فصلنامه پژوهشنامه بازرگانی، شماره ۱۰۱، زمستان ۱۴۰۰، ۳۶-۱

مقاله پژوهشی: طراحی یک شبکه زنجیره تأمین چابک در شرایط پویایی قیمت با تمرکز بر برنامه‌ریزی حمل و نقل

نرگس علی‌دادی تلخستانی * مقداد حاجی‌محمدعلی جهرمی **

دریافت: ۹۸/۸/۱۸ پذیرش: ۹۹/۱/۸

طراحی زنجیره‌تأمین چابک / برنامه‌ریزی حمل و نقل / تقاضای متغیر(پویایی تقاضا)

چکیده

مسئله مورد مطالعه این پژوهش طراحی زنجیره‌تأمین چابک در شرایط محدودیت ظرفیت و وابستگی تقاضا به قیمت است. هدف این پژوهش، طراحی یک زنجیره‌تأمین چابک در تصمیم‌گیری یکپارچهٔ برنامه‌ریزی توأم تولید، توزیع، مسیریابی و قیمت‌گذاری برای محصولات با توجه ویژه به برنامه‌ریزی حمل و نقل است. رویکرد ارائه شده، رویکردی یکپارچه در زمینه برنامه‌ریزی زنجیره‌تأمین، مدیریت توزیع و برنامه‌ریزی تولید محصولات با توجه به محدودیت ظرفیت‌ها و توجه به پارامترهای مختلف در ارتباط با حمل و نقل است. سیستم حمل ونقل مطرح شده در این پژوهش شامل انواع مختلف وسایل نقلیه می‌شود که دارای ظرفیت و هزینه‌های متفاوت برای حمل کالا هستند. جهت حل مسئله، یک مدل غیرخطی آمیخته با اعداد صحیح که فرایندهای برنامه‌ریزی مورد نیاز جهت حداکثرسازی سود زنجیره را در بر می‌گیرد، ارائه شده است. نتایج به‌دست آمده از حل مثال عددی نشان می‌دهد که بین برنامه‌ریزی توام تولید و توزیع و کاهش هزینه‌های کل زنجیره‌تأمین رابطه خطی وجود دارد. همچنین میزان تقاضای

*. کارشناسی‌ارشد مهندسی صنایع، واحد دماوند، دانشگاه آزاد اسلامی، دماوند، ایران nrgs333@yahoo.com

**. استادیار گروه مهندسی صنایع، واحد دماوند، دانشگاه آزاد اسلامی، دماوند، ایران Jahromi@damavandiau.ac.ir

■ مقداد حاجی‌محمدعلی جهرمی، نویسنده مسئول.

خرده‌فروشان در شبکه زنجیره‌تأمین مورد بررسی با افزایش قیمت کاهش یافته، بنابراین می‌توان از قیمت به‌عنوان اهرمی جهت برنامه‌ریزی تولید، موجودی و توزیع را با توجه به محدودیت ظرفیت بخش‌های مختلف زنجیره تأمین استفاده نمود.

طبقه‌بندی JEL: L98, L90

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

مقدمه

مدیریت زنجیره‌تأمین، یکی از موضوعات مهمی است که تاکنون در حوزه تولید، تحقیقات زیادی درباره آن صورت پذیرفته است. یک زنجیره‌تأمین شامل تمام مراحلی که روی یک محصول ایجاد ارزش افزوده می‌کنند می‌شود. مدیریت زنجیره‌تأمین را می‌توان به صورت وظیفه یکپارچه‌سازی واحدهای سازمانی در طول زنجیره‌تأمین و هماهنگ‌سازی جریانهای مواد، اطلاعات و مالی، به‌منظور برآوردن تقاضای مشتری (نهایی) و با هدف بهبود رقابت‌پذیری یک زنجیره‌تأمین تعریف کرد. با ظهور پدیده جهانی‌سازی، هماهنگی در میان مراحل مختلف زنجیره‌تأمین، به‌منظور دستیابی به یک سیستم با اثربخشی ایده‌آل، یکی از موضوع‌هایی است که هم مورد توجه بخش صنعت و هم مورد توجه پژوهشگران دانشگاهی قرار گرفته است. کارخانه‌ها به سمت کاهش سطوح موجودیشان متمایل شده‌اند. این پدیده علاوه بر تأکید روی روابط متقابل دقیق‌تر در بین مراحل زنجیره‌تأمین، افزایش استفاده عملی از مدل‌های یکپارچه را موجب شده است.

محیط رقابتی امروزه محیطی با رقابت بسیار زیاد و نامطمئنی فراوان است که به واسطه سرعت رشد و نوآوری‌های تکنولوژی و ذایقه به شدت در حال تغییر مشتریان این رقابت شدت پیدا کرده است و تمرکز بر ایجاد سرعت در پاسخگویی و مواجهه با این تغییرات و انعطاف‌پذیری در زنجیره‌تأمین رو به افزایش است. در چنین محیطی رویکردهای قدیمی و سنتی، قابلیت و توانایی خود را از دست داده‌اند. یکی از روش‌های نوین برای مقابله با چنین چالش‌هایی استفاده از پارادایم چابکی است. هدف یک زنجیره‌تأمین چابک راضی نگه داشتن انتظارات مشتریان و کارکنان خود می‌باشد. بنابراین زنجیره‌تأمین چابک باید قابلیت پاسخگویی به تغییرات صورت گرفته در محیط خود را داشته باشد. با این توضیح زنجیره‌تأمین چابک مجموعه‌ای از شرکت‌های مختلف است که بر انعطاف‌پذیری و عملکرد تمرکز می‌کند و همچنین قابلیت پاسخگویی سریع به تغییرات بازار و تقاضای مشتریان و بازار را دارد. یکی از راه‌های رایج و قابل‌قبول برای دستیابی به چابکی در زنجیره‌تأمین این است که بتوان اعضای زنجیره را از بین شرکت‌هایی که در مناطق جغرافیایی مختلفی قرار گرفته‌اند و از طریق شبکه‌های ارتباطی با هم در ارتباط‌اند، انتخاب کرد و زنجیره را طراحی کرد. در پژوهش حاضر، ضمن در نظر گرفتن محدودیت در بخش‌های مختلف،

انتخاب مناسب‌ترین شریک جهت طراحی بهینه زنجیره تأمین، انجام می‌گردد. تصمیمات طراحی شبکه زنجیره تأمین، به‌عنوان مهم‌ترین تصمیمات راهبردی در مدیریت زنجیره تأمین، که مربوط به ارتباطات پیچیده بین سطوح مختلف مانند تامین‌کنندگان، کارخانه‌ها، مراکز توزیع و مناطق مشتری و همچنین تعیین تعداد، محل و ظرفیت امکانات برای پاسخگویی به نیازهای مشتری است شناخته می‌شود. مدیریت زنجیره تأمین شامل یکپارچه‌سازی ارتباطات بین بخش‌های مختلف از طریق ایجاد اتحاد، به‌عنوان مثال یکپارچه‌سازی سیستم اطلاعات و فرایند، بین بخش‌ها برای بهبود پاسخگویی به مشتریان در ابعاد مختلف از قبیل محصول و کیفیت بالاتر محصول، هزینه‌های پایین و پاسخ سریع است[۱].

در سیستم‌های تولید برای سفارش که تولیدکننده باید بتواند خود را با تقاضاهای بازارهای مختلف هماهنگ کند و محصول را در زمان‌های خواسته شده به مقدار مناسب و با کیفیت مطلوب به دست مشتری برساند و به عبارتی دیگر باید انعطاف‌پذیری تولیدکننده در برابر تغییرات تقاضای مشتری زیاد باشد، تولیدکننده اغلب با چالش محدود بودن ظرفیت‌های تولیدی و اولویت‌بندی در پاسخگویی و برآوردن سطحی از تقاضاها مواجه است. در اکثر مدل‌های برنامه‌ریزی تولید که تاکنون بررسی شده است، تقاضای محصولات در دوره‌های مختلف افق برنامه‌ریزی، از قبل تعیین شده است و به صورت یک عامل غیرقابل کنترل از بیرون سیستم تولیدی به مدل وارد می‌شود[۲].

در مدل پیش رو از قیمت به‌عنوان اهرمی جهت کنترل تقاضای مشتریان و به طبع آن کنترل و برنامه‌ریزی محدودیت ظرفیت در بخش‌های مختلف از جمله بخش تولید و توزیع استفاده می‌گردد. با توجه به موارد ذکر شده، این تحقیق به دنبال طراحی مدلی ریاضی است که بتواند با توجه به محدودیت ظرفیت در سطوح مختلف زنجیره تأمین، پیکربندی بهینه‌ای از زنجیره تأمین چابک را با توجه به تقاضای متغیر که به‌طور همزمان کاهش هزینه و افزایش درآمد زنجیره تأمین چابک و یکپارچه را انجام دهد و شرکای مناسب را در هر سطح انتخاب نماید، انجام دهد. به‌این منظور مدل ریاضی مقاله عباسی و همکاران (۲۰۱۴)، توسعه داده شده است.

---

۱. عباسی و همکاران، (۲۰۱۴)

۲. ترابی و همکاران، (۱۳۹۰)

بحث طراحی زنجیره تأمین چابک و برنامه‌ریزی توام تولید و توزیع از طریق کنترل تقاضای خرده‌فروشان (مشتریان) به وسیله اهرم قیمت و همچنین برنامه‌ریزی حمل و نقل زنجیره تأمین و بیان آنها در قالب مدل ریاضی، سه بخش اصلی این پژوهش را تشکیل می‌دهند. جزئیات بیشتر این سه بخش، ضرورت توجه به آنها و مواردی از این دست، در بخش‌های بعدی مورد توجه قرار می‌گیرند.

در بخش بعدی، مطالعاتی که تا کنون در این زمینه انجام شده ارائه می‌گردد. سپس به معرفی مدل ریاضی غیرخطی و بیان مفروضات مسئله پرداخته خواهد شد و با ارائه مثال عددی، کارایی مدل پیشنهادی مورد بررسی قرار می‌گیرد و در پایان نتایج حاصله و پیشنهادات تحقیقات آتی ارائه می‌گردد.

۱. بررسی ادبیات موضوع

این مقاله بر اساس مقاله عباسی و همکاران (۲۰۱۴) توسعه داده شده است. در مقاله آن‌ها یک مدل زنجیره تأمین چابک مدل‌سازی شده است که در دنیا واقعی و آشفتگی‌های بازار می‌تواند کارآمد باشد. در مدل پیشنهادی آن‌ها ظرفیت تسهیلات به‌عنوان متغیرهای تصمیم تعیین شده است که به‌عنوان یک پارامتر ورودی فرض می‌شوند. مدل آن‌ها یک برنامه نویسی خطی عدد صحیح (MILP) است که قادر است ویژگی‌های اصلی زنجیره‌تأمین چابک را به‌عنوان حمل و نقل مستقیم حالت‌های حمل و نقل مختلف در بین تسهیلات باز شده در نظر گرفته است.

در مقاله حاضر، علاوه بر ویژگی‌های مقاله عباسی و همکاران، قیمت‌گذاری، وابستگی تقاضا به قیمت، تنوع حمل و نقل و محدودیت ظرفیت حمل و نقل نیز به‌عنوان نوآوری توسعه داده شده است.

به‌دلیل وجود جنبه‌های مختلف موضوع این تحقیق، بررسی ادبیات موضوع را در بخش‌های طراحی زنجیره‌تامین چابک و برنامه‌ریزی یکپارچه قیمت‌گذاری و تقاضا انجام می‌دهیم.

طراحی زنجیره تأمین چابک

هنگامی که تقاضا متغییر و محصولات تنوع هستند، زنجیره تأمین باید پاسخگوی نیازهای

مشتریان و تسهیل روند برای کاهش خطر اختلال عرضه با استفاده از طبقه‌بندی و جمع‌آوری تمام منابع باشد. استراتژی زنجیره‌تأمین که قادر به مقابله با هر دو مسئله به صورت هم زمان است، به‌عنوان زنجیره عرضه چابک شناخته می‌شود. در این بخش به بررسی پیشینه تحقیقات در مورد زنجیره تأمین چابک می‌پردازیم.

ابتدایی‌ترین و پایه‌ای‌ترین تحقیق در مورد طراحی زنجیره تأمین چابک تحقیق کریستوفر (۲۰۰۰) می‌باشد. او چابکی را این گونه تعریف می‌کند: "چابکی به‌عنوان توانایی سازمان برای پاسخگویی سریع به تغییرات تقاضا در حجم و تنوع تعریف می‌شود". کریستوفر معتقد است در دنیای به شدت رقابتی امروز سرعت تغییر و تطبیق با نیازهای مشتری ازاساسی‌ترین شرایط بقا است. چابکی یک قابلیت کسب و کار گسترده است که شامل سازمان ساختاری، سیستم‌های اطلاعاتی، فرآیند لجستیک و در حالت کلی طرز فکری نوین برای اداره یک سازمان است. او بر خلاف روش‌های سنتی، روش‌های چابک به تکیه بر کارکنان و خلاقیت آنان به مبارزه با بی‌ثباتی‌ها می‌پردازند.

لی(۲۰۰۲)، برای بررسی استراتژی چابکی در زنجیره تأمین اصطلاح زنجیره تأمین چابک را به کار برد زیرا این نوع زنجیره تأمین نیاز به حداقل رساندن خطرات و ریسک تهیه مواد اولیه در ابتدا زنجیره‌تامین را دارد و به صورت همزمان باید پاسخ مناسب به نیازهای مختلف، متنوع و بی‌نظیر مشتریان را در قسمت انتهایی فراهم کند. مقاله لی، یک پنجره جدید به روی مفهوم مدیریت زنجیره تأمین باز کرده است. زیرا مطالعه او به صورت همزمان به بررسی عرضه و تقاضا می‌پردازد. مقاله او با وجود بنیادی بودن دارای کاستی‌هایی می‌باشد که بعدها توسط دیگر محققان تکمیل گردید.این کاستی‌ها عبارتند از:

- این مدل هنوز مفهومی است و به صورت کمی و ریاضی سنجیده نشده است.
- هیچ عامل خارجی و اثر گذار در این مدل مورد بررسی قرار نگرفته است.

در آینده نزدیک و در بازارهای بسیار پویا و متحول، سازمان‌ها نیازمند ایجاد زنجیره‌تامین چابک هستند و باید پیوسته آن را بهبود ببخشند و اما یکی از مشکلات تمرکز بر ایجاد بهبودی در چابکی انعطاف نداشتن آن در مفهوم اولیه سازمان است. در این حالت چابکی راهی بی‌پایان است که می‌تواند نتیجه بهبود تدریجی باشد. البته قابل ذکر است سازمان‌هایی که غافل از دیگر توانمندی‌ها، فقط بر بهبود چابکی تمرکز می‌کنند ممکن است دچار شکست

شوند. از این رو ضروری است که صلاحیت و شایستگی در بین دیگر ویژگی‌های رقابتی تعریف و مشخص شود در غیر این صورت سازمان‌هایی که بدون در نظر گرفتن سایر توانمندی‌های عملکردی، بر بهبود چابکی تاکید می‌کنند احتمالا با شکست و ناکامی مواجه می‌شوند ولی این به منزله ناکار آمد بودن زنجیره تأمین چابک نیست بلکه به علت نبود انعطاف‌پذیری کافی در زیر ساخت سازمان برای ایجاد این سازمان بوده است[۱].

سوزو یوان و همکاران (۲۰۰۹)، ارتباط بین عدم قطعیت زیست محیطی و استراتژی‌های زنجیره تأمین را بررسی کردند. آن‌ها نتیجه گرفتند هماهنگی و مطابقت بین قطعیت زیست محیطی و استراتژی زنجیره تأمین می‌تواند در بهبود بخشیدن به کارایی زنجیره تأمین موثر باشد. آن‌ها در تحقیقات خود بیان کردند استراتژی چابکی برای زنجیره تأمین می‌تواند بهترین پاسخ به این عدم قطعیت باشد.

کاستانتینو و همکاران (۲۰۱۵)، راه حل مشکلات مدیریت زنجیره تأمین را پیکربندی استراتژیک بر مبنای سیستم چابک می‌دانند. آنان با طراحی مدل دیاگرامی و برنامه‌ریزی خطی یکپارچه برای طراحی بهینه زنجیره تأمین و در نظر گرفتن ماکزیمم حجم تولید با منبع یابی منفرد/چندگانه پیکربندی جدیدی برای زنجیره تأمین طراحی کردند و نتایج حاصل را در شرکت قالب‌سازی در ایتالیا به اجرا درآورند و از جمله نتایج مثبت مطالعه انتخاب محل مناسب برای توزیع کنندگان و خرده‌فروشان برای انعطاف‌پذیری و پیشرفت عملکرد زنجیره تأمین بوده است.

یلدیز و همکاران (۲۰۱۵)، در زنجیره‌های تامین چابک توجه به سرمایه‌گذاری، تولید، نیروی کار و قابلیت محیط زیست را مهم می‌داند. او چشم انداز تولید چابک، یکپارچه‌سازی منابع و پیکربندی مجدد و فعالیت در محیط‌های دانشی برای فراهم کردن نیاز مشتریان در بازار غیرقابل پیش‌بینی را در چهارسطح تعریف کرده است که عبارتند از: حساسیت مشتری، یکپارچگی شبکه، یکپارچگی فرآیندها و اعمال نفوذ تاثیر اطلاعات و مردم.

مهدی محمودی (۲۰۱۹)، یک مدل سه هدف با فرض چند ماده و چند محصول در پنج مرحله از شبکه زنجیره‌تأمین معرفی کرده است. شبکه زنجیره تأمین پنج مرحله شامل: تأمین‌کننده، تولیدکننده، خرده‌فروش و توزیع‌کننده و همچنین منطقه مشتری است. هدف

۱. آگاروال و همکاران، (۲۰۰۶).

تعیین میزان تولید و عرضه در هر گره از شبکه زنجیره تأمین تحت تقاضای تصادفی از یک بازار رقابتی است. هدف اول به حداقل رساندن هزینه‌هایی مانند حمل و نقل، موجودی، کمبود و تولید است. هدف دوم به حداقل رساندن خطرات در هر گره و همچنین مسیر شبکه زنجیره تأمین است. هدف سوم به حداکثر رساندن انعطاف‌پذیری است که منجر به یک الگوی محدودیت در نوسان تقاضای بازار می‌شود. با توجه به محدودیت‌ها، حجم حمل و نقل، سرعت حمل و نقل و وسایل حمل و نقل در نظر گرفته شده است. در مرحله بعد ظرفیت تولید با توجه به خواسته‌های گره در نظر گرفته شده است.

۲. برنامه‌ریزی یکپارچه قیمت‌گذاری و تقاضا

ویتین (۱۹۵۵)، اولین مسئله از نوع تصمیم‌های قیمت‌گذاری پویا و تولید(تقاضا) را مدل‌سازی کرد. در مدل او تقاضا به صورت یک تابع خطی از قیمت تعریف شده است. پیش از این، تمام کارهای تحقیقاتی گذشته، قیمت را به منزله پارامتری با ساختار و مقدار از قبل تعیین شده در نظر می‌گرفتند. در واقع کار وی ارتباط بنیادین غیر قابل انکار بین قیمت و کنترل موجودی را یادآور شد. وی نشان داد که در صورت ایجاد هماهنگی بین تصمیمات قیمت‌گذاری و میزان سفارش، سود بالاتری نصیب خرده‌فروش می‌گردد. کوهن(۱۹۷۷)، برنامه‌ریزی یکپارچه قیمت‌گذاری و تضاضا را برای محصولات فسادپذیر با طول‌عمر محدود مدل‌سازی کرد. در ابتدا مقدار بهینه سفارش‌گذاری و حساسیت آن به درجه فسادپذیری و نیز قیمت محصول سنجیده شده و در ادامه تصمیمات همزمان سفارش‌گذاری و قیمت‌گذاری مورد بررسی قرار گرفته است. گیلبرت (۱۹۹۹)، مدل تخصیص یک قیمت به کل دوره‌های یک افق برنامه‌ریزی را با فرض عدم وابستگی تقاضا هر دوره به قیمت محصولات در آن دوره را مطرح نمود و در ادامه، یک مدل توأم قیمت‌گذاری تولید چند محصولی با چند قیمت در افق چند دوره‌ای و درحالت وجود منابع تولیدی مشترک بین محصولات را توسعه داد. او در ادامه روند تحقیقات و توسعه مدل قبلی خود مدل گیلبرت (۲۰۰۰)، را ارائه نمود. در این مدل برای محصولاتی که توسط تجهیزات و منابع تولیدی مشترک تولید می‌شوند، برنامه‌ای هماهنگ برای تولید و قیمت‌گذاری آن‌ها ارائه شده است. همچنین در این مدل، تقاضا به صورت فصلی و هزینه‌های راه‌اندازی تولید ناچیز فرض شده است. مدل او نشان می‌دهد محصولاتی که تولید آن‌ها در دوره

اوج تقاضا می‌باشند می‌توانند با افزایش قیمت همراه باشند. قیمت‌گذاری به صورت دوره‌ای و تقاضای وابسته به قیمت را می‌توان از نوآوری‌های این مدل نسبت به مدل گذشته نام برد.

گونش و همکاران (۲۰۰۲)، مسئله‌ای بدون محدودیت ظرفیت با توابع درآمد خطی شکسته مقعّر به‌منظور بیشینه‌سازی سود را مورد مطالعه قرار دادند که این گونه توابع می‌توانند ناشی از انتخاب زیر مجموعه‌ای از تقاضاها برای تولید باشند بنا به این مدل، با فرض این که تابع درآمد یک تابع مقعر است در یک نقطه بیشینه می‌شود. در مدل‌های مورد مطالعه گونش و همکارانش سطوح تقاضایی از هر دوره که یک شرکت برای رسیدن به حداکثر سود باید برآورده کند، توسط قیمت‌گذاری تعیین می‌شود. آن‌ها مدل ترکیبی برنامه‌ریزی تولید و قیمت‌گذاری را در قالب انتخاب تقاضا به کار گرفتند که در آن، یک مجموعه از تقاضاهای مشتری در دوره‌های مختلف وجود دارد و باید سودآورترین زیر مجموعه از آن انتخاب شود. آن‌ها همچنین روش‌های حل این مسئله را بررسی کرده و یک مدل برنامه‌ریزی خطی، در شرایط وجود هزینه‌های راه اندازی و تولید و تقعر تابع درآمد پیشنهاد دادند. همچنین مدل جدیدی را با فرض اینکه تقاضاهای هر دوره از بازارهای متفاوت دارای توابع درآمدی چندگانه باشند، توسعه داده و در شرایط ظرفیت‌های یکسان تولیدی دوره‌های مختلف با توابع درآمد مقعر خطی شکسته الگوریتم حلی پیشنهاد کردند.

وبستر و همکاران (۲۰۰۸)، یک زنجیره تأمین دو سطحی را در نظر گرفتند که در مورد متغیرهای قیمت و میزان تقاضا در هر دو سناریوی کنترلی تولیدکننده و کنترلی توزیع‌کننده سیاست‌گذاری می‌نمایند. در سناریوی اول برخلاف سناریوی دوم، تولیدکننده تصمیمات موجودی زنجیره را کنترل نموده و متحمل هزینه‌های ناشی از موجودی مازاد خواهد بود. در این حالت توزیع‌کننده تقاضای حساس به قیمت را با تولیدکننده سهیم می‌شود. این نتیجه حاصل شد که سود کلی زنجیره در حالت دوم بالاتر است. یاقین و همکاران (۲۰۱۲)، برنامه‌ریزی تولید ادغامی در برگیرنده تصمیمات تولید، موجودی و نیز سطوح نیروی کار را در کنار قیمت‌گذاری در زنجیره تأمین دو سطحی مطالعه نموده و از مدل برنامه‌ریزی فازی چند هدفه ترکیبی برای حل مسئله بهره برده‌اند. بر این اساس در این تحقیق هزینه‌های تولید و سفارش مجدد با متغیرهای فازی نمایش داده شده و تامین‌کننده و خرده‌فروش در پی حداکثر نمودن سود کلی در کنار بهبود جنبه‌های خدماتی و پاسخگویی خرده‌فروش به مشتری هستند.

لین و وو (۲۰۱۴)، در مدل خود یکپارچگی قیمت‌گذاری و عملیات زنجیره‌تامین در

شرایط احتمالی، عدم اطمینان و وابستگی تقاضا به قیمت را مورد مطالعه قرار دادند. با وجود عدم اطمینان تقاضا، این مطالعه نشان می‌دهد که چگونه تصمیم‌گیری‌های همزمان تاکتیکی در مورد قیمت و موجودی محصول و سطح عملیاتی تدارکات، تولید و توزیع می‌تواند در به حداکثر رساندن سود مورد انتظار تولیدکننده موثر باشد. نتایج این مطالعه عبارتند از: اگر توزیع تقاضا تغییرات زیادی داشته باشد، تولیدکننده موجودی خود را به سطوح بالاتر از تقاضای پیش‌بینی شده به‌منظور جلوگیری از فروش از دست رفته افزایش خواهد داد. علاوه بر این، تولیدکننده با افزایش قیمت محصولات خود سود بیشتری به دست خواهد آورد. در نهایت، با استفاده از رویکرد بهینه‌سازی هزینه، تولیدکننده ممکن است بالاترین سود ممکن را به‌دست آورد، همانطور که در روش بهینه‌سازی سود تعیین شده است. با این حال، این حداکثر سود فقط در صورتی حاصل می‌شود که تولیدکننده دقیقاً تقاضای بازار را پیش‌بینی کند. هرگونه انحراف بین تقاضای پیش‌بینی شده و تقاضای واقعی ممکن است سود را کاهش دهد. اشتباه در احتمال پیش‌بینی شده به کاهش قابل توجهی در سود مورد انتظار منجر خواهد شد.

تکسان و گونش (۲۰۱۶)، یک مدل کنترل موجودی قطعی را ارائه کردند. در این مدل عرضه و تقاضا به وسیله اهرم قیمت‌گذاری در دو طرف زنجیره تأمین به گونه‌ای کنترل می‌شود که میزان موجودی زنجیره به میزان مطلوب خود برسد و سود کلی زنجیره تأمین حداکثر شود. برای رسیدن به این هدف در ابتدا آن‌ها رابطه بین عرضه و تقاضا را مورد بررسی قرار داده‌اند و نشان دادند که قیمت‌گذاری بین عرضه و تقاضا باید به گونه‌ای صورت بگیرد که تعادل بین آن‌ها صورت بگیرد. این مدل نشان می‌دهد که قیمت‌گذاری همزمان عرضه و تقاضا می‌تواند در کنترل میزان موجود و سود زنجیره تأمین اثرگذار باشد.

سن‌خوزه و همکاران (۲۰۱۷)، یک مدل کنترل موجودی بدون محدودیت در افق برنامه‌ریزی را مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند. در مدل تک محصولی آن‌ها تقاضا به صورت یک تابع دو بعدی وابسته به متغییرهای قیمت و تقاضا تعریف شده است. در مدل ارائه شده امکان دستیابی به یک جواب بهینه وجود ندارد بنابراین آن‌ها با استفاده از روش‌های عددی کلاسیک مانند نیوتن-رافسون و بیسکی یک الگوریتم ابتکاری طراحی کرده‌اند تا به یک جواب نزدیک به بهینه برای مدل ارائه شده دست یابند. آن‌ها با استفاده از ضرایب حساسیت تقاضا نسبت به قیمت و زمان به این نتیجه رسیدند که افزایش وابستگی تقاضا به قیمت و زمان موجب افزایش سود زنجیره‌تامین شده است.

بانرجی و آگراوال (۲۰۱۷)، یک مدل کنترل موجودی را برای محصولات فسادپذیر مورد بررسی قرار دادند. در مدل آن‌ها تقاضا به قیمت و تازگی محصول (عمر محصول) وابسته است در واقع تقاضا به صورت یک تابع دوبعدی از توابع فسادپذیری و قیمت محصول است. در مدل آن‌ها فساد محصول به صورت پیوسته صورت می‌گیرد و باعث کاهش تقاضا و قیمت محصول می‌شود. نتایج تحقیق آن‌ها نشان می‌دهد که محصولاتی که تازگی خود را از دست می‌دهند را می‌توان با سیاست تخفیف در قیمت به فروش رساند به گونه‌ای که سود زنجیره تأمین به حداکثر برسد.

کیانفر (۲۰۱۹)، یک زنجیره تأمین سه سطحی شامل تولیدکننده‌ها، مراکز توزیع و مشتری‌ها را طراحی کرده است. تقاضا برای یک محصول در زنجیره تأمین مورد بررسی او به قیمت محصول و هزینه تبلیغاتی آن بستگی دارد. هدف مدل او حداکثر کردن سود ناخالص بدون نقض محدودیت‌های عملیاتی ظرفیت‌های تولید و موجودی است.

سید حسینی و همکاران (۲۰۱۹)، در مقاله خود، حساسیت اجتماعی تقاضا نسبت به قیمت برای یک زنجیره تأمین دوسطحی که شامل یک تولیدکننده انحصاری و دو خرده‌فروش است، مورد بررسی قرار گرفته است. تولیدکننده بر روی مسئولیت اجتماعی خود سرمایه‌گذاری می‌کند، و خرده‌فروشان هم بر روی قیمت کالا با یکدیگر رقابت دارند. در این مقاله تاثیر مسئولیت اجتماعی تولیدکننده بر روی حساسیت اجتماعی تقاضا نسبت به قیمت مشتری مشخص شده است.

مدل برنامه‌ریزی غیرخطی آمیخته با اعداد صحیح

مسئله مورد نظر به‌صورت یک مسئله برنامه‌ریزی غیرخطی آمیخته با اعداد صحیح است. مفروضات و نمادهای به‌کار گرفته شده و مدل در بخش‌های بعدی ارائه شده است.

مفروضات مسئله مورد بررسی

محصولات نهایی تولید شده در کارخانجات پس از پردازش کامل عملیات نهایی در کارخانه‌ها، به مراکز توزیع ارسال می‌شود. همچنین، ما فرض می‌کنیم که محصولات نیمه‌تمام دریافت شده از تامین‌کنندگان نیاز به عملیات نهایی برای تکمیل دارند. بعضی از محصولات ارسال شده به مراکز توزیع ذخیره می‌شوند و بقیه به خرده‌فروشان منتقل می‌شوند. به‌دلیل

چابکی زنجیره و تعریف آن در تطابق با نیاز همواره در حال تغییر مشتریان فرض می‌کنیم که کمبود مجاز نیست. برای دستیابی به انعطاف‌پذیری از روش‌های مختلف حمل و نقل برای ارائه محصولات به مشتریان استفاده می‌شود.

مسئله مهم دیگر در تعیین ظرفیت در بخش‌های تولید و توزیع و حمل‌ونقل است که باید معین شود. اکثر مدل‌های قبلا ارائه شده ظرفیت‌های ثابت برای امکانات را در نظر می‌گیرند، در حالیکه تعیین ظرفیت در بخش‌های تولید و توزیع و حمل‌ونقل در عمل کاری دشوار است. بنابراین فرض می‌شود که محدودیت ظرفیت‌ها به‌عنوان یک متغیر تصمیم‌گیری برای جلوگیری از هزینه‌های اضافی و بی‌فایده تعیین می‌شود. مفروضات را می‌توان به شرح زیر برشمرد:

برای طراحی مدل برنامه‌ریزی تولید و عرضه در زنجیره‌تأمین چابک، یک زنجیره‌تأمین سه سطحی در نظر گرفته شده است که شامل تولیدکنندگان، توزیع‌کنندگان و خرده‌فروشان می‌باشد.

- مدل چند محصولی است و محصولات مختلفی را تولید می‌کند.
- افق برنامه‌ریزی گسسته، محدود و مشخص است.
- هزینه‌های این مدل شامل هزینه‌های ثابت راه‌اندازی، تولید، حمل و نقل، هزینه‌های مربوط به توزیع‌کننده (بسته‌بندی)، هزینه‌های ضایعات، هزینه عقد قرارداد و توافقات است.
- ضایعات باعث ایجاد هزینه محصولات فاقد کیفیت برای زنجیره می‌شود، از این رو مدل به دنبال کم کردن این هزینه‌ها نیز می‌باشد.
- هزینه‌های ایجاد هماهنگی و توافق بین اعضای زنجیره و هزینه‌های ثابت راه‌اندازی آنها فقط در ابتدای هر افق برنامه‌ریزی اعمال می‌شود و در تمام دوره‌های آن افق برنامه‌ریزی اعمال نمی‌شود؛
- تابع درآمد، غیرخطی و تابع هزینه می‌تواند خطی باشد.
- جریان محصولات بین دو تسهیلات یکسان وجود ندارد (مثلا جریان از تولیدکننده به تولیدکننده وجود ندارد).
- ظرفیت تولیدکنندگان و توزیع‌کنندگان برای تولید و توزیع محدود است.
- تنها توزیع‌کننده قادر به ذخیره‌سازی است.

- ظرفیت حمل و نقل بین سطوح زنجیره با محدودیت روبرو است؛
- تقاضای هرخرده‌فروش به قیمت پیشنهادی زنجیره تأمین برای آن خرده‌فروش وابسته است.
- تقاضای خرده‌فروشان قطعی و وابسته به قیمت زنجیره است و توابعی کاهشی و پیوسته از قیمت هستند.
- مجموع مینیمم تقاضاهای خرده‌فروشان از ظرفیت تولید در هر دوره کوچکتر است. این فرض به این دلیل است که در صورت انتخاب همه خرده‌فروشان، تولیدکننده بتواند حداقل تقاضای همه آنها را برآورده کند.
- میزان ذخیره‌سازی هر توزیع‌کننده محدود است و در هر دوره برابر است با مجموع ذخیره از دوره قبل به‌علاوه اختلاف دریافتی از تولیدکننده و ارسالی به خرده‌فروش در همین دوره.
- نگهداری موجودی در پایان دوره‌ها هزینه‌بر است (تابع خطی).

اندیس‌ها

p اندیس محصول: که در آن $p=1,2,..,P$ بیانگر تعداد P محصول می‌باشد.

i اندیس تولیدکننده: که در آن $i=1,2,..,I$ بیانگر تعداد I تولیدکننده نامزد برای حضور در زنجیره می‌باشد.

j اندیس توزیع‌کننده: که در آن $j=1,2,..,J$ بیانگر تعداد J توزیع‌کننده نامزد برای حضور در زنجیره می‌باشد.

c اندیس خرده‌فروش: که در آن $c=1,2,..,C$ بیانگر تعداد C خرده‌فروش برای حضور در زنجیره می‌باشد.

t اندیس دوره زمانی: که در آن $t=1,2,..,T$ بیانگر تعدادT دوره زمانی می‌باشد.

k اندیس نوع حمل و نقل: که در آن $k=1,2,..,K$ بیانگر تعداد K نوع شیوه حمل محصول بین سطوح زنجیره می‌باشد.

پارامترها

S_{pi} هزینه ثابت راه‌اندازی تولیدکننده i برای تولید محصول

S'_j هزینه ثابت راه‌اندازی توزیع‌کننده j برای توزیع محصول

Ag_{ij} هزینه ثابت توافق بین تولیدکننده i و توزیع‌کننده‌j

Ag'_{jc} هزینه ثابت توافق بین توزیع‌کننده‌j و خرده‌فروش c

UC_{pit} هزینه تولید هر واحد محصول p در تولیدکننده i در دوره t

Pk_{pjt} هزینه بسته‌بندی هر واحد محصول p در توزیع‌کننده j در دوره t

SC_{pjt} هزینه نگهداری (انبارداری و...) هر واحد محصول p در توزیع‌کننده j در دوره t

LC_{pit} هزینه هر واحد ضایعات محصول p در تولیدکننده i در دوره t

W_{pjt} حداکثر ظرفیت انبارش (نگهداری) محصول p در توزیع‌کننده j در دوره t

M_{pit} حداکثر ظرفیت تولید محصولp در تولیدکننده i در دوره t

M'_{pjt} حداکثر ظرفیت توزیع‌کننده j برای محصول p در در دوره t

MK_{pit} حداکثر ظرفیت حمل و نقل تولیدکننده i برای محصول p برای همه توزیع کنندگان در دوره t

MK'_{ijt} حداکثر ظرفیت حمل و نقل تولیدکننده i برای ارسال به توزیع‌کننده j برای همه محصولات در دوره t

MK''_{ct} حداکثر ظرفیت حمل و نقل توزیع‌کننده j برای ارسال به خرده‌فروش c برای همه محصولات در دوره t

γ_{pct} ضریب کاهش تقاضا در برابر افزایش قیمت محصول p برای خرده‌فروش c در دوره t

D'_{pct} تقاضای اولیه خرده‌فروش c برای محصول p در دوره t

LP_{pit} درصد ضایعات تولیدکننده i برای محصولp در دوره t

Dij_{ij} مسافت بین تولیدکننده i و توزیع‌کننده j به واحد کیلومتر

Djc_{jc} مسافت بین توزیع‌کننده‌j و خرده‌فروش c به واحد کیلومتر

Tij_{ijkt} تعداد ماشین حمل نوع k بین تولیدکننده‌i و توزیع‌کننده‌j در دوره t

Tjc_{jckt} تعداد ماشین حمل نوع k بین توزیع‌کننده‌j و خرده‌فروش c در دوره t

Car_{ijkt} هزینه حمل ماشین نوع k بین تولیدکننده i و توزیع‌کننده j در دوره t برای هر کیلومتر

Car'_{jckt} هزینه حمل ماشین نوع k بین توزیع‌کننده j و خرده‌فروش c در دوره t برای هر کیلومتر

Cap_{kp} ظرفیت حمل ماشین نوع k برای محصول p

C'_{kt} کرایه حمل ماشین نوع k به ازای هر کیلومتر در دوره t

متغییرهای باینری

Y_{pi} اگر تولیدکننده i برای تولید محصول p در زنجیره انتخاب شود مقدار یک می‌گیرد در غیر این صورت مقدار صفر می‌گیرد.

Y'_{j} اگر توزیع‌کننده j برای حضور در زنجیره انتخاب شود مقدار یک می‌گیرد در غیر این صورت مقدار صفر می‌گیرد.

F_{ij} اگر توافقی بین تولیدکننده i و توزیع‌کننده j صورت بگیرد مقدار یک می‌گیرد در غیر این صورت مقدار صفر می‌گیرد.

F'_{jc} اگر توافقی بین توزیع‌کننده j و خرده‌فروش c صورت بگیرد مقدار یک می‌گیرد در غیر این صورت مقدار صفر می‌گیرد.

متغییرهای تصمیم

PR_{pct} قیمت محصول p برای خرده‌فروش c در دوره t

D_{pct} تقاضای خرده‌فروش c برای محصول p در دوره t

DT_{pt} تقاضای کل همه خرده‌فروش‌ها برای محصول p در دوره t

H_{pit} میزان تولید محصول p در تولیدکننده i در دوره t

H'_{pjt} حجم ذخیره (انبارش) توزیع‌کننده j برای محصول p در دوره t

Q_{pijtk} میزان محصول p حمل شده بین تولیدکننده i و توزیع‌کننده j توسط ماشین حمل نوع k در دوره t

$\mathbf{Q'_{pjctk}}$ میزان محصول p حمل شده بین توزیع‌کننده j و خرده‌فروشی c توسط ماشین حمل نوع k در دوره t

مدل ریاضی

با توجه به مفروضات و پارامترهای معرفی شده در بالا و همچنین مشخص شدن موارد مورد نیاز جهت تصمیم‌گیری، رابطه (۱)، که معرف تابع هدف مدل که همان حداکثرسازی سود زنجیره است معرفی می‌گردد. معادله مربوطه شامل برآیند تابع درآمد و هزینه‌های سیستم (شامل: هزینه‌های تولید، حمل و نقل، ذخیره‌سازی و ضایعات) است. در بخش اول تابع هدف تابع درآمد مدل و در بخش دوم تابع خطی هزینه‌های مدل گنجانده شده است که ماکزیمم‌سازی سود از برآیند این دو بخش حاصل می‌شود.

$$\max Z = \sum_p \sum_c \sum_t \left(PR_{pct} \times D_{pct}\right) - \left(TCP + TCD + TCS + TCL\right) \quad (۱)$$

هزینه تولید کل زنجیره تأمین شامل هزینه تولید تمام محصولات و هزینه ثابت تمام تولیدکنندگان از رابطه (۲) محاسبه می‌شود.

$$TCP = \sum_i \sum_p \sum_t \left(UC_{pit} \times H_{pit}\right) + \sum_i \sum_p \left(S_{pi} \times Y_{pi}\right) \quad (۲)$$

هزینه توزیع کل زنجیره تأمین که شامل همه هزینه‌های مربوط به توافقات و حمل و نقل و هزینه ثابت تمام توزیع‌کنندگان می‌شود، از رابطه (۳) به دست می‌آید.

$$\begin{aligned} TCD = & \sum_p \sum_i \sum_j \sum_t \sum_k \left(Q_{pijtk} \times Car_{ijkt}\right) \\ & + \sum_p \sum_j \sum_c \sum_t \sum_k \left(Q'_{pjctk} \times Car'_{jckt}\right) + \sum_j \left(S'_j \times Y'_j\right) \\ & + \sum_p \sum_i \sum_j \sum_t \sum_k \left(Pk_{pjt} \times Cap_{kp} \times Q_{pijtk}\right) \\ & + \sum_i \sum_j \left(Ag_{ij} \times F_{ij}\right) + \sum_j \sum_c \left(Ag'_{jc} \times F'_{jc}\right) \end{aligned} \quad (۳)$$

رابطه (۴)، هزینه انبارش و ذخیره‌سازی کل زنجیره تأمین را در بخش توزیع‌کننده محاسبه می‌کند.

$$TCS = \sum_p \sum_j \sum_t \left(SC_{pjt} \times H'_{pjt}\right) \quad (۴)$$

هر سیستم تولیدی متحمل بخشی هزینه تولید محصولات بی‌کیفیت است که به دنبال کاهش این هزینه‌ها است. دراین مدل، هزینه‌های مربوط به ضایعات کل زنجیره تأمین از طریق رابطه (۵) به دست می‌آید.

$$TCL = \sum_i \sum_p \sum_t \left(LP_{pit} \times H_{pit} \times LC_{pit}\right) \quad (۵)$$

پس از محاسبه هزینه‌های سیستم در روابط بالا، در روابط (۶) و (۷) پارامترهای مربوط به هزینه‌های حمل و نقل بین سطوح زنجیره به ترتیب شامل هزینه حمل محصولات از تولیدکننده به توزیع‌کننده و از توزیع‌کننده به خرده‌فروش به دست می‌آید.

$$Car_{ijkt} = C'_{kt} \times Dij_{ij} \quad (۶)$$

(۷)

در این پژوهش از مدل برنامه‌ریزی غیرخطی آمیخته با اعداد صحیح برای بهینه‌سازی استفاده نمودیم، برای به‌دست آوردن ساختار شبکه بهینه، ابتدا محدودیت‌های مربوط به انتخاب شرکای هر سطح آورده شده است. سپس محدودیت‌های مربوط به ظرفیت بخش‌های مختلف و همچنین محدودیت‌های مربوط به سیستم حمل و نقل آورده شده است.

$$F_{ij} \leq \sum_p Y_{pi} \qquad \forall i, j \quad (۸)$$

$$F_{ij} \leq Y'_j \qquad \forall i, j \quad (۹)$$

$$\sum_j F_{ij} \geq Y_{pi} \qquad \forall i, p \quad (۱۰)$$

$$\sum_i F_{ij} \geq Y'_j \qquad \forall j \quad (۱۱)$$

$$F'_{jc} \leq Y'_j \qquad \forall j, c \quad (۱۲)$$

$$\sum_c F'_{jc} \geq Y'_j \qquad \forall j \quad (۱۳)$$

$$\sum_j F'_{jc} \geq 1 \qquad \forall c \quad (۱۴)$$

$$H_{pit} \leq M_{pit} \times Y_{pi} \qquad \forall p, i, t \quad (۱۵)$$

$$H_{pit} = \sum_j \sum_k \left(Cap_{kp} \times Q_{pijtk}\right) \qquad \forall p, i, t \quad (۱۶)$$

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

$$\sum_i \sum_k \left(Cap_{kp} \times Q_{pijtk}\right) \le M'_{pjt} \times Y'_j \qquad \forall p.j.t \qquad (۱۷)$$

$$\sum_j \sum_k \left(Cap_{kp} \times Q_{pijtk}\right) \le MK_{pit} \times Y_{pi} \qquad \forall p.i.t \qquad (۱۸)$$

$$\sum_p \sum_k \left(Cap_{kp} \times Q_{pijtk}\right) \le MK'_{ijt} \times F_{ij} \qquad \forall i.j.t \qquad (۱۹)$$

$$\sum_p \sum_k \left(Cap_{kp} \times Q'_{pjctk}\right) \le MK^{"}_{jct} \times F'_{jc} \qquad \forall j.c.t \qquad (۲۰)$$

$$D_{pct} = D'_{pct} - \left(\gamma_{pct} \times PR_{pct}\right) \qquad \forall p.c.t \qquad (۲۱)$$

$$DT_{pt} = \sum_c D_{pct} \qquad \forall p.t \qquad (۲۲)$$

$$H'_{pjt} = H'_{pj(t-1)} + \sum_i \sum_k \left(Cap_{kp} \times Q_{pijtk}\right) - \sum_c \sum_k \left(Cap_{kp} \times Q'_{pjctk}\right) \qquad \forall p.j.t \qquad (۲۳)$$

$$H'_{pjt} \le W_{pjt} \times Y'_j \qquad \forall p.j.t \qquad (۲۴)$$

$$\sum_i H_{pit} + \sum_j H'_{pj(t-1)} \ge DT_{pt} \qquad \forall p.t \qquad (۲۵)$$

$$\sum_i \left(Cap_{kp} \times Q_{pijtk}\right) + H'_{pj(t-1)} \ge \sum_c \left(Cap_{kp} \times Q'_{pjctk}\right) \qquad \forall p.j.t.k \qquad (۲۶)$$

$$\sum_i \sum_k \left(Cap_{kp} \times Q'_{pjctk}\right) = D_{pct} \qquad \forall p.c.t \qquad (۲۷)$$

رابطه‌های (۸) تا (۱۴) مربوط به محدودیت‌های ساختاری شبکه زنجیره تأمین هستند. رابطه (۸) و (۹)، حضور تولیدکننده در زنجیره را بررسی می‌کنند یعنی زمانی تولیدکننده در زنجیره جهت توافق با توزیع‌کننده انتخاب می‌شود که برای تولید حداقل یک محصول انتخاب شده باشد. رابطه (۱۰) و (۱۱)، تضمین می‌کنند که در صورت انتخاب تولیدکننده برای محصول باید به حداقل یک توزیع‌کننده این محصول را ارسال کند و در صورت انتخاب توزیع‌کننده باید از حداقل یک تولیدکننده محصول دریافت کند. رابطه (۱۲) و (۱۳)، بیان می‌کنند در صورتی توزیع‌کننده می‌تواند به خرده‌فروش محصول بفرستد که قبلا خرده‌فروش برای حضور در شبکه انتخاب شده باشد و در صورت انتخاب هر توزیع‌کننده باید حداقل به یک خرده‌فروش محصول ارسال کند.

رابطه (۱۴)، تاکید دارد برای تکمیل ساختار مستقیم شبکه زنجیره تأمین خرده‌فروش باید حتما از حداقل یک توزیع‌کننده محصول دریافت کند و تقاضایش براورده شود.

محدودیت‌های مربوط به ظرفیت بخش‌های مختلف شبکه در شماره‌های (۱۵) الی (۲۰) معرفی شده است:

رابطه (۱۵)، در خصوص محدودیت ظرفیت تولیدکننده برای تولید محصول است و بیان می‌کند حجم تولید هر تولیدکننده باید کوچکتر یا مساوی ظرفیت آن تولیدکننده باشد. رابطه (۱۶)، محدودیت ظرفیت حمل و نقل برای انتقال همه محصولات تولیدی تولیدکننده به توزیع‌کننده را بررسی می‌کند و انتقال همه محصولات تولید شده به توزیع‌کننده را تضمین می‌کند. محدودیت (۱۷)، به بررسی محدودیت ظرفیت توزیع‌کننده در دریافت محصول از تولیدکننده برای انجام عملیات ارزش‌افزوده می‌پردازد و نیز تضمین می‌کند تنها توزیع‌کنندگان منتخب قادر به انجام عملیات در بخش توزیع هستند. رابطه (۱۸)، به محدودیت ظرفیت تولیدکننده برای انتقال محصول به توزیع‌کننده است.

رابطه (۱۹)، مربوط به ظرفیت انتقال محصول از تولیدکننده به توزیع‌کننده می‌باشد، به عبارتی باید میزان انتقال از تولیدکننده به توزیع‌کننده از ظرفیت انتقال آن کمتر باشد.

محدودیت ظرفیت توزیع از توزیع‌کننده به خرده‌فروش در رابطه (۲۰) آورده شده است و بیان می‌کند که این میزان باید از ظرفیت انتقال توزیع‌کننده کمتر باشد. در باقیمانده روابط به بررسی محدودیت‌های زنجیره در خصوص ذخیره‌سازی، کنترل تقاضا و نیز محدویت‌های بخش حمل و نقل زنجیره پرداخته می‌شود. رابطه (۲۱)، میزان تقاضایی که زنجیره برای دستیابی به حداکثر سود باید برآورده سازد را معین می‌کند و تقاضای نهایی خرده‌فروش را بر اساس ضریب کاهش تقاضا به وسیله افزایش قیمت تعیین می‌کند. رابطه (۲۲)، مربوط به تعیین میزان کل تقاضای خرده‌فروشان برای هر محصول در هر دوره است. رابطه (۲۳)، در واقع معادله توازن برای محصولات ذخیره شده در توزیع‌کننده است. به عبارتی میزان ذخیره (انبارش) نهایی محصول در توزیع‌کننده را بر اساس محاسبه ذخیره از دوره قبل محاسبه می‌کند به این شکل که میزان محصول منتقل شده از تولیدکننده به توزیع‌کننده در هر دوره به علاوه ذخیره محصول از دوره قبل باید برابر با میزان محصول انتقال داده شده از توزیع‌کننده به خرده‌فروش در همان دوره باشد.

رابطه (۲۴)، محدودیت ظرفیت ذخیره‌سازی در توزیع‌کننده است. میزان ذخیره‌سازی باید کمتر از ظرفیت ذخیره‌سازی باشد. رابطه (۲۵)، تاکید دارد تقاضای کل خرده‌فروش‌ها باید کمتر از میزان تولید در تولیدکننده در هر دوره به‌علاوه ذخایر از دوره قبل توزیع‌کننده باشد.

میزان محصول منتقل شده به توزیع‌کننده و میزان ذخیره از دوره قبل باید از میزان توزیع شده به خرده‌فروشان کمتر باشد؛ این محدودیت توسط رابطه (۲۶) بیان شده است. رابطه (۲۷)، بیان می‌کند میزان محصول دریافت شده از توزیع‌کننده توسط خرده‌فروش باید برابر با میزان تقاضای آن خرده‌فروش باشد. رابطه (۲۸)، در واقع توازن بین توزیع و ذخیره‌سازی محصول را برقرار می‌کند. روابط (۲۹) و (۳۰)، مربوط به محدودیت‌های بخش حمل و نقل زنجیره هستند. به عبارتی تضمین می‌کنند میزان محصول حمل شده بین سطوح، از تولیدکننده به توزیع‌کننده و همچنین از توزیع‌کننده به خرده‌فروشها از ظرفیت حمل و نقل زنجیره در هر بخش کمتر باشد.

جمع‌بندی و ملاحظات

در این بخش جهت اعتبار سنجی مدل ریاضی در ابتدا چند مدل ساده از زنجیره تأمین تحت طراحی مورد مطالعه این تحقیق مورد بررسی قرار گرفته است. سپس به بررسی مثال‌هایی با ساختارهای پیچیده‌تر پرداخته شده و در نهایت مثال واقعی ارائه خواهد شد.

داده‌های به کار رفته در حل مثال‌های مختلف از مسئله به صورت تصادفی از بازه‌هایی که در جدول (۱) آورده شده است، انتخاب می‌شوند. هدف انتخاب یک زیر شبکه از این شبکه اصلی موجود و همچنین برنامه‌ریزی تولید، موجودی، توزیع و قیمت‌گذاری است.

جدول ۱- پارامترهای مدل

پارامتر	مقدار	پارامتر	مقدار
M_{pit}	(۱۷۰۶۸-۱۱۲۳۵)	LP_{pit}	(۰٫۶-۰٫۲)
M'_{pjt}	(۲۱۳۴۵-۱۳۹۲۸)	W_{pjt}	(۲۷۵۶-۱۸۹۹)
MK_{pit}	(۷۳۲۵۰-۵۲۱۲۶)	Ag_{ij}	(۱۳۴۲-۹۹۸)
MK'_{ijt}	(۷۲۱۲۶-۵۲۱۲۶)	Ag'_{jc}	(۹۹۵-۸۷۵)
MK''_{jct}	(۶۵۸۵۹-۴۳۸۵۶)	S_{pi}	(۲۶۲۸-۱۲۴۱)
UC_{pit}	(۴۸٫۵۵-۲۵٫۱۳)	S'_{j}	(۶۳۰-۵۶۰)
SC_{pjt}	(۵-۲)	Pk_{pjt}	(۹٫۴۶-۶٫۷۴)
LC_{pit}	(۲۲۰-۱۰۰)	D'_{pct}	(۵۲۸۱-۱۵۱۲)
γ_{pct}	(۰٫۹۸-۰٫۵۱)		

در جدول (۲)، تعداد دوره‌ها با T، انواع حمل و نقل با K، تعداد محصولات با P، تعداد خرده‌فروشان با C، توزیع کنندگان با J، تعداد تولیدکنندگان با I و مقدار تابع هدف با Z، مقدار تابع درآمد با REV، هزینه تولید با TCP، هزینه ذخیره‌سازی با TCD، هزینه حمل و نقل با TCSو هزینه محصولات بازگشتی با TCL نشان داده شده است.

هزینه‌های ثابت راه‌اندازی شرکت‌های تولیدی و مراکز توزیع و هزینه‌های ثابت ایجاد توافق بین شرکت‌ها در ابتدای هر افق برنامه‌ریزی اعمال می‌شود و در دوره‌های بعدی افق برنامه‌ریزی اعمال نمی‌شود، هرچند که اعمال این هزینه‌ها در هر دوره از افق برنامه‌ریزی تأثیری در روند حل ندارد و این صرفاً به‌منظور سادگی در تولید مسائل تصادفی است. در تولید مسائل، ظرفیت‌های تولیدی، ظرفیت‌های مراکز توزیع، ظرفیت‌های توزیع شرکت‌های تولیدی و مراکز توزیع، ظرفیت‌های ذخیره‌سازی، هزینه‌های راه اندازی، هزینه‌های محصولات فاقد کیفیت، هزینه‌های ایجاد توافق و هماهنگی و هزینه‌های متغیر تولید و ایجاد ارزش افزوده به ازای هر واحد تولیدی و مرکز توزیع در هر دوره به صورت تصادفی و مبتنی بر توزیع یکنواخت انتخاب می‌شوند.

جدول۲- نتایج نرم‌افزار GAMS از حل مثال‌های اعتبار سنجی مدل

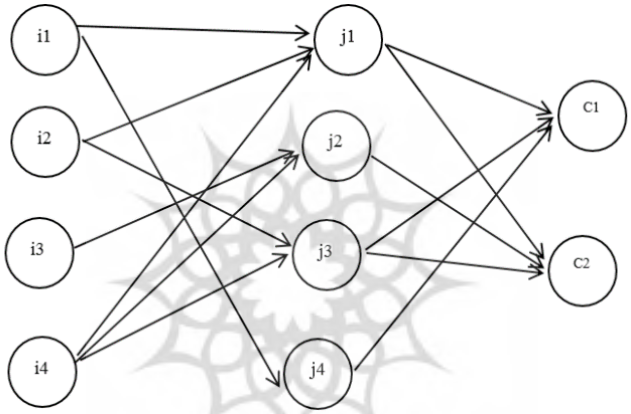
شماره مثال	نتایج نرم‌افزار GAMS از حل مثال‌های اعتبار سنجی مدل						I	J	C	P	K	T	زمان حل(ثانیه)
	TCL	TCS	TCD	TCP	REV	Z							
1	255205	7740	6885208	150800	16456770	9157817	2	2	2	1	1	6	0.046
2	497798	4600	16283560	290480	37202080	20125640	3	2	3	1	1	9	0.343
3	2132836	31230	77537890	1296222	179338400	98340260	3	2	4	2	2	9	3.932
4	5513996	170810	174260100	3302614	341966800	158719300	5	4	5	3	2	12	856.055
5	3486804	51470	113893900	1933509	270701000	151335300	4	5	6	3	1	12	33.836
6	7908962	219760	150356100	4609713	411072100	247977600	7	8	9	1	3	12	318.789
7	12277840	260120	353371700	7292241	748215200	375013300	8	9	10	2	2	12	1005.676
8	12069490	363420	327384600	7366177	702914200	355730500	10	10	10	2	2	12	1235.523

تحلیل حساسیت مدل ریاضی

برای بررسی روند تغییرات احتمالی جواب مدل پیشنهادی و میزان حساسیت آن به تغییرات

عوامل اصلی، ابتدا مدل با داده‌هایی که در جدول (۱) آورده شده است و با حضور چهار تولیدکننده و چهار توزیع‌کننده و دو خرده‌فروش با فرض تولید دو محصول متفاوت و دو نوع شیوه حمل و در نظر گرفتن دو دوره زمانی حل شده و زیرشبکه انتخابی توسط مدل در شکل (۱) نمایش داده شده است. سپس به بررسی روند تغییرات مدل مذکور در صورت اعمال تغییرات در هر یک از عوامل، مورد بررسی قرار گرفته است که نتایج تحلیل حساسیت مدل به هر متغیر در ادامه خواهد آمد.

در جدول (۳)، نتایج حاصل از حل مدل ارائه شده شامل مقادیر بهینه سود و تابع درآمد و توابع هزینه آمده است.



شکل ۱- زیرشبکه زنجیره تأمین انتخابی توسط مدل ریاضی

جدول۳- نتایج نرم‌افزار GAMS از حل مثال اعتبار سنجی مدل ریاضی

Z	*REV*	*TCP*	*TCD*	*TCS*	*TCL*
20,432,473	35,745,913	383,164	14,282,995	955	646,325

در جداول (۴) الی (۸) میزان هر متغیر، حاصل از حل مدل توسط نرم‌افزار ارائه شده است. به ترتیب در جدول (۴)، میزان متغیر یا تقاضای کل برای محصول p در دوره زمانی t و در جدول (۵)، میزان متغیر یا قیمت محصول p برای خرده‌فروش c در دوره زمانی t ارائه شده است.

جدول۴- تقاضای کل محصول p در دوره t

محصول	t_1	t_2
A	۳۴۰۰	۲۰۶۰
B	۲۱۴۵	۱۹۲۰

جدول ۵- قیمت محصول p برای خرده‌فروش c در دوره t

محصول	خرده‌فروش	t_1	t_2
A	c_1	۴۲۴۰	۲۲۷۹
	c_2	۳۲۹۸	۳۷۸۸
B	c_1	۳۷۳۳	۱۸۷۲
	c_2	۲۸۶۵	۵۱۹۰

در جدول (۶)، میزان متغیر یا حجم ذخیره (انبارش) توزیع‌کننده j برای محصول p در دوره t و در جدول (۷)، میزان متغیر یا میزان تولید محصول p در تولیدکننده i در دوره t ارائه شده است.

جدول۶- میزان محصول p ذخیره شده در هر دوره

محصول	توزیع‌کننده	t_1
A	j_2	۴۰
B	j_1	۹۰
	j_2	۱۰۵

جدول۷- تعداد واحد محصول p تولید شده در هر دوره

محصول	تولیدکننده	t_1	t_2
A	i_1	۸۴۰	۰
	i_2	۹۲۰	۹۶۰
	i_3	۴۶۰	۱۸۰
	i_4	۱۲۲۰	۸۸۰

محصول	تولیدکننده	t_1	t_2
B	$i_۱$	۳۹۰	۰
	$i_۲$	۶۹۰	۷۲۰
	$i_۳$	۳۴۵	۴۰۵
	$i_۴$	۹۱۵	۶۰۰

جدول۸- میزان محصول p حمل شده بین توزیع‌کننده j و خرده‌فروشی c توسط ماشین حمل نوع k در دوره t

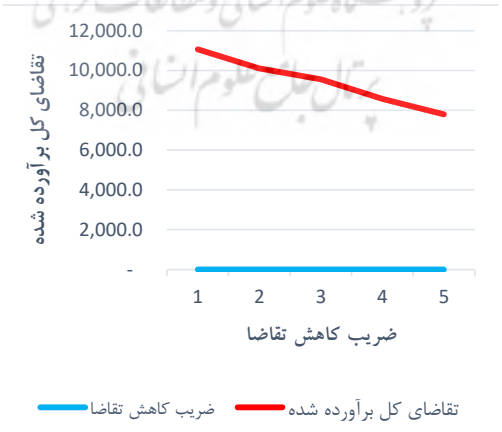
محصول	توزیع‌کننده	خرده‌فروش	دوره زمانی L	نوع حمل H	نوع حمل
A	j۱	c۱	t۱	۱۳	۳
		c۱	t۲	۱۸	۰
		c۲	t۱	۹	۱۶
		c۲	t۲	۰	۱۴
	j۲	c۲	t۱	۱۴	۱۳
		c۲	t۲	۱۷	۰
	j۳	c۱	t۱	۱۷	۱۴
		c۱	t۲	۱۰	۱۵
	j٤	c۱	t۱	۹	۸
B	j۱	c۱	t۱	۱۳	۱۶
		c۲	t۱	۹	۰
		c۲	t۲	۲۴	۱۴
	j۲	c۲	t۱	۱۳	۱۱
		c۲	t۲	۲۲	۱۶
	j۳	c۱	t۱	۱۷	۱۴
		c۱	t۲	۰	۶
		c۲	t۲	۱۰	۰
	j٤	c۱	t۱	۹	۰

نتایج حاصل از حل مدل نشان می‌دهد با افزایش عامل ضریب یا نرخ کاهش تقاضا با افزایش قیمت در یک دوره، میزان تقاضای برآورده شده که توسط این زنجیره باید تأمین شود کاهش می‌یابد. همچنین هزینه کل و درآمد کل زنجیره کاهش می‌یابد در نتیجه سود کلی زنجیره نیز کاهش می‌یابد. نتایج این تحلیل حساسیت طبق سناریوهای مختلف تحت تغییر ضریب کاهش تقاضا، در جدول (۹) ارائه شده است.

جدول ۹- نتایج تحلیل حساسیت ضریب کاهش تقاضا براساس افزایش قیمت

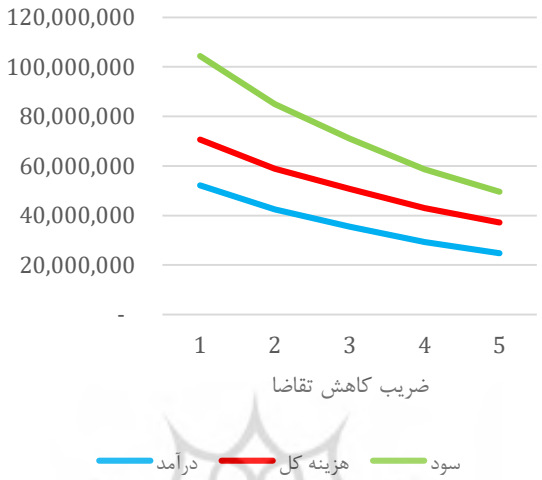
سناریو	ضریب کاهش تقاضا	تقاضای کل برآورده شده	درآمد	هزینه کل	سود
۱	۰٫۵	۱۱,۰۶۵	۵۲,۱۸۴,۲۰۰	۱۸,۴۷۸,۵۳۱	۳۳,۷۰۵,۶۶۹
۲	۰٫۶	۱۰,۱۰۵	۴۲,۵۱۱,۳۴۲	۱۶,۴۳۹,۲۴۹	۲۶,۰۷۲,۰۹۳
۳	۰٫۷	۹,۵۵۵	۳۵,۵۰۹,۳۵۰	۱۵,۲۸۶,۳۳۵	۲۰,۲۲۳,۰۱۵
۴	۰٫۸	۸,۵۷۵	۲۹,۲۹۶,۰۰۶	۱۳,۶۷۰,۴۲۳	۱۵,۶۲۵,۵۸۳
۵	۰٫۹	۷,۷۹۰	۲۴,۷۷۴,۰۰۰	۱۲,۳۸۳,۳۳۷	۱۲,۳۹۰,۶۶۳

همان طور که در نمودارهای شکل (۲) و (۳)، مربوط به داده‌های خروجی افزایش ضریب افزایش قیمت بر اساس افزایش تقاضا نمایش داده شده است، نمودار مربوط به سود و تقاضا توابعی کاهشی هستند.



شکل۲- نمودار کاهش تقاضای کل با افزایش ضریب قیمت

لازم به ذکر است به‌دلیل بالا بودن حجم داده‌های خروجی حاصل از حل مدل و رعایت اختصار از ارائه تمام جزئیات نتایج تحلیل حساسیت صرف نظر شده است.



شکل۳- نمودار توابع سود و هزینه با افزایش ضریب قیمت

نتیجه‌گیری

برای حل مدل از نرم‌افزار GAMS استفاده شده است و با حل مدل، در بخش هزینه‌های مدل، شاهد این هستیم که با افزایش هزینه‌های راه‌اندازی، انتقال، توزیع، تولید و ایجاد ارزش افزوده یک تولیدکننده و یا توزیع‌کننده در یک دوره به‌دلیل غیراقتصادی شدن حضور آن شرکت‌کننده، جذابیت آن کمتر شده و احتمال انتخاب آن تولیدکننده و توزیع‌کننده توسط مدل بسیار کاهش می‌یابد. به صورت عکس با کاهش این هزینه‌ها، میزان مطلوبیت و احتمال انتخاب آن تولیدکننده و توزیع‌کننده افزایش می‌یابد. با افزایش عوامل هزینه‌های حمل و نقل بین سطوح مختلف شبکه در یک دوره احتمال انتخاب آن نوع حمل بین سطوح بسیار کاهش می‌یابد به عبارتی احتمال اینکه این نوع حمل مذکور بتواند محصول منتقل کند کاهش می‌یابد و برعکس. با افزایش عوامل هزینه‌های هماهنگی و عقد قرارداد بین یک تولیدکننده و توزیع‌کننده در یک دوره احتمال ایجاد هماهنگی بین آن دو بسیار کاهش می‌یابد به عبارتی احتمال اینکه این تولیدکننده به توزیع‌کننده مذکور بتواند محصول منتقل کند کاهش می‌یابد و برعکس. با تغییر عامل هزینه ایجاد هماهنگی و عقد قرارداد بین یک توزیع‌کننده و

خرده‌فروش در یک دوره احتمال ایجاد هماهنگی بین آن دو بسیار کاهش می‌یابد. به عبارتی احتمال اینکه این توزیع‌کننده به خرده‌فروش مذکور بتواند محصول منتقل کند کاهش می‌یابد و برعکس. با تغییر عامل میزان محصول ذخیره شده از دوره‌های قبل، متغییرهای مدل از جمله میزان تولید، میزان انتقال و توزیع، همچنین متغییرهای انتخاب تولیدکننده و توزیع‌کننده نیز تغییر می‌کند. با تغییر تقاضای اولیه هر خرده‌فروش تقریبا تمام متغییرهای مدل تغییر می‌کند. پیشنهاد می‌شود در تحقیقات آتی مواردی همچون: به‌کارگیری الگوریتم‌های ابتکاری و فرا ابتکاری برای حل مدل در ابعاد بزرگ، به‌کارگیری انواع مختلف تقاضا مانند تقاضای وابسته به سطح موجودی و غیره، وارد نمودن کیفیت برای محصولات در مدل و قیمت‌گذاری محصولات بر اساس کیفیت، طراحی مدل به صورت حلقه بسته برای بازیافت یا بازتولید محصولات، استفاده از پارامترهای احتمالی، توسط سایر محققین در نظر گرفته شود

منابع

ترابی، سیدعلی، اله وردی لو، مرتضی و مقدم، محسن. (۱۳۹۰). ارائه رویکردی جدید در تصمیم‌گیری همزمان مدیریت تقاضا و برنامه‌ریزی تولید. نشریه تخصصی مهندسی صنایع، دوره ۴۵، شماره ۱، ص ص ۳۱ - ۴.

Abbasi, Reza Hosnavi, Reza Babazadeh (2014). “Agile and Flexible Suppy Chain Network Design Under Uncertainity” International Journal of Industrial Engineering, 21(4), Pages 190-208

Agarwal, A., Shankar, R., & Tiwari, M. K. (2006). Modeling the Metrics of Lean, Agile and Leagile Supply Chain: An ANP-Based Approach. European Journal of Operational Research, 272(2), 122-112.

Banerjeea and Swati Agrawal, (2017). “Inventory Model for Deteriorating Items with Freshness and Price Dependent Demand: Optimal Discounting and Ordering Policies,” Applied Mathematical Modelling, 114 (2), 476-486.

Christopher, M. (2000). The Agile Supply Chain: Competing in Volatile Markets. Industrial Marketing Management, 12(2), 27-22.

Cohen, M.A., (1077). Joint Pricing and Ordering Policy for Exponentially Decaying Inventory with Known Demand. Naval Research Logistics Quarterly, 24, 257-268.

Costantino, N., Dotoli, M., Falagario, M., Fanti, M. P., & Mangini, A. (2012). A Model for Supply Management of Agile Manufacturing Supply Chains. International Journal of Production Economics, 222(2), 222-227.

Geunes, J., Romeijn, H. E., Taaffe, K., (2002). Models for Integrated Production Planning and Order Selection. Industrial Engineering Research Conference (IERC), Orlando, May.

Gilbert, S. M., (1999). Coordination of Pricing and Multi-Period Production for Constant Priced Goods. European Journal of Operational Research, 114 (2), 330-337

Gilbert, S. M., (2000). Coordination of Pricing and Multiple-Period Production Across Multiple Constant Priced Goods. Management Science, 46 (12), 1602-1616.

KamranKianfar, (2019). "Maximizing Profit in a Supply Chain by Considering Advertising and Price Elasticity of Demand," Computers & Industrial Engineering, 265-274.

Lee, HL (2002). 'Aligning Supply Chain Strategies with Product Uncertainties', California Management Review, vol. 44, no. 3, pp. 105-19.

Lin, Yi-Chen Wu, (2014). "Combined Pricing and Supply Chain Operations Under Price-Dependent Stochastic Demand," Appl. Math. Modelling, 95-7

Mahdi Mahmoodi, (2019). "A new Multi-Objective Model of Agile Supply Chain Network Design Considering Transportation Limits," Production & Manufacturing Research, 1-22.

San-Joséa, Joaquín Sicilia, David Alcaide-López-de-Pablo, (2017), "An inventory System with Demand Dependent on Both Time and Price Assuming Backlogged Shortages," European Journal of Operational Research, 000 1-9

Seyed Mohammad Seyed hosseini Seyyed-Mahdi Hosseini-Motlagh Maryam Johari Mona Jazinaninejad, (2019). "Social Price-Sensitivity of Demand for Competitive Supply Chain Coordination," Computers & Industrial Engineering, 1103-1126.

Szu-Yuan, S, Meng-Hsiang, H & Wen-Jin, H (2009). 'The Impact of Alignment Between Supply Chain Strategy and Environmental Uncertainty on SCM Performance', Supply Chain Management: An International Journal, vol. 14, no. 3, pp. 201-12.

Teksan, Joseph Geunes, (2016). "An EOQ Model with Price-Dependent Supply and Demand," International Journal of Production Economics, 114 (2), 476-486.

Webster and Z. K. Weng, (2008). "Ordering and Pricing Policies in a Manufacturing and Distribution Supply Chain for Fashion Products," International Journal of Production Economics, 114 (2), 476-486.

Whitin, T., (1955). Inventory Control and Price Theory. Management Sci., 2, 61-68.

Yaghin and S. A. Torabi and F. Ghomi, (2012). "Integrated Markdown Pricing and Aggregate Production Planning in Atwo Echelon Supply Chain: A hybrid Fuzzy Multiple Objective Approach," Applied Mathematical Modeling, 36 (12), 6011-6030.

Yildiz, A., & Yayla, A. Y. (2015). Multi Criteria Decision-Making Methods for Supplier Selection: A Literature Review. South African Journal of Industrial Engineering, 12(1), 221-277.