترپیلار و تیمبرلند [۸ و ۹] از مفهوم زنجیره تامین حلقه بسته و فرایندهای تولید مجدد بهره‌مند شده اند. در سال ۲۰۰۷ شرکت کداک ۱۲۰ میلیون دوربین عکاسی یکبار مصرف خود را برای استفاده از مواد اولیه آن جمع آوری کرد و در سال ۲۰۰۰ شرکت زیراکس برای اولین بار به رکورد عدم دفن محصولات فرسوده در ژاپن دست یافت [۱۲]. در سال ۱۹۹۶ شرکت فورد با جلوگیری از دورریز تونرهای کارتریج ۱۸۰ هزار لار صرفه‌جویی نمود [۱۰]. این شرکت با جمع‌آوری و ساخت مجدد بیش از ۳۳۲ هزار تن کارتریج در فاصله سال‌های ۱۹۹۱ تا ۱۹۹۷ توانست به صرفه‌جویی حدود ۱,۲ میلیون دلاری دست یابد [۱۰].

صرفه‌جویی اقتصادی بالا و سودآفرینی قابل توجه در حوزه زنجیره‌های تامین حلقه بسته در کنار اهمیت فراوان زیست‌محیطی و انسانی این عرصه، تعداد زیادی از پژوهشگران را برای بررسی و تحلیل مدلهای مختلف فعالیت و طراحی مجدد زنجیره‌های مستقیم با رویکرد یکپارچه با زنجیره معکوس جذب کرده است[۱۱].

از طرف دیگر، رقابت در زنجیره‌های تامین بر تصمیمات مهمی مانند قیمت فروش محصولات نو یا بازیافتی، قیمت خرید محصولات فرسوده، مکانیابی تسهیلات تولید، توزیع، جمع‌آوری و بازیافت تاثیرگذار خواهد بود و لذا با توجه به نوع رقابت در بازار و شدت آن ساختار و عملکرد زنجیره‌ها تغییر خواهد کرد. با توجه به اینکه ساختار زنجیره تامین تاثیر شایانی بر عملکرد نهایی خواهد داشت، در نظر گرفتن شرایط رقابتی در زمان طراحی شبکه زنجیره تامین حلقه بسته (CLSCND) از اهمیت بالایی برخوردار است [۱۱].

در ادامه در بخش ۲ به مرور ادبیات طراحی شبکه زنجیره تامین حلقه بسته و سپس مفهوم رقابت در زنجیره‌های تامین و مفهوم عدم قطعیت پرداخته می‌شود. مشخصات مساله در بخش ۳ تشریح شده است. سپس مدل ریاضی برای مساله طراحی شبکه زنجیره تامین حلقه بسته رقابتی در بخش ۴ ارائه خواهد شد و در ادامه رویکرد مدل‌سازی دوسطحی تشریح می‌گردد. در بخش ۵ به حل مدل ریاضی و تحلیل آن ارائه می‌شود و در انتها نتیجه‌گیری و پیشنهاداتی برای مطالعات آتی انجام خواهد شد.

۲- مروری بر ادبیات

مقالات فراوانی در ادبیات مدیریت زنجیره تامین به مقوله زنجیره‌های تامین حلقه بسته پرداخته‌اند که اغلب بعد از سال ۲۰۰۸ منتشر شده‌اند. بیشتر این مقالات به جنبه‌های مختلف طراحی شبکه و همچنین ابعاد زیست‌محیطی مدلها پرداخته‌اند. گاوین‌دن و همکاران [۱۲] در سال ۲۰۱۵ مقاله مروری نسبتا جامعی در رابطه با لجستیک معکوس زنجیره‌های تامین حلقه بسته ارائه کرده‌اند که خوانندگان علاقه‌مند برای مطالعه بیشتر می‌توانند به آن مقاله مراجعه نمایند.

در مقاله حاضر ما به دنبال بررسی تاثیر فاکتور رقابت بر روی مساله طراحی شبکه زنجیره تامین حلقه بسته هستیم. فراهانی و همکاران [۵] نیز مرور جامعی بر مساله طراحی

شبکه زنجیره تامین رقابتی منتشر کرده‌اند که دسته‌بندی مفیدی از انواع رقابت در زنجیره‌های تامین ارائه می‌کند. آنها مدلهای طراحی شبکه زنجیره تامین را بر اساس تصمیماتی که در تعیین ساختار زنجیره‌های تامین اتخاذ می‌شود (مانند تعیین تعداد و مکان تسهیلات، ظرفیت سطوح مختلف زنجیره و جریان مواد بین شبکه زنجیره تامین) طبقه‌بندی می‌کنند. آنها همچنین تابع هدف‌های مختلفی را در مدلهای طراحی شبکه زنجیره تامین برشمرده‌اند که شامل ملاحظات اقتصادی، زیست محیطی و اجتماعی می‌شود.

به طور کلی سه نوع رقابت در ادبیات قابل تفکیک است [۱۳]: (۱) رقابت استاتیک: رقیب تازه وارد (می‌تواند یک شرکت جدید و یا یک زنجیره جدید باشد) در بازار شروع به فعالیت می‌کند. مشخصه‌های رقابتی رقبای موجود معلوم است و پس از ورود رقیب جدید نیز تغییر نخواهد کرد [۵، ۲، ۱۳]. این نوع از رقابت شامل بهینه‌سازی یک مدل ریاضی خواهد بود که در آن رقیب جدید در مورد فاکتورهای استراتژیک زنجیره مانند مکان تسهیلات تصمیم‌گیری می‌کند. (۲) رقابت با پیش‌بینی: با ورود یک رقیب جدید به بازار، رقبای موجود برخی از مشخصه‌های خود را با توجه به تصمیمات رقیب تازه وارد تغییر خواهند داد. این رقابت به طور طبیعی به صورت یک بازی استکلبرگ و یک مساله برنامه‌ریزی دوهدفه یا چندهدفه مدل می‌شود [۲]. (۳) رقابت پویا: با ورود رقیب جدید رقبای موجود مشخصه‌های رقابتی خود را تغییر خواهند داد. از انجا که تصمیمات استراتژیک (مانند مکان و یا تعداد تسهیلات) با توجه به هزینه بالا معمولا تغییر نمی‌کنند، مشخصه‌های رقابتی در این نوع از رقابت عملیاتی خواهند بود مانند قیمت‌گذاری یا تعیین سطح سرویس [۵].

بررسی ادبیات نشان می دهد که اکثر مقالات به رقابت بین سطوح یک زنجیره تامین [۲۳] و یا رقابت بین اعضای یک سطح از یک زنجیره تامین پرداخته‌اند. در یکی از جدیدترین مقالات در سال ۲۰۱۵، فلاح و همکارانش [۱۴] مساله رقابت بین دو زنجیره تامین در شرایط عدم قطعیت را مورد بررسی قرار داده‌اند. در مدل ارائه شده در این مقاله تصمیمات استراتژیک (مکان تسهیلات)، تاکتیکی (مقدار حمل مواد و محصولات بین موجودیت های زنجیره تامین) و عملیاتی (قیمت گذاری) اتخاذ می‌شوند. پارامترهای موجود در مساله نیز با عدم قطعیت از نوع فازی مواجه هستند. تفاوت اساسی بین مقاله مذکور و مقاله حاضر این است که تصمیمات در آن مقاله به صورت همزمان اتخاذ می‌شوند و در نوع رقابت استکلبرگ نیز ابتدا جواب تعادلی بدست آمده و سپس مساله طراحی شبکه با توجه به آن حل می‌شود. اما در مقاله حاضر رقابت استکلبرگ به صورت دو سطحی مدل شده است و این موجب می‌شود که مساله طراحی شبکه و مساله قیمت‌گذاری به صورت همزمان مورد بررسی قرار گیرد و لذا کیفیت جواب نهایی در این حالت بهتر خواهد بود. برای حل مدل دوسطحی نیز روشی مبتنی بر الگوریتم تجزیه بندرز پیشنهاد شده است. مقاله دیگری که در سال ۲۰۱۵ منتشر شده است متعلق به رضاپور و همکاران [۱۵] است. آنها مساله طراحی شبکه زنجیره تامین حلقه بسته را در شرایط رقابت مدل نموده‌اند. تفاوت مهم مقاله حاضر آن است که تقاضا، مقدار برگشت و تمام پارامترهای هزینه‌ای را به صورت غیرقطعی در نظر گرفته است و مدل دوسطحی ارائه شده تصمیمات استراتژیک، تاکتیکی و عملیاتی را به صورت همزمان درنظر می‌گیرد. برای حل مساله دوسطحی نیز از الگوریتم تجزیه بندرز استفاده شده است. مقالات دیگری نیز در ادبیات به موضوع رقابت بین زنجیره‌ها پرداخته‌اند. یک دسته از این مقالات از رویکردی به نام نامعادلات تعادلی (VI) برای مدل‌سازی مساله استفاده می‌کنند که اولین بار توسط ناگورنی و همکارانش [۱۶] ارائه شده است. بر این اساس ژانگ [۴] مدلی برای اقتصاد زنجیره ارائه نموده که در آن زنجیره‌های ناهمگون در چند بازار رقابت می‌کنند. . رضاپور و فراهانی [۱۳] مدلی برای دو زنجیره رقیب با محصولات یکسان و تقاضای وابسته به قیمت در یک فضا با پارامترهای قطعی ارائه کردند که تصمیمات استراتژیک و تاکتیکی اتخاذ می‌کند. وو و چن [۱۷] مدلی را برای رقابت بین دو زنجیره

تامین ارائه نموده و به تحلیل شرایط تعادلی برای زنجیره‌های رقیب با توجه به سیاست‌های موجوی و برگشت پرداخته‌اند. اندرسون و باو [۱۸] رقابت قیمت بین بیش از دو زنجیره با ساختار یکسان و تابع تقاضای خطی را در حالت‌های یکپارچه‌سازی عمودی و افقی بررسی کردند. آنها تاثیرات سطوح مختلف قیمت را بر سود بازیگران در بازار تحلیل کردند. اغلب مدلهای رقابتی موجود در ادبیات که برای زنجیره‌ها ارائه شده‌اند تصمیمات استراتژیک را در نظر نگرفته و فرض می‌کنند که ساختار زنجیره‌ها در طول رقابت ثابت مانده و مشخص است. رضاپور و همکارانش [۱۹] یک مدل طراحی شبکه برای زنجیره تامینی که وارد بازاری می‌شود که رقیب دیگری نیز در آن وجود دارد ارائه نمودند. در این مدل فرض شده است که رقابت بین زنجیره‌ها از نوع استاتیک بوده، تقاضا غیرالاستیک و پارامترها قطعی هستند. رضاپور و همکارانش [۲] همچنین مدلی برای رقابت آینده‌نگر زنجیره‌های تامین ارائه کردند. پس از ورود زنجیره جدید به بازار زنجیره موجود تصمیم می‌گیرد که خرده فروش یا خرده‌فروشان جدیدی را برای باز پس‌گیری سهم بازار و درآمد تاسیس کند. آنها این مساله را با رویکردهای minimum regret و von Stackelberg مدل کرده‌اند.

اکثر مقالات مرور شده در ادبیات به بحث طراحی شبکه زنجیره تامین اختصاص دارد و معدود مقالاتی که فاکتور رقابت را در نظر می‌گیرند نیز یا فقط زنجیره مستقیم را مدل می‌کنند و یا مساله را در شرایط قطعیت حل می‌کنند. این در حالی است که بحث عدم قطعیت جزء جدایی ناپذیر مسائل دنیای واقعی بوده و اهمیت آن توسط پژوهشگران زیادی نیز مورد تاکید قرار گرفته است. با توجه به اینکه در لجستیک معکوس، کنترل و تخمین میزان و کیفیت برگشتی‌ها بسیار سخت‌تر از تخمین و کنترل تقاضا در لجستیک مستقیم است موضوع عدم قطعیت در لجستیک معکوس از اهمیت بیشتری برخوردار است.

تقریبا تمام کارهای پژوهشی مرور شده در حوزه طراحی شبکه زنجیره تامین رقابتی فعالیت‌های زنجیره مستقیم را آن هم در یک محیط قطعی در نظر می‌گیرند در حالی که شبکه‌های زنجیره تامین به طور طبیعی در یک فضای غیرقطعی و محیط پویا فعالیت می‌کنند. کلیبی و همکارانش [۲۰] مروری بر مسائل طراحی شبکه زنجیره تامین در شرایط عدم قطعیت انجام داده‌اند. آنها منابع ایجاد عدم قطعیت در مسایل طراحی شبکه را شناسایی کرده و بر اساس آن روش‌ها و مدلهای بهینه‌سازی مربوط را طبقه‌بندی نموده اند. عدم قطعیت در زنجیره تامین به دو دسته قابل تقسیم است (۱) عدم قطعیت معمول صنعت و کسب و کار که شامل عدم قطعیت معمول در تقاضا، تامین و از این قبیل می‌باشد. (۲) عدم قطعیت با امکان یا احتمال وقوع کم ولی تاثیر بسیار زیاد که از آن تعبیر به بحران، حادثه، اختلال و خطر نیز می‌شود.

روش‌های مختلفی برای مدل‌سازی و حل مسائل در شرایط عدم قطعیت توسعه داده شده است اما یکی از مشکلاتی که در این مسیر وجود دارد عدم امکان تعریف یک تابع توزیع مناسب برای پارامترهای غیرقطعی است. در این شرایط یکی از رویکردهای مناسب، تئوری مجموعه‌های فازی است. این تئوری از نظر مدیران و داده‌های تجربی برای تقریب پارامترهای غیرقطعی استفاده می‌کند.

معدود مقالاتی که بحث رقابت را در زنجیره‌های معکوس و حلقه بسته مدل کرده‌اند بیشتر بر روی تصمیمات عملیاتی متمرکز شده‌اند و تقریبا همه آنها نیز رقابت درون زنجیره‌ای را در نظر می‌گیرند و تاثیر مشخصه‌های رقابتی کانال معکوس را بر تصمیمات استراتژیک شبکه در شرایط رقابت بین زنجیره‌ای نظر نمی‌گیرند.

نوآوری‌های این مقاله در مقایسه با ادبیات موضوع در سه مورد کلی است: (۱) مدل‌سازی مساله طراحی شبکه زنجیره تامین حلقه بسته در حالتی که رقابت و عدم قطعیت را به طور همزمان لحاظ نماید. در واقع تصمیم‌گیری همزمان در سطوح استراتژیک (طراحی شبکه)، تاکتیکی (جریان مواد و محصولات) و عملیاتی (قیمت‌گذاری) در دو کانال مستقیم و معکوس از نوآوری‌های این مقاله است (۲) ارائه یک مدل دوسطحی برای رقابت استکلبرگ و اثبات تقعر

مدل یک‌سطحی حاصل از رویکرد پیشنهادی و (۳) حل مساله و ارائه جواب‌های با دقت بالا با استفاده از رویکرد تجزیه بندرز.

۳- تشریح مساله

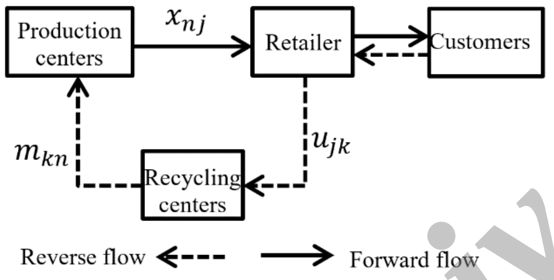
در این مقاله دو زنجیره تامین حلقه‌بسته را در نظر گرفته شده است که در یک فضای غیرقطعی به رقابت می‌پردازند. رقابت بر روی قیمت خرده‌فروشی در کانال مستقیم و قیمت کالاهای برگشتی در کانال معکوس (قیمتی که خرده فروش کالای فرسوده را از مشتری می‌خرد) اتفاق می‌افتد. تقاضای بازار برای هر زنجیره تامین وابسته به قمیت است و مقدار کالای برگشتی نیز حساس به قیمت معکوس (قیمت کالای برگشتی) است. عدم قطعیت در این مساله با استفاده از تئوری مجموعه‌های فازی مدل می‌شود.

ساختار رقابتی برای زنجیره‌های تامین حلقه‌بسته به صورت رقابت استکلبرگ (رهبر-پیرو) در نظر گرفته شده است.

در این نوع از رقابت بعد از ورود زنجیره جدید به بازار، زنجیره موجود تصمیات خود را بر اساس مشخصه‌های رقیب تازه وارد تغییر خواهد داد و سپس زنجیره جدید بر اساس واکنش مشاهده شده از زنجیره موجود در مورد قیمت مستقیم و برگشت خود تصمیم می‌گیرد. در اینجا زنجیره موجود نقش رهبر و زنجیره جدید نقش پیرو را بازی می‌کند. مساله طراحی شبکه زنجیره تامین حلقه بسته رقابتی برای حل نیاز به مقدار تقاضا و مقدار کالاهای برگشتی و همچنین قیمت‌های مستقیم و برگشت دارد.

در واقع با بررسی این مساله سه نوآوری ایجاد خواهد شد: اول اینکه رقابت بین دو زنجیره تامین حلقه بسته که بر روی قیمت مستقیم و معکوس انجام می‌شود در حالت استکلبرگ در نظر گرفته می‌شود که پیش از این در ادبیات موجود نبوده است (به صورت دوسطحی). دوم، آنکه با استفاده از تئوری مجموعه‌های فازی عدم قطعیت‌هایی که بر تصمیمات رقابتی زنجیره‌های تامین حلقه بسته و طراحی شبکه موثرند کنترل می‌گردد و سوم اینکه به طور همزمان تصمیمات استراتژیک، تاکتیکی و عملیاتی را مورد توجه قرار گرفته است و تاثیر رقابت بین زنجیره‌ها بر تصمیمات طراحی شبکه در یک محیط غیرقطعی تحلیل می‌شود.

دو زنجیره تامین حلقه بسته را در نظر بگیرید که محصول مشابه و یا به شدت قابل جایگزین به بازار عرضه می‌کنند. هر زنجیره همانطور که در شکل ۱ نیز مشاهده می‌شود شامل تولیدکننده‌هایی است که محصولات را تولید و با یک قیمت مشخص عمده‌فروشی به سمت خرده‌فروشان حمل می‌کنند و خرده‌فروشان نیز محصول را با قیمت خرده‌فروشی به مشتری نهایی می‌فروشند. در سمت معکوس زنجیره، خرده‌فروشان محصولات برگشتی را از مشتری خریداری کرده و به سمت بازیافت کننده‌ها حمل می‌کنند. پس از دمونتاژ و جداسازی قطعات محصول برگشتی، مواد بازیافت شده به سمت تولیدکنندگان حمل می‌شود.



شکل ۱- ساختار شماتیک زنجیره تامین حلقه بسته مورد بررسی

۴- مدل‌سازی ریاضی مساله

در بازار رقابتی، تقاضای هر بازیگر در این بازار به قیمتی که او ارائه می‌کند و همچنین به قیمت رقیب او بستگی دارد. به عبارت دیگر هر چقدر که کالای یک زنجیره با قیمت بالاتری عرضه شود تقاضا برای آن کاهش یافته و به سمت کالای زنجیره رقیب می رود. در ادبیات اقتصاد و بازاریابی معمول است که یک فرم خطی برای تقاضا لحاظ می‌شود که تابع صعودی از قیمت یک رقیب و تابع نزولی از قیمت رقیب دیگر است [۱۰]. تقاضای زنجیره تامین i را به صورت زیر تعریف می‌کنیم:

$$D_i(P_i, P_t) = \tilde{d}_i - \tilde{\beta}_{1i} P_i + \tilde{\beta}_{2i} P_t \quad ; i = 1, 2; \;\; t = 3 - i \qquad (۱)$$

در این رابطه $\tilde{d}_i$ نشاندهنده ی تقاضای بالقوه یا پایه برای زنجیره تامین i است و $\tilde{\beta}_{1i}$ و $\tilde{\beta}_{2i}$ ضرایب الاستیسیته قیمت هستند که درجه پاسخگویی تقاضا به قیمت ها را نشان می‌دهند. $\tilde{d}_i$، $\tilde{\beta}_{1i}$ و $\tilde{\beta}_{2i}$ پارامترهای مثبت و مستقل فازی هستند. از آنجا که تقاضای هر زنجیره تامین بیشتر نسبت به قیمت خود آن زنجیره حساس است این رابطه همواره برقرار خواهد بود: $E(\tilde{\beta}_{1i}) \geq E(\tilde{\beta}_{2i})$.

در زنجیره معکوس نیز مقدار محصولات برگشتی به میزان پراخت خرده‌فروشان به مشتریان بستگی دارد. این فرض به طور منطقی درست است زیرا مشتریان ترجیح می‌دهند که کالای برگشتی را به آن کسی که بیشتر برای آن پول می‌پردازد بفروشند. ما مقدار کالای برگشتی را به صورت تابعی خطی از قیمت برگشتی زنجیره‌ها به صورت زیر فرض می‌کنیم:

$$R_i(rp_i, rp_t) = \tilde{r}_i + \tilde{\beta}'_{1i} rp_i - \tilde{\beta}'_{2i} rp_t \;; \quad i = 1, 2; \;\; t = 3 - i \tag{۲}$$

$\tilde{r}_i$ میزان بالقوه برگشت برای زنجیره i است و فرض می‌کنیم که ضریبی از تقاضای بالقوه هر زنجیره است: $\tilde{\theta}\tilde{d}_i$ و $\tilde{\theta}$ نیز یک فاکتور مقیاس است. $\tilde{d}_i$ و , $\tilde{\beta}'_{1i}, \tilde{\beta}'_{2i} \tilde{r}_i$ پارامترهای نامنفی و مستقل فازی هستند و داریم:

$$E(\tilde{\beta}'_{1i}) \geq E(\tilde{\beta}'_{2i})$$

سایر مفروضات مدل‌ها عبارتند از:

- هزینه‌های واحد تولید ($\tilde{v}_i$) برای همه مراکز تولید در زنجیره تامین، یکسان هستند.
- مراکز بازیافت محصولات برگشتی را با قیمت ثابت ω از خرده‌فروشان می‌خرند.
- همه تقاضاهای مشتریان باید برآورده شده و همه کالاهای برگشتی بازیافت می‌شوند.
- مساله موجود تک‌دوره‌ای و تک‌محصولی است.

۴-۱- اندیس ها، پارامترها و متغیرهای تصمیم

علاوه بر پارامترهای ذکر شده، مدل‌هایی که ارائه می‌شوند شامل اندیس‌ها، پارامترها و متغیرهای تصمیم به شرح زیر هستند:

اندیس‌ها:

i	اندیس زنجیره‌های تامین(i=1, 2)
n	اندیس مکان‌های بالقوه برای مراکز تولید
j	اندیس خرده‌فروشان بالقوه
k	اندیس مکان‌های بالقوه برای مراکز بازیافت

پارامترها:

$\tilde{f}_n$	هزینه ثابت ایجا مراکز تولید n
$\tilde{c}_k$	هزینه ثابت ایجاد مراکز بازیافت k
$\tilde{b}_j$	هزینه ثابت ایجاد خرده‌فروش‌های j
$\widetilde{tp}_{nj}$	هزینه حمل واحد محصول از مرکز تولید n به خرده‌فروش j
$\widetilde{tr}_{jk}$	هزینه حمل واحد محصول از خرده‌فروش j به بازیافت کننده k
$\widetilde{tm}_{kn}$	هزینه حمل واحد ماده بازیافت شده از مراکز بازیافت k به مراکز تولید k
$\tilde{\rho}_i$	هزینه تولید واحد محصول در مراکز تولید زنجیره تامین i
$\tilde{\varphi}_k$	هزینه بازیافت واحد محصول در مراکز بازیافت k
$\widetilde{cp}_n$	حداکثر ظرفیت مراکز تولید n
$\widetilde{cm}_k$	حداکثر ظرفیت مراکز بازیافت k
$\widetilde{cr}_j$	حداکثر ظرفیت خرده‌فروشان j

متغیرهای تصمیم:

x_{nj}	مقدار محصولات حمل شده از مراکز تولید n به مراکز توزیع j
u_{jk}	مقدار محصولات برگشتی حمل شده از مراکز توزیع j به مراکز بازیافت k
m_{kn}	مقدار محصولات بازیافت شده و حمل شده از مراکز بازیافت k به مراکز تولید n
P_i	قیمت خرده‌فروشی واحد محصول در زنجیره i
rp_i	قیمت واحد محصولات برگشتی که خرده‌فروشان در ازای برگشت محصول به مشتری می‌پردازند

$$z_r = \begin{cases} 1 & \text{اگر یک مرکز تولید در مکان } n \text{ ایجاد شود} \\ 0 & \text{در غیر اینصورت} \end{cases}$$

$$y_l = \begin{cases} 1 & \text{اگر یک مرکز بازیافت در مکان } k \text{ ایجاد شود} \\ 0 & \text{در غیر اینصورت} \end{cases}$$

$$w_j = \begin{cases} 1 & \text{اگر یک مرکز توزیع در مکان } j \text{ ایجاد شود} \\ 0 & \text{در غیر اینصورت} \end{cases}$$

۴-۲- مدل‌سازی CLSCND در شرایط عدم قطعیت

بر اساس نمادهای ذکر شده در قسمت قبل، می‌توانیم مساله طراحی شبکه زنجیره تامین حلقه بسته را در شرایط رقابت بر روی قیمت با عدم قطعیت برای زنجیره جدید تازه وارد به بازار (یعنی i=2) مدل نماییم.

اینوگوچی و رامیک [۲۱] برنامه‌ریزی ریاضی فازی را به دو دسته طبقه‌بندی می‌کنند: (۱) برنامه‌ریزی انعطاف‌پذیر و (۲) برنامه‌ریزی امکانی. رویکردهای برنامه‌ریزی انعطاف‌پذیر بوسیله مجموعه‌های فازی مبتنی بر ترجیح مدل می‌شوند و در مسائلی مورد استفاده قرار می‌گیرند که مقادیر هدف برای تابع هدف و محدودیتها وجود دارد. رویکردهای امکانی در مواقعی که با کمبود دانش در مورد مقادیر پارامترهای مساله مواجه باشیم مورد استفاده قرار می‌گیرد. از آنجایی که برخی از پارامترهای مساله به طور کامل شناخته شده نیستند برای آنها توزیع امکان در نظر گرفته می‌شود.

رویکردهای امکانی توسط محققین زیادی برای مواجهه با پارامترهای غیرقطعی مورد استفاده قرار گرفته است. در این مساله از رویکرد خیمنز [۲۲] استفاده کرده‌ایم. این رویکرد در واقع یک روش کلی رتبه‌بندی است که می‌تواند در انواع مختلف توابع عضویت مانند مثلثی، ذوزنقه‌ای و غیرخطی در هر دو شکل متقارن و غیرمتقارن مورد استفاده قرار گیرد.

مدل ریاضی زیر را در نظر بگیرید و تمام پارامترهای آن را به صورت عدد فازی مثلثی در نظر بگیرید.

$$\begin{aligned} \min \quad & z = \tilde{c}^t x \\ s.t. \quad & \\ & \tilde{a}_i x \geq \tilde{b}_i, \quad i = 1,\dots,l \\ & \tilde{a}_i x = \tilde{b}_i, \quad i = l+1,\dots,m \\ & x \geq 0 \end{aligned} \qquad (۳)$$

بر اساس رویکرد Jimenez [۲۲] اگر $\min_{i=1,\dots,m} \{ \mu_M(\tilde{a}_i x, \tilde{b}_i) \} = \alpha$ باشد بردار تصمیم $x \in \Re^n$ با درجه α موجه است. آنگاه مدل را می‌توان به صورت زیر بازنویسی نمود(برای توضیحات بیشتر در مورد جزییات ریاضی رجوع شود به [۲۲]).

$$\begin{aligned} \min \quad & EV(\tilde{c})x \\ s.t. \quad & \\ & [(1-\alpha)E_2^{a_i} + \alpha E_1^{a_i}]x \geq \alpha E_2^{b_i} + (1-\alpha)E_1^{b_i}, \\ & [(1-\frac{\alpha}{2})E_2^{a_i} + \frac{\alpha}{2}E_1^{a_i}]x \geq \frac{\alpha}{2}E_2^{b_i} + (1-\frac{\alpha}{2})E_1^{b_i}, \\ & [\frac{\alpha}{2}E_2^{a_i} + (1-\frac{\alpha}{2})E_1^{a_i}]x \leq (1-\frac{\alpha}{2})E_2^{b_i} + \frac{\alpha}{2}E_1^{b_i}, \\ & x \geq 0 \end{aligned}$$

با فرض اینکه همه پارامترهای غیر قطعی اعداد فازی مثلثی هستند، با استفاده از رویکرد خیمنز مدل طراحی شبکه را می‌توانیم به صورت معادل زیر بنویسیم.

$$\begin{aligned} Max\ Z &= \sum_n \sum_j \left(\frac{v_2^p + 2v_2^m + v_2^o - \rho_2^p - 2\rho_2^m - \rho_2^o}{4} \right) x_{nj} \\ &+ \sum_n \sum_j \left(\frac{-tp_{nj}^p - 2tp_{nj}^m - tp_{nj}^o}{4} \right) x_{nj} \\ &+ \sum_j \sum_k \left(\frac{4\omega - 4rp_1 - tr_{jk}^p - 2tr_{jk}^m - tr_{jk}^o}{4} \right) u_{jk} \\ &- \sum_n \left(\frac{f_n^p + 2f_n^m + f_n^o}{4} \right) z_n \\ &- \sum_k \left(\frac{c_k^p + 2c_k^m + c_k^o}{4} \right) y_k \\ &- \sum_j \left(\frac{b_j^p + 2b_j^m + b_j^o}{4} \right) w_j \end{aligned}$$

$$-\sum_k \sum_n \left(\frac{tm_{kn}^p + 2tm_{kn}^m + tm_{kn}^o}{4}\right) m_{kn}$$
$$-\sum_j \sum_k \left(\frac{\varphi_k^p + 2\varphi_k^m + \varphi_k^o}{4}\right) u_{jk}$$

$$\sum_n \sum_j x_{nj} = D_2 \qquad (۴)$$

$$\sum_j \sum_k u_{jk} = R_2 \qquad (۵)$$

$$\sum_k u_{jk} \le \sum_n x_{nj} \quad \forall j \qquad (۶)$$

$$\sum_k u_{jk} \le \sum_n x_{nj} \quad \forall j \qquad (۷)$$

$$\sum_k m_{kn} \le \sum_j x_{nj} \quad \forall n \qquad (۸)$$

$$\sum_k m_{kn} \le z_n \left[\gamma \left(\frac{cp_n^p + cp_n^m}{2}\right) + (1-\gamma)\left(\frac{cp_n^o + cp_n^m}{2}\right)\right] \forall n \qquad (۹)$$

$$\sum_j u_{jk} \le y_k \left[\gamma \left(\frac{cm_k^p + cm_k^m}{2}\right) + (1-\gamma)\left(\frac{cm_k^o + cm_k^m}{2}\right)\right] \quad \forall k \qquad (۱۰)$$

$$\sum_n x_{nj} \le w_j \left[\gamma \left(\frac{cr_j^p + cr_j^m}{2}\right) + (1-\gamma)\left(\frac{cr_j^o + cr_j^m}{2}\right)\right] \quad \forall j \qquad (۱۱)$$

$$x_{nj}, u_{jk}, m_{kn} \ \ge 0 \ \forall n, j, k \qquad (۱۳)$$

$$z_n, y_k, w_j \ \in \{0,1\} \ \forall n, k, j \qquad (۱۲)$$

تابع هدف، حداکثر سازی سود زنجیره تامین حلقه بسته است. عبارت‌های اول و دوم تابع هدف به ترتیب درآمد مراکز تولید و خرده‌فروشان را نشان می‌دهند. سایر عبارت‌های تابع هدف عبارتند از هزینه‌های ثابت استقرار، هزینه‌های متغیر حمل و هزینه بازیافت. محدودیت‌های (۳) برآورده شدن تقاضای مشتریان را تضمین می‌کنند و محدودیت‌های (۴) بیان می‌کنند که همه محصولات برگشتی باید از خرده فروشان به مراکز بازیافت حمل شوند. محدودیت‌های (۵) تضمین می‌کند مقدار محصولات برگشتی که از طرف خرده فروشان وارد جریان برگشت می‌شود حداکثر بتواند برابر با مقدار تولید شده باشد. محدودیت‌های (۶) تعادل جریان کالاها را برای محصولات برگشتی و بازیافت شده برقرار می‌کند. محدودیت‌های (۷) حداکثر مقدار محصولات بازیافت شده را نشان می‌دهد. قابل توجه است که مواد بازیافت شده که از مراکز بازیافت به مراکز تولید حمل می‌شوند حداکثر می‌توانند برابر با مقدار تولید باشند. محدودیت‌های (۸)، (۹) و (۱۰) حداکثر ظرفیت مراکز تولید، بازیافت و خرده فروشان را نشان می‌دهد. محدودیت‌های (۱۱) و (۱۲) نیز بیانگر متغیرهای تصمیم صفر- یک و نامنفی هستند.

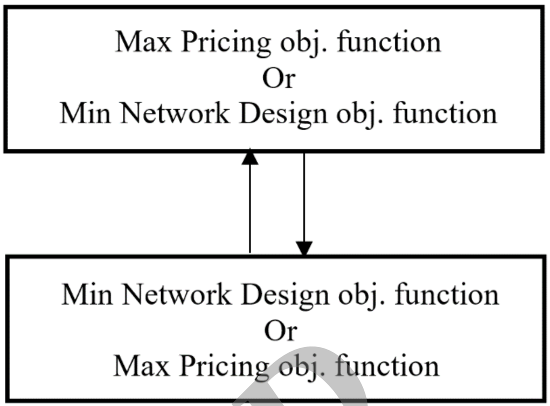
۴-۳- مدل دوسطحی طراحی شبکه CLSC

اغلب مدلهای ریاضی شامل یک تصمیم‌گیرنده و یک تابع هدف هستند که برای برنامه‌ریزی ریاضی متمرکز به کار می‌روند، اما برنامه‌ریزی ریاضی دو سطحی برای تصمیم‌گیری غیرمتمرکز توسعه داده شده است. در برنامه‌ریزی دوسطحی که تصمیم‌گیرنده سطح یک آن را رهبر و سطح دو آن را پیرو می‌گوییم، هر تصمیم گیرنده سعی می‌کند تابع هدف خود را بدون توجه به هدف قسمت دیگر بهینه کند اما تصمیم هر تصمیم‌گیرنده بر مقدار تابع هدف و فضای تصمیم گیری سطح دیگر اثر می‌گذارد. شکل کلی ریاضی برنامه‌ریزی دو سطحی به صورت زیر است:

$$\begin{aligned} &Max_x \ \ F(x,y) = c_1 x + d_1 y \\ &Max_y \ \ f(x,y) = c_2 x + d_2 y \\ &s.t{:} \begin{cases} A_1 x + A_2 y \le b \\ x, y \ge 0 \end{cases} \end{aligned} \qquad (۱۴)$$

که در آن $F(x,y)$ تابع هدف رهبر و $f(x,y)$ تابع هدف پیرو می‌باشد. همچنین x و y متغیرهایی را نشان می‌دهند

که به ترتیب تحت کنترل تصمیم‌گیرنده سطح یک و دو هستند.



شکل ۲- ساختار شماتیک رویکرد رقابت دوسطحی

نقطه (x_0, y_0) را یک نقطه شدنی می‌گوییم اگر در محدودیت‌های بالا صدق کند و آن را یک نقطه قابل دستیابی برای تصمیم‌گیرنده سطح یک می‌گوییم اگر برای $x = x_0$ ، y_0 جواب بهینه مساله سطح دوم باشد. مساله سطح دوم به صورت زیر تعریف می شود.

$$Max\ \ d_2y + \ c_2x_0$$
$$\begin{cases} A_2y \le b - A_1x_0 \\ y \ge 0 \end{cases} \quad (۱۵)$$

که در آن x_0 توسط سطح یک تعیین شده است. همچنین مجموعه تمام نقاط قابل دستیابی را ناحیه قابل دستیابی مساله برنامه‌ریزی دو سطحی می‌گوییم که زیرمجموعه‌ای از مجموعه جواب‌های شدنی این مساله است و لزوما یک مجموعه محدب نیست. هدف از حل مساله برنامه‌ریزی دو سطحی بدست آوردن نقطه‌ای از فضای قابل دستیابی است که به ازای آن مقدار تابع هدف سطح یک، روی ناحیه قابل دستیابی بهینه شده باشد. از ویژگیهای مهم ناحیه قابل دستیابی این است که، مجموعه نقاط راسی آن، زیرمجموعه نقاط راسی فضای شدنی است و جواب بهینه مساله برنامه‌ریزی دو سطحی نیز یکی از این نقاط راسی است.
برنامه‌ریزی‌های دو سطحی به طور ذاتی سخت می‌باشند حتی در ساده‌ترین حالت که توابع هدف و محدویت‌ها خطی می‌باشند نشان داده می شود که مساله‌ی برنامه‌ریزی دو سطحی Np-hard است.
شکل زیر به صورت شماتیک رویکرد مدل‌سازی دو سطحی برای مساله رقابتی رهبر-پیرو را نشان می‌دهد:
در این حالت یک مدل دوسطحی خواهیم داشت که در سطح بالا رهبر مقدار بهینه متغیرهای تصمیم طراحی شبکه و مقادیر تولید، توزیع و برگشت را تعیین می‌کند. فرض می‌کنیم که رهبر تنها در مورد مکان و تعداد خرده فروش ها و مراکز بازیافت تصمیم‌گیری خواهد کرد و مکان و تعداد کارخانه ثابت می‌ماند.

Z_1 : {max pricing & min network design}
Z_2 : {max pricing}

$$Max\ Z_2 = \left(\tilde{d}_2 - \tilde{\beta}_{12}P_2 + \tilde{\beta}_{22}P_1\right)P_2$$
$$-\sum_n\sum_j \tilde{\rho}_2 x_{nj} + \sum_j\sum_k (\omega - rp_2)u_{jk} \quad (۱۶)$$
$$-\sum_k \widetilde{c_k}y_k - \sum_j \widetilde{b_j}w_j$$
$$-\sum_n\sum_j \widetilde{tp}_{nj}x_{nj} - \sum_j\sum_k \widetilde{tr}_{jk}u_{jk}$$
$$-\sum_k\sum_n \widetilde{tm}_{kn}m_{kn} - \sum_k\sum_j \tilde{\varphi}_k u_{jk}$$
s.t.
Constraints (3)-(12)

$$Max\ Z_1 = \left(\tilde{d}_1 - \tilde{\beta}_{11}P_1 + \tilde{\beta}_{21}P_2\right)P_1$$
$$+(\omega - rp_1)\left(\tilde{r}_1 + \tilde{\beta}'_{11}rp_1 - \tilde{\beta}'_{21}rp_2\right) \quad (۱۷)$$

مساله سطح پایین یک مساله برنامه‌ریزی غیرخطی با متغیرهای پیوسته می‌باشد.

۴-۴- تبدیل مدل دو سطحی به مدل یک سحطی

مساله سطح پایین یک مساله برنامه‌ریزی غیرخطی پیوسته است و به وضوح مشخص است که محدب نیز می‌باشد. لذا با استفاده از شرایط مرتبه اول مقدار بهینه متغیرهای

تصمیم سطح پایین در معادله (۱۶) یعنی P_1 و rp_1 را یافته و با قرار دادن در مدل سطح بالا مساله را به یک مدل یک سطحی برنامه‌ریزی غیرخطی عدد صحیح مختلط تبدیل می‌کنیم.

$$\frac{\partial Z_1}{\partial P_1} = \tilde{d}_1 - 2\tilde{\beta}_{11}P_1 + \tilde{\beta}_{21}P_2 = 0 \quad (۱۸)$$

$$P^*{}_1 = \frac{\tilde{d}_1 + \tilde{\beta}_{21}P_2}{2\tilde{\beta}_{11}} \quad (۱۹)$$

$$\frac{\partial Z_1}{\partial rp_1} = \omega\tilde{\beta}'_{11} - \tilde{r}_1 - 2\tilde{\beta}'_{11}rp_1 + \tilde{\beta}'_{21}rp_2 = 0 \quad (۲۰)$$

$$rp^*{}_1 = \frac{\omega\tilde{\beta}'_{11} - \tilde{r}_1 + \tilde{\beta}'_{21}rp_2}{2\tilde{\beta}'_{11}} \quad (۲۱)$$

با جایگذاری مقادیر (۱۸) و (۲۰) در مدل سطح بالا خواهیم داشت:

$$\begin{aligned} Max\ Z_2 = &\left(\tilde{d}_2 - \tilde{\beta}_{12}P_2 + \tilde{\beta}_{22}\left(\frac{\tilde{d}_1 + \tilde{\beta}_{21}P_2}{2\tilde{\beta}_{11}}\right)\right)P_2 \\ &- \sum_n\sum_j \tilde{\rho}_2 x_{nj} + \sum_j\sum_k (\omega - rp_2)u_{jk} \\ &- \sum_k \tilde{c_k} y_k - \sum_j \tilde{b_j} w_j \\ &- \sum_n\sum_j \widetilde{tp}_{nj} x_{nj} - \sum_j\sum_k \widetilde{tr}_{jk} u_{jk} \\ &- \sum_k\sum_n \widetilde{tm}_{kn} m_{kn} - \sum_k\sum_j \tilde{\varphi}_k u_{jk} \end{aligned} \quad (۲۲)$$

s.t.

$$\sum_n\sum_j x_{nj} = \tilde{d}_2 - \tilde{\beta}_{12}P_2 + \tilde{\beta}_{22}\left(\frac{\tilde{d}_1 + \tilde{\beta}_{21}P_2}{2\tilde{\beta}_{11}}\right) \quad (۲۳)$$

$$\sum_j\sum_k u_{jk} = \tilde{r}_2 + \tilde{\beta}'_{12}rp_2 - \tilde{\beta}'_{22}\left(\frac{\omega\tilde{\beta}'_{11} - \tilde{r}_1 + \tilde{\beta}'_{21}rp_2}{2\tilde{\beta}'_{11}}\right) \quad (۲۴)$$

Constraints (5)-(12)

مساله MINLP فوق، محدب است اگر داشته باشیم $2\tilde{\beta}_{12}\tilde{\beta}_{11} - \tilde{\beta}_{22}\tilde{\beta}_{21} \geq 0$.

اثبات:

با استفاده از شرایط مرتبه اول و دوم ماتریس هیشین تابع هدف مساله فوق به صورت زیر بدست می‌آید:

$$\begin{bmatrix} 2\tilde{\beta}_{12} - \dfrac{\tilde{\beta}_{22}\tilde{\beta}_{21}}{\tilde{\beta}_{11}} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & JK \\ 0 & JK & 0 \end{bmatrix}$$

و به صورت زیر نشان می دهیم که این ماتریس معین مثبت است:

$$[P_2 \quad rp_2 \quad u_{jk}]\begin{bmatrix} 2\tilde{\beta}_{12} - \dfrac{\tilde{\beta}_{22}\tilde{\beta}_{21}}{\tilde{\beta}_{11}} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & JK \\ 0 & JK & 0 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} P_2 \\ rp_2 \\ u_{jk} \end{bmatrix} = P^2{}_2\left(2\tilde{\beta}_{12} - \frac{\tilde{\beta}_{22}\tilde{\beta}_{21}}{\tilde{\beta}_{11}}\right) + 2JKu_{jk}rp_2$$

با توجه به مثبت بودن همه‌ی متغیرها، در عبارت فوق در صورتی که $2\tilde{\beta}_{12}\tilde{\beta}_{11} - \tilde{\beta}_{22}\tilde{\beta}_{21} \geq 0$ باشد ماتریس هیشین معین مثبت است و با توجه به خطی بودن محدودیت‌ها، مساله‌ی برنامه‌ریزی فوق محدب می‌باشد.

۵- حل مدل با استفاده از الگوریتم تجزیه بندرز

تجزیه بندرز یک رویکرد هوشمندانه برای برخورد با مسائل برنامه‌ریزی ریاضی است که نوعی از متغیرهای دشوارساز را در بر دارند. متغیرهای دشوارساز متغیرهایی هستند که اگر به طور موقت ثابت نگه داشته شوند، بررسی ادامه‌ی مساله به مراتب راحت‌تر می‌گردد. رویکرد تجزیه‌ی بندرز به خصوص برای حل مسایل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط مورد استفاده قرار می‌گیرد. زیرا با ثابت نگه داشتن متغیرهای عدد صحیح در این مسائل، بخش باقیمانده به صورت یک مساله‌ی برنامه‌ریزی خطی به راحتی قابل حل خواهد بود [۲۴]. الگوریتم تجزیه‌ی بندرز برای یافتن بردار

بهینه‌ی جواب‌ها از یک رویکرد صفحات برش بهره می‌گیرد. رویکرد صفحات برش کمک می‌کند که (۱) مساله‌ی برنامه‌ریزی خطی را به صورت تابع ناپارامتری از متغیرهایی نشان دهیم که قبلا ثابت در نظر گرفته شده‌اند و (۲) مقادیر بردار پارامتری را مشخص کنیم که به ازای آنها مساله‌ی برنامه‌ریزی خطی موجه باقی می‌ماند. برای تعریف این برش‌ها از تئوری دوگان بهره گرفته می‌شود و سپس خود مساله‌ی برنامه‌ریزی خطی برای ایجاد برش‌هایی که عمیق‌ترین برش‌ها نامیده می‌شوند، مورد استفاده قرار می‌گیرد.

در سال ۱۹۷۲، گوفریون رویکرد تجزیه‌ی بندرز را برای حل کلاس بزرگتری از مسائل برنامه‌ریزی ریاضی عمومیت بخشید، به طوری که دیگر نیاز به خطی بودن زیرمساله‌ی بندرز نباشد. تئوری دوگان غیرخطی محدب برای استحصال خانواده‌ی جدیدی از برش‌ها با الهام گرفتن از رویکرد بندرز استفاده شد.

۵-۱- زیرمساله بندرز

زیر مساله بندرز یک مساله برنامه ریزی غیرخطی با متغیرهای پیوسته به صورت زیر خواهد بود که با نام NLP از آن یاد می‌کنیم:

$$Min\ Z_{NLP} = -\left(\tilde{d}_2 - \tilde{\beta}_{12}P_2 + \tilde{\beta}_{22}\left(\frac{\tilde{d}_1 + \tilde{\beta}_{21}P_2}{2\tilde{\beta}_{11}}\right)\right)P_2 + \sum_n\sum_j \tilde{\rho}_2 x_{nj} - \sum_j\sum_k (\omega - rp_2)u_{jk} + \sum_k \tilde{c_k}\bar{y}_k^{(T)} + \sum_j \tilde{b_j}\bar{w}_j^{(T)} + \sum_n\sum_j \widetilde{tp}_{nj}x_{nj} + \sum_j\sum_k \widetilde{tr}_{jk}u_{jk} + \sum_k\sum_n \widetilde{tm}_{kn}m_{kn} + \sum_k\sum_j \tilde{\varphi}_k u_{jk} \quad (۲۵)$$

s.t.

$$\sum_n\sum_j x_{nj} = \tilde{d}_2 - \tilde{\beta}_{12}P_2 \quad (۲۶)$$

$$+\tilde{\beta}_{22}\left(\frac{\tilde{d}_1 + \tilde{\beta}_{21}P_2}{2\tilde{\beta}_{11}}\right)$$

$$\sum_j\sum_k u_{jk} = \tilde{r}_2 + \tilde{\beta}'_{12}rp_2 - \tilde{\beta}'_{22}\left(\frac{\omega\tilde{\beta}'_{11} - \tilde{r}_1 + \tilde{\beta}'_{21}rp_2}{2\tilde{\beta}'_{11}}\right) \quad (۲۷)$$

Constraints (5)-(12)

در زیرمساله NLP مقادیر متغیرهای $\bar{y}_k^{(T)}$ و $\bar{w}_j^{(T)}$ از حل مساله اصلی بندرز در هر تکرار حاصل می‌شوند. با حل زیرمساله‌ی بندرز مقادیر متغیرهای پیوسته و همچنین مقادیر بهینه دوگان برای محدودیتهای (۱۱۱) و (۱۱۲) بدست می‌آیند که آنها را به ترتیب به فرم $\bar{\gamma}^{(T)}$ و $\bar{\eta}^{(T)}$ نشان می‌دهیم.

۵-۲- مساله اصلی بندرز

مساله اصلی بندرز یک مساله برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط است که با نام MIP از آن یاد می‌کنیم.

$$Min\ Z_{MIP} = \mu \quad (۲۸)$$

s.t:

$$\mu \geq -\left(\tilde{d}_2 - \tilde{\beta}_{12}\bar{P}_2^{(t)} + \tilde{\beta}_{22}P_1\left(\frac{\tilde{d}_1 + \tilde{\beta}_{21}\bar{P}_2^{(t)}}{2\tilde{\beta}_{11}}\right)\right)\bar{P}_2^{(t)} + \sum_n\sum_j \tilde{\rho}_2\bar{x}_{nj}^{(t)} - \sum_j\sum_k(\omega - \overline{rp}_2^{(t)})\bar{u}_{jk}^{(t)} + \sum_k \tilde{c_k}y_k + \sum_j \tilde{b_j}w_j \quad (۲۹)$$

$$+\sum_n\sum_j \widetilde{tp}_{nj}\bar{x}_{nj}^{(t)} + \sum_j\sum_k \widetilde{tr}_{jk}\bar{u}_{jk}^{(t)} + \sum_k\sum_n \widetilde{tm}_{kn}\bar{m}_{kn}^{(t)} + \sum_k\sum_j \tilde{\varphi}_k\bar{u}_{jk}^{(t)} + \bar{\gamma}^{(t)}\left(\sum_j \bar{u}_{jk}^{(t)} - \widetilde{cm}_k\bar{y}_k^{(t)}\right)$$

$$+\bar{\eta}^{(t)}\left(\sum_{n} x_{nj}-\widetilde{cr}_j \bar{w}_j^{(t)}\right);\ \ \forall\, t=1,\dots,T$$

$$\bar{\gamma'}^{(t)}\left(\sum_{j} \bar{u}_{jk}^{(t)}-\widetilde{cm}_k \bar{y}_k^{(t)}\right) +\bar{\eta'}^{(t)}\left(\sum_{n} x_{nj}-\widetilde{cr}_j \bar{w}_j^{(t)}\right)\leq 0;\ \ \forall\, t=1,\dots,Q \qquad (۳۰)$$

$$z_n, y_k, w_j\ \in\ \{0,1\}\ \forall\, n,k,j \qquad (۳۱)$$

نامعادلات (۲۹) به برش‌های بهینگی بندرز معروف هستند. در صورتی که جوابهای مساله اصلی برای زیرمساله‌ی بندرز موجه نباشند از برش های موجه که با نامعادلات (۳۰) نشان داده می‌شوند استفاده می‌شود.

۵-۳- نتایج محاسباتی

در این بخش نتایج تحلیلی که در بخشهای قبلی برای مساله رقابت بین دو زنجیره تامین حلقه بسته بدست آمد با استفاده از مثال عددی مورد بررسی قرار می‌گیرد.

داده‌های مساله به صورت تصادفی تولید شده‌اند اما به گونه‌ای که به شرایط دنیای واقعی نزدیک باشند. برای براورد پارامترهای غیرقطعی از توزیع امکان مثلثی استفاده شده است.

جدول ۱ اطلاعات مربوط به توزیع های تصادفی که مقادیر محتمل توزیع مثلثی فازی را ایجاد کرده اند ارائه می دهد. برای استفاده از رویکرد تجزیه بندرز در حل مساله فوق طبق گامهای زیر عمل می‌شود. در گام صفر یک جواب اولیه برای متغیرهای صفر و یک ایجاد می شود و سپس با حل زیرمساله و مساله ی اصلی به طور متوالی جواب نهایی بدست می آید. مقدار پارامتر تلرانس در اینجا ۰/۰۰۱ در نظر گرفته شده است.

گام صفر (شروع الگوریتم):

- مقادیر اولیه‌ای برای متغیرهای $\bar{z}_n^{(T)}$ ، $\bar{y}_k^{(T)}$ و $\bar{w}_j^{(T)}$ انتخاب کنید.
- مقدار پارامتر تلرانس همگرایی (ε) را مشخص کنید.
- T=1 و Q=0
- UBD=∞

گام ۱ (حل زیر مساله NLP):

- مساله NLP را حل کرده و مقادیر بهینه متغیرهای تصمیم و همچنین $\bar{\lambda}^{(T)}$ ، $\bar{\gamma}^{(T)}$ و $\bar{\eta}^{(T)}$ را بیابید.
- اگر $Z_{NLP} < UBD$ آنگاه:

$$UBD = Z_{NLP}$$

$$x^*_{nj}=\bar{x}_{nj}^{(T)}, u^*_{jk}=\bar{u}_{jk}^{(T)}, m^*_{kn}=\bar{m}_{kn}^{(T)}, P^*_2=\bar{P}_2^{(T)}, rp^*_2=\overline{rp}_2^{(T)}$$

$z^*_n=\bar{z}_n^{(T)}$ ، $y^*_k=\bar{y}_k^{(T)}$ و $w^*_j=\bar{w}_j^{(T)}$

گام ۲ (حل مساله اصلی MIP):

- مساله MIP را حل کرده و جوابها را به صورت $\bar{z}_n^{(T+1)}$ ، $\bar{y}_k^{(T+1)}$ و $\bar{w}_j^{(T+1)}$ به روزرسانی کنید.
- اگر $Z_{MIP}-\varepsilon \geq UBD$ متوقف شوید.

گام ۳ (بررسی موجه بودن زیرمساله):

زیرمساله یکی از دو حالت زیر را خواهد داشت:

۳-۱- اگر زیرمساله موجه است: T=T+1 و UBD و جوابها را به روزرسانی کنید و به گام ۱ بروید.

۳-۲- اگر زیرمساله غیر موجه است: Q=Q+1 و برش موجه را به مدل اضافه کرده و به گام ۱ بروید.

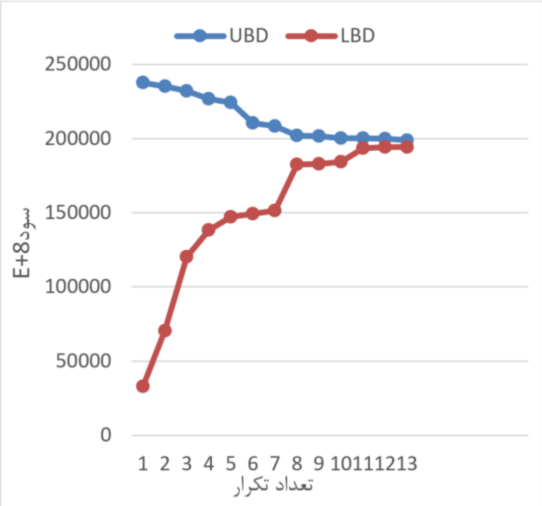
جدول ۱- منابع داده‌های تصادفی

پارامتر	توزیع تصادفی مربوط به زنجیره موجود	توزیع تصادفی مربوط به زنجیره جدید
$\tilde{f}_n$	$U(53,57)\times 10^4$	$U(52,56)\times 10^4$
$\tilde{c}_k$	$U(85,110)\times 10^3$	$U(81,95)\times 10^3$
$\tilde{b}_j$	$U(4,6)\times 10^4$	$U(39,57)\times 10^3$
$\widetilde{tp}_{nj}$	$U(6,8)$	$U(5,7)$
$\widetilde{tr}_{jk}$	$U(3,5)$	$U(3.5,5.5)$
$\widetilde{tm}_{kn}$	$U(2,4)$	$U(2.2,4.5)$
$\tilde{p}_i$	$U(82,87)$	$U(80,84)$
$\tilde{\varphi}_k$	$U(18,21)$	$U(17,22)$
$\widetilde{cp}_n$	$U(9,11)\times 10^4$	$U(8,9)\times 10^4$
$\widetilde{cm}_k$	$U(9.5,11)\times 10^5$	$U(82,99)\times 10^4$
$\widetilde{cr}_j$	$U(9.5,11)\times 10^5$	$U(90,100)\times 10^4$
$\tilde{\beta}_{1i}$	$U(0.8,1.4)$	$U(0.8,1.4)$
$\tilde{\beta}_{2i}$	$U(0.7,1)$	$U(0.7,1)$
$\tilde{\beta}'_{1i}$	$U(2.9,3.7)$	$U(2.9,3.7)$
$\tilde{\beta}'_{2i}$	$U(0.1,0.4)$	$U(0.1,0.4)$
$\tilde{\theta}$	$U(0.2,0.7)$	$U(0.2,0.7)$
$\tilde{v}_i$	$U(130,140)$	$U(120,145)$
$\tilde{d}_i$	$U(40,45)\times 10^5$	$U(380,420)\times 10^4$

نحوه همگرایی الگوریتم تجزیه بندرز برای مدل رقابتی رهبر-پیرو که رهبر در آن تصمیمات طراحی شبکه اتخاذ می‌کند به صورت شکل (۳) است:

مقدار بهینه تابع هدف مساله دوسطحی به ازای مقادیر مفروض پارامترهای الاستیسیته تقاضا و برگشت به صورت $\tilde{\beta}_{11}=1.1$، $\tilde{\beta}_{12}=1$، $\tilde{\beta}_{21}=0.9$ و $\tilde{\beta}_{22}=0.7$ و $\tilde{\beta}'_{11}=2.5$، $\tilde{\beta}'_{21}=0.3$، $\tilde{\beta}'_{12}=2.3$ و $\tilde{\beta}'_{22}=0.2$ عبارت است از:

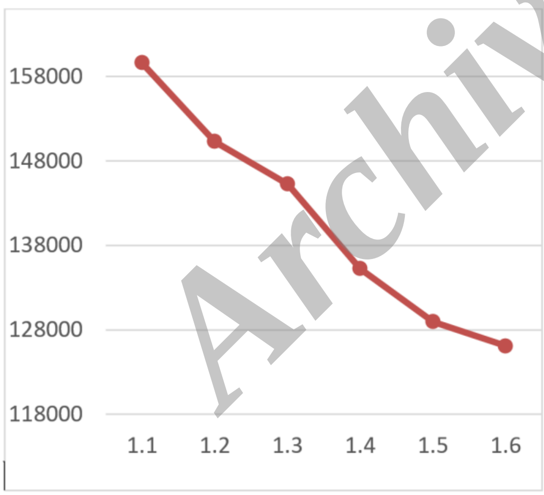
$$Z_1 = 1.59623\mathrm{E}+13$$
$$Z_2 = 1.94373\mathrm{E}+13$$



شکل ۳- نحوه همگرایی روش تجزیه بندرز

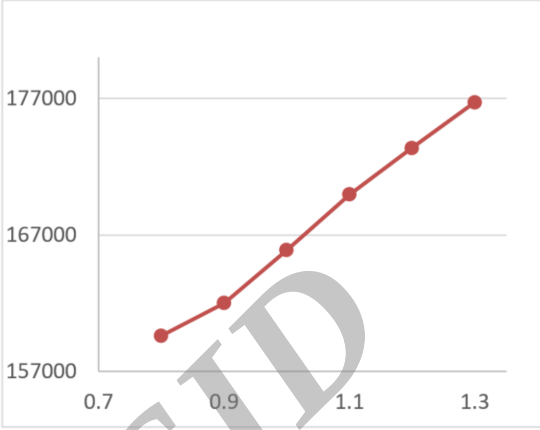
همانگونه که ملاحظه می‌شود میزان سود زنجیره موجود که در اینجا به عنوان رهبر شناخته می‌شود بیش از زنجیره تازه وارد است که از سیاستهای رهبر پیروی می‌کند.

برای بررسی بیشتر مدل میزان تابع هدف با تغییر شدت رقابت در بازار مورد بررسی قرار گرفت در این حالت مقدار پارامتر الاستیسیته قیمت یعنی $\tilde{\beta}_{11}$ را از ۱٫۱ تا ۱٫۶ تغییر داده و نتایج به صورت نمودار زیر ارائه شده است:



همانطور که ملاحظه می‌شود با افزایش ضریب الاستیسیته مستقیم مقدار سود زنجیره کاهش می‌یابد دلیل این امر آن است که با افزایش رقابت، زنجیره مجبور به ارائه قیمت‌های پایین‌تری است و از طرفی سهم زنجیره از بازار کاهش یافته و لذا سود کمتری عاید آن می‌گردد.

تحلیل مشابهی نیز برای ضریب الاستبیسیته قیمت رقیب یعنی $\tilde{\beta}_{21}$ انجام شده است که مقادیر آن بین ۰٫۸ تا ۱٫۳ در نظر گرفته می‌شود، نمودار زیر تغییر مقدار سود زنجیره با افزایش این ضریب را نشان می‌دهد:



با افزایش ضریب الاستیسیته رقیب در واقع تقاضا نسبت به قیمت رقیب حساس‌تر شده و لذا با افزایش ضریب تقاضا برای رقیب کاهش یافته و برای زنجیره موجود افزایش می‌یابد و با افزایش سهم بازار مقدار سود نیز افزایش خواهد داشت.

۶- نتیجه‌گیری

با توجه به افزایش شدید رقابت در دنیای امروز و تغییر شکل رقابت ازحالت بین شرکتی به رقابت بین زنجیره‌های تامین و از طرف دیگر تاثیر مهم تصمیمات استراتژیک در رقابت‌پذیری یک زنجیره تامین در این مقاله به مساله طراحی شبکه زنجیره تامین رقابتی در شرایط عدم قطعیت پرداخته شده است. رقابت بین دو زنجیره بر سر قیمت محصولات در زنجیره مستقیم و قیمت خرید محصولات برگشتی در زنجیره معکوس اتفاق می‌افتد و برای نزدیک شدن به شرایط دنیای واقعی اغلب پارامترها به صورت غیرقطعی در نظر گرفته شده‌اند.

مساله به صورت یک مدل ریاضی دوسطحی مدل شده است و سپس با اثبات محدب بودن مساله سطح پایین و یافتن جواب بهینه آن از طریق شرایط مرتبه اول، مدل را به یک مدل یک‌سطحی تبدیل نموده و اثبات می‌شود که مساله یک‌سطحی نیز با شرایط خاصی محدب می‌باشد. در نهایت مساله توسط الگوریتم تجزیه بندرز مورد حل قرار گرفته است. نتایج محاسباتی نشان می‌دهد که الگوریتم حل در تکرارهای مناسبی به همگرایی می رسد و رهبر نیز در شرایط رقابتی از سود بالاتری برخوردار می‌شود.

مسائل متعددی برای توسعه تحقیق حاضر می توانند مورد بررسی قرار گیرند. مدل ارائه شده در این مقاله رقابت بین دو زنجیره تامین را بررسی می‌کند در حالی که می‌توان رقابت بین بیش از دو زنجیره را لحاظ کرد. با در نظر گرفتن تابع تقاضا و برگشت نمایی شرایط واقعی‌تری ایجاد می‌شود اما پیچیدگی مساله افزایش می‌یابد و تحدب به راحتی قابل اثبات نخواهد بود که این مساله نیز می‌تواند در آینده مورد بررسی قرار گیرد.

۷- مراجع

[1] Rezapour S., Farahani RZ, Ghodsipour S. H., Abdollahzadeh S. (2011) “Strategic design of competing supply chain networks with foresight”. Advances in Engineering Software; 42: 130–141.

[2] Xiao T., Yang D. (2008) “Price and service competition of supply chains with risk-averse retailers under demand uncertainty”. Int. J. Production Economics; 114: 187–200.

[3] Boyaci T., Gallego G. (2004) “Supply chain coordination in a market with customer service competition”. Production and Operations Management; 13 (1): 3–22.

[4] Zhang D. (2006) “A network economic model for supply chain versus supply chain competition”. Omega; 34: 283 – 295.

[5] Farahani RZ, Rezapour S., Drezner T., Fallah S. (2013) “Competitive supply chain network design: An overview of classifications, models, solution techniques and applications”. Omega; http://dx.doi.org/10.1016/j.omega.2013.08.006i

[6] Chen M. J., Chang C. I. (2012) “The co-opetitive strategy of a closed-loop supply chain with remanufacturing”. Transportation Research Part E; 48: 387–400.

[7] Atasu, A., Guide Jr, V.D.R., Van Wassenhove, L.N. (2010) “So what if remanufacturing cannibalizes my new product sales?” California Management Review; 52 (2), 56–76.
[8] Choi T. M., Li Y., Xu L. (2013) “Channel leadership, performance and coordination in closed loop supply chains”. Int. J. Production Economics; 146: 371–380.
[9] Karakayali I., Emir-Farinas H., Akcal E. (2007) “An analysis of decentralized collection and processing of end-of-life products”. Journalof Operations Management; 25(6), 1161–1183.
[10] Wei J., Govindan K., Li Y., Zhao J. (2013) “Pricing and collecting decisions in a closed-loop supply chain with symmetric and asymmetric information”. Computers and Operations Research; http://dx.doi.org/10.1016/j.cor.2013.11.021i
[11] Schenkel M., Krikke H., Caniëls M., van der Laan E. (2015) “Creating integral value for stakeholders in closed loop supply chains”. Journal of Purchasing & Supply Management; http://dx.doi.org/10.1016/j.pursup.2015.04.003i
[12] Govindan K., Soleimani H., Kannan D. (2015) “Reverse logistics and closed-loop supply chain: A comprehensive review to explore the future”. European Journal of Operational Research; 240: 603-626.
[13] Rezapour S, Farahani RZ. (2010) “Strategic design of competing centralized supply chain networks for markets with deterministic demands”. Advances in Engineering Software; 41: 810–822.
[14] Fallah H., Eskandari H., Pishvaee M. (2015) “Competitive closed-loop supply chain network design under uncertainty”. Journal of Manufacturing Systems; in press.
[15] Rezapour S., Zanjirani Farahani R., Fahimnia B., Govindan K. (2015) “Competitive closed-loop supply chain network design with price-dependent demands”. Journal of Cleaner Production 93: 251-272.
[16] Nagurney A., Dong J., Zhang D. (2002) “A supply chain network equilibrium model”. Transport Res E; 38: 281–303.
[17] Wu Q., Chen H. (2003) “Chain–Chain Competition Under Demand Uncertainty. Working Paper. The University of British Columbia”
[18] Anderson E. J., Bao Y. (2010) “Price competition with integrated and decentralized supply chains”. European Journal of Operational Research; 200:227–234.
[19] Rezapour S., Farahani RZ., Drezner T. (2011) “Strategic design of competing supply chain networks for inelastic demand”. Journal of the Operational Research Society; 62: 1784–1795.
[20] Klibi W., Martel A., Guitouni A. (2010) “The design of robust value-creating supply chain networks: a critical review”. European Journal of Operational Research; 203: 283–293.
[21] Inuiguchi M., Ramik J. (2000) “Possibilistic linear programming: a brief review of fuzzy mathematical programming and a comparison with stochastic programming in portfolio selection problem”. Fuz. Sets and Syst; 111: 3–28.
[22] Jimenez M. (1996) “Ranking fuzzy numbers through the comparison of its expected intervals”. Int. J. of Uncert; 4: 379–388.
[۲۳] نعیمی صدیق علی، چهارسوقی کمال، شیخ‌محمدی مجید. (۱۳۹۱)، "طراحی مدل هماهنگی در زنجیره تأمین رقابتی با استفاده از رویکرد نظریه بازی با همکاری و بدون همکاری" .مدل سازی در مهندسی.; ۱۰ (۲۹) :۳۱-۱۹
[۲۴] چهارسوقی کمال، اشرفی مهدی.(۱۳۹۲)" انتخاب تأمین کننده پایدار و تخصیص سفارش با الگوریتم تغییر شکل یافته بندرز"، مدل سازی پیشرفته ریاضی. ۲ (۳): ۱۰۱-۸۱