پژوهش‌های نوین در تصمیم‌گیری
دوره ۲، شماره ۱، بهار ۱۳۹۶

طراحی شبکه زنجیره تأمین چابک در شرایط وابستگی تقاضا به قیمت

فرزانه منصوری[۱]، طیبه عباس‌نژاد[۲*]، حمید رضا عسکرپور[۳]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران.
۲- استادیار، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران.
۳- استادیار، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران.

دریافت: ۱۳۹۵/۱۱/۱۵ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۱/۱۷

چکیده

در این مقاله به بررسی مسئله طراحی زنجیره تأمین چابک چند سطحی و چند دوره‌ای در شرایطی که تقاضای مشتری به قیمت محصول وابسته است، پرداخته شده است. هدف این پژوهش طراحی یک زنجیره تأمین چابک در شرایط وابستگی تقاضا به قیمت و تصمیم‌گیری یکپارچهٔ برنامه‌ریزی توأم تولید و قیمت‌گذاری برای محصولات متنوع از نظر سطح کیفیت است. در این پژوهش سعی شده است تا با تکیه بر رویکردهای نوین مطرح شده در زمینه برنامه‌ریزی زنجیره تأمین، رویکردی یکپارچه در زمینه مدیریت تقاضا و برنامه‌ریزی تولید ارائه شود که در آن تقاضا، از طریق اهرم قیمت قابل کنترل است. شبکه زنجیره در نظر گرفته شده، سه‌سطحی است و شامل تولیدکنندگان، توزیع کنندگان و خرده‌فروشان می‌باشد. تصمیم‌گیری‌های یکپارچه در این مسئله شامل انتخاب شرکت‌کنندگان در هر سطح، مدیریت تقاضا، قیمت‌گذاری، برنامه‌ریزی تولید، موجودی و توزیع، است. مسئله تصمیم‌گیری یکپارچهٔ تولید و قیمت‌گذاری مطرح شده در این مقاله چند محصولی با سطوح کیفیتی مختلف است. یک مدل غیر خطی آمیخته با اعداد صحیح که فرایندهای برنامه‌ریزی مورد نیاز جهت حداکثرسازی سود زنجیره را در بر می‌گیرد، ارائه شده است. در انتها نیز برای نشان دادن کاربردی بودن مدل ریاضی، مثال عددی ارائه شده است.

---

* نویسنده مسئول مقاله: E-mail: t.abbasnejad@gmail.com

واژه‌های کلیدی: یکپارچه‌سازی زنجیره تأمین چابک، مدیریت تقاضا، طراحی زنجیره تأمین چابک، تصمیم‌گیری مشترک تولید و قیمت‌گذاری، ظرفیت محدود.

۱- مقدمه

امروزه بسیاری از سازمان‌ها و شرکت‌ها با رقابت بسیار زیاد و محیط نامطمئنی مواجه هستند که به‌واسطه نوآوری‌های تکنولوژی و نیازهای در حال تغییر مشتریان شدت پیدا کرده است و تمرکز بر القای سرعت و انعطاف‌پذیری در زنجیره تأمین رو به افزایش است. در چنین محیطی رویکردهای گذشته در زنجیره تأمین دیگر قابلیت و توانایی خود را از دست داده‌اند. یکی از راه‌های مقابله با چنین چالش‌هایی استفاده از پارادایم چابکی است. هدف یک زنجیره تأمین چابک راضی نگه داشتن مشتریان و کارکنان خود می‌باشد. بنابراین زنجیره تأمین چابک باید قابلیت پاسخگویی به تغییرات صورت گرفته در محیط کاری خود را داشته باشد. با این توضیح زنجیره تأمین 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 [۱]. یکی از راه‌های رایج و قابل قبول برای دستیابی به چابکی در زنجیره تأمین این است که بتوان اعضای زنجیره را از بین شرکت‌های که در مناطق جغرافیایی مختلفی قرار گرفته‌اند و از طریق شبکه‌های ارتباطی با هم در ارتباطند، انتخاب کرد و زنجیره را طراحی کرد [۲].

مدیریت زنجیره تأمین برای کاهش هزینه‌ها، بهبود کیفیت و خدمت‌دهی به مشتری و همچنین بهبود رقابت‌پذیری مشتری، بسیار اهمیت یافته است. با این حال می‌توان به تعریف جامعی که از سوی انجمن زنجیره تأمین جهانی[۱] ارائه شده است، استناد کرد: «مدیریت زنجیره تأمین یکپارچه‌سازی فرایندهای کلیدی کسب‌وکار از کاربر نهایی گرفته تا تأمین‌کننده اصلی است که تأمین محصولات، خدمات و اطلاعاتی را که باعث ایجاد ارزش افزوده برای مشتریان و ذینفعان سازمان می‌شود، بر عهده دارد». مدیریت زنجیره تأمین شامل پنج بخش اصلی است: برنامه‌ریزی، منابع، تولید، ارسال و ارجاع است. برای حصول عملکرد بهتر و متناسب با نیازهای تصمیم‌گیری و کاهش هزینه در زنجیره تأمین، به‌خصوص در محیط رقابتی[۲] (چرخه عمر کوتاه محصول، سرعت در واکنش به درخواست مشتری، کیفیت و از این قبیل)، مدل‌های تئوریک

تصمیم‌گیری یکپارچه[۳]، جایگاه ویژه‌ای پیدا کرده‌اند و فضای مطالعاتی گسترده‌ای برای محققان گشوده‌اند.

یکی از تصمیم‌های اساسی در مدیریت زنجیره تأمین، تصمیم‌گیری در رابطه با عناصر شرکت‌کننده در زنجیره تأمین مانند تولیدکنندگان، تأمین‌کنندگان، توزیع‌کنندگان و خرده‌فروشان می‌باشد که می‌تواند با رویکردهای برنامه‌ریزی ریاضی خطی و غیرخطی، روش‌های سلسله مراتبی یا شبکه‌ای با معیارهای تصمیم‌گری چندگانه، الگوریتم‌های فراابتکاری مانند الگوریتم ژنتیک و روش‌های تحلیلی ریاضی مانند الگوریتم‌های برنامه‌ریزی آرمانی، متغیرهای صحیح و روش‌های هوش مصنوعی مورد بررسی قرار گیرد [۳]. مدل‌های تصمیم‌گیری یکپارچه یا توأم تولید و تقاضا در مدیریت زنجیره تأمین نقشی حیاتی در بهبود عملکرد زنجیره تأمین دارند. برآورد تقاضا، رویکرد جدیدی در مدیریت تقاضا و برنامه‌ریزی زنجیره تأمین است و ترکیب آن با قیمت‌گذاری، ابزاری قدرتمند برای کنترل تقاضا در اختیار تولیدکننده قرار می‌دهد. این توانمندی در تصمیم‌گیری توأم با برنامه‌ریزی تولید و انتخاب اعضای زنجیره تأمین (تولیدکنندگان و توزیع‌کنندگان و...)، می‌تواند سود زنجیره را افزایش دهد. در این پژوهش سعی شد با دو نگرش فوق توسعه‌هایی بر مطالعات قبلی انجام گرفته در این زمینه صورت گیرد. مباحث تصمیم‌گیری یکپارچه توأم تولید، تقاضا، توزیع و طراحی زنجیره‌تأمین چابک به‌دنبال تعیین و برنامه‌ریزی سیاست‌های تولیدی و اندازه اقتصادی انباشته‌های تولیدی، مدیریت و برآورد تقاضا، سیاست‌های توزیع و همچنین انتخاب شرکت‌کنندگان در زنجیره جهت افزایش سود و کاهش هزینه‌های زنجیره، هستند.

هدف این مقاله، طراحی یک زنجیره تأمین چابک در شرایط وابستگی تقاضا به قیمت و تصمیم‌گیری همزمان مدیریت تقاضا، تولید و توزیع است تا نتیجه حاصل از چابکی و در نهایت رضایت مشتری که هدف هر سیستم تولیدی یا خدماتی می‌باشد، در آن گنجانده شود. در این پژوهش سعی شده است تا با تکیه بر رویکردهای نوین مطرح شده در زمینه برنامه‌ریزی زنجیره تأمین، رویکردی یکپارچه در زمینه مدیریت تقاضا، برنامه‌ریزی تولید و توزیع ارائه شود که در آن تقاضا، از طریق اهرم قیمت قابل کنترل است. این مسئله، یک مسئله طراحی زنجیره تأمین و برنامه‌ریزی تولید و توزیع با ظرفیت محدود است که قیمت و تابع درآمد در آن وارد شده و تابع هدف

بیشینه‌سازی سود می‌باشد. با انتخاب تقاضای مشخص برای هر خرده‌فروش در هر دوره در مسئله، مسئله به یک مسئله بیشینه‌سازی سود یا PCLSP تبدیل می‌شود که در آن پارامتر قیمت‌گذاری برای انعطاف‌پذیری بیشتر، به مدل اضافه شده است و تولیدکننده با تغییر قیمت‌های خود با تقاضاهای متفاوتی مواجه می‌شود.

ادامه این تحقیق به این ترتیب است. در بخش ۲ مروری بر کارهای انجام شده در این زمینه خواهد شد. سپس در بخش ۳ با معرفی مسئله تعریف شده در این پژوهش، مدل ریاضی آن ارائه داده خواهد شد. در بخش ۴ پیچیدگی مدل، مورد بحث قرار خواهد گرفت. در ادامه و در بخش ۵ یک مثال کاربردی همراه با حل و جواب‌های به‌دست آمده ارائه خواهد شد. در بخش ۶ به بررسی محاسباتی مدل پرداخته خواهد شد. در بخش ۷ شامل تحلیل حساسیت مسئله است. در انتها و در بخش ۸ پس از جمع‌بندی، نتایج کسب شده در این تحقیق مورد بحث قرار خواهد گرفت.

۲- پیشینه تحقیق

در ادبیات تولید با ایجاد شرایط رقابتی و تنوع کسب‌وکار و توجه به تخصص محوری در فرایندهای تولیدی که ناشی از افزیش تقاضا از یک سو و تغییر در نیاز مشتری و نوسانات میزان تقاضا از سوی دیگر بود و همچنین با هدف کاهش هزینه‌های تولید، زنجیره‌های تأمین شکل گرفت و به تبع آن مدیریت تولید با مفهوم مدیریت زنجیره تأمین که نیاز به هماهنگی، مشارکت و تصمیم‌گیری‌های یکپارچه برای توزیع هزینه‌ها و منافع ناشی از تصمیم‌ها است، جایگزین شد [۲؛ ۳]. این گسترش فزاینده مفهوم زنجیره تأمین و شبکه‌های تأمین مسائل تصمیم‌گیری متعددی را پیش روی محققان قرار داده است [۴].

شرکت‌هایی که محصولات خود را بر مبنای سیستم ساخت برای سفارش تولید می‌کنند اغلب علاوه بر برنامه‌ریزی تولید تقاضاهایی که باید برآورده کنند، به تعیین قیمت محصولات خود نیز می‌پردازند [۵]. این‌گونه قیمت‌گذاری، معمولاً قبل از ایجاد طرح‌های تولیدی و در بیشتر موارد بر اساس قوانین فروش و بازاریابی انجام می‌گیرد. نکته قابل بررسی در این فرایند تعیین قیمت این است که هیچ تعاملی بین قیمت و احتیاج‌ها و برنامه‌های تولید وجود ندارد و این در حالی است که این فاکتورها هر یک بر سوددهی مؤثر است [۶؛ ۷]. بنابراین زنجیره تأمین به جای پاسخگویی به

یک تقاضای از قبل تعیین شده می‌تواند قیمت محصول را متغیر تصمیم‌گیری مدل فرض کرده و با اتخاذ تصمیم مناسب برای آن و ایجاد رابطه مناسب بین قیمت و مقدار تقاضا، سطح بهینه تقاضا را یافته و سیاست‌های تولیدی/ سفارش‌دهی زنجیره را به نحوی با آن تنظیم نماید که سود حاصل بیشینه شود. در این حوزه، توابع هدف دارای ساختاری غیر خطی است این موضوع به این دلیل است که معمولاً تابع درآمد در آنها به شکل حاصل‌ضرب دو متغیر اصلی مسئله؛ یعنی تقاضای برآورده شده در قیمت فروش است. مدل ریاضی عمومی این مسائل به صورت مدل بیشینه‌سازی سود است که از حاصل‌ضرب تقاضای برآورده شده در قیمت فروش به‌دست می‌آید و مسئله بیشینه‌سازی سود یا PCLSP نامیده می‌شود و توسعه‌های زیادی از سال ۱۹۵۵ که اولین بار توسط ویتین مطرح شد [۸]، روی آن صورت گرفته است.

در مسائل طراحی زنجیره تأمین که در آنها برنامه‌ریزی همزمان تولید، توزیع، موجودی و قیمت‌گذاری صورت می‌گیرد، انتخاب اعضای زنجیره (انتخاب یک زیرشبکه از شبکه اصلی موجود)، قیمت، مقدار تولید، مقدار ذخیره‌سازی و مقدار توزیع متغیرهای تصمیم‌گیری هستند و مدل‌های مطالعه شده در این زمینه، محدودیت‌های تولید، توزیع و ذخیره‌سازی را در نظر می‌گیرند.

۲-۱- برنامه‌ریزی یکپارچه قیمت‌گذاری و تولید

چان و همکارانش یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی توأم قیمت‌گذاری و تولید یک محصول در چند دوره با افق زمانی محدود و ظرفیت تولید محدود در وضعیتی که تقاضای دوره‌ها غیر ایستا و احتمالی بوده و یک فهرست قیمت گسسته وجود داشته باشد، ارائه کردند [۹]. لی و تانگ یک مدل تصمیم‌گیری توأم تولید و قیمت‌گذاری، در سیستم تولید و فروش به چند خریدار (یک به چند) در شرایط تقاضای قطعی را بر اساس خصوصیات زنجیره تأمین یک محصول با یک خریدار تحلیل کردند. سفارش‌های برآورده نشده در این مدل از دست می‌رود. به‌علاوه آنها از مفهوم جدیدی با عنوان فروش احتیاطی استفاده کردند؛ یعنی یک موجودی جداگانه برای تأمین تقاضاهای آتی وجود داشته است و حتی در حالت فروش از دست رفته در دوره جاری، باید حفظ شود. بنابراین بجز تصمیم‌گیری در خصوص تولید، این مقدار موجودی نیز باید محاسبه شود. آنها در این مدل از دو راهبرد برنامه‌ریزی تأخیری

و جزئی استفاده کردند [۱۰]. دنگ و یانو یک مدل توأم برنامه‌ریزی تولید و قیمت‌گذاری یک محصولی و چند دوره‌ای با تقاضاهای متغیر در طول دوره‌ها و ظرفیت تولیدی محدود و متغیر نسبت به زمان را مطالعه کردند. هزینه‌های مدل شامل هزینه خطی تولید، هزینه راه‌اندازی تولید و هزینه نگهداری موجودی پایان دوره بود که آنها رویه‌ای برای یافتن جواب‌های مؤثر تحت فرضیه‌های عمومی ظرفیت و هزینه‌ها ارائه کردند. هدف اصلی مطالعه آنها ارائه یک درک منطقی از رابطه بین ظرفیت تولید و قیمت‌گذاری بود [۱۱]. هاوگن و همکارانش برپایه چند مثال، نگرش تازه‌ای به مسئله اندازه اقتصادی انباشته با ظرفیت محدود یا CLSP ارائه کردند که در آن به جای کمینه‌سازی هزینه، بیشینه‌سازی سود با به‌کارگیری ابزار قیمت، هدف قرار می‌گیرد که همان مسئله بیشینه‌سازی سود (PCLSP) است و از نظر محاسباتی بسیار ساده‌تر است. آنها نشان دادند که با اهرم قیمت می‌توان تقاضا را هم مانند زمان‌بندی تولید اصلاح و کنترل کرد. همچنین در این نوع از مسائل برخلاف مسئله اندازه اقتصادی انباشته با ظرفیت محدود (CLSP) می‌توان با شکل دادن تقاضا به‌راحتی یک راه‌حل شدنی برای مسئله بیشینه‌سازی سود (PCLSP) ارائه کرد [۱۲].

۲-۲- مدل‌های طراحی زنجیره تأمین

داس و چودهری فرایند برنامه‌ریزی زنجیره تأمین لجستیک معکوس سه‌سطحی را برای طراحی محصول مدولار مورد بررسی قرار دادند که در آن محصولات در سطوح کیفیتی متفاوتی تولید می‌شوند. آنها مدلی ارائه دادند که تمام فرایندهای برنامه‌ریزی را که برای به‌حداکثر رساندن سود زنجیره مورد نیاز است، در بر می‌گیرد. محصولاتی در سه سطح کیفیت ۱، ۲ و ۳ برای بازارهای مختلف تولید می‌شوند [۱۳]. پن و نگی مسئله طراحی زنجیره تأمین با عدم قطعیت تقاضا در یک محیط چابک را مورد بررسی قرار دادند. هدف این مطالعه، طراحی زنجیره تأمین از طریق انتخاب شرکت‌کننده‌گان در هر مرحله‌ی فرایند تولید و حداقل‌سازی هزینه‌های لجستیک و تولید در طول افق برنامه‌ریزی است. برای حل این مدل یک روش فراابتکاری توسعه داده شده است [۱۴]. کاستن‌تینو و همکارانش یک مدل برای طراحی زنجیره تأمین تولید چابک بر اساس مدلسازی گرافی ارائه دادند. آنها یک تابع هدف چند ضابطه‌ای برای بهینه ساختن طراحی زنجیره تأمین تولید ارائه دادند. در

این مدل تمام شرکت‌کنندگان موجود در زنجیره و روابط بین آنها به‌صورت گرافی نمایش داده شدند که هدف این مسئله انتخاب زیرگرافی از گراف ارائه شده است، به‌عبارتی انتخاب مجموعه‌ای از یال‌های موجود در گراف کلی تعریف شده، است [۲]. پن و نگی مدلی برای طراحی زنجیره تأمین در سناریوی تولید چابک برای به حداقل رساندن هزینه‌های عملیات تولید ارائه دادند. هزینه‌های مدل شامل هزینه‌های ایجاد هماهنگی بین شرکت‌ها، تولید، ضایعات، نگهداری و حمل‌ونقل می‌باشد در شرایطی که شرکت‌ها محدودیت‌های تولید و توزیع دارند [۱۵]. عباسی و همکاران مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلطی توسعه داده‌اند که در آن ویژگی‌های کلیدی زنجیره تأمین چابک بررسی شده است. در این مطالعه برای طراحی زنجیره تأمین تصمیمات سطوح استراتژیکی و تاکتیکی هر دو تحت عدم قطعیت داده‌های فاصله‌ای به کار گرفته شده است. نتایج محاسباتی نشان می‌دهد که مدل بهینه جامع ارائه شده دارای درجه بالایی از پاسخگویی در برخورد با عدم قطعیت در مقایسه با مدل قطعی است. بنابراین این مدل جامع می‌تواند به‌عنوان یک ابزار قدرتمند در طراحی شبکه زنجیره تأمین چابک و انعطاف‌پذیر در محیط‌هایی که در آنجا با چالش‌های مختلف در محیط‌های رقابتی روبه رو هستند، به کار گرفته شود [۱۶؛۱۷؛۱۸؛۱۹].

در بیشتر مطالعات صورت گرفته در حوزه زنجیره تأمین چابک و مدل‌های ارائه شده برای طراحی این زنجیره، تقاضا به عنوان یک عامل از قبل تعیین شده در نظر گرفته شده است در صورتی که می‌توان تقاضا را به صورت یک عامل قابل کنترل در نظر گرفت که این موضوع در تصمیم‌گیری فرایندهای مختلف زنجیره نیز مؤثر است [۲۰]. در این مدل‌ها همچنین شبکه باید همه تقاضای خرده‌فروشان و مشتریان خود را پاسخ دهد، در حالی که در برخی از موارد ممکن است با توجه به محدود بودن ظرفیت تولید و همچنین مقرون به صرفه نبودن پاسخ‌دهی به کل تقاضای مشتریان، زنجیره نتواند همه تقاضای آن بازار را در یک دوره برآورده کند. در خصوص تصمیم‌گیری توأم تعیین اندازه اقتصادی انباشته‌های تولیدی و انتخاب اعضای زنجیره در حالت چند محصولی با سطوح کیفیتی متفاوت که تقاضا به صورت عامل قابل کنترل در نظر گرفته شود، تحقیقات کمتری انجام شده است. در مباحث تصمیم‌گیری یکپارچه توأم تولید و طراحی زنجیره تأمین چابک به دنبال تعیین و برنامه‌ریزی سیاست‌های تولیدی و اندازه اقتصادی انباشته‌های تولیدی و همچنین

انتخاب شرکت‌کنندگان در زنجیره جهت افزایش سود و کاهش هزینه‌های زنجیره هستند و به قیمت‌گذاری که می‌تواند به عنوان ابزاری جهت کنترل تقاضا و در نتیجه کنترل تولید در اختیار تولیدکننده قرار گیرد و به‌وسیله آن، سطح مطلوب تقاضا برآورد شود، کمتر پرداخته شده است [۲۱؛۲۲]. مدل‌های تصمیم‌گیری یکپارچه یا توأم تولید و مدیریت تقاضا در مدیریت زنجیره تأمین نقشی حیاتی در بهبود عملکرد زنجیره تأمین دارند. برآورد تقاضا، رویکرد جدیدی در مدیریت تقاضا و برنامه‌ریزی زنجیره تأمین است و ترکیب آن با قیمت‌گذاری، ابزاری قدرتمند برای کنترل تقاضا در اختیار تولیدکننده قرار می‌دهد. این توانمندی در تصمیم‌گیری توأم با برنامه‌ریزی تولید و انتخاب اعضای زنجیره می‌تواند سود زنجیره را افزایش دهد. در این پژوهش سعی شد با دو نگرش فوق توسعه‌هایی بر مطالعات قبلی انجام گرفته در این زمینه صورت گیرد.

۳- تعریف و مدلسازی مسئله

تصمیم‌گیری همزمان مدیریت تقاضا و تولید بیشتر در ارتباط با برنامه‌ریزی همزمان قیمت‌گذاری و تولید است. در این بخش برای طراحی مدل برنامه‌ریزی توأم تقاضا و تولید چند محصولی با ظرفیت محدود در زنجیره تأمین چابک یک زنجیره تأمین سه سطحی متشکل از تولیدکنندگان، توزیع‌کنندگان و خرده‌فروشان در نظر گرفته شده است.

در این مدل، فرض بر این است که I تولیدکننده وجود دارد که هر یک P محصول در سطوح کیفیتی مختلف تولید می‌کنند و به J مرکز توزیع ارائه می‌دهند. مراکز توزیع نیز عملیات ارزش افزوده از جمله بسته‌بندی و ... بر محصولات در سه سطح کیفیت انجام داده جهت مشتری‌مداری و محصولات نهایی را بین C خرده‌فروش توزیع می‌کنند که باید با سیاست قیمت‌گذاری و تعیین سطح تقاضای خرده‌فروشها در هر دوره، بهترین برنامه تولیدی را برای پاسخگویی به سطح تقاضای تعیین شده خرده‌فروشان موجود، ارائه کرد. در این پژوهش علاوه بر تعیین قیمت فروش و سیاست تولیدی هر دوره از بین تولیدکنندگان و مراکز توزیع موجود، مؤثرترین آنها که سود کل را بیشینه می‌کنند، انتخاب می‌شوند. بنابراین در یک تصمیم‌گیری یکپارچه سودآورترین تولیدکنندگان و مراکز توزیع با توجه به هزینه‌ها و ظرفیت‌های تولید و توزیعشان انتخاب می‌شوند و قیمت فروش محصول به هر خرده‌فروش و به دنبال

آن، برآوردی از تقاضای هر خرده‌فروش که باید برآورده شود، تعیین می‌شود. همچنین سیاست تولید یا اندازه اقتصادی انباشته‌های تولیدی مشخص می‌شود. این تصمیم‌گیری در شکل عمومی بسیار پیچیده است.

تابع درآمد می‌تواند تابعی خطی یا مقعر از قیمت محصول در یک دوره باشد که در ساده‌ترین شکل به‌وسیله حاصلضرب قیمت در مقدار تقاضا نشان داده می‌شود که با توجه به تغییرات تقاضا نسبت به قیمت، تقعر تابع درآمد نیز حفظ می‌شود. فرض بر این است که هر کدام از خرده‌فروشان یک تقاضای اولیه و ثابتی دارند و باید تقاضای خرده‌فروشان در سطوح بهینه‌ای که سود را بیشینه می‌کند، برآورد شود و آن تقاضای برآورده شده خرده‌فروش تأمین گردد، به‌عبارت دیگر باید تقاضای خرده‌فروشان در سطوح بهینه‌ای که سود را بیشینه می‌کند، تأمین شود. هزینه‌های این مدل شامل هزینه‌های متغیر تولید که مبتنی بر سیاست اقتصاد در مقیاس است، هزینه‌های راه‌اندازی تولید در هر دوره از افق برنامه‌ریزی، هزینه‌های نگهداری همچون بیشتر مدل‌های برنامه‌ریزی تولید تابعی خطی از موجودی پایان هر دوره است، هزینه‌های ضایعات که به علت محصولات فاقد کیفیت بازگشتی ایجاد می‌شوند، هزینه‌های ایجاد هماهنگی و هزینه‌های لجستیکی ناشی از حمل و نقل و توزیع می‌باشند. همچنین این مدل با محدودیت ظرفیت تولید، نگهداری، توزیع و انتقال در افق برنامه‌ریزی مواجه است. درآمد زنجیره تأمین در این مدل عبارت از درآمد حاصل از فروش محصولات به خرده‌فروشان در دوره‌های مختلف است. در این مدل، کمبود مجاز نیست و سفارش عقب افتاده وجود ندارد.

در مدل مورد مطالعه در این پژهش، فرض شده است هر تولیدکننده چند محصول در سطوح کیفیت مختلف تولید می‌کند. این خصوصیت بنا به نظر عباسی و همکاران یکی از شاخص‌های انعطاف‌پذیری است که انعطاف‌پذیری تولید نامیده می‌شود [۱۷]. انعطاف‌پذیری یکی از مهم‌ترین مفاهیم و مشخصه‌های زنجیره تأمین چابک است. همچنین انعطاف‌پذیری زنجیره تأمین به طور گسترده به‌عنوان یک رویکرد برای مدیریت عدم اطمینان شناسایی شده است [۲۳؛ ۱۵]. در این مدل همچنان تقاضای خرده‌فروشان تابعی از قیمت است یا به عبارتی تقاضای محصول به قیمت محصولی که به خرده‌فروشان عرضه می‌شود، وابسته است. لذا قیمت در دوره‌های مختلف متفاوت است و در حقیقت این مدل یک مدل قیمت‌گذاری پویا است. تقاضای یک دوره

از افق برنامه‌ریزی مدل و موجودی‌ها از دوره‌های قبل برای برآوردن تقاضای آن دوره مشخص است و در این مدل، کمبود مجاز نیست. این تقاضای برآورده شده مدل به‌وسیله تولیدات آن دوره و محصولات ذخیره‌شده از دوره‌های قبل برآورده خواهد شد و در این مدل، کمبود مجاز نیست. محصولات در سطوح کیفیتی مختلف تولید می‌شوند تا تقاضای بازارهای مختلف را برآورده سازد.

فرض کنید هر C خرده‌فروش دارای توابع درآمد متفاوت و مشخصی از تقاضای برآورده شده آنها است. محصولات تولیدکنندگان در دوره‌های مختلف، سطوح تقاضای متفاوت دارند و این سطوح تقاضا به‌وسیله توابعی از قیمت فروش محصول مشخص می‌شوند. به‌علاوه، فرض بر این است که بازار تک انحصاری است و نوسان‌های تقاضا از قیمت‌های دیگر تولیدکنندگان تأثیر نمی‌پذیرد. توابع تقاضا توابعی مشتق‌پذیر و غیرافزایشی از قیمت هستند، به عبارتی، توابع درآمد خرده‌فروشان، توابعی مقعر و پیوسته از قیمت و در نتیجه از تقاضای برآورده شده خرده‌فروشان هستند. باید سودآورترین تولیدکنندگان و توزیع‌کنندگان با توجه به هزینه‌ها و یا به طور ضمنی با توجه به ظرفیت‌هایشان را انتخاب کرده و همزمان، سیاست تولید، توزیع و ذخیره‌سازی خود در افق برنامه‌ریزی را تعیین کنند.. با این تفاسیر، مسئله فوق را می‌توان به شکل زیر مدلسازی کرد.

۳-۱- پیش‌فرض‌های اصلی مسئله

- برای طراحی مدل برنامه‌ریزی تولید و عرضه در زنجیره تأمین چابک، یک زنجیره تأمین سه سطحی در نظر گرفته شده است که شامل تولیدکننده‌گان، توزیع‌کننده‌گان و خرده‌فروشان می‌باشد.

- مدل چند محصولی است که محصولات در سطوح کیفیتی مختلف برای بازارهای مختلف تواید می‌شوند؛

- ظرفیت تولیدکننده‌گان و توزیع‌کنندگان برای تولید و توزیع محدود است؛

- تقاضای هر خرده‌فروش به قیمت پیشنهادی زنجیره تأمین برای آن خرده‌فروش وابسته است؛

- چند خرده‌فروش با تقاضای قطعی و وابسته به قیمت زنجیره وجود دارد و توابعی کاهشی و پیوسته از قیمت هستند؛

- هدف انتخاب، مناسب‌ترین تولیدکنندگان و توزیع‌کنندگان می‌باشند. همچنین مدل برنامه‌ریزی توأم تولید و قیمت‌گذاری که به اصطلاح مدل برنامه‌ریزی توأم تقاضا و تولید نامیده می‌شود، ارائه شده است.

- تابع هدف ماکسیمم‌سازی سود می‌باشد؛

- زیرگرافی که به‌وسیله این مدل از گراف اصلی برای طراحی زنجیره تأمین انتخاب می‌شود، برای یک افق برنامه‌ریزی است و برای تمام دوره‌های آن افق برنامه‌ریزی یکسان می‌باشد؛

- هزینه‌های این مدل شامل هزینه‌های ثابت راه‌اندازی، تولید، هزینه‌های ارزش افزوده (مانند هزینه‌های بسته‌بندی، تبلیغات و ....)، هزینه‌های ضایعات، هزینه‌های ایجاد هماهنگی و هزینه‌های لجستیک است؛

- محصولات هر شرکت تولیدی دارای درصدی ضایعات است که این باعث ایجاد هزینه محصولات فاقد کیفیت برای زنجیره می‌شود، از این رو مدل به دنبال کم کردن این هزینه‌ها نیز می‌باشد؛

- هزینه‌های ایجاد هماهنگی 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 فروش، مقعر و غیرکاهشی فرض شده‌اند و تابع هزینه می‌تواند خطی باشد (همانند مسائل واقعی)؛

- نگهداری موجودی در پایان دوره‌ها هزینه‌بر است (تابع خطی)؛

- مدل برنامه‌ریزی تولید(اندازه اقتصادی انباشته)، توزیع، قیمت‌گذاری است.

با این فرضیه‌ها، طرح شبکه ارائه شده به شرح زیراست:

تعداد C خرده‌فروش وجود دارد که باید با سیاست قیمت‌گذاری و تعیین سطح تقاضای خرده‌فروشها در هر دوره، بهترین برنامه تولیدی را برای پاسخگویی به سطح تقاضای تعیین شده خرده‌فروشان موجود، ارائه کرد.

۳-۲- اندیس‌های به کار رفته در این مدل عبارتند از:

- محصولات تولید شده: $p \in P$

- شرکت تولیدکننده : iϵI
- مرکز توزیع: jϵJ
- خرده‌فروش: cϵC
- دوره زمانی: tϵ T
- سطوح کیفیت محصولات: .qϵQ

۳-۳- پارامترهای این مدل عبارتند از:

- FP_{pi}: هزینه ثابت راه‌اندازی شرکت تولیدی i جهت تولید محصول p ؛
- FD_j: هزینه ثابت راه‌اندازی مرکز توزیع j؛
- f_{ij}: هزینه ثابت ایجاد توافق بین شرکت تولیدی i و مرکز توزیع j؛
- f'_{jc}: هزینه ثابت ایجاد توافق بین مرکز توزیع j و خرده‌فروش c؛
- MC_{pqit}: هزینه تولید هر واحد محصول p با سطح کیفیت q در شرکت تولیدی i در دوره t؛
- MC_{pqjt}: هزینه ایجاد ارزش افزوده بر هر واحد محصول p با سطح کیفیت q در مرکز توزیع j در دوره t؛
- TR_{ijt}: هزینه انتقال از شرکت تولیدی i به مرکز توزیع j در دوره t؛
- WC_{jct}: هزینه توزیع محصول از مرکز توزیع j به خرده‌فروش(مشتری نهایی) c در دوره t؛
- S'_{pjt}: هزینه ذخیره‌سازی هر واحد محصول p در مرکز توزیع j در دوره t؛
- RC_{pqit}: هزینه ضایعات برای هر واحد محصول p در سطح کیفیت q؛
- W'_{pjt}: حداکثر ظرفیت ذخیره‌سازی (نگهداری) محصول p در انبار مرکز توزیع j در دوره t؛
- $\emptyset_{pqit}$: حداکثر ظرفیت تولیدی شرکت‌های تولیدی i برای تولید محصولات p با سطح کیفیت q در دوره t؛
- $\emptyset'_{pjt}$: حداکثر ظرفیت مرکز توزیع j برای محصول p در دوره t؛
- φ_{pit}: حداکثر ظرفیت انتقال شرکت تولیدی i برای انتقال محصول p به مراکز توزیع در دوره t؛

- φ'_{ijt}: حداکثر ظرفیت انتقال شرکت تولیدی i برای انتقال محصول به مرکز توزیع j در دوره t؛
- φ''_{jct}: حداکثر ظرفیت توزیع مرکز توزیع j برای توزیع محصول به خرده‌فروش(مشتری نهایی) c در دوره t؛
- β_{pqct}: ثابت مثبت (ضریب یا نرخ کاهش تقاضا با افزایش قیمت در دوره t)؛
- D°_{pqct}: تقاضای اولیه برای محصول p با سطح کیفیت q در خرده‌فروش c در دوره t؛
- δ_{pqit}: درصد ضایعات شرکت تولیدی i برای تولید محصول p .

۳-۴- متغیرهای تصمیم

متغیرهای تصمیم این مدل شامل دو دسته متغیر هستند:

۳-۴-۱- متغیرهای صفر و یک

انتخاب تولیدکنندگان و توزیع‌کنندگان:

- G_{pi} : در صورتی که شرکت تولیدی i موجود در ستون تولیدکنندگان برای تولید محصول p اختصاص یافته باشد مقدار یک می‌پذیرد، در غیر این صورت مقدار آن صفر است؛
- G'_j: در صورتی که مرکز توزیع j در ستون توزیع‌کنندگان عضو شبکه باشد مقدار یک می‌پذیرد، در غیر این صورت مقدار آن صفر است؛
- G_{ij}: در صورتی که توافقی بین شرکت تولیدی i و مرکز توزیع j جهت انتقال محصول صورت بگیرد و محصول منقل شود مقدار یک می‌پذیرد، در غیر این صورت مقدار آن صفر است ؛
- G'_{jc}: در صورتی که مرکز توزیع j محصولی به خرده‌فروش(مشتری زنجیره تأمین) c توزیع کند مقدار یک می‌پذیرد، در غیر این صورت مقدار آن صفر است.

۳-۴-۲- متغیرهای پیوسته غیر منفی

- P_{pqct}: قیمت فروش هر واحد محصول p با سطح کیفیت q به خرده فروش c در دوره t: P_{pqct} ها

- تقاضای برآورد شده خرده‌فروش c برای محصول p با سطح کیفیت q در دوره t (سطح بهینهٔ تقاضای هر خرده‌فروش در هر دوره): $D_{pqct}(P_{pqct})$ ها؛

- میزان تولید محصول p با سطح کیفیت q در شرکت تولیدی i در دوره t (اندازهٔ اقتصادی انباشته‌های تولیدی): A_{pqit} ها؛

- میزان محصول p با سطح کیفیت q ذخیره شده در مرکز توزیع j در دوره t (اندازهٔ اقتصادی نگهداری مراکز توزیع j): X'_{pjt} ها؛

- میزان محصول p با سطح کیفیت q که در دوره t از شرکت تولیدی i به مرکز توزیع j منقل می‌شود (اندازهٔ اقتصادی محصولات منتقل شده از تولیدکننده‌گان به توزیع‌کننده‌گان): Y_{pqijt} ها؛

- میزان محصول p با سطح کیفیت q که در دوره t از مرکز توزیع j به خرده‌فروش(مشتری نهایی) c توزیع می‌شود (اندازهٔ اقتصادی محصولات توزیع شده از توزیع‌کنندگان به خرده‌فروشان): Y'_{pqjct} ها؛

- درآمد کل زنجیره در افق برنامه‌ریزی تعیین شده: REV؛

- هزینه تولید زنجیره در افق برنامه‌ریزی تعیین شده: PC؛

- هزینه‌های حمل‌ونقل محصولات از شرکت‌های تولیدی i به مراکز توزیع j، هزینه‌های توزیع محصولات از مراکز توزیع j به خرده‌فروشان c و هزینه‌های ایجاد ارزش افزوده در مراکز توزیع j در افق برنامه‌ریزی تعیین شده: TCD؛

- هزینه‌های ذخیره‌سازی (نگهداری) زنجیره در افق برنامه‌ریزی تعیین شده: SC؛

- هزینه ضایعات TCD.

۳-۵- مدلسازی مسئله

$$Max\, Z = Revenue(REV) - Total\ cost(TC)$$

$$REV = \sum_{p\epsilon P}\sum_{q\epsilon Q}\sum_{c\epsilon C}\sum_{t\epsilon T} P_{pqct}\ .D_{pqct}\ (P_{pqct})$$

$$TC = PC + TCD + SC + \mathrm{TR}$$

Constraints:

1) $G_{ij} \leq \sum_{p\epsilon P} G_{pi}$ $\quad \forall\, i,j$
2) $G_{ij} \leq G'_j$ $\quad \forall\, i,j$
3) $\sum_{j\in J} G_{ij} \geq G_{pi}$ $\quad \forall i,p$
4) $\sum_{i\in I} G_{ij} \geq G'_j$ $\quad \forall j$
5) $G'_{jc} \leq G'_j$ $\quad \forall c,j$

6) $\sum_{c\in C} G'_{jc} \geq G'_j \quad \forall j$

7) $\sum_{j\in J} G'_{jc} \geq 1 \quad \forall c$

8) $A_{pqit} \leq \emptyset_{pqit} . G_{pi} \quad \forall p, \mathrm{q}, i, t$

9) $A_{pqit} = \left(\sum_{j\in J} Y_{pqijt}\right) \quad \forall p, q, i, t$

10) $\sum_{q\in Q}\sum_{i\in I} Y_{pqijt} \leq \emptyset'_{pjt} . G'_j \quad \forall p, j, t$

11) $\sum_{q\in Q}\sum_{j\in J} Y_{pqijt} \leq \varphi_{pit} . G_{pi} \quad \forall p, i, t$

12) $\sum_{p\in P}\sum_{q\in Q} Y_{pqijt} \leq \varphi'_{ijt} . G''_{ij} \quad \forall i, j, t$

13) $\sum_{p\in P}\sum_{q\in Q} Y'_{pqjct} \leq \varphi''_{jct} . G'''_{jc} \quad \forall j, c, t$

14) $D_{pqct}\left(P_{pqct}\right) = D^{\circ}_{pqct} - \beta_{pqct} . P_{pqct} \quad \forall p, q, c, t$

15) $D_{pqt} = \sum_{c\in C} D_{pqct}\left(P_{pqct}\right) \quad \forall p, q, t$

16) $X'_{pqjt} = X'_{pqj(t-1)} + \sum_{i\in I} Y_{pqijt} - \sum_{c\in C} Y'_{pqjct} \quad \forall p, q, \mathrm{j}, t$

17) $\sum_{q\in Q} X'_{pqjt} \leq W'_{pjt} . G'_j \quad \forall p, \mathrm{j}, t$

18) $\sum_{i\in I} A_{ipqt} + \sum_{j\in J} X'_{pqj(t-1)} \geq D_{pqt} \quad \forall p, q, t$

19) $\sum_{i\in I} Y_{pqijt} + X'_{pqj(t-1)} \geq \sum_{c\in C} Y'_{pqjct} \quad \forall p, q, j, t$

20) $\sum_{j\in J} Y'_{jpqct} = D_{pqct}\left(P_{pqct}\right) \quad \forall p, q, c, t$

21) $\sum_i \sum_j Y_{pqijt} + \sum_j X'_{pqj(t-1)} = \sum_j \sum_c Y'_{pqjct} + \sum_j X'_{pqjt} \quad \forall p, q, t$

22) $PC = \sum_{i\in I}\sum_{p\in P}\sum_{q\in Q}\sum_{t\in T} MC_{ipqt} . A_{ipqt} + \sum_{i\in I}\sum_{p\in P}\sum_{q\in Q} FP_{ip} . G_{ip}$

23) $sc = \sum_{p\in P}\sum_{j\in J}\sum_{t\in T} S'_{pjt} \sum_{q\in Q} X'_{pqjt}$

24) $TRC = \sum_p \sum_q \sum_i \sum_t TRC_{pqit} = \sum_p \sum_q \sum_i \sum_t \delta_{pqit} . A_{pqit} . RC_{pqit}$

25) $TCD =$
$\sum_{i\in I}\sum_{j\in J} \sum_{t\in T} TR_{ijt} . \sum_{p\in P}\sum_{q\in Q} Y_{ijpqt} +$
$\sum_{j\in J}\sum_{c\in C}\sum_{t\in T} WC_{jct} . \sum_{p\in P}\sum_{q\in Q} Y'_{jpqct} + \sum_{j\in J} FD_j . G'_j +$
$\sum_{p\in P}\sum_{q\in Q}\sum_{j\in J}\sum_{t\in T} MC_{pqjt} . \sum_{i\in I} Y_{pqijt} + \sum_{i\in I}\sum_{j\in J} f_{ij} . G''_{ij} +$
$\sum_{j\in J}\sum_{c\in C} f'_{jc} . G'''_{jc}$

۳-۶- محدودیت‌های مسئله

محدودیت‌های ۴-۱ تضمین می‌کند که توافق (هماهنگی) بین شرکت تولیدی i و مرکز توزیع j تنها زمانی می‌تواند صورت گیرد که هر دو شرکت تولیدی i و مرکز توزیع j انتخاب شده باشند یا به عبارتی عضو شبکه زنجیره تأمین باشند. محدودیت ۱ تضمین می‌کند زمانی بین شرکت تولیدی i و مرکز توزیع j توافقی صورت می‌گیرد که شرکت تولیدی i حداقل برای تولید یک محصول تولیدی انتخاب شده باشد و جزء شبکه باشد. همچنین محدودیت ۳ بیان می‌کند که اگر شرکت تولیدی i برای تولید محصول p انتخاب شده باشد، حداقل باید به یک مرکز توزیع j این محصول را منتقل کند. بدین ترتیب محدودیت ۴ بیان می‌کند اگر مرکز توزیع j انتخاب شده باشد، حداقل باید از یک شرکت تولیدی i محصول دریافت کند. محدودیت ۵ تضمین می‌کند زمانی

مرکز توزیع j می‌تواند به خرده‌فروش c محصول توزیع کند که انتخاب شده باشد و عضو زنجیره باشد. محدودیت ۶ تضمین می‌کند زمانی که مرکز توزیع j انتخاب شده باشد و عضو زنجیره باشد، حداقل باید به یک خرده‌فروش محصول مورد نظر را توزیع کند. محدودیت ۷ تضمین می‌کند خرده‌فروش c حداقل از یک مرکز توزیع j محصول دریافت می‌کند و حتما تقاضای آن برآورده می‌شود. محدودیت ۸ تضمین می‌کند که محصولات فقط می‌توانند در شرکت‌های تولیدی که انتخاب شده‌اند، تولید شوند و میزان تولید در شرکت تولیدی i تحت یک محدودیت ظرفیتی انجام می‌گیرد. از این رو هر مرکز تولیدی i یک ظرفیت تولیدی برای هر محصول در هر سطح کیفیت دارد. محدودیت ۹ نشان‌دهنده میزان محصول p با سطح کیفیت q منتقل شده از شرکت تولیدی i در دوره t است. این محدودیت تضمین می‌کند که کل محصول p با سطح کیفیت q تولید شده در شرکت تولیدی i باید به مراکز توزیع منتقل شوند. محدودیت ۱۰ تضمین می‌کند تنها مراکز توزیعی که انتخاب شده‌اند می‌توانند بر محصولات عملیات ارزش افزوده انجام دهند. همچنین محدودیت ۱۰ نشان می‌دهد میزان محصولاتی که در مرکز توزیع j بر روی آنها عملیات ارزش افزوده انجام می‌شوند یا به عبارتی میزان محصولاتی که به این مراکز توزیع منتقل می‌شوند تحت یک محدودیت ظرفیتی انجام می‌گیرند. از این رو هر مرکز تولیدی i یک ظرفیت تولید و هر مرکز توزیع j یک ظرفیت برای انجام عملیات ارزش افزوده بر محصولات یا پذیرش محصول را دارد. محدودیت ۱۱ نشان‌دهنده این است که هر مرکز تولیدی برای انتقال هر محصول p به توزیع‌کنندگان یک ظرفیت انتقال دارد که باید رعایت شود. محدودیت ۱۲ تضمین می‌کند که در صورت ایجاد توافق بین شرکت تولیدی i و مرکز توزیعj، میزان انتقال محصولات بین آنها تحت یک محدودیت ظرفیتی انجام می‌گیرد، به‌عبارتی میزان انتقال محصولات از هر تولیدکننده باید از ظرفیت انتقال آن کمتر باشد. محدودیت ۱۳ تضمین می‌کند که در صورت انتخاب مرکز توزیع j برای توزیع محصول به خرده‌فروش c میزان توزیع محصول تحت یک محدودیت ظرفیتی انجام می‌گیرد، به عبارتی میزان توزیع محصول از هر مرکز توزیع باید از ظرفیت توزیع‌ش به آن خرده‌فروش کمتر باشد. محدودیت ۱۴ برآورد میزان تقاضای خرده‌فروش c از محصول p با سطح کیفیت q و قیمت p در دوره t را نشان می‌دهد، به عبارت دیگر این محدودیت میزان تقاضایی را برآورد می‌کند که زنجیره باید

برآورده سازد تا به حداکثر سود دست پیدا کند. محدودیت ۱۵ نشان‌دهنده کل تقاضای خرده‌فروشان از محصول p با سطح کیفیت q در دوره t می‌باشد که باید برآورده شود. محدودیت ۱۶ نشان‌دهنده میزان محصول p با سطح کیفیت q ذخیره شده در مرکز توزیع j در دوره t است، که میزان محصول p با سطح کیفیت q ذخیره شده در مرکز توزیع j برابر حاصل جمع میزان محصولات منتقل شده به‌وسیله شرکت‌های تولیدی i به مرکز توزیعj در دوره t و میزان محصولات ذخیره از دوره قبل (t-1) منهای میزان محصولاتی است که به خرده‌فروشان c توزیع می‌شود است، این معادله در واقع معادله توازن برای محصولات ذخیره شده در مرکز توزیع j است. محدودیت ۱۷ محدودیت ذخیره‌سازی را نشان می‌دهد، به عبارتی میزان ذخیره‌سازی محصول باید از ظرفیت ذخیره‌سازی مرکز توزیعj کمتر باشد. محدودیت ۱۸ تضمین می‌کند که مجموع محصول p با سطح کیفیت q تولید شده در دوره t و میزان ذخیره‌سازی‌های این محصول از دوره‌های قبل باید از کل تقاضای خرده‌فروشان از محصول p با سطح کیفیت q بیشتر باشد. محدودیت ۱۹ تضمین می‌کند میزان محصول p با سطح کیفیت q منتقل شده به مرکز توزیع j و میزان محصول p با سطح کیفیت q ذخیره شده از دوره‌های قبل در این مرکز باید از میزان محصول توزیع شده از این مرکز بیشتر باشد. محدودیت ۲۰ نشان‌دهنده این است که میزان محصولاتی که از توزیع‌کنندگان به خرده‌فروش c منتقل می‌شود باید برابر با میزان تقاضای برآوردشده برای آن خرده‌فروش و محصول باشد. محدودیت ۲۱ بالانس توزیع و ذخیره‌سازی محصول p با سطح کیفیت q است. محدودیت۲۲ نشان‌دهنده هزینه تولید می‌باشد. محدودیت ۲۳ نشان‌دهنده معادله هزینه ذخیره‌سازی می‌باشد. محدودیت ۲۴ نشان‌دهنده معادله هزینه ضایعات می‌باشد. محدودیت ۲۵ نشان‌دهنده معادله هزینه‌های ترانزیت، هزینه‌های ثابت راه‌اندازی، هزینه‌های ایجاد هماهنگی و هزینه‌های ایجاد ارزش افزوده در مراکز توزیع است.

۴- پیچیدگی مسئله

لازم به ذکر است که با توجه به اینکه مدل ارائه شده شامل برنامه‌ریزی توأم تقاضا و تولید چند محصولی با ظرفیت محدود است و برنامه‌ریزی با ظرفیت محدود از نظر رده پیچیدگی ان پی- سخت (NP-hard)[۴] تلقی می‌شود [۲۳]، حال با توجه به اینکه

مسئله مطرح شده در این مقاله بسیار کلی‌تر از مسئله اندازه انباشته با ظرفیت محدود در حالت تک‌محصولی است و موضوع همزمان انتخاب تولیدکنندگان و توزیع‌کنندگان، قیمت‌گذاری و برنامه‌ریزی تولید است، در نتیجه این مسئله نیز پی – سخت (NP-hard) محسوب می‌شود و شامل تعداد بسیار زیادی متغیر و محدودیت است که از کارایی عملی آنها در حل مسائل با ابعاد واقعی می‌کاهد. این مدل شامل طراحی زنجیره تأمین و برنامه‌ریزی توأم تقاضا و تولید در حالت تقاضای وابسته به قیمت است که در حقیقت یک مسئله قیمت‌گذاری پویا نیز محسوب می‌شود.

۵- مثال عددی

در بخش‌های قبل، یک مدل توأم تصمیم‌گیری طراحی زنجیره تأمین چابک و برنامه‌ریزی تولید چند محصولی در حالت تقاضای وابسته به قیمت که در حقیقت یک مسئله قیمت‌گذاری پویا نیز محسوب می‌شود، با تابع هدف مقعر تعریف شد که به دلیل پیچیدگی آن، مسئله را در خانواده مسائل ان پی – سخت (NP-hard) قرار می‌دهد، همانند برخی از مطالعات صورت گرفته این پژوهش در صدد طراحی مدلی مبتنی بر ویژگی‌ها و شرایط چابکی زنجیره تأمین و یافتن جواب بهینه این مسئله است. در این راه مسئله در محیط GAMS که توانایی حل مسائل برنامه‌ریزی درجه دو را دارد و قادر به حل دقیق و بهینه مدل این پژوهش است، تولید و حل شده است. در این بخش نخست برای آزمون مدل ارائه شده در این پژوهش، آن را با داده‌هایی پیاده‌سازی و حل می‌شود. شبکه مورد بررسی دارای سه ستون می‌باشد که به‌ترتیب در ستون اول چهار تولیدکننده، در ستون دوم چهار توزیع‌کننده و در ستون سوم یک خرده‌فروش وجود دارد که دو نوع محصول در سه سطح کیفیت تولید می‌کنند و افق برنامه‌ریزی دو دوره است. داده‌ها به کار رفته در این مسئله تصادفی به صورت تصادفی و مبتنی بر توزیع یکنواخت در 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. لازم به ذکر است به دلیل رعایت اختصار از ارائه داده‌های بکار رفته جهت حل مدل صرفنظر شده است.

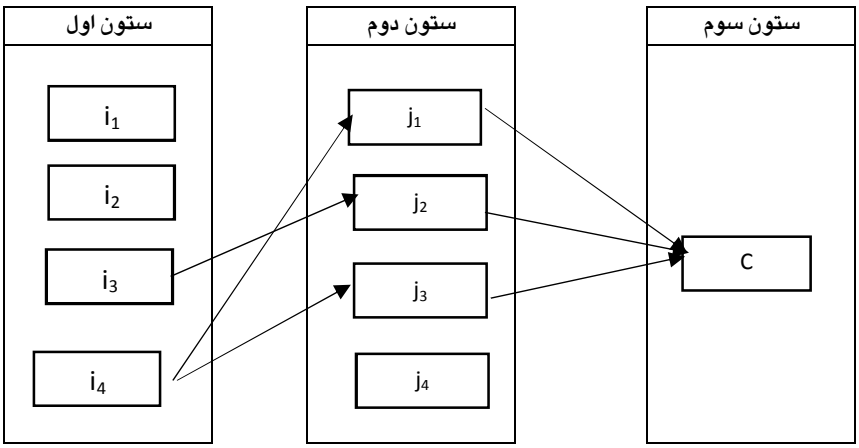
جدول ۱ داده‌های استفاده شده در مسائل

FP_{pi} :(۱۲۴۱،۲۶۲۸)	FD_j :(۵۶۰،۶۳۰)	f_{ij} :(۹۹۸،۱۳۴۲)	f'_{jc} :(۸۷۵،۹۹۵)
MC_{pqit} :(۲۵/۱۳ ،۴۸/۵۵)	MC_{pqjt} :(۶/۷۴ ،۹/۴۶)	TR_{ijt} :(۱۵،۱۹)	WC_{jct} :(۱۵،۲۱)
S'_{pjt} :(۷،۱۲)	δ_{pqit} :(۰/۲ ،۰/۶)	RC_{pqit} :(۱۰۰،۲۲۰)	$\emptyset_{pqit}$:(۱۱۲۳۵،۱۷۰۶۸)
$\emptyset'_{pjt}$:(۱۳۹۲۸،۲۱۳۴۵)	W'_{pjt} :(۱۸۹۹،۲۷۵۶)	φ'_{ijt} :(۵۲۱۲۶،۷۲۱۲۶)	φ_{pit} :(۵۲۱۲۶،۷۳۲۵۰)
φ''_{jct} :(۴۳۸۵۶،۶۵۸۵۹)	β_{pqct} :(۰/۵۱ ،۰/۹۸)	D°_{pqct} :(۱۵۱۲،۵۲۸۱)	

۵-۱- خروجی مدل

در هر تکرار حل مسئله، یک جواب بهینه برای مسئله به دست می‌آید که دارای دو نوع متغیر است: متغیرهای باینری و متغیرهای پیوسته. متغیرهای باینری برای طراحی شبکه زنجیره و انتخاب اعضای زنجیره و متغیرهای پیوسته برای برنامه‌ریزی تولید، توزیع، موجودی و همچنین متغیرهای قیمت و تابع هدف است. ساختار شبکه زنجیره تأمین نشان‌دهنده شرکت‌هایی است که در شبکه وجود دارند و ارتباط آنها با دیگر شرکت‌ها است. در هر بار تکرار با حل کردن مسئله به دست می‌آید.

با توجه به شکل ۱، از بین چهار تولیدکننده $i1$، $i2$، $i3$و$i4$دو تولیدکننده $i3$و$i4$ به‌ترتیب برای تولید محصولات A و B انتخاب شده‌اند و عضو شبکه خواهند بود، مقادیر G_{i3Bt}و G_{i4At} برابر ۱ خواهد بود. همچنین سه توزیع‌کننده$j1$، $j2$ و $j3$ از بین چهار توزیع‌کننده موجود انتخاب شده‌اند و عضو شبکه خواهند بود، مقادیر G'_{j1t}، G'_{j2t} و G'_{j3t} آنها برابر ۱ است. با توجه به شکل مقادیر G''_{i3j1t} و G''_{i3j2t} برابر ۱ است لذا بین تولیدکننده $i3$ و توزیع‌کننده‌گان $j1$ و $j2$ هماهنگی ایجاد می‌شود، به‌عبارت دیگر انتقال کالا بین آنها امکان‌پذیر است. و همچنین بین تولیدکننده $i4$ و توزیع‌کننده $j3$ هماهنگی صورت می‌گیرد و مقدار G''_{i4j3t} برابر ۱ است و انتقال کالا بین آنها امکانپذیر است. همان طور که این شکل نشان می‌دهد تقاضای خرده‌فروش توسط سه توزیع‌کننده$j1$ ، $j2$ و $j3$ تأمین می‌شود.



شکل ۱ زیر شبکه انتخاب شده.

نتایج جدول ۲ (نشان‌دهنده میزان محصول A تولید شده در دو سطح کیفیت ۱، ۲ و ۳ توسط تولیدکننده $i4$ است، همان طور که این جدول نشان می‌دهد محصول A در سطح کیفیت ۱ در هر دو دوره تولید می‌شوند اما این محصول در سطوح کیفیت ۲ و ۳ فقط در دوره اول تولید می‌شود. نتایج این جدول همچنین نشان‌دهنده میزان محصول B تولید شده در سه سطح کیفیت ۱، ۲ و ۳ به‌وسیله تولیدکننده $i3$ است، همان طور که این جدول نشان می‌دهد محصول B در سطوح کیفیت ۱ و ۳ در هر دو دوره تولید می‌شوند اما این محصول در سطح کیفیت ۲ فقط در دوره اول تولید می‌شوند.

نتایج جدول ۳ نشان‌دهنده، مقدار متغیر قیمت دو محصول A و B در سه سطح کیفیت ۱، ۲ و ۳ ارائه شده به خرده‌فروش است. این قیمت تعیین شده برای بیشینه کردن سود کل زنجیره است.

جدول ۴ نیز نشان‌دهنده مقدار تابع هدف و توابع هزینه است.

جدول ۲ میزان محصولات تولیدشده: ($\mathbf{A_{pqit}}$)

سطح کیفیت	محصول A		محصول B	
	تولیدکننده ۴		تولیدکننده ۳	
	دوره ۱	دوره ۲	دوره ۱	دوره ۲
۱	۲۰۰۵/۱۸۴	۲۰۲۸/۹۶۰	۷۶۶/۷۹۱	۲۰۲۹/۷۹۶
۲	۴۰۶۰/۴۳۴	۰	۲۲۱۲/۰۸۷	۰
۳	۲۴۵۶/۳۹۵	۰	۳۱۲۱/۱۵۸	۱۶۸۸/۹۱۱

جدول ۳ قیمت محصولات : P_{pqct}

	محصول A		محصول B	
	دوره ۱	دوره ۲	دوره ۱	دوره ۲
سطح کیفیت ۱	۲۳۸۷/۱۹۰	۲۸۲۴/۸۹۷	۳۱۷۴/۱۱۴	۳۱۷۴/۱۱۴
سطح کیفیت ۲	۳۵۵۴/۸۴۳	۲۵۳۹/۱۵۳	۲۱۰۸/۱۴۰	۱۵۹۰/۵۵۶
سطح کیفیت ۳	۱۲۷۳/۶۲۵	۳۱۲۸/۶۸۱	۴۴۷۰/۱۴۶	۳۱۳۵/۰۴۰

جدول ۴ مقدار تابع هدف

مقدار تابع هدف :Z	۵۵۸۳۶۷۰۰/۳۱۲۹
هزینه تولید :PC	۷۸۲۵۸۵/۱۸۳
هزینه ذخیره‌سازی: SC	۴۳۳۵۲/۷۳۱
هزینه ترانزیت، ایجاد هماهنگی، ارزش افزوده: TCD	۸۵۳۳۵۱/۷۲
هزینه محصولات بازگشتی (فاقد کیفیت) TRC	۱۱۴۳۴۳۰/۱۷۶

۶- بررسی محاسباتی مدل

در این بخش با مجموعه‌ای از مسائل ایجاد شده در ابعاد مختلف، مدل ارائه شده را اجرا و نتایج آن را بررسی می‌کنیم. مسائل ایجاد شده برای آزمون مدل، تصادفی هستند. این مسائل در محیط GAMS student- ver 24.1.3 که توانایی حل مسائل برنامه‌ریزی درجه دو و مسئله برنامه ریزی عدد صحیح مختلط (MIP)[5] را دارد، تولید شده و به‌وسیله رویه حل برنامه‌ریزی معادله درجه دوم آمیخته با اعداد صحیح این نرم‌افزار حل می‌شوند. از این رو مدل در نرم‌افزار GAMS با مسائل تصادفی تولید و اجرا شده است و نتایج حاصل از اجرا و جواب‌های بهینه تولید شده به‌وسیله این نرم‌افزار در جدول ۵ نشان داده شده است. این مدل قادر به حل مسائل با ابعاد بزرگ‌تر (دوره‌های بیشتر، محصولات و سطوح کیفیت متنوع‌تر و همچنین با شرکت‌کنندگان بیشتر زنجیره) می‌باشد.

برای آزمون مدل، افق‌های برنامه‌ریزی را از ۲ تا ۱۸ دوره متغیر انتخاب می‌کنیم. 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 به منظور سادگی در تولید مسائل تصادفی است. در تولید مسائل، ظرفیت‌های تولیدی، ظرفیت‌های مراکز توزیع، ظرفیت‌های توزیع شرکت‌های تولیدی و مراکز توزیع، ظرفیت‌های ذخیره‌سازی، هزینه‌های راه‌اندازی، هزینه‌های محصولات فاقد کیفیت، هزینه‌های ایجاد توافق و هماهنگی و هرینه‌های 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 در بازه‌های انتخاب می‌شوند این بازه‌ها در جدول ۱ ارائه شده است. در جدول ۵، تعداد دوره‌ها با T، تعداد محصولات با P، تعداد سطح کیفیت با Q، تعداد تولیدکنندگان با I، تعداد توزیع‌کنندگان با J، تعداد خرده‌فروشان با R و مقدار تابع هدف با OBJ ، هزینه ترانزیت TCD، هزینه ذخیره‌سازی با SC، هزینه تولید باPC ، هزینه محصولات بازگشتی با TRC و همچنین زمان اجرای حل‌کننده برای رسیدن به جواب با RUL نشان داده شده است.

جدول ۵ نتایج محاسبات GAMS

T	P	Q	I	J	R	مدل با محدودیت هزینه ضایعات					
						OBJ	TCD	SC	PC	TRC	RUL
۶	۱	۱	۲	۲	۱	۱/۹۷۴۴۳۶E+۷	۴۲۷۲۸۷/۷۳۱	۲۸۹۲۰/۱۶۲	۳۱۷۷۷۶/۲۰۹	۷۸۲۶۴۵/۸۱۶	۰/۰۷
۷	۲	۲	۲	۲	۱	۶/۶۴۹۱۴۳E+۷	۱۰۸۳۴۷۰/۰۸۱	۴۱۴۷۴/۵۲۰	۸۲۵۵۰۱/۴۲۲	۱۰۷۹۲۴۵/۹۳۷	۰/۳۲۸
۵	۳	۳	۳	۳	۳	۵/۷۰۴۶۷۰E+۸	۹۱۸۱۲۳۳/۳۰۰	۳۶۰۶۲۴/۲۶۲	۷۶۷۷۳۳۷/۶۹۱	۹۵۱۰۱۵۷/۲۹۰	۱۵/۸۱۸
۱۸	۳	۳	۳	۳		۱/۹۲۶۳۲۲E+۹	۳/۲۷۹۲۶۹E+۷	۱۷۴۷۸۴۱/۶۸۳	۲/۶۵۱۱۵۹E+۷	۳/۱۹۲۲۸۹E+۷	۳۶۲/۹۳۶
۲	۲	۲	۳	۳	۲	۶/۶۴۰۴۰۵E+۷	۱۱۲۵۹۳۵/۲۴۱	۷۲۱۰۵/۲۶۲	۸۴۴۹۶۵/۶۰۰	۳۱۶/۶۰۰	۲/۷۹۲
۲	۳	۳	۶	۴	۶	۱/۸۷۹۷۵۳E+۸	۳۰۷۷۱۸۴/۸۳۰	۷۶۱۰۵/۹۴۳	۲۶۶۶۹۹۴/۳۴۴	۳۷۱۰۲۵۵/۶۵۵	۱۹۲/۰۰۶
۲	۴	۳	۸	۶	۹	۶/۹۰۳۸۸۲E+۸	۱/۰۲۶۷۲۹E+۷	۱۴۲۰۰۷/۰۳۷	۸۳۵۳۷۱۴/۴۵۳	۱/۰۹۰۲۰۲E+۷	۹۳۳/۰۷۳
۲	۲	۳	۱۰	۱۲	۹	۳/۸۴۰۶۱۲E+۸	۶۱۷۱۰۶۸/۵۸۴	۱۳۲۰۰۷/۰۶۵	۵۱۶۱۵۸۰/۴۹۴	۷۶۰۹۸۲۹/۱۸۸	۱۵۸۷/۶۰۶

۷- تحلیل حساسیت مدل

برای بررسی روند تغییرات احتمالی جواب مدل پیشنهادی و میزان حساسیت آن به تغییرات عوامل اصلی، نخست مدل با داده‌هایی که در جدول ۱ ارائه شده است حل شده و سپس با تغییر داده‌ها و ورودی‌های مدل نتایجی به‌دست آمده است که در جدول ۶ ارائه شده است (لازم به ذکر است به دلیل رعایت اختصار از ارائه تمام جزئیات نتایج تحلیل حساسیت صرفنظر شده است):

- با افزایش، عامل ضریب یا نرخ کاهش تقاضا با افزایش قیمت (β_{pqct}) در یک دوره، میزان تقاضای برآورده شده $D_{pqct}(P_{pqct})$ که به‌وسیله این زنجیره باید تأمین شود، کاهش پیدا می‌کند همچنین هزینه کل و درآمد کل زنجیره کاهش می‌یابد در نتیجه سود کلی زنجیره نیز کاهش پیدا می‌کند.

- همچنین با افزایش عوامل هزینه‌های راه‌اندازی، انتقال، توزیع، تولید و ایجاد ارزش افزوده یک تولیدکننده و توزیع‌کننده در یک دوره به دلیل اقتصادی نبودن تولید جذابیت آنها کمتر شده و احتمال انتخاب آن تولیدکننده و توزیع‌کننده بسیار کاهش پیدا می‌کند، به‌عبارت دیگر با کاهش این هزینه‌ها، میزان مطلوبیت آن تولیدکننده و توزیع‌کننده و احتمال انتخاب آنها افزایش پیدا می‌کند.

- با افزایش عوامل هزینه‌های هماهنگی و لجستیک بین یک تولیدکننده و توزیع‌کننده در یک دوره احتمال ایجاد هماهنگی بین آن دو بسیار کاهش پیدا می‌کند، به‌عبارتی احتمال اینکه این تولیدکننده به توزیع‌کننده مذکور بتواند محصول منقل کند، کاهش پیدا می‌کند و برعکس.

- با تغییر عامل هزینه ایجاد هماهنگی بین یک توزیع‌کننده و خرده‌فروش در یک دوره احتمال ایجاد هماهنگی بین آن دو بسیار کاهش پیدا می کند، به عبارتی احتمال اینکه این توزیع‌کننده به خرده‌فروش مذکور بتواند محصول منقل کند، کاهش پیدا می‌کند و برعکس.

- با تغییر عامل ظرفیت تولید، متغیرهای مدل از جمله انتخاب تولیدکننده، میزان تولید، میزان انتقال در دوره‌های مختلف نیز تغییر می‌کند.

- با تغییر عامل میزان محصول ذخیره شده از دوره‌های قبل، متغیرهای مدل از جمله میزان تولید، میزان انتقال و توزیع، همچنین متغییرهای انتخاب تولید کننده و توزیع کننده نیز تغییر می‌کند.
- با تغییر تقاضای اولیه هر خرده‌فروش تقریباً تمام متغیرهای مدل تغییر می‌کند.

جدول ۶ نتایج تحلیل حساسیت مدل نسبت به ضریب یا نرخ کاهش تقاضا با افزایش قیمت

سناریو	(β_{pqct})	هزینه کل	درآمد	سود	کل تقاضای برآورد شده
۱	(β_{pqct})	۱۸۳۰۷۷۰/۲۶۲	۶/۴۸۴۰۲۸E+۷	۶/۳۰۰۹۵۰E+۷	۱۷۳۹۳/۱۴۹
۲	$\cdot/۱ +(\beta_{pqct})$	۱۸۲۱۰۹۲/۹۴۰	۴/۷۵۷۶۵۵E+۷	۴/۵۷۵۵۴۶E+۷	۱۷۳۰۰/۰۶۴
۳	$\cdot/۲+(\beta_{pqct})$	۱۸۱۱۴۱۵/۶۱۸	۳/۷۶۰۸۱۳E+۷	۳/۵۷۹۶۷۱E+۷	۱۷۲۰۶/۹۷۸
۴	$\cdot/۳+(\beta_{pqct})$	۱۸۰۱۷۳۸/۲۹۶	۳/۱۱۰۱۹۳E+۷	۲/۹۳۰۰۱۹E+۷	۱۷۱۱۳/۸۹۳
۵	$\cdot/۴+(\beta_{pqct})$	۱۷۹۲۰۶۰/۹۷۳	۲/۶۵۱۶۳۱E+۷	۲/۴۷۲۴۲۵E+۷	۱۷۰۲۰/۸۰۷
۶	$\cdot/۵+(\beta_{pqct})$	۱۷۸۲۳۸۳/۶۵۱	۲/۳۱۰۸۲۴E+۷	۲/۱۳۲۵۸۵E+۷	۱۶۹۲۷/۷۲۲
۷	$\cdot/۶+(\beta_{pqct})$	۱۷۷۲۷۰۶/۳۲۹	۲/۰۴۷۴۷۴E+۷	۱/۸۷۰۲۰۳E+۷	۱۶۸۳۴/۶۳۶

۸- نتیجه‌گیری و پیشنهادها

مدل مورد مطالعه در این پژوهش در شرایط خاص و مبتنی بر فرضیه‌های خاصی ایجاد شده است و این نیز ناشی از تنوع ساختارها و مدل‌های موجود یا قابل توسعه است. از طرفی، تقریباً تمامی مدل‌های قابل بررسی در این حوزه جهت طراحی زنجیره تأمین چابک برخی مفاهیم را اعمال نکرده‌اند از جمله بحث مدیریت تقاضا، قیمت‌گذاری و برنامه‌ریزی توأم اندازه انباشته تولید با ظرفیت محدود در طراحی زنجیره تأمین چابک به کار گرفته نشده است و نیاز به اعمال و ارائه مدل‌های مناسب در این حوزه وجود دارد، بنابراین هر مجموعه‌ای از فرضیه‌ها می‌تواند به روش تحلیل و حل متفاوتی منتج شود.

بررسی مدل مورد بحث و تحلیل‌های حاصل از آن به صورت نظری، مجموعه نتایج زیر را برای مدل مفروض در بر دارد:

-افزودن سطوح کیفیت متعدد و انعطاف‌پذیری تولید با در نظر گرفتن وابستگی تقاضا به قیمت (پویایی تقاضا) مفهوم چابکی در طراحی زنجیره تأمین را تبیین می‌کند.

– توسعه مدل طراحی شبکه تأمین با لحاظ کردن مفهوم چابکی در قالب سطوح کیفیتی و وابستگی تقاضا به قیمت شرایط بهینگی مدل را تغییر نمی‌دهد.

– تغییرات سیاست‌های تولید و توزیع با تغییر نرخ کاهش تقاضا با افزایش قیمت رفتار مناسبی از خود نشان می‌دهد.

– در مسئله مورد مطالعه میزان تقاضا نه به‌عنوان یک پیش فرض بلکه با توجه به نوسان‌های قیمت تعیین می‌شود.

– برای کنترل دقیق قیمت می‌توان در تعیین ضریب یا نرخ کاهش تقاضا نسبت به افزایش قیمت، یعنی $\beta_{pqc} > 0$ حساسیت و دقت بیشتری به کار برد که این مهم با بررسی قیمت‌ها و تقاضاهای دوره‌های مختلف و از این رو تعیین میزان تأثیر و حساسیت تقاضا نسبت به این قیمت‌ها عملی است.

هرچند با این رویکرد جدید نظری یا با استناد به فرضیه‌های مدل‌های مورد بررسی در این پژوهش و توسعه آنها، می‌توان پیشنهادهای متعددی از قبیل تنوع در ساختارهای هزینه‌ای، سیاست‌های قیمت‌گذاری، سیاست‌های انتخاب بازار، برای ادامه مسیر ارائه داد و البته هر یک دارای پیچیدگی‌ها و رفتارهای خاص خود است، اما شاید این نگاه چندان منطقی نباشد. بنابراین با مطالعه ادبیات و تاریخچه موضوع و نیم‌نگاهی به مدل واقعی و همچنین حل مدل مورد بحث، پیشنهادهای زیر می‌تواند مورد توجه قرار گیرد:

– اگرچه مسئله مورد مطالعه در این پژوهش متعلق به خانواده مسائل برنامه‌ریزی غیرخطی آمیخته است و جزء مسائل ان پی– سخت (NP-hard) محسوب می‌شود، اما با تکنیک‌های استاندارد و رایج می‌توان تابع درآمد را به‌وسیله یک تابع خطی قطعه‌بندی شده تقریب زد و تابع هدف را خطی کرد.

–ارائه الگوریتم‌های ساده مبتنی بر ویژگی‌های مدل پایه این پژوهش که جواب‌های حاصل از اجرای الگوریتم‌ها که مقدار بهینه مسئله تقریبی و ساده‌سازی‌شده را به دست می‌دهند، با جواب‌های بهینه حل این مسائل با نرم‌افزار GAMS یا سایر نرم‌افزارها مقایسه شوند.

۹- پی‌نوشت‌ها

1. Iacocca institute
2. Competitive Environment
3. Integrated Decision Making Models

4. Non-Deterministic Polynomial-Time Hard
5. Mixed Integer Programming

۱۰- منابع

[1] Basnet C., Leung J.M.Y. (2005) "Inventory lot-sizing with supplier selection"; *Computers and Operations Research*, 32 (1): 1 – 14.

[2] Costantino N., Dotoli M., Falagario M., Fanti M. P., Mangini A. M. (2012) "A model for supply management of agile manufacturing supply chains"; *International Journal of Production Economics*, 135(1): 451-457.

[3] Tandler S. M. (2013) *Supply chain safety management: Konzeption und gestaltungsempfehlungen für lean-agile supply chains*; Springer-Verlag.

[4] Tsiakis P., Papageorgiou L. G. (2008) "Optimal production allocation and distribution supply chain networks"; *International Journal of Production Economics*, 111(2): 468-483.

[5] Sohrabi B., Raeesi Vanani I. (2016) "Designing a recommender system for optimizing and managing bank facilities through the utilization of clustering and classification algorithms"; *Modern Researches in Decision Making*, 1(2): 53-76, (in Persian).

[6] Geunes J. (2007) "Integrated market selection and production planning: complexity and solution approaches"; *Joint Seminar with Operations Research*, November 30, 218 Daniels Hall.

[7] Geunes J., Romeijn H. E., Taaffe K. (2002) "Models for integrated production planning and order selection"; *Industrial Engineering Research Conference* (IERC), Orlando, May.

[8] Whitin T.(1955) "Inventory control and price theory"; *Management Sci*., 2: 61–68.

[9] Chan W.M., Ibrahim R.N., Lochert P.B. (2003) "A new EPQ model: Integrating lower pricing, rework and reject situations"; *Production Planning and Control*, 14 (7): 588-595.

[10] Li S.F., Tang J.F. (2004) "Joint decisions of order quantity and pricing based on supply chain cooperation"; *Proceedings of the 2004 Chinese Control and Decision Conference* (16thCDC), pp.752-755.

[11] Deng S., Yano C.A. (2006) "Joint production and pricing decisions with setup costs and capacity constraints"; *Management Science*, 52 (5): 741-756.

[12] Haugen K.K., Olstad A., Pettersen B.I. (2007) "The profit maximizing capacitated lot-size (PCLSP) problem"; *European Journal of Operational Research*, 176 (1): 165-176.

[13] Das K., Chowdhury A. H. (2012) "Designing a reverse logistics network for optimal collection, recovery and quality-based product-mix planning"; *International Journal of Production Economics*, 135(1): 209-221.

[14] Pan F., Nagi R. (2010) "Robust supply chain design under uncertain demand in agile manufacturing"; *Computers & Operations Research*, 37(4): 668-683.

[15] Pan F., Nagi R. (2013) "Multi-echelon supply chain network design in agile manufacturing"; *Omega*, 41(6): 969-983.

[16] Liaoa Z., Rittscherb J. (2007) "Integration of supplier selection, procurement lot sizing and carrier selection under dynamic emand conditions*"; Int. J. Production Economics*, 107: 502–510.

[17] Abbasi M., Hosnavi R., Babazadeh R. (2014) "Agile and flexible supply chain network design under uncertainty"; *International Journal of Industrial Engineering*, 21(4): 190-208.

[18] Soltani Tehrani M., Hassanpour H., Ramezani S. (2015) "Two-objective optimization model of costs and carbon dioxide in closed loop supply chain"; *Management Researches in Iran*, 19(1): 169-189, (in Persian).

[19] Jafarnejad A., Safari H., Azar A., Ebrahimi A. (2015) "Supply chain orders management based on both traditional and activity-based costing and their comparison"; *Management Researches in Iran*, 18(4): 23-42, (in Persian).

[20] Huang G., Liu L. (2006) "Supply chain decision-making and coordination under price-dependent demand"; *Journal of Systems Science and Systems Engineering*, 15 (3): 330-339.

[21] Feng Y., Xiao B. (2006) "Integration of pricing and capacity allocation for perishable products"; *European Journal of Operational Research*, 168 (1): 17-34.

[22] Amiri M., Pahlevani Ghomi M. (2016) "Presentation of a bi-level model for pricing and order planning in tri-echelon supply chain"; *Modern Researches in Decision Making*, 1(1): 27-53, (in Persian).

[23] Liu Z., Wang H. (2005) "GA-Based resource-constrained project scheduling with the objective of minimizing activities' Cost"; ICIC2005, Part I, LNCS 3644, pp. 937-946.