بهینه سازی همزمان میانگین و واریانس توابع هدف در زنجیره تأمین غیر قطعی

علی سلماس نیا[۱،*]، علی زندیه و محمدرضا نامدار

اطلاعات مقاله

دریافت مقاله: ۱۳۹۴/۰۲/۲۹
پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۰۲/۲۴

واژگان کلیدی:
زنجیره تأمین،
بهینه سازی چند هدفه،
عدم قطعیت،
همبستگی بالقوه بین اهداف ،
متغیرهای غیر قابل کنترل.

چکیده

تنظیم متغیرهای تصمیم به منظور مینیمم‌سازی هزینه کل زنجیره یکی از مسائل مهم در ادبیات زنجیره تأمین محسوب می‌شود. در طی سال‌های اخیر روش‌های متعددی برای حل این مسائل ارائه شده است. اما بیشتر این رویکردها، پارامترهای مسئله از قبیل میزان تقاضا و زمان رسید کالا را قطعی فرض نموده‌اند و همچنین از همبستگی بالقوه بین اهداف زنجیره غفلت نموده‌اند. در این مطالعه یک رویکرد بهینه سازی بر اساس رویکرد تابع مطلوبیت برای حل مسئله زنجیره تأمین چند هدفه پیشنهاد شده است که نه تنها همه‌ی اهداف را به طور همزمان در یک حداقل سطح مطلوبیت با پارامترهای احتمالی از نقطه نظر تصمیم گیرنده (DM) قرار می‌دهد، بلکه همچنین همبستگی بالقوه بین اهداف و اهمیت نسبی آن‌ها را ضمن تلاش برای حداقل ساختن اثر متغیرهای غیر قابل کنترل (فاکتورهای اختلال) روی اهداف، لحاظ می‌کند.

۱- مقدمه

زنجیره تأمین سیستمی متشکل از تسهیلات و فعالیت‌ها می‌باشد که به صورت توأم با یکدیگر در راستای اهدف تدارک، تولید و توزیع کالا به مشتریان کار می‌کنند. مدیریت زنجیره تأمین مجموعه‌ای از روش‌ها است که جهت ایجاد همسویی و هماهنگی کارای تأمین‌کنندگان، تولیدکنندگان، مراکز نگهداری و خرده فروشان به کار می‌رود تا کالای مورد نظر با مقدار مورد نظر در زمان و مکان مناسب با کمترین هزینه (بیشترین درآمد ممکن) و سطح سرویس مطلوب در اختیار مشتریان قرار بگیرد [۱] .[۱]از دیدگاه مدیریت زنجیره تأمین، برنامه‌ریزی صرفاً برای یک بنگاه به منظور ایجاد و بهبود هزینه‌ها کافی نیست. بلکه در این نگرش کلیه تأمین کنندگان مواد اولیه، تولیدکنندگان، توزیع‌کنندگان و فروشندگان در بهبود کیفیت محصول نهایی و کاهش هزینه‌ها و قیمت نهایی به‌طور مستقیم تأثیرگذار هستند. بنابراین لازم است در برنامه‌ریزی‌ها، سطوح مختلف و محدودیت‌های آن‌ها در نظر گرفته شوند [۲]. هدف از ارائه این ترکیب که پیکربندی زنجیره در پی آن تعیین می‌گردد آن است که محصولات در مقدار، زمان و مکان مناسب تولید و توزیع گردند [۳]. چرا که امروزه مشتریان به سازمان‌هایی وفادارند که بتوانند تقاضاهایشان را به موقع و سروقت تأمین کنند. مصرف‌کنندگان انتظار دارند زمانی که به فروشگاه می‌روند کالا با مارک مورد علاقه‌شان را پیدا کنند در غیر این صورت سراغ مارک‌های دیگری می‌روند. این موضوع به ویژه در صنایع محصولات مصرفی آشکارتر است و دلیل آن نیز به‌خاطر وجود رقبای متعدد و شباهت زیاد محصولات تولیدی آن‌ها می‌باشد. به عبارت دیگر در چنین صنایعی تقاضا نمی‌تواند پس‌افت داشته باشد و فقط شامل فروش از دست رفته است. از این‌رو انبارهای محصولات نهایی نقش مهمی را در زنجیره تأمین بازی می‌کنند [٤]. در بخش بعدی، ادبیات مربوط به موضوع مدیریت زنجیره تامین و مدل های مختلف ارائه شده برای آن، بررسی شده و نوآوری های در نظر گرفته شده در این پژوهش تشریح خواهند شد.

۲- مرور ادبیات

بدست آوردن سیاست بهینه در یک سیستم موجودی چند

* پست الکترونیک نویسنده مسئول: a.salmasnia@qom.ac.ir
۱. استادیار، گروه مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی،دانشگاه قم

سطحی با در نظر گرفتن تعاملات میان سطوح مختلف مشکل می‌باشد. یکی از اولین مدل های مرور پیوسته موجودی در سیستم‌های چند سطحی، توسط شربروک [۵] ارایه شده است. او یک سیستم دو سطحی را در نظر گرفت که در آن تعدادی خرده فروش با یک انبار مرکزی در ارتباط می‌باشد. همچنین کارهای متنوع دیگری به ویژه در زمینه تعیین نقطه سفارش مجدد و اندازه سفارش توسط [۶–۱۱] انجام شده است. برای اطلاعات بیشتر در این زمینه می‌توان به [۱۲] مراجعه کرد.

در اغلب تحقیقات مطرح شده در بالا مقادیر در نظر گرفته شده به ویژه نرخ ورود تقاضا به خرده فروش، ثابت در نظر گرفته شده است و فرض بر قطعی بودن تمامی پارامترهای مؤثر بر طراحی زنجیره می‌باشد در حالی که شبکه تأمین یک سیستم پیچیده است که همواره با عدم قطعیت بسیاری نظیر عدم قطعیت در میزان تقاضای مشتریان، میزان تأمین توسط تأمین کنندگان، تحویل کالا و غیره مواجه است و نادیده گرفتن ماهیت غیر قطعی داده‌ها و برخورد قطعی با آن‌ها در مدل طراحی زنجیره منطقی نخواهد بود [۱], [۱۳]. از طرف دیگر حرکت به سمت بازارهای جهانی و ایجاد اتحادیه‌های فرامنطقه‌ای، محیط اطراف و عوامل مؤثر در تصمیم‌گیری را همواره با موارد جدیدی از عدم قطعیت همراه ساخته که می‌توان به مواردی نظیر قابلیت اطمینان کانال‌های توزیع اشاره نمود[۱۴]. شن برای مدل سازی کالاهای تحویل داده شده از تسهیلات به خرده فروشان، حجم سفارشات خرده فروشان را در یک عدد تصادفی ضرب نموده است. همچنین باناداسکو نیز یک مدل برای زنجیره تأمین چند لایه با در نظر گرفتن عدم قطعیت تأمین‌کنندگان ارائه نموده است [۱۵]. موراناس و گوپتا تقاضا را احتمالی با توزیع نرمال در نظر گرفتند [۱۶]. سانتوس با هدف طراحی زنجیره تأمین در مقیاس واقعی و با معیار ارزیابی حداقل سازی هزینه‌های مربوط به پیکربندی شبکه‌ها، تقاضا، حمل و نقل و میزان تأمین توسط تأمین کنندگان را غیر قطعی همراه با توزیع احتمال در نظر گرفتند [۱۴]. گویلن سعی نمود با هدف حداکثرسازی سطح خدمت‌دهی، تقاضا را به عنوان یک عامل غیر قطعی احتمالی در نظر بگیرد [۱۷]. وُو و هسیین دو پارامتر تقاضا و میزان ظرفیت تأمین کننده را به صورت احتمالی در نظر گرفتند [۱۸]. می‌توان پارامترهای غیر قطعی را همراه با توزیع احتمال آن‌ها در نظر گرفت و بایستی در نظر داشت که غیر قطعی فرض کردن یک پارامتر می‌تواند منجر به احتمالی شدن برخی دیگر از متغیرهای تصمیم‌گیری شود. برای مثال اگر تقاضا غیر قطعی شود متغیرهای تصمیم‌گیری دیگری نظیر میزان فروش محصولات نیز احتمالی خواهند شد. یک رویکرد ابتکاری برای غلبه بر تقاضای غیر قطعی، در نظر گرفتن مقدار مشخصی از موجودی اطمینان قبل از دریافت تقاضا است [۱۹]. از دیگر مطالعاتی که فرض عدم قطعیت را در پارامترهای ورودی مساله در نظر گرفته‌اند می‌توان به [۲۰] اشاره کرد. در این پژوهش، مدلی برای طراحی پایای شبکه زنجیره تامین حلقه بسته ارائه شده است که با استفاده از یک روش کارای برنامه ریزی امکانی با عدم قطعیت ورودی های مساله مقابله شده است.

هدف از مطالعه زنجیره تأمین دست‌یابی به ساختاری است که اهداف مورد نظر تصمیم‌گیرنده[1] (DM) را محقق سازد برای مثال ایجاد ساختاری که هزینه را حداقل کند اما در عین حال سطح خدمت‌دهی به مشتری را حداکثر سازد. از طرف دیگر امکان تعارض در بین اهداف وجود دارد برای مثال حداقل‌سازی هزینه ساختار شبکه می‌تواند منجر به حداقل‌سازی سطح موجودی اطمینان و یا انتخاب سطح پایین‌تری از سیستم حمل و نقل گردد. در نهایت این عوامل امکان دارد منجر به پایین آمدن سطح خدمت‌دهی به مشتری شود. از سوی دیگر اگر تصمیم گیرنده خواستار حداکثر کردن سطوح خدمت‌دهی باشد هزینه ایجاد ساختار نیز افزایش خواهد یافت. کاملاً آشکار است که جهت بهبود این دو تابع هدف در تعارض با یکدیگر هستند و ایجاد بهبود در یکی دیگری را بدتر می‌کند. برای حل این مسئله بایستی از تکنیک‌های حل مسائل برنامه‌ریزی چند هدفه استفاده نمود [۳]. در اغلب تحقیقاتی که در بالا شرح داده شد تنها یک تابع هدف را در نظر گرفته‌اند و آن هدف اکثراً بر پایه کمینه سازی هزینه کل زنجیره می‌باشد. مطالعاتی نیز در زمینه توابع چند هدفه صورت گرفته که برای اطلاعات بیشتر می‌توان به [۲۱] مراجعه نمود. اما در اغلب این مطالعات نیز پارامترهای کمی به صورت غیر قطعی فرض شده‌اند و غالباً نیز از وابستگی بین توابع هدف و وجود تعادل بین سطوح مختلف زنجیره چشم پوشی شده است. در ادامه این بخش، به منظور مقایسه ادبیات موضوع و نوآوری‌های این مقاله، خلاصه‌ای از مقالات موجود در این زمینه و ویژگی‌های آن‌ها در جدول ۱ بیان شده‌اند.

در این تحقیق راهکارهایی مبتنی بر روش سطح پاسخ با استفاده از شبیه‌سازی ارائه شده است تا بتوان مسائل چند سطحی موجود در زنجیره تأمین غیرقطعی با توابع هدف مختلف را حل نمود.

[1] Decision Maker

رویکرد سطح پاسخ[1] (RSM) شامل گروهی از روش‌ها می‌باشد که برای بررسی و بدست آوردن روابط بین متغیرهای ورودی و مقادیر تابع هدف به‌کار می‌روند تا از طریق آن بتوان مقادیر بهینه متغیرهای ورودی را به منظور بیشینه و یا کمینه کردن مقادیر تابع هدف، تعیین نمود. برای اطلاعات بیشتر در زمینه روش‌های سطح پاسخ می‌توانید به [۲۲], [۲۳] مراجعه کنید

جدول ۱- خلاصه ای ادبیات موضوع

مقاله		تابع هدف			نوع پارامترها			مقاوم در برابر همبستگی بالقوه بین اهداف			مشخصه های بهینه سازی شده تابع هدف			در نظر گرفتن اهمیت نسبی توابع هدف	
		تک هدفه	چندهدفه		قطعی	احتمالی		خیر	بله		میانگین	واریانس		خیر	بله
[۱]			✓			✓		✓			✓	✓		✓	
[۲]		✓			✓			✓			✓			✓	
[۳]			✓		✓			✓			✓			✓	
[۴]		✓				✓		✓			✓			✓	
[۵]		✓				✓		✓			✓			✓	
[۶]		✓				✓		✓			✓			✓	
[۷]		✓				✓		✓			✓			✓	
[۸]		✓			✓			✓			✓			✓	
[۹]		✓				✓		✓			✓			✓	
[۱۰]		✓				✓		✓			✓			✓	
[۱۱]		✓			✓			✓			✓			✓	
[۱۲]		✓			✓			✓			✓			✓	
[۱۳]		✓				✓		✓			✓			✓	
[۱۴]		✓				✓		✓			✓	✓		✓	
[۱۵]		✓				✓		✓			✓			✓	
[۱۶]		✓				✓		✓			✓			✓	
[۱۷]			✓			✓		✓			✓			✓	
[۱۸]		✓				✓		✓			✓			✓	
[۱۹]		✓				✓		✓			✓	✓		✓	
[۲۰]		✓				✓		✓			✓			✓	
[۲۱]			✓			✓		✓			✓			✓	
این مطالعه			✓			✓			✓		✓	✓			✓

لازم به تذکر است که عمده فعالیت‌های بهینه‌سازی در شبیه‌سازی شامل یک هدف بوده و تلاش‌های بسیار ناچیزی در مورد حالت چند هدفه انجام شده است. همچنین به منظور رفع نواقص اشاره شده در مطالب فوق روشی معرفی گردیده که وجود وابستگی بین مقادیر توابع هدف اثری بر رو جواب‌های بدست آمده از آن ندارد به عبارت دیگر در برابر وابستگی بین توابع هدف مقاوم می‌باشد و همچنین می‌توان حدود بالا و پایینی را برای مقادیر تابع هدف تعیین کرد و تضمین نمود که تمامی اهداف در محدوده این نواحی مطلوب قرار می‌گیرند. از جمله مزایای دیگر روش پیشنهادی رعایت عدالت در بحث زنجیره تأمین است بدین معنا که روش پیشنهادی از هزینه‌های اضافی و غیر عادلانه که ممکن است به دلیل در نظر گرفتن همزمان توابع هدف، بر روی یکی از سطوح زنجیره تحمیل گردد، جلوگیری به عمل می‌آورد. در ادامه با تغییراتی در روش معرفی شده مقادیر انحراف

[1] response surface methodology

استاندارد توابع هدف نیز در نظر گرفته شده است. همچنین با ایجاد اصلاحاتی در مدل در صورتی که اهمیت نسبی عوامل تأثیرگذار و مقادیر توابع هدف و پراکندگی آن‌ها از نظر تصمیم‌گیرنده (DM) یکسان نباشد، می‌توان این فرض یکسان نبودن را نیز در نظر گرفت.

همان‌طور که در جدول ۱ و توضیحات فوق اشاره شد، می‌توان گفت که این پژوهش به منظور غلبه بر مشکلات موجود در مقالات قبل، مدلی را ارائه داده است که با در نظرگرفتن همزمان عدم قطعیت ورودی های مساله و اهمیت نسبی توابع هدف، میانگین و واریانس چندین تابع هدف را با استفاده از یک روش مقاوم نسبت به همبستگی بین اهداف، بهنیه می‌کند. در حالی که مزایای فوق تاکنون به صورت همزمان در هیچ مطالعه‌ای در نظر گرفته نشده است.

بر این اساس در بخش سوم ضمن معرفی پارامترها و متغیرها، مساله مورد نظر در این مقاله شرح داده شده است. در بخش چهارم روش حل پیشنهادی برای حل مسئله چند هدفه ارائه شده است. در بخش پنجم به بهینه سازی مدل و تغییرات آن برای در نظر گرفتن انحراف استاندارد توابع هدف و در نظر گرفتن اهمیت نسبی اهداف پرداخته شده است. سپس در بخش ششم مثالی از زنجیره تأمین دو سطحی تشریح و حل شده است و نتایج حاصل از حل آن در قالب جداولی مدون ارائه شده است. در انتها در بخش هفتم خلاصه و نتیجه‌گیری از کارهای انجام شده، بیان گردیده است.

۳- تعریف مسئله

در ابتدای این بخش، به منظور افزایش گویایی مساله، پارامترها و متغیرهای بکار گرفته شده در مساله به صورت دقیق در جدول ۲ بیان شده، سپس در ادامه به شرح مساله مورد بررسی پرداخته شده است.

ظهور و بیان اهمیت طراحی زنجیره تأمین به سال ۱۹۷۰ میلادی بر می‌گردد [۱]. مدیریت موفق زنجیره تأمین نیازمند تصمیمات مختلفی بر اساس جریان اطلاعات کالاها و سرمایه‌ها است. این تصمیمات را بر اساس توالی تصمیم و اثرگذاری هر یک می‌توان به سه دسته یا مرحله کلی تقسیم نمود:

۱- طراحی یا استراتژی زنجیره تأمین ۲- برنامه‌ریزی زنجیره تأمین ۳- عملیات زنجیره تأمین.

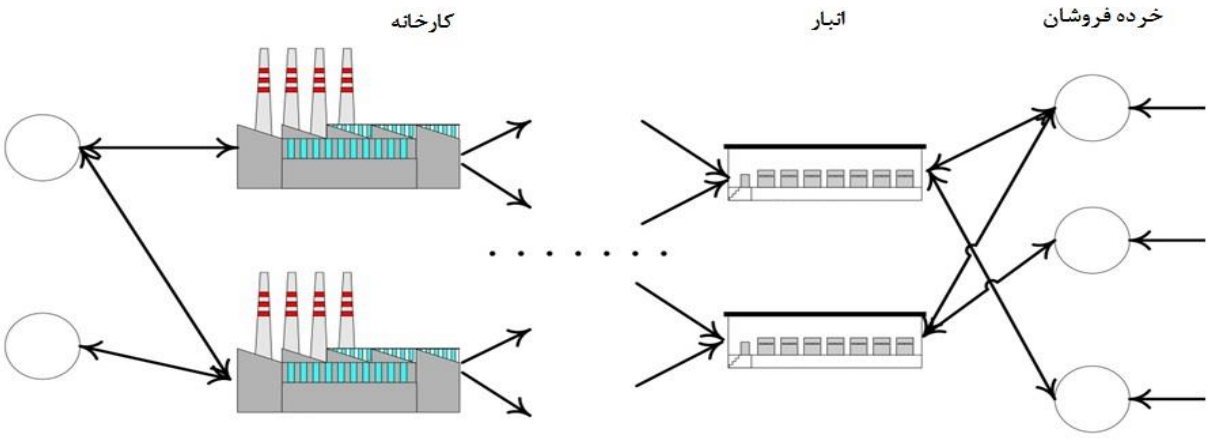
در مرحله دوم مجموعه‌ای از سیاست‌های عملیاتی تعریف می‌شوند که فرآیندها را در میان مدت هدایت و کنترل می‌کنند. در طی تصمیم‌گیری در این سطح از برنامه‌ریزی، پیکره معلوم شده برای زنجیره تأمین در فاز استراتژیک ثابت خواهد بود و تصمیمات این مرحله در قالب این ساختار اتخاذ خواهند شد. با در نظر گرفتن پیش‌بینی تقاضا در دوره برنامه‌ریزی، تصمیم‌گیری در این مرحله پیرامون موارد زیر خواهد بود.

- سیاست موجودی در تسهیلات
- تخصیص بازارها به تسهیلات توزیع
- برون سپاری تولید

مسائل مورد بررسی در این مقاله بر روی سیاست موجودی در تسهیلات تمرکز دارد. در تصمیمات این مرحله می‌بایستی عدم قطعیت در پارامترهای تصمیم‌گیری نظیر میزان تقاضا در نظر گرفته شود. چرا که با توجه به مدت زمان تصمیمات این مرحله، در نظر گرفتن فرض قطعی بودن پارامترها کمی دور از واقعیت است. بر این اساس می‌توان فرض نمودکه تقاضا با توزیع مشخصی (به طور مثال پواسون با میانگین λ) به خرده‌فروش می‌رسند. اگر زنجیره از سیاست ظرف ذخیره پیروی کند هرگاه میزان موجودی در خرده فروشی به سطح مشخصی مثلاً r_R برسد خرده فروش به اندازه Q_R واحد محصول به عمده فروش سفارش می‌دهد. زمان انتظار جهت دریافت سفارش در خرده فروشی (L_R) می‌باشد. این سیاست در سطوح دیگر زنجیره نیز برقرار می‌باشد به طور مثال در سطح تأمین‌کنندگان پس از رسیدن موجودی به سطح r_W به اندازه Q_W به سطح قبل از خود سفارش می‌دهد و تولید کننده نیز بر اساس وضعیت زنجیره پیش‌رو سیاست تولیدی خود را تعیین می‌کند. شکل (۱) مثالی از این زنجیره را نشان می‌دهد. دراینجا به دلیل استفاده از رویکرد شبیه‌سازی می‌توان از سیاست‌های موجودی دیگری نیز استفاده نمود. همچنین می‌توان از توابع هدف مختلفی همچون هزینه‌های موجودی در سطوح مختلف زنجیره که شامل هزینه‌های نگهداری موجودی، هزینه پس‌افت و هزینه سفارش می‌شود و یا تعداد فروش از دست رفته و ... استفاده نمود. در اینجا بایستی توجه نمود که در بسیاری از صنایع به ویژه صنایع محصولات مصرفی، در سطوح انتهایی زنجیره در صورت مواجهه با کمبود بحث سفارشات عقب افتاده مطرح نمی‌باشد و تقریباً کلیه این سفارشات از دست می‌روند. از این رو می‌توان گفت که هزینه فروش از دست رفته در این مراحل تقریباً غیر قابل محاسبه می‌باشد و تعداد سفارشات از دست رفته از اهمیت برخوردار است و می‌توان از این معیار به عنوان یک تابع هدف استفاده نمود.

جدول ۲- پارامترها و متغیرهای مساله

پارامترها و متغیرها		شرح
$r_R, (X_{r_R})$		نقطه سفارش مجدد برای خرده فروش (مقدار کد شده متغیر نقطه سفارش مجدد برای خرده فروش)
$r_w, (X_{r_w})$		نقطه سفارش مجدد برای عمده فروش (مقدار کد شده متغیر نقطه سفارش مجدد برای عمده فروش)
$Q_R, (X_{Q_R})$		تعداد محصول سفارش داده شده توسط خرده فروش (مقدار کد شده متغیر تعداد محصول سفارش داده شده توسط خرده فروش)
$Q_w, (X_{Q_w})$		تعداد محصول سفارش داده شده توسط عمده فروش (مقدار کد شده متغیر تعداد محصول سفارش داده شده توسط عمده فروش)
L_R		مدت زمان انتظار برای دریافت سفارش در خرده فروشی
L_w		مدت زمان انتظار برای دریافت سفارش در عمده فروشی
OC_R		هزینه هر بار سفارش در خرده فروشی
OC_W		هزینه هر بار سفارش در عمده فروشی
HC_R		هزینه نگهداری یک واحد موجودی در سال در خرده فروشی
HC_W		هزینه نگهداری یک واحد موجودی در سال در عمده فروشی
$TC_R, (Y_{TC_R})$		هزینه کل خرده فروشی (مقدار کد شده هزینه کل خرده فروشی)
$TC_W, (Y_{TC_W})$		هزینه کل عمده فروشی (مقدار کد شده هزینه کل عمده فروشی)
$NLS_r, (Y_{NLS_r})$		تعداد فروش از دست رفته در خرده فروشی (مقدار کد شده تعداد فروش از دست رفته در خرده فروشی)
$S_{TC_R}, (SY_{TC_R})$		انحراف استاندارد کل خرده فروشی (مقدار کد شده انحراف استاندارد کل خرده فروشی)
$S_{TC_W}, (SY_{TC_W})$		انحراف استاندارد کل عمده فروشی (مقدار کد شده انحراف استاندارد کل عمده فروشی)
$S_{NLS_r}, (SY_{NLS_r})$		انحراف استاندارد تعداد فروش از دست‌رفته در خرده‌فروشی (مقدار کد شده انحراف استاندارد فروش از دست‌رفته در خرده فروشی)



شکل ۱- سطوح زنجیره تأمین

۴- مدل سازی و شبیه سازی مسئله

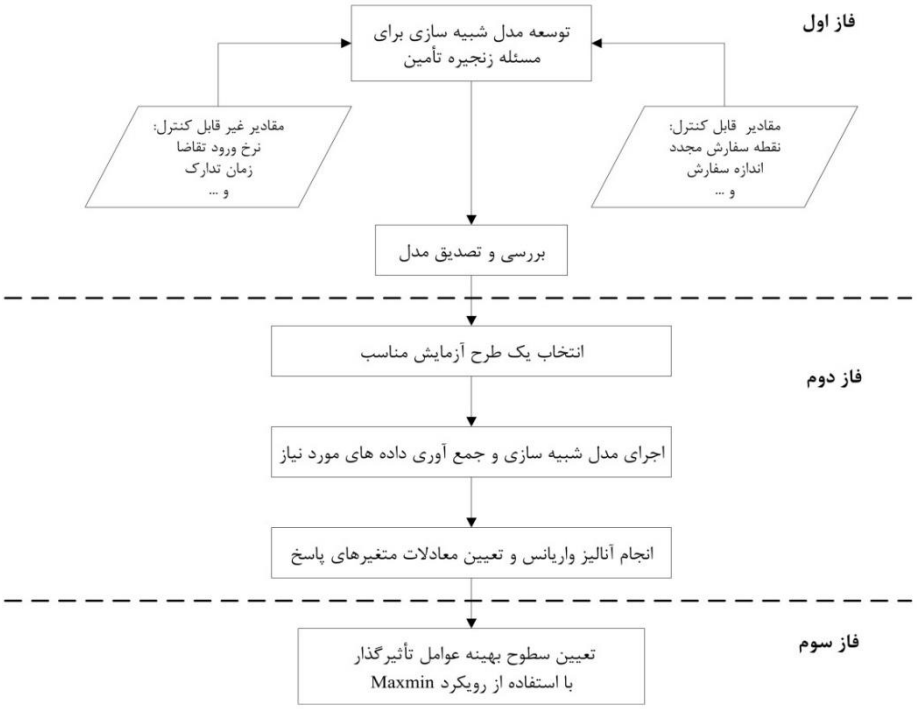
روش پیشنهادی از سه فاز ۱- شبیه سازی ۲- متدولوژی سطح پاسخ ۳- بهینه سازی تشکیل شده است. در فاز اول پس از تعیین متغیرهای قابل کنترل که در اینجا نقطه سفارش مجدد و میزان سفارش می‌باشد و همچنین متغیرهای غیر قابل کنترل که شامل نرخ تقاضا، زمان تدارک و غیره می‌شوند، مدل شبیه‌سازی ساخته شده و با انجام چند آزمایش، بررسی و تصدیق می‌شود در ادامه در فاز دوم با استفاده از متدلوژی سطح پاسخ یک طرح آزمایش مناسب با توجه به ویژگی‌های مسئله انتخاب می‌شود. سپس در سطوح تعیین شده توسط طرح آزمایش برای پارامترهای مسئله، مدل شبیه‌سازی اجرا می‌شود تا مقادیر توابع هدف مورد انتظار تعیین گردد.

در اغلب مسائل رویه سطح پاسخ (RSM) ارتباط بین متغیرها و پاسخ‌ها ناشناخته است. اولین گام در RSM پیدا کردن تخمین مناسبی برای تابع ارتباط بین مجموعه متغیرها و مقادیر تابع هدف است. در اغلب موارد روابط با درجه‌های پایین به کار گرفته می‌شود. در این‌جا اگر مدل با تابع خطی مناسب باشد آن‌گاه تابع تخمین از درجه اول می‌باشد. اما اگر انحنا و یا اثرات متقابل بین متغیرها مهم تشخیص داده شود آن‌گاه از مدل‌هایی با درجات بالاتر مثل رابطه (۱) استفاده می‌شود.

$$y_{kl} = \beta_0 + \sum_i \left(\beta_i x_i + \beta_{ii} x_i^2\right) + \sum\sum \beta_{ij} x_i x_j + \varepsilon_{kl} \quad (۱)$$

در این مدل y_{kl} همان مقادیر توابع هدف می‌باشد که در اینجا هزینه سطوح مختلف زنجیره، تعداد سفارشات از دست رفته و یا واریانس مقادیر تابع هدف می‌تواند باشد. x_i ها نیز مقادیر کد شده متغیرهای قابل کنترل و یا مقادیر میزان سفارش و نقطه سفارش مجدد می‌باشند. در انتهای این فاز پس از بدست آوردن مقادیر توابع هدف در سطوح مختلف متغیرها، با استفاده از تحلیل واریانس برای هر یک از توابع هدف مدل مناسبی تخمین زده می‌شود.

در فاز سوم به منظور حل توابع و تعیین نقاط بهینه از تابع مطلوبیت و رویکرد Maxmin که در بخش بعدی توضیح داده خواهد شد استفاده می‌شود. مراحل اجرای روش پیشنهادی در فلوچارت شکل (۲) نشان داده شده است.



شکل ۲- فلوچارت روش حل پیشنهادی برای مسئله زنجیره تأمین

۵- بهینه سازی مسئله

مسئله چند هدفه نیازمند یک روش بهینه‌سازی کلی می‌باشد بدین معنا که به‌طور هم‌زمان کلیه مقادیر پاسخ را باید در نظر گرفته و بهینه نماید. همان‌طور که در بخش اول نیز شرح داده شد استفاده از بسیاری روش‌های تجمیع موجود در ادبیات برای تجمیع توابع هدف، ممکن است موجب شود تا در بحث هماهنگی در زنجیره تأمین، عدالت رعایت نشود و عمده هزینه بر دوش یکی از سطوح زنجیره قرار گیرد اما در رویکرد پیشنهادی به دلیل استفاده از رویکرد تابع Maxmin هزینه‌ها به صورت عادلانه در بین سطوح مختلف توزیع می‌گردند. روابط (۲) و (۳) این مدل پیشنهادی را شرح می دهند.

$$Max \quad \lambda \quad (۲)$$

subject to

$$d_j\{y_j(X)\} \geq \lambda \qquad j = 1,2,...,n \quad (۳)$$
$$X_i \in [-1,1]$$

در رابطه‌های بالا هدف تعیین مقادیر X^* به نحوی می‌باشد که کمترین مقادیر توابع مطلوبیت (λ) بیشینه گردد. از جمله مزایای دیگر استفاده از روش پیشنهادی پایا[4] بودن آن در برابر وابستگی بین توابع هدف می‌باشد. تعیین و مدل‌سازی وابستگی در عمل بسیار مشکل است. وابستگی در شکل‌های مختلفی می‌تواند ظاهر شود. زمانی که فرض استقلال بین توابع هدف نقض شوند استفاده از روش‌های تابع مطلوبیت رایج و یا روش‌های تعیین فاصله گمراه کننده می‌باشد [۲۴]. در روش پیشنهادی هرچند

[4] Robust

که در هر مرحله تمرکز بر روی توابع هدف با کمترین مقدار مطلوبیت می‌باشد اما این موضوع سبب می‌شود تا وجود وابستگی بین توابع هدف تأثیری بر روی عملکرد رویکرد پیشنهادی نداشته باشد.

در رابطه (۳) $d_j\{y_j(X)\}\geq\lambda$ تابع مطلوبیت تابع هدف Yi می‌باشد. در مدل مطرح شده از تابع مطلوبیت یک طرفه استفاده می‌شود و از این طریق به هریک از پاسخ‌ها یک امتیاز داده می‌شود. رابطه (۴) نحوه محاسبه تابع مطلوبیت $d_i(y_i)$ را برای هر یک از مقادیر تابع هدف (Yi) در حالت کمینه‌سازی نشان می‌دهد.

$$d_i(y_i)=\begin{cases}1 & y_i \prec l_i \\ \left(\dfrac{y_i-u_i}{l_i-y_i}\right) & l_i \leq y_i \leq u_i \\ 0 & y_i \succ u_i\end{cases} \qquad (۴)$$

در رابطه (۴) مقدار l_i حداقل مقدار قابل قبول از پاسخ y_i می‌باشد و u_i حداکثر مقدار قابل قبول از پاسخ y_i است. از نقطه نظر عملی می‌توان تصور کرد که هر مقدار بیشتر از u_i منجر به شکل‌گیری یک جواب غیر قابل قبول در حالت کلی می‌شود همچنین l_i نیز مشخص کننده مقداری از y_i است که مقادیر کمتر از آن دارای منافعی تقریباً به اندازه l_i می‌باشد. در ادامه نحوه محاسبه این حدود شرح داده می‌شود.

۵-۱- تعیین حدود مطلوب

همان‌طور که در قسمت قبل نیز اشاره شد برای بدست آوردن توابع مطلوبیت بایستی حدود بالا و پایین مطلوب برای متغیرهای پاسخ تعیین گردد. از جمله مزایای تعیین این حدود تضمین قرار گرفتن جواب‌های به دست آمده در این نواحی مطلوب می‌باشد. این حدود را می‌توان براساس محدودیت‌های تکنولوژیکی مانند ظرفیت تولید، محدودیت‌های ظرفیت انبار، محدودیت‌های بودجه‌ای و سرمایه‌ای و یا بر اساس نظرات تصمیم‌گیرندگان و مدیران تعیین نمود. یکی از راه‌های دیگر برای تعیین حدود، بدست آوردن بیشترین و کمترین مقدار معادله‌های بدست آمده برای پاسخ‌ها در حدود $X_i\in[-1,1]$ می‌باشد[۲۴].

۵-۲- در نظر گرفتن انحراف استاندارد

تمرکز روش شرح داده شده در روابط (۲) و (۳) صرفاً بر روی مقادیر توابع هدف بوده و از انحراف استاندارد مقادیر پاسخ صرف نظر شده است لذا فرض می‌شود که تمامی مشاهدات دارای انحراف استاندارد یکسانی می‌باشند. در حالی که در واقعیت در نظر گرفتن پراکندگی یکسان برای مشاهدات معتبر نمی‌باشد و در نظر گرفتن این فرض در مسائل چند هدفه گمراه کننده می‌باشد. در صورتی که انحراف استاندارد مقادیر پاسخ در نظر گرفته شود می‌توان از مدل شرح داده شده در رابطه (۵) استفاده نمود

$$\begin{aligned}&Max \quad \lambda \\ &\text{subject to} \\ &d_j\{y_j(X)\}\geq\lambda \qquad j=1,2,\ldots,n \\ &d_j\{S_{yj}(X)\}\geq\lambda \qquad j=1,2,\ldots,n \\ &X_i\in[-1,1]\end{aligned} \qquad (۵)$$

۵-۳- در نظر گرفتن اوزان مختلف برای میانگین، انحراف استاندارد و متغیرهای پاسخ

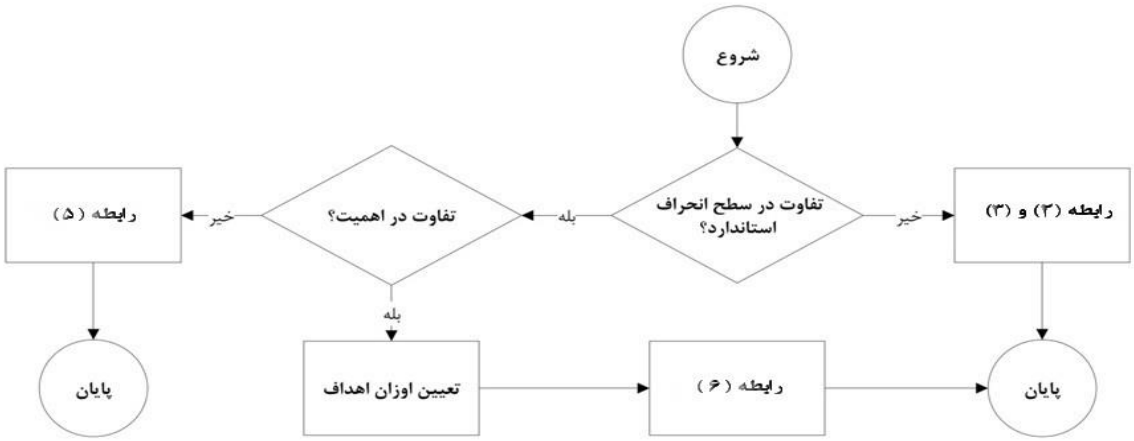
در روش‌های پیشنهادی که در بالا به آن‌ها اشاره شد فرض می‌شود که تمامی عوامل تأثیرگذار از اهمیت یکسانی برخوردارند و همچنین اثر مقادیر تابع هدف و پراکندگی آن‌ها نیز یکسان در نظر گرفته شده است. در صورتی که اهمیت عوامل تأثیرگذار از دیدگاه تصمیم‌گیرنده (DM) متفاوت باشد و همچنین تأثیر مقادیر تابع هدف و پراکندگی نیز یکسان در نظر گرفته نشود می‌توان از رابطه (۶) که در ادامه آورده شده استفاده نمود.

$$\begin{aligned}&Max \quad \lambda \\ &\text{subject to} \\ &d_j\{y_{\mu j}(X)\}\geq w_{\mu j}\lambda \qquad j=1,2,\ldots,n \\ &d_j\{S_{ysj}(X)\}\geq w_{sj}\lambda \qquad j=1,2,\ldots,n \\ &\sum_{j=1}^{r}w_j=1 \\ &w_\mu+w_s=1 \\ &w_{j\mu}=w_\mu\times w_j \\ &w_{js}=w_s\times w_j \\ &X_i\in[-1,1]\end{aligned} \qquad (۶)$$

در عبارات فوق w_j ، w_μ و w_s مقادیر ثابت بین صفر و یک می‌باشند. w_μ اهمیت نسبی مقادیر تابع هدف را نسبت به اهمیت نسبی پراکندگی این مقادیر (w_s) نشان می‌دهد به نحوی که مجموع آن‌ها یک می‌باشد. $w_{\mu j}$ و w_{sj}، $j=1, \ldots, r$ نیز اهمیت نسبی مقادیر تابع هدف و انحراف استاندارد را برای هرکدام از عوامل تأثیرگذار می‌باشد که از طریق ضرب w_j در w_μ و w_s به دست می‌آیند.

مراحل اجرای فاز سوم روش پیشنهادی در فلوچارت شکل (۳) نشان داده شده است.

در ادامه به منظور درک بهتر روش پیشنهادی مثالی از زنجیره تأمین دو سطحی آورده شده و همراه با این مثال ادامه روش پیشنهادی تشریح می‌گردد.



شکل۳- مراحل اجرای فاز سوم روش پیشنهادی

۶- مثالی از زنجیره تأمین دو سطحی

در این‌جا مثالی از زنجیره تأمین با یک خرده فروش و یک عمده فروش آورده شده که در آن تقاضاها با توزیع پواسون با میانگین پنجاه عدد در ساعت به خرده‌فروشی می‌رسند. هرگاه سطح موجودی خرده‌فروشی به r_R می‌رسد خرده‌فروش به اندازه Q_R واحد محصول به عمده‌فروش سفارش می‌دهد. مدت زمان انتظار برای دریافت سفارش از عمده فروش(L_R) از توزیع یکنواخت با پارامتر [۲و۱] روز پیروی می‌کند. در صورتی که مشتری به خرده فروش مراجعه کند و خرده‌فروش نتواند سفارش را پاسخ دهد، این تقاضا به دلایل شرح داده شده در ابتدای بخش دوم، به صورت فروش از دست رفته در نظر گرفته می‌شود. سیاست عمده‌فروش نیز مشابه خرده‌فروش می‌باشد و هرگاه سطح موجودی به r_W می‌رسد به اندازه Q_W سفارش می‌دهد. مدت زمان انتظار عمده‌فروش برای دریافت سفارش (L_w) از توزیع یکنواخت با پارامتر [۴و۲] روز پیروی می‌کند. هزینه‌های موجودی به شرح زیر است:

- هزینه هر بار سفارش در خرده فروشی(OC_R) ۳۰ واحد پولی
- هزینه نگهداری یک واحد موجودی در سال(HC_R) در خرده فروشی ۱۶ واحد پولی
- هزینه هر بار سفارش در عمده فروشی (OC_L) ۱۵۰ واحد پولی
- هزینه نگهداری یک واحد موجودی در سال برای عمده فروش (HC_L) ۱۲ واحد پولی
- هزینه پس‌افت برای عمده فروش ۲۲ واحد پولی در سال

بر اساس اطلاعات به دست آمده، مسئله برای شبیه‌سازی با استفاده از نرم‌افزار Enterprise Dynamic 7 مدل می‌شود.

با استفاده از شبیه‌سازی خروجی‌های مربوط به پاسخ‌ها و اهداف در نظر گرفته شده تولید می‌شوند، بدین منظور طرح عاملی دوسطحی کامل با ۱۶ نقطه عاملی، ۸ نقطه محوری و یک نقطه مرکزی تعریف شده است. مقادیر در نظر گرفته شده برای متغیر ها در سطوح مختلف در جدول ۳ آورده شده است.

جدول۳- مقادیر در نظر گرفته شده برای متغیرها در سطوح مختلف

فاکتورها	پارامتر نشان داده شده در مدل	سطوح				
		-۲	-۱	۰	۱	۲
نقطه سفارش مجدد در خرده‌فروشی	X_{r_R}	۶۰۰	۶۷۵	۷۵۰	۸۲۵	۹۰۰
میزان سفارش در خرده‌فروشی	X_{Q_R}	۷۵۰	۸۵۰	۹۵۰	۱۰۵۰	۱۱۵۰
نقطه سفارش مجدد در عمده‌فروشی	X_{r_w}	۸۵۰	۹۲۵	۱۰۰۰	۱۰۷۵	۱۱۵۰
میزان سفارش در عمده‌فروشی	X_{Q_w}	۱۶۶۰	۱۷۶۰	۱۸۶۰	۱۹۶۰	۲۰۶۰

آزمایش‌ها با دو تکرار در سطوح بالا و پایین و نقاط محوری و همچنین ۱۴ تکرار در نقطه مرکزی انجام شد و مقادیر تابع هدف و انحراف استاندارد آن‌ها برای تحلیل واریانس و تعیین معادلات پاسخ در نرم‌افزار Minitab 15 وارد شده که در جدول ۵ نشان داده شده است.

معادله چند جمله‌ای درجه دو مناسب برای میانگین توابع هدف در رابطه‌های (۷) تا (۹) آورده شده‌اند. هم چنین مدل‌های بدست آمده برای انحراف استاندارد مقادیر توابع هدف که با استفاده از نرم‌افزار Minitab محاسبه شده در رابطه‌های (۱۰) تا (۱۲) آورده شده‌اند.

$$Y_{TC_R} = 18.146X_{r_R} - 25.34X_{Q_R} - 2.0001X_{r_W} - 2.934X_{r_R}^2 + 3.248X_{Q_R}^2 - 5.785X_{r_R}X_{Q_R} - 3.362X_{r_R}X_{r_W} - 4.22X_{r_R}X_{Q_W} + 6.221X_{r_W}X_{Q_W} + 445.256 \quad (۷)$$

$$Y_{TC_W} = 82.49X_{r_R} - 76X_{r_R}X_{Q_R} - 76.59X_{Q_R}X_{r_W} + 89.95X_{r_W}X_{Q_W} + 1400.30 \quad (۸)$$

$$Y_{NLS_R} = -237.875X_{r_R} - 139.875X_{Q_R} + 80.119X_{r_R}^2 + 92.932X_{Q_R}^2 + 46.994X_{r_W}^2 - 120.938X_{r_R}X_{Q_R} - 43.5X_{r_W}X_{Q_W} + 104.357 \quad (۹)$$

$$SY_{TC_R} = -5.654X_{Q_R} - 4.43X_{r_W}X_{Q_W} + 8.682 \quad (۱۰)$$

$$SY_{TC_W} = 89.7X_{r_R} - 106.2X_{Q_R} + 87.8X_{r_W} + 87.6X_{Q_W} - 105.3X_{r_R}X_{r_W} - 87.8X_{Q_R}X_{r_W} - 88X_{Q_R}X_{Q_W} + 120.7 \quad (۱۱)$$

$$SY_{NLS_R} = -21.83X_{r_R} + 35.27X_{Q_W} - 20.37X_{r_R}X_{Q_R} + 14.5X_{r_R}X_{r_W} - 30.05X_{r_R}X_{Q_W} + 86.43 \quad (۱۲)$$

در رابطه‌های فوق مقادیر انحراف استانداردهای حاصل از اجرای شبیه‌سازی در سطوح مختلف نیز به عنوان معیارهایی برای کمینه‌سازی در نظر گرفته شده‌اند.

در این مقاله برای تعیین حدود پایین متغیرهای پاسخ از کمترین مقدار ممکن برای متغیرهای پاسخ و برای تعیین حدود بالا از نظرات تصمیم‌گیرندگان استفاده می‌شود. جدول (۴) مقادیر حدود بالا و پایین متغیرهای پاسخ را نشان می‌دهد. نتایج حاصل از حل مسئله شرح داده شده با روابط (۲) و (۳) در جدول ۶ آورده شده است. برای حل معادله از نرم افزار Lingo 8 استفاده شده است.

همان‌طور که در جدول ۶ مشاهده می‌شود در نظر گرفتن انحراف استاندارد هرچند باعث می‌شود که برخی از مقادیر توابع هدف بدتر شوند اما مقادیر انحراف استاندارد پاسخ‌ها کاهش می‌یابد.

نتایج حاصل از حل مسئله شرح داده شده با رابطه (۶) و با در نظر گرفتن اوزان مختلف در جدول ۷ آورده شده است. برای حل معادله از نرم افزار Lingo 8 استفاده شده است.

همان‌طور که مشاهده می‌شود جدول ۷ تأثیر وزن‌های مختلف را بر روی مقادیر توابع هدف نشان می‌دهد. در دو آزمایش آخر تغییر وزن‌های متغیرهای پاسخ، تأثیری بر روی جواب نهایی نداشته‌اند. در حالتی که $w_\mu > w_s$ باشد مقادیر میانگین توابع هدف اهمیت بیشتری نسبت به پراکندگی دارند و در حالتی که $w_\mu < w_s$ باشد پراکندگی از نظر DM اهمیت بیشتری نسبت به میانگین مقادیر توابع هدف دارد.

در موارد خاص اگر $w_{\mu i}=w_{\mu j}$ و $w_{si}=w_{sj}$ برای $i,j=1, \ldots, r$ و $i<j$ باشد و همچنین w_s نیز مساوی صفر باشد مدل به دست آمده مشابه مدل مطرح شده در رابطه (۲) و (۳) می‌باشد و در صورتی که $w_s = w_\mu = 0.5$ باشد مدل به‌دست آمده مشابه مدل مطرح شده در رابطه (۵) می‌باشد.

جدول۴- مقادیر حدود بالا و پایین متغیرهای پاسخ

متغیرهای پاسخ	حد پایین	حد بالا
Y_{TC_R}	۳۹۸,۷۸۰۹	۵۰۰
Y_{TC_W}	۱۰۷۵,۲۷۰	۱۷۰۰
Y_{NLS_R}	۰	۴۰۰
SY_{TC_R}	۰	۱۵
SY_{TC_W}	۰	۱۰۰
SY_{NLS_R}	۵	۷۰

جدول۵- داده های حاصل از اجرای شبیه‌سازی مسئله زنجیره تأمین دو سطحی

u	X_{r_R}	X_{Q_r}	X_{r_W}	X_{Q_W}	تکرار	Y_{TC_R}	Y_{TC_W}	Y_{NLS_R}		SY_{TC_R}	SY_{TC_W}	SY_{NLS_R}
۱	-۱	-۱	-۱	-۱	۱	۴۵۴,۲۷۵۴	۱۲۸۴,۶۰۲	۶۶۸		۳,۹۵۵۲۴۹	۲,۵۶۹۳۲۱	۱۴,۱۴۲۱۴
					۲	۴۵۹,۸۶۹۰	۱۲۸۰,۹۶۸	۶۴۸		۶۴۸		
۲	۱	-۱	-۱	-۱	۱	۵۱۰,۱۸۴۳	۱۴۸۷,۵۸۷	۰		۰,۳۴۳۵۲۴	۴,۹۴۳۱۹۶	۳۳,۲۳۴۰۲
					۲	۵۰۹,۶۹۸۵	۱۴۸۰,۵۹۶	۴۷				
۳	-۱	۱	-۱	-۱	۱	۴۱۲,۷۷۵۱	۱۲۷۸,۳۸۴	۳۱۰		۱,۳۶۹۶۶۶	۰,۲۸۴۴۴۷	۳۸,۸۹۰۸۷
					۲	۴۱۰,۸۳۸۱	۱۲۷۸,۷۸۶	۳۶۵				
۴	۱	۱	-۱	-۱	۱	۴۶۷,۱۹۴۳	۱۴۷۳,۲۱۵	۰		۵,۲۱۷۰۹۳	۳,۳۰۴۰۳۴	۰
					۲	۴۵۹,۸۱۶۲	۱۴۷۷,۸۸۸	۰				
۵	-۱	-۱	۱	-۱	۱	۴۱۶,۹۱۶۲	۱۲۸۱,۶۳۸	۱۱۹۹		۲۴,۵۶۱۷	۰,۳۰۵۹۱۲	۹۴,۰۴۵۲
					۲	۴۵۱,۶۵۱۷	۱۲۸۲,۰۷۱	۱۰۶۶				
۶	۱	-۱	۱	-۱	۱	۵۰۷,۳۸۹۱	۱۴۷۹,۷۸۳	۱۳۰		۲۵,۵۸۱۱۱	۱۴۵,۰۵۲۵	۱۴۰,۷۱۴۲
					۲	۴۷۱,۲۱۱۹	۱۲۷۴,۶۴۸	۳۲۹				
۷	-۱	۱	۱	-۱	۱	۴۰۹,۱۸۸۷	۱۲۸۱,۵۸۵	۳۷۶		۰,۳۲۱۷۲۲	۰,۵۵۹۵۹۵	۱۵,۵۵۶۳۵
					۲	۴۰۸,۷۳۳۸	۱۲۸۰,۷۹۴	۳۹۸				
۸	۱	۱	۱	-۱	۱	۴۲۱,۶۲۳	۱۲۷۳,۴۰۲	۷۷		۷,۱۱۲۵۵۱	۳,۳۱۸۰۹	۵۴,۴۴۷۲۲
					۲	۴۳۱,۵۲۱۰	۱۲۷۸,۰۹۴	۰				
۹	-۱	-۱	-۱	۱	۱	۴۲۰,۷۱۸۹	۱۰۹۷,۰۳۳	۱۱۰۳		۲۵,۶۹۰۸۶	۱۳۷,۹۵۲۴	۲۶۳,۰۴۳۷
					۲	۴۵۷,۰۵۱۲	۱۲۹۲,۱۲۷	۷۳۱				
۱۰	۱	-۱	-۱	۱	۱	۵۰۵,۸۴۰۸	۱۲۹۰,۶۳۷	۱۷۹		۲۳,۵۳۴۱۳	۷,۲۳۰۱۹۴	۳۵,۳۵۵۳۴
					۲	۴۷۲,۵۵۸۵	۱۳۰۰,۸۶۲	۲۲۹				
۱۱	-۱	۱	-۱	۱	۱	۴۱۲,۳۴۲۷	۱۳۰۹,۱۲۹	۲۳۹		۰,۱۳۱۷۵۸	۰,۷۵۲۰۸۷	۱۱۱,۰۱۵۸
					۲	۴۱۳,۵۲۹۱	۱۳۰۸,۰۶۵	۸۲				
۱۲	۱	۱	-۱	۱	۱	۴۲۸,۳۳۶	۱۳۱۳,۴۲۹	۹۶		۰,۶۴۲۸۷۸	۱,۲۸۰۸۱۶	۶۷,۸۸۲۲۵
					۲	۴۲۹,۲۴۵۲	۱۳۱۵,۲۴	۰				
۱۳	-۱	-۱	۱	۱	۱	۴۵۶,۳۱۷	۱۳۱۰,۴۳۷	۹۲۲		۰,۴۸۵۱۳۴	۰,۳۴۰۲۱	۸۹,۸۰۲۵۶
					۲	۴۵۷,۰۰۳۱	۱۳۱۰,۹۱۸	۷۹۵				
۱۴	۱	-۱	۱	۱	۱	۴۷۸,۷۳۶	۱۳۱۶,۱۳۴	۰		۱۳,۲۱۴۲۱	۱۴۱۲,۳	۹۴,۷۵۲۳۱
					۲	۴۹۷,۴۲۳۷	۳۳۱۳,۴۲۸	۱۳۴				
۱۵	-۱	۱	۱	۱	۱	۴۱۸,۸۵۸۶	۱۳۱۶,۳۳۸	۲۳۶		۶,۰۳۴۱۳۱	۰,۴۴۰۲۸۷	۲۲۱,۳۲۴۴
					۲	۴۱۰,۳۲۵	۱۳۱۶,۹۶۱	۵۴۹				
۱۶	۱	۱	۱	۱	۱	۴۲۲,۷۷۵۱	۱۳۰۶,۴۱۴	۱۳۵		۶,۰۷۶۳۸۱	۱,۴۲۸۳۴۲	۷۲,۱۲۴۸۹
					۲	۴۳۱,۳۶۸۴	۱۳۰۴,۳۹۴	۳۳				
۱۷	-۲	۰	۰	۰	۱	۳۹۲,۱۹۲۹	۱۳۱۴,۱۹	۹۶۲		۴,۲۹۰۹۴۸	۴,۴۴۸۲۲۵	۱۹۳,۰۴۰۲
					۲	۳۹۹,۲۶۱۳	۱۳۲۰,۴۸۱	۶۸۹				
۱۸	۲	۰	۰	۰	۱	۴۵۰,۷۳۶۸	۱۵۱۴,۷۹۴	۹۱		۲۸,۱۴۹۱۴	۲,۲۸۲۰۷۷	۶۴,۳۴۶۷۲
					۲	۴۹۰,۵۴۵۷	۱۵۱۱,۵۶۷	۰				
۱۹	۰	-۲	۰	۰	۱	۵۱۶,۴۶۰۷	۱۳۰۵,۵۵۵	۶۳۹		۲,۲۵۰۰۳۷	۲,۱۹۸۷۸۶	۳۷,۴۷۶۶۶
					۲	۵۱۹,۶۴۲۸	۱۳۰۲,۴۴۵	۶۹۲				
۲۰	۰	۲	۰	۰	۱	۳۹۸,۷۳۴۷	۱۳۱۲,۶۴۳	۳۳۷		۰,۶۴۷۹۳۴	۱۳۶,۸۴۰۴	۴۱,۰۱۲۱۹
					۲	۳۹۷,۸۱۸۴	۱۵۰۶,۱۶۴	۲۷۹				
۲۱	۰	۰	-۲	۰	۱	۴۴۲,۲۴۸۳	۱۲۸۹,۷۳۴	۵۳۸		۲,۲۸۸۵۲۸	۲,۰۸۵۳۶۹	۱۴,۱۴۲۱۴
					۲	۴۳۹,۰۱۱۸	۱۲۹۲,۶۸۳	۵۵۸				
۲۲	۰	۰	۲	۰	۱	۴۴۸,۵۲۱۹	۱۳۲۶,۹۱۸	۹۸		۲,۳۹۳۶۰۴	۰,۸۸۶۸۴	۵۶,۵۶۸۵۴
					۲	۴۵۱,۹۰۷	۱۳۲۵,۶۶۴	۱۸				
۲۳	۰	۰	۰	-۲	۱	۴۴۵,۴۱۵۹	۱۴۸۷,۱۹۳	۱۷۸		۲,۴۶۷۷۷۹	۰,۴۹۳۰۷۵	۱۲۵,۸۶۵
					۲	۴۴۸,۹۰۵۸	۱۴۸۷,۸۹	۰				
۲۴	۰	۰	۰	۲	۱	۴۷۷,۴۱۶۷	۱۳۰۷,۲۷۶	۷۶		۲۹,۱۴۲۵	۱,۹۱۳۰۰۷	۳۹۸,۱۰۱۱
					۲	۴۳۶,۲۰۳	۱۳۰۴,۵۷	۶۳۹				
۲۵	۰	۰	۰	۰	۱	۴۴۲,۲۴۱۶	۱۳۰۸,۵۰۵	۱۸۶		۳,۳۱۵۵۴۳	۳۳۰,۳۷۲۳	۱۲۲,۹۶۰۷
	۰	۰	۰	۰	۲	۴۴۴,۹۵۳۷	۱۳۱۲,۴۲۴	۲۵				
	۰	۰	۰	۰	۳	۴۴۴,۵۶۷۳	۱۳۱۶,۸۳۴	۰				
	۰	۰	۰	۰	۴	۴۴۹,۵۰۲۸	۱۳۱۱,۷۹۶	۳۶				
	۰	۰	۰	۰	۵	۴۳۷,۸۷۸۸	۱۳۰۷,۹۳	۴۲۲				
	۰	۰	۰	۰	۶	۴۴۶,۶۸۰۷	۱۳۰۸,۵۸۸	۸۰				
	۰	۰	۰	۰	۷	۴۴۷,۹۳۲۵	۱۳۰۷,۰۰۷	۸۲				
	۰	۰	۰	۰	۸	۴۴۳,۰۹۳۴	۱۳۱۷,۴۱۶	۹۷				
	۰	۰	۰	۰	۹	۴۵۰,۹۳۴۰	۱۳۲۶,۱۴۷	۲۷				
	۰	۰	۰	۰	۱۰	۴۴۷,۲۶۷۵	۱۳۱۰,۰۹۲	۴۱				
	۰	۰	۰	۰	۱۱	۴۴۶,۸۶۰۷	۱۳۱۰,۲۲۷	۴				
	۰	۰	۰	۰	۱۲	۴۴۳,۴۱۸۳	۱۳۰۱,۹۱۱	۳۱۲				
	۰	۰	۰	۰	۱۳	۴۴۳,۰۹۳۴	۱۳۱۷,۴۱۶	۹۷				
	۰	۰	۰	۰	۱۴	۴۴۵,۱۵۸۶	۲۵۴۷,۹۶۴	۵۲				

جدول ۶- مقادیر حاصل از حل مسئله زنجیره تأمین دو سطحی

روش پیشنهادی اول بدون انحراف استاندارد	X^* (۰,۶۱۲۸, ۰,۹۸۳۹, ۰,۹۳۴۲, -۱)					
	$d(Y_{TC_R})$	$d(SY_{TC_R})$	$d(Y_{TC_W})$	$d(SY_{TC_W})$	$d(Y_{NLS_R})$	$d(SY_{NLS_R})$
	۰,۷۶۱۰۰۲۹	۰,۵۱۶۱۸۶۳	۰,۷۶۱۰۰۲۹	۰,۲۱۷۸۱۱۰	۰,۷۶۱۰۰۲۹	۰,۰۸۴۶۱۲۷
	Y_{TC_R}	SY_{TC_R}	Y_{TC_W}	SY_{TC_W}	Y_{NLS_R}	SY_{NLS_R}
	۴۲۲,۹۷۲۰	۷,۲۵۷۲	۱۲۵۰,۵۷۹	۷۸,۲۱۸۹	۹۵,۵۹۸۸۳	۶۴,۵۰۰۱
روش پیشنهادی دوم با انحراف استاندارد	X^* (-۰,۸۷۱۶, ۱, ۰,۱۵۳۷, -۱)					
	$d(Y_{TC_R})$	$d(SY_{TC_R})$	$d(Y_{TC_W})$	$d(SY_{TC_W})$	$d(Y_{NLS_R})$	$d(SY_{NLS_R})$
	۰,۹۳۲۰۳۶۱	۰,۷۵۲۷۱۲۸	۰,۵۷۱۳۹۸۴	۱	۰,۴۲۹۹۷۶۶	۰,۴۲۹۹۷۶۶
	Y_{TC_R}	SY_{TC_R}	Y_{TC_W}	SY_{TC_W}	Y_{NLS_R}	SY_{NLS_R}
	۴۰۵,۶۶۰۱	۳,۷۰۹۳۰۹	۱۳۶۹,۰۳۰	۰	۲۲۸,۰۰۹۳	۴۲,۰۵۱۵۲

جدول ۷ مقادیر حاصل از حل مسئله زنجیره تأمین دو سطحی با در نظر گرفتن اهمیت نسبی

وزن‌ها	آزمایشات					
	۱	**۲**	**۳**	**۴**	**۵**	**۶**
w_μ	۰,۲	۰,۲	۰,۲	۰,۹	۰,۹	۰,۹
w_s	۰,۸	۰,۸	۰,۸	۰,۱	۰,۱	۰,۱
w_1	۰,۴	۰,۲۵	۰,۲	۰,۵	۰,۲۵	۰,۲
w_2	۰,۴	۰,۶	۰,۷	۰,۳	۰,۶	۰,۷
w_3	۰,۲	۰,۱۵	۰,۱	۰,۲	۰,۱۵	۰,۱
مقادیر حاصله						
X_{r_R}	-۱	۰,۵۷۳۳	۱	-۰,۹۴۹۱	-۰,۱۴۰۳	-۰,۱۴۰۳
X_{Q_R}	۱	۱	۰,۷۷۸۶	۱	۱	۱
X_{r_w}	-۰,۲۸۴۴	-۰,۲۵	-۰,۶۱۸۵	۰,۱۴۰۵	۱	۱
X_{Q_w}	-۱	-۱	۰,۹۷۳۷	-۱	-۱	-۱
$d(Y_{TC_R})$	۰,۹۳۸۳	۰,۴۶۹۱	۰,۶۵۵۴	۰,۹۴۷۷	۰,۸۵۹۲	۰,۸۵۹۲
$d(Y_{TC_W})$	۰,۴۵۵۹	۰,۴۴۷۳	۰,۵۱۱۷	۰,۵۶۸۶	۰,۷۸۹۳	۰,۷۸۹۳
$d(Y_{NLS_R})$	۰,۳۸۵۲	۰,۹۷۸۳	۰,۹۱۹۰	۰,۳۸۰۹	۰,۵۸۵۲	۰,۵۸۵۲
$d(SY_{TC_R})$	۰,۸۸۲۱	۰,۸۷۳۵	۰,۵۳۶۸	۰,۷۵۶۶	۰,۵۰۲۸	۰,۵۰۲۸
$d(SY_{TC_W})$	۰,۵۶۰۴	۱	۱	۱	۱	۱
$d(SY_{NLS_R})$	۰,۳۵۲۸	۰,۲۵	۰,۱۴۲۸	۰,۴۳۹۶	۰,۳۳۸۸	۰,۳۳۸۸
Y_{TC_R}	۴۰۵,۰۲	۴۳۴,۲۹	۴۳۳,۶۵	۴۰۴,۰۶	۴۱۳,۰۲	۴۱۳,۰۲
Y_{TC_W}	۱۴۴۱,۱۸	۱۴۴۶,۵۴	۱۴۰۶,۳۲	۱۳۷۰,۷۳	۱۲۳۲,۸۴	۱۲۳۲,۸۴
Y_{NLS_R}	۲۴۵,۸۹	۸,۶۶	۳۲,۳۷	۲۴۷,۶۳۱۷	۱۶۵,۸۹	۱۶۵,۸۹
SY_{TC_R}	۱,۷۶	۱,۸۹	۶,۹۴	۳,۶۵	۷,۴۵	۷,۴۵
SY_{TC_W}	۴۳,۹۵	۰	۰	۰	۰	۰
SY_{NLS_R}	۴۷,۰۶	۵۳,۷۵	۶۰,۷۱	۴۱,۴۲	۴۷,۹۷	۴۷,۹۷

۷- نتیجه‌گیری

در طی سال‌های اخیر روش‌های متعددی به منظور حل مسائل زنجیره تأمین چند سطحی معرفی شده ولی بیشتر این رویکردها بر پایه شرایط قطعی و تک هدفه هستند. به علاوه رویکردهای

تک هدفه موجود نیز فرض می‌کنند که اهداف مستقل از یکدیگر هستند. از این رو یک متد بهینه‌سازی چند هدفه مقاوم بر اساس رویکرد تابع مطلوبیت ارائه شده است که از مزایا و ویژگی‌های زیر برخوردار است.

۱- پارامترهای مدل احتمالی فرض می‌شود تا فاصله بین مدل ریاضی و دنیای واقعی به حداقل ممکن برسد.

۲- انحراف استاندارد اهداف به عنوان یک دسته از اهداف جدید به مدل وارد شده تا تأثیر فاکتورهای اختلال در فرایند به حداقل ممکن برسد

۳- به دلیل استفاده از رویکرد Maxmin، از تحمیل قسمت عمده هزینه‌ها به یکی از سطوح زنجیره جلوگیری می‌شود و در بحث هماهنگی زنجیره، عدالت در تقسیم هزینه‌ها رعایت می‌شود.

۴- رویکرد پیشنهادی تضمین می‌کند که همه اهداف در ناحیه مطلوب قرار بگیرند.

۵- رویکرد پیشنهادی نسبت به همبستگی بالقوه بین اهداف پایا است.

۶- اهمیت نسبی اهداف در نظر گرفته می‌شود.

به منظور نمایش ویژگی‌های رویکرد ارائه شده مثالی از زنجیره تأمین دوسطحی با هدف تعیین نقاط سفارش مجدد و اندازه سفارش در خرده‌فروشی و عمده‌فروشی با در نظر گرفتن تقاضا و زمان تدارک احتمالی مطرح گردید که هدف آن کاهش هزینه‌های عمده‌فروش، خرده‌فروش و همچنین کاهش تعداد سفارشات از دست رفته در خرده‌فروشی می‌باشد به علاوه کاهش انحراف استاندارد هر کدام از توابع هدف مطرح شده نیز در نظر گرفته شد و در مجموع این شش تابع هدف به طور همزمان با استفاده از روش پیشنهادی حل گردیدند و سطوح بهینه عوامل تأثیرگذار تعیین شدند.

به عنوان تحقیقات آتی توصیه می‌شود که بسط مدل ارائه شده در دو جهت زیر توسط مدیران و تصمیم گیران این حوزه صورت پذیرد.

۱- در مدل پیشنهادی وزن اهداف باید پیش از آغاز فرآیند بهینه‌سازی توسط DM مشخص شود و همانطور که در جدول (۷) نیز قابل رویت است، مقادیر آن‌ها تأثیر چشم‌گیری در بردار متغیرهای تصمیم بهینه دارد. حال آن‌که برای دست‌یابی به مقادیر واقعی وزن اهداف، استفاده از یک روش تعاملی[1] منطقی‌تر به نظر می‌رسد.

۲- در مدل پیشنهادی میانگین و انحراف استاندارد اهداف با استفاد از RSM تخمین زده می‌شود. بنابراین اگر نیکویی برازش مدل‌های تخمین زده شده با یکدیگر تفاوت معناداری داشته باشند، نتایج حاصله می‌تواندگمراه کننده باشد. از این رو وارد کردن شاخص‌هایی از قبیل R^2 یا میانگین مربعات خطا[2] به فرآیند بهینه‌سازی مطلوب است.

مراجع

[1] Z. Shen, "Integrated supply chain design models: a survey and future research directions", Journal of Industrial and Management Optimization, Vol. *3*, NO. *1*, February 2007, pp. 1 – 27.

[2] S. Chopra and P. Meindl, Supply Chain Management: Strategy Planning and Operation, Pearson Education Asia, New Delhi, 2001.

[3] S. Pokharel, "A two objective model for decision making in a supply chain", International Journal of Production Economics, Vol. *111*, NO. *2*, February 2008, pp. 378 – 388.

[4] E. Teimoury, M. Modarres, F. Ghasemzadeh, and M. Fathi, "A queueing approach to production-inventory planning for supply chain with uncertain demands: Case study of PAKSHOO Chemicals Company", Journal of Manufacturing Systems, Vol. *29*, NO. *2-3*, July 2010, pp. 55 – 62.

[5] C. C. Sherbrooke, "METRIC: A multi-echelon technique for recoverable item control", Operations Research, Vol. *16*, NO. *1*, February 1968, pp. 122 – 141.

[1] Interactive Approach

[2] Mean Square Error

[6] J. C. H. Pan and J. S. Yang, "A study of an integrated inventory with controllable lead time", International Journal of Production Research, Vol. *40*, NO. *5*, January 2002, pp. 1263 – 1273.

[7] L. Y. Ouyang, K. S. Wu, and C. H. Ho, "Integrated vendor-buyer cooperative models with stochastic demand in controllable lead time", International Journal of Production Economics, Vol. *92*, NO. *3*, December 2004, pp. 255 – 266.

[8] H. C. Chang, L. Y. Ouyang, K. S. Wu, and C. H. Ho, "Integrated vendor-buyer cooperative inventory models with controllable lead time and ordering cost reduction", European Journal of Operational Research, Vol. *170*, NO. *2*, April 2006, pp. 481 – 495.

[9] Y. C. Hsiao, "Integrated logistic and inventory model for a two-stage supply chain controlled by the reorder and shipping points with sharing information", International Journal of Production Economics, Vol. *115*, NO. *1*, September 2008, pp. 229 – 235.

[۱۰] عطا الله طالعی زاده، زاهده چراغی، "قیمت گذاری و بازاریابی در یک زنجیره تامین دوسطحی تحت چهار رویکرد نظریه بازی‌ها"، نشریه مدل‌سازی در مهندسی، دوره ۱۳، شماره ۴۲، پاییز ۱۳۹۴، صفحه ۱۳۵- ۱۴۹.

[۱۱] علی نعیمی صدیق، سید کمال چهارسوقی، مجید شیخ محمدی، "طراحی مدل هماهنگی در زنجیره تامین رقابتی با استفاده از رویکرد نظریه بازی با همکاری و بدون همکاری"، نشریه مدل‌سازی در مهندسی، دوره ۱۰، شماره ۲۹، تابستان ۱۳۹۱، صفحه ۱۹- ۳۱.

[12] M. T. Melo, S. Nickel, and F. Saldanha-Da-Gama, "Facility location and supply chain management-a review", European Journal of Operational Research, Vol. *196*, NO. *2*, July 2009, pp. 401 – 412.

[13] P. Schütz, A. Tomasgard, and S. Ahmed, "Supply chain design under uncertainty using sample average approximation and dual decomposition", European Journal of Operational Research, Vol. *199*, NO. *2*, December 2009, pp. 409 – 419.

[14] T. Santoso, S. Ahmed, M. Goetschalckx, and A. Shapiro, "A stochastic programming approach for supply chain network design under uncertainty", European Journal of Operational Research, Vol. *167*, NO. *1*, November 2005, pp. 96 – 115.

[15] M. Bundschuh, D. Klabjan, and D. L. Thurston, "Modeling robust and reliable supply chains", Optimization Online e-print,, June 2003.

[16] A. Gupta and C. D. Maranas, "Managing demand uncertainty in supply chain planning", Computers & Chemical Engineering, Vol. *27*, NO. *8-9*, September 2003, pp. 1219 – 1227.

[17] G. Guillén-Gosálbez and I. E. Grossmann, "Optimal design and planning of sustainable chemical supply chains under uncertainty", AIChE Journal, Vol. *55*, NO. *1*, January 2009, pp. 99 – 121.

[18] C. C. Hsieh and C. H. Wu, "Capacity allocation, ordering, and pricing decisions in a supply chain with demand and supply uncertainties", European Journal of Operational Research, Vol. *184*, NO. *2*, January 2008, pp. 667 – 684.

[19] Z. J. M. Shen, C. Coullard, and M. S. Daskin, "A joint location-inventory model", Transportation Science, Vol. *37*, NO. *1*, February 2003, pp. 40 – 55.

[۲۰] محمدرضا فضلی خلف، سید کمال چهارسوقی، میر سامان پیشوایی، "طراحی پایای شبکه زنجیره تامین حلقه بسته تحت عدم قطعیت: مطالعه موردی یک تولیدکننده باتری اسیدی"، نشریه مدل‌سازی در مهندسی، دوره ۱۲، شماره ۳۹، زمستان ۱۳۹۳، صفحه ۴۵- ۶۰.

[21] G. Guillén, F. Mele, M. Bagajewicz, A. Espuna, and L. Puigjaner, "Multiobjective supply chain design under uncertainty", Chemical Engineering Science, Vol. *60*, NO. *6*, March 2005, pp. 1535 – 1553.

[22] G. E. . Box and N. R. Draper, Empirical model-building and response surfaces, John Wiley & Sons, 1987.

[23] A. Khuri, "Multiresponse Surface Methodology", Handbook of Statistics, Vol. *13*, January 1996, pp. 377 – 406.

[24] J. Author1, B. Author2, and K. Author3, "Simultaneous optimization of mechanical properties of steel by maximizing exponential desirability functions", Journal of the Royal Statistical Society: Series C (Applied Statistics), Vol. *49*, NO. *3*, 2000, pp. 311 – 325.