فصلنامه علمی – پژوهشی مطالعات مدیریت صنعتی – سال شانزدهم، شماره ۵۱، زمستان ۹۷
صفحات ۳۰۰-۲۶۵

ارائۀ مدل ریاضی دو هدفه مبتنی بر رویکرد برنامه‌ریزی استوار برای مسألۀ مکان‌یابی – موجودی با در نظرگرفتن قابلیت اطمینان پاسخگویی تقاضا و تخفیفات چند سطحی

بهزاد خانی* ، مهران خلج**، محمد رضا خلج***

تاریخ دریافت:۹۵/۸/۲۹ -تاریخ پذیرش:۹۵/۵/۱۵

چکیده

در این پژوهش مدلی ریاضی دو هدفه جهت بهینه‌سازی شبکه توزیع کالا در زنجیره تأمین سه سطحی مبتنی بر مدل‌های مکان‌یابی- موجودی با هدف مکان‌یابی مراکز توزیع توسعه داده می‌شود که در آن تخصیص مناسب مشتریان به‌منظور حداکثرسازی پوشش تقاضا، افزایش میزان فروش از طریق اعمال سیاست‌های تخفیف و در نهایت بهبود سامانه حمل‌ونقل کالا از طریق ارائه فروش بسته‌ای در مقایسه با فروش تکی انجام می‌گیرد. ازطرفی سیاست فروش بسته‌ای از طریق ایجاد سطح قیمتی مناسب جهت ارائه به مشتری، باعث افزایش میزان فروش و در نهایت افزایش حاشیه سود بنگاه‌ها می‌شود. در این تحقیق برای بالا بردن سطح اطمینان مشتری نسبت به تقاضا سعی کرده ایم در این مدل حداقل ۸۰درصد تقاضای مشتری پاسخ داده شود. که مدل حاضر سعی در بیشینه‌سازی آن دارد. جهت نزدیک تر شدن به مسائل دنیای واقعی نیز برخی پارامترها تحت شرایط عدم قطعیت در نظر گرفته شده‌اند و از تکنیک برنامه‌ریزی استوار برای حل آن استفاده شده است. در پایان جهت اعتبار سنجی مدل ارائه شده، مثالی مطابق با مسائل دنیای واقعی طراحی و توسط نرم‌افزار گمز حل و نتایج آن ارائه شده است.

واژگان کلیدی: مکانیابی موجودی، برنامه‌ریزی چندسطحی، سیاست‌های تخفیف ،برنامه‌ریزی استوار.

* کارشناس ارشد، گروه مهندسی صنایع، واحد رباط کریم، دانشگاه آزاد اسلامی ،رباط کریم، ایران
** استادیار، گروه مهندسی صنایع ، واحد رباط کریم ، دانشگاه آزاد اسلامی ، رباط کریم ، ایران (نویسنده مسئول)
mkhalaj@rkiau.ac.ir
*** استادیار گروه مهندسی صنایع واحد رباط کریم، دانشگاه آزاد اسلامی رباط کریم، ایران

Archive of SID
www.SID.ir

مقدمه

در شرایط کنونی جوامع تجاری امروز، رقابتی بودن بازارها، وجود محصولات متنوع و همچنین قیمت مناسب محصولات در عین داشتن کیفیت مطلوب، ایجاب می‌کند که محصولات در مقدار، زمان و قیمت مناسب جهت تأمین نیازهای مشتریان عرضه شوند، که این خود ضرورت ایجاد هماهنگی میان تأمین‌کنندگان، تولیدکنندگان و توزیع‌کنندگان را در قالب زنجیره توزیع کالا نشان می‌دهد. از طرفی نیز جذب مشتریان جهت افزایش میزان فروش به منظور بیشینه‌سازی حاشیه سود بنگاه‌های ارائه دهنده خدمات، باعث شده نیاز به طراحی مدل‌های بهینه‌سازی با هدف رفع مشکلات زنجیره‌های تجاری دو چندان شود. در یک تعریف جامع زنجیره تأمین شامل همه بخش‌هایی است که به صورت مستقیم یا غیر مستقیم در برآورده ساختن تقاضای مشتریان دخالت دارند(چوپرا و میندل ،۲۰۰۷).. بنابراین این زنجیره تنها شامل تأمین‌کنندگان و تولیدکنندگان نیست بلکه انبارها، خرده‌فروشان، سیستم حمل‌ونقل و حتی خود مشتریان را نیز در بر می‌گیرد. هدف زنجیره تأمین، افزایش سودآوری از طریق کاهش هزینه‌ها و افزایش سطح خدمت‌دهی می‌باشد(چوپرا و میندل ،۲۰۰۷). در یک زنجیرهٔ تأمین عملیات توزیع کالا عبارت از تمامی گام‌های مورد نیاز به‌منظور جابجایی، نگهداری و حمل محصول از تأمین‌کننده تا مشتری نهایی است. شبکهٔ توزیع به‌عنوان یکی از عوامل اصلی ایجاد هزینه، عملکرد زنجیره را تحت تأثیر قرار می‌دهد. بنابراین می‌توان گفت که طراحی شبکه‌ی توزیع مناسب و یکپارچه می‌تواند دستیابی به اهداف متعالی زنجیره‌های تأمین را تسهیل نماید. به‌طورکلی طراحی شبکه توزیع از سه مسأله مکان‌یابی– تخصیص، مسیر یابی وسیله نقلیه و کنترل موجودی تشکیل شده است که بیشتر تحقیقات انجام شده بر روی اجتماع دو حوزه از این سه حوزه تمرکز کرده‌اند و بیشتر از سایر بخش‌ها به مسائل مکان‌یابی– مسیریابی[1]، موجودی – مسیریابی[2] و مکان‌یابی – موجودی[3] توجه شده است (شن و همکاران،۲۰۰۶). مسأله مکان‌یابی تسهیلات از دسته پرکاربردترین حوزه‌های تحقیق در

1. Location– Routing problem
2. Inventory- Routing problem
3. Location-Inventory problem

Archive of SID

www.SID.ir

عملیات به شمار می‌رود که با طراحی مدل‌های ریاضی در پی یافتن راه‌حل بهینه برای تعیین مکان استقرار تسهیل یا تسهیلات است به‌گونه‌ای که هزینه‌های سیستم کمینه گردد. از طرفی هدف از شکل‌گیری مسأله کنترل موجودی، دستیابی به سطوح مناسبی از سفارش محصولات یا موادی است که یک تجارت به آن‌ها نیاز دارد. یکی از مهم‌ترین موضوعاتی که علم مدیریت و کنترل موجودی به دنبال یافتن پاسخ آن است، میزان سفارش اقتصادی محصولات است به‌طوری‌که انحراف از آن، باعث افزایش هزینه‌های سازمان می‌شود. تصمیمات مکان‌یابی تسهیلات و مدیریت موجودی به یکدیگر وابسته هستند به‌گونه‌ای که تغییر در مکان یا تعداد انبارها می‌تواند بر زمان تدارک و هزینه‌های وابسته به موجودی تاثیرگذار باشد. از طرف دیگر تغییر در سیاست‌های موجودی می‌تواند هزینه‌های وابسته به مکان‌یابی را تحت تاثیر قرار دهد. بنابراین اتخاذ تصمیمات مرتبط با مکان‌یابی تسهیلات و مدیریت موجودی به صورت همزمان می‌تواند راهکاری مناسب جهت کاهش هزینه‌های سیستم باشد. در مسائل مکان‌یابی- موجودی، تعداد و مکان مراکز توزیع فعال، نحوهٔ تخصیص مشتریان به مراکز و در نهایت میزان سفارشات با هدف حداقل نمودن هزینه‌های سیستم تعیین می‌شود. برای مثال بسیاری از کارخانجات با مسأله تعیین تعداد مراکز توزیع‌کننده محصولات، محل احداث آن‌ها و تخصیص مشتریان مواجه هستند. این تصمیمات جهت رسیدن به سطح قابل قبولی از خدمت‌دهی اخذ می‌شود به‌نحوی‌که اهدافی نظیر کمینه نمودن هزینه‌های مراکز توزیع، هزینه‌های نگهداری موجودی در مراکز ، هزینه‌های حمل‌ونقل بین کارخانه‌ها و مراکز توزیع و هزینه‌های حمل‌و نقل بین مراکز توزیع و مشتریان را محقق کند. در اکثر مسائل مکان یابی – موجودی، حداکثرسازی سود حاصل از فروش محصولات تنها از طریق کاهش هزینه‌ها صورت گرفته است و تحقیقات اندکی بر روی اعمال تخفیفات جهت افزایش سودآوری متمرکز شده‌اند. به عنوان مثال(شن و همکاران،۲۰۰۶) و (شوتل و همکاران،۲۰۱۲) مسأله مکان‌یابی- موجودی و حداکثرکردن سود را با انعطاف‌پذیر کردن تقاضای مشتریان در نظر گرفته‌اند. در این پژوهش مدل مکان‌یابی- موجودی با اعمال سیاست تفکیک‌کردن محصولات به دو صورت فروش تکی و بسته‌ای و اعمال نرخ‌های متفاوت تحت عنوان سطوح تخفیف مورد توجه قرار گرفته‌است. به منظور نزدیکتر شدن مساله به مسائل دنیای واقعی،

Archive of SID

www.SID.ir

برخی از پارامترهای مساله تحت شرایط عدم قطعیت در نظر گرفته شده است که به منظور حل آن از تکنیک برنامه‌ریزی استوار استفاده می‌گردد.

مرور ادبیات

یکی از مفاهیم مهم چند دهه اخیر، فلسفه مدیریت زنجیره تأمین است. مهمترین علت توجه به این موضوع افزایش روزافزون رقابت پذیری و تلاش برای بقاء در سازمانهاست. این موضوع در دهه‌های اخیر سبب شده تا با مدیریت فرآیندهای تأمین، تولید، و توزیع به سوی هدف رقابتی سازمان گام برداشته شود.(عادل آذر و همکاران،۱۳۹۵).زنجیره‌های تامین کنونی در محیطی فعالیت میکنند که همواره به دنبال بهبود و کاهش هزینه‌ها و استفاده از راهکارها و راهبردهایی در این جهت هستند(. آقایی و همکاران ۱۳۹۳). از آنجائیکه اعضای زنجیره تامین اغلب سازمانهای مجزا و بنگاههای اقتصادی مستقل هستند، با وجود منافع موجود در تصمیم گیری یکپارچه در عمل تمایلی به پیروی از تصمیمات اتخاذ شده برای کل اعضا را نداشته و تلاش می‌کنند اهداف خود را به جای هدف کل سیستم بهینه نمایند(طاهری و همکاران ، ۱۳۹۵). تاکنون تحقیقات متعددی در زمینه برنامه‌ریزی، زمان‌بندی تولید و یا طراحی شبکه زنجیره تأمین ارائه شده است. به همین منظور برخی از جدیدترین تحقیقات صورت گرفته در سال‌های اخیر گزارش شده است.

گنونی و همکاران[1] به بررسی برنامه‌ریزی تولید در سیستم‌های تولید چند مکانی پرداختند(گنونی و همکاران،۲۰۰۳). در تحقیق آن‌ها فرض می‌شود که برای برخی از قطعات نیمه ساخته تقاضای خارجی وجود داشته باشد که تقاضای آن‌ها نیز به صورت احتمالی است. این اقلام نیمه ساخته می‌توانند در کارخانه‌های مختلفی در زنجیره تأمین تکمیل شوند. همچنین برای تولید محصولات اصلی و اقلام نیمه ساخته ممکن است مقداری مواد اولیه و نیمه ساخته نیز از بیرون زنجیره تأمین مورد بررسی خریداری شوند. آن‌ها برای حل مساله از ترکیب مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی عدد صحیح مختلط و شبیه‌سازی استفاده کردند. در

1 *Gnoni et al.*

Archive of SID

www.SID.ir

نهایت آن‌ها سعی نمودند از مزایای هر دوی این مدل‌ها در برخورد با این مساله استفاده کنند.
ریو و دوا و پیسترکوپولوس[1] به بررسی برنامه‌ریزی زنجیره تأمین با استفاده از برنامه‌ریزی دومرحله‌ای پرداختند(ریو و دوا و پیسترکوپولوس[2]، ۲۰۰۴). در مساله آن‌ها فرض شده است که زنجیره تأمین شامل دو مرحله تولید و توزیع می‌شود. فرض می‌شود کارخانه‌ها ممکن است دارای منابع مشترکی باشند. در مرحله توزیع نیز هر یک از توزیع‌کنندگان دارای ظرفیت مربوط به خود در نگهداری موجودی است. هدف تعیین سطح تولید در کارخانه‌ها و سطح موجودی در توزیع‌کنندگان است، به طوری که هزینه‌های تولید، حمل به توزیع‌کنندگان برای شرکت‌های سازنده و هزینه‌های انبارداری و حمل به بازار برای توزیع‌کنندگان کمینه گردد. آن‌ها برای حل این مساله از برنامه‌ریزی دوسطحی استفاده کردند.
بردستوم و همکاران[3] به بررسی زمان‌بندی تولید و توزیع در زنجیره تأمین مربوط به کارخانه‌های تولید خمیرکاغذ در کشور سوئد پرداختند (بردستوم و همکاران،۲۰۰۴). آن‌ها برای حل مساله دو مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط ارائه دادند که یکی از آن‌ها از تکنیک تولید ستون از الگوریتم حل مساله کوتاه‌ترین مسیر برای حل مساله استفاده می‌کند. در این تحقیق به برنامه‌ریزی تولید پرداخته‌شده است و به زمان‌بندی روی ماشین‌آلات توجهی نشده است.مدل‌های مربوط به برنامه‌ریزی عملیاتی در زنجیره تأمین با ظرفیت محدودیت با تمرکز روی محیط‌های تولیدی توسعه یافته اند (اسپیتر و همکاران[4]، ۲۰۰۵) . هدف هماهنگی بین منابع و مواد در زنجیره تأمین به منظور ارضا نیازهای مشتریان با کمترین هزینه‌ی ممکن است. در مساله مورد بررسی توسط آن‌ها تقاضاهای محصولات نهایی قطعی فرض شده است. به منظور حل مساله از مدل‌های برنامه‌ریزی خطی با استفاده از زمان‌های تدارک و فرض تخصیص اقلام به چند منبع استفاده‌شده است. استفاده از زمان‌های تدارک قابلیت اطمینان ارتباط بین برنامه‌ریزی و زمان‌بندی را با توجه به موجه بودن برنامه‌ریزی افزایش می‌دهد. آن‌ها

1. Ryu, J.-H., V. Dua, and E.N. Pistikopoulos
2. Ryu, J.-H., V. Dua, and E.N. Pistikopoulos
3. Bredström et *al.*
4. Spitter et al.

Archive of SID

www.SID.ir

دو روش برنامه‌ریزی خطی برای حل مساله باهدف کمینه‌سازی مجموع هزینه‌های موجودی و هزینه‌های مرتبط با سفارش‌های معوقه ارائه نمودند.

شن[1] مساله طراحی زنجیره تأمین چند کالایی با هدف تعیین مکان تسهیلات و چگونگی تخصیص مشتریان به تسهیلات به طوری که کل هزینه‌ها کمینه شود را مورد ملاحظه قرار داد (شن ،۲۰۰۵).. او در این پژوهش نشان داد که این مساله می‌تواند به صورت یک مساله عدد صحیح غیرخطی فرمول‌بندی شود. علاوه بر این نیز یک الگوریتم راه‌حل آزادسازی لاگرانژی برای حل مساله معرفی نمود.

سلوارجا و استیز[2] به بررسی زمان‌بندی دسته‌ای در زنجیره تأمین از دیدگاه تأمین‌کنندگان پرداختند(سلوارجا و استیز ،۲۰۰۶). در این مساله تأمین‌کننده باید چند محصول را با حجم زیادی تولید کند و آن‌ها را به صورت دسته‌هایی به مشتریان تحویل بدهد. به ازای هر تحویل یک هزینه‌ی تحویل وجود دارد. تابع هدف کمینه کردن جمع هزینه‌های نگهداری موجودی و تحویل کالا است. اگر تولید از یک محصول به محصول دیگر تغییر پیدا کند، یک آماده‌سازی نیاز است. فرض بر این است که سفارش مشتریان مختلف در دسته‌های مختلفی به آن‌ها تحویل داده می‌شود. هدف تعیین اندازه دسته‌های محصولات برای مشتریان و زمان تکمیل هر دسته از محصولات برای مشتری مورد نظر است، به طوریکه مجموع هزینه‌های نگهداری و تحویل دادن سفارش‌های کمینه گردد. آن‌ها برای حالتی که تنها یک تأمین‌کننده و چند مشتری وجود دارد، یک الگوریتم با پیچیدگی چندجمله‌ای که جواب بهینه را می‌دهد، ارائه دادند. در این تحقیق به تأمین‌کنندگان داخل زنجیره توجهی نشده است و تنها به رابطه بین شرکت سازنده و مشتریان پرداخته شده است.

لجیون به بررسی برنامه‌ریزی تولید و توزیع در زنجیره تأمین پرداخته است. در تحقیق وی فرض شده است که یک زنجیره تأمین با سه مرحله وجود دارد (لجیون ،۲۰۰۶). مرحله اول شامل تأمین‌کننده می‌شود. مرحله دوم شامل شرکت‌های سازنده و مرحله سوم شامل توزیع‌کنندگان می‌باشد. هدف بهینه کردن سطح موجودی، سطح تولید و سطح توزیع در

1. Shen
2. Selvarajah & Steiner

Archive of SID

www.SID.ir

بازه‌های زمانی مختلف است. حمل‌کننده‌هایی که دارای سرعت، ظرفیت و زمان در دسترسی متفاوتی هستند وجود دارند. هدف ارائه یک برنامه کنترل موجودی، تولید و توزیع به منظور کمینه کردن هزینه‌های زنجیره و ارضا تقاضای مشتریان است. آن‌ها پس از مدل‌سازی مساله به صورت برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط یک الگوریتم بر مبنای جستجوی همسایگی که به صورت جستجوی مرحله‌ای عمل می‌کند ارائه دادند. تحقیق آن‌ها به صورت کلان به برنامه‌ریزی تولید می‌پردازد و به زمان‌بندی ماشین‌آلات توجهی ندارد.

آرکا و پرادو[1] به بررسی برنامه‌ریزی تولید و توزیع با وسایل نقلیه همگن و عدم مجاز بودن وقفه در تحویل به مشتریان به منظور بیشینه‌سازی سود پرداختند و پس از ارائه مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط برای مساله حالتی از مساله را که در آن ظرفیت تولید بی‌نهایت است را مورد بررسی قرار داده و بر اساس آن الگوریتم ابتکاری را برای حالت کلی ارائه نمودند (آرکا و پرادو[2] ۲۰۰۸).

اسچووتز و همکاران[3] به معرفی مساله طراحی زنجیره تأمین مدل شده به صورت توالی از فرآیندهای ترکیبی و جدا شده پرداختند(اسچووتز و توماسگارد و احمد، همکاران[4] ۲۰۰۹). آن‌ها مساله را به صورت یک مساله دو مرحله‌ایی تصادفی فرمول‌بندی کردند. در مرحله اول تصمیمات استراتژیک مکانیابی اتخاذ می‌گردد، در حالی که مرحله دوم شامل تصمیمات عملیاتی است. هدف کمینه‌سازی مجموع هزینه‌های سرمایه‌گذاری و هزینه‌های عملیاتی مورد انتظار زنجیره تأمین است. به طور ویژه مدل بر اهمیت انعطاف‌پذیری عملیات در هنگام اتخاذ تصمیمات استراتژیک تاکید دارد، به همین منظور عدم‌قطعیت در کوتاه مدت به صورت بلند مدت در نظر گرفته شده است.

بشیری و بدری[5] به ارائه یک مدل برنامه‌ریزی مختلط عدد صحیح خطی پویا برای طراحی و برنامه‌ریزی زنجیره تأمین چند سطحی و چند محصولی پرداختند. هدف از پژوهش آن‌ها

1. *Arca & Prado*
2. *Arca & Prado*
3. *Schütz, P., A. Tomasgard, and S. Ahmed*
4. *Schütz, P., A. Tomasgard, and S. Ahmed*
5. *Bashiri & Badri*

Archive of SID

www.SID.ir

گسترش زنجیره تأمین از منظر استراتژیک بوده است(بشیری و بدری[1]، ۲۰۱۰).آن‌ها تعدادی نقاط بالقوه برای ایجاد واحدهای تولیدی و انبارها (خصوصی و عمومی) در طول افق برنامه‌ریزی در نظر گرفتند. توسعه زنجیره تأمین طراحی شده با توجه به درآمد خالص تجمعی از دوره اول برنامه‌ریزی شده است. هدف از این مدل انتخاب تأمین‌کننده، تعیین مقدار هر یک از مواد خام اولیه توسط تأمین‌کننده، مقدار هر محصول که در هر واحد تولیدی ساخته می‌شود، مقدار هر محصول که به هر انبار فرستاده می‌گردد، مقدار هر محصول که به هر بازار ارسال می‌شود و سایر تصمیمات استراتژیک و تاکتیکی به منظور بیشینه‌سازی سود خالص زنجیره تأمین است.

پیشوایی وهمکاران به ارائه یک مدل بهینه‌سازی استوار برای بررسی عدم‌قطعیت ذاتی در داده‌های ورودی مساله طراحی زنجیره تأمین حلقه بسته پرداختند(پیشوایی و ربانی و ترابی[2]، ۲۰۱۱). در ابتدا آن‌ها یک مدل قطعی برنامه‌ریزی مختلط عدد صحیح خطی برای طراحی شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته را توسعه دادند. سپس همتای استوار مدل از طریق به کارگیری تئوری بهینه‌سازی استوار ارائه شده و در نهایت استواری راه‌حل‌های نتیجه شده از مدل بهینه‌سازی استوار و راه‌حل‌های مدل قطعی برنامه‌ریزی مختلط عدد صحیح خطی در مسائل مختلف مورد مقایسه قرار می‌گیرند.

سجادی و داوودپور[3] به بررسی مساله طراحی زنجیره تأمین دو سطحی در شرایط قطعی، تک دوره‌ای، و چند کالایی پرداختند(سجادی و داوودپور[4]، ۲۰۱۲). این مساله شامل هر دو سطح استراتژیک و تاکتیکی برنامه‌ریزی زنجیره تأمین از جمله مکانی‌یابی و سایزبندی کارخانه‌های تولیدی و انبارهای توزیع، اختصاص خرده‌فروشان به انبارها، انبارها به کارخانه‌ها و همچنین انتخاب مدهای حمل‌ونقل می‌باشد. در نهایت آن‌ها مساله را به صورت یک مدل برنامه‌ریزی مختلط عدد صحیح فرمول‌بندی کرده به طوری که هدف کمینه‌سازی هزینه‌های کل شبکه از

1. Bashiri & Badri
2. Pishvaee, M.S., M. Rabbani, and S.A. Torabi
3. Sadjady & Davoudpour
4. Sadjady & Davoudpour

Archive of SID

www.SID.ir

قبیل حمل‌ونقل، زمان تدارک، هزینه‌های نگهداری موجودی، و همچنین هزینه‌های راه‌انـدازی و عملیاتی تسهیلات می‌باشد.

شانکار و همکاران به ارائه یک مساله بهینه‌سازی چندهدفه برای زنجیره تأمین تک کالایی چهار سطحی متشکل از تأمین‌کنندگان، کارخانه‌های تولید، مراکز توزیع و مناطق مشتری پرداختند(شانکار و همکاران ،۲۰۱۳). از جمله تصمیم‌گیری‌های کلیدی در نظر گرفته شده در این پژوهش شامل: تعداد و مکان کارخانه‌ها در سیستم، جریان مواد خام از تأمین‌کنندگان به کارخانه‌ها، مقدار محصولات فرستاده شده از کارخانه‌ها به مراکز توزیع و از مراکز توزیع به مناطق مشتری می‌باشد. به طوری که هدف کمینه‌سازی هزینه‌های حمل و مکانیابی تسهیلات و برآورده شدن حداکثر تقاضای مشتریان است. در نهایت نیز آن‌ها از الگوریتم چندهدفه ترکیبی بهینه‌سازی ازدحام ذرات برای حل مساله استفاده نمودند.

وو و ژانگ[1] به مطالعه مساله طراحی شبکه زنجیره تأمین متشکل از یک منبع خارجی، مجموعه مراکز توزیع بالقوه، و مجموعه خرده‌فروشی‌ها تحت شرایط عدم‌قطعیت در تقاضا برای محصولات چندگانه پرداختند(وو و ژانگ[2] ،۲۰۱۴). آن‌ها فرض کردند تقاضای هر خرده‌فروش برای همه کالاها توسط یک مرکز توزیع برآورده می‌گردد. هدف کمینه‌سازی هزینه‌های سیستم از قبیل مکان‌یابی، حمل‌ونقل و موجودی است. آن‌ها یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح غیرخطی برای مساله ارائه نمودند. علاوه بر این نیز یک رویکرد برش صفحه مبتنی بر نابرابری ریاضی استفاده کردند. در نهایت نتایج محاسباتی نشان می‌دهد که الگوریتم ارائه شده قابل حل برای سایز متوسطی از مساله می‌باشد.

فتاحی و همکاران[3] به بررسی یک مساله جدید در طراحی و برنامه‌ریزی شبکه زنجیره تأمین چند سطحی و چند کالایی در یک افق چند دوره‌ایی پرداختند به طوری که مناطق مشتری دارای تقاضاهای وابسته به قیمت هستند(فتاحی و همکاران[4] ،۲۰۱۵).در این پژوهش براساس روابط تقاضا-قیمت، یک رویکرد کلی به منظور دستیابی به سطوح قیمت کالا ارائه شده و

1. Wu & Zhang
2. Wu & Zhang
3. Fattahi at el
4. Fattahi at el

Archive of SID

www.SID.ir

سپس یک مدل برنامه‌ریزی مختلط عدد صحیح خطی توسعه یافته است. در نهایت نیز با توجه به مساله یک الگوریتم شبیه‌سازی تبرید با به کارگیری روش‌های توسعه یافته ابتکاری مبتنی بر آزادسازی برای برنامه‌ریزی ظرفیت و قیمت‌گذاری ارائه شده است.

از جمله پژوهش‌های مهم فارسی مورد بررسی قرار گرفته در حوزه زنجیره تأمین می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

صادقی و همکاران در تحقیق خود پس از بررسی مدل‌های گوناگون ارائه شده در خصوص جریان مواد در زنجیره تأمین، با رویکردی یکپارچه به مدل‌سازی جریان مواد در طول زنجیره تأمین در بخش‌های تأمین، تولید توزیع در کارخانه کاچیران پرداختند(صادقی و همکاران ،۱۳۸۸). در این تحقیق پس از حل مدل با الگوریتم ژنتیک بهترین جواب رضایت‌بخش که کمترین میزان هزینه را دارا می‌باشد انتخاب کردند. سپس جهت اعتبارسنجی، مدل ارائه شده با میزان واقعی متغیرها در بازه زمانی مورد مطالعه مقایسه گردیده که نتایج حاکی از کاهش هزینه در مدل ارائه شده می‌باشد.

خدابنده و همکاران یک مساله یکپارچه‌سازی تولید و توزیع با هدف کمینه‌سازی مجموع وزنی تعداد کارهای تأخیری و هزینه‌های حمل‌ونقل با در نظر گرفتن مسیریابی در زنجیره تأمین، مورد بررسی قرار دادند (خدابنده و همکاران ،۱۳۹۲). در این مساله تعدادی مشتری و یک تسهیل تولیدی وجود دارد که در آن کارها پس از پردازش در سیستم تولیدی، به صورت مسیریابی و در قالب دسته‌هایی برای مشتریان ارسال می‌شود. ارسال دسته‌ای معمولاً منجر به کاهش هزینه‌های ارسال می‌گردد، اما ممکن است تعداد کارهای تأخیری را افزایش دهد. در این پژوهش یک مدل برنامه‌ریزی مختلط و یک الگوریتم ژنتیک با عملگر تقاطع ابتکاری برای حل مساله مذکور ارائه شد. در پایان نتیجه آزمایش‌های محاسباتی با طرح کامل با استفاده از تکنیک تحلیل واریانس ارائه شد. نتایج آزمایش‌های محاسباتی کارایی الگوریتم فراابتکاری را نشان داد.در ادبیات تحقیق توجه به موضوع زمان‌بندی یکپارچه تولید و توزیع در یک زنجیره تأمین مورد مطالعه قرار گرفته است(جمیلی و رنجبر ،۱۳۹۳). در این مساله تولیدکننده‌ای با محیط تک ماشینی در نظر گرفته شده که سفارش‌های چندین مشتری را

Archive of SID

www.SID.ir

تولید می‌نمایند. سفارش‌های آماده شده جهت ارسال به مشتری دسته‌بندی شده و محتویات هر بسته، برای تعیین ترتیب تحویل به مشتریان مسیریابی می‌گردد. هدف از این مساله بیشنه‌سازی سطح خدمت‌دهی به مشتریان و کاهش هزینه‌های حمل‌ونقل شرکت، ضمن لحاظ تأمین‌کننده بوده و مدل خطی آن به همراه روش‌های حل ابتکاری ارائه شده است.

ذگردی و مرندی در پژوهش خود به بررسی زمان‌بندی یکپارچه تولید و توزیع در زنجیره تأمین سه مرحله‌ای شامل تولیدکننده، ناوگان حمل‌ونقل کالاها و مشتریان پرداختند ذگردی و مرندی،۱۳۹۵)، رویکرد آن‌ها به شرح زیر بود:

«یک تولیدکننده مسئولیت تولید بر اساس تقاضای مشتریان را بر عهده دارد و وسیله نقلیه محصولات تولیدی مشتریان را بر اساس تقاضای آن‌ها با در نظر گرفتن مسیریابی وسیله نقلیه تحویل می‌دهد. وسایل نقلیه بعد از اتمام تولید محصولات مورد تقاضای مشتریان، مجاز به بارگیری و شروع توزیع هستند و با توجه به محدودیت ظرفیت وسیله نقلیه، محدودیت فرجه زمانی و عدم تخطی از آن سرویس‌دهی به مشتریان انجام می‌شود. مدل به صورت برنامه‌ریزی غیرخطی عدد صحیح آمیخته با هدف کمینه‌سازی هزینه‌های تأخیر تولید و هزینه‌های مسافت فرموله شده است. با توجه به NP-Hard بودن مساله از الگوریتم بهبود یافته بهینه‌سازی ازدحام ذرات۱ استفاده شده است. در این الگوریتم از اپراتورهای بهبود برای جستجوی گسترده فضای جواب و جلوگیری از همگرا شدن سریع به جواب بهینه محلی بهره گرفته شده است. به منظور اعتبارسنجی روش حل پیشنهادی، الگوریتم ارائه شده در ابعاد کوچک و بزرگ نمونه مساله‌های ایجاد شده با جواب دقیق مقایسه شد که نتایج حاکی از برتری الگوریتم پیشنهادی و کارایی آن داشت. در پایان به بررسی مطالعه موردی با داده‌های واقعی پرداخته شد که نتایج مقایسه با شرایط واقعی حاکی از عملکرد بهتر سیستم پیشنهادی نسبت به سیستم تولید و توزیع مطالعه موردی است که موجب بهبود و کاهش هزینه‌ها می‌شود.

در تحقیق دیگری زمان‌بندی مجدد جزئی از فرآیندهای تصمیم‌گیری در زنجیره تأمین که نقش مهمی در برآورده‌سازی نیازهای مشتریان ایفا می‌نماید مورد بررسی قرار گرفته است

1. Particle Swarm Optimization

Archive of SID

www.SID.ir

(بهشتی‌نیا و اکبری ،۱۳۹۴). این پژوهش به بررسی مساله زمان‌بندی مجدد در یک زنجیره تأمین سه مرحله‌ای، با تمرکز بر یکپارچگی مراحل آن می‌پردازد. مرحله اول شامل تأمین‌کنندگان، مرحله دوم شامل ناوگان حمل‌ونقل کالاها و مرحله سوم شامل یک شرکت سازنده محصولات نهایی است. به این منظور ابتدا مدل عدد صحیح مختلط برای مساله مذکور با هدف کمینه‌سازی مجموع زمان تأخیر تکمیل کلیه سفارش‌های توسعه داده شده است. همچنین در حالت کلی یک الگوریتم ژنتیک که دارای کروموزوم‌هایی با ساختار متغیر است، به منظور حل مساله ارائه شده است. مقایسه الگوریتم پیشنهادی با الگوریتم جستجوی تصادفی روی طیف متنوعی از مسائل تصادفی و همچنین جواب بهینه روی مسائل تصادفی با ابعاد کوچک نشان از عملکرد خوب الگوریتم پیشنهادی دارد. همچنین با ساده‌سازی فرضیات مساله، الگوریتم پیشنهادی با دو الگوریتم ابتکاری موجود در ادبیات موضوع مقایسه شده است که نشان از برتری الگوریتم پیشنهادی دارد.

بحث استواری عمدتاً در مقابل واژه‌هایی چون عدم قطعیت یا عدم اطمینان، عدم دقت، تغییرپذیری مستمر قرار میگیرد و به عبارتی، استواری و مدل‌های مربوطه به منظور مقابله با عدم اطمینان و واژه‌های مشابه مورداستفاده قرار می‌گیرند. اگر چه روش‌های دیگری چون برنامه ریزی احتمالی و تحلیل حساسیت در مقابله با عدم اطمینان وجود دارد.

به لحاظ تاریخی، بهینه سازی در شرایط غیرقطعی در اواخر دهه ۱۹۵۰ شروع شد و هم در زمینه تئوری و هم در زمینه الگوریتم به سرعت پیشرفت کرد. رویکردهای زیادی برای بهینه سازی در شرایط غیرقطعی[1] مورد استفاده قرار گرفته است که از آن جمله، کمینه کردن امید ریاضی، کمینه کردن انحراف از آرمان‌ها، کمینه کردن بیشترین هزینه‌ها را می‌توان نام برد. در این میان می‌توان سه رویکرد اصلی را متمایز کرد: برنامه‌ریزی احتمالی[2] و برنامه‌ریزی فازی[3] و برنامه‌ریزی پویای احتمالی[4].

1.Uncertainity

2.Probabilistic programming

3. Fuzzy Programming

4. Probabilistic Dynamic Programming

Archive of SID

www.SID.ir

در اواسط دهه ۱۹۵۰ دانتزیگ برنامه ریزی احتمالی را به عنوان یک رویکرد برای مدل کردن عدم قطعیت داده‌ها معرفی کرد. سه مشکل اصلی برای این رویکرد وجود دارد:

الف) شناخت توزیع دقیق داده‌ها و در نتیجه عددی کردن سناریوهایی که از این توزیع‌ها عدد می‌گیرند، در عمل دشوار است.

ب) محدودیت‌های شانس، ویژگی محدب بودن مساله اصلی را از بین می‌برد و بر پیچیدگی آن به مقدار زیادی می‌افزاید.

ج) ابعاد مدل بهینه سازی بدست آمده به صورت نجومی با زیاد شدن تعداد سناریوها افزایش می‌یابد، که چالش‌های محاسباتی عمده‌ای را موجب می‌گردد.

مالوی و همکاران بر این اعتقاد هستند که دانشمندان علم مدیریت به منظور سازش و انطباق بین داده‌های دنیای واقعی و قلمرو برنامه‌ریزی ریاضی از تکنیک تحلیل حساسیت استفاده نموده‌اند(مالوی و همکاران،۱۹۹۵).. هدف از این نوع بررسی‌های پس از حل[1] پی بردن و کشف اثر نگرانی در قبال خروجی‌های مدل می‌باشد. چنین بررسی‌های پس از حلی از نوع واکنشی[2] هستند یا اصطلاحاً خاصیت واکنش پذیری دارند. این نوع بررسی و مطالعه تنها اثر عدم اطمینان‌های داده‌ها را روی خروجی‌های پیشنهادی مدل مورد بررسی قرار می‌دهند، آنها معتقدند که روش پیشگیرانه۳ مورد نیاز می‌باشد. بنابراین باید مدل‌هایی طراحی و مدل سازی شوند که در مقایسه با مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی کلاسیک نسبت به داده‌های مدل کمتر حساس باشند. یکی از این مدل‌ها، برنامه‌ریزی خطی احتمالی[4] است. اما به طور کلی مواجهه با این نوع داده‌ها از طریق تحلیل حساسیت یا فرمول‌بندی برنامه‌ریزی احتمالی[5] با مشکلاتی مواجه می‌باشد.

1. Post-optimality studies
2. Reactive
3. proactive
4. probabilistic linear programming
5. probabilistic programming

Archive of SID

www.SID.ir

رویکرد دیگری که در سال‌های اخیر برای مقابله عدم قطعیت داده‌ها بسط داده شده است، بهینه سازی استوار می‌باشد که درآن به بهینه‌سازی در هنگام رخ دادن بدترین موارد پرداخته می‌شود که ممکن است منجر به یک تابع هدف کمینه کردن بیشینه‌ها[1] شود. در این رویکرد به دنبال جواب‌های نزدیک به بهینه‌ای هستیم که با احتمال بالایی موجه باشند. به عبارت دیگر با کمی صرف نظر کردن از) بهینگی) تابع هدف، موجه بودن جواب بدست آمده را تضمین می‌کنیم. البته در مورد عدم قطعیت در ضرایب تابع هدف، با کمی صرف نظر کردن از مقدار تابع هدف بهینه، به دنبال جوابی هستیم که با احتمال بالایی جواب‌های واقعی بهتر از آن جواب باشند(.دب و همکاران،۲۰۰۲)

به طور کلی در برنامه‌ریزی ریاضی قطعی، فرض می‌شود داده‌های ورودی بطور مشخص و معادل با مقادیر اسمی است. این نگرش تأثیر عدم اطمینان را روی کیفیت و موجه‌بودن مدل مدنظر قرار نمی‌دهد. در حقیقت داده‌هایی که مقادیر متفاوتی را از مقادیر اسمی‌شان اختیار می‌کنند، ممکن است منجر به این مسأله شوند که تعدادی از محدودیت‌ها نقض گردند و جواب بهینه ممکن است مدت طولانی بهینه نمانده یا حتی موجه‌بودن آن از بین برود. این بحث خواسته‌ای طبیعی را به ذهن متبادر می‌سازد که روش‌های حلی طراحی و ارائه شوند که در مقابل عدم اطمینان داده‌ها ایمنی ایجاد کنند، این روش‌ها "حل استوار" نامیده می‌شوند.(برتسیمس و سیم،۲۰۰۴)

اولین گام و تحقیق در این راستا از سویستر ارائه گردید که یک مدل برنامه‌ریزی خطی را برای تولید جوابی که برای همه داده‌های متعلق به یک مجموعه محدب موجه است، ارائه کرد. مدل مذکور جواب‌هایی ارائه می‌کند که در قبال بهینگی مسأله اسمی به منظور اطمینان از استواری، به شدت محافظه کارانه عمل می‌کند. بدین معنی که در این رویکرد برای اطمینان از استوار بودن جواب، به مقدار زیادی از بهینگی مساله اسمی دور می‌شود. در این مدل، هر

1. min-max

Archive of SID

www.SID.ir

داده ورودی می‌تواند هر مقداری از یک بازه[1] را بگیرد (بن تال و نمیروفسکی ،۲۰۰۰) و (برتسیمس و سیم،۲۰۰۴)

در ادامه این تحقیقات برتسیمس و سیم رویکرد متفاوتی را برای کنترل سطح محافظه‌کاری معرفی کرده‌اند(برتسیمس و سیم،۲۰۰۴). این رویکرد از این مزیت برخوردار است که منجر به یک مدل بهینه‌سازی خطی می‌شود و قابل کاربرد بر روی مدل‌های بهینه‌سازی گسسته نیز می‌باشد و سطح محافظه کاری آن قابل تنظیم است.

علاوه بر تحقیقات مذکور که مبتنی بر نوسان پارامترها در یک بازه است، تحقیقات دیگری نیز در حوزه مدل سازی ریاضی انجام شده است. از جمله این تحقیقات می‌توان به تحقیق (مالوی و همکاران ،۱۹۹۵) که مبتنی بر مفهوم سناریواست، اشاره کرد که در زیر بطور کامل توضیح داده شده است . از تحقیقات دیگر در حوزه استواری به برنامه ریزی استوار فازی می‌توان اشاره کرد که در آن فرض می‌شود که همه یا برخی از محدودیت‌هایا داده‌های ورودی اعداد فازی هستند.

مسعود ربانی و همکاران یک مسئله زنجیره تامین با برنامه‌ریزی فازی مدلسازی کردند که هدف آن بیشینه‌سازی خالص فعلی درآمد و کمینه سازی تاخیر در دریافت محصول توسط مشتری و بیشینه سازی قابلیت اطمینان با در نظرگرفتن ریسک تقاضا بود. آنها از شاخص استواری مبتنی بر سناریوها برای شرایط اختلال استفاده کردند. (مسعود ربانی،ندا معنوی زاده، گرانمایه،۲۰۱۵).

عباس شول و همکاران یک مساله طراحی شبکه زنجیره تامین چند دوره ای و چند محصولی را با استفاده از روش ترکیبی برنامه ریزی ریاضی چند هدفه و تحلیل پوششی داده‌ها ارایه دادند که هدف آن حداقل کردن هزینه تولید و کاهش زمان ارسال محصولات و افزایش قابلیت اطمینان زنجیره تامین بود . منظور از قابلیت اطمینان زنجیره تامین در مقاله نامبردگان عبارت از قابلیت اطمینان تامین کنندگان و تولید کنندگان و مراکز و خرده فروشان است که به عوامل مختلفی همچون انعطاف پذیری در سیستم‌های حمل و نقل وابستگی دارد . (عباس شول و همکاران ،۱۳۹۳)

1. Interval

Archive of SID

www.SID.ir

مساله تحقیق

مدل حاضر به طراحی مسأله مکان‌یابی- موجودی با در نظر گرفتن سیاست‌های تخفیف و بهبود سامانه حمل ونقل کالا از طریق اعمال سیاست فروش تک‌کالایی و بسته‌ای می‌پردازد. شبکهٔ توزیع مورد بررسی، شبکه‌ای سه سطحی شامل تأمین‌کننده اصلی، مراکز توزیع بالقوه و مشتریان است. با توجه به میزان و نوع تقاضا، تعیین فاصله مکانی بین مشتریان و مراکز توزیع، تأمین‌کننده و توزیع‌کننده، توزیع کالاها به صورتی انجام می‌گیرد که حاشیه سود کل سیستم توزیع بیشینه گردد. به‌عبارت دیگر تنها مشتریانی تحت پوشش قرار داده خواهند شد که باعث افزایش سود بنگاه‌های توزیع گردند. این افزایش سود معمولاً از دو طریق کاهش هزینه‌ها و افزایش میزان فروش محصولات انجام می‌گیرد. یکی از اصلی‌ترین هزینه‌های هر سیستم توزیع، هزینه‌های مربوط به بخش حمل‌ونقل است. در مدل‌های مکان‌یابی- موجودی معمولاً ابتدا تقاضا از تأمین‌کننده به مراکز توزیع ارسال شده و پس از پردازش و تقسیم‌بندی مجدداً برای مشتریان نهایی ارسال می‌گردد. انجام پردازش و تقسیم‌بندی بین مشتریان خود نیز دارای هزینه عملیاتی بالایی بوده و در تحقیقات کمتر مورد توجه قرار گرفته‌اند. در این پژوهش جهت بهبود نحوه ارسال و کاهش هزینه‌های عملیاتی مرتبط با پردازش و تقسیم بندی کالاها، از سیاست ارائه امکان خرید بسته‌ای کالاها استفاده شده است. برای مثال در سیستم توزیع برنج در استان خراسان جنوبی که توسط مرکز بسته‌بندی و پخش بازرگانی «محمد» انجام می‌پذیرد مورد بررسی قرار گرفته شده است. این شرکت ابتدا محصولات خود را از کشور پاکستان و هندوستان از طریق مرزهای تجاری استان «سیستان و بلوچستان» وارد و به مرکز توزیع واقع در شهرستان «بیرجند» منتقل می‌کند. پس از انجام تقسیم‌بندی و تخصیص سفارشات، کالاها را به شهرهای مختلف از جمله «نهبندان» و «سربیشه» انتقال می‌دهد. این در حالی است که شهرستان‌های سربیشه و نهبندان در مسیر مبادلاتی زاهدان- بیرجند و یا زابل- بیرجند قرار دارند و امکان برآورده کردن نیاز آنها در حین انتقال محصول به مرکز توزیع (شهرستان بیرجند) است. در واقع شرکت مذکور به دلیل عدم برنامه‌ریزی صحیح، متحمل هزینه‌های حمل و نقل زیادی می‌شود. البته گاها این جابجایی و انتقال مجدد نیاز است، زیرا

Archive of SID

www.SID.ir

سطح تقاضای محصولات مشتریان موجود در مسیرهای مبادلاتی جهت انجام بارانداز مناسب نیست. جهت حل این مشکل و رساندن میزان تقاضاهای مشتریان مورد نظر به حد مجاز بارانداز، از سیاست فروش بسته‌ای استفاده شده است که علاوه بر کاهش هزینه‌های حمل و نقل باعث افزایش میزان فروش نیز می‌گردد. قطعی بودن تقاضای مشتریان و توجه به این نکته که میزان کالای مورد نیاز (میزان سفارش از تأمین‌کننده) هر یک از مراکز توزیع فعال، تابعی از تقاضای مشتریان تخصیص یافته است، میزان سفارش هر یک از مراکز توزیع فعال نیز مشخص می‌گردد. پس از تعیین میزان سفارش مراکز توزیع فعال، محصول از تأمین‌کننده اصلی به مراکز توزیع فعال انتقال می‌یابد. برای یافتن میزان سفارش، از سیستم مقدار سفارش اقتصادی[1] استفاده شده است. سؤال اساسی که در مدل (سفارش اقتصادی) باید پاسخ داده شود این است که مقدار سفارش به چه اندازه‌ای باشد تا مجموع هزینه‌های موجودی شامل هزینه‌های خرید، نگهداری و ثابت سفارش‌دهی به حداقل برسد.

با توجه به مطالب ارئه شده، در یک نگاه کلی نکات قابل توجه در این تحقیق را می‌توان شامل موارد زیر در نظر گرفت: ۱) سفارشات کالا به صورت تکی و بسته‌ای ۲) تخفیفات چند سطحی. هر توزیع‌کننده با توجه به میزان و نوع سفارشات (تک کالایی و بسته‌ای) در مورد نحوه ارسال تقاضای مشتریان تصمیم‌گیری می‌نماید. بدین معنی که اگر تقاضای مشتری به شکل بسته‌ای باشد، نیاز به بسته‌بندی مجدد[2] و ارسال دوباره کالا در مرکز توزیع نیست و می‌توان آن را مستقیماً ارسال نمود که مشخصاً باعث کاهش میزان هزینه‌های سیستم مانند هزینه حمل و نقل می‌شود. با افزایش میزان سفارش مشتریان به توزیع‌کننده فعال و سفارش کالاها، هزینه خرید در یک بازه تخفیف بزرگتری قرار گرفته و باعث می‌شود به مرور زمان توزیع‌کننده فعال، مشتریان ثابتی را پیدا کند. در واقع سیاست هر توزیع کننده بدین صورت است که به نسبت افزایش میزان انحراف مشتریان از میزان سفارش اقتصادی مد نظر آنها ، قیمت فروش به آن‌ها در بازه تخفیف بزرگ‌تری قرار خواهد گرفت و همزمان با افزایش

1. Economic Order Quantity
2. Repack

Archive of SID

www.SID.ir

میزان سود مرکز، مشتری نیز از میزان سفارش بالاتر با قیمت مناسب و راضی کننده‌ای برخوردار شده که مسلماً نه تنها باعث ایجاد خسارت نخواهد شد بلکه با انجام برنامه‌ریزی مناسب، می‌تواند باعث سودآوری گردد. از آنجا که برآورده سازی تقاضای مشتریان از اهمیت بالایی برخوردار است در این تحقیق قابلیت اطمینان پاسخگوئی تقاضا به صورت یک محدودیت در برنامه ریزی مدل ریاضی نشان داده خواهد شد و با فرض ۸۰درصد پاسخگوئی نسبت به تقاضای مشتریان مساله طراحی و حل می‌شود. که تابع هدف دوم مسئله سعی در حداکثرکردن آن دارد.

مفروضات مساله

- مراکز توزیع جهت پاسخگویی به نیاز مشتریان از مجموعه مکان‌های بالقوه جهت راه‌اندازی انتخاب می‌شوند؛ هزینه ثابت برای راه‌اندازی مراکز توزیع مشخص می‌باشند.
- سیاست سفارش‌دهی از پیش تعیین شده است.
- هزینه حمل‌ونقل کالاهای تکی و بسته‌ای بین مراکز توزیع و مشتری مشخص می‌باشد.
- هزینه ثابت سفارش کالا و حمل‌ونقل مشخص است.
- سیستم توزیع چند محصولی در نظر گرفته می‌شود.
- مقدار تقاضا در ابتدا معین است.
- برای مشتریان دو انتخاب جهت سفارش دهی وجود دارد: سفارش تکی و بسته‌ای.

اندیس‌های مساله

S	**سناریو مورد نظر**
C	**بازه تخفیف**
J	**مشتریان**
K	**نوع کالا**
I	**مراکز توزیع**

Archive of SID

www.SID.ir

پارامترهای مساله

جدول ۱- پارامترهای مساله

f_{is}	هزینه‌ی ثابت فعال سازی مرکز توزیع i تحت سناریو s	O_{iks}	هزینه‌ی ثابت سفارش کالای k به مرکز توزیع i تحت ساریو s
t_{ijks}	هزینه‌ی حمل‌ونقل کالای k به صورت تکی بین مرکز توزیع i و مشتری j تحت ساریو s	t'_{ijks}	هزینه‌ی حمل‌ونقل کالا k به صورت بسته ای بین مرکز توزیع i و مشتری j تحت ساریو s
he_{iks}	هزینه‌ی ثابت حمل و نقل کالای k از مرکز توزیع i تحت ساریو s	ha_{iks}	هزینه‌ی حمل‌ونقل بین تأمین‌کننده کالای k و مرکز توزیع i تحت ساریو s
h_{iks}	هزینه‌ی نگهداری هر واحد کالا k در مرکز توزیع i تحت ساریو s	c_{iks}	هزینه‌ی خرید هر واحد کالای k از تأمین‌کننده در مرکز توزیع i تحت ساریو s
p_{ikcs}	قیمت فروش تک کالایی برای هر واحد کالای k با سطح تخفیف c در مرکز توزیع i تحت ساریوs	p'_{ikcs}	قیمت فروش بسته‌ی برای هر بسته کالای k با سطح تخفیف c در مرکز توزیع i تحت ساریوs
DS_{ijkcs}	تقاضای مشتری j برای کالای kبه صورت تک کالایی با سطح تخفیف c از مرکز توزیع i تحت ساریو s	DM_{ijkcs}	تقاضای مشتری j برای کالای k به صورت بسته‌ای با سطح تخفیف c از مرکز توزیع i تحت ساریو s
Re_{is}	قابلیت اطمینان مرکز i تحت سناریو s	M	عدد به اندازه کافی بزرگ مثبت
n_{ik}	تعداد کالای k موجود در هر بسته سفارشی از مرکز توزیع i		

همانطور که مشاهده می‌شود، پارامترهای مساله تحت سناریوهای مختلف ارائه شده است. هدف از تعریف این سناریوها استفاده از نظرات مختلف کارشناسان و خبرگان در تعیین مقدار پارامترها است. بدین منظور، هر کارشناس نظر خاص خود در مورد مقدار هر پارامتر را بیان کرده و سپس از بین نظرات مختلف، محتمل‌ترین‌ها انتخاب می‌شود. سپس مقدار هر پارامتر طبق احتمال وقوع هر نظر درنظر گرفته می‌شود. برای مثال برای هزینه احداث از نظر ۲۰ خبره

Archive of SID

www.SID.ir

استفاده شده است. از بین این نظرات، ۵ نظر که با تصمیم مدیران دارای کیفیت بالاتری است انتخاب شده و سپس مقدار هر هزینه با احتمال وقوع خاص خود به عنوان مقدار هزینه احداث به عنوان یک سناریو در نظر گرفته می‌شود. برای سایر پارامترها نیز به همین گونه عمل می‌شود.

متغیرهای مساله

جدول ۲- متغیرهای مساله

x_{is}	اگر مرکز توزیع i تحت ساریو s فعال شود مقدار یک می‌گیرد و در غیر این صورت صفر	y_{ijkcs}	اگر مشتری j به مرکز توزیع i برای کالای k با سطح تخفیف c تحت سناریو s اختصاص یابد مقدار یک می‌گیرد و در غیر این صورت صفر
G_{ikcs}	اگرمرکز توزیع i کالای k را با سطح تخفیف c تحت ساریو s ارائه کند مقدار یک می‌گیرد و در غیر این صورت صفر	Q_{ijkcs}	میزان سفارش کالای k در مرکز توزیع i برای مشتری j با سطح تخفیف c تحت ساریوs

Archive of SID

www.SID.ir

مدل ریاضی مساله

$$
\begin{aligned}
Max\, obj1 = & \sum_{i=1}^{I}\sum_{j=1}^{J}\sum_{k=1}^{K}\sum_{c=1}^{C}\sum_{s=1} (DS_{ijkcs}P_{ikcs})y_{ijkcs} \\
& + \sum_{i=1}^{I}\sum_{j=1}^{J}\sum_{k=1}^{K}\sum_{c=1}^{C}\sum_{s=1}^{s} (DM_{ijkcs}P'_{ikcs})y_{ijkcs} \\
& - \sum_{i=1}^{I}\sum_{s=1}^{s} f_{is}x_{is} \\
& - \sum_{i=1}^{I}\sum_{j=1}^{J}\sum_{k=1}^{K}\sum_{c=1}^{C}\sum_{s=1}^{s} C_{iks}(DS_{ijkcs} + DM_{ijkcs}n_{ik})y_{ijkcs} \\
& - \sum_{i=1}^{I}\sum_{j=1}^{J}\sum_{k=1}^{K}\sum_{c=1}^{C}\sum_{s=1}^{s} t_{ijks}DS_{ijkcs}y_{ijkcs} \\
& - \sum_{i=1}^{I}\sum_{j=1}^{J}\sum_{k=1}^{K}\sum_{c=1}^{C}\sum_{s=1}^{s} t'_{ijks}DM_{ijkcs}y_{ijkcs} \\
& - \sum_{i=1}^{I}\sum_{j=1}^{J}\sum_{k=1}^{K}\sum_{s=1}^{s}\sum_{c=1}^{C}\left(\begin{array}{l} o_{iks}\dfrac{(DS_{ijcks} + DM_{ijkcs}n_{ik})y_{ijkcs}}{Q_{ijkcs}} + \dfrac{h_{iks}Q_{ijkcs}}{2} \\ +(he_{iks} + ha_{iks}Q_{ijkcs})\dfrac{(DS_{ijkcs} + DM_{ijkcs}n_{ik})y_{ijkcs}}{Q_{ijkcs}} \end{array}\right)
\end{aligned}
\qquad \textbf{(a)}
$$

$$Max\, obj2 = \sum_{i}^{I}\sum_{s}^{S} x_{is}\,\mathrm{Re}_{is} \qquad (b)$$

$$\sum_{i}^{I}\sum_{c}^{C} y_{ijkcs} \le 1 \qquad \forall(j,k,s) \qquad (c)$$

$$\sum_{c=1}^{C} G_{ikcs} \le 1 \qquad \forall(j,k,s) \qquad (d)$$

$$y_{ijkcs} \le G_{ikcs} \qquad \forall(j,k,s) \qquad (e)$$

$$G_{ikcs} \le x_{is} \qquad \forall(j,k,s) \qquad (f)$$

Archive of SID

www.SID.ir

$$\frac{\sum_{i=1}^{I}\sum_{j=1}^{J}\sum_{k=1}^{K}\sum_{c=1}^{C}\sum_{s=1}y_{ijkcs}}{\sum_{i=1}^{I}\sum_{j=1}^{J}\sum_{k=1}^{K}\sum_{c=1}^{C}\sum_{s=1}DM_{ijkcs}} \geq 0.8 \qquad \text{(g)}$$

مدل ارائه شده به بیشینه کردن سود حاصل از فروش کالاها از طریق سیاست‌های بیان شده از طریق تابع هدف اول می‌پردازد. در تابع هدف دوم نیز سعی می‌کند قابلیت اطمینان مراکز انتخابی را حداکثر نمایند. تابع هدف اول شامل ۷ جمله است که در ادامه به تشریح آنها پرداخته می‌شود. جمله اول سود حاصل از فروش کالاها به شکل تک کالایی و جمله دوم سود حاصل از فروش کالاهای بسته‌ای با توجه به تخفیفات ذکر شده را محاسبه می‌کند. جمله سوم هزینه راه‌اندازی مراکز توزیع را بیان می‌کند. در جمله چهارم هزینه خرید کالاها از تأمین‌کننده بیان می‌گردد. از آنجا که تمامی کالاها از تأمین کننده به صورت تک کالایی خریداری شده و در مرکز توزیع با توجه به نیاز به شکل تک کالایی و بسته‌ای دسته‌بندی می‌شود، هزینه خرید نیز به شکل تک کالایی لحاظ می‌گردد. جملات پنجم و ششم هزینه‌های انتقال کالاها را بین مراکز توزیع و مشتریان محاسبه می‌کند. این هزینه ممکن است برای ارسال تک کالایی و بسته‌ای به صورت متفاوت محاسبه گردد. جمله هفتم نیز به محاسبه هزینه‌های سیستم موجودی که شامل هزینه سفارش‌دهی کالاها، هزینه نگهداری و هزینه‌های خرید می‌شود، می‌پردازد. در ادامه محدودیت‌های ارائه شده در مدل بیان می‌شود. محدودیت(d) تضمین می‌کند که هر مشتری برای خرید هر کالا حداکثر به یک مرکز توزیع تخصیص یابد. محدودیت(e) بیان می‌کند که هر مرکز، تنها یک نوع کالا را تأمین می‌کند. کالای خاص فقط از یک مرکز توزیع تأمین می‌شود. این امر با سیاست‌های تخفیف بیان شده همسو و هم جهت است. محدودیت‌های (f) تضمینی برای بیان تخصیص مشتریان به مراکز توزیع است یعنی زمانی می‌توان یک مشتری را به مرکز توزیع تخصیص داد که آن مرکز راه‌اندازی شده باشد و کالای مذکور را داشته باشد. بحث قابلیت اطمینا ن نیز با در نظرگرفتن

Archive of SID

www.SID.ir

سطح پاسخگویی به تقاضا تعیین می‌شود محدودیت (g) تضمین می‌کند حداقل ۸۰ درصد تقاضای مشتری برآورده شود.

متدولوژی تحقیق

بهینه‌سازی استوار مجموعه‌ای از پاسخ‌هایی بدست می‌آورد که در برابر نوسانات پارامترها (داده‌های ورودی) در آینده استوار هستند. رویکرد بهینه‌سازی استوار توسط (مالوی،۱۹۹۵) ارائه شده است، که قادر است تصمیم‌گیرنده ریسک ناسازگاری یا تابع سطح خدمات را به عهده بگیرد و یک مجموعه‌ای از پاسخ‌هایی که حساسیت کمتری به تحقق داده‌ها در مجموعه سناریوها را دارد ارائه کند. در این رویکرد دو نوع پایداری معرفی شده است : پایداری پاسخ (پاسخ نزدیک به بهینه در همه سناریوها) و پایداری مدل (پاسخ نزدیک به موجه بودن در همه سناریوها). پاسخ بهینه بدست آمده توسط مدل بهینه‌سازی استوار، استوار نامیده می‌شود. اگر داده‌های ورودی تغییر کند آنگاه نزدیک به بهینه باقی بماند، به آن پایداری پاسخ می‌گویند. یک پاسخ پایدار نامیده می‌شود اگر برای تغییرات کوچک در داده‌های ورودی تقریبا موجه (شدنی) باشد. به این پایداری مدل می‌گویند. بهینه‌سازی استوار شامل دو محدودیت مشخص می‌باشد: ۱) محدودیت ساختاری ۲) محدودیت کنترل. محدودیت ساختاری بصورت مفهومی از برنامه‌ریزی خطی و داده‌های ورودی بصورت قطعی و ثابت و دور از هر اختلالی هستند در حالیکه محدودیت‌های کنترل بصورت محدودیت‌های کمکی که توسط داده‌های غیر قطعی تحت تاثیر قرار گرفته‌اند فرمول‌بندی می‌شود. در زیر چهارچوب بهینه‌سازی استوار بطور مختصر توضیح داده می‌شود. ابتدا $x\epsilon R^{n_1}$ بردار متغیرهای طراحی و $y\epsilon R^{n_2}$ بردار متغیرهای کنترل هستند. فرم مدل بهینه‌سازی استوار بصورت زیر است:

$$Min \;\; c^T x + d^T y \qquad (1)$$

$$Ax = b \qquad (۲)$$

$$Bx + C_y = e \qquad (۳)$$

$$x, y \geq 0 \qquad (٤)$$

Archive of SID

www.SID.ir

محدودیت (۲) یک محدودیت ساختاری است و ضرایب آنها ثابت و قطعی هستند. محدودیت (۳) محدودیت کنترل است که ضرایب آنها تحت تاثیر سناریو و غیر قطعی هستند. محدودیت (۴) هم که غیر منفی بودن متغیرها را تضمین میکند. فرمول‌بندی مساله بهینه‌سازی استوار شامل مجموعه‌ای از سناریوهای $\tau = \{1,2,3,.....s\}$ می‌باشد. تحت هر سناریو $S \in \tau$، ضرایب مربوط به محدودیت‌های کنترل با احتمال ثابت P_S برابر $\{d_s, B_s, C_s, e_s\}$ می‌شود، که P_S احتمال اینکه هر سناریو رخ دهد را نشان می‌دهد و $\sum_S P_S = 1$ می‌باشد. پاسخ بهینه این مدل پایدار است، اگر باقی بماند نزدیک به بهینگی برای هر سناریو مشخص $S \in \tau$. به این پایداری مدل می‌گویند. شرایطی وجود دارد که ممکن است پاسخ‌هایی که برای مدل بالا بدست می‌آوریم هم موجه و هم بهینه برای همه سناریوهای $S \in \tau$ نباشد. در اینجا رابطه بین پایداری پاسخ و پایداری مدل با استفاده از مفاهیم تصمیم‌گیری چند معیاره تعیین می‌شود. مدل بهینه‌سازی استوار برای اندازه‌گیری این رابطه فرمول‌بندی شده است. اول از همه متغیر کنترل Y_S برای هر سناریو $S \in \tau$ و بردار خطا δ_S که غیر موجه بودن مجاز در محدودیت‌های کنترل تحت سناریو S را اندازه‌گیری می‌کند، معرفی شده‌اند. به دلیل وجود پارامترهای غیر قطعی مدل ممکن است برای بعضی از سناریوها غیر موجه باشد. بنابراین δ_S غیر موجه بودن مدل تحت سناریو S را نشان می‌دهد. اگر مدل موجه باشد δ_S مساوی صفر خواهد شد. در غیر اینصورت δ_S مقدار مثبت بر طبق محدودیت (۷) خواهد گرفت. در واقع پایداری مدل تقاضای برآورد نشده برای تولید قطعه را اندازه‌گیری می‌کند. مدل بهینه‌سازی استوار بر مبنای مساله برنامه‌ریزی ریاضی (۱) تا (۴) بصورت زیر فرمول‌بندی شده است:

$$Min\ \sigma(x, y_1, ...y_s) + \omega\rho(\delta_1, \delta_2, ...\delta_S) \quad (۵)$$

$$Ax = b \quad (۶)$$

$$Bx + C_s y_s + \delta_S = e_S \quad (۷)$$

$$x, y \geq 0 \quad (۸)$$

Archive of SID

www.SID.ir

باید توجه کنیم که چون مدل بهینه‌سازی استوار سناریوهای چندگانه را در نظر می‌گیرد، عبارت اول از تابع هدف انتخاب واحدی برای اهداف در تابع هدف قبلی (5)، $ב_s = c^T x + d^T y$ و با $ב_s = c^T x + d_s{}^T y_s$ متغیر تصادفی با مقدار تصادفی احتمال P_s تحت سناریو $S \in \tau$ می‌شود. در فرمول‌بندی برنامه‌ریزی خطی تصادفی مقدار میانگین $\sigma(0) = \sum_s ב_s \ P_s$ بکاربرده شده است و در واقع عبارت اول پایداری پاسخ را نشان می دهد. عبارت دوم در تابع هدف $\rho(\delta_1, \delta_2, ...\delta_S)$، تابع جریمه موجه است، که تخطی محدودیت‌های کنترل تحت بعضی از سناریوها را جریمه می‌کند. تخطی محدودیت‌های کنترل یعنی اینکه پاسخ غیر موجه تحت بعضی از سناریوها مساله بدست می‌آورد. با استقاده از وزن ω رابطه بین پایداری پاسخ که از عبارت اولی $\sigma(0)$ اندازه‌گیری می‌شود و پایداری مدل که از تابع جریمه $\rho(0)$ اندازه‌گیری می‌شود می‌توان تحت تصمیم‌گیری چند معیاره مدل‌سازی شود. برای نمونه اگر $\omega(0)$ هدف کمینه‌کردن عبارت $\sigma(0)$ و پاسخ ممکن غیر موجه باشد. در حالیکه اگر ω به قدر کافی بزرگ شود، عبارت $\rho(0)$ تسلط یافته و منجر به هزینه بیشتر می‌شود. بررسی در مورد انتخاب شکل مناسب $\rho(0)$ و $\sigma(0)$ را می‌توان در مطالعات بسیاری مشاهده کرد. عبارت توسط مالوی $\sigma(x, y_1, ...y_s)$ بصورت زیر ارائه شده است:

$$\sigma(0) = \sum_s^S ב_s \, p_s + \lambda \sum_s^S p_s \left(ב_s - \sum_{s'}^S ב_{s'} \, p_{s'} \right)^2 \qquad (۹)$$

برای نشان دادن استواری پاسخ، واریانس معادله (۵) نشان دهنده آن است که تصمیم دارای ریسک بالایی است. به عبارت دیگر یک متغیر کوچک در پارامترهای دارای عدم قطعیت می‌تواند سبب تغییرات بزرگ در ارزش تابع اندازه‌گیری شود. λ وزن اختصاص یافته برای واریانس پاسخ است. همانطور که دیده می‌شود یک عبارت درجه دو در معادله (۹) وجود دارد. برای کاهش عملیات کامپیوتری از یک عبارت قدر مطلق بجای عبارت درجه دوم استفاده کرده‌اند که به شرح زیر نشان داده شده است:

Archive of SID

www.SID.ir

$$\sigma(0) = \sum_{S}^{S} ב_s \, p_s + \lambda \sum_{S}^{S} p_s \left| ב_s - \sum_{S'}^{S} ב_{s'} \, p_{s'} \right| \qquad (۱۰)$$

در این تحقیق برخی هزینه‌های بصورت غیر قطعی و تحت سناریو در نظر گرفته شده است. مانند بهینه‌سازی استوار توضیح داده شده در بالا برای این مساله به صورت زیر ارائه می گردد:

با توجه به مدل ریاضی حالا ما باید مدل ریاضی مساله را در قالب مدل ریاضی (مالوی،۱۹۹۵) ارائه دهیم. که تابع هدف مالوی به صورت زبر خواهد بود:

$$Max \sum_{s} P_s \, TC1_s \qquad (۱۱)$$
$$- \lambda_1 \sum_{s} P_s \left| TC1_s - \sum_{s'} P_{s'} \, TC1_{s'} \right|$$
$$- \omega \sum_{s} \sum_{i} \sum_{h} P_s \, \delta_{ihs} \qquad (11)$$
$$\max \sum_{s} P_s \, TC2_s \qquad (۱۲)$$
$$- \lambda_1 \sum_{s} P_s \left| TC2_s - \sum_{s'} P_{s'} \, TC2_{s'} \right|$$
$$- \omega \sum_{s} \sum_{i} \sum_{h} P_s \, \delta_{ihs} \qquad (12)$$

اما تابع هدف فوق بعلت دارا بودن قدر مطلق غیر خطی است و مساله با معرفی دو متغیر جدید q_s ، p_s بصورت زیر به برنامه‌ریزی خطی تبدیل می‌شود. محدودیت $q_s - p_s = TC_s - \sum_{s'} P_{s'} \, TC_{s'}$ به مدل اصلی اضافه می گردد.

$$\max \sum_{s} P_s \, TC1_s + \lambda_1 \sum_{s} P_s \, (q_{11s} + p_{11s}) + \omega \sum_{s} \sum_{i} \sum_{h} P_s \, \delta_{ihs} \qquad (۱۳)$$

$$\max \sum_{s} P_s \, TC2_s + \lambda_1 \sum_{s} P_s \, (q_{21s} + p_{21s}) + \omega \sum_{s} \sum_{i} \sum_{h} P_s \, \delta_{ihs} \qquad (۱٤)$$

Archive of SID

www.SID.ir

محدودیت‌های مساله اصلی

$$\mathbf{q_{1s} - p_{1s} = TC1_s - \sum_{s'} P_{s'} TC1_{s'}} \quad (۱۵)$$

$$\mathbf{q_{1s} - p_{1s} = TC2_s - \sum_{s'} P_{s'} TC2_{s'}} \quad (۱۶)$$

مدل پایدار ارائه شده در بخش قبلی یک مساله برنامه ریزی چند هدفه است. در ابتدا باید مساله را به یک مساله ی معادل با یک تابع هدف تبدیل نماییم . . در اینجا با استفاده از روش برنامه‌ریزی خطی پارامتری یک رویکرد معمول برای حل مدل‌های چند هدفه می‌توانیم مساله را با یک تابع هدف جایگزین نماییم . بدلیل اینکه دو تابع هدف هم مقیاس نیستند ابتدا آن‌ها را با استفاده از رابطه زیر نرمالیزه می‌نماییم که Z_i^* مقدار بهینه برای هر تابع هدف است. برای مدل بهینه ارائه شده دو تابع هدف با معادله زیر جایگزین شده و منجر به یک هدفه شدن مساله می‌شود. در این تحقیق ما فرض کردیم که دو تابع هدف به صورت Z_1 ، Z_2 نام گذاری شده است. برمبنای روش $LP - metric$ مدل بهینه سازی پایدار مساله تشکیل سلولی پویا برای هر یک از این دو تابع هدف بطور جداگانه حل می‌شود . مدل $LP - metric$ تابع هدف به صورت زیر فرمول بندی می‌شود :

$$\boldsymbol{Min\, Z_3 = \left[\alpha \frac{z_1 - z_1^*}{z_1^*}\right] + (1-\alpha)\frac{z_2 - z_2^*}{z_2^*}} \quad (۱۷)$$

که $0 \leq \alpha \leq 1$ است . ضرایب وزن برای عناصر تابع هدف داده شده در معادله بالا می‌باشد. با استفاده از معادله بالا، مساله را یک هدفه می‌نماییم که به‌راحتی قابل حل می‌باشد.

Archive of SID

www.SID.ir

تجزیه و تحلیل نتایج

در این قسمت جهت بررسی کارایی و صحت مدل به حل مثالی عددی متناسب با شرایط مسائل دنیای واقعی پرداخته شده است. مثال ارائه شده توسط سالور Cplex در سیستمی با مشخصات CUP = Core i5 ۴Ram حل شده است. این مثال شامل ۴ مرکز توزیع بالقوه و ۷ مشتری مطابق جدول است که تقاضاهای مشتریان را با توجه به بیشینه کردن سود حاصله برآورده می‌نمایند. اطلاعات تکمیلی در جدول ۳ ذکر شده است:

جدول۳- مقدار پارامترهای مثال ارائه شده

پارامتر	مقدار	پارامتر	مقدار
I	4	c_{iks}	$U\left(500,800\right)$
J	7	p_{ikcs}	$U\left(800,1000\right)$
K	3	p'_{ikcs}	$U\left(5000,8000\right)$
C	۳	DS_{ijkcs}	$U\left(100,200\right)$
S	3	DM_{ijkcs}	$U\left(10,40\right)$
O_{iks}	$U\left(10,20\right)$	n_{ik}	۱۰
t_{ijks}	$U\left(50,80\right)$	he_{iks}	$U\left(20,50\right)$
t'_{ijks}	$U\left(20,40\right)$	ha_{iks}	$U\left(100,200\right)$
f_{is}	$U\left(10^5,2\times10^5\right)$	h_{iks}	$U\left(5,15\right)$
Re_{is}	$u(0,1)$		

پس از حل مدل با ابعاد ذکر شده در جدول فوق، نتایج حاصله در جدول۴، ارائه شده است. سود حاصل که در واقع برابر با میزان درآمد پس از کسر هزینه‌های سیستم است، برابر با ۱۸۳۹۹۴۰۳ واحد پولی می‌باشد. جدول زیر درآمد و هزینه‌های سیستم را بیان می‌کند.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ٤- درآمد و هزینه‌های سیستم

درآمد فروش تک کالایی	٤٢١٨٩٦٠٠
درآمد فروش بسته‌ای	٣١٨٩١٦٥٠
هزینه تاسیس مرکز توزیع	٣٤٠٠٠٠
هزینه خرید محصولات	٥٢٣٢٣٨٤٠
هزینه حمل و نقل تک کالایی	٢٨٤٨٨٦٠
هزینه حمل و نقل کالا به شکل بسته‌ای	١٤١٢٠٠
هزینه‌های موجودی سیستم	٢٧٩٤٧
مجموع سود حاصله	١٨٣٩٩٤٠٣

زیرا ما باید معیار مبادله یا تعادل را بین توابع هدف مسئله به دست آوریم به همین منظور مسئله را در ۷ بار اجرا یا ۷ سناریو مورد حل قرار گرفت که جواب‌های زیر به دست آمده است.

جدول ٥- سطح تقاضای برآورده شده

سناریو	هزینه ثابت	سطح تقاضای ارضا شده	تقاضای واقعی
۱	۲۷۹۴۷	40	40
۲	۲۷۱۵۰	39	40
۳	۲۹۷۵۰	37	40
۴	۱۳۱۲۰	37	40
۵	۱۲۱۳۰	37	40
۶	۲۰۹۰۰	36	40
۷	۱۸۴۵۶	36	40

تحلیل حساسیت مساله

در این بخش به منظور آگاهی از چگونگی رفتار مدل در مقابل تغییرات پارامترها، مثال بیان شده در قسمت قبل را مورد تحلیل قرار داده و حساسیت مدل نسبت به تابع هدف و نحوه تخصیصات بررسی خواهد شد. بدین منظور حالات مختلفی از مساله عنوان کرده و نتایج مقایسه می‌گردد. انجام تحلیل بر روی رفتار مدل باعث می‌شود تصمیمات مدیران مراکز از

Archive of SID

www.SID.ir

استواری بیشتری برخوردار باشد و برای تغییرات احتمالی برنامه‌ریزی‌های لازم را انجام دهند. پس از حل مساله، تحلیل‌های ارائه شده به شکل زیر خواهد بود:

جدول ٦- محاسبه مقادیر تابع هدف در تحلیل حساسیت با حذف امکان ارسال مستقیم

درآمد فروش تک کالایی	٤٢١٨٩٦٠٠	٤٢١٨٩٦٠٠	–
درآمد فروش بسته‌ای	٣١٨٩١٦٥٠	٣١٨٩١٦٥٠	–
هزینه تاسیس مرکز توزیع	٣٤٠٠٠٠	٣٤٠٠٠٠	–
هزینه خرید محصولات	٥٢٣٢٣٨٤٠	٥٢٣٢٣٨٤٠	–
هزینه حمل و نقل تک کالایی	٢٨٤٨٨٦٠	٢٨٤٨٨٦٠	–
هزینه حمل و نقل کالا به شکل بسته‌ای	١٤١٢٠٠	٣٥٣١٦٠	↖
هزینه‌های موجودی سیستم	٢٧٩٤٧	٢٧٩٤٧	–
مجموع سود حاصله	١٨٣٩٩٤٠٣	١٨١٨٧٤٤٣	↘
قابلیت اطمینان سیستم	٠,٨١	٠,٨١	–

- حذف هزینه‌های کاهش یافته در ارسال مستقیم کالاهای بسته‌ای:

در واقع با حذف این عامل، از ارسال مستقیم کالا به مشتریان جلوگیری شده و باید حتما هزینه‌های عملیاتی مربوط به پردازش کالاها در مرکز توزیع اعمال شود. هزینه‌های سیستم مطابق جدول ۵ است. مشاهده می‌شود که با حذف امکان ارسال مستقیم کالا، که از طریق کاهش هزینه ارسال در مدل بیان شده بود، حاشیه سود کاهش می‌یابد. قابلیت اطمینان سیستم دچار تغییر نمی‌شود.

- حذف سطوح تخفیف در سفارشات به‌همراه حذف امکان ارسال مستقیم کالا با کاهش هزینه‌های ارسال بسته‌ای:

با حذف سطوح تخفیف، تنها نیازهای مشتریان با توجه به میزان سفارش سطح اول تخفیف در نظر گرفته می‌شود. حذف این عامل تاثیر بسیاری بر هزینه‌ها و نیز نحوه تخصیص مشتریان دارد.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۷-. مقایسه مقادیر توابع هدف در تحلیل حساسیت با حذف سطوح تخفیف

درآمد فروش تک کالایی	٤٢١٨٩٦٠٠	39367480	↘
درآمد فروش بسته‌ای	٣١٨٩١٦٥٠	28904442	↘
هزینه تاسیس مرکز توزیع	٣٤٠٠٠٠	340000	-
هزینه خرید محصولات	٥٢٣٢٣٨٤٠	49445469	↘
هزینه حمل و نقل تک کالایی	٢٨٤٨٨٦٠	2530528	↘
هزینه حمل و نقل کالا به شکل بسته‌ای	١٤١٢٠٠	275267	↖
هزینه‌های موجودی سیستم	٢٧٩٤٧	24144	↘
مجموع سود حاصله	١٨٣٩٩٤٠٣	15656514	↘
قابلیت اطمینان سیستم	٠,٨١	٠,٨١	–

مشاهده می‌شود که با حذف سطوح تخفیف و همچنین حذف امکان ارسال مستقیم سفارشات بسته‌ای از طریق کاهش هزینه حمل‌ونقل، کلیه هزینه‌ها تحت تاثیر قرار گرفته و سود نهایی سیستم کاهش می‌یابد. قابلیت اطمینان سیستم دچار تغییر نمی‌شود.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش مدلی ریاضی جهت بهینه‌سازی سیستم توزیع کالا مبتنی بر مدل‌های مکان‌یابی – موجودی با هدف بیشینه‌سازی حاشیه سود بنگاه‌های توزیع کالا با در نظر گرفتن سیاست فروش محصولات به صورت تک‌کالایی و بسته‌ای و همچنین استفاده از تخفیفات چند سطحی ارائه شده است. در واقع میزان فروش محصولات در مراکز توزیع فعال شده تحت تاثیر سیاست‌های فروش به صورت تک کالایی و بسته‌بندی می‌باشد، زیرا که این سیاست‌ها باعث افزایش سطح فروش و نیز از طرفی باعث کاهش هزینه‌های حمل ونقل از طریق ایجاد هماهنگی با سطح مجاز بارانداز در نقاط تقاضا می‌گردد. در این مساله مرکز توزیع فعال شده بازه‌های مختلفی را برای قیمت فروش محصولات خود به مشتریان ارائه می‌نماید که این تخفیفات از یک طرف با افزایش میزان فروش باعث سودآوری بیشتر مراکز شده و از طرف

Archive of SID

www.SID.ir

دیگر با تغییر اندک در قیمت متناسب با حجم سفارش کالا، باعث ایجاد انگیزه در مشتری می‌گردد که با انجام برنامه‌ریزی مناسب باعث افزایش سود مشتری می‌شود. البته اعمال تخفیف باعث از دست رفتن بخشی از درآمد مراکز می‌شود اما تفکر مراکز توزیع برای جبران این میزان سود از دست رفته بدین صورت است که این امر باعث تثبیت مشتریان برای هر مرکز توزیع می‌شود، بطوریکه این مشتریان در بلند مدت همچنان سفارشات خود را از این مرکز توزیع دریافت نموده و به «مشتریان وفادار» تبدیل می‌گردند. با این کار مراکز توزیع در بلند به سطح ثابتی از روند افزایش تقاضا دست خواهند یافت که باعث می‌شود بتوانند برنامه‌ریزی‌های متمرکزی جهت رشد و گسترش دامنه فعالیت خود انجام دهند. همچنین به منظور نزدیک شدن مساله به مسائل دنیای واقعی برخی پارامترهای مساله تحت شرایط عدم قطعیت در نظر گرفته شده‌اند که به منظور حل مساله در این شرایط از رویکرد برنامه‌ریزی استوار استفاده شده است. پس از حل مدل توسط نرم افزار، مکان و تعداد مراکز توزیع فعال شده، نحوه تخصیص مشتریان به این مراکز و در نهایت میزان سفارش اقتصادی هر مرکز مشخص شده است.

Archive of SID

www.SID.ir

منابع

آقایی ، صدقیانی،قربانی زاده ، میکائیلی.(۱۳۹۳).طراحی الگوی زنجیره تامین ناب با استفاده از تکنیک معادلات ساختاری ،فصلنامه علمی و پژوهشی مطالعات مدیریت صنعتی ، سال۱۳، شماره ۳۶،ص ۹۵-۱۱۳.

بهشتی نیا, اکبری.(۱۳۹۴) زمانبندی مجدد زنجیره تأمین سه مرحله‌ای با تمرکز بر یکپارچگی مراحل آن. نشریه پژوهش‌های مهندسی صنایع در سیستم‌های تولید،دوره ۳، شماره ۶ ،ص ۱۹۱-۲۰۵.

صادقی مقدم، مومنی ، نالچیگر.(۱۳۸۸). برنا مه‌ریزی یکپارچه تأمین، تولید و توزیع زنجیره تأمین با بکارگیری الگوریتم ژنتیک. نشریه مدیریت صنعتی،دوره ۱، شماره ۲،ص ۷۱-۸۸.

ربانی, معنوی زاده, فرشباف و گرانمایه (۲۰۱۵). طراحی چندهدفه زنجیره تأمین با در نظر گرفتن ریسک اختلال تسهیلات، عرضه و تقاضا در شرایط غیر قطعی بودن پارامترهای اقتصادی. مطالعات مدیریت صنعتی, ۱۳(۳۷), ۵-۳۵.

خدابنده ،حجازی، راستی.(۱۳۹۲) یک الگوریتم ژنتیک برای مساله زمانبندی یکپارچه تولید و توزیع با در نظر گرفتن مسیریابی در زنجیره تأمین. نشریه پژوهش‌های مهندسی صنایع در سیستم‌های تولید، دوره ۱، شماره ۲،ص ۱۶۷-۱۸۱.

جمیلی, نگین, رنجبر. (۱۳۹۳) زمانبندی یکپارچه تأمین، تولید و توزیع در یک زنجیره تأمین. هفتمین کنفرانس بین‌المللی ایرانی تحقیق در عملیات.دانشگاه سمنان.

طاهری ، زندیه ، دری.(۱۳۹۵). طراحی مدل برنامه ریزی دو سطحی در زنجیره تامین غیر متمرکز تولید – توزیع با در نظر گرفتن تبلیغات مشارکتی، فصلنامه علمی پژوهشی مطالعات مدیریت صنعتی – سال ۱۴، شماره ۱۴،ص ۱-۳۸.

ذگردی، مرندی.(۱۳۹۵), یکپارچگی زمانبندی تولید و توزیع در زنجیره تأمین فرآورده‌های لبنی با استفاده از الگوریتم بهبود یافته بهینه‌سازی انبوه ذرات. فصلنامه علمی-پژوهشی مهندسی حمل و نقل.

Archive of SID

www.SID.ir

عادل آذر ، عابدینی ، افسر ، مطلق.(۱۳۹۵).طراحی مدل ترکیبی منبع یابی در زنجیره تامین با بکارگیری فرایند تحلیل شبکه‌های، ویکور و مدل چندهدفه در محیط فازی. فصلنامه علمی و پژوهشی مطالعات مدیریت صنعتی.سال ۱۴،شماره ۴۲،ص ۱-۳۰.

عباس شول ، مقصود امیری ، لعیا الفت و کاوه خلیلی دامغانی (۱۳۹۳) ، طراحی شبکه زنجیره تامین چند دوره ای و چند محصولی با استفاده از روش ترکیبی برنامه ریزی ریاضی چند هدفه و تحلیل پوششی داده‌ها، فصلنامه چشم انداز مدیریت صنعتی – شماره ۱۴ – ص ۱۱۷-۱۳۷.

Bashiri, M. and H. Badri(2010), **A dynamic model for expansion planning of multi echelon multi commodity supply chain**. International Journal of Engineering and Technology,2(1): p. 85.

Bredström, D., et al. (2004), **Supply chain optimization in the pulp mill industry—IP models, column generation and novel constraint branches**. European journal of operational research156(1): p. 2-22.

Bertsimas, D., Pachamanova, D., & Sim, M. (2004), **Robust linear optimization under general norms. Operations Research Letters**, 32(6), 510-516.

Bertsimas, D., & Sim, M. (2004), **The price of robustness**. Operations research, 52(1), 35-53.

Bertsimas, D., & Sim, M. (2004), **Robust discrete opimization and downside risk measures**: Working Paper.

Chopra, S., & Meindl, P. (2007), **Supply chain management. Strategy, planning & operation Das Summa Summarum des Management** (pp. 265-275): Springer.

Deb K, Pratap A, Agarwal S, Meyarivan T. (2002), **A fast and elitist multi-objective genetic algorithm: NSGA-II**. IEEE Transactions on Evolutionary Computation; 6(2):182–97.

Fattahi, M., et al., (2015), **Dynamic supply chain network design with capacity planning and multi-period pricing.** Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 81: p. 169-202.

Gnoni, M., et al., (2003), **Production planning of a multi-site manufacturing system by hybrid modelling**: A case study from the

Archive of SID

www.SID.ir

automotive industry. International Journal of production economics, 85(2): p. 251-262.

García-Arca, J. and J. Carlos Prado Prado, (2008), **Packaging design model from a supply chain approach. Supply Chain Management**: An International Journal, 13(5): p. 375-380.

Mulvey, J. M., Vanderbei, R. J., & Zenios, S. A. (1995), **Robust optimization of large-scale systems.** Operations research, 43(2), 264-281.

Pishvaee, M.S., M. Rabbani, and S.A. Torabi, (2011), **A robust optimization approach to closed-loop supply chain network design under uncertainty**. Applied Mathematical Modelling, 35(2): p. 637-649.

Ryu, J.-H., V. Dua, and E.N. Pistikopoulos, (2004). **A bilevel programming framework for enterprise-wide process networks under uncertainty**. Computers & Chemical Engineering,28(6): p. 1121-1129.

Spitter, J., et al., (2005), **Linear programming models with planned lead times for supply chain operations planning**. European Journal of operational research, 163(3): p. 706-720.

Shen, Z.-J.M., (2005), **A multi-commodity supply chain design problem. IIE Transactions**, 37(8): p. 753-762.

Selvarajah, E. and G. Steiner, (2006). **Batch scheduling in a two-level supply chain—a focus on the supplier**. European Journal of Operational Research, 173(1): p. 226-240.

Sadjady, H. and H. Davoudpour, (2012). **Two-echelon, multi-commodity supply chain network design with mode selection**, lead-times and inventory costs. Computers & Operations Research, 39(7): p. 1345-1354.

Lejeune, M.A., (2006), **A variable neighborhood decomposition search method for supply chain management planning problems**. European Journal of Operational Research, 175(2): p. 959-976.

Schütz, P., A. Tomasgard, and S. Ahmed, (2009**), Supply chain design under uncertainty using sample average approximation and**

Archive of SID

www.SID.ir

dual decomposition. European Journal of Operational Research, 199(2): p. 409-419.

Shankar, B.L., et al., (2013), **Location and allocation decisions for multi-echelon supply chain network–A multi-objective evolutionary approach**. Expert Systems with Applications, 40(2): p. 551-562.

Shen, Z.-J. M., Coullard, C., & Daskin, M. S. (2003), **A joint location-inventory model**. Transportation science, 37(1), 40-55.

Shu, J., Li, Z., Shen, H., Wu, T., & Zhong, W. (2012), **A logistics network design model with vendor managed inventory**. International Journal of Production Economics, 135(2), 754-761.

Wu, T. and K. Zhang, (2014), **A computational study for common network design in multi-commodity supply chains**. Computers & Operations Research, 44: p. 206-213.

Archive of SID

www.SID.ir