مدیریت صنعتی
دانشکدهٔ مدیریت دانشگاه تهران

دورهٔ ۷، شمارهٔ ۱
بهار ۱۳۹۴
ص. ۱۰۵-۸۳

پیکره‌بندی شبکهٔ زنجیرهٔ تأمین یکپارچهٔ راهبردی تصادفی

حمیدرضا فلاح لاجیمی[۱]، احمد جعفرنژاد[۲]، محمدرضا مهرگان[۳]، لعیا الفت[۴]

چکیده: امروزه یکپارچه‌سازی فرایندهای زنجیرهٔ تأمین به‌عنوان مزیت رقابتی شرکت‌ها مطرح است و معمولاً بدون درنظرگرفتن این دو عامل کلیدی متحمل هزینه‌های زیادی می‌شوند. بررسی پیکربندی‌های زنجیرهٔ تأمین در سطح راهبردی با داده‌های تصادفی می‌تواند مکمل مناسبی برای رویکردهای قبلی باشد. این تحقیق ابزاری را برای بهینه‌سازی زنجیرهٔ تأمین فراهم می‌آورد تا مدیران در طراحی شبکه‌های تولید و توزیع در شرایط بی‌اطمینانی از آن استفاده کنند. مسئلهٔ مورد نظر در این تحقیق ایجاد زیرساخت‌های زنجیرهٔ تأمین، خرید، انتقال و موجودی مواد اولیه، تولید، انتقال موجودی محصول نهایی برای دستیابی به حداکثر سود و حداقل‌کردن تغییرپذیری سود و تقاضای برآورده‌نشده است. در این تحقیق، مدل بهینه‌سازی استوار عدد صحیح مختلط آرمانی چندهدفه با داده‌های تقاضای تصادفی ارائه می‌شود. به‌منظور درک بیشتر، مثال عددی ارائه می‌شود که با استفاده از نرم‌افزار LINDO حل و سپس اعتبارسنجی مدل بررسی شد که بیانگر بهبود اهداف در مدل است.

واژه‌های کلیدی: برنامه‌ریزی تصادفی، بهینه‌سازی استوار، زنجیرهٔ تأمین راهبردی.

---

۱. دانشجوی دکتری مدیریت صنعتی (تحقیق در عملیات) دانشکدهٔ مدیریت، دانشگاه تهران، تهران، ایران.
۲، ۳. استاد گروه مدیریت صنعتی دانشکدهٔ مدیریت، دانشگاه تهران، تهران، ایران.
۴. دانشیار گروه مدیریت صنعتی دانشکدهٔ مدیریت و حسابداری، دانشگاه علامه طباطبایی، تهران، ایران.

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۲/۱۱/۲۴
تاریخ پذیرش نهایی مقاله: ۱۳۹۳/۰۴/۱۷
نویسندهٔ مسئول مقاله: حمیدرضا فلاح لاجیمی
Email: Lajim1363@gmail.com

Archive of SID
www.SID.ir

مقدمه

در بازار نامطمئن رقابتی امروز، زنجیرهٔ تأمین عامل موفقیت شرکت‌ها در تولید و توزیع طراحی مؤثر و کاراست. درحالی‌که بسیاری از شرکت‌ها در رقابت برای ارائهٔ محصولات درحال گسترش بازار هستند، اثربخشی و کارایی زنجیرهٔ تأمین ممکن است به موفقیت واقعی و افزایش طول عمر منجر شود. از این‌رو، مدیریت زنجیرهٔ تأمین حوزه‌ای حیاتی برای شرکت‌هاست. در دنیای کسب‌وکار امروز، شرکت‌ها نمی‌توانند انتظار داشته باشند بدون توجه به یکپارچگی استراتژی‌های شرکت و سیستم‌های زنجیرهٔ تأمین که ارتباط تنگاتنگی با هم دارند، محصول، خدمت یا فرایند سودآوری داشته باشند (راس، ۲۰۰۳)؛ بنابراین مدیریت زنجیرهٔ تأمین یک عنصر مهم راهبرد رقابتی برای ارتقای بهره‌وری و سودآوری سازمان محسوب می‌شود (گاناساکاران و همکاران، ۲۰۰۴). هدف مدیران زنجیرهٔ تأمین، برآورده‌کردن نیازهای مشتریان با هزینه‌ها و موجودی کمتر است. درک این نکته مهم است که خدمت به مشتری شامل همهٔ ارتباطات بین مشتری و تأمین‌کننده به‌منظور تحویل سفارش در زمان مقرر، پشتیبانی فنی و بستهٔ مالی است.

مسئلهٔ مد نظر تحقیق مربوط به تصمیم‌گیری‌های مهم در زنجیرهٔ تأمین راهبردی است که البته اطلاعات دقیق و کامل به این تصمیم‌گیری‌ها کمک می‌کند. در این تحقیق، طراحی بهینه و بهره‌برداری از زنجیرهٔ تأمین چنددوره‌ای چندکانالهٔ متشکل از تأمین‌کنندگان، تولیدکنندگان، انبارها و مشتریان برای یک محصول انجام می‌گیرد. از آنجاکه در دنیای واقعی برخی پارامترها به‌صورت دقیق و قطعی در دسترس نیستند، باید با درنظرگرفتن تصادفی‌بودن این پارامترها، تصمیم‌گیری‌ها واقعی‌تر شود که در این تحقیق مقدار تقاضا دارای حالت تصادفی است.

هدف اصلی این تحقیق ایجاد مدل ریاضی طراحی و بهره‌برداری چندکاناله، چندهدفه و چنددوره‌ای است که به‌دنبال حداکثرسازی سود، پاسخگویی به تقاضای بازار و سایر هدف‌هاست. این تحقیق بر مدل توسعه‌یافته‌ای از زنجیرهٔ تأمین تک‌محصول چندهدفه تمرکز می‌کند که مقدار تقاضای آن قطعی نیست.

پیشینهٔ پژوهش

نقش اصلی صنایع تولیدی، افزایش ثروت با ایجاد ارزش افزوده و فروش محصولات است. برای این امر نیاز است همهٔ شرکت‌ها جریان مواد را از تأمین‌کننده به تولیدکننده و مشتری کنترل کنند. زنجیرهٔ تأمین از تأمین‌کننده شروع و به مشتری خاتمه می‌یابد. مدیریت تأمین، خرید مواد، مدیریت تولید، برنامه‌ریزی تجهیزات در حوزهٔ جریان مواد و میزان تولید، خواسته‌های مشتریان در حوزهٔ جریان اطلاعات است.

Archive of SID

www.SID.ir

تصمیم‌گیری در زنجیرهٔ تأمین

سطوح تصمیم‌گیری در مطالعات زیادی برای یکپارچه‌سازی زنجیرهٔ تأمین بررسی شد (هریس و چانگ، ۲۰۰۱؛ سورانا و همکاران، ۲۰۰۵؛ هوانگ و همکاران، ۲۰۰۳؛ بیمن و چن، ۲۰۰۱؛ گاناساکاران و همکاران، ۲۰۰۴). سطوح مختلف برنامه‌ریزی زنجیرهٔ تأمین به سه ساختار زیر تقسیم‌بندی می‌شود: اول زنجیرهٔ تأمین راهبردی: برنامه‌ریزی راهبردی شامل استقرار سیاست‌های مدیریتی با توسعهٔ منابع لازم سازمان برای رسیدن به هدف است (هکس، ۱۹۷۴). تصمیمات راهبردی بلندمدت است و افق زمانی چندساله را دربر می‌گیرد و نیازمند اطلاعات زیادی برای تصمیم‌گیری است. تصمیمات راهبردی شامل مکان و ظرفیت انبارها و کارخانه‌ها، جریان مواد در شبکهٔ عرضه، سیاست‌های مدیریت موجودی، استراتژی‌های توزیع، استراتژی‌های تدارکات و برون‌سپاری، طراحی محصول و غیره است (گئورگیادیس و همکاران، ۲۰۰۵). دوم زنجیرهٔ تأمین تاکتیکی: در برنامه‌ریزی تاکتیکی تمرکز اصلی بر به‌کاربردن دارایی‌ها و حداکثرسازی سود یا حداقل‌کردن هزینه است. اگر مقدار تقاضا برنامه‌ریزی‌شده و ثابت باشد، حداکثرسازی درآمد خالص از حداقل‌کردن هزینهٔ کل حاصل می‌شود. برعکس مدل‌های راهبردی، مدل‌های تاکتیکی ارتباطی بین دوره‌های زمانی مختلف ایجاد می‌کنند (شاپیرو، ۲۰۰۰). سوم زنجیرهٔ تأمین عملیاتی: برنامه‌ریزی عملیاتی مربوط به افق زمانی کوتاه‌مدت در حد چند روز است. در این سطح برنامه‌ریزی، اطلاعات سطوح بالاتر جزئی‌تر می‌شود و با رویه‌های مدیریتی برای فعالیت‌های روزانه به‌کار می‌رود. در این سطح، منابع شناخته‌شده و ثابت‌اند. تصمیم‌گیری سطح عملیاتی شامل مسیریابی، زمان‌بندی، تعادل خط کاری و کنترل موجودی می‌شود.

پیکره‌بندی زنجیرهٔ تأمین و مدل‌سازی ریاضی زنجیرهٔ تأمین

در پیکره‌بندی زنجیرهٔ تأمین، اعضای زنجیرهٔ تأمین به‌نحوی چیده می‌شود که یک کل را به‌وجود آورند تا برای دستیابی به اهداف مشترک براساس مجموعه‌ای از راهبردها و سیاست‌ها عمل کنند. زنجیرهٔ تأمین را می‌توان طبقه‌ای ویژه از سیستم‌های قابل پیکره‌بندی به‌حساب آورد. در تعریف ابعاد مختلف مسئلهٔ پیکره‌بندی، مشخص‌کردن تعداد سطوح در زنجیرهٔ تأمین، تعریف کلی انواع واحدها در هر سطح و شناسایی محدودیت‌های ویژهٔ هر سطح– برای مثال تعداد تأمین‌کنندگان– ضروری است. همچنین، تعداد واحدها در هر سطح و اهداف و محدودیت‌های درون هر واحد و بین واحدها ضروری است (چاندرا و گراییس، ۲۰۰۷). با توجه به وجود تکنیک‌های زیاد در بهینه‌سازی چندهدفه، طراحان زنجیرهٔ تأمین باید به اهداف کسب‌وکار در دنیای واقعی و محدودیت‌های موجود توجه داشته باشند. ادبیات موجود انواع تصمیم‌گیری چندگانه و تکنیک‌های بهینه‌سازی برای طراحی، عملیاتی‌کردن و تجزیه و تحلیل زنجیرهٔ تأمین را نشان می‌دهد که هرکدام نیازمند درجه‌ای از مشارکت

Archive of SID

www.SID.ir

تصمیم‌گیرندگان است. با بررسی تحقیقات حوزهٔ زنجیرهٔ تأمین، دریافتیم مطالعات زیادی در طراحی شبکهٔ زنجیرهٔ تأمین با شرایط بی‌اطمینان انجام گرفته است. این مطالعات را می‌توان از منظر رویکردهای حل به چهار زیرمجموعه تقسیم کرد: مدل‌های تحلیلی، مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی، مدل‌های شبیه‌سازی و مدل‌های مبتنی بر تکنیک‌های هوش مصنوعی. در رویکردهای حل تحلیل مسائل می‌توان به تحقیقات تاملین (۲۰۰۶)، چوپرا و همکاران (۲۰۰۷)، آگراوال و سشادری (۲۰۰۰)، در طراحی شبکهٔ زنجیرهٔ تأمین با مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی به تحقیق ایپن و همکاران (۱۹۸۹)، در شبیه‌سازی و روش‌های مبتنی بر هوش مصنوعی به کار چان و چان (۲۰۰۵)، دلریس و ارهان (۲۰۰۵)، مله و همکاران (۲۰۰۷) اشاره کرد.

در تلاش برای کاهش تنوع و تأکید بیش از حد امکان در مدل‌های بهینه‌سازی، ملوی و همکاران (۱۹۹۵) چارچوبی برای مدل‌های بهینه‌سازی استوار[1] استاندارد ارائه دادند. با استفاده از رویکرد مبتنی بر سناریو با متغیرهای تصادفی، این رویکرد به‌دنبال تبادل بین راه حل استوار (برای مثال، معیار سنجش بهینگی) و مدل‌های استوار (برای مثال، معیار موجه‌بودن و معیار بهینگی) است. به‌عقیدهٔ مؤلفان، راه حلی استوار است که تقریباً در تمام سناریوها بهینه باشد، درحالی‌که مدل استوار تقریباً در تمام حالات موجه است. از تحقیقات این حوزه می‌توان به مطالعات بای و همکاران (۱۹۹۷)، گرینبرگ و موریسون (۲۰۰۸) و نمیروسکی و بن‌تال (۲۰۰۲)، یو و لی (۲۰۰۰)، سیاکیس و همکاران (۲۰۰۱)، وو و لئونگ (۲۰۰۴)، لئونگ و همکاران (۲۰۰۷)، وو (۲۰۰۶)، ژو و همکاران (۲۰۰۷) و آزارون و همکاران (۲۰۰۸) اشاره کرد. صادقی‌مقدم و همکاران (۱۳۸۸) در زمینهٔ جریان مواد در زنجیرهٔ تأمین، با رویکردی یکپارچه به مدل‌سازی جریان مواد در طول زنجیرهٔ تأمین در بخش‌های تأمین، تولید و توزیع در کارخانهٔ کاچیران پرداختند. در این تحقیق، پس از حل مدل با الگوریتم ژنتیک، بهترین جواب رضایت‌بخش با هدف حداقل هزینه انتخاب شد. کریمی و همکاران (۱۳۸۸) با استفاده از روش تحقیقی کیفی و نظرخواهی از خبرگان صنعت خودرو، به پیکربندی زنجیره‌های تأمین بر مبنای توانمندی‌های زنجیرهٔ تأمین پرداختند. درنهایت، سه نوع زنجیرهٔ تأمین شامل زنجیره‌های تأمین بدون اتلاف، مشتری‌محور و نوآور مشخص شد. در مدل‌های ارائه‌شده، ضعف‌هایی وجود دارد و برخی از این ضعف‌ها در این تحقیق برطرف شد. در جدول ۱، خلاصهٔ تحقیقات گذشته دربارهٔ منبع بی‌اطمینانی، سطح تصمیم‌گیری، رویکرد مدل‌سازی و رویکرد حل و ویژگی‌های تحقیق فعلی می‌آید که اهمیت این تحقیق را نشان می‌دهد.

1. Robust Optimization

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۱. تقسیم‌بندی تحقیقات پیرامون برنامه‌ریزی زنجیرهٔ تأمین در شرایط بی‌اطمینانی

نویسندگان	منبع بی‌اطمینانی	رویکرد مدل سازی	رویکرد حل
اپلکویست و همکاران، ۲۰۰۰	تقاضا و عرضه	تحلیلی	مدل‌سازی تصادفی
گوپتا و همکاران، ۲۰۰۰	تقاضا	تحلیلی	برنامه‌ریزی تصادفی
جان و همکاران، ۲۰۰۱	تقاضا	تحلیلی	برنامه‌ریزی تصادفی
آنح و پارک، ۲۰۰۳	تقاضا	هوش مصنوعی	سیستم‌های چندعامله
آگراوال و همکاران، ۲۰۰۳	تقاضا	تحلیلی	برنامه‌ریزی تصادفی
چن و لین، ۲۰۰۳	تقاضا و عرضه	هوش مصنوعی	الگوریتم ژنتیک
دشپنده و همکاران، ۲۰۰۴	فرایند	هوش مصنوعی	برنامه‌ریزی چندهدفهٔ فازی
سودهی، ۲۰۰۵	تقاضا	تحلیلی	برنامه‌ریزی تصادفی
آقذف، ۲۰۰۵	تقاضا	تحلیلی	بهینه‌سازی استوار
گویلن و همکاران، ۲۰۰۵	تقاضا	تحلیلی	برنامه‌ریزی تصادفی
عمید و همکاران، ۲۰۰۶	تقاضا و عرضه	هوش مصنوعی	برنامه‌ریزی چندهدفهٔ فازی
ژی و همکاران، ۲۰۰۶	تقاضا	هوش مصنوعی	اعداد فازی
لئونگ و همکاران، ۲۰۰۷	تقاضا	تحلیلی	برنامه‌ریزی تصادفی
آزارون و همکاران، ۲۰۰۸	تقاضا، فرایند و عرضه	تحلیلی	برنامه‌ریزی تصادفی
رودریگو و همکاران، ۲۰۱۰	تقاضا	تحلیلی	برنامه‌ریزی تصادفی
ژانگ و همکاران، ۲۰۱۱	تقاضا و فرایند	هوش مصنوعی	برنامه‌ریزی خطی فازی
داس، ۲۰۱۱	تقاضا	تحلیلی	برنامه‌ریزی تصادفی
فن و چن، ۲۰۱۲	تقاضا و عرضه	تحلیلی	برنامه‌ریزی تصادفی
فمنیا و همکاران، ۲۰۱۳	تقاضا	تحلیلی	برنامه‌ریزی تصادفی
تحقیق حاضر	تقاضا	ترکیبی	برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح چندهدفهٔ تصادفی آرمانی چندهدفه و بهینه‌سازی استوار

روش‌شناسی پژوهش

روش‌های پژوهش در علوم رفتاری را می‌توان با توجه به دو ملاک تقسیم کرد: الف) هدف پژوهش: بنیادی، کاربردی، تحقیق و توسعه، ب) نحوهٔ گردآوری داده‌ها: توصیفی یا غیر آزمایشی، آزمایشی (سرمد و همکاران، ۸۳). این پژوهش از نظر هدف از نوع تحقیقات کاربردی و توسعه‌ای است، زیرا به‌دنبال توسعهٔ مدل‌های موجود در این حوزه است. از این تحقیق می‌توان برای بهینه‌سازی زنجیرهٔ تأمین پرداخت و این مدل‌ها را به‌کار برد. تحقیق پیش رو از نظر گردآوری

Archive of SID

www.SID.ir

داده‌ها، توصیفی- پیمایشی است، زیرا به توصیف روابط میان متغیرها می‌پردازد. از آنجاکه در این تحقیق برای مدل‌سازی ریاضی از برنامه‌ریزی تصادفی و بهینه‌سازی استوار استفاده می‌شود، در این قسمت به تشریح آن پرداخته می‌شود.

برنامه‌ریزی تصادفی

برنامه‌ریزی تصادفی با حالاتی سر و کار دارد که برخی یا تمام پارامترهای یک مسئله با متغیرهای تصادفی مشخص شوند. این حالات دربرگیرندهٔ مسائل واقعی است، زیرا در مسائل واقعی تعیین دقیق پارامترها مشکل است. ایدهٔ کلی در مدل‌های برنامه‌ریزی تصادفی، تبدیل ماهیت احتمالی مسئله به مسئلهٔ معادل بدون احتمال است.

دو رویکرد متفاوت برای نشان‌دادن قطعیت‌نداشتن تکنیک‌های برنامه‌ریزی تصادفی وجود دارد: رویکرد مبتنی بر سناریو و رویکرد مبتنی بر توزیع (گوپتا و ماراناس، ۲۰۰۳). در رویکرد مبتنی بر سناریو، مجموعه‌ای از سناریوهای گسسته تولید می‌شود که در آن هر سناریو، توصیف یک مقدار گسسته برای برخی از پارامترهای نامشخص با احتمال وقوع تعیین‌شده توسط تصمیم‌گیرنده است. نمونه‌ای از رویکرد مبتنی بر سناریو در زنجیرهٔ تأمین در مطالعات گویلن و همکاران (۲۰۰۵)، لئونگ و همکاران (۲۰۰۶)، سانتوسو و همکاران (۲۰۰۵) و آلونسو و آیوسو و همکاران (۲۰۰۳) دیده می‌شود. در این تحقیق، از رویکرد مبتنی بر سناریو برای تحلیل نتایج استفاده می‌شود.

بهینه‌سازی استوار

در این قسمت، به تشریح بهینه‌سازی استوار مبتنی بر تحقیق ملوی و همکاران (۱۹۹۵) و لئونگ و همکاران (۲۰۰۷) پرداخته می‌شود. ملوی و همکاران (۱۹۹۵) مدل بهینه‌سازی استواری مبتنی بر سناریو با تکنیک‌های برنامه‌ریزی آرمانی عدد صحیح را در تحقیق خود به‌کار بردند که ترکیبی از اهداف متناقض با درنظرگرفتن حل (نزدیک به نقطهٔ بهینه) و مدل (موجه‌بودن) است. آن‌ها برای ایجاد چارچوب مدل بهینه‌سازی استوار در ابتدا به تعریف مفاهیم و متغیرهای کنترلی پرداختند. متغیرهای طراحی و ساختاری برای رسیدن به مقدار بهینهٔ مد نظر است. مدل عمومی برنامه‌ریزی تصادفی با متغیرهای ساختاری و کنترل به‌صورت زیر است:

Archive of SID

www.SID.ir

$$\begin{aligned} &\min \xi = c^T x + d^T y \\ &\text{subject to} \\ &Ax = b \\ &Bx + Cy = e \\ &x, y \geq ۰ \end{aligned} \qquad (۱)$$

در این مدل، Ax = b محدودیت طراحی یا ساختاری است که ضرایب و عدد سمت راست آن قطعی است. Bx + Cy = e محدودیت کنترل است که ضرایب یا عدد سمت راست آن غیر قطعی است. در ادامه، مجموعهٔ سناریوی $\Omega = \{۱, ۲, ۳, \ldots, S\}$ تعریف می‌شود که در آن سناریوی $s \in \Omega$ با احتمال p_s رخ می‌دهد: $\sum_{s=۱}^{S} p_s = ۱$. سپس برای هر سناریو مجموعهٔ متغیرهای کنترل $\{y_۱, y_۲, y_۳, \ldots, y_s\}$ تعریف می‌شود. حالا مدل بهینه‌سازی استوار به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\begin{aligned} &\text{minimize } \sigma(x, y_۱, \ldots, y_s) + \omega\rho(z_۱, \ldots, z_s) \\ &s.t. \\ &Ax = b \\ &B_s x + C_s y_s = e_s, \ \forall s \in \Omega; \\ &x \geq ۰, y_s \geq ۰; \ \forall s \in \Omega \end{aligned} \qquad (۲)$$

مجموعهٔ $\{z_۱, z_۲, z_۳, \ldots, z_s\}$ شامل بردارهای خطاهایی است که منطقهٔ غیر موجه مجاز را در محدودیت کنترلی $B_s x + C_s y_s = e_s$ تحت سناریوی s ارزیابی می‌کند و نیز مجموعهٔ $\{d_s, B_s, C_s, e_s\}$ ضرایب محدودیت‌های کنترلی سناریوی s است. همچنین، تابع هدف $\xi = c^T x + d^T y$ به متغیری تصادفی از مقدار $\xi_s = c^T x + d_s^T y_s$ با احتمال p_s تبدیل می‌شود. گام بعدی انتخاب تابع برای $\sigma(x, y_1, \ldots, y_s)$ است که معمولاً به‌صورت زیر است:

$$(x, y_۱, \ldots, y_s) = \sum_{s \in \Omega} p_s \xi_s \ , s \in \Omega \qquad (۳)$$

که درحقیقت میانگین یا امید ریاضی $\xi_s = c^T x + d_s^T y_s$ را در همهٔ سناریوها نشان می‌دهد. قسمت دوم تابع هدف بالا یعنی $\omega\rho(z_۱, \ldots, z_s)$ تابع جریمهٔ غیر موجهی است. با استفاده از بردارهای خطا، این تابع انحراف محدودیت‌های کنترل را با برخی از محدویت‌ها جریمه می‌کند؛ به‌عبارت دیگر، این تابع به مدل اجازه می‌دهد سناریوها را در پارامترهای تصادفی هدایت کند؛ بنابراین، قمست اول تابع هدف معیاری برای رسیدن به نقطهٔ بهینه برای سناریوی $s \in \Omega$ است و قسمت دوم معیاری برای رسیدن به منطقهٔ موجه سناریوی $s \in \Omega$ است.

همچنین، پارامتر ω وزنی برای تبادل مطلوب بین مقاومت و حل مدل است. همان‌طورکه

Archive of SID

www.SID.ir

لئونگ و همکاران (۲۰۰۷) بیان کردند، تخصیص مقدار صفر به ω به جواب غیر موجه منجر می‌شود و با تخصیص عدد بسیار بزرگ به ω سبب می‌شود تابع جریمهٔ غیر موجه بر کل تابع هدف چیره شود که به امید ریاضی بالا برای $\sigma(x, y_1, \ldots, y_s)$ منجر می‌شود.

در سناریوهای طراحی و عملیات زنجیرهٔ تأمین با سطح بالای ریسک، ممکن است یک یا چند پارامتر تصادفی (مانند دسترس‌پذیری مواد اولیه یا مقدار تقاضا) به مدل وارد شوند. تابع هدف مدل بالا به دنبال حداقل‌کردن کل هزینه در همهٔ سناریوهای ممکن است؛ به‌عبارت دیگر، مدل نمی‌تواند تغییرات بالقوه در هزینه‌ها را در پارامترهای با ریسک بالا محاسبه کند. ملوی و همکاران (۱۹۹۵) یک رویکرد میانگین–واریانس را به‌عنوان تکنیکی برای کاهش ریسک در یک یا چند پارامتر تصادفی ارائه دادند. تابع هزینهٔ تجدیدنظرشده برابر است با امید ریاضی متغیر تصادفی $\xi_s = c^T x + d_s^T y_s$ به‌اضافه مقدار ثابت واریانس است؛ به‌عبارت دیگر، قسمت تابع هزینهٔ تابع هدف بالا به‌صورت زیر است:

$$\sigma(x, y_1, \ldots, y_s) = \sigma(.) = \sum_{s\in\Omega} p_s \xi_s + \lambda \sum_{s\in\Omega} p_s (\xi_s - \sum_{s'\in\Omega} p_{s'} \xi_{s'})^2 \quad (۴)$$

مشخص است اگر مقدار λ افزایش یابد، جواب بهینه به تغییرات داده‌های سناریوها کمتر حساس می‌شود. ملوی و همکاران (۱۹۹۵) بیان کردند واریانس موزون، تصمیم‌گیرندگان را با استفاده از بهینه‌سازی استوار برای ریسک بیشتر ترغیب می‌کند؛ بنابراین بهینه‌سازی استوار با کمک به تصمیم‌گیری سبک مدیریتی انفعالی، نسبت به برنامه‌ریزی خطی تصادفی مزیت شاخصی دارد؛ به‌عبارت دیگر، با تغییرپذیری تحت کنترل، تعدیلات حداقلی برای متغیرهای کنترلی هنگامی مورد نیاز است که واریانس موزون در بهینه‌سازی استوار به‌کار رود. از آنجاکه قسمت دوم تابع بالا از نوع درجهٔ دوم و غیر خطی است، لئونگ و همکاران (۲۰۰۷) و یو و لی (۲۰۰۰) با انجام‌دادن تغییراتی به مدل زیر دست یافتند:

(۵)

$$Minimize \sum_{s\in\Omega} p_s \xi_s + \lambda \sum_{s\in\Omega} p_s \left[\left(\xi_s - \sum_{s'\in\Omega} p_{s'} \xi_{s'} \right) + 2\Theta_s \right] + \omega \rho(z_1, \ldots, z_s)$$

$$s.t.$$

$$Ax = b$$

$$B_s x + C_s y_s = e_s, \quad \forall s \in \Omega;$$

$$\xi_s - \sum_{s\in\Omega} p_s \xi_s + \Theta_s \geq 0;$$

$$x \geq 0, y_s \geq 0, \Theta_s \geq 0; \quad \forall s \in \Omega$$

Archive of SID

www.SID.ir

یافته‌های پژوهش

نمادها، پارامترها و متغیرها

در این تحقیق، برای مدل‌سازی ریاضی از اندیس‌های زیر استفاده می‌شود:

مواد خام اولیه $(i = ۱,۲,\ldots,I)$، تأمین‌کننده $(k = ۱,۲,\ldots,K)$، کارخانه $(m = ۱,۲,\ldots,M)$، انبار $(n = ۱,۲,\ldots,N)$، مشتری $(p = ۱,۲,\ldots,P)$، دورهٔ زمانی $(t = ۱,۲,\ldots,T)$ و سناریوها $\Omega = \{۱, ۲, ۳, \ldots, S\}$.

همچنین، پارامترهای مورد نیاز برای این تحقیق برای مدل‌سازی ریاضی به‌صورت زیر تعریف شدند:

a_i: مقدار مواد اولیهٔ i مورد نیاز برای ساخت یک واحد محصول نهایی. c_{ikt}^{R}: هزینهٔ هر واحد مواد اولیهٔ (حیاتی) i که از تأمین‌کنندهٔ k در زمان t خریداری می‌شود. c_{mt}^{CON}: هزینهٔ ساخت کارخانه با ظرفیت U_{m} در مکان t در زمان t. c_{mt}^{FP}: هزینهٔ تولید هر واحد محصول نهایی در کارخانهٔ m در زمان t. c_{mt}^{PQ+}: هزینهٔ افزایش تولید هر واحد محصول نهایی در کارخانهٔ m در زمان t. c_{mt}^{PQ-}: هزینهٔ کاهش تولید هر واحد محصول نهایی در کارخانهٔ m در زمان t. c_{ikmt}^{SRP}: هزینهٔ حمل هر واحد مواد اولیهٔ (حیاتی) i از تأمین‌کنندهٔ k به کارخانهٔ m در زمان t. c_{mnt}^{SFW}: هزینهٔ حمل هر واحد محصول نهایی از کارخانهٔ m به انبار n در زمان t. c_{npt}^{SFM}: هزینهٔ حمل هر واحد محصول نهایی از انبار n به مشتری p در زمان t. c_{imt}^{HRP}: هزینهٔ نگهداری هر واحد مواد اولیهٔ i که در کارخانهٔ m در زمان t نگهداری می‌شود. c_{mt}^{HFP}: هزینهٔ نگهداری هر واحد محصول نهایی که در کارخانهٔ m در زمان t نگهداری می‌شود. c_{nt}^{HFW}: هزینهٔ نگهداری هر واحد محصول نهایی که در انبار n در زمان t نگهداری می‌شود. f_{mt}^{P}: هزینهٔ ثابت عملیاتی کارخانهٔ m در زمان t. f_{nt}^{W}: هزینهٔ ثابت عملیاتی انبار n در زمان t. C_{ikt}^{RS}: دسترس‌پذیری هر واحد مواد اولیهٔ (حیاتی) i از تأمین‌کنندهٔ k در زمان t. U_m: حداکثر ظرفیت تولید محصول نهایی کارخانهٔ m. v_m: حداقل مقدار تولید محصول نهایی کارخانهٔ m برای اینکه کارخانه باز باشد. q_n: حداقل مقدار نگهداری محصول نهایی در انبار n برای اینکه انبار باز باشد. R_m^{PLANT}: ظرفیت انتقال خارج از محدوده در کارخانهٔ m در هر زمان. R_n^{INW}: ظرفیت انتقال درون محدوده در انبار n در هر زمان. R_n^{OUTW}: ظرفیت انتقال خارج از محدوده در انبار n در هر زمان. C_{imt}^{HRP}: ظرفیت نگهداری مواد اولیهٔ کارخانهٔ m در زمان t. C_{mt}^{HFP}: ظرفیت نگهداری محصول نهایی کارخانهٔ m در زمان t. C_{nt}^{HFW}: ظرفیت نگهداری محصول نهایی انبار n در زمان t. r_{im0}: موجودی ابتدای دورهٔ مواد اولیهٔ i در کارخانهٔ m. g_{m0}: موجودی ابتدای دورهٔ محصول نهایی در کارخانهٔ m. h_{n0}: موجودی ابتدای دورهٔ محصول نهایی در انبار n. h^{FIN}: کسری از تقاضای کل نهایی به موجودی پایان دوره. x_{m0}: موجودی ابتدای دوره در کارخانهٔ m. d_{pt}: تقاضای محصول نهایی توسط مشتری p در

Archive of SID

www.SID.ir

زمان t. Ψ^{FP}: قیمت فروش هر واحد محصول نهایی. p_s: احتمال رخ‌دادن سناریوی $s \in \Omega$. d_{pt}^{s}: تقاضای محصول نهایی در بازار p در زمان t تحت سناریوی s.

مدل‌سازی تصادفی مدل راهبردی

مدل راهبردی که به‌صورت مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط فرموله می‌شود، ابزاری است که به مدیران زنجیرهٔ تأمین در طراحی شبکهٔ تولید و توزیع چندکالاناله کمک می‌کند. با حل مدل راهبردی، انتخاب بهینهٔ تأمین‌کنندگان مواد اولیهٔ حیاتی، ساخت کارخانه، مکان انبارها و کارخانه‌ها و مقدار بهینهٔ تولید به‌دست می‌آید. در عین حال، هنگامی‌که تقاضای مشتریان برآورده شود، سود حداکثر می‌شود. مدل راهبردی طراحی‌شده در این مرحله، برنامهٔ جامع بلندمدت را در افق زمانی یک تا پنج‌ساله ارائه می‌دهد.

متغیرهای تصمیم این مدل‌ها به شرح زیر هستند:

w_{ikmt}: مقدار انتقال مواد اولیهٔ (حیاتی) i از تأمین‌کنندهٔ k به کارخانهٔ m در زمان t. w_{imt}: مقدار انتقال مواد اولیهٔ (غیر حیاتی) i از همهٔ تأمین‌کنندگان به کارخانهٔ m در زمان t. x_{mt}: مقدار محصول نهایی تولیدشده در کارخانهٔ m در زمان t. e_{mt}: مقدار تولید نامحدود تغییریافته از زمان $t-1$ به زمان t. e_{mt}^{+}: افزایش مقدار تولید از زمان $t-1$ به زمان t. e_{mt}^{-}: کاهش مقدار تولید از زمان $t-1$ به زمان t. y_{mnt}: مقدار انتقال محصول نهایی از کارخانهٔ m به انبار n در زمان t. z_{npt}: مقدار انتقال محصول نهایی از انبار n به مشتری p در زمان t. r_{imt}: مقدار مواد اولیهٔ i که در کارخانهٔ m در زمان t نگهداری می‌شود. g_{mt}: مقدار محصول نهایی که در کارخانهٔ m در زمان t نگهداری می‌شود. h_{nt}: مقدار محصول نهایی که در انبار n در زمان t نگهداری می‌شود. h_{nt}^{s}: مقدار موجودی محصول نهایی در انبار n در زمان t تحت سناریوی s نگهداری می‌شود. z_{npt}^{s}: مقدار محصول نهایی که از انبار n به بازار p در زمان t تحت سناریوی s ارسال می‌شود. d_{dem-pt}^{s-}: متغیر انحراف منفی مرتبط با تحت پوشش قراردادن تقاضا در بازار p در زمان t تحت سناریوی s.

a_{ikt}:
- ۱ اگر مواد اولیهٔ i توسط تأمین‌کنندهٔ k در زمان t تهیه شود.
- در غیر این‌صورت صفر

β_{mt}:
- ۱ اگر کارخانهٔ m در زمان t برای تولید اقدام کند.
- در غیر این‌صورت صفر

Archive of SID

www.SID.ir

δ_{nt}: ۱ اگر انبار n در زمان t باز باشد.
در غیر این‌صورت صفر

Φ_{mt}: ۱ اگر کارخانه با ظرفیت U_{m} در مکان m در زمان t ایجاد شود.
در غیر این‌صورت صفر

حال با متغیرهای بالا به مدل‌سازی تصادفی مدل راهبردی می‌پردازیم که با توجه به آرمانی‌بودن مدل، در ابتدا محدودیت‌ها و سپس تابع هدف ارائه می‌شود.

زیرمدل راهبردی – که به دنبال حداکثرسازی سود در عین حداقل‌کردن تغییرپذیری سود و تقاضای برآورده‌نشده است و با توجه به تکنیک بهنیه‌سازی استوار محدودیت زیر که به آن‌ها محدودیت‌های طراحی گفته می‌شود– شامل «متغیرهای تصمیم مرحلهٔ اول» است.

$$\sum_{m=1}^{M} w_{ikmt} \le C_{ikt}^{RS} a_{ikt},\ i=1,\ldots,I';k=1,\ldots,K';t=1,\ldots,T \quad (۶)$$

$$\sum_{m=1}^{M} w_{ikmt} \ge W_{ik}^{min} a_{ikt},\ i=1,\ldots,I';k=1,\ldots,K';t=1,\ldots,T \quad (۷)$$

$$\sum_{m=1}^{M} w_{imt} \le C_{it}^{RS},\ i=I'+1,\ldots,I;t=1,\ldots,T \quad (۸)$$

$$\sum_{t=1}^{T} \varnothing_{mt} \le 1,\ m=1,\ldots,M \quad (۹)$$

$$\sum_{t=1}^{T} \varnothing_{mt} \le 1,\ m=1,\ldots,M \quad (۱۰)$$

$$x_{mt} \le u U_m \beta_{mt},\ m=1,\ldots,M;t=1,\ldots,T \quad (۱۱)$$

$$x_{mt} \ge v_m \beta_{mt},\ m=1,\ldots,M;t=1,\ldots,T \quad (۱۲)$$

$$x_{mt} - x_{mt-1} = e_{mt},\ m=1,\ldots,M;t=1,\ldots,T \quad (۱۳)$$

$$e_{mt} = e_{mt}^{+} - e_{mt}^{-},\ m=1,\ldots,M;t=1,\ldots,T \quad (۱۴)$$

$$x_{m.} = 0,\ m=1,\ldots,M \quad (۱۵)$$

Archive of SID

www.SID.ir

(۱۶)

$$r_{im(t-1)} + \sum_{k=1}^{K'} w_{ikmt} - a_i x_{mt} = r_{imt} \quad ,i = 1,\ldots,I' ; m = 1,\ldots,M \quad ;t = 1,\ldots,T$$

(۱۷)

$$r_{im(t-1)} + w_{imt} - a_i x_{mt} = r_{imt} \quad ,i = I'+1,\ldots,I ; \; m = 1,\ldots,M \quad ;t = 1,\ldots,T$$

$$r_{imt} \le C_{imt}^{HRP} \beta_{mt} \quad ,i = 1,\ldots,I ; m = 1,\ldots,M \quad ;t = 1,\ldots,T \qquad (۱۸)$$

$$g_{m(t-1)} + x_{mt} - \sum_{n=1}^{N} y_{mnt} = g_{mt} \quad ,m = 1,\ldots,M \quad ;t = 1,\ldots,T \qquad (۱۹)$$

$$g_{mt} \le C_{mt}^{HFP} \beta_{mt} , \; m = 1,\ldots,M \quad ;t = 1,\ldots,T \qquad (۲۰)$$

$$\sum_{n=1}^{N} y_{mnt} \le R_m^{PLANT} \beta_{mt} , \; m = 1,\ldots,M \quad ;t = 1,\ldots,T \qquad (۲۱)$$

$$\sum_{n=1}^{N} y_{mnt} \le R_m^{PLANT} \beta_{mt} , \; m = 1,\ldots,M \quad ;t = 1,\ldots,T \qquad (۲۲)$$

رابطهٔ ۶ نشان می‌دهد میزان مواد اولیهٔ حیاتی خریداری‌شده و منتقل‌شده به همهٔ کارخانه‌ها باید از ظرفیت تأمین هریک از تأمین‌کنندگان در هر دوره کمتر یا برابر باشد. در این محدودیت، $\acute{I} \le I$ تعداد انواع مواد اولیهٔ حیاتی و $\acute{K} \le K$ تعداد تأمین‌کنندگان مواد اولیهٔ حیاتی را نشان می‌دهد. علاوه‌براین، در مدل باید این محدودیت درنظر گرفته شود که مواد اولیهٔ حیاتی فقط از تأمین‌کنندگانی خریداری شود که به‌عنوان منبع مواد اولیهٔ حیاتی مشخص شده‌اند؛ به‌عبارت دیگر، مواد اولیهٔ حیاتی نمی‌توانند از تمام عرضه‌کنندگان در بازار خریداری شوند که شامل تأمین‌کنندگان $K'+1$ تا K هستند. هنگام انتخاب تأمین‌کنندگان مواد اولیهٔ حیاتی در فاز طراحی زنجیرهٔ تأمین برای مواد اولیه که حساس یا کمیاب‌اند، فرض می‌شود حداقل مقدار خرید نیز با انتخاب تأمین‌کننده همراه باشد که محدودیت متناظر با آن در رابطهٔ ۷ آمد. رابطهٔ ۸ بیان می‌کند میزان مواد اولیهٔ غیر حیاتی خریداری‌شده و منتقل شده به همهٔ کارخانه‌ها باید از مقدار موجود در بازار در هر دوره کمتر یا برابر باشد. رابطه‌های ۹ و ۱۰ بیانگر ساخت کارخانه در زمان مشخص است و نیز بیان می‌شود اگر کارخانه‌ای در مکان m در زمان t ایجاد شود، عملیات تولید در این کارخانه می‌تواند در دورهٔ t یا بعد از آن انجام گیرد. در رابطه‌های ۱۱ و ۱۲ ظرفیت تولید در هر کارخانه در هر دورهٔ زمانی آمد. رابطه‌های ۱۳، ۱۴ و ۱۵ تغییرات مقدار

Archive of SID

www.SID.ir

تولید را در هر دوره نسبت به دورهٔ قبل آن نشان می‌دهد. رابطه‌های ۱۶ و ۱۷ بیان می‌کند میزان مواد اولیهٔ حیاتی و غیر حیاتی که به‌عنوان موجودی در کارخانهٔ m در طول دورهٔ t نگهداری می‌شود، برابر است با مقدار مواد اولیهٔ کارخانهٔ m در دورهٔ قبل به‌علاوهٔ مقدار مواد اولیه که در همین دوره به کارخانهٔ m انتقال داده شد، منهای مقدار مواد اولیهٔ مصرف‌شدهٔ همین دوره در کارخانهٔ m. همچنین، فرض می‌شود r_{im0} به‌عنوان موجودی مادهٔ اولیهٔ i اول دورهٔ کارخانهٔ m است. در رابطهٔ ۱۸، ظرفیت نگهداری مواد اولیه در کارخانهٔ m در دورهٔ t نشان داده می‌شود. رابطهٔ ۱۹ نشان می‌دهد مقدار محصول نهایی در کارخانهٔ m در دورهٔ t نگهداری می‌شود و برابر است با تعداد محصول نهایی موجود در انبار کارخانهٔ m در دورهٔ گذشته به‌علاوهٔ تعداد محصول نهایی ساخته‌شدهٔ کارخانهٔ m در دورهٔ فعلی منهای تعداد کل محصول نهایی منتقل‌شده به همهٔ انبارها از کارخانهٔ m در طول دورهٔ t. رابطهٔ ۲۰ ظرفیت محصول نهایی در تمام کارخانه‌ها را بیان می‌کند و رابطهٔ ۲۱ نشان می‌دهد کارخانهٔ m در دورهٔ t برای انتقال محصول نهایی به انبارهای باز برای تولید اقدام کند. درنهایت، رابطهٔ ۲۲ نشان می‌دهد انبار n در دورهٔ t باید برای دریافت محصول نهایی از کارخانه‌ها باز باشد.

در ادامه، محدودیت‌های کنترل مطرح می‌شود که با تصادفی‌بودن تقاضا در ارتباط است. این محدودیت‌ها عبارتند از:

(۲۳)

$$h^{s}_{n(t-1)} - \sum_{m=1}^{M} y_{mnt} - \sum_{p=1}^{P} z^{s}_{npt} = h^{s}_{nt} \quad , n = 1,\ldots,N \quad ;t = 1,\ldots,T \quad ;s = 1,\ldots,S$$

$$h^{s}_{nt} \le C^{HFW}_{nt}\,\delta_{nt} \quad , n = 1,\ldots,N \quad ;t = 1,\ldots,T \quad ;s = 1,\ldots,S \qquad (۲۴)$$

$$h^{s}_{nt} \ge q_{n}\delta_{nt} \quad , n = 1,\ldots,N \quad ;t = 1,\ldots,T \quad ;s = 1,\ldots,S \qquad (۲۵)$$

$$\sum_{p=1}^{P} z^{s}_{npt} \le R^{OUTW}_{n}\,\delta_{nt} \quad , n = 1,\ldots,N \quad ;t = 1,\ldots,T \;;s = 1,\ldots,S \qquad (۲۶)$$

$$\sum_{m}^{M} g_{mT} + \sum_{n}^{N} h^{s}_{nT} \ge h^{FIN} \sum_{p}^{P} d^{s}_{pT} \quad , \quad 0 \le h^{\mathrm{FIN}} \le 1; s = 1,\ldots,S \qquad (۲۷)$$

$$\sum_{n=1}^{N} z^{s}_{npt} + d^{s-}_{\mathrm{dep}-pt} \le d^{s}_{pt} \quad , p = 1,\ldots,P \quad ;t = 1,\ldots,T \;;s = 1,\ldots,S \qquad (۲۸)$$

رابطهٔ ۲۳ نشان می‌دهد مقدار محصول نهایی که در انبار n در دورهٔ t تحت سناریوی s نگهداری می‌شود، برابر است با تعداد محصول نهایی موجود در انبار n در دورهٔ گذشته تحت

Archive of SID

www.SID.ir

سناریوی s به‌علاوهٔ تعداد محصول نهایی ساخته‌شدهٔ انتقال‌یافته از همهٔ کارخانه‌ها به انبار n در دورهٔ فعلی منهای تعداد کل محصول نهایی منتقل‌شده از انبار n به همهٔ مشتری‌ها در طول دورهٔ t تحت سناریوی s. رابطه‌های ۲۴، ۲۵ و ۲۶ بیانگر محدویت انتخاب و ظرفیت انبار هستند. در رابطهٔ ۲۷، محدودیت موجودی محصول در پایان دوره نشان داده شد. رابطهٔ ۲۸ بیانگر محدودیت آرمانی پاسخگویی تقاضاست.

در پایان، مدل تصادفی زیرمدل راهبردی تابع هدف مطرح می‌شود که به‌صورت زیر است:

$$\begin{aligned}&\text{maximize}\sum_{s\in\Omega}p_s\,\text{Prifit}_s^{S-STR}\\&-\lambda\sum_{s\in\Omega}p_s\left[\left(\text{Prifit}_s^{S-STR}-\sum_{s'\in\Omega}p_{s'}\text{Prifit}_s^{S-STR}\right)+2\Theta_s\right]\\&-\omega\sum_{s=1}^{S}\sum_{p=1}^{P}\sum_{t=1}^{T}p_s d^{s-}_{\text{dem}-pt}\end{aligned}\qquad(29)$$

این تابع شامل سه قسمت است که قسمت اول آن سود کل مورد انتظار است و برابر است با فروش کل منهای هزینهٔ کل که این هزینه‌ها عبارتند از: هزینهٔ ساخت کارخانه، هزینه‌های عملیاتی ثابت کارخانه و انبار، هزینهٔ خرید مواد اولیه، هزینهٔ متغیر تولید، هزینهٔ تغییر در مقدار تولید، هزینهٔ حمل‌ونقل و هزینه‌های نگهداری؛ به‌عبارت دیگر، قسمت اول تابع هدف بالا به‌صورت زیر است:

$$\begin{aligned}\text{Prifit}_s^{S-STR}=\Psi^{FP}&\sum_{n=1}^{N}\sum_{p=1}^{P}\sum_{t=1}^{T}z_{npt}^{s}-\sum_{m=1}^{M}\sum_{t=1}^{T}c_{mt}^{CON}\Phi_{mt}-\sum_{m=1}^{M}\sum_{t=1}^{T}f_{mt}^{P}\beta_{mt}-\sum_{n=1}^{N}\sum_{t=1}^{T}f_{nt}^{W}\delta_{nt}\\&-\sum_{i=1}^{\acute{I}}\sum_{k=1}^{\acute{K}}\sum_{m=1}^{M}\sum_{t=1}^{T}c_{ikt}^{R}\,w_{ikmt}-\sum_{i=\acute{I}+1}^{I}\sum_{m=1}^{M}\sum_{t=1}^{T}avc_{it}^{R}\,w_{imt}-\sum_{m=1}^{M}\sum_{t=1}^{T}c_{mt}^{FP}x_{mt}\\&-\sum_{m=1}^{M}\sum_{t=1}^{T}(c_{mt}^{PQ+}e_{mt}^{+}+c_{mt}^{PQ-}e_{mt}^{-})-\sum_{i=1}^{\acute{I}}\sum_{k=1}^{\acute{K}}\sum_{m=1}^{M}\sum_{t=1}^{T}c_{ikmt}^{SRP}\,w_{ikmt}\\&-\sum_{i=\acute{I}+1}^{I}\sum_{m=1}^{M}\sum_{t=1}^{T}avc_{imt}^{SRP}\,w_{imt}-\sum_{m=1}^{M}\sum_{n=1}^{N}\sum_{t=1}^{T}c_{mnt}^{SFW}\,y_{mnt}\\&-\sum_{n=1}^{N}\sum_{p=1}^{P}\sum_{t=1}^{T}c_{npt}^{SFM}\,z_{npt}^{s}-\sum_{i=\acute{I}+1}^{I}\sum_{m=1}^{M}\sum_{t=1}^{T}c_{imt}^{HRP}\,r_{imt}-\sum_{m=1}^{M}\sum_{t=1}^{T}c_{mt}^{HFP}\,g_{mt}\\&-\sum_{n=1}^{N}\sum_{t=1}^{T}c_{nt}^{HFW}h_{nt}^{s}\end{aligned}$$

Archive of SID

www.SID.ir

قسمت دوم تابع به‌دنبال حداقل‌کردن تغییرپذیری سود است که در قسمت بهینه‌سازی استوار به تشریح آن پرداخته شد. در قسمت سوم، حداقل‌سازی تقاضای برآورده‌نشدهٔ مورد انتظار بررسی می‌شود. ω وزنی است که توسط تصمیم‌گیرنده برای تأکید بر اهمیت هدف مورد نظر در سناریو ممکن است.

در پایان، به وضعیت متغیرها و متغیرهای مدل بالا پرداخته می‌شود:

(۳۰)

$$w_{imt} \geq ۰, i = I'+۱,\ldots,I;\ m = ۱,\ldots,M\ ;t = ۱,\ldots,T$$
$$w_{imt}: \text{تعریف نشده}\ \ i = ۱,\ldots,I';\ m = ۱,\ldots,M\ ;t = ۱,\ldots,T$$
$$w_{ikmt} \geq ۰, i = ۱,\ldots,I';k = ۱,\ldots,K\ ;m = ۱,\ldots,M\ ;t = ۱,\ldots,T$$
$$w_{ikmt}: \text{تعریف نشده}\ \ ,i = ۱,\ldots,I';k = K'+۱,\ldots,K;\ m = ۱,\ldots,M\ ;t = ۱,\ldots,T$$
$$w_{ikmt}: \text{تعریف نشده}\ \ ,i = I'+۱,\ldots,I;k = ۱,\ldots,K';\ m = ۱,\ldots,M\ ;t = ۱,\ldots,T$$
$$x_{mt}, e^{+}_{mt}, e^{-}_{mt}, y_{mnt}, z^{s}_{npt}, r_{imt}, g_{mt}, h^{s}_{nt}, \Theta_{s}, d^{s-}_{\text{dep}-pt} \geq ۰, \forall i, m, n, p, s, t$$
$$e_{mnt}, \text{Prifit}^{S-STR}_{s}: \text{نامحدود}\ \ ,\ m = ۱,\ldots,M\ \ s = ۱,\ldots,S;\ t = ۱,\ldots,T$$
$$\alpha_{ikt}: \text{صفر و یک}, i = ۱,\ldots,I';k = ۱,\ldots,K';\ t = ۱,\ldots,T$$
$$\alpha_{ikt}: \text{تعریف نشده}, i = ۱,\ldots,I';k = K'+۱,\ldots,K;\ t = ۱,\ldots,T$$
$$\alpha_{ikt}: \text{تعریف نشده}, i = I'+۱,\ldots,I;\ k = ۱,\ldots,K\ ;t = ۱,\ldots,T$$
$$\beta_{\text{mt}}, \delta_{\text{nt}}, \varnothing_{\text{mt}}: \text{صفر و یک}, m = ۱,\ldots,M, n = ۱,\ldots,N\ ;t = ۱,\ldots,T$$

مثال عددی

حال با توجه به مدل‌های ارائه‌شده، مثال عددی ارائه می‌شود و سپس با استفاده از نرم‌افزار LINDO حل می‌شود. در این مثال، پنج تأمین‌کننده $(k = ۱,۲,\ldots,۵)$، سه مکان کارخانه $(m = ۱,۲,۳)$، چهار انبار $(n = ۱,۲,۳,۴)$ و پنج بازار مشتری $(p = ۱,۲,\ldots,۵)$ وجود دارد. تک‌محصول این مثال عددی از دو مادهٔ اولیهٔ حیاتی $(i = ۱,۲)$ و سه مادهٔ اولیهٔ غیر حیاتی $(i = ۳,۴,۵)$ تشکیل می‌شود. مقدار مورد نیاز از مواد اولیهٔ ۱، ۲، ۳، ۴ و ۵ به‌ترتیب ۵، ۷، ۷، ۱۲ و ۶ واحد است. تأمین‌کنندگان ۱ و ۲ می‌توانند هر دو نوع مواد اولیهٔ حیاتی و غیر حیاتی را تأمین کنند و تأمین‌کنندگان ۳، ۴ و ۵ فقط مواد اولیهٔ غیر حیاتی را عرضه می‌کنند. محصول نهایی می‌تواند در هریک از سه کارخانهٔ تولید و به هریک از چهار انبار انتقال یابند. سایر داده‌های مورد نیاز برای این مثال در جدول‌های زیر می‌آید.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۲. هزینه‌های عملیاتی و ظرفیت کارخانه‌ها

کارخانه	سال	هزینهٔ ساخت	هزینهٔ عملیاتی ثابت	حداقل مقدار تولید	حداکثر ظرفیت تولید	ظرفیت انبار محصول نهایی	ظرفیت انتقال
۱	۱	۱،۰۰۰،۰۰۰	۳۰۰،۰۰۰	۱،۰۰۰	۵،۵۰۰	۱،۰۰۰	۱۵۰،۰۰۰
	۲	۱،۰۵۰،۰۰۰	۳۰۰،۰۰۰	۱،۰۰۰	۵،۵۰۰	۱،۱۰۰	۱۵۰،۰۰۰
	۳	۱،۱۰۰،۰۰۰	۳۵۰،۰۰۰	۱،۰۰۰	۵،۵۰۰	۱،۲۰۰	۱۵۰،۰۰۰
	۴	۱،۱۵۰،۰۰۰	۳۵۰،۰۰۰	۱،۰۰۰	۵،۵۰۰	۱،۴۰۰	۱۵۰،۰۰۰
	۵	۱،۲۰۰،۰۰۰	۴۰۰،۰۰۰	۱،۰۰۰	۵،۵۰۰	۱،۵۰۰	۱۵۰،۰۰۰
۲	۱	۱،۰۰۰،۰۰۰	۴۰۰،۰۰۰	۱،۰۰۰	۵،۵۰۰	۲،۰۰۰	۱۵۰،۰۰۰
	۲	۱،۰۵۰،۰۰۰	۴۰۰،۰۰۰	۱،۰۰۰	۵،۵۰۰	۲،۰۰۰	۱۵۰،۰۰۰
	۳	۱،۱۰۰،۰۰۰	۴۵۰،۰۰۰	۱،۰۰۰	۵،۵۰۰	۲،۰۰۰	۱۵۰،۰۰۰
	۴	۱،۱۵۰،۰۰۰	۴۵۰،۰۰۰	۱،۰۰۰	۵،۵۰۰	۲،۰۰۰	۱۵۰،۰۰۰
	۵	۱،۲۰۰،۰۰۰	۵۰۰،۰۰۰	۱،۰۰۰	۵،۵۰۰	۲،۰۰۰	۱۵۰،۰۰۰
۳	۱	۱،۰۰۰،۰۰۰	۳۰۰،۰۰۰	۱،۰۰۰	۵،۵۰۰	۳،۰۰۰	۱۵۰،۰۰۰
	۲	۱،۰۵۰،۰۰۰	۳۰۰،۰۰۰	۱،۰۰۰	۵،۵۰۰	۳،۱۰۰	۱۵۰،۰۰۰
	۳	۱،۱۰۰،۰۰۰	۳۵۰،۰۰۰	۱،۰۰۰	۵،۵۰۰	۳،۲۰۰	۱۵۰،۰۰۰
	۴	۱،۱۵۰،۰۰۰	۳۵۰،۰۰۰	۰۰۰،۱	۵،۵۰۰	۳،۳۰۰	۱۵۰،۰۰۰
	۵	۱،۲۰۰،۰۰۰	۴۰۰،۰۰۰	۱،۰۰۰	۵،۵۰۰	۳،۴۰۰	۱۵۰،۰۰۰

جدول ۳. هزینه‌ها و ظرفیت انبارها

انبار	سال	هزینهٔ عملیاتی ثابت	حداقل مقدار انبار	ظرفیت انبار	ظرفیت انتقال
۱	۲-۱	۱۰۰،۰۰۰	۰	۴،۰۰۰	۱۵۰،۰۰۰
	۵-۴-۳	۱۵۰،۰۰۰	۰	۴،۰۰۰	۱۵۰،۰۰۰
۲	۲-۱	۲۰۰،۰۰۰	۰	۵،۰۰۰	۱۵۰،۰۰۰
	۵-۴-۳	۲۵۰،۰۰۰	۰	۵،۰۰۰	۱۵۰،۰۰۰
۳	۲-۱	۲۰۰،۰۰۰	۰	۶،۰۰۰	۱۵۰،۰۰۰
	۵-۴-۳	۲۵۰،۰۰۰	۰	۶،۰۰۰	۱۵۰،۰۰۰
۴	۲-۱	۲۰۰،۰۰۰	۰	۴،۵۰۰	۱۵۰،۰۰۰
	۵-۴-۳	۲۵۰،۰۰۰	۰	۴،۵۰۰	۱۵۰،۰۰۰

جدول ۴. دامنهٔ هزینه‌ها

هزینه‌ها	دامنهٔ هزینه‌ها برای هر واحد
هزینهٔ مواد اولیهٔ حیاتی	۹-۵/۶ ریال
هزینهٔ مواد اولیهٔ غیر حیاتی	۶-۴ ریال
انتقال مواد اولیهٔ حیاتی	۱/۹-۰/۹ ریال
انتقال مواد اولیهٔ غیر حیاتی	۱/۲-۰/۴ ریال
انتقال محصول نهایی	۶/۴-۲/۳ ریال
نگهداری مواد اولیه	۰/۶-۰/۲ ریال/ دوره
نگهداری محصول نهایی	۱/۱-۰/۷ ریال/ دوره
تولید	۹-۴/۵ ریال

Archive of SID

www.SID.ir

داده‌های متناظر با تقاضا دارای مقدار تصادفی‌اند، این داده‌ها در جدول ۵ ارائه می‌شود.

جدول ۵. مقدار تقاضای بازار طبق سناریوهای مختلف

بازار	سناریو	سال ۱	۲	۳	۴	۵
۱	قوی	۴،۲۰۰	۴،۴۰۰	۵،۲۰۰	۵،۵۰۰	۶،۲۰۰
	خوب	۴،۰۰۰	۴،۲۰۰	۵،۰۰۰	۵،۳۰۰	۶،۰۰۰
	متوسط	۳،۶۰۰	۳،۸۰۰	۴،۶۰۰	۴،۹۰۰	۵،۶۰۰
	ضعیف	۲،۷۰۰	۳،۳۰۰	۳،۷۰۰	۴،۰۰۰	۴،۷۰۰
۲	قوی	۳،۸۰۰	۳،۹۰۰	۴،۰۰۰	۴،۱۰۰	۴،۲۰۰
	خوب	۳،۵۰۰	۳،۶۰۰	۳،۷۰۰	۳،۸۰۰	۳،۹۰۰
	متوسط	۳،۲۰۰	۳،۳۰۰	۳،۴۰۰	۳،۵۰۰	۳،۶۰۰
	ضعیف	۲،۴۰۰	۲،۵۰۰	۲،۶۰۰	۲،۷۰۰	۲،۸۰۰
۳	قوی	۲،۴۰۰	۲،۴۰۰	۲،۷۰۰	۲،۸۰۰	۹۰۰،۲
	خوب	۲،۰۰۰	۲،۰۰۰	۲،۳۰۰	۲،۴۰۰	۵۰۰،۲
	متوسط	۱،۷۰۰	۱،۷۰۰	۲،۰۰۰	۲،۱۰۰	۲۰۰،۲
	ضعیف	۸۰۰	۸۰۰	۱،۱۰۰	۱،۲۰۰	۳۰۰،۱
۴	قوی	۳،۳۰۰	۳،۴۰۰	۳،۵۰۰	۳،۶۰۰	۳،۷۰۰
	خوب	۳،۰۰۰	۳،۱۰۰	۳،۲۰۰	۳،۳۰۰	۳،۴۰۰
	متوسط	۷۰۰،۲	۲،۸۰۰	۲،۹۰۰	۳،۰۰۰	۳،۱۰۰
	ضعیف	۱،۸۰۰	۱،۹۰۰	۲،۰۰۰	۲،۱۰۰	۲،۲۰۰
۵	قوی	۲،۹۰۰	۲،۹۰۰	۲،۹۰۰	۲،۹۰۰	۲،۹۰۰
	خوب	۲،۵۰۰	۲،۵۰۰	۲،۵۰۰	۲،۵۰۰	۲،۵۰۰
	متوسط	۲،۳۰۰	۲،۳۰۰	۲،۳۰۰	۲،۳۰۰	۲،۳۰۰
	ضعیف	۱،۴۰۰	۱،۴۰۰	۱،۴۰۰	۱،۴۰۰	۱،۴۰۰

در جدول ۵، احتمال رخدادن هریک از سناریوهای قوی، خوب، متوسط و ضعیف به‌ترتیب ۰/۲۵، ۰/۳۵، ۰/۲۵ و ۰/۱۵ است. همچنین، به‌طور اختیاری به $\lambda = ۱$ و $\omega = ۲۵۰$ اختصاص داده می‌شود.

با داده‌های بالا و مدل‌سازی زیرمدل راهبردی تصادفی، ۷۸۳ محدودیت و ۹۷۳ محدودیت با ۷۰ متغیر عدد صحیح صفر و یک ایجاد می‌شود. با حل این مدل از طریق نرم‌افزار LINDO، مقدار سود کل مورد انتظار ۳،۳۸۵،۱۷۰ ریال و تقاضای برآورده‌نشدهٔ مورد انتظار ۱۲،۴۹۸ واحد است. سایر متغیرهای این مدل پس از حل مطابق جدول‌های زیر است.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۶. سایر متغیرهای به‌دست‌آمده از حل زیرمدل راهبردی تصادفی

انتخاب تأمین‌کنندگان مواد اولیهٔ حیاتی										
تأمین‌کننده	سال					سال				
	مادهٔ اولیهٔ حیاتی ۱					مادهٔ اولیهٔ حیاتی ۲				
	۱	۲	۳	۴	۵	۱	۲	۳	۴	۵
۱	No	Yes	No	No	No	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
۲	Yes	Yes	Yes	No	Yes	Yes	Yes	Yes	No	Yes

برنامهٔ عملیاتی انبارها					
سال	۱	۲	۳	۴	۵
انبار ۱	Yes	No	No	Yes	Yes
انبار ۲	Yes	No	No		Yes
انبار ۳	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
انبار ۴	Yes	No	No	No	No

مقدار تولید بهینهٔ کارخانه‌ها					
سال	۱	۲	۳	۴	۵
کارخانه ۱	۴،۹۵۰	۴،۹۵۰	۴،۹۵۰	۴،۹۵۰	۴،۹۵۰
کارخانه ۲	۵،۴۰۰	۵،۴۰۰	۵،۴۰۰	۵،۴۰۰	۵،۴۰۰
کارخانه ۳	۳،۶۰۰	۳،۶۰۰	۲،۲۰۰	۳،۶۰۰	۳،۶۰۰

مقادیر کمبود تقاضا						
بازار	سناریو	سال				
		۱	۲	۳	۴	۵
۱	قوی-خوب-متوسط-ضعیف	۰	۰	۰	۰	۰
۲	قوی	۵۰۰،۱	۸۰۰،۱	۴،۰۰۰	۲۰۰،۳	۹۹۰،۲
	خوب	۰	۹۰۰	۳،۴۰۰	۱،۹۰۰	۱،۲۳۰
	متوسط	۰	۱۰۰	۲،۱۰۰	۴۰۰	۰
	ضعیف	۰	۰	۰	۰	۰
۳	قوی	۰	۲،۴۰۰	۶۰۰	۳۰۰	۰
	خوب	۰	۲،۰۰۰	۰	۰	۰
	متوسط-ضعیف	۰	۰	۰	۰	۰
۴	قوی-خوب-متوسط-ضعیف	۰	۰	۰	۰	۰
۵	قوی	۰	۲،۹۰۰	۲،۹۰۰	۰	۰
	خوب	۰	۲،۵۰۰	۲،۵۰۰	۰	۰
	متوسط	۰	۲،۳۰۰	۲،۳۰۰	۰	۰
	ضعیف	۰	۰	۰	۰	۰

اعتبارسنجی مدل

در این تحقیق، برای اعتبارسنجی مدل از بیشتر راه‌های موجود برای اعتبارسنجی مدل ریاضی استفاده شد. نخست مدل‌های ریاضی معتبر در حوزهٔ یکپارچه‌سازی زنجیرهٔ تأمین مبنای طراحی مدل قرار گرفت که توسط محققان برتر ارائه شد. سپس از نظر خبرگان مدل‌سازی در زمینهٔ مدل

Archive of SID

www.SID.ir

مورد مطالعه استفاده شد و درنهایت این مدل در مطالعه‌ای موردی استفاده شد که نشان می‌داد با حل این مدل و مقایسهٔ آن با وضع فعلی، میانگین بهبود ۷/۲ درصدی حاصل شد.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در بازار نامطمئن امروزی، شرکت‌ها طراحی و بهره‌برداری کارای زنجیرهٔ تأمین برای تولید و توزیع محصولات خود را به‌عنوان عامل کلیدی موفقیت درنظر می‌گیرند. درحالی‌که بسیاری از شرکت‌ها به‌دنبال گسترش و توسعهٔ محصول خود هستند، می‌توانند از طریق اثربخشی و کارایی زنجیرهٔ تأمین به‌عنوان مزیتی رقابتی– تجاری برای موفقیت و تداوم بلندمدت استفاده کنند. از این‌رو، مدیریت زنجیرهٔ تأمین به‌دنبال بهبود فرایندهایی است که سبب افزایش سود کل شرکت می‌شود. تحقیقات زیادی حول بی‌اطمینانی در زنجیرهٔ تأمین صورت گرفت. با توجه به گستردگی موضوع، این تحقیق به بررسی زنجیرهٔ تأمین چندکانالهٔ تک‌محصولهٔ چندهدفهٔ تصادفی پرداخته است که به‌دنبال طراحی زیرساخت‌های زنجیرهٔ تأمین است. طراحی مدل راهبردی زنجیرهٔ تأمین درحقیقت طراحی زیرساخت‌های زنجیرهٔ تأمین در بلندمدت است که به‌دنبال چهار تصمیم اصلی است که عبارتند از: انتخاب تأمین‌کنندگان مواد اولیهٔ حیاتی، تصمیم ساخت کارخانه، برنامه‌ریزی عملیاتی کارخانه‌ها و انبارها و ظرفیت تولید مورد نیاز. برای مدل‌سازی پیکرهٔ زنجیرهٔ تأمین از برنامه‌ریزی خطی مختلط آرمانی چندهدفه چنددوره‌ای استفاده می‌شود که به‌دنبال سود کل زنجیرهٔ تأمین است. افق زمان‌بندی برای این مدل پنج‌ساله است.

در این مدل که تقاضا به‌عنوان پارامتر تصادفی مد نظر است، از طریق سناریوهای اقتصادی گسسته پیش‌بینی می‌شود هریک از این سناریوها دارای احتمال باشند. مدل راهبردی تصادفی دارای سه هدف حداکثرکردن سود مورد انتظار، حداقل‌کردن تغییرپذیری سود و حداقل‌کردن تقاضای برآورده‌نشده است. برای حل مدل طراحی‌شده از بهینه‌سازی استوار استفاده شد.

در پایان، پیشنهادهایی اجرایی برای تحقیقات و مطالعات آتی ارائه می‌شود:

در این تحقیق، فقط سه هدف در زمینهٔ سود، تغییرپذیری آن و تقاضای برآورده‌نشده است. این در حالی است که اهداف متعدد دیگری را می‌توان برای زنجیرهٔ تأمین درنظر گرفت. همچنین، تنها تقاضا به‌عنوان پارامتر تصادفی درنظر گرفته شد، اما بسیاری از عوامل دیگر از جمله هزینه، میزان عرضه، دسترس‌پذیری مواد اولیه، زمان انتقال و... می‌توانند تصادفی باشند. در این مدل، برنامه‌ریزی فقط برای یک محصول صورت گرفت که می‌توان آن را به مدل چندمحصوله ارتقا داد. می‌توان پیکره‌بندی زنجیرهٔ تأمین را در سه سطح راهبردی، تاکتیکی و عملیاتی انجام داد که در این تحقیق فقط به سطح راهبردی آن پرداخته شد.

Archive of SID

www.SID.ir

شرکت‌های تولیدی می‌توانند قبل از ایجاد کارخانه و انبارها با استفاده از چنین مدل‌هایی پیش‌بینی صحیحی از تمام پارامترهای کمّی زنجیرهٔ تأمین داشته باشند و حتی با تحلیل اقتصادی این مدل‌ها اجرای پروژه‌ها را امکان‌سنجی کنند. همچنین، هریک از مدل‌های ارائه‌شده در این مطالعه قابلیت به‌کارگیری برای طیف وسیعی از محصولات و شرایط گوناگون را دارند. تولیدکنندگان براساس نوع محصولات تولیدی و نیز نیازهای بازار می‌توانند مدل‌های مناسب را برگزینند. درنهایت، از آنجاکه در زنجیرهٔ تأمین شرکت‌های تولیدی ایران مهم‌ترین پارامتر که غیر قطعی و تصادفی است استفاده از مدل‌های احتمالی در پیش‌بینی سود و زیان با سطح اطمینان مشخص است، آیندهٔ شفافی برای آن‌ها تصور می‌شود.

References

Agrawal, V. and & S. Seshadri, S. (2000). Risk intermediation in supply chains. *IIE Transactions*, 32, :819-831.

Alonso-Ayuso, A., et al. (2003). An approach for strategic supply chain planning under uncertainty based on stochastic 0-1 programming. *Journal of Global Optimization*, 26: 97-124.

Amid, S. H. & Ghodsypour, C. (2006). O'Brien, Fuzzy multi objective linear model for supplier selection in a supply chain. *International Journal of Production Economics*, 104: 394 – 407.

Applequist, G. E., Pekny, J. F., & Reklaitis, G. V. (2000). Risk and uncertainty in managing chemical manufacturing supply chains. *Comput. Chem. Eng*, 24: 2211–2222.

Azaron, A., Brown, K. N., Tarim, S. A. & M. Modarres. (2008). A multi-objective stochastic programming approach for supply chain design considering risk. *International Journal of Production Economics*, 116: 129-138.

Bai, D., Carpenter, T. & Mulvey, J. (1997). Making a case for robust optimization models. *Management Science*, 43(7): 895-907.

Beamon, B. M. (1998). Supply chain design and analysis: models and methods. *International Journal of Production Economics*, 55: 281-294.

Ben-Tal, A. & Nemirovski, A. (2002). Robust optimization methodology and applications. *Mathematical Programming Series B*, 92: 453-480.

Chan, F. T. S. & Chan, H. K. (2005). Simulation modeling for comparative evaluation of supply chain management strategies. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 25: 998-1006.

Archive of SID

www.SID.ir

Chang, Y. & Harris, M. (2001). Supply chain modeling using simulation. *International Journal of Simulation: Systems, Science & Technology*, 2(1), 24–30.

Chopra, S., Reinhardt, G. & Mohan, U. (2007). The importance of decoupling recurrent and disruptions risks in a supply chain. *Naval Research Logistics*, 54(5): 544-555.

Deleris, L. A. & Erhun, F. (2005). Risk management in supply networks using Monte-Carlo simulation. *Proceeding of the 2005 Winter Simulation Conference*, 1643-1649.

Deshpande, P., Shukla, D., Tiwari, M. (2011). Fuzzy goal programming for inventory management: a bacterial foraging approach. *European Journal of Operational Research*, 212: 325–336.

E. Aghezzaf. (2005). Capacity planning and warehouse location in supply chains with uncertain demands, J. Oper. Res. Soc. 56: 453–462.

Eppen, G. D., Martin, R. K. & Schrage, L. (1989). A Scenario approach to capacity planning. *Operations Research*, 37(4): 527-527.

Greenberg, H. J. & Morrison, T. (2008). Robust optimization. In A. R. Ravindran (Ed.), *Operations Research and Management Science Handbook*, CRC Press. Boca Raton, FL.

Guillén, G., et al. (2005). Multiobjective supply chain design under uncertainty, *Chemical Engineering Science*, 60: 1535-1553.

Gunasekaran, A., Patel, C. & McGaughey, R. E. (2004). A framework for supply chain performance measurement. *International Journal of Production Economics*, 87(3): 333– 347.

Gupta, A. & Maranas, C. D. (2003). Managing demand uncertainty in supply chain planning. *Computers and Chemical Engineering*, 27: 1219-1227.

Hax, A. C. (1974). A comment on the distribution system simulator. *Management Science*, 21(2): 233-236.

Huang, G. Q., Lau, J. S. K. & Mak, K. L. (2003). The impacts of sharing production information on supply chain dynamics: a review of the literature. *International Journal of Production Research*, 41(7): 1483–1517.

Kahraman, C., Cebeci, U., & Ruan, D. (2004). Multi-attribute comparison of catering service companies using fuzzy AHP: the case of Turkey. *International Journal of Production Economics*, 87: 171-184.

Archive of SID

www.SID.ir

Karimi Dastjerd. D., Akbari Jokar, M. & Feizabadi, J. (2009). Developing a Configuration for Classifying Supply Chains Based on RBV in Automotive Industry. *Journal of industrial management*, (1)2: 121-138. (In Persian)

Leung, S. C. H. & Wu, Y. (2004). A robust optimization model for stochastic aggregate production planning. *Production Planning and Control*, 15(5): 502-514.

Leung, S. C. H., Wu, Y., & Lai, K. K. (2006). A stochastic programming approach for multi-site aggregate production planning. *Journal of the Operational Research Society*, 57: 123-132.

Melachrinoudis, E. (1999). Bicriteria location of a semi-obnoxious facility. *Computers & Industrial Engineering*, 37: 581-593.

Mele, F. D., Guillén, G. Espuña, A. & Puigjaner, L. (2007). Anagent-based approach for supply chain retrofitting under uncertainty. *Computer and Chemical Engineering*, 31: 722-735.

Min, H. & Melachrinoudis, E. (1999). The relocation of a hybrid manufacturing/ distribution facility from supply chain perspectives: a case study. *Omega*, 27: 75-85.

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

Peidro, D., Mula, J., Poler, R. l., Lario, F. C. (2009). Quantitative models for supply chain planning under uncertainty: a review. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 43(3/4): 400–420.

Ruiz-Femenia, R., Guille´n-Gosa´lbez, G., Jime´nez, L. & Caballero, J. A. (2013). Multi objective optimization of environ mentally conscious chemical supply chains under demand uncertainty. *Chemical Engineering Science*, 95: 1 –11

Sadeghi Moghadam, M. R., Soroush, M., Momeni, Nalchigar, (2009). integrated planning, and schedule production and distribution supply chain with employing genetic algorithm. *Journal of industrial management*. 2(1): 88-71. (In Persian)

Santoso, T., Ahmed, S., Goetschalckx, M. & A. Shapiro (2005). A stochastic programming approach for supply chain network design under uncertainty. *European Journal of Operational Research*, 167: 96-115.

Sarmad, Z., Bazaegan, A. & Hejazi, E. (2004), *Research Methodologies in Behavioral Sciences*, Agah Publications. Tehran. (In Persian)

Archive of SID

www.SID.ir

Shapiro. (2000). *Modeling supply chain*, Duxbury Press.

Shapiro, A . (2006). Worst-case distribution a nalysis of stochastic programs. *Math. Program*, Ser. B 107: 91–96.

Sodhi, M. (2003). How to do strategic supply chain planning. *Sloan Management Review*, 45(1): 69–75.

Surana, A., Kumara, S., Greaves, M. & Raghavan, N. (2005). Supply chain networks: a complex adaptive system perspective. *International Journal of Production Research*, 43(20): 4235–4265.

Tomlin, B. (2006). On the value of mitigation and contingency strategies for managing supply chain disruption risks. *Management Science*, 52(5): 639-657.

Tsiakis, P., Shah, N., & Pantelides, C. C. (2001). Design of multi-echelon supply chain networks under demand uncertainty. *Industrial & Engineering Chemical Research*, 40: 3585-3604.

Wu, Y. (2006). Robust optimization applied to uncertain production loading problems with import quota limits under the global supply chain management environment. *International Journal of Production Research*, 44(5): 849-882.

Xu, J., Huang, X. & Yan, N. (2007). A multi-objective robust operation model for electronic market enabled supply chain with uncertain demands. *Journal of Systems Science and Systems Engineering*, 16(1): 74-87.

Xie, Y., Petrovic, D. & Burnham, K. (2006). A heuristic procedure f or the two-level control of serial supply chains under fuzzy customer demand. *International Journal of Production Economics*, 102: 37 – 50.

Yu, C. S. & Li, H. L. (2000). A robust optimization model for stochastic logistic problems. *International Journal of Production Economics*, 64: 385-397.

Archive of SID

www.SID.ir