Archive of SID

مهندسی صنایع و مدیریت شریف، (تابستان ۱۳۹۸)
دوره‌ی ۱-۳۵، شماره‌ی ۱/۱، ص. ۷۱-۸۰

Original Article

ارائه‌ی یک مدل دوهدفه برای طراحی شبکه‌ی توزیع در یک زنجیره‌ی تأمین سه سطحی با در نظرگرفتن تورم در محیط فازی

روح اله غیبت خواجه (دانش‌آموخته‌ی کارشناسی ارشد)
ابوالفضل کاظمی* (استادیار)
دانشکده مهندسی صنایع و مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد قزوین

طراحی و تحلیل شبکه‌ی توزیع در یک زنجیره‌ی تأمین یکی از مهم‌ترین مسائل پیش روی شرکت‌های توزیع‌کننده است. در این مقاله به بهینه‌سازی دوهدفه‌ی شبکه‌ی توزیع در یک زنجیره‌ی تأمین سه‌سطحی در حالت چندمحصولی - چند دوره‌یی که شامل کارخانجات تولیدی و مراکز توزیع و مشتریان است، پرداخته شده است. در تحقیق پیش رو سعی شده است اثر برخی از عوامل مانند شرایط آب و هوایی، حملات تروریستی و ... بر روی شبکه‌های توزیع در قالب مفهوم قابلیت اطمینان بررسی شود. در این مقاله همچنین سعی شده است با فازی در نظر گرفتن برخی از هزینه‌ها و بررسی اثر تورم بر روی هزینه‌هایی که مراکز توزیع با آنها درگیرند هرچه بیشتر مسئله به مسائل مرتبط در دنیای واقعی نزدیک‌تر شود. بنابراین افزودن قابلیت اطمینان به‌عنوان یک هدف جدید و همچنین بررسی اثر تورم بر روی هزینه‌های مراکز توزیع از جمله جنبه‌های نوآوری در این تحقیق هستند. از آن‌جا که این مسئله پیچیدگی بالایی دارد و جزء مسائل NP-hard است، از روش فرابتکاری ژنتیک در حل آن استفاده شده و در نهایت نتایج به دست آمده تحلیل و بررسی شده است.

واژگان کلیدی: شبکه‌ی توزیع، زنجیره‌ی تأمین، قابلیت اطمینان، تورم، الگوریتم ژنتیک.

r.gheibatkhajeh@gmail.com
abkaazemi@gmail.com

۱. مقدمه

در دهه‌ی ۸۰ میلادی با افزایش تنوع در الگوهای مورد انتظار مشتریان، سازمان‌ها به‌طور فزاینده‌یی به افزایش انعطاف‌پذیری در خطوط تولید و توسعه‌ی محصولات جدید برای ارضای نیازهای مشتریان علاقه‌مند شدند. در دهه‌ی ۹۰ میلادی به همراه بهبود در فرایندهای تولید و به کارگیری الگوهای مهندسی مجدد، مدیران بسیاری از صنایع دریافتند که برای ادامه‌ی حضور در بازار فقط بهبود فرایندهای داخلی و انعطاف‌پذیری در توانایی شرکت کافی نیست، بلکه تأمین‌کنندگان قطعات و مواد نیز باید موادی با بهترین کیفیت و کمترین هزینه تولید کنند و توزیع‌کنندگان محصولات نیز باید ارتباط نزدیکی با سیاست‌های توسعه‌یی بازار تولیدکننده داشته باشند. با چنین نگرشی، رویکردهای زنجیره‌ی تأمین و مدیریت آن پا به عرصه‌ی وجود نهاد. زنجیره‌ی تأمین زنجیره‌یی است که همه‌ی فعالیت‌های مرتبط با جریان کالا و تبدیل مواد از مرحله‌ی تهیه‌ی ماده‌ی اولیه تا مرحله‌ی تحویل کالای نهایی به مصرف‌کننده را شامل می‌شود.[۱]

ارائه‌ی یک مدل کلی زنجیره‌ی تأمین که تمام بخش‌ها و حلقه‌های زنجیره را پوشش دهد بسیار دشوار است. با توجه به پیچیدگی‌های بسیار زیاد یک زنجیره‌ی تأمین در اغلب اوقات، ایجاد یک مدل کلی که تمام بخش‌ها و حلقه‌های زنجیره را پوشش دهد، غیر ممکن است؛ به همین دلیل تمرکز بر روی مدل‌های بهینه‌سازیی که بخش‌هایی از زنجیره‌ی تأمین را یکپارچه می‌سازد، بیشتر شده است.[۲]

سطوح تصمیم‌گیری در مدیریت زنجیره‌ی تأمینی با سه سطح به‌صورت زیر است:

- سطح راهبردی: به تصمیماتی مرتبط است که تأثیر بلندمدت برکارخانه دارند. این سطح تصمیمات مربوط به تعداد، مکان و ظرفیت انبارها و کارخانجات تولیدی و جریان مواد در شبکه‌ی (آمادی) است.
- سطح فنی: تصمیماتی را شامل می‌شود که به‌صورت فصلی یا به‌صورت سالانه روزآمد می‌شود. این سطح تصمیمات مرتبط با خرید و تولید، سیاست‌های موجودی و رویکردهای حمل‌ونقل است.
- سطح عملیاتی: شامل تصمیمات روزانه مانند زمان‌بندی، سهمیه‌بندی زمان تحویل، بارگیری کامیون و تعیین مسیر است.[۳]

* نویسنده مسئول
تاریخ: دریافت ۱۳۹۵/۱۰/۲۵، اصلاحیه ۱۳۹۶/۸/۲۹، پذیرش ۱۳۹۶/۹/۱۴.
DOI:10.24200/J65.2019.6952.1625

www.SID.ir

Archive of SID

مسائل طراحی شبکه‌ی توزیع شامل تصمیماتی راهبردی هستند که بر تصمیمات فنی و عملیاتی تأثیر می‌گذارند. به‌طور خاص این تصمیمات شامل مکان‌یابی تسهیلات، مسیرهای حمل‌ونقل بین مراکز توزیع و مشتریان و میزان موجودی‌هاست که بر هزینه‌های سیستم توزیع و کیفیت خدمات‌رسانی به مشتریان تأثیر می‌گذارند. از این‌رو این تصمیمات، از مسائل مهم و اصلی هر سازمانی هستند و توجه کافی به آنها از ملزومات بقا در دنیای رقابتی امروز است.

از آن‌جا که در نظرگرفتن همه‌ی این تصمیمات به‌صورت یکپارچه سخت است، معمولاً فرضیات ساده‌کننده‌ی بسیاری در مقالات مختلف به کار رفته است و فقط بعضی از جنبه‌های مربوط به تصمیمات شبکه‌ی توزیع مدل شده‌اند.

۲. بیان مسئله

محققان مسئله‌ی زنجیره‌ی تأمین را از جنبه‌های گوناگونی مطالعه کرده‌اند؛ این مطالعات از دیدگاه‌های مختلفی قابل بررسی و طبقه‌بندی است که یک نوع آن نحوه‌ی طراحی شبکه‌ی توزیع در یک زنجیره‌ی تأمین است که تحت تأثیر عوامل مختلفی است. مسئله‌ی طراحی شبکه‌ی توزیع در یک زنجیره‌ی تأمین ترکیبی از چندین تصمیم است که باید به‌طور هم‌زمان بهینه‌سازی شوند تا شبکه‌ی توزیع مناسبی شکل گیرد. این تصمیمات شامل تصمیمات مربوط به مکان‌یابی، سطح موجودی‌ها، تخصیص، ظرفیت و ... در یک شبکه‌ی توزیع است. تاکنون تحقیقات مختلفی در طراحی شبکه‌ی توزیع در یک زنجیره‌ی تأمین انجام شده است؛ مثلاً در سال ۲۰۰۶، امیری[۴] با مدلی که ارائه کرد به مکان‌یابی کارخانه‌های تولیدی و انبارهای توزیع پرداخت. درسال ۲۰۱۵، احمدی جاوید و حسین پور[۵] تصمیمات مربوط به مکان‌یابی تسهیلات، سطح موجودی‌ها و قیمت‌گذاری را به‌طور هم‌زمان در طراحی شبکه‌ی توزیع اعمال کردند.

در این مقاله یک زنجیره‌ی تأمین سه‌سطحی در نظر می‌گیریم که شامل سه سطح کارخانه‌های تولیدی، مراکز توزیع و مشتریان (خرده‌فروشان) است. در این تحقیق فرض بر این است که کارخانه‌های تولیدی و خرده‌فروشان از قبل مکان‌یابی شده‌اند و فقط به مکان‌یابی شبکه‌ی توزیع می‌پردازیم. البته در این تحقیق علاوه‌بر مکان‌یابی سعی می‌کنیم سطوح موجودی‌ها در هر یک از شبکه‌های توزیع (انبارها) و همچنین تخصیص خرده‌فروشان به هریک از انبارهای توزیع و ظرفیت انبارها را نیز در نظر بگیریم. یکی از اهداف این پژوهش این است که تمام این کارها با کمترین هزینه که شامل هزینه‌های احداث شبکه‌های توزیع، حمل‌ونقل، نگهداری موجودی و سایر هزینه‌های مربوط است، انجام شود.

در مدلی که ارائه می‌دهیم یکی از توابع هدف را بیشینه کردن قابلیت اطمینان در نظرگرفته‌ایم؛ زیرا این امکان وجود دارد زمانی که ما کالاها و محصولات خود را از کارخانه‌ها به شبکه‌های توزیع و از آن‌جا به خرده‌فروشان ارسال می‌کنیم، محصولات ارسالی دچار مشکلاتی از قبیل بلایای طبیعی، حملات تروریستی، تغییر مالکیت، اشتباهات کاری، تغییرات آب و هوایی و مسائلی مشابه این‌ها بشوند که باعث می‌شود کالاهای ارسالی با تأخیر یا صدمات احتمالی به دست مشتریان برسند. به همین دلیل یکی از اهداف مدل را، که در تحقیقات قبلی کمتر مورد توجه قرار گرفته است، بیشینه کردن قابلیت اطمینان در نظرگرفته‌ایم. البته در تحقیقات قبلی قابلیت اطمینان با مفاهیم مختلفی بیان شده است مثلاً با عنوان بیشینه‌ی رضایتمندی مشتری گفته شده است که ناشی از برآورده شدن تمام نیازهای مشتری در زمان مناسب است؛ اما از آن‌جا که مفهوم مورد نظر در برخی از زنجیره‌های تأمین در مناطق خاصی کاربرد فراوانی دارد به همین دلیل از این مفهوم استفاده کرده‌ایم.

همان‌طورکه می‌دانیم لازم است که اثرات تورم در تجزیه و تحلیل‌های اقتصادی در نظر گرفته شود.[۶] پیش‌بینی و اندازه‌گیری نرخ تورم بسیار مشکل است که باید توسط افراد خبره انجام پذیرد و از این رو ما فرض می‌کنیم که این نرخ از طریق سازمان آمار قابل دسترسی است. به سبب این‌که در مسائل مربوط به زنجیره‌ی تأمین بحث موجودی‌های از اهمیت ویژه‌یی برخوردار است در نظرگرفتن تورم نیز نباید فراموش شود؛ چون در برخی از کشورها که دارای ثبات اقتصادی نیستند، در نظرگرفتن تورم امری اجتناب‌ناپذیر است. از این‌رو سعی داریم در این مقاله با در نظرگرفتن تورم در هر دوره مدل ارائه شده را هرچه بیشتر به واقعیت نزدیک کنیم. در تحقیق ارائه شده بحث طراحی شبکه‌ی توزیع از دو بعد بررسی شده است: اول این‌که در اکثر تحقیقات قبلی تقاضا به‌صورت قطعی در نظرگرفته شده است که در این تحقیق با فازی در نظرگرفتن تقاضا سعی می‌کنیم تحقیق انجام گرفته را هر چه بیشتر به واقعیت نزدیک‌تر کنیم. همچنین با فازی در نظرگرفتن تقاضا بر بسیاری از مشکلاتی که در مدل‌های قبلی در مورد طراحی شبکه‌ی توزیع وجود داشت، غلبه می‌کنیم. دوم در نظرگرفتن تورم در هر دوره است که این خود سبب هرچه بیشتر کاربردی شدن این تحقیق می‌شود. یعنی این‌که در هر دوره نسبت به دوره‌ی قبلی به کلیه‌ی هزینه‌های مربوط به مرکز توزیع نرخ تورم مشخصی را اعمال می‌کنیم. هدف مورد نظر در این تحقیق ارائه‌ی مدل جدیدی برای طراحی شبکه‌ی توزیع است که در آن کلیه‌ی هزینه‌ها کمینه شود و قابلیت اطمینان (در این تحقیق قابلیت اطمینان به مفهوم درصد کالاهایی است که سالم به دست مشتری می‌رسند) بیشینه شود. در این مقاله تصمیمات مربوط به مکان‌یابی، مسیریابی، سطح موجودی، تخصیص سفارش‌ها و ظرفیت انبارهای توزیع به‌طور هم‌زمان بررسی شده و بهینه‌سازی می‌شوند. این تحقیق می‌تواند یک مطالعه‌ی بسیارکاربردی در زمینه‌ی مدیریت زنجیره‌ی تأمین باشد که برای بسیاری از مدیران این حوزه قابل استفاده است.

۳. پیشینه‌ی پژوهش

مسائل مربوط به زنجیره‌ی تأمین دارای جنبه‌های مختلفی هستند، در تحقیقاتی که در این زمینه انجام گرفته است، اکثراً هدف کاهش هزینه‌ها یا افزایش سود شبکه‌ی زنجیره تأمین است؛ این در حالی است که در دنیای واقعی برای رسیدن به یک زنجیره‌ی تأمین ایده‌آل نیاز است تا اهداف گوناگونی را در کنار هم بررسی کنیم. در مقاله‌ی پیش رو به سراغ مرور تحقیقاتی خواهیم رفت که طراحی شبکه‌ی توزیع در یک زنجیره‌ی تأمین را با ایده‌های جدید و از جنبه‌های متفاوتی بررسی کرده‌اند.

امیری[۴] طراحی شبکه‌ی توزیع را در یک زنجیره‌ی تأمین با هدف کاهش مجموع هزینه‌های مربوط به یک زنجیره‌ی تأمین مطالعه کرده است. در این مطالعه به مکان‌یابی کارخانه‌های تولیدی و انبارهای توزیع پرداخته شده و دنبال یافتن بهترین راهبرد برای توزیع محصولات از کارخانه به انبار و از آن‌جا به مشتریان است. در این مطالعه یک مدل برنامه‌ریزی خطی صحیح آمیخته (MIP) ارائه شده است که با استفاده از یک روش ابتکاری حل شده است. ویژگی خاص این تحقیق ارائه‌ی سطوح ظرفیت مختلف برای انبارها و کارخانه‌هاست.

در سال ۲۰۱۱، کشتلی[۷] مقاله‌یی را ارائه کرد که در آن یک زنجیره‌ی تأمین دو سطحی را - شامل مراکز توزیع و مشتریان - بررسی کرده است. وی در این مطالعه

www.SID.ir

Archive of SID

مدلی را ارائه کرده که هدف آن کمینه کردن مجموع هزینه‌هاست. در نهایت برای حل این مدل دو روش فراابتکاری را پیشنهاد کرده است و دو الگوریتم را برای ابعاد مختلف مسئله با یکدیگر مقایسه کرده است.

تحقیقات دیگری نیز وجود دارند که مسئله‌ی طراحی شبکه‌ی توزیع را به‌صورت تک‌هدفه بررسی نکرده‌اند، بلکه به جنبه‌های مختلف آن نیز پرداخته‌اند که در ادامه به برخی از این تحقیقات اشاره می‌کنیم.

در سال ۲۰۰۸، سلیم و ازکاراهان[۸] یک مدل برنامه‌ریزی خطی چندهدفه را برای مسئله‌ی طراحی شبکه‌ی توزیع زنجیره‌ی تأمین توسعه داده‌اند. در این تحقیق زنجیره‌ی تأمین شامل پنج سطح تأمین‌کنندگان، کارخانه‌ها، انبارها، خرده‌فروشان و مشتریان است. مدل ارائه شده دارای سه هدف کمینه کردن هزینه‌های حمل‌ونقل، کمینه کردن هزینه‌های سرمایه‌گذاری در کارخانه‌ها و انبارهای باز و بیشینه کردن میزان سطح خدمت به مشتریان است. مدل ارائه شده در این تحقیق یک برنامه‌ریزی آرمانی فازی (IFGP) [۱] است و این خود قابلیت اجرایی مدل را نیز افزایش داده است و در انتها مدل در مقیاس‌های واقعی نیز امتحان شده است.

در سال ۲۰۰۹، میراندا و گریدو[۹] یک روش ابتکاری برای بهینه‌سازی سطح خدمت موجودی در یک زنجیره‌ی تأمین دومرحله‌یی ارائه کرده‌اند. روش پیشنهادی به‌طور هم‌زمان سطح خدمت موجودی و تصمیمات مربوط به طراحی شبکه‌ی توزیع را بررسی کرده است.

در سال ۲۰۱۰، احمدی جاوید و آزاد[۱۰] در تحقیق خود مدل جدیدی ارائه کرده‌اند که در آن به‌طور هم‌زمان تصمیمات مربوط به مکان‌یابی، تخصیص، ظرفیت موجودی و مسیریابی در یک سیستم زنجیره‌ی تأمین بهینه‌سازی می‌شود. در این تحقیق آنها مدل ارائه شده را با استفاده از دو روش حل کرده و روش‌ها را با هم مقایسه کرده‌اند.

در سال ۲۰۱۲، سجادی و داوودپور[۱۱] تحقیقی را انجام داده‌اند که در آن یک زنجیره‌ی تأمین دو سطحی بررسی شده است. در این مطالعه با استفاده از یک مدل برنامه‌ریزی خطی صحیح آمیخته به مکان‌یابی و همچنین اندازه‌ی کارخانه‌های تولیدی و انبارهای توزیع پرداخته شده است. هدف مدل ارائه شده کمینه کردن مجموع هزینه‌هاست. در انتها نیز مدل ارائه‌شده با استفاده از یک روش ابتکاری و در ابعاد واقعی با یک مثال عددی توسعه داده شده است.

در سال ۲۰۱۳، تسو[۱۲] تحقیقی در مورد طراحی شبکه‌ی توزیع بر اساس اعتبارات تجاری انجام داده است. این تحقیق با استفاده از یک روش تقریبی مدل‌سازی شده است و با استفاده از یک الگوریتم، که پایه‌ی آن بهینه‌سازی غیرخطی است، روش حل فراهم کرده است و در انتها تأثیر پارامترها را در تصمیمات و هزینه‌ها با توجه به مدل ارائه کرده است.

در سال ۲۰۱۴، آشتاب و همکاران[۱۳] زنجیره‌ی تأمین سه‌سطحی را بررسی کرده‌اند که شامل سه‌سطح تأمین‌کننده، مرکز توزیع و مشتری است. در این تحقیق تأمین‌کننده و مشتری (منطقه‌ی مشتری) ثابت نگه داشته شده و تنها محل مرکز توزیع متغیر است و ایجاد یا عدم ایجاد آن و محل تأسیس آن به عنوان متغیر تصمیم در نظر گرفته شده است. مدل این تحقیق تک هدفه است و هدف آن کمینه کردن مجموع هزینه‌های مربوط به شبکه‌ی توزیع است. در این تحقیق مدل ابتدا به شکل برنامه‌ریزی درجه دوم دودویی (BQP) [۲] در آمده است که قابل حل نیست؛ به همین علت مدل را به‌صورت برنامه‌ریزی درجه دوم دودویی ترکیبی به صورت خوشه‌بندی (CMBLP) [۳] درآورده است تا قابلیت حل داشته باشد و در انتها با استفاده از یک مثال عددی مدل را آزمون کرده است.

در سال ۲۰۱۵، احمدی جاوید و حسین‌پور[۵] مدلی به‌صورت یک برنامه‌ریزی صحیح - آمیخته غیرخطی ارائه کرده‌اند که توسط الگوریتم تخفیف لاگرانژ برای دو حالت شبکه‌ی توزیع دارای ظرفیت و شبکه‌ی توزیع بدون ظرفیت حل شده است. هدف این تحقیق بیشینه‌سازی سود موجودی در حالت چندمحصولی برای شبکه‌ی توزیع زنجیره‌ی تأمین با در نظرگرفتن تقاضای حساس به قیمت است و در آخر نیز مشاهده شده است که مدل ارائه شده برای مسائل با ابعاد بزرگ نیز مناسب است.

پسندیده و همکاران[۱۴] در سال ۲۰۱۵ یک شبکه‌ی زنجیره‌ی تأمین سه سطحی چندمحصولی چنددوره‌یی را با در نظرگرفتن قابلیت اطمینان مطالعه کرده‌اند. در مدلی که در این تحقیق ارائه شده دو هدف وجود دارد که اولی کمینه کردن همه‌ی هزینه‌ها و دیگری بیشینه کردن قابلیت اطمینان (مقدار کالاهایی که سالم به دست مشتریان می‌رسند) است. مدل ارائه شده در این تحقیق یک مدل برنامه‌ریزی خطی صحیح آمیخته (MIP) [۴] است. در انتها نیز مدل با استفاده از شش روش MODM حل شده و بهترین روش برای حل این مدل تعیین شده است.

شوزو و همکاران[۱۵] در سال ۲۰۱۶ یک مدل راهبردی جدید برای شبکه‌ی توزیع در زنجیره‌ی تأمین ارائه کردند. در این مدل سعی شده است روشی برای ارتباط مستقیم با مشتریان و نیازهای آنها فراهم شود. در مدل ارائه شده اهدافی مانند کاهش هزینه‌های اقتصادی، افزایش پوشش مشتری و کاستن تأثیرات محیطی مورد توجه قرار گرفته است. و در نهایت با استفاده از روش فراابتکاری کلونی زنبور عسل اعتبارسنجی شده است.

یان فانگ و همکاران[۱۶] یک مدل تولید ـ توزیع با استفاده برنامه‌ریزی دوسطحی برای یک زنجیره‌ی تأمین ارائه کرده‌اند. در مدل ارائه شده یک بخش به عنوان تصمیم‌گیرنده به سایر شاخه‌های زنجیره اعم از تولید و توزیع به‌صورت سلسله مراتبی دستور می‌دهد. در پایان مدل ارائه شده در قالب یک مثال موردی با الگوریتم ژنتیک دومرحله‌یی حل می‌شود.

مشاهده می‌شود در هیچ یک از تحقیقات پیشین مفهوم تورم وجود ندارد؛ در تحقیق پیش رو سعی داریم با مطرح کردن برخی از بحث‌های تحقیقات قبلی و همچنین اضافه کردن مفهوم قابلیت اطمینان به معنی و مفهوم میزان کالایی که سالم به دست مشتری می‌رسد و همچنین بررسی اثر تورم، مدلی ارائه دهیم که هرچه بیشتر با مسائل مربوط به دنیای واقعی سازگار باشد.

۴. مدل‌سازی مسئله

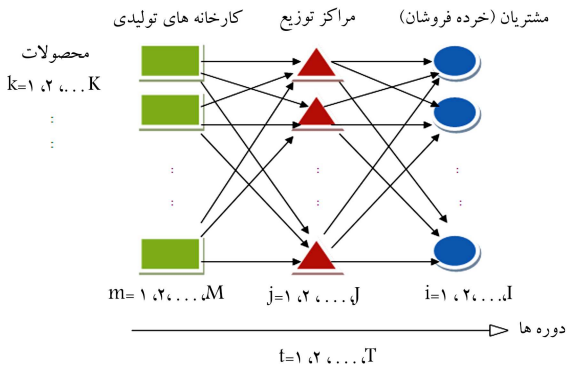
مدل ارائه شده در این مقاله، جزو مسائل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط فازی دوهدفه است که در فضای گسسته بیان شده است. این تحقیق به این دلیل گسسته است که مراکز توزیع در مکان‌های بالقوه و معلومی می‌توانند قرار گیرند و با توجه به نوع مسئله و بعد از حل آن محل مراکز توزیع مشخص می‌شود. شبکه‌ی زنجیره‌ی تأمین در نظرگرفته شده رو به جلو است یعنی جریان مواد و کالاها از کارخانه‌های تولیدی به سمت مراکز توزیع و از مراکز توزیع به سمت مشتریان (خرده‌فروشان) است. در شکل ۱ ساختار زنجیره‌ی تأمین مورد نظر نشان داده شده است. هدف اول که به دنبال دست‌یابی به آن هستیم بیشینه کردن قابلیت اطمینان است که مفهوم آن قبلاً بیان شده و در این مدل به صورت فازی در نظرگرفته شده است. همچنین به دنبال دست‌یابی به میزان تقاضای مشتریان هستیم که به صورت فازی است.

فرضیات ذیل نیز برای توسعه‌ی این شبکه‌ی زنجیره‌ی تأمین سه‌سطحی در نظر گرفته شده است:

- زنجیره‌ی تأمین ما یک زنجیره‌ی تأمین سه‌سطحی است.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱. زنجیره تأمین مورد بحث مقاله.

- زنجیره‌ی تأمین رو به جلو است.
- ظرفیت تولیدکنندگان و توزیع‌کنندگان محدود است.
- مدل به‌صورت چندمحصولی و چنددوره‌یی است.
- در این مدل کمبود مجاز نیست و باید تمام تقاضاهای مشتریان (خرده‌فروشان) پاسخ داده شود.
- مکان‌یابی از حیث مساحت، نقطه‌یی است؛ یعنی هریک از تسهیلات اعم از کارخانه‌های تولیدی، مراکز توزیع و مشتریان (خرده‌فروشان) به‌صورت یک نقطه در نظر گرفته می‌شوند.
- مکان‌های مربوط به کارخانه‌های تولیدی و مشتریان (خرده‌فروشان) از قبل معلوم و ثابت است و مکان‌های مراکز توزیع بالقوه هستند و بر اساس جواب به دست آمده بعد از حل بهینه‌ی مدل به دست می‌آیند.
- در قسمت بعد به معرفی اندیس‌ها، پارامترها و متغیرهای تصمیم مدل می‌پردازیم.

۱.۴. مجموعه‌ها، پارامترها و متغیرهای تصمیم

- اندیس‌ها

m: اندیس مربوط به کارخانه‌های تولیدی $(m = ۱, ۲, \ldots, M)$.
j: اندیس مربوط به مراکز توزیع بالقوه $(j = ۱, ۲, \ldots, J)$.
i: اندیس مربوط به خرده‌فروشان $(i = ۱, ۲, \ldots, I)$.
k: اندیس مربوط به محصول نهایی $(k = ۱, ۲, \ldots, K)$.
t: اندیس مربوط به هر دوره که طول دوره برابر τ است $(t = ۱, ۲, \ldots, T)$.

- پارامترها:

$\tilde{C}^k_{mt}$: هزینه‌ی فازی تولید هر واحد محصول k درکارخانه‌ی m در دوره‌ی t
$\tilde{d}^k_{mjt}$: هزینه‌ی فازی حمل‌ونقل هر واحد محصول k از کارخانه‌ی m به مرکز توزیع j در دوره‌ی t
$\tilde{d}^k_{jit}$: هزینه‌ی فازی حمل‌ونقل هر واحد محصول k از مرکز توزیع j به خرده‌فروش i در دوره‌ی t
H^k_{jt}: هزینه‌ی نگهداری موجودی هر واحد محصول k در مرکز توزیع j در دوره‌ی t
H^k_{mt}: هزینه‌ی نگهداری موجودی هر واحد محصول k درکارخانه m در دوره‌ی t
F_j: هزینه‌ی ثابت انتخاب هر مرکز توزیع j برای احداث
PT^k_m: زمان مورد نیاز برای تولید هر واحد محصول k درکارخانه‌ی m در هر دوره‌ی $(h/unit)$
TT_{mt}: زمان کل در دسترس برای کارخانه‌ی m بابت تولید محصول k در دوره‌ی t
W_j: مجموع ظرفیت ذخیره‌سازی موجود مرکز توزیع j برای محصولات انبار شده در هر دوره‌ی $(m^۳)$
W_m: ظرفیت ذخیره‌سازی موجود درکارخانه‌ی m برای محصولات ذخیره شده در یک دوره‌ی $(m^۳)$
R^k_m: ظرفیت کل در دسترس حمل‌ونقل برای کارخانه‌ی m بابت فرستادن محصول k در یک دوره
$\tilde{D}^k_{it}$: تقاضای فازی محصول k توسط خرده‌فروش iام در دوره‌ی t
V_k: حجم هر واحد محصول $(m^۳)$
FR_t: تورم موجود در دوره‌ی t
$\tilde{R}_{ji}$: قابلیت اطمینان فازی در ارسال سالم و به موقع محصول k از مرکز توزیع j به خرده‌فروش i

- متغیرهای تصمیم:

E^k_{mt}: اگر محصول k توسط کارخانه‌ی m در طول دوره‌ی t تولید شود مقدار ۱ را به خود می‌گیرد و در غیر این صورت صفر است.
Y_j: اگر مرکز توزیع j احداث شود مقدار ۱ را به خود می‌گیرد و در غیر این صورت صفر است.
Q^k_{mt}: تعداد محصول k تولیدشده توسط کارخانه‌ی m در دوره‌ی t
U^k_{mjt}: تعداد محصول k ارسال شده توسط کارخانه m به مرکز توزیع j در دوره‌ی t
X^k_{jit}: تعداد محصول k ارسال شده از مرکز توزیع j به خرده‌فروش i در دوره‌ی t
I^k_{mt}: موجودی محصول k درکارخانه‌ی m در پایان دوره‌ی t
I^k_{jt}: موجودی محصول k در مرکز توزیع j در پایان دوره‌ی t

۲.۴. مدل ریاضی

برای مدل‌سازی مسئله‌ی تعریف شده از روش مدل‌سازی برنامه‌ریزی غیرخطی صحیح آمیخته (FMINLP) استفاده شده است. در ادامه مدل ریاضی مورد نظر ارائه می‌شود.

$$
\begin{aligned}
MinZ_۱ = & \sum_{j=۱}^{J} F_j Y_j + \sum_{m=۱}^{M}\sum_{j=۱}^{J}\sum_{k=۱}^{K}\sum_{t=۱}^{T} \tilde{d}^k_{mjt} U^k_{mjt} \sum_{j=۱}^{J} F_j Y_j \\
& + \sum_{m=۱}^{M}\sum_{k=۱}^{K}\sum_{t=۱}^{T} \tilde{C}^k_{mt} Q^k_{mt} + \sum_{j=۱}^{j}\sum_{i=۱}^{I}\sum_{k=۱}^{K}\sum_{s=۱}^{T} \tilde{d}^k_{ji۱} \prod_{t=۱}^{s} \\
& (۱ + FR_{jt}) X^k_{jis} + \sum_{m=۱}^{M}\sum_{k=۱}^{K}\sum_{t=۱}^{T} H^k_{mt} I^k_{mt} \\
& + \sum_{j=۱}^{J}\sum_{k=۱}^{K}\sum_{s=۱}^{T} H^k_{j۱} \prod_{t=۱}^{s} (۱ + FR_{jt}) I^k_{js} \qquad (۱)
\end{aligned}
$$

$$
MaxZ_۲ = \sum_{j=۱}^{J}\sum_{i=۱}^{I}\sum_{k=۱}^{K}\sum_{t=۱}^{T} \tilde{R}_{ji} X^k_{jit} \qquad (۲)
$$

$$
\sum_{k=۱}^{K} PT^k_m Q^k_{mt} \le TT_{mt} \qquad \forall_{m,t} \qquad (۳)
$$

$$
\sum_{k=۱}^{K}\sum_{m=۱}^{M} V_k U^k_{mjt} \le W_j Y_j \qquad \forall_{j,t} \qquad (۴)
$$

www.SID.ir

Archive of SID

$$\sum_{j=1}^{J} X_{jit}^{k} \geq \tilde{D}_{it}^{k} \qquad \forall_{i,t,k} \qquad (۵)$$

$$\sum_{k=1}^{K} V_k I_{jt}^{k} \leq W_j Y_j \qquad \forall_{j,t} \qquad (۶)$$

$$\sum_{j=1}^{J} U_{mjt}^{k} \leq R_m^k E_{mt}^k \qquad \forall_{k,t,m} \qquad (۷)$$

$$\sum_{k=1}^{K} V_k Q_{mt}^{k} \leq W_m \qquad \forall_{m,t} \qquad (۸)$$

$$\sum_{k=1}^{K} V_k I_{mt}^{k} \leq W_m \qquad \forall_{m,t} \qquad (۹)$$

$$I_{jt}^{k} = I_{j(t-1)}^{k} + \sum_{m=1}^{M} U_{mjt}^{k} - \sum_{i=1}^{I} X_{jit}^{k} \qquad \forall_{j,t,k} \qquad (۱۰)$$

$$I_{mt}^{k} = I_{m(t-1)}^{k} + Q_{mt}^{k} - \sum_{j=1}^{J} U_{mjt}^{k} \qquad \forall_{m,t,k} \qquad (۱۱)$$

$$Y_j, E_{mt}^{k} \in \{0, 1\} \qquad \forall_{m,j,k,t} \qquad (۱۲)$$

$$Q_{mt}^{k}, I_{mt}^{k}, X_{jit}^{k}, U_{mjt}^{k}, I_{jt}^{k} \geq 0 \qquad \forall_{m,j,i,k,t} \qquad (۱۳)$$

تابع هدف ۱ نشان‌دهنده‌ی کمینه‌سازی Z_1 در حالتی است که هزینه‌ی تولید کالا و هزینه‌های مربوط به حمل‌ونقل در حالت فازی هستند و بقیه‌ی هزینه‌ها در حالت قطعی قرار دارند و همچنین تورم بر روی هزینه‌های مرکز توزیع اعمال شده است. تابع هدف ۲ نشان‌گر این است که قابلیت اطمینان در حالت فازی است. محدودیت ۳ بیان‌گر این موضوع است که زمان مورد نیاز برای تولید هر واحد محصول در هر کارخانه نباید از زمان در دسترس تجاوز کند. محدودیت ۴ بیان‌گر این موضوع است که حجم کالای ارسالی از کارخانه‌ها به مراکز توزیع باید کمتر از ظرفیت آن مرکز توزیع باشد. محدودیت ۵ نشان می‌دهد که باید میزان کالای ارسالی از مراکز توزیع به مشتریان از تقاضای آنها که به‌صورت فازی در نظرگرفته شده است، بیشتر باشد؛ زیرا در مدل کمبود مجاز نیست. محدودیت ۶ بیان‌گر این مطلب است که حجم موجودی مرکز توزیع باید از ظرفیت آن مرکز توزیع کمتر باشد. محدودیت ۷ بیان می‌کند که کالاهای ارسالی از کارخانه‌ها به مراکز توزیع باید از ظرفیت حمل‌ونقل کمتر باشد. محدودیت ۸ بیان‌گر این موضوع است که حجم محصولات تولید شده توسط کارخانه باید کمتر از ظرفیت ذخیره‌سازی موجودی کارخانه باشد. محدودیت ۹ بیان می‌کند که حجم موجودی کارخانه باید کمتر از ظرفیت ذخیره‌سازی موجودی کارخانه باشد. رابطه‌ی ۱۰ برای ایجاد تعادل بین موجودی محصولات در مراکز توزیع بالقوه است. رابطه‌ی ۱۱ برای ایجاد تعادل بین موجودی محصولات در کارخانه‌هاست. رابطه‌ی ۱۲ و ۱۳ نوع متغیرها و مقادیر ممکن برای هریک از آنها را تعریف می‌کند.

۵. توسعه‌ی مدل در محیط فازی

در این بخش راهبرد به‌کار رفته برای توسعه‌ی مدل در محیط فازی تشریح می‌شود.

۱.۵. داده‌های فازی

توزیع امکان[5] می‌تواند معیاری برای درجه‌ی وقوع یک اتفاق با استفاده از داده‌های غیرقطعی باشد. در حالت کلی، توزیع امکان یک روش مؤثر در تعیین ضرایب و پارامترها، در پدیده‌هایی که ذاتاً مبهم و غیرقطعی هستند، فراهم آورده است.[۱۷] در این تحقیق، همان‌طور که قبلاً در فرضیات مدل اشاره شد، از توزیع احتمال مثلثی[6] برای برخورد با داده‌های فازی استفاده می‌شود. مزیت اصلی توزیع مثلثی سادگی و انعطاف‌پذیری آن در عملیات‌های محاسباتی فازی است.[۱۸] در موقعیت‌های عملی، تصمیم‌گیرنده می‌تواند توزیع امکان مثلثی را اجرا کند.

$\tilde{C}_{ij}$ داده‌ی فازی است که به عنوان عدد اصلی و با سه داده‌ی زیر بیان می‌شود.[۱۹]

۱. بدبینانه‌ترین[7] مقدار (C_{ij}^{p}) که احتمال وقوع بسیارکمی دارد و متعلق به مجموعه‌ی مقادیر موجود است (میزان احتمال آن در حالت نرمال‌سازی[8] شده برابر صفر است).

۲. بیشترین احتمال (C_{ij}^{m}) که معلوم است دقیقاً متعلق به مجموعه‌ی مقادیر موجود می‌باشد (میزان احتمال آن در حالت نرمال‌سازی شده برابر یک است).

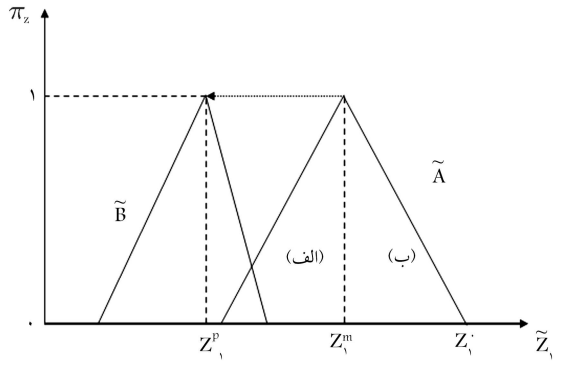
۳. خوشبینانه‌ترین[9] (C_{ij}^{O}) که احتمال وقوع آن بسیارکم است و متعلق به مجموعه‌ی مقادیر موجود است (میزان احتمال آن در حالت نرمال‌سازی شده برابر صفر است).

۲.۵. روش حل توابع فازی

توابع هدف غیر قطعی به صورتی که قبلاً گفته شد طراحی شده‌اند که دارای توزیع مثلثی هستند. به‌صورت هندسی هدف غیرقطعی ۱ همان‌گونه که در شکل ۲ مشاهده می‌شود به‌صورت کامل در سه نقطه‌ی مشخص $(Z_1^{p}, 0)$، $(Z_1^{m}, 1)$ و $(Z_1^{o}, 0)$ تعریف می‌شود. هدف غیرقطعی می‌تواند بر اساس حرکت هر سه نقطه به سمت چپ کمینه‌سازی شود. در روش پیشنهادی Hwang, Lai (۱۹۹۲) به‌صورت هم‌زمان Z_1^{m} را کمینه و $(Z_1^{m} - Z_1^{p})$ بیشینه و همچنین $(Z_1^{o} - Z_1^{m})$ را کمینه می‌کنیم.

راهبرد حل برای این تابع هدف به‌صورت هم‌زمان کمینه کردن مقدار هدف ممکن تابع هدف غیر قطعی است. Z_1^{m}، بیشترین مقدار به دست آمده برای کوچکترین مقدار هدف است (ناحیه‌ی الف توزیع امکان در شکل ۲)، $(Z_1^{m} - Z_1^{p})$ و کمینه کردن ریسک برای به دست آوردن بالاترین مقدار هدف (ناحیه‌ی ب توزیع امکان در شکل ۲)، $(Z_1^{o} - Z_1^{m})$ دو هدف حقیقی بعدی وابسته به اندازه‌ی Z_1^{m} هستند، مقدار ممکن باید تمام هزینه‌های جاری غیرقطعی را شامل شود.[۱۷]

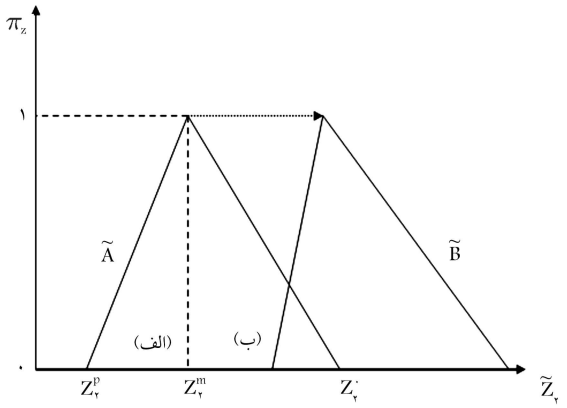
تابع هدف دوم نیز همانند تابع هدف غیرقطعی است با این تفاوت که از نوع بیشینه‌سازی است؛ پس به این ترتیب تقریباً همان مطالب قبلی نیز در این‌جا صدق می‌کند با این تفاوت که جهت حرکت ما به سمت راست و تابع از نوع بیشینه‌سازی است. به‌صورت هندسی هدف غیر قطعی (۲) همان‌گونه که در شکل ۳ مشاهده



شکل ۲. راهبرد کمینه‌سازی توابع هدف فازی.[۱۷]

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۳. راهبرد بیشینه‌سازی توابع هدف فازی.

می‌شود به‌صورت کامل توسط سه نقطه‌ی مشخص شده بر روی شکل که با مختصات $(Z_2^o, ۰), (Z_2^m, ۱), (Z_2^p, ۰)$ نشان داده شده‌اند، تعریف می‌شوند. هدف غیرقطعی می‌تواند با حرکت هر سه نقطه به سمت راست بیشینه شود. در روش پیشنهادی Hwang, Lia (۱۹۹۲)، به‌صورت هم‌زمان Z_2^m را بیشینه، $(Z_2^m - Z_2^p)$ را کمینه و همچنین $(Z_2^o - Z_2^m)$ را بیشینه می‌کنیم.

معادلات ۱۴ تا ۱۶ فهرست نتایج را برای سه تابع هدف جدید معادل کل هزینه‌های جاری در رابطه‌ی ۱ را نشان می‌دهد.

$$\begin{aligned} MinZ_{11} = Z_1^m &= \sum_{j=1}^{J} F_j Y_j + \sum_{m=1}^{M}\sum_{k=1}^{K}\sum_{t=1}^{T} C_{mkt}^m Q_{mt}^k \\ &+ \sum_{m=1}^{M}\sum_{j=1}^{J}\sum_{k=1}^{K}\sum_{t=1}^{T} d_{mjkt}^m U_{mjt}^k + \sum_{j=1}^{j}\sum_{i=1}^{I}\sum_{k=1}^{K}\sum_{s=1}^{T} d_{jik1}^m \\ &\prod_{t=1}^{s}(1+FR_{jt}) X_{jis}^k + \sum_{m=1}^{M}\sum_{k=1}^{K}\sum_{t=1}^{T} H_{mt}^k I_{mt}^k \\ &+ \sum_{j=1}^{J}\sum_{k=1}^{K}\sum_{s=1}^{T} H_{j1}^k \prod_{t=1}^{s}(1+FR_{jt}) I_{js}^k \end{aligned} \quad (۱۴)$$

$$\begin{aligned} MaxZ_{12} = (Z_1^m - Z_1^p) &= \sum_{j=1}^{J} F_j Y_j \\ &+ \sum_{m=1}^{M}\sum_{k=1}^{K}\sum_{t=1}^{T} (C_{mkt}^m - C_{mkt}^p) Q_{mt}^k \\ &+ \sum_{m=1}^{M}\sum_{j=1}^{J}\sum_{k=1}^{K}\sum_{t=1}^{T} (d_{mjkt}^m - d_{mjkt}^p) U_{mjt}^k \\ &+ \sum_{j=1}^{j}\sum_{i=1}^{I}\sum_{k=1}^{K}\sum_{s=1}^{T} (d_{jik1}^m - d_{jik1}^p) \prod_{t=1}^{s}(1+FR_{jt}) X_{jis}^k \\ &+ \sum_{m=1}^{M}\sum_{k=1}^{K}\sum_{t=1}^{T} H_{mt}^k I_{mt}^k + \sum_{j=1}^{J}\sum_{k=1}^{K}\sum_{s=1}^{T} H_{j1}^k \prod_{t=1}^{s}(1+FR_{jt}) I_{js}^k \end{aligned} \quad (۱۵)$$

$$\begin{aligned} MinZ_{13} = (Z_1^o - Z_1^m) &\sum_{j=1}^{J} F_j Y_j \\ &+ \sum_{m=1}^{M}\sum_{k=1}^{K}\sum_{t=1}^{T} (C_{mkt}^o - C_{mkt}^m) Q_{mt}^k \\ &+ \sum_{m=1}^{M}\sum_{j=1}^{J}\sum_{k=1}^{K}\sum_{t=1}^{T} (d_{mjkt}^o - d_{mjkt}^m) U_{mjt}^k \\ &+ \sum_{j=1}^{j}\sum_{i=1}^{I}\sum_{k=1}^{K}\sum_{s=1}^{T} (d_{jik1}^o - d_{jik1}^m) \prod_{t=1}^{s}(1+FR_{jt}) X_{jis}^k \\ &+ \sum_{m=1}^{M}\sum_{k=1}^{K}\sum_{t=1}^{T} H_{mt}^k I_{mt}^k + \sum_{j=1}^{J}\sum_{k=1}^{K}\sum_{s=1}^{T} H_{j1}^k \prod_{t=1}^{s}(1+FR_{jt}) I_{js}^k \end{aligned} \quad (۱۶)$$

به‌طور مشابه روابط ۱۷ تا ۱۹ نیز تابع هدف جدید معادل را برای بیشینه‌سازی قابلیت اطمینان در معادله ۲ نشان می‌دهند.

$$MaxZ_{21} = Z_2^m = \sum_{j=1}^{J}\sum_{i=1}^{I}\sum_{k=1}^{K}\sum_{t=1}^{T} R_{ji}^m X_{jit}^k \quad (۱۷)$$

$$MinZ_{22} = (Z_2^m - Z_2^p) = \sum_{j=1}^{J}\sum_{i=1}^{I}\sum_{k=1}^{K}\sum_{t=1}^{T} (R_{ji}^m - R_{ji}^p) X_{jit}^k \quad (۱۸)$$

$$MaxZ_{23} = (Z_2^o - Z_2^m) = \sum_{j=1}^{J}\sum_{i=1}^{I}\sum_{k=1}^{K}\sum_{t=1}^{T} (R_{ji}^o - R_{ji}^m) X_{jit}^k \quad (۱۹)$$

۳.۵. راهبرد حل محدودیت‌های غیرقطعی

رابطه‌ی ۵ از مدل پیشنهادی بیان‌گر این است که کمبود در مدل مجاز نیست. در این رابطه تقاضای مشتریان (خرده‌فروشان) به‌صورت غیرقطعی و فازی در نظر گرفته شده است. اگر حداقل اعداد قابل انتظار برای تابع توزیع β مشخص شود، محدودیت نابرابری ۵ در حالت قطعی می‌تواند به‌صورت رابطه‌ی ۲۰ تعریف شود.[۲۰]

$$\sum_{j=1}^{J} X_{jit}^k \geq w_1 D_{ikt,\beta}^p + w_2 D_{ikt,\beta}^m + w_3 D_{ikt,\beta}^O \qquad \forall_{i,t,k} \quad (۲۰)$$

که $۰ \leq w_e \leq ۱$، $\sum w_e = ۱$ $(e = ۱, ۲, ۳)$، w_3, w_2, w_1 به ترتیب دارای وزن‌های متناظر بدبینانه، ممکن و خوشبینانه برای اعداد غیرقطعی هستند. به این ترتیب محدودیت ۵ به شکل رابطه‌ی ۲۱ در می‌آید:

$$\sum_{j=1}^{J} X_{jit}^k \geq \frac{1}{6} D_{ikt,\beta}^p + \frac{4}{6} D_{ikt,\beta}^m + \frac{1}{6} D_{ikt,\beta}^O \qquad \forall_{i,t,k} \quad (۲۱)$$

۴.۵. راهبرد مدل توسعه‌یافته

مدل تعمیم‌یافته‌یی که در رابطه‌ی ۲۱ بیان شده است با استفاده از تابع عضویت خطی Zimmermann (۱۹۷۸)[۲۱] و مفهوم تصمیم‌گیری فازی Bellman و Zadeh (۱۹۶۶)[۲۲] می‌تواند به یک تابع تبدیل شود. در همین راستا، ابتدا جواب‌های ایده‌آل مثبت (PIS) و جواب‌های ایده‌آل منفی (NIS) را برای توابع هدف ۱۴ تا ۱۹ برای مدل پیشنهادی دوم به‌صورت روابط ۲۲ تا ۲۴ تعیین می‌کنیم. g نشان‌دهنده‌ی تعداد توابع هدف است.

$$Z_{11}^{PIS} = MinZ_1^m \quad , \quad Z_{11}^{NIS} = Max\, Z_1^m \quad (۲۲)$$

www.SID.ir

Archive of SID

$$Z_{12}^{PIS} = Max(Z_1^m - Z_1^p) \quad , \quad Z_{12}^{NIS} = Min(Z_1^m - Z_1^p) \tag{۲۳}$$

$$Z_{13}^{PIS} = Min(Z_1^O - Z_1^m) \quad , \quad Z_{13}^{NIS} = Max(Z_1^O - Z_1^m) \tag{۲۴}$$

همچنین توابع عضویت خطی متناظر به ترتیب برای تابع هدف اول به‌صورت رابطه‌ی ۲۵ و برای تابع هدف چهارم به‌صورت رابطه‌ی ۲۶ تعریف می‌شوند.

$$f_{11}(Z_{11}) = \begin{cases} 1 & if\ Z_{11} < Z_{11}^{PIS} \\ \frac{Z_{11}^{NIS} - Z_{11}}{Z_{11}^{NIS} - Z_{11}^{PIS}} & if\ Z_{11}^{PIS} < Z_{11} < Z_{11}^{NIS} \\ 0 & if\ Z_{11} > Z_{11}^{NIS} \end{cases} \tag{۲۵}$$

$$f_{21}(Z_{21}) = \begin{cases} 1 & if \quad Z_{21} > Z_{21}^{PIS} \\ \frac{Z_{21}^{PIS} - Z_{21}}{Z_{21}^{PIS} - Z_{21}^{NIS}} & if\ Z_{21}^{NIS} < Z_{21} < Z_{21}^{PIS} \\ 0 & if\ Z_{21} < Z_{21}^{NIS} \end{cases} \tag{۲۶}$$

بقیه‌ی توابع عضویت چهار تابع هدف دیگر نیز به ترتیب گفته شده به دست می‌آیند. در نهایت عملیات کمینه‌سازی تصمیمات فازی بر اساس نظر Bellman و Zadeh (۱۹۶۶) برای همه‌ی مجموعه‌های فازی استفاده می‌شود. متغیر کمکی L که نشان‌گر تابع عضویت می‌باشد، قادر است مسئله‌ی MOLP [۱۰] کمکی را در داخل یک مسئله‌ی برنامه‌ریزی خطی تک‌هدفه بگنجاند که این مسئله می‌تواند با استفاده از روش سیمپلکس استاندارد حل شود.[۲۳] در نتیجه می‌توان مدل ارائه شده را به‌صورت یک مدل Lp معمولی کامل به‌صورت رابطه‌ی ۲۷ ارائه کرد.

$$Max\ L$$

$$S.t:$$

$$L \le \frac{Z_{11}^{NIS} - Z_{11}}{Z_{11}^{NIS} - Z_{11}^{PIS}}$$

$$L \le \frac{Z_{12} - Z_{12}^{NIS}}{Z_{12}^{PIS} - Z_{12}^{NIS}}$$

$$L \le \frac{Z_{13}^{NIS} - Z_{13}}{Z_{13}^{NIS} - Z_{13}^{PIS}}$$

$$L \le \frac{Z_{21}^{PIS} - Z_{21}}{Z_{21}^{PIS} - Z_{21}^{NIS}}$$

$$L \le \frac{Z_{12} - Z_{12}^{PIS}}{Z_{12}^{NIS} - Z_{12}^{PIS}}$$

$$L \le \frac{Z_{13}^{PIS} - Z_{13}}{Z_{13}^{PIS} - Z_{13}^{NIS}}$$

$$\sum_{k=1}^{K} PT_m^k Q_{mt}^k \le TT_{mt} \qquad \forall_{m,t}$$

$$\sum_{k=1}^{K} \sum_{m=1}^{M} V_k U_{mjt}^k \le W_j Y_j \qquad \forall_{j,t}$$

$$\sum_{j=1}^{J} X_{jit}^k \ge \frac{1}{6} D_{ikt,\beta}^p + \frac{4}{6} D_{ikt,\beta}^m + \frac{1}{6} D_{ikt,\beta}^O \qquad \forall_{i,t,k}$$

$$\sum_{k=1}^{K} V_k I_{jt}^k \le W_j Y_j \qquad \forall_{j,t}$$

$$\sum_{j=1}^{J} U_{mjt}^k \le R_m^k E_{mt}^k \qquad \forall_{k,t,m}$$

$$\sum_{k=1}^{K} V_k Q_{mt}^k \le W_m \qquad \forall_{m,t}$$

$$\sum_{k=1}^{K} V_k I_{mt}^k \le W_m \qquad \forall_{m,t}$$

$$I_{jt}^k = I_{j(t-1)}^k + \sum_{m=1}^{M} U_{mjt}^k - \sum_{i=1}^{I} X_{jit}^k \qquad \forall_{j,t,k}$$

$$I_{mt}^k = I_{m(t-1)}^k + Q_{mt}^k - \sum_{j=1}^{J} U_{mjt}^k \qquad \forall_{m,t,k}$$

$$Y_j, E_{mt}^k \in \{0, 1\} \qquad \forall m, j, k, t$$

$$Q_{mt}^k, I_{mt}^k, X_{jit}^k, U_{mjt}^k, I_{jt}^k \ge 0 \qquad \forall_{m,j,i,k,t} \tag{۲۷}$$

۶. روش حل

بهینه‌سازی چندهدفه[۱۱] به‌طور گسترده در مسائل جهان واقعی به کار گرفته می‌شود. چنین مسائلی را چندین هدف متضاد و ناسازگار تشکیل می‌دهد که بهبود هر یک از اهداف باعث بهتر شدن هدف دیگر نمی‌شود. تأمین محدودیت‌ها و بهینه‌سازی اهداف چندگانه دو بخش مهم این نوع مسائل هستند. در مواقعی این اهداف از اولویت‌ها و اهمیت‌های مختلفی برای تصمیم‌گیرنده برخوردارند. همچنین در مواردی ممکن است تصمیم‌گیرنده ذهنیتی از اهداف داشته باشد و مقدار مطلوبی را دنبال کند. در عین حال همانند گذشته با محدودیت‌هایی روبروست که جواب‌های به دست آمده برای همه‌ی این اهداف باید در این محدودیت‌ها صدق کنند، چنین مسائلی را مسائل چندهدفه می‌نامند. همان‌گونه که می‌دانیم استفاده از ابزارهای مرسوم ریاضی برای حل مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی برای مسائل پیچیده با تعداد متغیرها و محدودیت‌های بالا و مخصوصاً برای مسائل موجود در دنیای واقعی بسیار پیچیده و محدود است.[۲۴] یک مسئله‌ی بهینه‌سازی چندهدفه کلی را می‌توان به‌صورت رابطه‌ی ۲۸ تعریف کرد که در این رابطه p نشان‌گر تابع هدف و q نمایان‌گر متغیرها به‌صورت بردار $x = [x_1, x_2, \ldots, x_q]$ هستند.

$$Max\ \ [f_1(x), f_2(x), \ldots, f_p(x)]$$

$$s.t:$$

$$g_L(x) \le b_L\ ;\ L = 1, 2, \ldots, m$$

$$x_h \ge 0\ ;\ h = 1, 2, \ldots, q \tag{۲۸}$$

L و h به ترتیب تعداد محدودیت‌ها و متغیرها را نشان می‌دهند.

از آن‌جا که مسائل بهینه‌سازی چندهدفه جزو مسائل Np-hard محسوب می‌شوند شاید بتوان برای ابعاد کوچک مسئله از نرم‌افزارهای حل دقیق مانند Gams استفاده کرد، اما برای ابعاد بزرگتر مسئله این نرم‌افزارها کارآمد نیستند و باید برای حل چنین مسائلی از الگوریتم‌های فرابتکاری بهره جست. الگوریتم مورد استفاده در این مقاله الگوریتم ژنتیک است. الگوریتم ژنتیک یک روش عمومی برای جستجو در فضاهای جواب گسسته، درست مطابق با روش به کار گرفته شده در فرایندهای طبیعی انتخاب در سیستم‌های زیستی است.[۲۴] الگوریتم ژنتیک جزئی

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱. دامنه‌ی جستجو و سطوح پارامتر بهینه.

تعداد تکرارها	نرخ جهش	نرخ تقاطع	اندازه‌ی جمعیت	سطح
۱۰۰	۰/۱	۰/۸	۵۰	۱
۲۰۰	۰/۱۵	۰/۹	۷۵	۲
۳۰۰	۰/۲	۰/۹۹	۱۰۰	۳

از محاسبات تکاملی است که آن نیز جزئی از هوش مصنوعی است. ویژگی‌های خاص این الگوریتم باعث می‌شود که نتوانیم آن را یک جستجوگر تصادفی ساده قلمداد کنیم. الگوریتم‌های ژنتیک یک روش جستجوی مؤثر در فضاهای بزرگ هستند که منجر به جهت‌گیری به سمت یافتن جواب بهینه می‌شوند. الگوریتم‌های ژنتیک نقاط قوت بسیاری دارند که عبارت هستند از:

- با هر تابع هدف و محدودیت (خطی و غیرخطی) کار می‌کند.
- در هر نوع فضای جستجو (گسسته، پیوسته و مرکب) کار می‌کند.
- عملیات‌های الگوریتم ژنتیک بسیار ساده و قابل درک هستند.
- جستجوی آن چندجانبه است و با مجموعه‌یی از جواب‌ها شروع به جستجو می‌کند.[۲۵]

۱.۶. تنظیم پارامترهای الگوریتم ژنتیک با کمک روش تاگوچی

پارامترهای الگوریتم ژنتیک (اندازه‌ی جمعیت، نرخ تقاطع، نرخ جهش و تعداد تکرارهای الگوریتم) با استفاده از روش تاگوچی تنظیم می‌شوند. برای تنظیم پارامترها با استفاده روش تاگوچی از نرم‌افزار Minitab۱۶ استفاده می‌کنیم. اندازه‌ی مسئله را به‌صورت ۲ کارخانه‌ی تولیدی، ۳ مرکز توزیع، ۳ خرده فروش، ۳ نوع محصول و ۲ دوره‌ی زمانی در نظر می‌گیریم. جواب‌های به دست آمده در جدول ۱ آمده است.

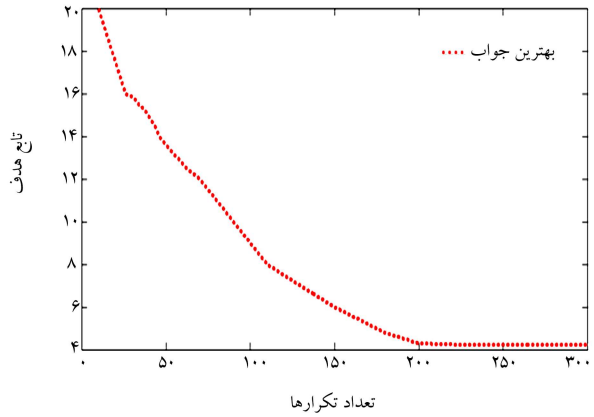
۷. نتایج محاسباتی

در این قسمت به‌منظور حل مدل، مسائل را در اندازه‌های مختلف با استفاده از نرم‌افزار Gams۲۳/۴ حل می‌کنیم. همان‌طور که قبلاً گفتیم چون مسئله از نوع Np-hard است این نرم‌افزار فقط برای ابعاد کوچک مسئله می‌تواند جواب‌گو باشد و برای ابعاد بزرگتر از الگوریتم ژنتیک استفاده می‌کنیم. الگوریتم ژنتیک پیشنهاد شده با نرم‌افزار Matlab(Version۱۰/۰, R۲۰۱۱b) برنامه‌نویسی شده و بر روی یک لپ‌تاب با پردازنده‌ی Intel® Core TM i۳ اجرا شده است. آزمایش‌ها را برروی ۱۰ مسئله با ابعاد مختلف پیاده‌سازی کرده‌ایم. مقادیر تابع هدف در مدل یکپارچه شده به منظور حل مدل چندهدفه مورد استفاده قرارگرفته و گزارش شده است. به‌منظور حذف عدم قطعیت در خروجی‌های به دست آمده هریک از مسائل را سه بار اجرا کرده‌ایم و میانگین این سه مسئله به عنوان متغیر پاسخ نهایی گزارش شده است. در واقع به‌منظور حل مدل ۳۰ مسئله اجرا و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. به‌منظور پیاده‌سازی مسائل، سناریوی زیر برای داده‌های ورودی استفاده شده که در جدول ۲ نشان داده شده است. سعی شده است مقادیر و داده‌های جدول با مقادیر موجود در منبع[۱۴] مطابقت داده شود و تعدیل گردد.

همان‌طور که قبلاً بیان شد مدل‌های پیشنهادی را در قالب ۱۰ مسئله با ابعاد

جدول ۲. مقادیر توزیع پارامترها برای مسائل نمونه مدل‌های پیشنهادی.

پارامتر توضیع			
C^k_{mt}	Uniform(۱, ۶)	R_{ji}	Uniform(۰/۶, ۰/۹۹)
$d1^k_{mjt}$	Uniform(۱۰, ۲۴)	$W1_j$	Uniform(۵۰, ۴۰۰)
$d2^k_{jit}$	Uniform(۳, ۱۰)	$W2_m$	Uniform(۵۰۰, ۱۲۰۰)
$H1^k_{jt}$	Uniform(۲, ۵)	O^k_m	Uniform(۴۵, ۸۰)
$H2^k_{mt}$	Uniform(۴, ۹)	D^k_{it}	Uniform(۱۵, ۴۰)
F_j	Uniform(۴۰۰۰, ۱۰۰۰۰)	V_k	Uniform(۰/۸, ۱/۵)
PT^k_m	Uniform(۰/۱, ۰/۹)	FR_t	Uniform(۰, ۰/۵)



شکل ۴. نمودار همگرایی الگوریتم ژنتیک برای مسئله‌ی نوع اول مدل پیشنهادی.

مختلف حل کرده‌ایم. جدول ۳ نشان‌گر ابعاد مختلفی است که ما برای حل مدل‌های پیشنهادی ارائه کرده‌ایم.

در این مقاله نتایج محاسباتی برای الگوریتم ژنتیک و نرم‌افزار GAMS۲۳/۴ برای اندازه‌های پیشنهادی مسئله به‌صورت هم‌زمان در جدول ۴ قابل مشاهده است. از آن‌جا که مدل اصلی دارای مقادیر فازی است و به‌طور مستقیم قابل حل نیست، بعد از تبدیل توابع هدف و محدودیت‌هایی که دارای مقادیر فازی بودند به حالت غیرفازی اقدام به حل مدل کردیم که نتایج در جدول ۴ آمده است. همان‌طور که مشاهده می‌کنیم برای ابعاد کوچک مسئله نرم‌افزار GAMS۲۳/۴، به دلیل زمان پردازش پایین‌تری که دارد، مناسب‌تر از الگوریتم ژنتیک است ولی برای ابعاد بزرگتر مسئله الگوریتم ژنتیک مناسب‌تر است.

نمودار همگرایی مسئله‌ی نوع اول مدل پیشنهادی برای الگوریتم ژنتیک به‌صورت شکل ۴ است.

۸. نتیجه‌گیری و پیشنهاد برای پژوهش‌های آتی

در این مقاله، یک مدل دوهدفه‌ی فازی برای کمینه کردن همه‌ی هزینه‌های یک زنجیره‌ی تأمین سه‌سطحی و بیشینه کردن قابلیت اطمینان شبکه‌ی توزیع ارائه شده است. مدل پیشنهادی شامل سه سطح کارخانجات تولیدی، مراکز توزیع و خرده‌فروشان (مشتریان) است. در این مقاله پیشنهاد شده است که مکان کارخانجات تولیدی و خرده‌فروشان (مشتریان) ثابت و مکان‌های مراکز توزیع

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۳. کدهای مسئله ۰۹ ۸۷.

کد مسئله	تعداد کارخانه‌های تولیدی	تعداد مراکز توزیع بالقوه	تعداد مشتریان (خرده‌فروشان)	تعداد محصولات	تعداد دوره‌های زمانی
۲-۳-۳-۳-۲	۲	۳	۳	۳	۲
۲-۴-۴-۳-۲	۲	۳	۴	۴	۲
۳-۴-۶-۴-۳	۳	۴	۶	۴	۳
۳-۴-۸-۵-۳	۳	۵	۸	۴	۳
۳-۴-۱۰-۵-۳	۳	۵	۱۰	۴	۳
۴-۴-۱۰-۶-۴	۴	۶	۱۰	۴	۴
۴-۴-۱۲-۸-۴	۴	۸	۱۲	۴	۴
۴-۴-۱۵-۱۰-۴	۴	۱۰	۱۵	۴	۴
۴-۵-۲۲-۱۴-۵	۵	۱۴	۲۲	۵	۴
۵-۵-۳۰-۲۴-۶	۶	۲۴	۳۰	۵	۵

جدول ۴. نتایج محاسباتی برای مدل پیشنهادی.

الگوریتم ژنتیک		Gams		اندازه جمعیت				
زمان پردازش (S)	تابع هدف	زمان پردازش (S)	تابع هدف	T	K	I	J	M
۱٫۷۴۱۱	۰٫۴۲۹۴	۰٫۵۲۸۴	۰٫۴۲۹۴	۲	۳	۳	۳	۲
۱٫۸۹۴۱	۰٫۶۱۷۲	۰٫۷۸۴۱	۰٫۶۱۷۲	۲	۳	۴	۴	۲
۲٫۶۲۳۷	۰٫۶۸۴۵	-	-	۳	۴	۶	۴	۳
۶٫۲۱۳۰	۰٫۹۵۴۸	-	-	۳	۴	۸	۵	۳
۹٫۸۱۲۴	۱٫۲۵۴۰	-	-	۳	۴	۱۰	۵	۳
۱۳٫۴۶۵۱	۱٫۵۴۱۲	-	-	۴	۴	۱۰	۶	۴
۲۰٫۵۸۴۶	۱٫۹۷۸۷	-	-	۴	۴	۱۲	۸	۴
۳۴٫۲۱۶۵	۲٫۱۲۳۹	-	-	۴	۴	۱۵	۱۰	۴
۵۲٫۵۵۵۴	۲٫۸۷۴۱	-	-	۴	۵	۲۲	۱۴	۵
۷۰٫۱۳۵۹	۳٫۶۵۸۰	-	-	۵	۵	۳۰	۲۴	۶

به‌صورت بالقوه باشد و بعد از حل مکان‌یابی شوند. تخصیص از کارخانجات تولیدی به مراکز توزیع و از آن‌جا به خرده‌فروشان (مشتریان) انجام می‌گیرد. ابتدا مدل پیشنهادی با استفاده از نرم‌افزار GAMS۲۳٫۴ حل شده است ولی از آن‌جا که مدل غیرخطی و پیچیده است این نرم‌افزار فقط توانایی حل ابعاد کوچک مسئله را دارد. پس برای ابعاد بزرگ مسئله از الگوریتم فراابتکاری ژنتیک استفاده کردیم و در نهایت نتایج به دست آمده از هر دو روش را با هم مقایسه کردیم.

در انتها می‌توان پیشنهادهای ذیل را برای تحقیقات آینده ارائه کرد.

۱. اضافه‌کردن اهداف دیگری همچون کاهش مدت زمان تحویل، افزایش رضایتمندی مشتریان و ... به اهداف مدل پیشنهادی

۲. در نظرگرفتن اولویت برای مشتریان و خوشه‌بندی آن‌ها برای محصولات سفارشی

۳. استفاده از سایر روش‌های فراابتکاری برای حل مدل‌ها

۴. در نظرگرفتن حالتی که در آن تقاضاها دچار شرایط کمبود پس‌افت می‌شوند.

پانوشت‌ها

1. interactive fuzzy goal programming
2. binary quadratic program
3. cluster mixed binary linear program
4. mixed-integer programming
5. possibility distribution
6. triangular possibility distribution
7. pessimistic
8. normalized
9. optimistic
10. multi-objective linear programming
11. multi-objective optimization

www.SID.ir

Archive of SID

منابع (References)

1. Ali Asghari, Z. "Design of distribution network in the supply chain with considering level of customer service", thesis on Industrial Engineering Faculty of Industrial Engineering, Khajeh Nasir Toosi University of Technology (2011).
2. Khalifehzadeh, S., Seifbarghy, M. and Naderi, B. "A four-echelon supply chain network design with shortage: mathematical modeling and solution methods", *Journal of Manufacturing Systems*, **35**, pp. 164-175 (2015).
3. Seifbargi, M. and Nori, C., *Supply Chain Management: Concepts, Techniques and Mathematical Model*, Tehran:Publishers of Hafiz (2012).
4. Amiri, A. "Designing a distribution network in supply chain system: formulation and efficient solution procedure", *European Journal of Operational Research*, **171**, pp. 567-576 (2006).
5. Ahmadi-Javid, A. and Hosseinpour, P. "Incorporating location, inventory and price decisions into a supply chain distribution network design problem", *Computers & Operations Research*, **56**, doi: http://dx.doi.org/10.1016/j.cor.2014.07.014, pp. 110-119 (2015).
6. Oskounejad, M., *Engineering Economy: Economic Evaluation of Industrial Projects*, Tehran: Publishers of Amirkabir University of Technology (Tehran Polytechnic) (2011).
7. Keshteli, M. "The allocation of customers to potential distribution centers in supply chain networks: GA and AIA approaches", *Applied Soft Computing*, **11**, pp. 2069-2078, (2011).
8. Selim, H. and Ozkarahan, I. "A supply chain distribution network design model: an interactive fuzzy goal programming-based solution approach", *Int J Adv Manuf Technol* **36**, pp. 401-418 (2008).
9. Miranda, P. and Garrido, R. "Inventory service-level optimization within distribution network design problem", *Int. J. Production Economics*, **122**, pp. 276-285 (2009).
10. Ahmadi-Javid, A. and Azad, N. "Incorporating location, routing and inventory decisionsin supply chain network design", *Transportation Research Part E*, **46**, pp. 582-597 (2010).
11. Sadjady, H. and Davoudpour, H. "Two-echelon multi-commodity supply chain network design with mode selection, lead-times and inventory costs", *Computers & Operations Research*, **39**, pp. 1345-1354 (2012).
12. Tsao, Y. "Distribution center network design under trade credits", *Applied Mathematics and Computation*, **222**, pp. 356-364 (2013).
13. Ashtab, S., Caron, R. and Selvarajah, E. "A binary quadratic optimization model for three level supply chain design", *Procedia CIRP*, **17**, pp. 635-638 (2014).
14. Pasandideh, S. Niaki, S. and Asadi, K. "Optimizing a bi-objective multi-product multi-period three echelon supply chain network with warehouse reliability", *Expert Systems with Applications*, doi: http://dx.doi.org/10.1016/j.eswa.2014.11.018 (2015).
15. Shuzhu, Zh., Carmanka, M.L., Wu, K. and et al."Multi - objective optimization for sustainable supply chain network design considering multiple distribution channels", *Expert Systems with Applications*, **65**, pp. 87-99 (2016).
16. Yanfang, Ma., Fang, Y., Kai, K. and et al. "A novel integrated production planning model with conflict and coordination a supply chain network", *Knowledge - Based Systems*, **105**, pp. 119-133 (2016).
17. Zadeh, L. "Fuzzy sets as a basic for a theory of possibility", *Fuzzy Sets and Systems*, **1**, pp. 3-28 (1978).
18. Tanaka, H. "Possibility distributions of fuzzy decision variables obtained from possibilitic linear programming problems", *Fuzzy Sets and Systems*, **113**, pp. 323-332 (2000).
19. Liang, T, "Integrated manufacturing/distribution planning decisions with multiple imprecise goals in an uncertain environment", *Quality and Quantity: International Journal of methodology*, **46**(1), pp.137-153 (2012).
20. Lai, Y. and Hwang, C. "A new approach to some possibilistic linear programming problems", *Fuzzy Sets and Systems*, **49**, pp. 121-133 (1992).
21. Zimmermann, H. "Fuzzy programming and linear programming with several objective functions", *Fuzzy Sets and Systems*, **1**, pp. 45-55 (1978).
22. Zadeh, L. and Bellman, R. "Abstraction and pattern classification", *Journal of Mathematical Analysis and Applications*, **13**, pp. 1-7 (1966).
23. Li, H. and Hendry, L. Teunter R. "A strategic capacity allocation model for a complex supply chain: Formulation and solution approach comparison", *International Journal of Production Economics*, **121**(2), pp.505-518 (2009).
24. Holland, J. "Adaptation in natural and artificial systems", Ann Arbor, University of Michigan Press (1975).
25. Alam tabriz, A., Zandieh, M. and Mohammad Rahimi, A., *Meta-Heuristic Algorithms in Optimizations of Combination*, Tehran: Publishers of Eshraqi (2008).

www.SID.ir