

طراحی شبکه زنجیره تأمین چندسطحی برمبنای اهداف چندگانه قابلیت اطمینان، هزینه و زمان تحویل با استفاده از روش حل فراابتکاری

رضا اسفندیاری^۱، رامین صادقیان^{۲*}

۱. دانشجوی دکترای گروه مهندسی صنایع، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

۲. دانشیار گروه مهندسی صنایع، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

خلاصه

قابلیت اطمینان شاخص مهمی است که در هنگام اخذ تصمیمات استراتژیک طراحی زنجیره تأمین می‌بایست آن را مدنظر قرار داد تا در هنگام ایجاد اختلال و عدم کارکرد یا خرابی هر یک از اعضا، سیستم با کمترین زیان به کارکرد خود ادامه دهد. در این مقاله تلاش می‌شود تا با افزایش قابلیت اطمینان، هزینه‌های بلندمدت زنجیره تأمین کاهش و سطح سرویس‌دهی بالا رود. از نوآوری‌های این مقاله، ارائه روشی جدید برای محاسبه شاخص قابلیت اطمینان زنجیره تأمین باتوجه به تعریف و ماهیت قابلیت اطمینان می‌باشد. محاسبه قابلیت اطمینان هر یک از سطوح با روش محاسباتی سیستم‌های موازی، باتوجه به اثبات در متن مقاله، صحیح نمی‌باشد و می‌بایست قابلیت اطمینان هر یک از اعضا باتوجه به میزان محصول یا مواد اولیه‌ای که هر عضو از آن سطح تأمین، تولید و یا نگهداری می‌کند، متفاوت باشد که این موارد در تحقیقات گذشته در نظر گرفته نشده است. ارزش، شاخص نهایی موفقیت یک سیستم می‌باشد که در این مقاله ارزش زنجیره تأمین با استفاده از سه شاخص مدل SCOR^۲ شامل هزینه، پاسخ‌گویی (زمان تحویل) و قابلیت اطمینان تعریف شده است. مدل پیشنهاد شده از دسته مسائل برنامه‌ریزی غیرخطی عدد صحیح (MINLP^۳) می‌باشد که با هدف ماکزیمم کردن ارزش زنجیره، طراحی زنجیره تأمین انجام می‌شود. به دلیل پیچیدگی مسأله در ابعاد بزرگ و اثبات NP-Hard بودن آن، به منظور حل از الگوریتم فراابتکاری توسعه داده شده ژنتیک استفاده شده است.

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:

دریافت ۱۴۰۰/۱۱/۲۸

پذیرش ۱۴۰۱/۴/۲۵

(مقاله پژوهشی)

کلمات کلیدی:

طراحی شبکه زنجیره تأمین

قابلیت اطمینان

ارزش، زمان تحویل

الگوریتم ژنتیک

مدل SCOR

۱. مقدمه

مهمی چون انواع ریسک‌ها در طراحی‌های کلان برای زنجیره‌ها در نظر گرفته شوند. باتوجه به فرصت‌ها و تهدیدات موجود در عرصه تجارت جهانی و ارزیابی توان سازمان در رویارویی با ریسک‌ها، این عرصه از اهمیت انکارناپذیری برخوردار است. از این رو شرکت‌هایی که در این محیط رقابتی جهانی شده فعالیت می‌کنند، نمی‌توانند چنین عوامل

امروزه رقابت شدید بین تولیدکنندگان و همچنین افزایش سطح نوآوری، کاهش دوره عمر محصولات و از بین رفتن مرز بین کشورها برای کمپانی‌های بزرگ باعث شده است که طراحی، تولید و پخش محصولات به صورت پیوسته و با اهداف گوناگونی دنبال شود و عواملی

2. Supply-Chain Operations Reference Model
3. Mixed Integer Nonlinear Programming

* نویسنده مسئول: رامین صادقیان
تلفن: ۰۲۱-۲۲۴۵۵۱۲؛ پست الکترونیکی: sadeghian@pnu.ac.ir

اعضا تأمین گردد، چون امکان دارد ظرفیت سایر اعضا پاسخ‌گوی ظرفیت عضو تخریب شده نباشد که این موضوع در محاسبه با استفاده از رویکرد موازی در نظر گرفته نمی‌شود.

از طرفی برای محاسبه قابلیت اطمینان هر سطح از زنجیره تأمین، می‌بایست باتوجه به میزان کالا یا مواد اولیه‌ای که هر عضو از آن سطح تأمین، تولید و یا نگهداری می‌کند، وزن قابلیت اطمینان اعضا در محاسبه قابلیت اطمینان آن سطح متفاوت باشد که این نکته نیز در تحقیقات گذشته در نظر گرفته نشده و این مقاله به این موضوع نیز پرداخته است. امروزه با سخت‌تر شدن عرصه رقابت میان سازمان‌ها، توجه به سه عامل کلیدی هزینه، کیفیت و زمان تضمین‌کننده بقا و رشد سازمان است که در این مقاله این سه شاخص به‌عنوان توابع هدف در طراحی زنجیره تأمین در نظر گرفته شده است اهداف قابلیت اطمینان و هزینه، رابطه متعارضی با یکدیگر داشته و افزایش تعداد اعضای زنجیره به افزایش قابلیت اطمینان و هزینه سیستم منجر می‌شود. از سوی دیگر، همان‌گونه که افزایش قابلیت اطمینان می‌تواند به افزایش هزینه‌های سیستم منتهی شود، کاهش قابلیت اطمینان نیز، به افزایش سطح عدم رضایتمندی مشتریان و در نهایت کاهش ارزش کل سیستم می‌انجامد. بنابراین باید زنجیره به‌گونه‌ای طراحی گردد که ارزش زنجیره ماکزیمم گردد. هدف از این مقاله، ارائه مدل ریاضی و روش حل برای مسأله بهینه‌سازی چندهدفه مکانیابی-مسیریابی در طراحی بهینه شبکه‌های زنجیره تأمین بر پایه قابلیت اطمینان، هزینه و زمان با هدف ماکزیمم نمودن ارزش می‌باشد.

۲. پیشینه پژوهش

در مسأله مکانیابی-مسیریابی تصمیمات در دو سطح استراتژیک و تاکتیکی به‌طور هم‌زمان گرفته می‌شود. تصمیمات استراتژیک معمولاً تنها یک‌بار گرفته شده و امکان به‌وجود آوردن تغییرات در آن وجود ندارد و نیاز به هزینه‌های زیاد سرمایه‌گذاری دارند که تصمیمات مربوط به مکانیابی در حیطه‌ی تصمیمات استراتژیک قرار گرفته است. تصمیمات مربوط به مسیریابی مربوط به تصمیمات تاکتیکی هستند و در تعداد دفعات بیشتری گرفته شده و امکان تغییر در آن‌ها وجود دارد [۱، ۷۱]. در یک مسأله طراحی زنجیره تأمین بخش‌های مختلف آن همواره در معرض خرابی قرار دارند. به‌وجود آمدن خرابی در بخش‌های آن موجب از بین رفتن قابلیت اطمینان می‌گردد. عوامل وقوع این خرابی به دو دسته انسانی و طبیعی تقسیم‌بندی می‌شود. در حال حاضر مسأله قابلیت اطمینان به نگرانی عمومی تبدیل شده است و این مسأله در بخش‌های مختلف زنجیره مورد بررسی قرار گرفته‌اند. پارامترهای موجود در مسأله طراحی زنجیره تأمین به دو صورت قطعی و غیرقطعی هستند. از آنجاکه پیش‌بینی دقیق شرایط و پارامترها، امری ناممکن و غیرواقعی است، از این‌رو در ادبیات موضوع عدم قطعیت در پارامترهای مسأله بررسی شده است. برخی از عدم قطعیت‌های بررسی شده عبارتند از: مواردی از قبیل عدم قطعیت در تقاضا و تأمین که ناشی از کارایی و رفتار مشتریان است [۴۸]. از موارد دیگر عدم قطعیت در یک

خطری را بدون مراقبت تحمل کنند. این‌گونه ریسک‌ها اغلب به دلایل مختلفی نظیر پدیده‌های طبیعی، سیاسی، اجتماعی، صنعتی، تغییر سیاست‌های تأمین‌کنندگان و ... به‌وجود می‌آید [۲، ۱]. در دنیای واقعی این عوامل مختلف در برآورده کردن تقاضای مشتری تأثیر مستقیم می‌گذارند و ممکن است موجب تخریب و یا تحت تأثیر قرار دادن اعضای زنجیره تأمین گردد و عملکرد یک بخش از زنجیره تأمین را مختل نماید. بنابراین مدیریت و کنترل ریسک جنبه‌های ضروری مدیریت مؤثر یک زنجیره تأمین است. تمرکز بر استراتژی‌های پیش‌گیرانه یک از مؤثرترین روش‌ها برای واکنش در مقابله با اختلال زنجیره است که اتخاذ تصمیمات درست در سطح استراتژیک زنجیره تأمین مانند طراحی مناسب زنجیره تأمین، به‌عنوان قدم اول در برنامه‌ریزی برای مقاله با این اختلالات می‌باشد [۳]. طراحی شبکه زنجیره تأمین یکی از مهمترین قسمت‌های برنامه‌ریزی به‌منظور در نظر گرفتن یک زنجیره قابل اعتماد می‌باشد که به مشخص کردن جایگاه‌های مکانیابی و ظرفیت‌های موردنیاز برای تسهیلات جدید و برنامه‌ریزی خرید، تولید، توزیع و نگهداری محصولات مواجه است [۴]. این مرحله مقدار زیادی سرمایه را به‌خود اختصاص می‌دهد و فرض می‌شود تسهیلاتی که مستقر می‌شوند، برای دوره زمانی طولانی مدتی به‌کار گرفته شوند. از این‌رو پیکره‌بندی پایدار شبکه زنجیره تأمین به موضوعی مهم و حساس در مدیریت زنجیره تأمین تبدیل شده است. در اکثر حالات فرض می‌گردد که سیستم همواره به‌صورت صحیح عمل می‌نماید، حال آنکه در دنیای واقعی همواره تسهیلات در معرض خرابی قرار دارند. بنابراین طراحی زنجیره تأمین باتوجه به ریسک و اختلالاتی که زنجیره را تهدید می‌کند و افزایش قابلیت اطمینان زنجیره می‌تواند سبب نزدیک شدن مسأله به دنیای واقعی شده و نتایج به‌دست آمده با اطمینان بیشتر مورد استفاده قرار گیرند [۵].

بنابراین لازم است موضوع قابلیت اطمینان در طراحی زنجیره تأمین در نظر گرفته شود تا استراتژی مناسب در مقابله با اثرات اختلالات اتخاذ گردد. در همین راستا در این مقاله شاخص قابلیت اطمینان در نظر گرفته شده و برای هر یک از تسهیلات تأمین، تولید و توزیع، تابع چگالی خرابی تعریف می‌گردد و با استفاده از این تابع توزیع احتمال، قابلیت اطمینان هر جز محاسبه می‌گردد. قابلیت اطمینان میزان احتمال کارکرد یک جزء یا کل سیستم در یک بازه زمانی خاص، تحت وظایفی معین می‌باشد. بنابراین قابلیت اطمینان مرتبط با طول عمر سیستم و زمان خرابی یا اختلال آن است که این دو مشخصه در فرمول (۱) آورده شده و در محاسبه لحاظ می‌گردد. در فرمول (۱) پارامتر T طول عمر سیستم و $f(x)$ تابع چگالی اختلال می‌باشد. در اکثر تحقیقات انجام شده، قابلیت اطمینان اعضای زنجیره تأمین به‌صورت عدد ثابت در نظر گرفته شده است و قابلیت اطمینان کل با استفاده از رویکرد سری و موازی محاسبه می‌گردد که باتوجه به تعریف و ماهیت قابلیت اطمینان، این روش صحیح نمی‌باشد. شبکه زنجیره تأمین مانند مدار الکتریکی نمی‌باشد که در صورت اختلال و خرابی یک عضو، تمامی کالای تأمین شده توسط آن عضو، توسط سایر

ارزیابی قابلیت اطمینان در زنجیره تأمین ارائه کرده‌اند [۱۰]. برخی مطالعات تابع چندهدفه (زمان و هزینه) را برای مکان‌یابی و تخصیص زنجیره تأمین ارائه کردند و از الگوریتم ژنتیک برای حل مدل خود استفاده کردند [۶۴، ۶۷]. سانسو و همکاران قابلیت اطمینان را در مدل‌های مسیریابی با هدف حداقل کردن هزینه را بررسی کرده‌اند. در مدل‌های آن‌ها احتمال خرابی در مسیرهای ارتباطی و گره‌ها در نظر گرفته شده است و حدود بالا و پایین برای قابلیت اطمینان محاسبه شده است و با روش شاخه و کران مدل حل شده است [۱۲، ۱۳]. لی و همکاران بحث قابلیت اطمینان خرابی در وسایل نقلیه در مسأله مسیریابی وسایل نقلیه با در نظر گرفتن پنجره‌های زمانی در نظر گرفتند. در مدل آن‌ها در صورت خرابی وسیله نقلیه، در صورتی که وسیله نقلیه دیگری در مرکز باشد، جهت ادامه خدمت‌دهی ارسال می‌شود و در غیر این صورت تقاضای مشتری از دست می‌رود [۱۴].

هاتفی و همکاران مدلی را جهت طراحی شبکه زنجیره تأمین یکپارچه ارائه نموده‌اند. آن‌ها در مدل خود از مفاهیم قابلیت اطمینان جهت بررسی خرابی‌های تسهیلات استفاده کرده‌اند. در مدل پیشنهادی آن‌ها تسهیلات به دو دسته قابل اطمینان و غیرقابل اطمینان تقسیم می‌شوند و تسهیلات غیرقابل اطمینان در صورت بروز اختلال قسمتی از ظرفیت‌ها خود را از دست می‌دهند. لذا جهت برآورده کردن تقاضای مشتریان قسمتی از تقاضا توسط ظرفیت باقیمانده و قسمتی از آن با استفاده از استراتژی اشتراک تأمین می‌شود، بدین صورت که کالاها از تسهیلات قابل اطمینان به تسهیلات غیرقابل اطمینان حمل می‌شوند [۱۵]. چن و همکاران به این موضوع اشاره کرده‌اند که قابلیت اطمینان یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های عملکرد زنجیره تأمین است. مدل‌سازی زنجیره تأمین قابل اطمینان بر اساس علل شایع شکست بین تأمین‌کنندگان و تولیدکنندگان که یک مسأله مهم و پیچیده است، انجام می‌شود و بدین منظور برای شناسایی عوامل از اصل تجزیه و تحلیل درخت خطا در مدل‌سازی و الگوریتم شبیه‌سازی مونت کارلو پیشنهاد کرده‌اند [۱۶]. لی گوپا و جان گوپا به منظور اطمینان از عملکرد طبیعی تجهیزات عمومی در زنجیره تأمین، یک مدل ارزیابی قابلیت اطمینان بر اساس سیستم عامل چندعاملی ارائه کردند. در این مقاله با محاسبه قابلیت اطمینان برای گره در پایین‌ترین سطح و سپس با ایجاد یک رابطه ریاضی بین سطح و قابلیت اطمینان گره، قابلیت اطمینان زیر سیستم را محاسبه کرده و در انتها قابلیت اطمینان کل را محاسبه می‌کند [۱۷]. زنگ و رن به بررسی قابلیت اطمینان در پردازش زنجیره تأمین نفت از منظر پاسخ اضطراری پرداخته‌اند. اول آن‌را توسط یک مدل قابلیت اطمینان برای زنجیره تأمین نشان داده‌اند و سپس بر اساس این مدل، یک سیستم برای ارزیابی قابلیت اطمینان ایجاد کردند [۱۸].

برخی محققان دیگر به طراحی شبکه‌های زنجیره تأمین برای صنایع غذایی با هدف رسیدن به به زمان‌بندی و هزینه‌های بهینه پرداخته‌اند [۴۵، ۴۶، ۵۳]. در مقاله‌ای دیگر جبارزاده و همکاران یک مسأله طراحی زنجیره تأمین تحت ریسک اختلالات در تسهیلات را

سیستم می‌توان به عدم قطعیت در تأمین، تولید، جمع‌آوری، توزیع یا عدم قطعیت عملکرد اعضای زنجیره تأمین اشاره کرد [۵۱] که در این مقاله عدم قطعیت نوع دوم پرداخته می‌شود. گره‌ها یا تسهیلات بخش‌های مهم شبکه هستند. طبق گزارش‌های منتشر شده توسط کمیته راهبری قابلیت اطمینان شبکه، خرابی تسهیل عامل مهمی است که باعث ایجاد خطا در شبکه می‌شود. بنابراین، مطالعه شکست تسهیل برای بهبود قابلیت اطمینان شبکه قابل توجه است. اخیراً، مدل‌سازی شکست تسهیل و تجزیه و تحلیل تأثیر آن مورد توجه پژوهش قرار گرفته است [۴۷].

نخستین مطالعه مربوط به بحث قابلیت اطمینان و مکانیابی در رساله دکتری اسنایدر است [۳۱] و اسنایدر-داسکین نیز مدل‌هایی برای قابلیت اطمینان در مسأله مکانیابی ارائه کرده و یک مثال کاربردی از بحث قابلیت اطمینان و بحث مکانیابی را که منجر به هزینه‌های گزاف مالی شده است را بیان کرده‌اند. در مدل‌های آن‌ها تسهیلات به دو گروه خراب شدن و خراب نشدن تقسیم‌بندی شده است و مشتریان دارای تخصیص‌های اولیه و پشتیبان هستند و تابع هدف در این مدل به صورت حداقل کردن هزینه‌های خرابی بیان شده است. توانا و همکارانش یک مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط چندهدفه را برای طراحی شبکه‌های پایدار با انبار عبوری (انبار عبوری)، مسیریابی مکان-موجودی، پنجره زمانی، انتخاب تأمین‌کننده، تخصیص سفارش، حالت‌های حمل‌ونقل با دریافت و تحویل هم‌زمان در شرایط عدم قطعیت ارائه دادند [۵۶، ۵۱].

بخش زیادی از مطالعات به موضوع قابلیت اطمینان در مدل‌های پوششی و حداکثر پوششی برای مکانیابی آمبولانس‌ها پرداخته شده است [۱۱، ۶۳]. برخی مطالعات نیز با در نظر گرفتن دو نوع تسهیل، یکی ارزان قیمت با قابلیت اطمینان پایین و دیگری با قابلیت اطمینان بالا بیان کرده‌اند و احتمال وقوع خرابی در تسهیلات را در نظر گرفته‌اند و مدل ریاضی برای مسأله در حالتی که "محکم‌سازی تسهیلات" باشد، ارائه داده‌اند [۶، ۱۹]. طلوعی و همکاران مدل دوهدفه پیشنهاد کردند که با در نظر گرفتن اختلالات احتمالی در تسهیلات و مسیرهای بین آن‌ها، زمان و هزینه تحویل محصولات به مشتریان پس از وقوع فاجعه، به مینیمم مقدار برسد [۷]. برخی محققان مسأله زنجیره تأمین با محدودیت ظرفیت می‌پردازند، و همچنین به خصوص در مورد اینکه چگونه می‌توان شبکه‌های زنجیره تأمین قابل اعتماد را می‌توان در مواجهه با اختلالات تصادفی تسهیلات و تقاضای نامشخص طراحی کرد و همچنین نشان داده‌اند که می‌توان با افزایش حداقلی در هزینه، بهبود قابل توجهی در قابلیت اطمینان سیستم ایجاد کرد [۸، ۴۳].

برخی مطالعات با در نظر گرفتن اختلال، مدل چندهدفه شامل توابع هدف حداقل‌سازی زمان تحویل محصولات و هزینه‌های کل را برای طراحی یک شبکه زنجیره تأمین محصولات فسادپذیر طراحی کردند [۹، ۴۴، ۵۲، ۵۳]. میائو و همکاران قابلیت اطمینان را در مورد مسأله کمک‌رسانی سازمان‌های امداد بررسی کرده و مسأله را در محیط فازی و متغیرها در یک محیط پویا در نظر گرفته شده‌اند و روشی جهت

تأمین کننده که با خطر شکست مواجه است را بررسی نمودند. این توالی تأثیر قابل توجهی هم بر استراتژی قیمت گذاری متعادل شرکت‌ها دارد. نتایج نشان داد که قابلیت اطمینان زنجیره تأمین در بازی تأمین کننده-رهبر نسبت به بازی تولیدکننده-رهبر به میزان بالاتر ارائه می‌شود. ویشنو و همکاران [۶۸] یک زنجیره تأمین چندهدفه و چندمحصولی با در نظر گرفتن انعطاف پذیری و قابلیت اطمینان زنجیره تأمین مورد بررسی قرار دادند. قابلیت اطمینان در این تحقیق برای هریک از اعضای زنجیره تأمین به صورت یک عدد ثابت در نظر گرفته شده است. نصرتی و همکاران [۶۹] مدل جدیدی برای بهینه سازی قابلیت اطمینان در یک زنجیره تأمین چنددوره‌ای و چندمحصولی حلقه بسته با تقاضای احتمالی ارائه کردند. نتایج کلی پیشینه تحقیق در جدول (۱) آورده شده است.

موضوع اطمینان از عملکرد یک مجموعه یا محصول دغدغه ذهنی طراحان، سازندگان و استفاده کنندگان آن است. مسئولیت حقوقی طراح و سازنده و همچنین اطمینان و آسودگی خاطر استفاده کننده، از بدیهی ترین مسائل حقوقی دنیای امروز است. تولیدکننده یا ارائه دهنده خدمات و سرویس موظف است کالا یا خدمات و سرویس مورد نیاز مصرف کننده یا مشتری را با کیفیت مورد انتظار مشتری تولید نموده و ارائه کند تا مشتری با خاطری آسوده از آن کالا یا سرویس استفاده نماید. اطمینان از عملکرد صحیح یک سیستم یا ارائه سرویس مناسب از مهم ترین خواسته های خریداران و مشتریان آن است. به گونه ای که بر اساس مطالعات انجام شده توسط موسس DAT کشور آلمان در سال ۲۰۰۷ موضوع قابلیت اطمینان از مهم ترین شاخصه ها توسط مشتریان در این شرکت بوده است [۲۳].

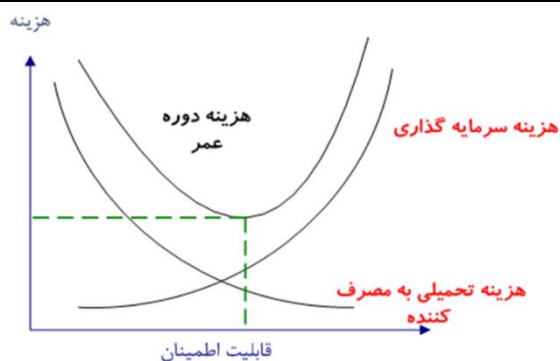
در خصوص بررسی ارزش زنجیره باید این نکته اساسی را در نظر گرفت که افزایش سطح قابلیت اطمینان همواره مستلزم سرمایه گذاری بیشتر است و روند کلی نسبت میان هزینه به قابلیت اطمینان با افزایش سطح قابلیت اطمینان یک روند افزایشی است. با صرف سرمایه گذاری در سطوح بالاتری از قابلیت اطمینان، بهبود کمتری در قابلیت اطمینان به دست می آید. در هر صورت دستیابی به قابلیت اطمینان بالا پرهزینه و گران است که در شکل (۱) نمایش داده شده است.

دو موضوع قابلیت اطمینان و ارزش را می توان از طریق مقایسه هزینه دستیابی به آن سطح از قابلیت اطمینان و ارزش و منافع حاصل از آن سطح از قابلیت اطمینان به شکل منسجم تری ارزیابی کرد. در واقع مجموع کل هزینه های پرداختی از طرف جامعه برای دستیابی به قابلیت اطمینان، متناسب با ارزش حاصله برای آن جامعه در اثر برخورداری از آن سطح از قابلیت اطمینان می باشد. منحنی ها در شکل (۲) نشان می دهد که عموماً هزینه سرمایه گذاری برای افزایش قابلیت اطمینان افزایش می یابد. از طرفی هزینه مصرف کننده با افزایش قابلیت اطمینان کاهش می یابد. از آنجاکه هزینه کل، مجموع این دو هزینه جداگانه است، دارای حداقلی می باشد که به عنوان سطح بهینه قابلیت اطمینان و همچنین سطح بهینه ارزش تلقی می شود.

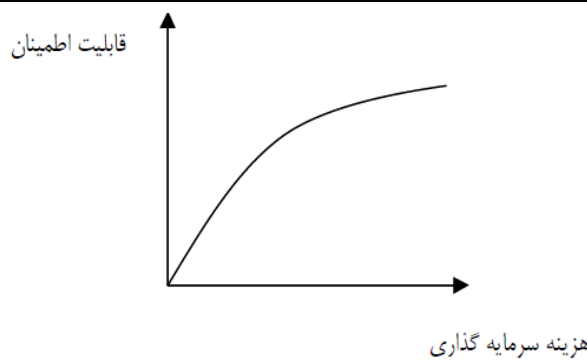
مورد مطالعه قرار می دهند. هدف مسأله ماکسیم کردن سود برای کل سیستم می باشد. مدل به صورت هم زمان، تعداد و مکان تسهیلات، زیرمجموعه ای از مشتریان جهت خدمت رسانی، تخصیص مشتریان به تسهیلات و سیکل سفارش در هر تسهیل را تعیین می کند. به منظور دستیابی به جواب نزدیک به بهینه از روش آزادسازی لاگرانژ و الگوریتم ژنتیک استفاده شده است [۲۰]. آزاد و همکاران در مقاله ای دیگر یک مدل طراحی شبکه زنجیره تأمین تحت اختلالات تصادفی در تسهیلات و حمل و نقل را پیشنهاد می دهند. در این مدل خرابی در مراکز توزیع به طور ناقص در نظر گرفته شده است. مراکز که دچار اختلال شده اند توسط مراکز سالم پشتیبانی می شوند. هدف این مدل، تعیین محل بهینه و انواع مراکز توزیع و همچنین یافتن بهترین حالت جهت تخصیص مشتریان به مراکز توزیع باز شده می باشد [۲۱]. برخی محققان یک مدل بهینه سازی قوی با کاربرد دنیای واقعی برای طراحی زنجیره تأمین ارائه کرد [۲۲، ۵۵، ۵۶]. غلامی و همکاران مدلی با در نظر گرفتن هم زمان پارامترهای عدم قطعیت و قابلیت اطمینان اجزا در یک زنجیره پویا با چندین محصول ارائه دادند. مدل آن ها یک برنامه ریزی خطی اعداد صحیح مختلط چندهدفه است که عدم قطعیت با استفاده از بهینه سازی قوی در آن گنجانده شده است. این مدل به دنبال به حداقل رساندن هزینه های شبکه است در حالی که رضایت سازنده و مشتری به حداکثر می رسد [۲۳]. دلفانی و همکاران مدلی ارائه کردند که هدف آن بهینه سازی چندین هدف، از جمله به حداقل رساندن هزینه های کل و زمان تحویل و ماکزیمم سازی قابلیت اطمینان سیستم حمل و نقل بوده است [۲۴]. منوئل تیفورس و همکاران^۱ چارچوبی جهت طراحی فرآیند تولید، محصولات و زنجیره تأمین را به طور هم زمان ارائه دادند [۲۵].

وحدانی و همکارانش [۴۹] یک مدل جدید برای طراحی شبکه قابل اطمینان تسهیلات در زنجیره تأمین حلقه بسته تحت عدم قطعیت را ارائه نمودند. برای این منظور یک فرمول برنامه ریزی ریاضی دوهدفه توسعه داده شد که کل هزینه و هزینه انتظاری بعد از شکست را حداقل می سازد و برای حل مدل نیز روش ترکیبی جدید با استفاده از بهینه سازی استوار، تئوری صف و بهینه سازی چندهدفه فازی ارائه شد. پسندیده و همکاران [۵۴] بهینه سازی شبکه زنجیره تأمین دوهدفه، چندمحصولی، چنددوره ای، سه سطحی با قابلیت اطمینان انبار را مورد بررسی قرار دادند، در مسأله دو هدف به حداقل رساندن هزینه کل و حداکثر سازی متوسط تعداد محصولات فرستاده شده به مشتریان مورد توجه قرار گرفته است. مسأله اول به صورت مدل برنامه ریزی خطی عدد صحیح مختلط دوهدفه فرمول بندی شد و سپس، برای حل آن شش روش تصمیم گیری چندهدفه به منظور انتخاب بهترین از نظر کل هزینه زنجیره تأمین، کل تعداد مورد انتظار محصولات توزیعی به مشتریان، و زمان حل مورد نیازشان، به طور هم زمان مورد بررسی قرار گرفت.

لی و همکارانش [۵۷] اثرات توالی تصمیم گیری در یک زنجیره تأمین غیرمتمرکز برای افزایش قابلیت اطمینان درون زاکنده



شکل (۲): سطح بهینه قابلیت اطمینان (شکراله و رستمی، مهر ۱۳۸۶)



شکل (۱): رابطه هزینه سرمایه‌گذاری و قابلیت اطمینان (شکراله و رستمی، مهر ۱۳۸۶)

جدول (۱): مروری بر پیشینه تحقیق

| مقالات | سال | هزینه | قابلیت اطمینان | نحوه محاسبه قابلیت اطمینان | مکانیابی | تخصیص | زمان پاسخ‌گویی | ظرفیت تسهیلات | دوره زمانی | روش حل |
|-----------------------|------|-------|----------------|--------------------------------------|----------|-------|----------------|---------------|------------|------------------|
| میلر و همکاران | ۱۹۹۷ | ✓ | | | | ✓ | ✓ | ✓ | چنددوره | برنامه‌ریزی فازی |
| ساکسیا-فولیا | ۲۰۱۰ | ✓ | | | | ✓ | ✓ | ✓ | چنددوره | روش دقیق |
| فرر و همکاران | ۲۰۰۸ | ✓ | | | ✓ | ✓ | | ✓ | چنددوره | روش دقیق |
| آرنوت و ماتوک | ۲۰۱۰ | ✓ | | | | ✓ | | ✓ | چنددوره | روش دقیق |
| آهومتندا و والیبوس | ۲۰۱۱ | ✓ | | | | ✓ | | ✓ | چنددوره | روش دقیق |
| وحدانی و همکاران | ۲۰۱۲ | ✓ | ✓ | عدد ثابت، سری-موازی | ✓ | ✓ | | | تک‌دوره | روش فراابتکاری |
| تان و کومدن | ۲۰۱۲ | ✓ | | | | ✓ | | ✓ | چنددوره | روش دقیق |
| تیموری و همکاران | ۲۰۱۳ | ✓ | | | | ✓ | ✓ | ✓ | چنددوره | روش دقیق |
| آگوستین | ۲۰۱۴ | ✓ | | | | ✓ | ✓ | ✓ | تک‌دوره | روش دقیق |
| پسندیده و همکاران | ۲۰۱۵ | ✓ | ✓ | عدد ثابت، سری-موازی | ✓ | ✓ | | | چنددوره | روش فراابتکاری |
| گونزالز و همکاران | ۲۰۱۵ | ✓ | | | | ✓ | ✓ | ✓ | چنددوره | روش دقیق |
| روکو و ماریبوتو | ۲۰۱۶ | ✓ | | | | ✓ | | ✓ | تک‌دوره | روش دقیق |
| لی و همکاران | ۲۰۱۵ | ✓ | ✓ | عدد ثابت، سری-موازی | | ✓ | | | تک‌دوره | روش فراابتکاری |
| سوتو-سیلور | ۲۰۱۷ | ✓ | | | | ✓ | | ✓ | تک‌دوره | روش دقیق |
| قضاوتی و همکاران | ۲۰۱۷ | | | | | | | ✓ | چنددوره | روش دقیق |
| چراغعلیپور و همکاران | ۲۰۱۸ | ✓ | | | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | چنددوره | روش فراابتکاری |
| ما و همکاران | ۲۰۱۹ | ✓ | | | | ✓ | | ✓ | تک‌دوره | روش فراابتکاری |
| غلامی و همکاران | ۲۰۱۹ | ✓ | ✓ | عدد ثابت، سری-موازی | ✓ | ✓ | | | تک‌دوره | روش فراابتکاری |
| چراغعلیپور و همکاران | ۲۰۱۹ | ✓ | | | ✓ | ✓ | | ✓ | چنددوره | روش فراابتکاری |
| روغنیان و همکاران | ۲۰۱۹ | ✓ | | | ✓ | ✓ | | ✓ | چنددوره | روش فراابتکاری |
| جیفرودی و همکاران | ۲۰۲۰ | ✓ | | | ✓ | ✓ | | ✓ | چنددوره | روش دقیق |
| یان و همکاران | ۲۰۲۰ | ✓ | | | | ✓ | ✓ | ✓ | چنددوره | روش دقیق |
| چاوز و همکاران | ۲۰۲۰ | ✓ | | | ✓ | ✓ | | ✓ | چنددوره | روش فراابتکاری |
| ویشنو و همکاران | ۲۰۲۱ | ✓ | ✓ | عدد ثابت، سری-موازی | ✓ | ✓ | | | تک‌دوره | روش فراابتکاری |
| نصرتی و همکاران | ۲۰۲۰ | ✓ | ✓ | عدد ثابت، سری-موازی | ✓ | ✓ | | ✓ | چنددوره | روش فراابتکاری |
| صالحی امیری و همکاران | ۲۰۲۲ | ✓ | | | | ✓ | | ✓ | چنددوره | روش فراابتکاری |
| مطالعه حاضر | ۲۰۲۲ | ✓ | ✓ | رویکرد جدید و تعریف تابع چگالی خرابی | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | چنددوره | روش فراابتکاری |

میانی عمر سیستم) از آن استفاده می‌شود. در این مدل قابلیت اطمینان و توزیع چگالی وقوع خرابی نمایی خواهند بود. برای مدل‌سازی قابلیت اطمینان روش‌های مختلفی وجود دارد. در روش جعبه سیاه که سیستم در کل بررسی می‌شود و در روش جعبه شفاف ساختار سیستم و اجزاء مورد توجه قرار می‌گیرد و برای اندازه‌گیری قابلیت اطمینان یک سیستم ابتدا سیستم به اجزایی شکسته می‌شود و قابلیت اطمینان سیستم برحسب قابلیت اطمینان اجزای آن بیان می‌گردد. برای محاسبه قابلیت اطمینان هر جزء براساس داده‌های آماری در دسترس، مدلی برای نرخ وقوع خرابی انتخاب می‌شود و پارامترهای آن براساس داده‌های موجود تخمین زده می‌شوند یا با شبیه‌سازی و دانش مهندسی و تجربه افراد خبره نرخ خرابی تخمین زده می‌شود. در این مسأله قابلیت اطمینان وابسته به میزان تأمین محصول و همچنین طول یا بازه زمانی طراحی در نظر گرفته شده است.

d : میزان محصولی که یک عضو زنجیره، تأمین یا تولید می‌کند.

$T = \text{Time}$: بازه زمانی در نظر گرفته شده برای طراحی

$$R = P(D.T) \quad (۴)$$

بنابراین قابلیت اطمینان یک عضو زنجیره معادل است با:

$$R(d) = P(D > d) = \int_d^{\infty} F(D)dD = e^{-\lambda.d.T} \quad (۵)$$

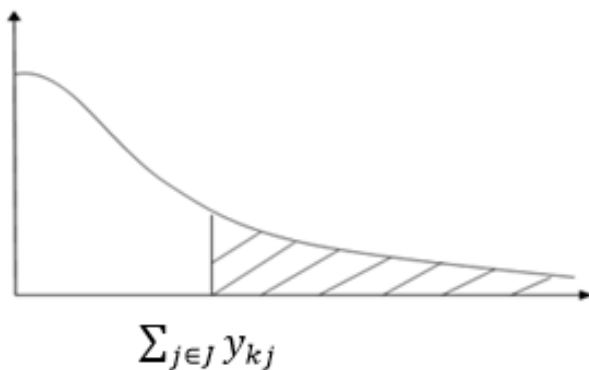
به‌عنوان مثال برای محاسبه قابلیت اطمینان عضو k ام با توجه به

تابع چگالی در شکل (۳) داریم:

λ_{kj} : میزان محصول ارسال شده از تولید k ام به توزیع‌کننده j ام

λ_k : پارامتر توزیع نمایی کارخانه مکان k ام

$$R_k \left(\sum_{j \in J} \lambda_{kj} \right) = P \left(D > \sum_{j \in J} \lambda_{kj} \right) \\ = \int_{\sum_{j \in J} \lambda_{kj}}^{\infty} F(D)dD \\ = e^{-\lambda_k \cdot \text{time} \cdot \sum_{j \in J} \lambda_{kj}} \quad (۶)$$



شکل (۳). تابع چگالی احتمال

در این مقاله با استفاده از روش جعبه شفاف، شبکه زنجیره تأمین به اجزای آنکه اعضای زنجیره تأمین می‌باشد شکسته می‌شود و قابلیت اطمینان هر جز به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

در این مقاله ارزش زنجیره برابر با ماکزیم نمودن قابلیت اطمینان، به حداقل رساندن زمان پاسخ‌گویی و به حداقل رساندن هزینه‌های زنجیره تأمین تعریف و مدل‌سازی شده و با استفاده از الگوریتم فراابتکاری ژنتیک حل شده است. در این مطالعه قابلیت اطمینان برای هر تسهیل یک مقدار ثابت نیست بلکه به میزان تولید بستگی دارد. روش ارائه شده در این مقاله برای مسائل در مقیاس بزرگ نیز کارآمد است. در مقالات گذشته شاخص قابلیت اطمینان تا حد بسیار زیادی ساده‌سازی شده است و یا به‌صورت عددی ثابت در نظر گرفته شده و قابلیت اطمینان هر عضو مستقل از میزان تولید فرض شده است، در صورتی که در دنیای واقعی این‌گونه نبوده و می‌بایست قابلیت اطمینان هر تسهیل وابسته به میزان تولید در نظر گرفته شود.

۳. مدل‌سازی مسأله

شاخص قابلیت اطمینان عبارتست از احتمال توانایی یک سیستم یا زیرسیستم برای انجام دادن صحیح و رضایت‌بخش مأموریت مشخص و از پیش تعریف شده در شرایط معین و در دوره زمانی مشخص، که معمولاً در غالب تعدادی پارامتر احتمالاتی بیان می‌شود [۳۶، ۳۳]. قابلیت اطمینان شامل چهار بخش اصلی است: احتمال-عملکرد رضایت‌بخش-زمان و شرایط کار معین که احتمال آن با یک عدد بیان می‌شود که همان شاخص ارزیابی قابلیت اطمینان می‌باشد [۳۷، ۳۸]. در اینجا اساساً دو بحث مطرح است: یکی تحت عنوان خطر که صرفاً از نظر شدت قابل تقسیم‌بندی می‌باشد و دیگری تحت عنوان احتمال خطر که علاوه بر شدت خطر، احتمال وقوع آن را مورد توجه قرار می‌دهد. شیوه‌های ارزیابی قابلیت اطمینان، اصولاً بر محور ارزیابی احتمال خطر استوار است [۳۹، ۴۰]. لذا هر دو جنبه شامل شدت خطر و نیز احتمال وقوع آن را در برمی‌گیرد. فرض می‌شود T متغیر تصادفی نامنفی پیوسته‌ای است که عمر مفید (طول عمر، زمان پیش از خرابی) یک سیستم را نشان می‌دهد. تابع قابلیت اطمینان که آن را با $R(t)$ نمایش می‌دهیم، عبارتست از احتمال این پیشامد که موجود موردنظر بیش از زمان t عمر کند و به‌صورت زیر نمایش داده می‌شود:

$$R(t) = P(T > t) = \int_t^{+\infty} f(x)dx \quad (۱)$$

تابع نرخ مخاطره یا نرخ شکست به احتمال وقوع خرابی موجود در فاصله زمانی $(t, \Delta t)$ به شرط آنکه تا زمان t هنوز خرابی اتفاق نیفتاده باشد و به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$h(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{P(t < T < T + \Delta t | T > t)}{\Delta t} \quad (۲)$$

لذا تابع نرخ مخاطره یا نرخ شکست به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

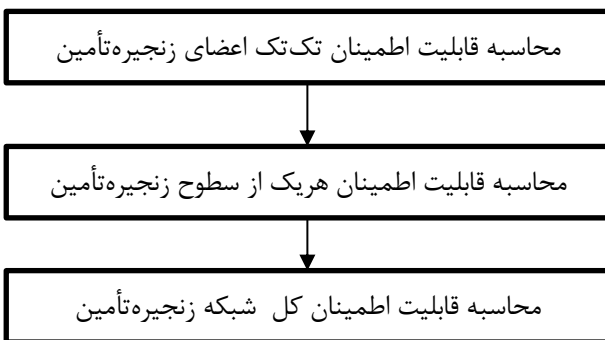
$$Rh(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (۳)$$

انواع توابع نرخ شکست به سه صورت ثابت، صعودی و نزولی می‌باشد که در این مقاله به‌صورت ثابت $h(t) = \lambda$ در نظر گرفته می‌شود. نرخ مخاطره ثابت در بسیاری از کاربردها کافی است و معمولاً برای نشان دادن رفتار وقوع خرابی تصادفی (وقوع خرابی در مراحل

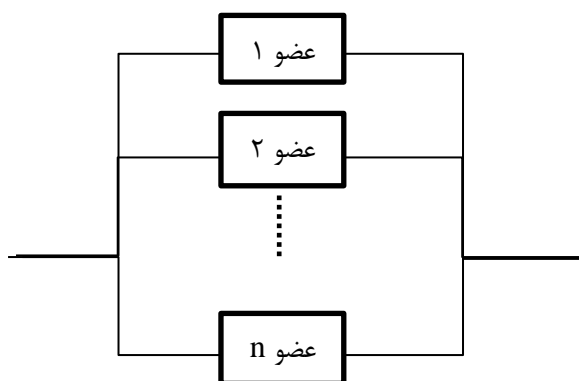
می‌شوند و چون این مراکز همانند مراکز تولید در معرض شکست تصادفی می‌باشند و مشتریان در پی انتخاب مراکز توزیع با بالاترین قابلیت اطمینان هستند، مراکز باتوجه به این نکته (قابلیت اطمینان بالا) احداث می‌شوند. درواقع مراکز تأمین و توزیع با قابلیت اطمینان پایین برای تاسیس انتخاب نمی‌شوند. برای محاسبه قابلیت اطمینان کل شبکه زنجیره‌تأمین مطابق شکل زیر پس از محاسبه قابلیت اطمینان تک‌تک اعضای زنجیره به‌روش شرح داده شده، می‌بایست قابلیت اطمینان هر سطح از زنجیره محاسبه گردد.

شکل (۴). مراحل محاسبه قابلیت اطمینان

رویکرد محاسبه قابلیت اطمینان با استفاده از روش سیستم‌های سری برای محاسبه قابلیت اطمینان سطوح زنجیره‌تأمین صحیح نمی‌باشد. چون باتوجه به شکل (۵) و فرمول (۱۰) محاسبه قابلیت اطمینان، در صورتی که عضو i زنجیره دچار اختلال شود، الزاماً سایر



اعضای باتوجه به محدودیت ظرفیت خود، توانایی تأمین خروجی‌های عضو i را ندارند. در واقع شبیه‌سازی زنجیره‌تأمین در حالت موازی به مدار الکتریکی برای محاسبه قابلیت اطمینان صحیح نمی‌باشد. از این‌رو قابلیت اطمینان یک سطح از زنجیره‌تأمین (به‌عنوان مثال سطح تولیدکنندگان) از میانگین وزنی قابلیت اطمینان هریک از تولیدکنندگان باتوجه به میزان محصولی که هریک از آن‌ها تولید می‌کنند، مطابق فرمول (۱۱) به‌دست می‌آید.



شکل (۵). سیستم موازی

$$R_{level} = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - R_i) \quad (10)$$

زمان موردنیاز تأمین‌کننده k برای شکست در دوره $time$ از توزیع نمایی با میانگین $\lambda \lambda \lambda_i$ پیروی می‌کند. درواقع میزان اختلال برای هریک از اعضای زنجیره‌تأمین در قالب ضریب لاندا در نظر گرفته شده است که این اختلالات ممکن است به‌علت حوادث طبیعی، تغییر در صاحبان، اشتباهات کارگری، شرایط آب‌وهوایی و ... اتفاق بیفتد. قابلیت اطمینان تأمین‌آم در تأمین و ارسال مواد اولیه به کارخانه‌های تولیدی در یک دوره به‌صورت زیر است:

$$R_1(z_{1k}) = P\left(D > \sum_{k \in K} z_{1k}\right) = \int_{\sum_{k \in K} z_{1k}}^{\infty} F(D) dD = e^{-(\lambda \lambda \lambda_i \cdot time) \cdot \sum_{k \in K} z_{1k}} \quad (7)$$

زمان موردنیاز تولیدکننده k برای شکست در دوره $time$ از توزیع نمایی با میانگین $\lambda \lambda_k$ پیروی می‌کند. قابلیت اطمینان تولیدکننده k در ارسال تولید و ارسال به مراکز توزیع در یک دوره به‌صورت زیر است: y_{kj} : میزان کالای ارسال شده از تولیدکننده k به توزیع کننده j ام

$$R_k(y_{kj}) = P\left(D > \sum_{j \in J} y_{kj}\right) = \int_{\sum_{j \in J} y_{kj}}^{\infty} F(D) dD = e^{-(\lambda \lambda_k \cdot time) \cdot \sum_{j \in J} y_{kj}} \quad (8)$$

زمان موردنیاز توزیع‌کننده j برای شکست در دوره $time$ از توزیع نمایی با میانگین λ_j پیروی می‌کند. قابلیت اطمینان توزیع‌کننده j در توزیع محصولات به مشتریان در یک دوره به‌صورت زیر است: x_{ji} : میزان محصول ارسال شده از توزیع کننده j به مشتری i ام

$$R_j(x_{ji}) = P\left(D > \sum_{i \in I} x_{ji}\right) = \int_{\sum_{i \in I} x_{ji}}^{\infty} F(D) dD = e^{-(\lambda_j \cdot time) \cdot \sum_{i \in I} x_{ji}} \quad (9)$$

مواد اولیه موردنیاز کارخانه‌های تولیدی توسط تأمین‌کنندگان تهیه می‌شود اما با در نظر گرفتن این نکته که مراکز تأمین در معرض شکست تصادفی می‌باشند و تولیدکنندگان در پی همکاری با تأمین‌کنندگانی هستند که توانایی تأمین خواسته‌های آنان را داشته باشند، مراکز تأمین با بالاترین قابلیت اطمینان انتخاب می‌شوند که از این طریق رضایت تولیدکنندگان بیشینه می‌گردد.

در ادامه مواد اولیه به مراکز تولیدی ارسال می‌شوند و چون این مراکز نیز همانند مراکز تأمین در معرض خرابی تصادفی قرار دارند، مراکز توزیع در پی همکاری با مراکز تولیدی هستند که توانایی تولید میزان درخواست آنان را داشته باشد، مراکز تولیدی انتخاب می‌شوند که قابلیت اطمینان بالاتری را داشته باشند که رضایت مراکز توزیع ماکزیمم گردد. در ادامه محصولات تولیدی به مراکز توزیع منتقل

یک مشتری یا یک تسهیل از هر سطح می‌تواند توسط یک یا چند تسهیل از سطح قبلی تأمین شود.

- میزان کالا مورد نیاز به صورت یک جا به مشتری ارسال می‌شود (ظرفیت حمل‌کننده‌ها نامحدود است).
- زمان حمل و نقل به ازای هر مقدار کالا از مرکز توزیع j به مشتری i و از کارخانه k به مرکز توزیع j و از تأمین‌کننده l به کارخانه k ثابت می‌باشد.
- هزینه حمل و نقل به میزان کالای حمل شده بستگی دارد.
- وابستگی در این مسأله بدین گونه تعریف می‌شود که اگر به عنوان مثال کارخانه a قادر به تولید نباشد و یا ظرفیت آن کاهش یابد، تقاضایی که این کارخانه قادر به برآورده کردن آن نیست، می‌بایست توسط کارخانه b تأمین شود که با افزایش میزان تولید، احتمال شکست یا برآورده نکردن کارخانه b افزایش می‌یابد. بنابراین شکست یا قابلیت اطمینان هر تسهیل وابسته به میزان تقاضایی است که تأمین می‌کند.
- هریک از توابع هدف (هزینه، قابلیت اطمینان، زمان) وزنی هستند که این وزن باتوجه به نظر کارشناسی و داده‌های تاریخی به دست می‌آید.
- زمان و هزینه تأمین، تولید یا نگهداری برای تمامی تسهیلات یک سطح از زنجیره تأمین یکسان در نظر گرفته شده است.
- ضریب تبدیل یک واحد مواد اولیه به یک واحد محصول برابر یک در نظر گرفته شده است.
- تقاضای مشتریان و ظرفیت تمامی تسهیلات برای هر سال معادل سال قبل می‌باشد.

مهمترین تصمیمات اتخاذ شده در مدل

- تعیین مکان و انتخاب بهترین مراکز توزیع و تولیدکنندگان و تأمین‌کنندگان
- نحوه تخصیص مشتریان به مراکز توزیع، تخصیص مراکز توزیع به تولیدکنندگان و تخصیص تولیدکنندگان به تأمین‌کننده

فرمول‌بندی مدل

نمادهای زیر برای توصیف ریاضی مدل پیشنهادی آمده است.

مجموعه‌ها

I مجموعه مشتریان که اعضاء آن با i نشان داده می‌شود

J مجموعه مراکز توزیع که اعضاء آن با j نشان داده می‌شود.

K مجموعه کارخانه‌ها که اعضاء آن با k نشان داده می‌شود.

L مجموعه تأمین‌کننده‌ها که اعضاء آن با l نشان داده می‌شود.

۲-۳. مدل‌سازی طراحی شبکه زنجیره تأمین چهار سطحی:

در زنجیره چهارسطحی بهینه‌ترین مکانیابی و تخصیص برای مراکز توزیع، کارخانجات و تأمین‌کنندگان تصمیم‌گیری می‌شود، به طوری که تابع هدف مینیمم گردد. ساختار کلی شبکه زنجیره تأمین مدل دوم در شکل (۶) زیر نشان داده شده است.

$$R_{level} = \sum_{k \in K} \left[e^{-(\lambda_k \cdot time)} \cdot \sum_{j \in J} \gamma_{kj} * \frac{\sum_{j \in J} \gamma_{kj}}{\sum_{k \in K} \sum_{j \in J} \gamma_{kj}} \right] \quad (11)$$

در زنجیره تأمین در نظر گرفته شده قابلیت اطمینان هر عضو زنجیره تعریف گردید. قابلیت اطمینان کل شبکه زنجیره تأمین از حاصل ضرب قابلیت اطمینان تمامی سطوح به دست می‌آید:

$$R_{total} = \sum_{j \in J} \left[e^{-(\lambda_j \cdot time)} \cdot \sum_{i \in I} x_{ji} * \frac{\sum_{i \in I} x_{ji}}{\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} x_{ji}} * \sum_{k \in K} \left[e^{-(\lambda_k \cdot time)} \cdot \sum_{j \in J} \gamma_{kj} * \frac{\sum_{j \in J} \gamma_{kj}}{\sum_{k \in K} \sum_{j \in J} \gamma_{kj}} * \sum_{l \in L} \left[e^{-(\lambda_l \cdot time)} \cdot \sum_{k \in K} z_{lk} * \frac{\sum_{k \in K} z_{lk}}{\sum_{k \in K} \sum_{l \in L} z_{lk}} \right] \right] \right] \quad (12)$$

در این مقاله یک زنجیره تأمین چهارسطحی با سه هدف مدل‌سازی شده است. هدف مدل این مسأله، تعیین محل مراکز توزیع و کارخانجات و مراکز تأمین و تعیین حجم جریان بین اعضای زنجیره تأمین با ماکزیمم کردن ارزش یا مینیمم کردن هزینه‌های کل زنجیره (اعضای زنجیره و مشتریان) می‌باشد.

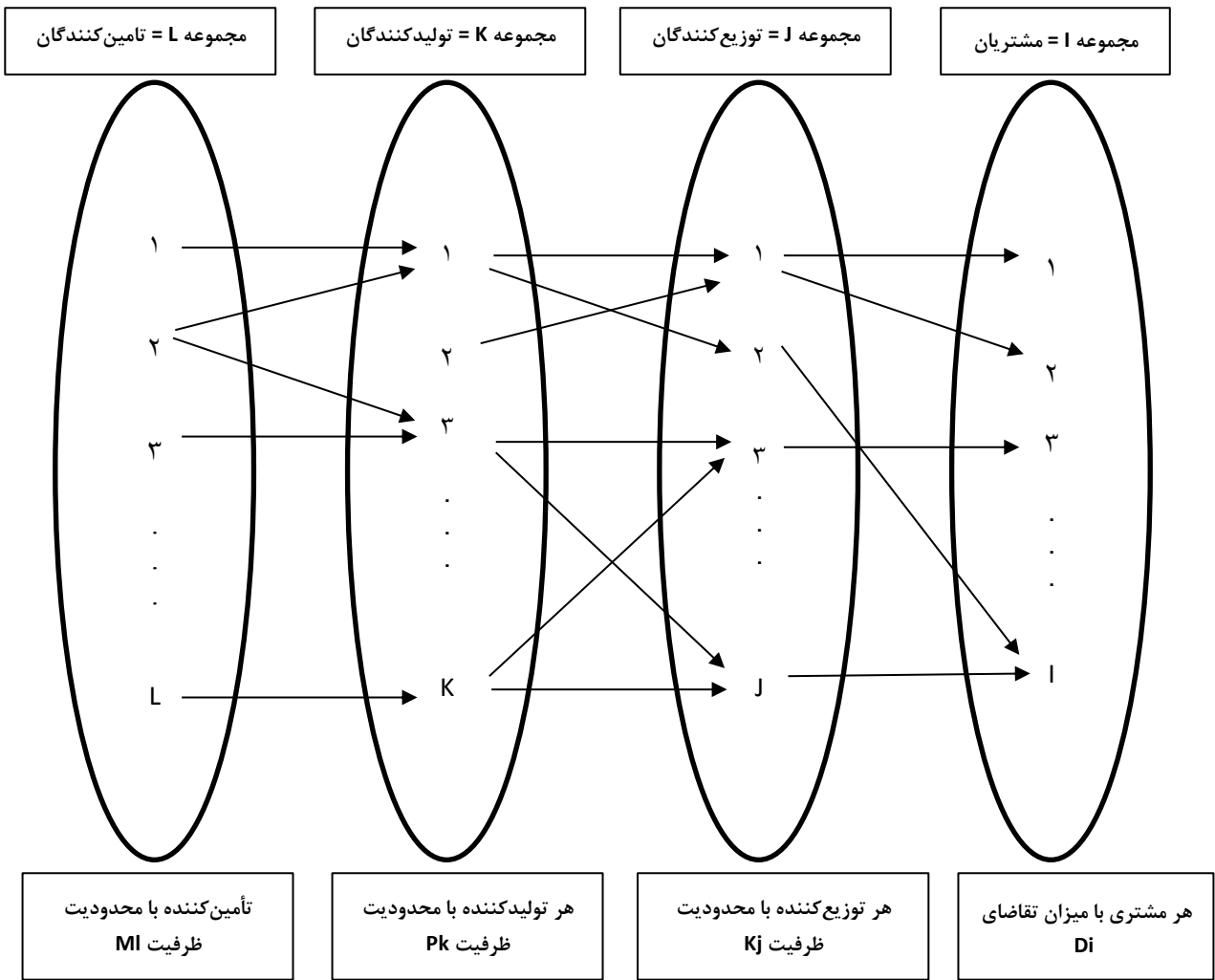
مفروضات

مفروضات مسأله به شرح زیر است:

- مسأله یک مدل تک‌محصولی است.
- هریک از اعضا زنجیره (به جز مشتری) دارای تابع احتمال شکست نمایی است که وابسته به میزان کالا و همچنین طول یا بازه زمانی طراحی می‌باشد.

$$\lambda = \lambda \cdot time \quad (13)$$

- مکان‌های مشتریان ثابت و معلوم می‌باشند.
- مدت زمان تأمین، تولید یا نگهداری کالا برای تمامی اعضا در هریک از سطوح زنجیره، یکسان در نظر گرفته شده است، و کاهش مدت زمان تحویل تنها به کاهش زمان حمل و نقل وابسته می‌باشد، از این رو کاهش زمان حمل و نقل به عنوان کاهش زمان تحویل در نظر گرفته می‌شود.
- مکان‌های بالقوه برای تأسیس مراکز توزیع، کارخانجات و تأمین‌کنندگان معلوم و به صورت گسسته می‌باشند.
- جریان مواد تنها بین دو سطح متوالی از لایه‌های شبکه می‌تواند برقرار باشد. همچنین ارتباطی بین تسهیلات در یک لایه وجود ندارد.
- تقاضای مشتریان ثابت و معلوم می‌باشند و میزان کالای مورد نیاز



شکل (۶). ساختار کلی شبکه زنجیره تأمین چهارسطحی

| | | |
|-------------|---------------------|---|
| پارامترها: | $\lambda \lambda_k$ | پارامتر توزیع نمایی کارخانه مکان k ام |
| F_j | $\lambda \lambda_l$ | پارامتر توزیع نمایی تأمین‌کننده مکان l ام |
| FF_k | $time$ | طول دوره طراحی |
| FFF_l | $MAX C$ | ماکزیمم هزینه |
| D_i | $MAX T$ | ماکزیمم زمان |
| a_{ji} | W_1 | وزن تابع هزینه |
| aa_{kj} | W_2 | وزن تابع زمان |
| aaa_{lk} | W_3 | وزن تابع قابلیت اطمینان |
| T_{ji} | متغیرهای مسأله: | |
| TT_{kj} | X_{ji} | میزان کالای حمل شده از مرکز توزیع واقع در j به مشتری i |
| TTT_{lk} | Y_{kj} | میزان کالای حمل شده از کارخانه واقع در k به مرکز توزیع j |
| K_j | Z_{lk} | میزان کالای حمل شده از تأمین‌کننده l به کارخانه واقع در k |
| P_k | $xx_j=1$ | چنانچه در مکان j مرکز توزیع استقرار یابد. در غیر این صورت |
| M_l | $xx_j=0$ | |
| λ_j | $yy_k=1$ | چنانچه در مکان k کارخانه استقرار یابد. در غیر این صورت |
| | $yy_k=0$ | |

هزینه ثابت استقرار مرکز توزیع در مکان j
 هزینه ثابت استقرار کارخانه در مکان k
 هزینه ثابت انتخاب تأمین‌کننده که در مکان l قرار دارد.
 تقاضای سالانه مشتری i ام
 هزینه حمل و نقل از مرکز توزیع واقع در j به مشتری i
 هزینه حمل و نقل از کارخانه واقع در k به مرکز توزیع j
 هزینه حمل و نقل از تأمین‌کننده l به کارخانه واقع در k
 زمان حمل و نقل از مرکز توزیع واقع در j به مشتری i
 زمان حمل و نقل از کارخانه واقع در k به مرکز توزیع j
 زمان حمل و نقل از تأمین‌کننده l به کارخانه واقع در k
 حداکثر ظرفیت سالیانه مرکز توزیع در مکان j
 حداکثر ظرفیت سالیانه کارخانه در مکان k
 حداکثر ظرفیت سالیانه تأمین‌کننده l
 پارامتر توزیع نمایی مرکز توزیع مکان j ام

| | | | |
|---|--------------|---|-------------|
| استقرار یافته در k برآورده شود. | | چنانچه تأمین کننده 1 انتخاب شود. | $ZZ_l=1$ |
| در غیر این صورت | $SS_{kj}=0$ | در غیر این صورت | $ZZ_l=0$ |
| چنانچه تقاضای کارخانه k ام توسط تأمین کننده | $SSS_{lk}=1$ | چنانچه تقاضای مشتری ام توسط تسهیلات | $S_{ji}=1$ |
| ام برآورده شود. | | استقرار یافته در j برآورده شود. | |
| در غیر این صورت | $SSS_{lk}=0$ | در غیر این صورت | $S_{ji}=0$ |
| | | چنانچه تقاضای مرکز توزیع زام توسط تسهیلات | $SS_{kj}=1$ |

مدل مسأله:

$$\left\{ \begin{aligned} MAX R = & \sum_{j \in J} \left[e^{-(\lambda_j \cdot time) \cdot \sum_{i \in I} x_{ji}} * \frac{\sum_{i \in I} x_{ji}}{\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} x_{ji}} \right] * \sum_{k \in K} \left[e^{-(\lambda_k \cdot time) \cdot \sum_{j \in J} y_{kj}} * \frac{\sum_{j \in J} y_{kj}}{\sum_{k \in K} \sum_{j \in J} y_{kj}} \right] \\ & * \sum_{l \in L} \left[e^{-(\lambda_l \cdot time) \cdot \sum_{k \in K} z_{lk}} * \frac{\sum_{k \in K} z_{lk}}{\sum_{k \in K} \sum_{l \in L} z_{lk}} \right] \end{aligned} \right. \quad (14)$$

$$\left\{ \begin{aligned} MIN C = & \sum_{j \in J} F_j \cdot x_{xj} + \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} x_{ji} \cdot a_{ji} + \sum_{k \in K} FF_k \cdot y_{yk} + \sum_{k \in K} \sum_{j \in J} y_{kj} \cdot aa_{kj} + \sum_{l \in L} FFF_l \cdot z_{zl} \\ & + \sum_{k \in K} \sum_{l \in L} z_{lk} \cdot aaa_{lk} \end{aligned} \right. \quad (15)$$

$$MIN T = \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} T_{ji} \cdot S_{ji} + \sum_{k \in K} \sum_{j \in J} TT_{kj} \cdot SS_{kj} + \sum_{k \in K} \sum_{l \in L} TTT_{lk} \cdot SSS_{lk} \quad (16)$$

MIN Z

$$= \frac{w_1 [\sum_{j \in J} F_j \cdot x_{xj} + \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} x_{ji} \cdot a_{ji} + \sum_{k \in K} FF_k \cdot y_{yk} + \sum_{k \in K} \sum_{j \in J} y_{kj} \cdot aa_{kj} + \sum_{l \in L} FFF_l \cdot z_{zl} + \sum_{k \in K} \sum_{l \in L} z_{lk} \cdot aaa_{lk}]}{MAX C}$$

$$+ \frac{w_2 [\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} T_{ji} \cdot S_{ji} + \sum_{k \in K} \sum_{j \in J} TT_{kj} \cdot SS_{kj} + \sum_{k \in K} \sum_{l \in L} TTT_{lk} \cdot SSS_{lk}]}{MAX T}$$

$$- w_3 \left[\sum_{j \in J} \left[e^{-(\lambda_j \cdot time) \cdot \sum_{i \in I} x_{ji}} * \frac{\sum_{i \in I} x_{ji}}{\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} x_{ji}} \right] * \sum_{k \in K} \left[e^{-(\lambda_k \cdot time) \cdot \sum_{j \in J} y_{kj}} * \frac{\sum_{j \in J} y_{kj}}{\sum_{k \in K} \sum_{j \in J} y_{kj}} \right] \right. \\ \left. * \sum_{l \in L} \left[e^{-(\lambda_l \cdot time) \cdot \sum_{k \in K} z_{lk}} * \frac{\sum_{k \in K} z_{lk}}{\sum_{k \in K} \sum_{l \in L} z_{lk}} \right] \right] \quad (17)$$

محدودیت‌های مدل شامل:

$$\sum_{l \in L} z_{lk} \cdot SSS_{lk} \quad \forall k \in K \quad (24) \quad \sum_{j \in J} x_{ji} \cdot S_{ji} = D_i \quad \forall i \in I \quad (18)$$

$$= \sum_{j \in J} y_{kj} \cdot SS_{kj} \quad \forall j \in J \quad (19)$$

$$\sum_{k \in K} z_{lk} \cdot SSS_{lk} \leq M_1 \cdot ZZ_l \quad \forall l \in L \quad (25) \quad \sum_{i \in I} x_{ji} \cdot S_{ji} \leq K_j \cdot xx_j \quad \forall j \in J \quad (20)$$

$$\sum_{k \in K} SSS_{lk} \geq ZZ_l \quad \forall l \in L \quad (26) \quad \sum_{j \in J} S_{ji} \geq 1 \quad \forall i \in I \quad (21)$$

$$S_{ji} \leq xx_j \quad \forall j \in J, \forall i \in I \quad (27) \quad \sum_{k \in K} y_{kj} \cdot SS_{kj} = \sum_{i \in I} x_{ji} \cdot S_{ji} \quad \forall j \in J \quad (22)$$

$$SS_{kj} \leq yy_k \quad \forall j \in J, \forall k \in K \quad (28) \quad \sum_{j \in J} y_{kj} \cdot SS_{kj} \leq P_k \cdot yy_k \quad \forall k \in K \quad (23)$$

$$SSS_{lk} \leq ZZ_l \quad \forall l \in L, \forall k \in K \quad (29) \quad \sum_{j \in J} SS_{kj} \geq yy_k \quad \forall k \in K \quad (24)$$

$$SS_{kj} \leq xx_j \quad \forall j \in J, \forall k \in K \quad (30)$$

$$SSS_{lk} \leq yy_k \quad \forall l \in L, \forall k \in K \quad (31)$$

$$xx_j \in \{0,1\} \quad \forall j \in J \quad (32)$$

۴. الگوریتم ژنتیک

الگوریتم ژنتیک (GA^۱) یک تکنیک جست‌وجو و بهینه‌سازی مبتنی بر اصول ژنتیک و انتخاب طبیعی است. GA این امکان را می‌دهد که جمعیتی متشکل از تعداد زیادی از افراد طبق قوانین خاص مربوط به انتخاب، به وضعیتی درآیند که شایستگی را حداکثر کند (تابع هزینه را مینیمم کند). با توجه به اینکه در مسائل طراحی، مکانیابی، مسیریابی با افزایش تعداد نقاط تقاضا و مراکز خدماتی، پیچیدگی و حجم محاسبات مسأله و همچنین

زمان آن به‌صورت نمایی افزایش می‌یابد و تابع هدف محاسبه قابلیت اطمینان نیز غیرخطی می‌باشد، این مسائل از نوع مسائل NP-Hard می‌باشد [۲۸-۳۴] که به این دلیل از الگوریتم فراابتکاری استفاده شده است و با توجه به اینکه طبق سوابق و در اکثر مقالات طراحی و مکانیابی، الگوریتم فراابتکاری ژنتیک به‌عنوان الگوریتم با عملکرد بهتر و کاراتر معرفی شده است [۷، ۲۳-۲۷]، به این دلیل در این مقاله نیز از الگوریتم ژنتیک استفاده شده است. در ادامه به بررسی جزئیات مراحل اجرای الگوریتم پرداخته می‌شود.

۴-۱. کلیات اجرای الگوریتم

کلیات مراحل اجرای الگوریتم ژنتیک در این مقاله بدین‌گونه است که پس از تعریف متغیرهای تصمیم مسأله به‌عنوان کروموزوم، مقادیر متغیرها در هر یک از محدودیت‌ها قرار داده می‌شود و میزان انحراف آن‌ها از نامعادلات محدودیت‌ها، به‌عنوان تخطی تعریف شده و مجموع تخطی‌ها نیز به‌عنوان تخطی کل یا جریمه (V) تعریف می‌گردد و سپس تابع برازندگی الگوریتم ژنتیک نیز از ترکیب تابع هدف مدل و تابع جریمه تعریف می‌گردد $Z = Z(1 + \beta V)$ بنابراین در واقع با حذف محدودیت‌های مدل، تابع هدف کامل‌تری تعریف و به الگوریتم ژنتیک جهت بهینه‌سازی معرفی می‌گردد.

شروع حل مسأله به‌صورت Backward از سمت مشتریان به‌سمت تأمین‌کننده‌ها می‌باشد که مقادیر متغیرها به‌ترتیب و مرحله به مرحله تعیین می‌گردد. برای متغیرهای تصمیم مسأله $(x_{ji}$ و y_{kj} و $z_{lk})$ ، متغیرهای کمکی متناظر به‌صورت $(\hat{x}_{ji}$ و \hat{y}_{kj} و $\hat{z}_{lk})$ تعریف می‌گردد. برای نحوه تعریف متغیرهای کمکی و تبدیل آن‌ها به متغیرهای اصلی از روش زیر استفاده می‌شود.

اگر داشته باشیم:

$$x_1 + x_2 = C \quad x_1 + x_2 \geq 0 \quad (41)$$

وقتی دو عدد مثبت که جمع آن‌ها می‌بایست C باشد، اصولاً آن اعداد نیز باید بین صفر و C باشند.

$$0 \leq x_1, x_2 \leq C$$

راه‌حل جامعی که برای تعداد زیاد متغیرها عملی باشد و بتواند نقاطی را انتخاب نماید که روی خط معادله بیفتند و یا در معادله صدق نمایند، به‌صورت ذیل می‌باشد:

پس از انتخاب یک نقطه به‌صورت تصادفی بین صفر و C (نقاط آبی رنگ شکل (۷))، آن نقاط را به مبدأ وصل کرده، و جایی که خط معادله

$$yy_k \in \{0,1\} \quad \forall k \in K \quad (33)$$

$$zz_l \in \{0,1\} \quad \forall l \in L \quad (34)$$

$$S_{ji} \in \{0,1\} \quad S_{ji} \in \{0,1\} \quad (35)$$

$$SS_{kj} \in \{0,1\} \quad \forall j \in J, \forall k \in K \quad (36)$$

$$SSS_{lk} \in \{0,1\} \quad \forall l \in L, \forall k \in K \quad (37)$$

$$x_{ji} \geq 0 \quad \forall j \in J, \forall i \in I \quad (38)$$

$$y_{kj} \geq 0 \quad \forall j \in J, \forall k \in K \quad (39)$$

$$z_{lk} \geq 0 \quad \forall j \in J, \forall i \in I \quad (40)$$

تابع هدف اول (رابطه (۱۴)) ماکزیم‌سازی قابلیت اطمینان شبکه می‌باشد و تابع هدف دوم (رابطه (۱۵)) مجموع هزینه‌های ثابت استقرار تسهیلات و هزینه‌های جابجایی از تسهیلات به مشتریان را کمینه می‌نماید. تابع هدف سوم (رابطه (۱۶)) مینیم‌سازی زمان حمل‌ونقل می‌باشد. هر سه تابع هدف را با ضرایب وزنی متفاوت به یک تابع تک‌هدفه در رابطه (۱۷) تبدیل می‌کنیم. رابطه (۱۸) نشان می‌دهد میزان حمل کالا از تمام کارخانه به هر مشتری باید به میزان تقاضای مشتری باشد. رابطه (۱۹) مربوط به ظرفیت تسهیلات می‌باشد. رابطه (۲۰) الزام می‌نماید هر مشتری حداقل به یکی از تسهیلات اختصاص یابد. رابطه (۲۱) نشان می‌دهد که میزان کالای ارسالی به یک مرکز توزیع برابر با میزان کالایی باشد که آن مرکز توزیع قرار است به مشتریان ارسال نماید. رابطه (۲۲) مربوط به ظرفیت کارخانه‌ها می‌باشد. رابطه ۲۳ الزام می‌نماید اگر مرکز زام فعال باشد حداقل یک تخصیص از کارخانه‌ها به آن مرکز توزیع باید انجام شود. رابطه (۲۴) نشان می‌دهد که میزان کالای ارسالی به یک کارخانه برابر با میزان کالایی باشد که آن کارخانه قرار است به مراکز توزیع ارسال نماید. رابطه (۲۵) مربوط به ظرفیت تأمین‌کننده‌ها می‌باشد. رابطه (۲۶) الزام می‌نماید اگر مرکز k فعال باشد حداقل یک تخصیص از تأمین‌کننده‌ها به آن کارخانه باید انجام شود. رابطه (۲۷) بیان می‌دارد که در صورتی کالا به مرکز توزیع زام انتقال یابد که مرکز توزیع در آن مکان استقرار یابد. رابطه (۲۸) بیان می‌کند در صورتی یک کارخانه به مراکز توزیع اختصاص یابد که در آن مکان کارخانه‌ای استقرار یابد و رابطه (۲۹) بیان می‌کند در صورتی یک تأمین‌کننده به کارخانه اختصاص یابد که در آن مکان کارخانه‌ای استقرار یابد. رابطه (۳۰) می‌دارد در صورتی که مرکز توزیعی احداث نشده باشد، از هیچ‌یک از تولیدکنندگان، کالایی به آن مرکز توزیع ارسال نمی‌گردد. رابطه (۳۱) نیز بیان می‌دارد در صورتی که مرکز تولیدی احداث نشده باشد، از هیچ‌یک از تأمین‌کنندگان، مواد اولیه‌ای به آن مرکز تولید ارسال نمی‌گردد. محدودیت‌های (۳۲)، (۳۳)، (۳۴)، (۳۵)، (۳۶) و (۳۷) باینری بودن متغیرهای تصمیم را نشان داده و محدودیت‌های (۳۸)، (۳۹) و (۴۰) غیرمنفی بودن متغیرهای تصمیم را نیز نشان می‌دهد.

علامت رابطه (۴۸) در محدودیت‌ها به صورت بزرگتر مساوی می‌باشد، ولی از آنجاکه اگر x_{ji} ها بیشتر از حد مورد نیاز باشد، هزینه‌ها افزایش می‌یابد، این علامت برای حالت بهینه به صورت مساوی خواهد شد. بنابراین داریم:

$$x_{ji} = \frac{D_i * \hat{x}_{ji}}{\sum_{j \in J} \hat{x}_{ji}} \quad 0 \leq \hat{x}_{ji} \leq 1 \quad (49)$$

نحوه نمایش \hat{x}_{ji} به عنوان کروموزوم مسأله که تعداد ژن‌های آن $J * I$ می‌باشد، به هر دو صورت خطی و ماتریسی در شکل (۸) نمایش داده شده است.

پس از مشخص شدن مقادیر x_{ji} ها، چون سمت راست رابطه (۴۸) نیز برابر با یک عدد ثابت می‌شود، بنابراین مقادیر y_{kj} برابر است با:

$$\sum_{k \in K} y_{kj} = \sum_{i \in I} \hat{x}_{ji} \quad (\text{عدد ثابت}) \quad (50)$$

چون محدودیت ظرفیت هم وجود دارد مقادیر y_{kj} و مقادیر کمکی آن به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$y_{kj} = \frac{\min(\sum_{i \in I} \hat{x}_{ji}, K_j) * \hat{y}_{kj}}{\sum_{k \in K} \hat{y}_{kj}} \quad 0 \leq \hat{y}_{kj} \leq 1 \quad (51)$$

که کروموزوم \hat{y}_{kj} هم مانند \hat{x}_{ji} نمایش داده می‌شود با این تفاوت که اندازم کروموزوم یا تعداد ژن‌های آن $K * J$ می‌باشد. سپس یک جمعیت اولیه از کروموزوم‌ها به صورت تصادفی برای ادامه حل الگوریتم تشکیل می‌شود.

۳-۴. عملگر تقاطع در الگوریتم

اگر تعداد ژن‌های کروموزوم برابر N_{var} باشد و کروموزوم‌های والد مطابق ذیل باشد:

$$Parent_1 = [p_{m1}, p_{m2}, \dots, p_{ma}, \dots, p_{mN_{var}}]$$

$$Parent_2 = [p_{d1}, p_{d2}, \dots, p_{da}, \dots, p_{dN_{var}}]$$

آنگاه عدد تصادفی مابین صفر و N_{var} انتخاب شده و از آن ژن تا انتها، عمل تقاطع انجام می‌شود:

$$a = [random * N_{var}]$$

$$Child_1 = [p_{m1}, p_{m2}, \dots, p_{da}, \dots, p_{dN_{var}}]$$

$$Child_2 = [p_{d1}, p_{d2}, \dots, p_{ma}, \dots, p_{mN_{var}}]$$

۴-۴. عملگر جهش در الگوریتم

ابتدا با ضرب نرخ جهش در تعداد کل ژن‌هایی که می‌تواند در جمعیت جهش یابند، تعداد جهش‌ها به دست می‌آید. سپس اعداد تصادفی مابین صفر و N_{var} انتخاب شده و ژن‌های مورد نظر با فرمول زیر جهش می‌یابد.

$$Parent_1 = [p_{m1}, p_{m2}, \dots, p_{ma}, \dots, p_{mN_{var}}]$$

$$a = [random * N_{var}]$$

$$p_{ma\ new} = 1 - p_{ma}$$

$$Child_1 = [p_{m1}, p_{m2}, \dots, p_{ma\ new}, \dots, p_{mN_{var}}]$$

۵. مثال عددی

در این قسمت مقاله، مثال‌های عددی و سپس نتایج شبیه‌سازی مدل ارائه می‌شود. یکی از مهم‌ترین قسمت‌های یک روش ارائه شده، قسمت

را قطع نماید، آن نقطه به عنوان یک حل معادله خواهد بود (نقاط قرمز رنگ شکل (۷)). این نمایش هندسی در شکل (۷) نشان داده شده است. وصل کردن نقاط به مبدأ و پیدا کردن نقطه روی خط معادله، همان عملیات ضرب می‌باشد که مختصات نقطه اولیه در عددی ضرب می‌شود.

$$x_1 = \frac{C * x_1}{x_1 + x_2} \quad (42)$$

$$x_2 = \frac{C * x_2}{x_1 + x_2} \quad (43)$$

که در این صورت مجموع آن‌ها برابر با C خواهد شد. بنابراین در معادلات با متغیر بیشتر داریم:

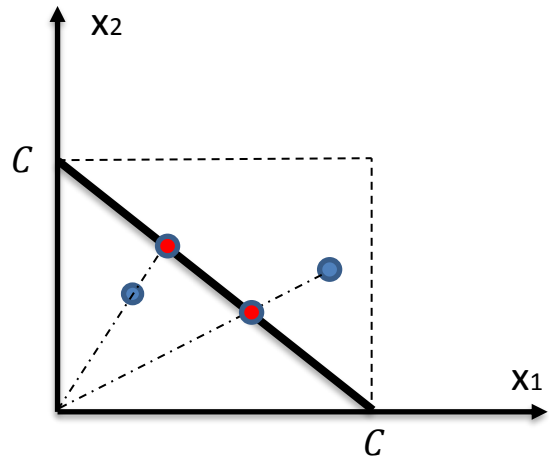
$$x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n = C \quad (44)$$

$$x_1 = \frac{C * x_1}{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n} \quad 0 \leq x_1 \leq 1 \quad (45)$$

$$x_2 = \frac{C * x_2}{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n} \quad 0 \leq x_2 \leq 1 \quad (46)$$

$$x_n = \frac{C * x_n}{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n} \quad 0 \leq x_n \leq 1 \quad (47)$$

در معادله بالا تنها شرط برای تولید پاسخ تصادفی، تولید n عدد (\hat{x}) بین صفر و یک می‌باشد که این n عدد (\hat{x}) در واقع کروموزوم حل این مسأله با الگوریتم ژنتیک می‌باشد. در این مقاله نیز از همین قاعده برای تعریف کروموزوم‌های مسأله استفاده می‌شود.



شکل (۷). مکان هندسی نقاط حل معادله

۲-۴. کروموزوم‌های الگوریتم

برای متغیرهای مسأله سه سطحی، دو متغیر کمکی متناظر \hat{x}_{ji} و \hat{y}_{kj} و برای مدل چهارسطحی، سه متغیر کمکی متناظر \hat{x}_{ji} و \hat{y}_{kj} و \hat{z}_{ik} تعریف می‌گردد که تمامی این متغیرهای کمکی به عنوان کروموزوم مسأله کدگذاری می‌شوند. با توجه به رابطه (۱۸) در خصوص برآورده شدن میزان تقاضای مشتریان، متغیرهای کمکی متناظر و متغیرهای واقعی مطابق رابطه‌های ذیل تعریف می‌گردد:

$$\sum_{j \in J} x_{ji} = D_i \quad (48)$$

می‌توان با در نظر گرفتن اوزان مختلف برای توابع هدف نیز مدل پیشنهادی حل گردد.

۵-۲. مثال عددی مدل

کلیه اطلاعات مثال عددی در جدول (۲) آمده است.

اعتبارسنجی آن می‌باشد. از آنجاکه مدل و تابع هدف ارائه شده در این مقاله در هیچ‌یک از تحقیقات و مقالات گذشته استفاده نشده است، از این رو در ابتدا به منظور اعتبارسنجی و اطمینان از صحت نتایج، وزن هزینه در تابع هدف را برابر یک فرض نموده و مدل حل می‌گردد.

| | | | | | | | | | |
|----------------|-----|-----------------|----------------|-----|-----------------|-----|----------------|-----|----------------|
| \hat{x}_{11} | ... | \hat{x}_{I11} | \hat{x}_{21} | ... | \hat{x}_{I21} | ... | \hat{x}_{J1} | ... | \hat{x}_{JI} |
| j=1 | | | j=2 | | | j=J | | | |

| | | | |
|---|------------------|-----|------------------|
| | 1 | | I |
| 1 | X ₁₁ | ... | X ₀₁₁ |
| | X ₂₁ | ° | X ₂₁ |
| | ... | ° | ... |
| J | X _{0J1} | ° | X _{0JI} |

شکل (۸). ساختار کروموزوم‌ها

جدول (۲). اطلاعات مثال عددی

| | | | | | |
|----------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | مشتری ۱ | مشتری ۲ | مشتری ۳ | مشتری ۴ | مشتری ۵ |
| میزان تقاضای مشتریان | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ |

| | | | |
|--------------------------------|--------------|--------------|--------------|
| | مرکز توزیع ۱ | مرکز توزیع ۲ | مرکز توزیع ۳ |
| ظرفیت مرکز توزیع | ۵۰۰ | ۵۰۰ | ۵۰۰ |
| هزینه راه اندازی مرکز توزیع ها | ۱۰۰۰ | ۱۰۰۰ | ۱۰۰۰ |

| | | |
|-----------------------------|-----------|-----------|
| | کارخانه ۱ | کارخانه ۲ |
| ظرفیت کارخانه | ۵۰۰ | ۵۰۰ |
| هزینه راه اندازی کارخانه ها | ۱۰۰۰ | ۱۰۰۰ |

| | | |
|------------------------|-----------|-----------|
| | کارخانه ۱ | کارخانه ۲ |
| ظرفیت تامین کننده | ۵۰۰ | ۵۰۰ |
| هزینه ثابت تامین کننده | ۱۰۰۰ | ۱۰۰۰ |

| | | | | | | |
|---------------|--------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| هزینه جابجایی | | مشتری ۱ | مشتری ۲ | مشتری ۳ | مشتری ۴ | مشتری ۵ |
| | مرکز توزیع ۱ | ۲ | ۲ | ۲ | ۲ | ۲ |
| | مرکز توزیع ۲ | ۲/۰۰۰۱ | ۲/۰۰۰۱ | ۲/۰۰۰۱ | ۲/۰۰۰۱ | ۲/۰۰۰۱ |
| | مرکز توزیع ۳ | ۲/۰۰۰۱ | ۲/۰۰۰۱ | ۲/۰۰۰۱ | ۲/۰۰۰۱ | ۲/۰۰۰۱ |

| | | | | | | |
|--------------|--------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| زمان جابجایی | | مشتری ۱ | مشتری ۲ | مشتری ۳ | مشتری ۴ | مشتری ۵ |
| | مرکز توزیع ۱ | ۳ | ۳ | ۳ | ۳ | ۳ |
| | مرکز توزیع ۲ | ۲ | ۲ | ۲ | ۲ | ۲ |
| | مرکز توزیع ۳ | ۲ | ۲ | ۲ | ۲ | ۲ |

| | | | | |
|---------------|-----------|--------------|--------------|--------------|
| هزینه جابجایی | | مرکز توزیع ۱ | مرکز توزیع ۲ | مرکز توزیع ۳ |
| | کارخانه ۱ | ۲ | ۲ | ۲ |
| | کارخانه ۲ | ۲/۰۰۰۱ | ۲/۰۰۰۱ | ۲/۰۰۰۱ |

| | | | | |
|--------------|-----------|--------------|--------------|--------------|
| زمان جابجایی | | مرکز توزیع ۱ | مرکز توزیع ۲ | مرکز توزیع ۳ |
| | کارخانه ۱ | ۱ | ۱ | ۱ |

| | | | | |
|--|---------------|---------------|--------------|---|
| | کارخانه ۲ | ۲ | ۲ | ۲ |
| هزینه جابجایی | | کارخانه ۱ | کارخانه ۲ | |
| | تأمین کننده ۱ | ۲ | ۲ | |
| | تأمین کننده ۲ | ۲/۰۰۰۱ | ۲/۰۰۰۱ | |
| زمان جابجایی | | کارخانه ۱ | کارخانه ۲ | |
| | تأمین کننده ۱ | ۱۱ | ۱۱ | |
| | تأمین کننده ۲ | ۱۲ | ۱۲ | |
| فاصله زمانی طراحی | | ۲۰ سال | | |
| وزن توابع هدف | | W=(۱,۰,۰) | | |
| | مرکز توزیع ۱ | مرکز توزیع ۲ | مرکز توزیع ۳ | |
| پارمتر λ با توجه به داده های تاریخی و نظر خبرگان | ۰/۰۰۰۰۱ | ۰/۰۰۰۰۲ | ۰/۰۰۰۰۴ | |
| | کارخانه ۱ | کارخانه ۲ | | |
| پارمتر λ با توجه به داده های تاریخی و نظر خبرگان | ۰/۰۰۰۰۱ | ۰/۰۰۰۰۲ | | |
| | تأمین کننده ۱ | تأمین کننده ۲ | | |
| پارمتر λ با توجه به داده های تاریخی و نظر خبرگان | ۰/۰۰۰۰۱ | ۰/۰۰۰۰۳ | | |

۱ و وزن تابع هدف قابلیت اطمینان و زمان صفر در نظر گرفته می شود و $W=(۱,۰,۰)$ ، انتظار می رود کارخانه ۱ و توزیع کننده شماره ۱ و تأمین کننده شماره ۱ انتخاب شود. مدل توسط الگوریتم ارائه داده شده حل می گردد که نتایج آن در جدول (۳) آمده است.

در این مثال تمامی شرایط مشتریان، توزیع کننده ها، تولید کننده ها و تأمین کننده های مانند هم در نظر گرفته شده است، ولی هزینه های جابجایی توزیع کننده، تولید کننده و تأمین کننده شماره ۱ به اندازه ۰/۰۰۰۱ کمتر از توزیع کننده ها، تولید کننده ها و تأمین کننده های دیگر می باشد. به منظور اطمینان از اعتبار نتایج، وزن تابع هدف هزینه برابر با

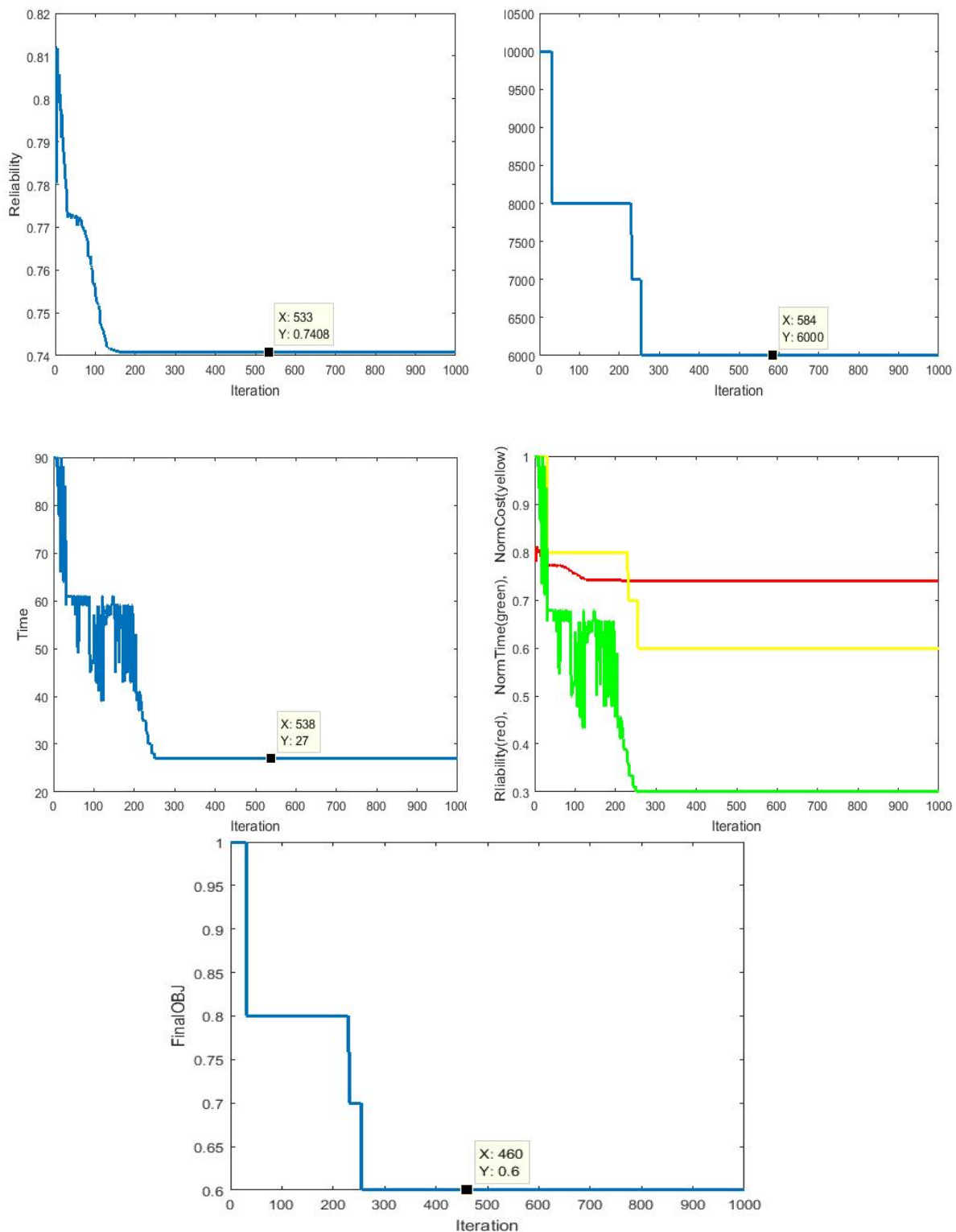
جدول (۳). نتایج حل مدل دوم

| | | | | | | |
|-------------------------------------|---------------|--------------|--------------|--------------|---------|---------|
| مجموع هزینه ها در حالت بهینه | | ۶۰۰۰ | | | | |
| قابلیت اطمینان حالت بهینه | | ۰/۷۴۰۸ | | | | |
| مدت زمان جابجایی در حالت بهینه | | ۲۷ | | | | |
| مقدار کل تابع هدف | | ۰/۵۹۹۹۹ | | | | |
| میزان کالای جابجا شده در حالت بهینه | | مشتری ۱ | مشتری ۲ | مشتری ۳ | مشتری ۴ | مشتری ۵ |
| | مرکز توزیع ۱ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ |
| | مرکز توزیع ۲ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ |
| | مرکز توزیع ۳ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ |
| میزان کالای جابجا شده در حالت بهینه | | مرکز توزیع ۱ | مرکز توزیع ۲ | مرکز توزیع ۳ | | |
| | کارخانه ۱ | ۵۰۰ | ۰ | ۰ | | |
| | کارخانه ۲ | ۰ | ۰ | ۰ | | |
| میزان کالای جابجا شده در حالت بهینه | | کارخانه ۱ | کارخانه ۲ | | | |
| | تأمین کننده ۱ | ۵۰۰ | ۰ | | | |
| | تأمین کننده ۲ | ۰ | ۰ | | | |

نیز مطابق شکل (۹) می باشد.

این مسأله در نمونه های کوچک توسط گمز نیز حل می گردد. نتایج مثال بالا که با نرم افزار Gams حل گردیده مطابق جدول (۳) می باشد.

همان طور که مشاهده می شود توزیع کننده، کارخانه و تأمین کننده شماره ۱ انتخاب شده است. نتایج حاصل از اجرای این شبیه سازی نشان می دهد که رویکرد ارائه داده شده بهینه بوده که نمودارهای آن



شکل (۹). نمودارهای حالت بهینه مدل دوم

۶. نتیجه‌گیری

شد که ممکن است برای هر تسهیل شکست اتفاق بیفتد و با ایجاد اختلال و عدم کارکرد، باعث زیان به سیستم شود، از این رو در نظر گرفتن موضوع قابلیت اطمینان در هنگام طراحی زنجیره‌تأمین بسیار حائز اهمیت می‌باشد. بدون در نظر گرفتن موضوع قابلیت اطمینان به‌عنوان تابع هدف در مسائل طراحی زنجیره‌تأمین و یا نحوه غیر صحیح

در این مقاله ارزش زنجیره‌تأمین با استفاده از سه شاخص مدل SCOR شامل هزینه، پاسخ‌گویی (زمان تحویل) و قابلیت اطمینان تعریف گردید و با ماکزیمم نمودن ارزش، طراحی بهینه زنجیره‌تأمین صورت پذیرفت. در این مقاله به مسأله طراحی شبکه زنجیره‌تأمین پرداخته

محاسبه قابلیت اطمینان هر یک از سطوح با روش محاسباتی سیستم‌های موازی، صحیح نمی‌باشد و می‌بایست قابلیت اطمینان هر یک از اعضا باتوجه به میزان محصول یا مواد اولیه‌ای که هر عضو از آن سطح تأمین، تولید و یا نگهداری می‌کند، متفاوت باشد که این موارد در تحقیقات گذشته در نظر گرفته نشده بود. در این مقاله قابلیت اطمینان وابسته به میزان تولید نیز فرض شده است، چون اگر میزان برآورده شدن تقاضا توسط یک تسهیل افزایش یابد، می‌بایست قابلیت اطمینان آن نیز تغییر نماید.

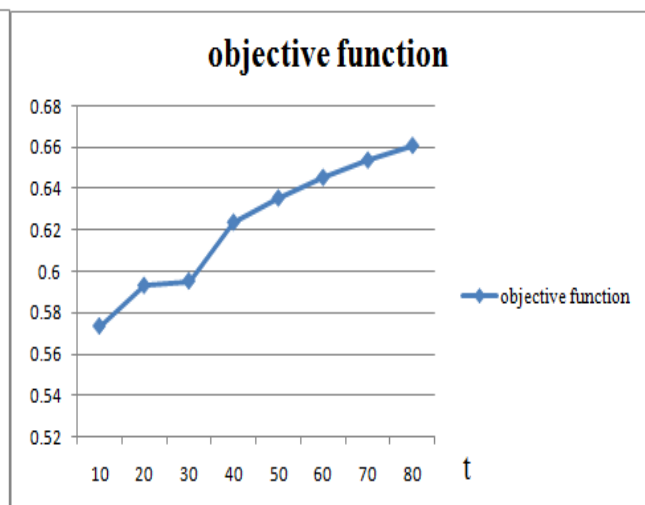
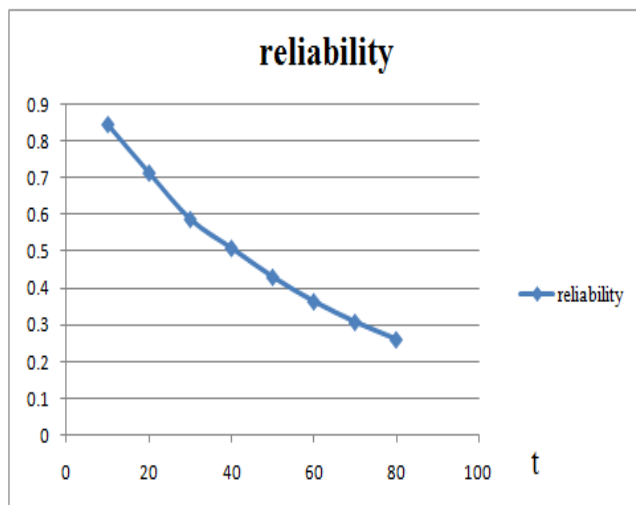
محاسبه آن، نتایج به‌دست آمده و طراحی صورت گرفته متفاوت خواهد شد و طراحی انجام شده به‌گونه‌ای خواهد بود که زنجیره تأمین از قابلیت اطمینان بالایی به‌منظور برآورده کردن مناسب‌تر نیازهای مشتریان برخوردار نبوده که در طولانی مدت باعث نارضایتی مشتریان و کاهش ارزش زنجیره خواهد شد. در مقالات گذشته شاخص قابلیت اطمینان تا حد بسیار زیادی ساده‌سازی شده و یا به‌صورت عددی ثابت در نظر گرفته‌اند که از نوآوری‌های این مقاله ارائه روش صحیح محاسبه قابلیت اطمینان باتوجه به تعریف و ماهیت آن می‌باشد. از طرفی

جدول (۴). نتایج حل مدل با استفاده از نرم‌افزار گمز

| VAR x DC to Costomers | | | |
|-----------------------|-------|---------|-------|
| | LOWER | LEVEL | UPPER |
| 1.1 | . | 100.000 | +INF |
| 1.2 | . | 100.000 | +INF |
| 1.3 | . | 100.000 | +INF |
| 1.4 | . | 100.000 | +INF |
| 1.5 | . | 100.000 | +INF |
| 2.1 | . | . | +INF |
| 2.2 | . | . | +INF |
| 2.3 | . | . | +INF |
| 2.4 | . | . | +INF |
| 2.5 | . | . | +INF |
| 3.1 | . | . | +INF |
| 3.2 | . | . | +INF |
| 3.3 | . | . | +INF |
| 3.4 | . | . | +INF |
| 3.5 | . | . | +INF |

| VAR y Plants to DC | | | |
|--------------------|-------|---------|-------|
| | LOWER | LEVEL | UPPER |
| 1.1 | . | 500.000 | +INF |
| 1.2 | . | . | +INF |
| 1.3 | . | . | +INF |
| 2.1 | . | . | +INF |
| 2.2 | . | . | +INF |
| 2.3 | . | . | +INF |

| VAR z Supplier to Plants | | | |
|--------------------------|-------|---------|-------|
| | LOWER | LEVEL | UPPER |
| 1.1 | . | 500.000 | +INF |
| 1.2 | . | . | +INF |
| 2.1 | . | . | +INF |
| 2.2 | . | . | +INF |



شکل (۱۰). آنالیز حساسیت مدل

هزینه و زمان. مدیریت تولید و عملیات. دوره ششم، شماره ۱. ۱۲۷-۱۴۸.

- [14] Li, J.-Q., Mirchandani, P.B., Borenstein, D. (2009). Real-time vehicle rerouting problems with time windows. *European Journal of Operational Research*, 194(3): 711-727.
- [15] Hatefi, S. M., Jolai, F., Torabi, S. A., & TavakkoliMoghaddam, R. (2015). A credibility constrained programming for reliable forward& reverse logistics network design under uncertainty and facility disruptions. *Int. J. Comput. Integr.*
- [16] Chen, G., Sun, X., Hu, H., & Hu, Y. (2015). Research on Modeling and Algorithm of Supply Chain's Reliability Based on CCFSM. *Journal of Coastal Research*, 73(sp1), 99-103.
- [17] Gao. L& Gao. J. (2013). MAS-based reliability evaluation model in general equipment supply chain. *International Conference on Quality, Reliability, Risk, Maintenance, and Safety Engineering (QR2MSE)*, 1387-1392.
- [18] Zhang. J & Ren. F (2013). Reliability Evaluation of Processed Oil Supply Chain under Emergency. *Applied Mechanics and Materials Vol. 339* (2013) pp 793-799
- [19] Manuel Taifouris a, Mariano Martín, Alberto Martínez, Nats Esquejo, "Simultaneous optimization of the design of the product, process, and supply chain for formulated product," *Computers and Chemical Engineering*. Vol. 152, may 2021.
- [20] Jabbarzadeh, A., Jalali Naini, A., Davoudpour, H., Azad, N., Designing a supply chain network under the risk of disruptions. *Mathematical Problems in Engineering*, 2012.
- [21] Azad, N., Davoudpour, H., Malekly, H., Yektamaram, A., Strategies for protecting supply chain networks against facility and transportation disruptions: an improved Benders decomposition approach. *Annals of Operations Research*. 210(1): pp. 125-163.
- [22] Seyyed Hossein Alavi, ArminJ abbarzadeh. (2018). Supply chain network design using trade credit and bank credit: A robust optimization model with real world application. *Computers & Industrial Engineering*, 125, 169-86.
- [23] Faezeh Gholamia, Mohammad Mahdi Paydarb, Mostafa Hajiaghahi-Keshteli an and Armin Cheraghalipour, (2019). A multi-objective robust supply chain design considering reliability. *Journal of Industrial and Production Engineering* 34, 3506-3590.
- [24] Fatemeh Delfania, Hamed Samanipourb, Hossein Beikib, Alexei Valerievich Yumashevc and Elvir Munirovich Akhmetshin, (2020). A robust fuzzy optimisation for a multi-objective pharmaceutical supply chain network design problem considering reliability and delivery time" *International Journal of Systems Science: Operations & Logistics*. Vol. 32.
- [25] Manuel Taifouris a, Mariano Martín, Alberto Martínez, Nats Esquejo, (2021) "Simultaneous optimization of the design of the product, process, and supply chain for formulated product," *Computers and Chemical Engineering*. Vol. 152.
- [26] Dennis Kallina, Prof. Dr. Dr. Patrick Siegfried, (2021) "Optimization of Supply Chain Network using Genetic Algorithms based on Bill of materials," *The International Journal of Engineering and Science (IJES)*. Volume 10, Issue 7, Series I, Page, PP 37-47.
- [27] Jesus OchoaRobles, CatherineAzzaro-Pantel, AlbertoAguilar-Lasserre, (2020) "Optimization of a hydrogen supply chain network design under demand uncertainty by multi-objective genetic algorithms," *Computers & Chemical Engineering* ". Volume 140, 2

در این مقاله یک مدل یکپارچه و سه‌هدفه و چندسطحی بر مبنای قابلیت اطمینان، زمان تحویل و هزینه‌های طراحی و هزینه‌های حمل‌ونقل به‌منظور طراحی یک شبکه زنجیره‌تأمین ارائه داده شد. سپس مدل ارائه شده با استفاده از روش حل دقیق با استفاده از نرم‌افزار گمز و الگوریتم فراابتکاری ژنتیک با استفاده از نرم‌افزار متلب حل و در نهایت مثال‌های عددی برای اعتبارسنجی و اثبات نتایج به‌دست آمده از این مقاله ارائه گردید.

مراجع

- [1] Eleonora Bottania, Teresa Murinob, Massimo Schiavob, Renzo Akkerman (2019). Resilient food supply chain design: Modelling framework and metaheuristic solution approach, *Computers & Industrial Engineering* 135, 177-198.
- [۲] نجمه بهرامپور، رضا توکلی مقدم، ناصر شهسواری پور (۱۳۹۵) بهینه‌سازی دودفده برای مساله مکانیابی-مسیریابی با در نظر گرفتن قابلیت اطمینان و هزینه‌های فازی. نشریه پژوهش‌های مهندسی صنایع در سیستم‌های تولید. سال چهارم، شماره ۴، ۱۳۳-۱۴۵.
- [3] Snyder, L. V. (2003). Supply chain robustness and reliability: Models and algorithms. Ph.D. dissertation, Northwestern University, Department of Industrial Engineering & Management Sciences.
- [4] Snyder, L. V., Daskin, M. S. (2005). Reliability models for facility location: the expected failure cost case. *Transportation Science*, 39(3): 400-416.
- [5] Madjid Tavana, Hadi Kian, Arash Khalili Nasr, Arash Khalili Nasr, Hassan Mina (2022). A Comprehensive Framework for Sustainable Closed-Loop Supply Chain Network Design. *Clean Products and Processes*, 12, 13.
- [6] ReVelle, C., Hogan. K. (1989). The maximum availability location problem. *Transportation Science*, 23(3): 192-200
- [7] Diabat, A., Jabbarzadeh, A., & Khosrojerdi, A. (2019). A perishable product supply chain network design problem with reliability and disruption considerations. *International Journal of Production Economics*, 212, 125-138.
- [8] Ali Toloioe, Meghna Maity, Ashesh Kumar Sinha, A. (2020). A two-stage stochastic mixed integer program for reliable supply chain network design under uncertain disruptions and demand. *Computers & Industrial Engineering*, 148.
- [9] Anastasia Chatzikontidou Pantelis Longinidisa Panagiotis Tsiakisb Michael C. Georgiadis (2017). Flexible supply chain network design under uncertainty, *Chemical Engineering Research and Design* 128, 290-305.
- [10] Helander, M.E., Melachrinoudis, E. (1997). Facility location and reliable route planning in hazardous material transportation. *Transportation science*, 31(3): 216-226.
- [۱۱] ابوالفضل کاظمی، امیر حسین نوبیل، علیرضا علی نژاد (۱۳۹۵)، ارائه یک مدل دودفده برای تصمیم‌های مکان‌یابی و تخصیص در یک زنجیره‌تأمین سه‌سطحی. مدیریت تولید و عملیات. دوره هفتم، شماره ۲، ۱۷۲-۱۵۳.
- [12] Sansó, B., Soumis, F. (1991). Communication and transportation network reliability using routing models. *Reliability, IEEE Transactions on*, 40(1): 29-38.
- [۱۳] محمد امیرخان، احمد نورنگ، رضا توکلی مقدم (۱۳۹۴)، یک رویکرد برنامه‌ریزی تعاملی فازی برای طراحی شبکه زنجیره‌تأمین چندسطحی، چندکالایی و چنددوره‌ای تحت شرایط عدم قطعیت با در نظر گرفتن

- [45] Apaiah, R. K., Hendrix, E. M. (2005). "Design of a supply chain network for pea-based novel protein foods", *Journal of Food Engineering*, 55: 199-220.
- [46] Ferrer, J.C., Mac Gwaley, A., Maturana, S., Toloza, S., Vera, J. (2008). "An optimization approach for scheduling wine grape harvest operations", *International Journal of Production Economics*, 112: 985-999.
- [47] Arnaout, J.P.M., Maatouk, M. (2010). "Optimization of quality and operational costs through improved scheduling of harvest operations", *International Transactions in operational research*, 17: 595-605.
- [48] Ahumada, O., Villalobos, J. R. (2011). "Operational model for planning the harvest and distribution of perishable agricultural products", *International Journal of Production Economics*, 133: 677-687.
- [49] Vahdani, B., Tavakkoli-Moghaddam, R., Modarres, M., Baboli, A. (2012). Reliable design of a forward/reverse logistics network under uncertainty: A robust-M/M/c queuing model. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 48, 1152-1168.
- [50] Tan, B., Çomden, N. (2012). "Agricultural planning of annual plants under demand, maturation, harvest, and yield risk", *European Journal of Operational Research*, 220: 539-549.
- [51] Rocco, C. D., Morabito, R. (2016). "Production and logistics planning in the tomato processing industry: A conceptual scheme and mathematical model", *Computers and Electronics in Agriculture*, 127: 763-774.
- [52] Teimoury, E., Nedaei, H., Ansari, S., Sabbaghi, M. (2013). "A multi-objective analysis for import quota policy making in a perishable fruit and vegetable supply chain: A system dynamics approach", *Computers and Electronics in Agriculture*, 93: 37-45.
- [53] Agustina, D., Lee, C., Piplani, R. (2014). "Vehicle scheduling and routing at a cross docking center for food supply chains", *International Journal of Production Economics*, 152: 29-41.
- [54] Pasandideh, H.R., Akhavan Niaki, S.T., Asadi, K. (2015). Optimizing a bi-objective multiproduct multi-period three echelon supply chain network with warehouse reliability. *Expert Systems with Applications*, 42, 2615-2623.
- [55] González-Araya, M. C., Soto-Silva, W. E., Espejo, L.G.A. (2015). "Harvest planning in apple orchards using an optimization model", In *Handbook of operations research in agriculture and the agri-food industry*. 133:79-105.
- [56] Soto-Silva, W. E., González-Araya, M. C., Oliva-Fernández, M. A., Plà-Aragónés, L. M. (2017). "Optimizing fresh food logistics for processing: Application for a large Chilean apple supply chain", *Computers and Electronics in Agriculture*, 53: 227-238.
- [57] Li, G., Zhang, L., Guan, X., Zheng, J. (2016). Impact of decision sequence on reliability enhancement with supply disruption risks. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 90, 25-38.
- [58] Ghezavati, V., Hooshyar, S., Tavakkoli-Moghaddam, R. (2017). "A Benders' decomposition algorithm for optimizing distribution of perishable products considering postharvest biological behavior in agri-food supply chain: a case study of tomato", *Central European Journal of*
- [59] Ma, X., Wang, S., Islam, S.M., Liu, X. (2019). "Coordinating a three-echelon fresh agricultural products supply chain considering freshness-keeping effort with asymmetric information", *Applied Mathematical Modelling*, 67: 337-356.
- [60] Cheraghalipour, A., Paydar, M. M., Hajiaghahi-Keshmeli, M. (2018). "A bi-objective optimization for citrus closed-loop supply chain using Pareto-based algorithms", *Applied Soft Computing*, 33: 59-63.
- [61] Roghanian, E., Cheraghalipour, A. (2019). "Addressing a September 2020, 106853.
- [28] MahdiFathi, MarziehKhakifirooz, AliDiabat, HuangChen, (2021) "An integrated queuing-stochastic optimization hybrid Genetic Algorithm for a location-inventory supply chain network" *International Journal of Production Economics* Volume 237, July 2021, 108139.
- [29] MinHuang, PengxingYi, LjiunGuo, TielinShi, (2016) "A Modal Interval Based Genetic Algorithm for Closed-loop Supply Chain Network Design under Uncertainty" *IFAC-PapersOnLin* Volume 49, Issue 12, 2016, Pages 616-621.
- [30] Zahra Firoozim, Napsiah Ismail, Shahram Ariafar (2013) "A Genetic Algorithm for Solving Supply Chain Network Design Model," *AIP Conference Proceedings* 1557, 211 (2013).
- [31] Fulya Altiparmak, Mitsuo Genb, Lin Lin, Ismail Karaoglan, (2009) "A steady-state genetic algorithm for multi-product supply chain network design," *Computers & Industrial Engineering*. Volume 56, Issue 2, March 2009, Pages 521-537.
- [۳۲] حسین شورورزی، محمد سعدی مسگری، عباس علیمحمدی، حسین آقا محمدی. "مقایسه الگوریتم‌های فراابتکاری در حل مسأله مکان‌یابی". نشریه مدرس علوم انسانی (برنامه‌ریزی و آمایش فضا)، ۱۳۹۱، شماره ۳.
- [33] O. Ozkan, S. Kilic, (2019) "A Monte Carlo Simulation for Reliability Estimation of logistics and Supply Chain Network" *IFAC PapersOnLine* 52-13. 2080-2085.
- [34] Valery Lukinskiy, Vladislav Lukinskiy, Rostislav Churilov (2014) "Problems of The Supply Chain Reliability Evaluation". *Transport and Telecommunication*, 2014, volume 15, no. 2, 120-129.
- [35] Thomas, M.U. (2002), "Supply chain reliability for contingency operations", *Annual Reliability and Maintainability Symposium*, pp. 61-67, IEEE, Seattle, WA.
- [36] Liu, Y.-H. and Luo, M. (2007), "Reliability evaluation index system on member enterprise of supply chain", *Commercial Research*, Vol. 360, pp. 120-123.
- [37] Mu, D. (2010), *Research of Complexity and Evaluation Methods of Supply Chain System*, Tsinghua University Press, Beijing.
- [38] Zhao, H. and Yang, J. (2007), "Supply chain reliability management research", *Modern Management Science*, Vol. 4, pp. 55-57.
- [39] Zhang, Y.-Y. (2012), "Reliability evaluation of fresh agriculture products supply chain based on the GO methodology", *Logistics Engineering and Management*, Vol. 34, pp. 65-6
- [40] Ha, C., Jun, H.-B. and Ok, C. (2018), "A mathematical definition and basic structures for supply chain reliability: a procurement capability perspective", *Computers and Industrial Engineering*, Vol. 120, pp. 334-345.
- [41] Ghaffari-Nasab, N., Ahari, S.G., Ghazanfari, M. (2013). A hybrid simulated annealing based heuristic for solving the location-routing problem with fuzzy demands. *Scientia Iranica*, 20(3): 919-930.
- [۴۲] شکراله ج، رستمی مهر، م. (۱۳۸۶). "مدیریت ریسک زنجیره‌های تأمین بر پایه قابلیت اطمینان"، نخستین کنگره بین‌المللی مدیریت ریسک.
- [43] Miller, W., Leung, L., Azhar, T., Sargent, S. (1997). "Fuzzy production planning model for fresh tomato packing", *International Journal of Production Economics*, 53: 227-238.
- [44] Caixeta-Filho, J.V. (2006). "Orange harvesting scheduling management: a case study", *Journal of the Operational Research Society*, 57: 637-642.

- [68] Journal of Cleaner Production, 276: 123-305."
- [69] C. R. Vishnu, Sangeeth P. Das, R. Sridharan, P. N. Ram Kumar & N. S. Narahari, Development of a reliable and flexible supply chain network design model, a genetic algorithm based approach, International Journal of Production Research, 2021, Volume 59, Issue 20.
- [70] [Mahmood Nosrati and Alireza Arshadi Khamseh, Reliability optimization in a four-echelon green closed-loop supply chain network considering stochastic demand and carbon price, Uncertain Supply Chain Management 8 (2020) 457-472.
- [71] Salehi-Amiri, A., Zahedi, A., Gholian-Jouybari, F., Calvo, E. Z. R., & Hajiaghaei-Keshteli, M. (2022). Designing a closed-loop supply chain network considering social factors; a case study on avocado industry. Applied Mathematical Modelling, 101: 600-631.
- [۷۲] رضا توکلی مقدم، جاوید قهرمانی نهر، علی قدرت نما، حمید رضا ایزد بخش (۱۳۹۷). "طراحی یک شبکه زنجیره تأمین سبز چندهدفه چندمحصولی و چنددوره‌ای با در نظر گرفتن تخفیف در شرایط عدم قطعیت"، نشریه پژوهش‌های مهندسی صنایع در سیستم‌های تولید، سال ششم، شماره سیزدهم، پاییز و زمستان ۱۳۹۷، صفحه ۱۱۹-۱۳۷.
- set of meta-heuristics to solve a multi-objective model for closed-loop citrus supply chain considering CO2 emissions", Journal of Cleaner Production, 239: 81-118.
- [62] Faezeh Gholami, Mohammad Mahdi Paydar, Mostafa Hajiaghaei-Keshteli & Armin Cheraghalipour, A multi-objective robust supply chain design considering, reliability, Journal of Industrial and Production Engineering, 276: 123-305.
- [63] Cheraghalipour, A., Paydar, M.M., Hajiaghaei-Keshteli, M. (2019). "Designing and solving a bi-level model for rice supply chain using the evolutionary algorithms", Computers and Electronics in Agriculture, 162: 651-668.
- [64] Roghanian, E., Cheraghalipour, A. (2019). "Addressing a set of meta-heuristics to solve a multi-objective model for closed-loop citrus supply chain considering CO2 emissions", Journal of Cleaner Production, 239: 81-118.
- [65] Jifroudi, S., Teimoury, E., Barzinpour, F. (2020). "Designing and planning a rice supply chain: a case study for Iran farmlands", Decision Science Letters, 9: 163-180
- [66] Yan, B., Chen, X., Cai, C., Guan, S. (2020). "Supply chain coordination of fresh agricultural products based on consumer behavior", Computers & Operations Research, 123: 105-138.
- [67] Chavez, M. M. M., Sarache, W., Costa, Y., Soto, J. (2020). Multiobjective stochastic scheduling of upstream operations in a sustainable sugarcane supply chain",



DOI: 10.22084/IER.2023.25839.2072

Multi-level supply chain network Design based on the multiple objectives of reliability, cost and delivery time using a meta-heuristic solution method

R. Esfandiyari¹, R. Sadeghian^{2*}

¹ Ph.D. student, Department of Industrial Engineering, Payam Noor University, Tehran, Iran

² Associate Professor, Department of Industrial Engineering, Payam Noor University, Tehran, Iran

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 2022/02/17

Accepted: 2022/07/16

Keywords:

Supply Chain Network Design

Reliability

Value

Delivery Time

Genetic Algorithm

SCOR Model

ABSTRACT

Reliability is an important indicator that should be taken into account when making strategic decisions in the design of the supply chain so that the system continues to function with the least loss when a member malfunctions or fails. In this article, an attempt is made to reduce the long-term costs of the chain and increase the service level by increasing the reliability. One of the innovations of this article is to present a new method for calculating the supply chain reliability index according to the definition and nature of reliability. Calculating the reliability of each of the levels with the calculation method of parallel systems is not correct, according to the proof in the text of the article, and the reliability of each member should be based on the amount of product or raw materials that each member supplies from that level. Produce or maintain, be different that these cases were not considered in the previous research.

Value is the final indicator of the success of a system. In this article, the value of the supply chain is defined using three indicators of the SCOR model, including cost, responsiveness (delivery time) and reliability. The proposed model belongs to the category of non-linear integer programming problems (MINLP), which is designed with the aim of maximizing the value of the supply chain. Due to the complexity of the problem in large dimensions and proving that it is NP-hard, the meta-heuristic algorithm developed by genetics has been used to solve it.

* Corresponding author. R. Sadeghian

Tel.:021-22455112; E-mail address: sadeghian@pnu.ac.ir