طراحی مدل یکپارچه بهینه سازی استوار برای زنجیره تأمین با حلقه بسته و انتخاب تامین‌کننده و پیمانکار

عادل آذر[1]، مریم کولیائی[2]، علی رجب زاده قطری[3]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۶/۱۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۱/۲۹

چکیده: در توسعه مدل‌های ریاضی و بهینه سازی برای طراحی زنجیره تأمین با حلقه بسته، عدم قطعیت نهفته در طراحی شبکه، قابلیت ابزارهای بهبود را به چالش می‌کشد. هدف این پژوهش، ارائه مدل ریاضی استوار برای طراحی شبکه زنجیره تأمین با حلقه بسته تحت عدم قطعیت در تقاضای مشتریان است به طوری که تصمیمات را در شبکه‌های مستقیم و معکوس یکپارچه کند. بدین منظور یک رویکرد دو مرحله ای پیشنهاد می‌شود. در مرحله اول، از یک روش فازی برای ارزیابی تامین‌کننده‌ها بر مبنای معیارهای کیفی استفاده می‌شود. خروجی این مرحله ارزش هر یک از تامین‌کننده‌ها بر حسب قطعه است که به‌عنوان پارامتر ورودی مرحله بعد مدل استفاده می‌شود. در مرحله دوم، یک مدل ریاضی برنامه ریزی خطی چند هدفه عدد صحیح مختلط پیشنهاد می‌شود به طوری که تعداد بهینه قطعات و محصولات را در شبکه تعیین کند. نتایج نشان می‌دهد که مدل پس از در نظر گرفتن هزینه هایی که استوارسازی بر سیستم تحمیل می‌کند، قادر به کنترل عدم قطعیت شبکه است.

واژه‌های کلیدی: انتخاب تامین‌کننده و پیمانکار، بهینه سازی استوار، رویکرد فازی، زنجیره تأمین با حلقه بسته(CLSC)، مدل‌سازی.

---

۱. استاد مدیریت صنعتی، دانشگاه تربیت مدرس؛ Email: azara@modares.ac.ir

۲. دانشجوی دکتری مدیریت صنعتی، دانشگاه تربیت مدرس؛ Email:maryamkolyaie@gmail.com

۳. استادیار مدیریت صنعتی، دانشگاه تربیت مدرس؛ Email: alirajabzadeh@gmail.com

۱. مقدمه

امروزه، سازمان‌ها برای بقا در محیط رقابتی باید قادر باشند بازار و انتظارهای روبه رشد مشتریان را مدیریت کنند. ازجمله حوزه‌های پژوهشی مهم که توجه مدیران و جوامع علمی را به خود جلب کرده است، مدیریت زنجیره تأمین است. زنجیره‌های تأمین سنتی که فقط زنجیره مستقیم را شامل می‌شوند، به دلیل عدم توجه به عملیات بازیافت محصولات استفاده‌شده، در مواجهه با ملاحظات رو به رشد محیطی و کاهش استفاده از مواد خام به‌تنهایی کارا نمی‌باشند(ازسیلان، پاکسوی، بکتاس، ۲۰۱۴). درواقع اتخاذ یک استراتژی بازیافت محصول، هم چون استفاده مجدد، بازیافت، بازسازی یا دمونتاژ و درنهایت طراحی شبکه لجستیک مرتبط با این اهداف، ۲ شکل عمده به خود می‌گیرد: شبکه‌های زنجیره تأمین مستقیم و معکوس (ایسواران و استر، ۲۰۱۰)، به‌عبارت‌دیگر از تلفیق زنجیره تأمین مستقیم و زنجیره تأمین معکوس، زنجیره تأمین با حلقه بسته ایجاد می‌شود. (ونگ و سو، ۲۰۱۰).

در زنجیره تأمین با حلقه بسته، کالای جدید موردنیاز است تا با کالایی که سیستم قادر به بازیافت آن نیست، جایگزین شود(امین و رزمی، ۲۰۰۹). در این خصوص یک فرایند مناسب برای انتخاب تأمین‌کننده در موفقیت هر سازمان تولیدی، نقش مهمی را ایفا می‌کند و موجب کاهش هزینه موجودی کالا و بهبود کیفیت کالا و سطح خدمت ارائه‌شده می‌شود (کرمانی, حکیمی و احمدی, ۱۳۸۸). پژوهش‌ها نشان می‌دهند که انتخاب تأمین‌کننده یک مسئله تصمیم‌گیری چند معیاره است که شامل عوامل کیفی و کمی می‌شود. از طرف دیگر، به دلیل محدود بودن ظرفیت تسهیلات بازسازی و یا با مورد توجه قرار دادن برخی ملاحظات قیمتی، سازمان‌ها ناگزیرند از پیمانکاران خارجی جهت فعالیت‌های بازسازی استفاده کنند. پژوهش‌ها نشان داده‌اند که درجه موفقیت هر سیستم به‌طور معناداری به عملکرد پیمانکاران بستگی دارد و هرگونه عملکرد ضعیف و یا نقص در کار آن‌ها، مستلزم صرف هزینه و زمان زیادی است(چنگ، سای، سودجونو؛۲۰۱۱). به‌عبارت‌دیگر انتخاب تأمین‌کننده و پیمانکار، می‌بایست در نظر گرفته شود.

همان‌طور که گفته شد، با توجه به طبیعت پیچیده زنجیره‌های تأمین، آن‌ها معمولاً با حد بالایی از عدم قطعیت و ابهام مواجه هستند که می‌تواند کیفیت عملکرد آن‌ها را به‌طور نامطلوبی تحت

تأثیر قرار دهد و توانایی زنجیره را در پیش‌بینی شرایط آینده با مشکل مواجه می‌کند(هنفی زاده و شرکت، ۲۰۰۹). عدم قطعیت در طراحی زنجیره‌های تأمین که ناشی از افق بلندمدت تصمیم‌گیری است، به دودسته قابل‌تقسیم است. دسته اول، عدم قطعیت روزمره مربوط به پارامترها است که خود به دودسته سیستمی و محیطی قابل‌تقسیم بندی است. دسته دوم نیز مربوط به حوادث غیرمترقبه‌ای است که می‌تواند زنجیره‌های تأمین را با ضرر بزرگی مواجه کند(کلیبی، مارتل و گویتونی، ۲۰۱۰) و سبب از بین رفتن تسهیلات، افزایش هزینه حمل‌ونقل و از دست رفتن سهم بازار گردند. ازاین‌رو، توجه به مسئله اختلالات در طراحی شبکه‌ها، نه‌تنها می‌تواند سبب اتخاذ تصمیمات قابل‌اطمینان‌تری گردد، بلکه از ضررهای احتمالی نیز جلوگیری خواهد شد(کلارک و تاکاشی، ۲۰۱۱؛ پدرو، ملا، پولر و لاریو، ۲۰۰۹).

پدرو، ملا، پولر و لاریو(۲۰۰۹)، سه بعد عدم قطعیت در مدیریت زنجیره تأمین را شناسایی کردند از جمله: منبع عدم قطعیت (تقاضا، تأمین، فرایند)، نوع مسئله (استراتژیک، تاکتیکی، کاربردی) و رویکرد مدل‌سازی (رویکردهای تحلیلی، بر مبنای هوش مصنوعی، شبیه‌سازی، ترکیبی)

در این پژوهش سعی براین است که یک مدل زنجیره تأمین چند دوره‌ای حلقه بسته تحت عدم قطعیت طراحی شود که شامل بخش‌های جمع‌آوری، دمونتاژ و بازسازی است، همچنین مدل‌سازی همه سطوح تصمیم‌گیری(استراتژیک، تاکتیکی، کاربردی) را شامل می‌شود، بنابراین بررسی یک مدل یکپارچه شامل دو مرحله ضرورت دارد: به‌طوری‌که در مرحله اول، چارچوبی برای انتخاب تأمین‌کننده و پیمانکار استفاده می‌شود که از روش فازی برای غلبه بر عدم قطعیت در ارزیابی و انتخاب تأمین‌کنندگان و پیمانکاران بر اساس ماهیت چند معیاره بودن تصمیم‌گیری در آن‌ها استفاده می‌شود. در مرحله دوم، مدل زنجیره تأمین با حلقه بسته طراحی می‌شود که به صورت مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط چندهدفه و چنددوره‌ای است به‌طوری‌که تابع هدف اول سود را حداکثر می‌کند، تابع هدف دوم هزینه‌ها را حداقل می‌کند، تابع هدف سوم ارزش(وزن) هر یک از تأمین‌کننده‌ها و پیمانکاران را حداکثر می‌کند، تابع هدف چهارم هزینه‌های ناشی از نگهداری موجودی سطح اطمینان را حداقل و تابع هدف پنجم، هزینه‌های انجام کار توسط پیمانکار یا توسط خود سیستم را در یک تابع هدف یکپارچه، حداقل کرده و تخصیص بهینه کالا بین هریک

از پیمانکاران و یا انجام کار توسط سیستم را اعمال می کند.

ادامه مقاله به شیوه زیر سازماندهی شده‌است. در ابتدا مبانی نظری و پیشینه تحقیق ارائه شده‌است. در بخش‌های ۳ و ۴ مدل تحقیق و روش برآورد و داده‌ها و نتایج تجربی بیان شده‌است. در بخش۵ نیز نتیجه گیری و پیشنهادها ارائه شده‌است.

۲. مبانی نظری

مطابق با جدیدترین تعریف، مدیریت زنجیره تأمین با حلقه بسته به طراحی، کنترل و عملیات یک سیستم به‌منظور حداکثرسازی ارزش در کل دوره حیات محصول از طریق بازیافت پویای ارزش انواع و حجم‌های مختلف بازگشت‌ها در طول زمان، اطلاق می‌شود (گویندان، سلیمانی، کنان، ۲۰۱۵).زنجیره تأمین، در شکل سنتی(زنجیره تأمین مستقیم)، ترکیبی از فرایندها برای ارضاء نیاز مشتریان است و همه موجودیت‌های ممکن مثل تأمین کنندگان، تولیدکنندگان، سیستم‌های حمل‌ونقل، عمده‌فروش، خرده‌فروش و مشتریان را شامل می‌شود، به دیگر سخن، جریان محصول با تأمین کننده و کارخانه آغاز می‌شود، سپس توزیع کنندگان کالای نهایی را به مشتریان به‌منظور تأمین تقاضا تحویل می‌دهند. در زنجیره معکوس، جریان محصولات استفاده‌شده به‌گونه‌ای است که از مشتریان به مکان‌های جمع‌آوری یا دمونتاژ فرستاده می‌شود تا در آنجا دسته‌بندی و دمونتاژ لازم برای بازیابی، استفاده مجدد و منهدم سازی انجام بگیرد(ونگ و سو، ۲۰۱۰؛ ازسیلان و پاکسوی، ۲۰۱۳-الف)

۳. پیشینه تحقیق

۳. ۱. انتخاب تامین کننده

قسمت ادبیات مرتبط با آن از دو منظر "معیارها" و "روش‌ها" ی انتخاب تامین کننده مورد بررسی قرار می گیرد.

در سال‌های اخیر، محیط کسب‌وکار بیش از قبل پیچیده و پویا شده‌است، وجود این شرایط موجب شده‌است که سازمان‌ها قابلیت‌های انعطاف‌پذیری و توان پاسخگویی خود را توسعه دهند تا بتوانند توان رقابتی‌شان را حفظ کنند(کارامان و کایا، ۲۰۱۰؛ هادی زاده، مهدوی، مهدوی امیری، ۲۰۱۶). درنتیجه، معیارهای انتخاب عرضه‌کننده کالا مربوط به انعطاف‌پذیری و توان پاسخگویی را لحاظ کنند، به‌عنوان‌مثال می‌توان به انعطاف‌پذیری در

حجم، انعطاف‌پذیری در ترکیب محصول و پاسخگویی به نیازهای مشتری، اشاره کرد(وو و بارنز، ۲۰۱۰). در حال حاضر به نظر می‌رسد توافقنامه منتشرشده‌ای وجود دارد که معیارهای اصلی انتخاب عرضه‌کننده کالا باید متناظر با اولویت‌های رقابتی هزینه، کیفیت، تحویل، انعطاف‌پذیری و پاسخگویی باشد(اکسوی و ازترک، ۲۰۱۱). علاوه براین، سرکیس و گوناسکاران، تالوری (۲۰۰۷)، استدلال می‌کنند که معیارهای انتخاب تأمین‌کننده در محیط‌های پویا با توجه به محیط‌های دائماً در حال تغییر نیاز به تغییر در طول زمان‌دارند. طبقه‌بندی معیارها نیز مهم است، چراکه تامین‌کنندگان تقریباً همیشه با توجه به زیرمعیارهای مختلف، متفاوت عمل می‌کنند، چنین طبقه‌بندی موجب افزایش بینش در ارتباط با عملکرد عرضه‌کننده کالا می‌شود و در مدیریت مؤثر تامین‌کنندگان کمک‌کننده هستند(رضایی و ارت، ۲۰۱۲). علاوه بر این، ایجاد دسته‌بندی برای معیارها باعث افزایش انعطاف‌پذیری می‌شود که در آن امکان ایجاد زیرمعیارها و رد زیرمعیارهای منسوخ، با توجه به تغییر محیط کسب‌وکار وجود دارد و در آن نیاز قابل‌ملاحظه‌ای به تغییر سلسله مراتب ساختار اصلی وجود ندارد(سن، باراکلی، سن و باسلیگیل، ۲۰۰۹؛ سن، باسلیگیل، سن و باراکلی، ۲۰۰۸).

برای انتخاب تأمین‌کننده بر مبنای معیارهای کمی و کیفی، روش‌های زیادی پیشنهاد شده‌است مانند تحلیل پوششی داده (DEA)(هادی ونچه و نیازی مطلق، ۲۰۱۱)، فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)(پریک، بابیک و وزا، ۲۰۱۳؛ هادیماکوا، بنکوا، پسکوا اسکوارنک، ۲۰۱۰)، فرایند تحلیل سلسله مراتبی فازی(FAHP) ایسوی، هواری، هسینی، ۲۰۰۷؛ گلد و اواشتی، ۲۰۱۵)، فرایند تحلیل شبکه (ANP)(جنسر، گوپینار، ۲۰۰۷)، تکنیک اولویت ترجیحات با نزدیکی به راه‌حل ایده‌آل(TOPSIS)، (لیاو، ۲۰۱۵؛ وود، ۲۱۰۶)، فرایند تحلیل شبکه فازی Fuzzy ANP(ویندو، رامیا و گاتام، ۲۰۱۱) و ....

همچنین حسن زاده و ژانگ(۲۰۱۲) یک روش جدید بر مبنای اعداد زبانی و مثلثی فازی برای ارزیابی تأمین‌کنندگان پیشنهاد دادند که برای ارزیابی تأمین‌کنندگان در حالت تکثر قطعات و معیارها، نسبت به سایر روش‌ها مزایی از قبیل کاهش زمان و محاسبات و در نهایت افزایش کارایی را داشت که در این پژوهش به دلیل زیاد بودن معیارها و قطعات مورد استفاده قرار گرفته است.

۲.۳. مدل‌سازی ریاضی

در اکثر تحقیقات، محققان از تکنیک‌های کمی جهت تصمیم‌گیری استفاده می‌کنند. دلیل این امر می‌تواند وجود عوامل مختلف همچون پیچیدگی شرایط حاکم بر زنجیره، چندبعدی بودن مسائل، تنوع متغیرهای تصمیم‌گیری باشد. حجم بسیار زیاد این متغیرها، نیاز به کنترل خروجی‌ها و تحلیل حساسیت نتایج حاصل توسط تصمیم‌گیرندگان دارد(میرغفوری ۱۳۸۲).

آذر و موسوی در سال۱۳۹۳، مدلی با رویکرد استوار و یک مدل یکپارچه سه مرحله برای تطابق با عدم قطعیت در زنجیره تامین استفاده کردند. آذر و حسینی در سال ۱۳۹۳ به طراحی و ارائه‌ی مدل برنامه‌ریزی ریاضی تولید برای چند محصول در زنجیره عرضه گروه صنعتی برنز پرداختند.

لیست (۲۰۰۷) مدلی احتمالی برای طراحی شبکه ارائه کرد که کانال‌های بازگشت و تأمین را در زنجیره تأمین با حلقه بسته شامل می‌شد. آن‌ها رویکرد تجزیه را برای حل مدل بر مبنای روش شاخه و برش [1]پیشنهاد کردند. سالما و باربوسا و نویس در همان سال یک مدل عمومی برای شبکه لجستیک معکوس ارائه کرد که در آن محدودیت ظرفیت، عدم قطعیت در بازگشت و تقاضا لحاظ شده بود. سلیم و ازکاراهان (۲۰۰۸) یک رویکرد برنامه‌ریزی آرمانی فازی را برای شبکه لجستیک معکوس ارائه کردند که عدم قطعیت در تقاضا و سطوح تصمیم‌گیری برای اهداف در آن در نظر گرفته‌شده بود. پیشوایی و جولای و رزمی در سال ۲۰۰۹ یک مدل بهینه‌سازی قطعی برای شبکه لجستیک معکوس ارائه دادند. سپس یک مدل تصادفی سناریو محور را توسعه دادند.کین و جی(۲۰۱۰) یک شبکه لجستیک معکوس را به‌وسیله سه نوع مدل ریاضی پیکربندی کردند که در اولین و دومین آن هزینه مورد انتظار و هزینه نهایی به‌تبع آن مینیمم می‌شدند. در مدل سوم، اعتبار ماکزیمم می‌شد. مشخصه واحد این مقاله این است که هزینه و بازگشت اعداد زبانی فازی هستند. نویسنده شبیه‌سازی فازی و الگوریتم ژنتیک را برای حل مدل پیشنهاد می‌کند. ال سید، آفیا

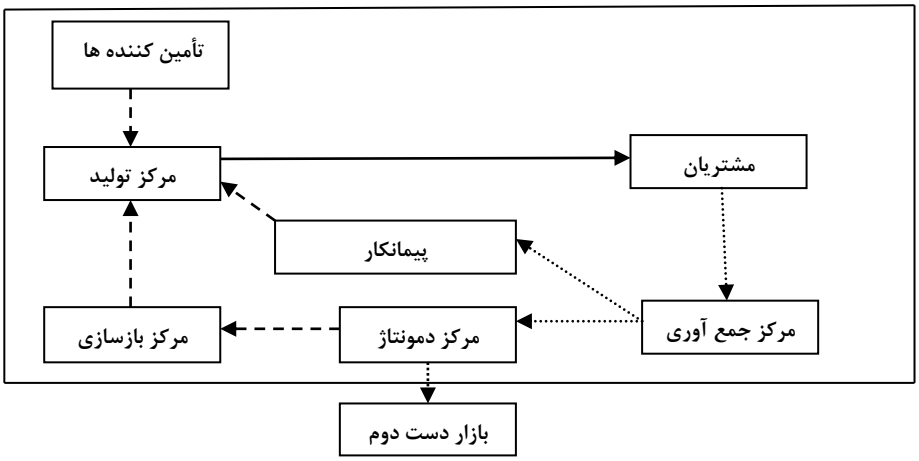
1. Branch-and-cut

و خربتلی(2010) یک مدل احتمالی برای شبکه عمومی با حلقه بسته پیشنهاد دادند که در آن تقاضا پارامتری تصادفی در نظر گرفته‌شده بود. به‌علاوه مدل برای چند دوره طراحی‌شده بود. آن‌ها عدم قطعیت را در تقاضا، بازگشت و هزینه در نظر گرفته بودند. شی، ژانگ، شا و امین (۲۰۱۰) یک مدل ریاضی برای ماکزیمم سازی سود یک سیستم بازسازی ارائه دادند. آن‌ها تقاضا و بازگشت را پارامترهایی تصادفی در نظر گرفتند پیشوایی و ربانی و ترابی در سال ۲۰۱۱ یک مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح قطعی برای شبکه زنجیره تأمین با حلقه بسته ارائه کردند. سپس از بهبود استوار برای در نظر گرفتن عدم قطعیت استفاده کردند.

٤. مدل تحقیق و روش برآورد

روش پژوهش به این صورت است که در ابتدا شرکت تولیدکننده تأمین‌کنندگان، پیمانکارها و همچنین شاخص‌ها و مؤلفه‌های ارزیابی آن‌ها را شناسایی می‌کند. سپس، تصمیم‌گیرنده تأمین‌کنندگان و پیمانکارها را با استفاده از مدل فازی، ارزیابی می‌کند. نتیجه این مرحله، ارزش (اهمیت) تأمین‌کنندگان و پیمانکارها بر مبنای سنجه‌های کیفی است. در مرحله بعد، مدل ریاضی زنجیره تأمین با حلقه بسته طراحی می‌شود که یک مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط چندهدفه است. در این مرحله، متغیرهای تصمیم مرتبط محاسبه می‌شود.

در این مقاله یک مورد مطالعه که در صنعت شیشه فعالیت دارد، انتخاب شده‌است. از آنجاییکه اولین گام در جهت مدل‌سازی یک زنجیره تأمین، شناسایی آن، اجزاء و نحوه ارتباط آن‌ها با یکدیگر است؛ بنابراین در ابتدای کار زنجیره تأمین شرکت تولیدی شیشه ایمنی به نور و کار لجستیک معکوس آن بررسی می‌شود. نمای کلی این زنجیره در شکل شماره ۱ آمده است.



شکل ۱. مدل مفهومی زنجیره تأمین شرکت تولیدی شیشه ایمنی به نور

همانطور که در شکل دیده می‌شود، عناصر این زنجیره در دو دسته کلی قرار گرفته اند. در دسته اول، عناصر زنجیره تأمین مستقیم شامل تامین‌کننده‌ها، مرکز تولید و مشتریان است و در دسته دوم عناصر زنجیره معکوس شامل مراکز جمع‌آوری، دمونتاژ، بازسازی و هم چنین بازار دست دوم و پیمانکاران بازسازی می‌شود. در این زنجیره تولیدکننده محصولاتی را بر طبق تقاضای مشتریان تولید می‌کند که پس از تکمیل فرآیند تولید، محصول نهایی به انبار محصول و یا از کارخانه به مشتری ارسال می‌شود. آسیب‌پذیر بودن شیشه باعث می‌شود که علاوه بر محصولاتی که معیوب محسوب می‌شوند، درصدی از آن نیز در طی مسیر ارسال به مشتری دچار خسارت شود. همچنین پس از استفاده محصول توسط مشتری، برخی از قطعات به‌کاررفته در آن‌ها دارای ارزش اقتصادی بوده و قابلیت بازیافت دارند، به‌عبارت‌دیگر ازآنجایی‌که شیشه خام صد در صد قابل بازیافت و دیگر مواد خام به‌کاررفته چون نقره و فیلم پلیمری، پایه آینه از ارزش نسبتاً بالایی برخوردارند، وجود سازوکار لجستیک معکوس و برگرداندن دوباره این مواد به چرخه تولید توجیه اقتصادی خواهد داشت؛ بنابراین محصولات بازگشتی، در مرکز جمع‌آوری ذخیره و پس‌ازآن به مراکز دمونتاژ فرستاده می‌شود. در مرکز دمونتاژ قطعات به دو دسته تقسیم می‌شوند، بخش قابل استفاده به‌منظور انجام عملیات بازسازی به مرکز بازسازی و بخش غیر قابل استفاده به بازار دست دوم فرستاده خواهد شد، با توجه به اینکه ظرفیت مراکز جمع‌آوری، دمونتاژ و بازسازی محدود بوده و با توجه به بحث هزینه انجام کار توسط دمونتاژ و بازسازی و هم

چنین مقوله کیفیت ممکن است برخی از امور دمونتاژ و بازسازی توسط پیمانکار صورت بپذیرد به این منظور تحلیل اقتصادی جهت تخصیص محصولات بازگشتی به پیمانکار یا انجام کار توسط خود کارخانه ضرورت می‌یابد؛ بنابراین محصولات بازگشت داده شده به چرخه، یا توسط خود کارخانه و یا پیمانکار و یا به‌صورت ترکیبی بازسازی‌شده و دوباره به چرخه تولیدی باز می‌گردند. این قطعات بازگشتی و مهم‌تر اینکه پیش‌بینی صحیح از تعداد قطعات بازگشتی از دوره قبل، پیش‌بینی کننده مقدار خرید قطعات از تأمین‌کننده‌ها در دوره بعدازآن است. به علاوه با توجه به این نکته که تقاضا در این مدل نقطه اتکا و نقطه آغازین زنجیره تأمین با حلقه بسته است و در دنیای واقعی این پارامتر از یکی از منابع اصلی عدم قطعیت در زنجیره تأمین است، بنابراین از رویکرد بهینه سازی استوار به‌عنوان ابزاری قدرتمند برای مواجه با این عدم قطعیت استفاده می‌شود.

در ارتباط با ارزیابی و انتخاب تامین‌کننده ها(مرحله اول) مراحل زیر به ترتیب انجام می‌پذیرد:

۱. شناسایی تأمین‌کنندگان بالقوه

۲. تعیین معیارهای مناسب برای انتخاب تأمین‌کننده

۳. ارزیابی تأمین‌کنندگان با استفاده از مدل فازی و تعیین بهترین تأمین‌کننده

در گام اول، درمجموع ۲۰ تأمین‌کننده بالقوه شناسایی‌شده که پس از ارزیابی و پالایه اولیه، تعداد ۱۳ تأمین‌کننده برای تأمین قطعات موردنیاز واجدالشرایط شناخته‌شده‌اند که باید در ادامه بر اساس معیارهای چندگانه کمی و کیفی مورد ارزیابی قرار بگیرند. بنابراین با اعضاء کمیته ارزیابی جلسه‌ای جهت تعیین معیارهای موردنظر تنظیم گردید. با استفاده از نظرات گروه ارزیاب که شامل۳ نفر(مدیریت کارخانه و نمایندگانی از بخش‌های خرید، کیفیت) و مشاوره با اساتید دانشگاه و بررسی ادبیات و مقالات مرتبط دسته‌بندی جدیدی برای ارزیابی تأمین‌کنندگان ارائه گردید که شامل معیارهای کمی و کیفی است.(جدول شماره ۱) در گام سوم که این تأمین‌کنندگان باید بر اساس یک روش مبتی بر رویکرد فازی رتبه‌بندی گردند و این رتبه‌ها نتایج حاصل از اجرای مرحله اول مدل پژوهش می‌باشند که داده‌های آن به‌عنوان پارامترهای ورودی در مرحله دوم وارد مدل ریاضی می‌شود تا دریکی از توابع هدف که مرتبط با انتخاب بهترین تأمین‌کننده‌ها و تخصیص قطعه به آن‌ها

است، مورداستفاده قرار بگیرد. نحوه محاسبه اطلاعات توسط این روش فازی به امین و رزمی(۲۰۰۹) رجوع شود.

جدول ۱. معیارهای ارزیابی و انتخاب تامین‌کننده

معیارهای ارزیابی و انتخاب تامین‌کننده	
معیارهای مرتبط با تامین‌کننده	تحویل به موقع-انعطاف پذیری-ثبات مالی و عملکرد اقتصادی-بازگشت هزینه‌های فرایند تضمین-اثربخشی خدمات دریافتی-تخفیف- شهرت-فاصله(موقعیت مکانی)- سابقه فعالیت
معیارهای مرتبط با قطعات	تطبیق با مشخصات فنی(داخلی)- مدارک و مشخصات فنی(خارجی)-تاثیر عملکرد تامین‌کننده بر مشتری-قیمت-کیفیت
معیارهای مرتبط با فرایند	قابلیت طراحی تامین‌کننده-سطح تبادل اطلاعات-قابلیت فنی- مسائل محیطی- روش مناسب شناسایی و ردیابی- روش کنترل محصول نامنطبق-گواهینامه‌ها و استانداردها

٤ . ١. مدل سطح تاکتیکی و عملیاتی- مدل‌سازی ریاضی

در زنجیره تأمین حلقه بسته احتیاج به کنترل جریان مستقیم و معکوس مواد و محصولات به‌صورت هم‌زمان را دارد. در بیشتر مواقع هزینه به‌عنوان معیاری برای سنجش اثربخشی شبکه تأمین مورد توجه قرار می‌گیرد. علاوه بر هزینه توجه به معیارهای زیر نیز در مدل ما در نظر گرفته می‌شود:

توجه به مسئله بازیافت به دلیل ملاحظات زیست محیطی در نظر گرفته شده در ارزیابی پیمانکاران و تأمین‌کننده‌ها افزایش سود ناشی از تشویق مشتری برای بازگرداندن محصولات در پایان دوره عمر به چرخه همان‌طور که گفته شد مدل طراحی‌شده در این تحقیق تصمیماتی در سطح تاکتیکی و عملیاتی را دربرمی‌گیرد. مدل مورداستفاده در این سطح از نوع مدل آرمانی خطی است. هدف از برنامه‌ریزی در این سطح دستیابی به یک برنامه‌ریزی جامع خرید، تولید و توزیع است.

٤ .٢. مفروضات طراحی مدل:

در طراحی مدل تحقیق، مفروضاتی وجود دارداز جمله : *1*) تصادفی بودن ماهیت پارامترهای نامطمئن *2.*) تبعیت تغیرپذیری داده‌های نامطمئن از توزیع متقارن*3.*) خطی بودن روابط بین متغیرهای مدل

اندیس‌های مدل سطح عملیاتی

به طور خلاصه اندیس‌ها در جدول شماره ۲ نمایش داده شده‌است:

جدول ۲. اندیس‌های مدل

اندیس	T	D	K	I	M	S	J	G
تعریف	دوره زمانی	مرکز دمونتاژ	مشتری	قطعه	محصول	پیمانکار	تأمین (عرضه) کننده	آرمان (تابع هدف)

٤ . ۳.متغیرهای مدل

متغیرهای مدل را می‌توان به دو دسته متغیرهای اصلی و متغیرهای استواری دسته‌بندی نمود. در ادامه توضیح هر یک ارائه شده‌است. جدول شماره ۳ متعیرهای اصلی مدل و توضیح آن‌ها را نشان می‌دهد.

جدول ۳. متغیرهای اصلی مدل

نماد متغیرهای اصلی	تعریف
Q_{tij}	مقدار قطعه i خریداری شده از تأمین‌کننده j در دوره t
Q'_{ti}	مقدار قطعه i سالم تحویل گرفته شده از تمامی تأمین‌کننده‌ها در دوره t
X_{tm}	مقدار محصول mتولید شده در دوره t
X_{tmk}	مقدار محصولm حمل شده از مرکز تولید به مشتریk در دوره t
V_{tmk}	مقدار محصول mحمل شده از مشتری k به مکان جمع آوری در دوره t
SV_{tms}	مقدار محصول بازگشتی m ارسال شده مرکز جمع آوری به پیمانکار s در دوره t
S_{tmd}	مقدار محصول قابل بازیافت m ارسال شده از مرکز جمع آوری به مرکز دمونتاژd در دوره t
N_{ti}	مقدار قطعه i ارسال شده از مرکز دمونتاژ d به مرکز بازسازی در دوره t
D_{tis}	تعداد قطعه i ارسال شده از پیمانکار s به مرکز تولید در دوره t
Q_{ti}	موجودی سطح اطمینان برای قطعه i در مرکز تولید در دوره t
Y_{tij}	متغیر صفر و یک به منظور انتخاب یا عدم انتخاب تأمین‌کننده j در دوره t برای خرید قطعه i
Z_{ts}	متغیر صفر و یک به منظور انتخاب یا عدم انتخاب پیمانکار s در دوره t
$\mathbf{d}_g^+$	متغیر انحراف از آرمان (انحراف مثبت)
$\mathbf{d}_\mathbf{g}^-$	متغیر انحراف از آرمان (انحراف منفی)

٤. ٤. متغیرهای استواری:

متغیرهای استواری متغیرهایی هستند که به ازای هر پارامتر نامطمئن و به ازای هر محدودیت به مدل اضافه می‌شوند تا مدل تبدیل به مدل همتای استوار گردد. متغیرهای استواری این مدل به طور خلاصه عبارتند از: q_{tmk} و Z_{tmk} و y_{tmk}

٤.٥. پارامترهای مدل عملیاتی

پارامترهای مدل عملیاتی

h_{tij}	هزینه حمل قطعه iاز تأمین‌کننده j به مرکز تولید در دوره t
p_{tmk}	هزینه حمل یک واحد محصول m از مرکز تولید به مشتری k در دوره t
a_{tmd}	هزینه حمل یک واحد محصول بازگشتی m از مرکز جمع آوری به مرکز دمونتاژ d در دوره t
a_{ti}	هزینه حمل هر قطعه i از مرکز دمونتاژ d به مرکز بازسازی در دوره t
a'_{ti}	هزینه حمل هر قطعه i از مرکز بازسازی به مرکز تولید در دوره t
s_{tms}	هزینه حمل محصول بازگشتی m از مرکز جمع آوری به پیمانکار s در دوره t (sv)
s'_{tms}	هزینه حمل از پیمانکار s به مرکز تولید بر حسب محصول m در دوره t
u_{tmk}	هزینه انگیزشی و جمع آوری محصول m بازگشتی از مشتری k به مرکز جمع آوری در دوره t
ca_{tm}	ظرفیت تولید مرکز تولید برای محصول m در دوره t
Us_{tmd}	ظرفیت مرکز دمونتاژd برای محصول m در دوره t
Us_{tms}	ظرفیت پیمانکار s برای محصول m در دوره t
ca_{tr}	ظرفیت مرکز بازسازی برای قطعه I در دوره t
β_{tmk}	نرخ بازگشت محصول استفاده شده m از منطقه مشتری k در دوره t
α_{tiS}	نرخ قطعات i بازگشتی از پیمانکار s در دوره t
γ_{tmd}	نرخ کالای معیوب m در مرکز دمونتاژ d در دوره t
Θ_{ti}	نرخ قطعه معیوب I در مرکز بازسازی در دوره t
r_{tij}	هزینه خرید قطعه i از تأمین‌کننده j در دوره t
f_{tij}	هزینه ثابت مربوط به تأمین‌کننده j بر حسب قطعه i
p'_{tm}	سود فروش محصول m به مشتریان در دوره t
f_{ts}	هزینه ثابت مربوط به پیمانکار s
p_{tm}	هزینه تولید هر واحد محصول m در دوره t
h_{ti}	هزینه نگهداری قطعه i در مرکز تولید در دوره t
n_{tim}	تعداد قطعه i در هر واحد محصول mدر دوره t
d_{tmk}	تقاضای منطقه مشتری k برای محصولm در دوره t
lQ_{tji}	حدأقل مقدار خرید از تأمین‌کننده jبرای قطعه i در دوره t
uQ_{tji}	مجموعه ظرفیت تخصیصی از جانب تأمین‌کننده j برای قطعه I در دوره t
Us_{tms}	مجموعه ظرفیت تخصیصی از جانب پیمانکار s برای محصول m در دوره t
lS_{tms}	حدآقل مقدار محصول m ارسال شده برای پیمانکار s در دوره t

پارامترهای مدل عملیاتی (ادامه)

def_{tij}	نرخ خرابی قطعه i برای تأمین کننده j در دوره t
b_{tmd}	هزینه دمونتاژ محصول m در مرکز دمونتاژ d در دوره t
b_{ti}	هزینه بازسازی قطعه i در مرکز بازسازی در دوره t
o_{tms}	هزینه بازتولید محصول m توسط پیمانکار s در دوره t
p''_{tim}	سود فروش قطعه غیر قابل بازسازی i به بازار دست دوم در دوره t
t_{tij}	ارزش(وزن) تأمین کننده j برای قطعه I در دوره t
t_{tsm}	ارزش(وزن) پیمانکار s برای محصول m در دوره t
Γ_{tmk}	ضریب سطح حفاظت پارامتر تقاضای مشتریان در مدل استوار (حد پایین مقدار تولید)
$\hat{d}_{tmk}$	طول بازه عدم قطعیت برای پارامتر تقاضای مشتریان
$\bar{d}_{tmk}$	مقدار اسمی تقاضای مشتریان

٦.٤. صورت بندی کامل مدل چندهدفه برای شرکت تولیدی شیشه ایمنی به نور

با توجه به شبکه‌ی زنجیره تأمین و فرضیات بالا مدل ریاضی ما به‌صورت زیر خواهد بود.

رابطه(۱) $$maxZ_1 = \sum_{t=1}^{T}\sum_{m=1}^{M} p'_{tm} X_{tm}$$

رابطه(۲) $$MinZ_2 = \sum_{t=1}^{T}\sum_{i=1}^{I}\sum_{j=1}^{J}\left(r_{tij}+h_{tij}\right)Q_{tij} + \sum_{t=1}^{T}\sum_{j=1}^{J} f_{tij}\, Y_{tij} + \sum_{t=1}^{T}\sum_{m=1}^{M} p_{tm}\, X_{tm} + \sum_{t=1}^{T}\sum_{M=1}^{M}\sum_{k=1}^{K} p_{tmk} X_{tmk} + \sum_{t=1}^{T}\sum_{m=1}^{M}\sum_{k=1}^{K} u_{(t-1)mk} V_{(t-1)mk}$$

رابطه(۳) $$MinZ_3 = \sum_{t=1}^{T}\sum_{m=1}^{M}\sum_{s=1}^{S}\left(s_{(t-1)ms} + o_{(t-1)ms} + s'_{(t-1)ms}\right)SV_{(t-1)ms} + \sum_{t=1}^{T}\sum_{s=1}^{S} f_s Z_{(t-1)s} + \sum_{t=1}^{T}\sum_{m=1}^{M}\sum_{d=1}^{D}[\![\left(b_{(t-1)md} + a_{(t-1)md}\right)S_{(t-1)md} + \sum_{t=1}^{T}\sum_{i=1}^{I}\left(b_{(t-1)i} + a_{(t-1)i} + a'_{(t-1)i}\right)N_{(t-1)i} + \sum_{t=1}^{T}\sum_{i=1}^{I}\gamma_{(t-1)md} n_{(t-1)im} S_{(t-1)md} p''_{(t-1)im}$$

رابطه(۴) $$MaxZ_4 = \sum_{t=1}^{T}\sum_{i=1}^{I}\sum_{j=1}^{J} t_{tij} Q_{tij} + \sum_{t=1}^{T}\sum_{m=1}^{M}\sum_{s=1}^{S} t_{(t-1)ms} SV_{(t-1)ms}$$

رابطه(۵) $$MinZ_5 = \sum_{t=1}^{T}\sum_{i=1}^{I} h_{ti} Q_{ti}$$

Subject to

رابطه(۶) $$\sum_{m=1}^{M} n_{tim} X_{tm} = Q_{(t-1)i} + (1-\theta)N_{(t-1)i} + Q'_{ti} + D_{(t-1)is} \quad \forall i, t$$

رابطه(۷) $$\sum_{m=1}^{M} \alpha_{tis} n_{(t-1)im} SV_{(t-1)ms} = D_{(t-1)is} \quad \forall i, s$$

$$(1-\gamma)\times N_{(t-1)im}\times\sum_{d=1}^{D}S_{(t-1)md}=N_{(t-1)i}\quad\forall i,t,m$$ رابطه(۸)

$$\sum_{k=1}^{K}V_{(t-1)mk}=\sum_{d=1}^{D}S_{(t-1)md}+\sum_{s=1}^{S}SV_{(t-1)ms}\quad\forall m,t$$ رابطه(۹)

$$X_{tm}=\sum_{k=1}^{K}X_{tmk}\quad\forall m،t$$ رابطه(۱۰)

$$\beta_{tmk}X_{tmk}=V_{tmk}\ \forall m,k.t$$ رابطه(۱۱)

$$d_{tmk}\le X_{tmk}\qquad\forall t,m,k$$ رابطه(۱۲)

$$Q'_{ti}=\sum_{j=1}^{J}\frac{Q_{tij}}{(1-def_{tij})}\quad\forall t,i$$ رابطه(۱۳)

$$lQ_{tij}Y_{tj}\le Q_{tij}\le uQ_{tij}Y_{tj}\qquad\forall i,j,\text{t}$$ رابطه(۱۴)

$$lS_{tms}Z_{ts}\le SV_{tms}\le US_{tms}Z_{ts}\ \forall m,s,\text{t}$$ رابطه(۱۵)

$$S_{tmd}\le US_{tmd}\quad\forall m,t,d$$ رابطه(۱۶)

$$N_{ti}\le ca_{tr}\qquad\forall i,t$$ رابطه(۱۷)

$$X_{tm}\le ca_{tm}\qquad\forall m,\text{t}$$ رابطه(۱۸)

$$Q_{tij},Q'_{ti},X_{tm},X_{tmk},V_{tmk},SV_{tms},S_{tmd},Q_{ti}\ge 0\ and\ integer\ \forall i,j,t,m,k,d$$
$$Y_{tij},Z_{ts}=0\ or\ 1$$

٤.۷. توابع هدف

تابع هدف اول سود شرکت را حداکثر می‌کند، تابع هدف دوم به‌طورکلی هزینه‌های زنجیره مستقیم و برخی از زنجیره معکوس حداقل می‌کند شامل ۵ هزینه کلی به شرح زیر است: ۱) هزینه خرید۲) هزینه سفارش دهی۳) هزینه تولید محصول ۴) هزینه حمل از مرکز تولید به مشتری، ۵) هزینه انگیزشی بازگشت محصول لازم به ذکر است که با توجه به اینکه به مابقی هزینه‌های زنجیره معکوس به‌صورت مسئله تخصیص نگریسته می‌شود، این هزینه‌ها، در تابع هدف سوم حداقل خواهند شد. در تابع هدف سوم تخصیص محصول بازگشتی m به پیمانکار یا انجام امور دمونتاژ و بازسازی محصول بازگشتی m توسط کارخانه را بر اساس کمینه کردن هزینه‌های آن در دوره t بررسی می‌شود. به‌طورکلی در تابع هدف چهارم، ارزش (وزن) هر یک از تأمین‌کنندگان و پیمانکاران که از مرحله قبل مدل حاصل‌شده‌است، حداکثر می‌شود. درنهایت تابع هدف پنجم، هزینه نگهداری موجودی پایه را حداقل می‌کند.

٤ .٨. محدودیت‌های مدل عملیاتی

محدودیت‌های مدل عملیاتی به‌طورکلی از دودسته محدودیت‌های تعادلی و محدودیت‌های ظرفیت تشکیل‌شده‌است.

محدودیت‌های تعادلی:

محدودیت تعادلی شش تا هشتم محدودیت تعادلی برای مرکز تولید است. محدودیت تعادلی نهم نشان می‌دهد که مجموعه محصول بازگشتی m ارسال‌شده از منطقه مشتریان k به مرکز جمع‌آوری با حاصل جمع محصولات ارسال‌شده برای مجموعه پیمانکاران s و مراکز دمونتاژ d در دوره t-1 برابر است. محدودیت تعادلی دهم به‌طور خلاصه بیانگر این است که تولید بر اساس تقاضا صورت می‌پذیرد و مجموعه همه کالاهای تولیدشده با مجموعه همه محصولات ارسال‌شده به هر یک از منطقه مشتریان K در دوره t برابر است. محدودیت تعادلی یازدهم بیانگر این است که محصول m که از مرکز توزیع به مشتری k در دوره t می‌رود، با نرخ β به مرکز جمع‌آوری و چرخه بازمی‌گردد؛ و این نرخ برای هر محصول و هر مشتری متفاوت است. محدودیت تعادلی دوازدهم تضمین می‌کند که تقاضای مشتریان در هر دوره برآورده شود. محدودیت تعادلی سیزدهم نرخ نقص را در کالای خریداری‌شده از تأمین‌کننده در نظر می‌گیرد و به عبارتی زنجیره تأمین را یک زنجیره ناقص یا defective به شمار می‌اورد که به دنیای واقعی نزدیک‌تر است.

محدودیت‌های ظرفیت:

محدودیت‌های چهارده تا هجدهم به ترتیب محدودیت‌های ظرفیت برای هر یک از تأمین‌کننده‌ها، پیمانکارها، مرکز دمونتاژ، مرکز بازسازی، و مرکز تولید را نشان می‌دهد.

ضرایب اهمیت در تابع هدف: در علم تصمیم‌گیری که در آن انتخاب یک راهکار از بین راهکارهای موجود و یا اولویت‌بندی از طریق وزن دهی راهکارها مد نظر است، روش‌های تصمیم‌گیری با شاخص‌های چندگانه جای خود را باز کرده است. یکی ازکاراترین این روش‌ها، روش مقایسه‌ها زوجی است. این روش همچنین اساس برخی شناخته شده‌ترین و پرکاربردترین فنون تصمیم‌گیری چند شاخصه از جمله فرایند تحلیل سلسله مراتبی است. سهولت استفاده، سادگی، کارایی بالا موجب شده‌است این روش برای وزن دهی معیارهای مستقل در ادبیات با استقبال زیادی مواجه شود. بنابراین، در پژوهش حاضر از روش

مقایسه‌ها زوجی استفاده شده‌است به طوری که با بهره‌گیری ازنظر خبرگان و با استفاده از پرسشنامه مقایسه‌های زوجی آرمان‌ها، تمامی آرمان‌ها دوبه‌دو مورد مقایسه قرار گرفتند. و وزن هر آرمان در جدول شماره ۴ ارائه شده‌است:

جدول شماره ٤. وزن هر آرمان در تابع هدف

آرمان	اول	دوم	سوم	چهارم	پنجم
وزن	0.18	0.32	0.21	0.09	0.20

٤.٩. همتای استوار مدل زنجیره تأمین با حلقه بسته برای شرکت تولیدی شیشه ایمنی به نور

همانطور که مطرح شد به منظور استوار کردن مدل اسمی، از مدل برتمیس و سیم استفاده شده‌است. برای اطلاعات بیشتر رجوع شود به(برتسیمز و سیم، ۲۰۰۴) بنابراین با توجه به مدل بالا، همتای استوار به صورت زیر ارائه می‌شود.

$$\min Z = U_1(d_1^+ + d_1^-) + U_2(d_2^+ + d_2^-) + U_3(d_3^+ + d_3^-) + U_4(d_4^+ + d_4^- + U_5(d_5^+ + d_5^-)$$ رابطه(۱)

Subject to

$$[G1]\ \sum_{t=1}^{T}\sum_{m=1}^{M} p'_{tm}X_{tm} - d_1^+ + d_1^- = G_1$$ رابطه(۲)

$$[G2]\ \sum_{t=1}^{T}\sum_{i=1}^{I}\sum_{j=1}^{J}(r_{tij} + h_{tij})Q_{tij} + \sum_{t=1}^{T}\sum_{j=1}^{J} f_{tij}\,Y_{tij} + \sum_{t=1}^{T}\sum_{m=1}^{M} p_{tm}\,X_{tm} + \sum_{t=1}^{T}\sum_{M=1}^{M}\sum_{k=1}^{K} p_{tmk}X_{tmk} + \sum_{t=1}^{T}\sum_{m=1}^{M}\sum_{k=1}^{K} u_{(t-1)mk}V_{(t-1)mk} - d_2^+ + d_2^- = G_2$$ رابطه(۳)

$$[G3]\ \sum_{t=1}^{T}\sum_{m=1}^{M}\sum_{s=1}^{S}(s_{(t-1)ms} + o_{(t-1)ms} + s'_{(t-1)ms})SV_{(t-1)ms} + \sum_{t=1}^{T}\sum_{s=1}^{S} f_s Z_{(t-1)s} + \sum_{t=1}^{T}\sum_{m=1}^{M}\sum_{d=1}^{D}[\![(b_{(t-1)md} + a_{(t-1)md})S_{(t-1)md} + \sum_{t=1}^{T}\sum_{i=1}^{I}(b_{(t-1)i} + a_{(t-1)i} + a'_{(t-1)i})N_{(t-1)i} + \sum_{t=1}^{T}\sum_{i=1}^{I}\gamma_{(t-1)md} n_{(t-1)im} S_{(t-1)md} p''_{(t-1)im} - d_3^+ + d_3^- = G_3$$ رابطه(۴)

$$[G4]\ \sum_{t=1}^{T}\sum_{i=1}^{I}\sum_{j=1}^{J} t_{tij}Q_{tij} + \sum_{t=1}^{T}\sum_{m=1}^{M}\sum_{s=1}^{S} t_{(t-1)ms}SV_{(t-1)ms} - d_4^+ + d_4^- = G_4$$ رابطه(۵)

$$[G5]\ \sum_{t=1}^{T}\sum_{i=1}^{I} h_{ti}Q_{ti} - d_5^+ + d_5^- = G_5$$ رابطه(۶)

$$\sum_{m=1}^{M} n_{tim}X_{tm} = Q_{(t-1)i} + (1-\theta)N_{(t-1)i} + Q'_{ti} + D_{(t-1)is} \quad \forall i, t$$ رابطه(۷)

$$\sum_{m=1}^{M} \alpha_{tiS} n_{(t-1)im} SV_{(t-1)ms} = D_{(t-1)is} \quad \forall i, s$$ رابطه(۸)

$$(1-\gamma) \times N_{(t-1)im} \times \sum_{d=1}^{D} S_{(t-1)md} = N_{(t-1)i} \quad \forall i, t, m$$ رابطه(۹)

$$\sum_{k=1}^{K} V_{(t-1)mk} = \sum_{d=1}^{D} S_{(t-1)md} + \sum_{s=1}^{S} SV_{(t-1)ms} \quad \forall m\,,t$$ رابطه(۱۰)

$$X_{tm} = \sum_{k=1}^{K} X_{tmk} \quad \forall m, t$$ رابطه(۱۱)

$$\beta_{tmk} X_{tmk} = V_{tmk}\ \forall m, k. t$$ رابطه(۱۲)

$$\mathrm{n}_{tmk}\ \bar{d}_{tmk} \le X_{tmk} - \mathrm{Z}_{\mathrm{tmk}}\ \Gamma_{\mathrm{tmk}} - q_{\mathrm{tmk}}\ \forall m, k. t$$ رابطه(۱۳)

$$Z_{\mathrm{tmk}} + q_{\mathrm{tmk}} \ge \hat{d}_{tmk} y_{tmk}\ \ \forall m, k. t$$ رابطه(۱۴)

$$-y_{tmk} \le \mathrm{n}_{tmk} \le y_{tmk}\ \ \forall m, k. t$$ رابطه(۱۵)

$$\mathrm{n}_{tmk} = 1$$ رابطه(۱۶)

$$Q'_{ti} = \sum_{j=1}^{J} \frac{Q_{tij}}{(1-def_{tij})}\ \ \forall t, i$$ رابطه(۱۷)

$$lQ_{tij} Y_{tj}\ \le Q_{tij} \le uQ_{tij} Y_{tj} \qquad \forall i, j,\mathrm{t}$$ رابطه(۱۸)

$$lS_{tms} Z_{ts} \le SV_{tms} \le US_{tms} Z_{ts}\ \forall\ m, s,\mathrm{t}$$ رابطه(۱۹)

$$S_{tmd} \le US_{tmd} \quad \forall\ m, t\ ,d$$ رابطه(۲۰)

$$N_{ti} \le ca_{tr} \qquad \forall i, t$$ رابطه(۲۱)

$$X_{tm} \le ca_{tm} \qquad \forall m\ ,\mathrm{t}$$ رابطه(۲۲)

$$Q_{tij}, Q'_{ti}, X_{tm}, X_{tmk}, V_{tmk}, SV_{tms}, S_{tmd}, y_{tmk}\ ,\ Z_{\mathrm{tmk}}\ , q_{\mathrm{tmk}}, Q_{ti} \ge 0\ and\ integer\ \forall i, j, t, m, k, d$$

$$Y_{tij}, Z_{ts} = 0\ or\ 1$$

۵. داده‌ها و نتایج تجربی

در این بخش به‌طور خلاصه روند زیر انجام می گردد:

۱) فیلتر اولیه و تعیین ارزش تأمین کننده‌ها و پیمانکارها بر اساس روش فازی۲) حل مدل‌های قطعی و استوار برای شرکت تولیدی شیشه ایمنی به نور و مقایسه و بررسی کیفیت آن‌ها

حجم مدل برای شرکت تولیدی شیشه ایمنی به نور به شرح زیر تعریف می‌شود(جدول شماره ۵)

جدول ۵. حجم مدل

اندیس	T	D	K	I	M	S	J	G
تعریف	دوره زمانی	مرکز دمونتاژ	مشتری	قطعه	محصول	پیمانکار	تأمین (عرضه) کننده	آرمان (تابع هدف)
تعداد	۳	۲	۴	۱۰	۳	۵	۱۳	۵

فیلتر اولیه و تعیین ارزش تأمین‌کننده‌ها و پیمانکارها بر اساس روش فازی

بر مبنای روش فازی ارائه شده توسط(Amin & Razmi, ۲۰۰۹) رتبه نهایی تامین‌کننده‌ها در جدول شماره ۶ نمایش داده شده‌است:

جدول ٦. رتبه نهایی تأمین‌کننده j برحسب قطعه i

رتبه‌های نهایی هر یک از تأمین‌کنندگان در جدول شماره ۶ قابل‌مشاهده است که

تأمین‌کننده/قطعه	۱	۲	۳	٤	٥	٦	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳
۱	۰	۰	۰	۰	۰,۱۵	۰,۲	۰,۶۵	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۲	۰	۰,۴۸	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰,۵۲	۰	۰	۰	۰
۳	۰	۰	۰	۰,۴۱	۰	۰	۰,۵۹	۰	۰	۰	۰	۰	۰
٤	۰	۰	۰,۴۲	۰	۰,۳۱	۰	۰	۰,۲۷	۰	۰	۰	۰	۰
٥	۰,۳۹	۰	۰,۳	۰	۰	۰	۰	۰	۰,۳۱	۰	۰	۰	۰
٦	۰,۴۸	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰,۵۲
۷	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۸	۰	۰	۰	۰	۰	۰,۴۵	۰	۰	۰,۵۵	۰	۰	۰	۰
۹	۰	۰	۰	۰,۱۱	۰,۸۹	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۱۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰,۴۹	۰	۰,۵۱	۰	۰	۰	۰

به‌عنوان پارامتر ورودی تابع هدف سوم به همراه رتبه‌های هر یک از پیمانکاران در مدل ریاضی استفاده می‌شود.

۵ . ۱.حل مدل‌های قطعی و استوار برای شرکت تولیدی شیشه ایمنی به نور و مقایسه و بررسی کیفیت آن‌ها

در این قسمت پس از طراحی مدل‌ها و تعریف پارامترها، نوبت به حل هر کدام از مدل‌ها می‌رسد. همانطور که از نظر گذشت، وسعت و حجم مدل‌های طراحی شده به

لحاظ تعداد متغیرها و حجم پارامترها زیاد است، لذا به دلیل پیچیدگی بالای مدل و زمان‌بر بودن فرآیند حل، مدل‌های فوق در فضای مجموعه‌ها در نرم‌افزار لینگو لینک شده با اکسل برنامه‌نویسی گردید، به نحوی که داده‌های ورودی از اکسل فراخوانده شده و خروجی‌های حاصل از حل به اکسل منتقل شود. به این ترتیب کارایی محاسباتی نیز افزایش یافت.

۵.۱.۱. نتایج حل مدل قطعی

در این بخش نتایج حاصل از حل مدل قطعی ارائه خواهد شد. با توجه به نتایج گسترده، مهمترین آن‌ها یعنی آرمان‌ها و تابع هدف در قالب جدول ذیل ارائه خواهد شد(جدول شماره ۷)

جدول ۷. میزان تحقق هر آرمان در مدل قطعی

ردیف	شماره آرمان	نوع آرمان	نوع انحراف	مقدار بهینه هدف	مقدار آرمان پس از حل	مقدار انحراف d_i^-, d_i^+	میزان تحقق آرمان
۱	اول	Max	d_1^-	۴۸۸۸۰۰۰۰۰۰	۲۴۵۵۲۶۰۰۰۰۰	۲۴۳۲۷۴۰۰۰۰۰	۵۰,۲%
۲	دوم	Min	d_2^+	۷۰۶۶۱۴۵۱۶۳۰۹,۵۴	۷۰۶۶۱۴۵۱۶۳۰۹,۵۴	۰	۱۰۰%
۳	سوم	Min	d_3^+	۳۶۹۴۰۳۹۷۲,۱۲	۳۶۹۴۰۳۹۷۲,۱۲	۰	۱۰۰%
۴	چهارم	Max	d_4^-	۱۱۲۰۰۰	۸۹۰۵۰	.۲۲۹۴۹	۷۹,۵%
۵	پنجم	Min	d_5^+	۲۴۲۴۰۲۲۸۴۴۵۷۴,۹۲	۲۴۸۱۱۸۹۰۶۴۴۶۸,۸۳	۵۷۱۶۶۲۱۹۸۹۴	۹۷,۶%

۵.۱.۲.نتایج حل مدل استوار

به منظور بررسی نتایج حاصل از حل مدل استوار، جواب‌ها در دو سطح کلان و عملیاتی مورد بررسی قرار می‌گیرد. به نحوی که سطح کلان بیانگر مقدار تابع هدف مسأله و انحرافات هر آرمان می‌باشد. و سطح عملیاتی بیانگر ارتباط هر یک از متغیرها با سطوح مختلف حفاظت می‌باشد.

۵. ۱ . ۳.نتایج حل مدل استوار در سطح کلان

در این بخش نتایج حاصل از حل مدل استوار ارائه خواهد شد. با توجه به اینکه در حل مدل استوار برتسیمس و سیم ۱۱ سطح حفاظت انتخاب شده‌است، و به دلیل حجم بالای تعداد خروجی‌های مدل استوار، در این بخش تنها به بررسی وضعیت استواری نتایج خواهیم پرداخت. جدول ۸ بیانگر نتایج حل مدل استوار می‌باشد:

جدول ۸. مقادیر انحراف از آرمان‌ها و تابع هدف مدل استوار در حالت‌های مختلف سطح حفاظت

سطح حفاظت(Γ)	d_1^-	d_2^+	d_3^+	d_4^-	d_5^+	مقدار تابع هدف
صفر	۲۴۳۲۷۴۰۰۰۰۰	۰	۰	۲۲۹۴۵۰	۵۷۱۶۶۲۱۹۸۹۴	۱۰,۰۱۰,۴۴۴,۶۱۰
۰/۱	۲۳۸۹۸۸۴۱۰۰۰	۱۵۸۰۵۷۶۴۵۸۲	۸۹۴۸۵۴۰	۱۶۱۱۶	۱۰۷۸۱۳۵۶۸۲۲۱	۱۷,۳۳۰,۸۹۳,۸۸۲
۰/۲	۲۳۴۷۰۵۶۶۰۰۰	۳۱۵۹۷۹۶۰۴۴۹	۱۷۸۹۷۰۸۰	۹۲۸۴	۱۵۸,۴۰۵,۱۸۳,۴۶۴	۲۴,۶۴۳,۹۴۱,۶۰۸
۰/۳	۲۳۰۴۲۳۶۳۰۰۰	۴۷۳۸۸۵۷۴۷۹۵	۲۶۸۲۵۷۴۰	۲۴۵۳	۲۰۸۹۹۳۸۵۱۰۳۹	۳۱,۹۵۶,۴۴۷,۴۰۹
۰/۴	۲۲۶۱۴۰۶۴۰۰۰	۶۳۱۸۱۹۰۹۳۲۳	۳۵۷۷۴۲۸۰	۰.۱۶	۲۵۹۵۹۱۵۱۹۷۳۰	۳۹,۲۷۰,۲۴۱,۰۲۳
۰/۵	۲۲۱۸۵۹۶۰۰۰۰	۷۸۹۶۹۱۰۰۹۴۵	۴۴۶۸۵۸۲۰	۰.۰۷	۳۱۰۱۷۳۹۹۳۲۱۰	۴۱,۹۹۶,۷۶۰,۷۵۴
۰/۶	۲۱۷۵۷۴۰۱۰۰۰	۹۴۷۷۴۹۱۷۲۱۹	۵۳۶۳۴۳۶۰	۰.۰۶۵	۳۶۰۸۲۱۷۲۲۹۰۳	۵۳,۹۰۲,۰۸۳,۳۵۶
۰/۷	۲۱۲۷۷۹۳۰۰۰۰	۱۱۱۵۰۷۴۲۹۳۶۵	۶۲۹۷۶۴۶۰	۰.۶۳	۴۱۰۹۲۶۴۵۲۴۲۸	۶۱,۳۳۰,۴۵۶,۴۷۲
۰/۸	۲۰,۷۹۳,۸۰۳,۰۰۰	۱۲۸,۳۲۴,۴۲۰,۲۲۴	۷۲,۳۵۴,۱۲۱	۰.۰۶	۴۶۰,۹۷۸,۵۷۶,۳۴۶	۶۸,۷۶۸,۳۸۱,۴۳۰
۰/۹	۲۰۳۰۹۶۳۴۰۰۰	۱۴۵۱۴۳۶۰۰۵۲۱	۸۱۷۳۶۳۹۸	۰.۰۵	۵۱۱۰۴۵۳۲۳۷۳۶	۷۶,۲۰۸,۰۰۹,۶۷۸
۱	۱۹۸۲۵۶۰۰۰۰۰	۱۶۱۹۵۷۶۴۱۹۱۳	۹۱۰۹۳۵۷۳	۰.۰۳	۵۶۱۰۹۱۲۷۶۷۴۱	۸۳,۶۴۴,۸۶۰,۳۹۵

همانطور که در ابتدای این بخش ارائه شد، در جدول فوق با توجه به حجم بالای خروجی‌های حاصل از حل مدل به ازای ۱۱ بار حل مدل استوار، تنها اطلاعات مربوط به مقدار انحرافات و مقدار تابع هدف ارائه شده‌است.

۵. ۱. ۲. ۱. نتایج حل مدل استوار در سطح عملیاتی

با توجه به حجم بسیار بالای متغیرهای مدل و به منظور نمایش تفاوت میزان خرید، تولید، توزیع به ازای سطوح مختلف مدل استوار برخی از داده‌های مدل به‌عنوان نمونه در این بخش گزارش می‌شود.

روند برخی از داده‌ها در دوره دوم به شرح زیر گزارش می‌شوند(جدول‌های ۹-۱۲)

جدول شماره ۹.میزان تغییر X_{tm} بر اساس سطوح مختلف حفاظت

Γ_{tm}/X_{tm}	۰	0/1	0/2	0/3	0/4	0/5	0/6	0/7	0/8	0/9	۱
X_{21}	۱۲۴۶۰۰	۱۲۴۶۷۸	۱۲۴۷۵۶	۱۲۴۸۳۴	۱۲۴۹۱۲	۱۲۴۹۹۰	۱۲۵۰۶۸	۱۲۷۱۱۶	۱۲۹۳۴۴	۱۳۱۵۷۲	۱۳۳۸۰۰
X_{22}	۵۶۶۰۰۰	۵۷۷۳۲۲	۵۸۸۶۴۴	۵۹۹۹۶۱	۶۱۱۲۸۳	۶۲۲۶۰۰	۶۳۳۹۲۲	۶۴۵۲۴۲	۶۵۶۵۶۱	۶۶۷۸۸۳	۶۷۹۲۰۰
X_{23}	۱۶۱۰۰۰	۱۶۴۲۲۱	۱۶۷۴۴۲	۱۷۰۶۶۳	۱۷۳۸۸۴	۱۷۷۱۰۰	۱۸۰۳۲۱	۱۸۳۵۴۲	۱۸۶۷۶۳	۱۸۹۹۸۲	۱۹۳۲۰۰

جدول شماره ۱۰.میزان تغییر X_{tmk} بر اساس سطوح مختلف حفاظت

Γ_{tmk}/X_{tmk}	۰	0/1	0/2	0/3	0/4	0/5	0/6	0/7	0/8	0/9	۱
X_{211}	۴۸۵۰۰	۴۹۴۷۰	۵۰۴۴۰	۵۱۴۱۰	۵۲۳۸۰	۵۳۳۵۰	۵۴۳۲۰	۵۵۲۹۰	۵۶۲۶۰	۵۷۲۳۰	۵۸۲۰۰
X_{221}	۴۱۷۰۰۰	۴۲۵۳۴۰	۴۳۳۶۸۰	۴۴۲۰۲۰	۴۵۰۳۶۰	۴۵۸۷۰۰	۴۶۷۰۴۰	۴۷۵۳۸۰	۴۸۳۷۲۰	۴۹۲۰۶۰	۵۰۰۴۰۰
X_{231}	۹۴۰۰۰	۹۵۸۸۰	۹۷۷۶۰	۹۹۶۴۰	۱۰۱۵۲۰	۱۰۳۴۰۰	۱۰۵۲۸۰	۱۰۷۱۶۰	۱۰۹۰۴۰	۱۱۰۹۲۰	۱۱۲۸۰۰
X_{212}	۱۵۰۰۰	۱۵۳۰۰	۱۵۶۰۰	۱۵۹۰۰	۱۶۲۰۰	۱۶۵۰۰	۱۶۸۰۰	۱۷۱۰۰	۱۷۴۰۰	۱۷۷۰۰	۱۸۰۰۰
X_{222}	۱۲۷۰۰۰	۱۲۹۵۴۰	۱۳۲۰۸۰	۱۳۴۶۲۰	۱۳۷۱۶۰	۱۳۹۷۰۰	۱۴۲۲۴۰	۱۴۴۷۸۲	۱۴۷۳۲۰	۱۴۹۸۶۰	۱۵۲۴۰۰
X_{232}	۲۷۰۰۰	۲۷۵۴۱	۲۸۰۸۲	۲۸۶۲۳	۲۹۱۶۴	۲۹۷۰۰	۳۰۲۴۱	۳۰۷۸۲	۳۱۳۲۳	۳۱۸۶۰	۳۲۴۰۰
X_{213}	۳۷۱۰۰	۳۵۴۲۸	۳۳۷۵۶	۳۲۰۸۴	۳۰۴۱۲	۲۸۷۴۰	۲۷۰۶۸	۲۷۳۶۶	۲۷۸۴۴	۲۸۳۲۲	۲۸۸۰۰
X_{223}	۱۱۰۰۰	۱۱۲۲۰	۱۱۴۴۰	۱۱۶۶۰	۱۱۸۸۰	۱۲۱۰۰	۱۲۳۲۰	۱۲۵۴۰	۱۲۷۶۰	۱۲۹۸۰	۱۳۲۰۰
X_{233}	۱۱۰۰۰	۱۱۲۲۰	۱۱۴۴۰	۱۱۶۶۰	۱۱۸۸۰	۱۲۱۰۰	۱۲۳۲۰	۱۲۵۴۰	۱۲۷۶۰	۱۲۹۸۲	۱۳۲۰۰
X_{214}	۲۴۰۰۰	۲۴۴۸۰	۲۴۹۶۰	۲۵۴۴۰	۲۵۹۲۰	۲۶۴۰۰	۲۶۸۸۰	۲۷۳۶۰	۲۷۸۴۰	۲۸۳۲۰	۲۸۸۰۰
X_{224}	۱۱۰۰۰	۱۱۲۲۲	۱۱۴۴۴	۱۱۶۶۱	۱۱۸۸۳	۱۲۱۰۰	۱۲۳۲۲	۱۲۵۴۰	۱۲۷۶۱	۱۲۹۸۳	۱۳۲۰۰
X_{234}	۲۹۰۰۰	۲۹۵۸۰	۳۰۱۶۰	۳۰۷۴۰	۳۱۳۲۰	۳۱۹۰۰	۳۲۴۸۰	۳۳۰۶۰	۳۳۶۴۰	۳۴۲۲۰	۳۴۸۰۰

جدول شماره ۱۱. میزان تغییر V_{tmk} بر اساس سطوح مختلف حفاظت

Γ_{tmk} / V_{tmk}	۰	0/1	0/2	0/3	0/4	0/5	0/6	0/7	0/8	0/9	۱
V_{211}	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
V_{221}	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
V_{223}	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
V_{212}	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
V_{222}	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
V_{232}	۳۴۷۱۰	۳۵۴۰۵	۳۶۱۰۰	۳۶۷۹۵	۳۷۴۸۹	۳۸۱۸۱	۳۸۸۷۶	۳۹۵۷۱	۴۰۲۶۶	۴۰۹۵۸	۴۱۶۵۲
V_{213}	۱۲۰۷۰	۱۲۰۷۰	۱۲۰۷۰	۱۲۰۷۰	۱۲۰۷۰	۱۲۰۷۰	۱۲۰۷۰	۱۲۲۶۷	۱۲۴۸۲	۱۲۶۹۷	۱۲۹۱۲
V_{223}	۶۰۰۲۰	۶۱۲۲۲	۶۲۴۲۴	۶۳۶۲۲	۶۴۸۲۵	۶۶۰۲۲	۶۷۲۲۴	۶۸۴۲۳	۶۹۶۲۴	۷۰۸۲۶	۷۲۰۲۴
V_{233}	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
V_{214}	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
V_{224}	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
V_{234}	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰

جدول شماره ۱۲. میزان تغییر Q'_{ti} بر اساس سطوح مختلف حفاظت

Γ_{ti}/ Q'_{ti}	۰	0/1	0/2	0/3	0/4	0/5	0/6	0/7	0/8	0/9	۱
Q'_{21}	۳۹۶۹۰۱	۴۱۵۹۰۲	۴۳۴۸۸۸	۴۵۳۸۷۵	۴۶۰۱۱۰	۴۵۹۲۱۵	۴۹۶۶۰۳	۴۵۷۳۸۰	۴۵۶۴۷۰	۴۵۵۵۶۲	۴۵۴۶۵۳
Q'_{22}	۲.۹۴۳۶	۲.۹۵۲۷	۳.۸۵۷	۲.۶۴۳۸	۲.۹۵۲۷	۲.۹۵۲۷	۲.۹۵۲۷	۲.۹۵۲۷	۳.۰۳۵	۲.۸۸۶	۳.۹۳۱۹
Q'_{23}	۵۱۲.۵۸	۵۱۲.۵۸	۵۱۲.۵۸	۵۱۲.۵۸	۵۱۲.۵۸	۵۱۲.۵۸	۵۱۲.۵۸	۵۱۲.۵۸	۵۱۲.۵۸	۵۱۲.۵۸	۵۱۲.۵۸
Q'_{24}	۶۸۰۵۷	۶۸۰۵۷	۶۸۰۵۷	۶۸۰۵۷	۶۸۰۵۷	۶۸۰۵۷	۶۸۰۵۷	۶۸۰۵۷	۶۸۰۵۷	۶۸۰۵۷	۶۸۰۵۷
Q'_{25}	۱۳۶۳۱۲	۱۳۶۳۲۲	۱۳۶۳۲۲	۱۳۶۳۲۲	۱۳۶۳۲۲	۱۳۶۳۲۲	۱۳۶۳۲۱	۱۳۶۳۲۱	۱۳۶۳۲۲	۱۳۶۳۲۲	۱۳۶۳۲۲
Q'_{26}	۳.۸۶۱۴	۱.۱۶۴۶	۱.۰۴۶۵	۱.۰۴۶۵	۱.۴۸۵	۱.۳۴۹۹	۱.۷۰۸۹	۱.۱۶	۱.۰۴۶۵	۱.۰۴۶۵	۱.۰۴۶۵
Q'_{27}	۱۹۶۲.۹	۱۹۶۲.۹	۱۹۶۲.۹	۱۹۶۲.۹	۱۹۶۲.۹	۱۹۶۲.۹	۱۹۶۲.۹	۱۹۶۲.۹	۱۹۶۲.۹	۱۹۶۲.۹	۱۹۶۲.۹
Q'_{28}	۲۹۴۶۱۲	۲۹۴۶۱۲	۲۹۴۶۱۲	۲۹۴۶۱۲	۲۹۴۶۱۲	۲۹۴۶۱۲	۲۹۴۶۱۲	۲۹۴۶۱۲	۲۹۴۶۱۲	۲۹۴۶۱۲	۲۹۴۶۱۲
Q'_{29}	۳۰۳۰۰	۳۰۳۰۰	۳۰۳۰۰	۳۰۳۰۰	۴۳۰۵۲	۶۲۹۳۱	۴۴۵۵۱	۱۰۲۵۶۷	۱۲۲۲۴۷	۱۴۱۹۳۱	۱۶۱۶۰۷
$Q'_{2\,10}$	۵۶.۶۸۷	۵۶.۶۸۷	۵۶.۶۸۷	۵۶.۶۸۷	۵۶.۶۸۷	۵۶.۶۸۷	۵۶.۶۸۷	۵۶.۶۸۷	۵۶.۶۸۷	۵۶.۶۸۷	۵۶.۶۸۷

۲.۵. بررسی کیفیت جواب‌ها

در این قسمت به منظور اثبات استوارسازی صحیح و همچنین ارائه اطلاعاتی پیرامون چگونگی توازن بین سطح ریسک در سطح مختلف حفاظت، مدل استوار نیز مورد شبیه‌سازی قرار گرفت. در گفتاری ساده شبیه‌سازی را می‌توان تولید تکرارهایی از واقعیت‌های موجود در طبیعت بیان کرد. در این پژوهش به منظور دستیابی به میزان نقض محدودیت‌ها در هر حالت مقادیر متغیرهای حاصله از هر بار حل مدل، ثابت لحاظ شدند و پارامترهای نامطمئن در بازه درنظرگرفته شده، به طور تصادفی در قالب تابع توزیع یکنواخت برای 10000 بار تولید و شبیه‌سازی شدند. عمل شبیه‌سازی مدل استوار برتسیمس و سیم، به صورت معکوس حل مدل اتفاق خواهد افتاد. به‌طوریکه در عمل شبیه‌سازی مقادیر متغیرها که از حل مدل بدست آمده ثابت فرض می‌شوند و مقادیر پارامترهای نامطمئن به‌صورت تصادفی در قالب یک توزیع یکنواخت تولید می‌شوند.

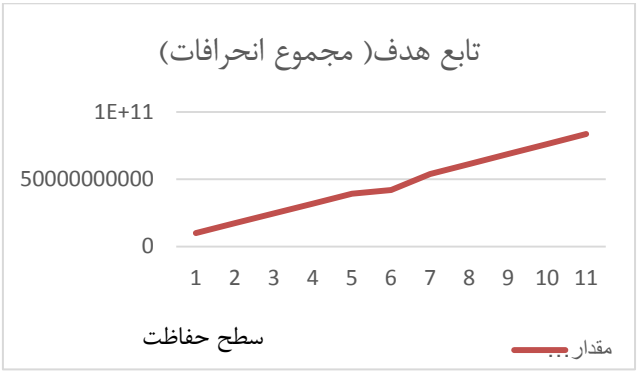
مدل‌های استوار به نحوی عمل می‌کند که سطح ریسک تصمیم در ازای افزایش سطح حفاظت، کاهش می‌یابد. جدول شماره ۱۳ بیانگر ۱۰۰۰۰ بار شبیه‌سازی مدل استوار با پارامترهای نامطمئن بوده که به ازای هر سطح حفاظت صورت گرفته است:

جدول شماره ۱۳. نتایج حاصل از شبیه‌سازی به ازا سطوح مختلف حفاظت

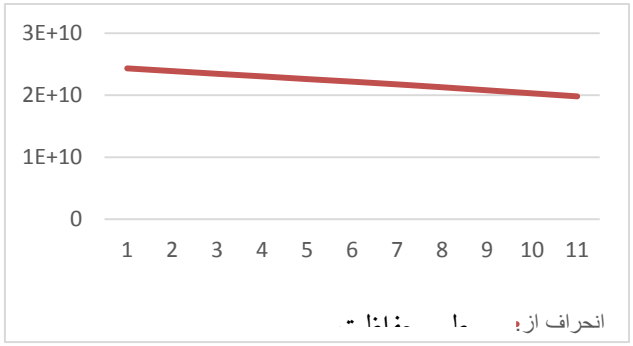
سطح حفاظت(Γ)	محدودیت نقض شده	کل محدودیت	درصد ریسک مدل
صفر	۲۳۹۹۳۴	۲۴۰۰۰۰	۹۹.۹۷٪
۰/۱	۲۰۶۹۹۴	۲۴۰۰۰۰	۸۶.۲۵٪
۰/۲	۱۸۳۷۱۶	۲۴۰۰۰۰	۷۶.۵۵٪
۰/۳	۱۶۰۹۲۰	۲۴۰۰۰۰	۶۷.۰۵٪
۰/۴	۱۳۸۱۴۰	۲۴۰۰۰۰	۵۷.۵۶٪
۰/۵	۱۱۵۱۶۷	۲۴۰۰۰۰	۴۷.۹۹٪
۰/۶	۹۵۴۴۴	۲۴۰۰۰۰	۳۹.۷۷٪
۰/۷	۷۲۰۲۱	۲۴۰۰۰۰	۳۰.۰۱٪
۰/۸	۴۷۹۹۵	۲۴۰۰۰۰	۲۰.۰۰٪
۰/۹	۲۳۷۵۷	۲۴۰۰۰۰	۹.۹۰٪
۱	۰	۲۴۰۰۰۰	۰.۰۰٪

در این قسمت به تحلیل نتایج در سطح کلان(توابع هدف و آرمان‌ها) و عملیاتی پرداخته شده‌است. به منظور تحلیل بهتر اطلاعات ارائه شده، در جداول بالا، برخی نمودارهای مرتبط با آن‌ها در زیر ارائه خواهند شد.

۳.۵. تحلیل نتایج حل مدل استوار در سطح کلان



شکل ۳. رابطه سطح حفاظت و تابع هدف مدل استوار (مجموع انحرافات)



شکل ٤. رابطه سطح حفاظت و انحراف از آرمان اول

همان‌طور که در شکل‌های ۳ و ۴ ملاحظه می‌گردد، با افزایش سطح حفاظت مقدار انحرافات و همچنین تابع هدف (مجموع انحرافات) بدتر می‌شود که این امر با منطق ریاضیاتی استوارسازی مدل کاملاً سازگار است.

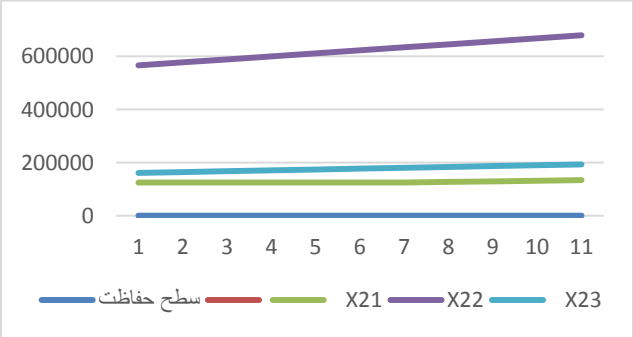
به‌نحوی‌که هرچقدر که تصمیم‌گیرنده بخواهد عدم اطمینان بیشتری را برای مدل در نظر بگیرد، جواب‌های محافظه‌کارانه‌تری را دریافت خواهد نمود.همان‌طور که در نمودارها نشان داده شده‌است، انحراف آرمان اول تا حدودی کاهش می‌یابد و این به دلیل ماهیت افزایشی تابع هدف اول است.در سه نمودار بعد با افزایش سطح حفاظت با توجه به

ماهیت کمینه بودن توابع هدف، مقدار انحراف از آرمان دوم، سوم و پنجم افزایش‌یافته است یعنی مقدار انحرافات بدتر شده‌است.

همچنین مقدار تابع هدف (کل انحرافات) نیز با افزایش سطح حفاظت، به‌طور فراوانی بدتر شده‌است.

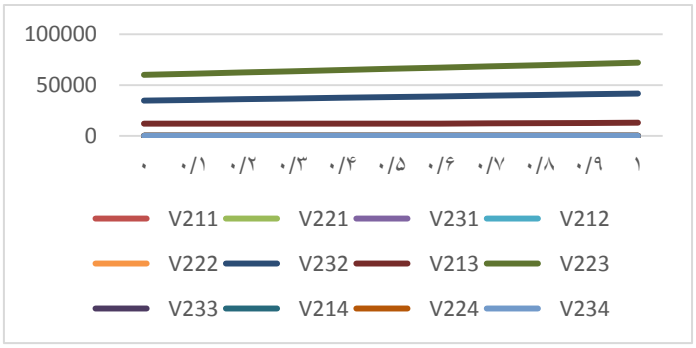
٤.٥. تحلیل نتایج حل مدل استوار در سطح عملیاتی

در این قسمت متناظر با جداول ارائه شده در بخش قبل شد، برخی از نمودارها ارائه و تحلیل می‌شوند.



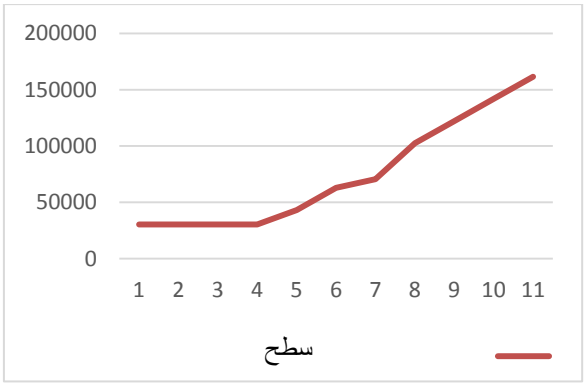
شکل ۵. مقدار محصول تولیدشده X_{tm} به ازا سطوح مختلف حفاظت

شکل ۵ رابطه بین سطح حفاظت و مقدار کالای تولیدشده در کارخانه (و یا با توجه به محدودیت ۵ در مدل قطعی) مقدار کالای ارسال‌شده به هر یک از مشتریان را نشان می‌دهد. همان‌طور که در نمودار مشاهده می‌شود مقدار X_{22} (تولید محصول دوم در دوره دوم) در حالت مدل قطعی – سطح حفاظت صفر، ۵۶۶۰۰۰ است و این مقدار با افزایش سطح حفاظت افزایش می‌یابد، به‌عبارت‌دیگر با افزایش سطح حفاظت، کارخانه مقدار بیشتری تولید می‌کند؛ دلیل این امر افزایش احتیاط یا محافظه نگری بیشتر ناشی از افزایش سطح حفاظت است که موجب می‌شود کارخانه مقدار محصول بیشتری را تولید کند تا بتواند کنترل بهتری بر پدیده عدم قطعیت در تأمین نیاز مشتری داشته باشد تا بتواند تقاضا مشتریان را تأمین کند.



شکل ٦. میزان محصولات بازگشتی بر اساس سطوح مختلف حفاظت

در شکل ۶ مشاهده می‌شود که با افزایش سطح حفاظت میزان کالای بازگشتی از هر یک از مشتریان نیز افزایش می‌یابد، به‌طوری‌که مقدار بازگشت محصول دو در حالت قطعیت کامل از مشتری سوم در دوره دوV_{223}، ۶۰۰۲۰ است و با افزایش عدم قطعیت این مقدار نیز افزایش می‌یابد و دلیل آن را می‌توان در این مسئله ردیابی کرد که با افزایش مقدار تولید، مقدار بازگشت که درصدی از مقدار تولید است نیز افزایش خواهد یافت.

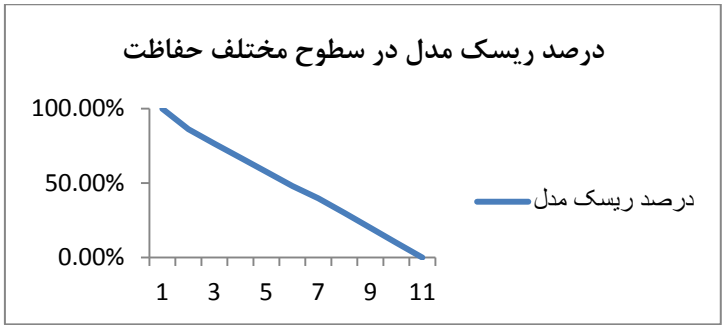


شکل ۷. میزان قطعه دریافت شده ۹ از کلیه تأمین‌کنندگان بر اساس سطوح مختلف حفاظت

در شکل ۷ که به‌عنوان نمونه رابطه بین قطعه ۹ دریافت شده از تأمین‌کنندگان و سطح حفاظت را نشان می‌دهد، مشاهده می‌شود که با افزایش سطح حفاظت مقدار قطعات خریداری‌شده از تأمین‌کننده‌ها افزایش می‌یابد چراکه با افزایش محافظه‌کاری کارخانه در تولید و تأمین تقاضا مشتری‌ها، تصمیم‌گیرنده ترجیح می‌دهد که مقدار قطعه بیشتری را از

هر یک از تأمین‌کننده‌ها خریداری کند تا مطمئن شود که به تقاضا تمامی مشتریان به نحو مطلوبی پاسخ داده است.

۵. ۵. تحلیل نتایج شبیه‌سازی



نمودار شماره ۸. شبیه‌سازی بر اساس سطوح مختلف حفاظت

در نمودارشکل ۸ ملاحظه می‌گردد که هر چه سطح محافظه‌کاری بالاتری اتخاذ شود، احتمال نقض محدودیت‌ها (سطح ریسک تصمیم) کاهش می‌یابد که انطباق این امر بر مفهوم مدل‌سازی استوار، بیانگر استوارسازی صحیح مدل می‌باشد.

٦. نتیجه‌گیری

طراحی مدل‌های ریاضی زنجیره تأمین از جمله تصمیمات استراتژیک و عملیاتی و تاکتیکی محسوب می‌شود که به تصمیماتی از قبیل تعداد محصولات و قطعات در هر نقطه از زنجیره، انتخاب تامین‌کننده و میزان خرید از آن‌ها و ... می‌پردازد. با توجه به اهمیت روز افزون لجستیک معکوس و پیاده سازی آن، طراحی مدل ریاضی زنجیره تأمین با حلقه بسته که به تصمیماتی از قبیل تعیین تعداد قطعات در هر نقطه زنجیره مستقیم و معکوس، ارزیابی و انتخاب تامین‌کننده و پیمانکاران بازسازی و تخصیص کالا به آن‌ها در زنجیره معکوس اشاره دارد، مورد توجه بیش از پیش محققان قرار گرفته است.

از این رو بر آن شدیم تا در این مطالعه بر اساس فضای موجود در ادبیات موضوع طراحی شبکه لجستیک معکوس و همچنین کاربردپذیری آن در دنیای واقعی، مدلی جامع

ارائه شود. ماحصل این تحقیق مدلی دو مرحله‌ای در مورد طراحی مدل ریاضی زنجیره تأمین با حلقه بسته می‌باشد. به طوری که در مرحله اول انتخاب تامین‌کننده و پیمانکار (تصمیمات استراتژیک) لحاظ شود و در مرحله دوم مدل ریاضی عدد صحیح مختلط چند هدفه و چند دوره‌ای برای زنجیره تأمین با حلقه بسته (تصمیمات عملیاتی) طراحی شود و عدم قطعیت تقاضا را از طریق مدل‌سازی استوار در نظر بگیرد تا از این طریق مدل به واقعیت نزدیک تر باشد و تصمیمات کاراتری اتخاذ گردد. شایان ذکر است که تمرکز این مدل بر روی صنایع با محصولات بازیافت‌پذیر است ولی با اندکی تغییرات، این مدل قابلیت انطباق با صنایع دیگر را نیز دارا است.

با توجه به جواب‌های حاصل از مدل و استفاده از نظر خبرگان در مورد جواب‌های حاصل شده و مقایسه آن با وضع موجود، کارایی مدل تحقیق در بهبود تصمیم‌گیری‌های زنجیره تأمین با حلقه بسته ثابت شد. همچنین این مدل در مقایسه با مدل‌های موجود در ادبیات حائز مزیت است که می‌توان موارد زیر را بیان نمود:

از جمله مزیت درونی مدل، تحصیل تمامی مزایای کلی‌نگری ناشی از یکپارچه‌سازی و همچنین خرید کالا بر حسب نیاز زنجیره و با در نظر گرفتن عواملی همچون میزان موجودی پایه، مقدار قطعات بازگشتی به زنجیره است. در نتیجه موجودی مواد اولیه خام در انبار مواد اولیه کاهش یافته و این عدم انباشت موجودی هزینه‌های نگهداری مواد اولیه در انبار را کاهش داده است، باعث کاهش قیمت تمام شده کالا می‌گردد و نهایتاً برای سازمان سود چشمگیری را در پی خواهد داشت.

از آنجا که اکثر مقالات موجود در ادبیات تنها به بررسی حوزه تصمیمات استراتژیک در مدل‌سازی زنجیره تأمین با حلقه بسته پرداخته‌اند، مقالات اندکی در زمینه طراحی مدل ریاضی لجستیک معکوس، مدل‌های دو یا چندهدفه ارائه داده‌اند. (پیشوایی، فراهانیو دلارت، ۲۰۱۰؛ دو و ایوانز ۲۰۱۰، وارت و کمار، ۲۰۰۸)، استفاده از مدل آرمانی طراحی شده این امکان را به شرکت می‌دهد تا به جای دنبال کردن یک هدف خاص برای مثال کاهش هزینه‌ها، چندین هدف مختلف و گاها متضاد را در همزمان نظر بگیرد که مدل به دنیای واقع نزدیک‌تر باشد. بدیهی است که مدل فوق با توجه به اوزان اهمیت اهداف و

سایر محدودیت‌ها تا آنجا که ممکن است اهداف مورد نظر را برآورده می‌سازد.

از جمله فواید دیگر توجه به زنجیره تأمین با حلقه بسته می‌توان به حداکثرسازی استفاده از منابع طبیعی، کاهش قیمت تمام شده محصولات، افزایش رضایت مشتری و کاهش آلایندگی زیست محیطی اشاره کرد.لذا طراحی کارای مدل ریاضی زنجیره تأمین با حلقه بسته می‌تواند منجر به ایجاد یک مزیت رقابتی پایدار برای سازمان شود.

در طول دهه‌های اخیر وقوع اختلالات ناگهانی و عدم قطعیت و موضوع مقابله با آن‌ها به یک چالش بزرگ برای سازمان‌ها تبدیل شده‌است. بر این اساس، توجه به این امر در طراحی مدل‌های زنجیره تأمین می‌تواند به واسطه تصمیمات اتخاذ شده منجر به اثرات مثبت بلند مدت مثبتی شود. وجود این امر مضاف بر نامشخص بودن احتمال هر یک از سناریوهای ممکن از مدل‌های استوار برای حل مسئله زنجیره تأمین با حلقه بسته استفاده شد.

از آنجایی که این مقاله، اولین پژوهشی است که به طراحی یکپارچه مدل ریاضی زنجیره تأمین با حلقه بسته در دو مرحله، به طوری که همه سطوح تصمیم‌گیری (استراتژیک، تاکتیکی و عملیاتی) را در بربگیرد، پرداخته است و به منظور غلبه بر ابهام و عدم قطعیت موجود در زنجیره تأمین با حلقه بسته در مرحله اول از تکنیک فازی و در مرحله دوم از تکنیک ربات استفاده کرده است، بنابراین نتایج این پژوهش علاوه بر غنی‌ترسازی ادبیات در این حوزه، می‌تواند به‌عنوان خط مشی برای محققان و علاقه‌مندان باشد تا در مطالعات خود به بررسی موارد ذیل بپردازند:

ارائه روش‌هایی کارا و منطقی به منظور تعیین تعداد حالات لحاظ شده سطوح حفاظت.

در این تحقیق با استفاده از یکی از رویکردهای حل مدل‌های استوار که دارای کارایی بالایی است به حل مدل پرداخته شده‌است که می‌توان با توجه به رویکردهای گوناگونی که در فصل دوم به تفصیل بحث شد، به حل مدل پرداخت.

لحاظ کردن عدم قطعیت در پارامترهای دیگر: با توجه به عدم قطعیت در پارامترهایی نظیر هزینه، تقاضا، لحاظ کردن عدم قطعیت در اینگونه پارامترها مدل را به شرایط واقعی نزدیکتر می‌کند.

رویکردهای سناریویی در مدل‌های استوار را که دارای شرایط ابهام و عدم قطعیت‌اند را با مدل‌های فازی ترکیب کرد و به حل مدل‌های ترکیبی پرداخت و یا هر کدام را به طور مجزا حل کرد و نتایج آن را با هم مقایسه نمود.

استفاده از سایر فنون وزن‌دهی به معیارهای ارزیابی تامین‌کننده‌ها

اکثر محققین به منظور طراحی مدل‌های ریاضی زنجیره تأمین با حلقه بسته سعی نموده‌اند تا هزینه‌های کلی طراحی شبکه و هزینه‌های اضافی منتج شده از اختلالات را کمینه کنند. گرچه در نظر گرفتن اهداف دیگری همچون پاسخگویی و مسئولیت اجتماعی در کنار تابع هزینه می‌تواند منجر به خروجی‌های ارزشمند با کاربرد بالا در دنیای واقعی شود. بنابراین توسعه مدل‌هایی با توانایی‌های مذکور می‌تواند به‌عنوان یک خط مشی جذاب برای تحقیقات آتی تبدیل شود.

منابع

۱- آقا محمدعلی کرمانی، مهرداد، حکیمی، مهرداد و علی احمدی، محمدهادی. (۱۳۸۸). انتخاب تامین‌کننده در زنجیره تأمین در فضای فازی. مدیریت فردا، ۲۱، ۷۴–۸۸.

۲- آذر، عادل و حسینی، اکرم. (۱۳۹۳). طراحی مدل برنامه ریزی تولید چندمحصولی در زنجیره تأمین براساس رویکرد برنامه‌ریزی آرمانی (مطالعه‌ی موردی: گروه صنعتی برنز). مطالعات مدیریت صنعتی, ۱۲(۳۴), ۱–۱۷.

۳- آذر، عادل و موسوی، فاضل. (۱۳۹۳). طراحی مدل احتمالی و استوار یکپارچه سه مرحله ای برای انتخاب تامین کننده با رویکرد عدم قطعیت. تحقیق در عملیات و کاربردهای آن(ریاضیات کاربردی), ۱۱(۱), ۱–۱۸

۴- میرغفوری.ح. (۱۳۸۲). طراحی مدل ریاضی زنجیره عرضه صنایع لاستیک سازی ایران. رساله دکتری مدیریت، دانشگاه تربیت مدرس

1- Aksoy, A., & Öztürk, N. (2011). Supplier selection and performance evaluation in just-in-time production environments. *Expert Systems with Applications*, *38*(5), 6351–6359.

2- Amin, S. H., & Razmi, J. (2009). An integrated fuzzy model for supplier management: A case study of ISP selection and evaluation. *Expert Systems with Applications*, *36*(4), 8639–8648.

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

4- Cheng, M.-Y., Tsai, H.-C., & Sudjono, E. (2011). Evaluating subcontractor performance using evolutionary fuzzy hybrid neural network. *International Journal of Project Management*, *29*(3), 349–356.

5- Clark, D., & Takahashi, Y. (2011). Quake disrupts key supply chains. *The Wall Street Journal Asia, March*, *12*.

6- Davis, T. (1993). Effective Supply Chain Management. *Sloan Management Review*, *34*, 35–46.

7- Du, F., & Evans, G. W. (2008). A bi-objective reverse logistics network analysis for post-sale service. *Computers and Operations Research*, *35*(8), 2617–2634.

8- El-Sayed, M., Afia, N., & El-Kharbotly, a. (2010). A stochastic model for forward-reverse logistics network design under risk. *Computers and Industrial Engineering*, *58*(3), 423–431.

9- Francas, D., & Minner, S. (2009). Manufacturing network configuration in supply chains with product recovery. *Omega*, *37*(4), 757–769. http://doi.org/10.1016/j.omega.2008.07.007

10- Gencer, C., & Gürpinar, D. (2007). Analytic network process in supplier selection: A case study in an electronic firm. *Applied Mathematical Modelling*, *31*(11), 2475–2486.

11- Gunasekaran, A., Sarkis, J., Talluri, S., & Gunasekaran, A. (2007). A strategic model for agile virtual enterprise partner selection. *International Journal of Operations & Production Management*, *27*(11), 1213–1234.

12- Hadi-Vencheh, A., & Niazi-Motlagh, M. (2011). An improved voting analytic hierarchy process–data envelopment analysis methodology for suppliers selection. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, *24*(3), 189–197.
13- Håkansson, H., & Snehota, I. (2006). No business is an island: The network concept of business strategy. *Scandinavian Journal of Management*, *22*(3), 256–270.
14- Hanafizadeh, P., & Sherkat, M. H. (2009). Designing fuzzy-genetic learner model based on multi-agent systems in supply chain management. *Expert Systems with Applications*, *36*(6), 10120–10134.
15- Hassanzadeh Amin, S., & Zhang, G. (2012). An integrated model for closed-loop supply chain configuration and supplier selection: Multi-objective approach. *Expert Systems with Applications*, *39*, 6782–6791.
16- Heidarzade, A., Mahdavi, I., & Mahdavi-amiri, N. (2016). Supplier selection using a clustering method based on a new distance for interval type-2 fuzzy sets : A case study, *38*, 213–231.
17- Hudymáčová, M., Benková, M., Pócsová, J., & Škovránek, T. (2010). Supplier selection based on multi-criterial AHP method. *Acta Montanistica Slovaca*, *15*(3), 249.
18- Inderfurth, K. (2005). Impact of uncertainties on recovery behavior in a remanufacturing environment: a numerical analysis. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, *35*(5), 318–336.
19- Kahraman, C., & Kaya, İ. (2010). Supplier selection in agile manufacturing using fuzzy analytic hierarchy process. In *Enterprise networks and logistics for agile manufacturing* (pp. 155–190). Springer.
20- Kim, K., Song, I., Kim, J., & Jeong, B. (2006). Supply planning model for remanufacturing system in reverse logistics environment. *Computers and Industrial Engineering*, *51*(2), 279–287.
21- Klibi, W., Martel, A., & Guitouni, A. (2010). The design of robust value-creating supply chain networks: a critical review. *European Journal of Operational Research*, *203*(2), 283–293.
22- Liao, T. W. (2015). Two interval type 2 fuzzy TOPSIS material selection methods. *Materials & Design*, *88*, 1088–1099.
23- Lieckens, K., & Vandaele, N. (2007). Reverse logistics network design with stochastic lead times. *Computers and Operations Research*, *34*(2), 395–416.
24- Liste, O. (2007). A generic stochastic model for supply-and-return network design, *34*, 417–442.
25- Pati, R. K., Vrat, P., & Kumar, P. (2008). A goal programming model for paper recycling system. *Omega*, *36*(3), 405–417.
26- Peidro, D., Mula, J., Poler, R., & 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.
27- Perić, T., Babić, Z., & Veža, I. (2013). Vendor selection and supply quantities determination in a bakery by AHP and fuzzy multi-criteria programming. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, *26*(9), 816–829.
28- Pishvaee, M. S., Farahani, R. Z., & Dullaert, W. (2010). A memetic algorithm for bi-objective integrated forward/reverse logistics network design. *Computers and Operations Research*, *37*(6), 1100–1112.
29- Pishvaee, M. S., Jolai, F., & Razmi, J. (2009). A stochastic optimization model

for integrated forward/reverse logistics network design. *Journal of Manufacturing Systems*, *28*(4), 107–114.

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

31- Qin, Z., & Ji, X. (2010). Logistics network design for product recovery in fuzzy environment. *European Journal of Operational Research*, *202*(2), 479–490.

32- Rezaei, J., & Ortt, R. (2012). A multi-variable approach to supplier segmentation. *International Journal of Production Research*, *50*(16), 4593–4611.

33- Salema, M. I. G., Barbosa-Povoa, A. P., & Novais, A. Q. (2007). An optimization model for the design of a capacitated multi-product reverse logistics network with uncertainty. *European Journal of Operational Research*, *179*(3), 1063–1077.

34- Selim, H., & Ozkarahan, I. (2008). A supply chain distribution network design model: An interactive fuzzy goal programming-based solution approach. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, *36*(3-4), 401–418.

35- Şen, C. G., Baraçli, H., Şen, S., & Başligil, H. (2009). An integrated decision support system dealing with qualitative and quantitative objectives for enterprise software selection. *Expert Systems with Applications*, *36*(3 PART 1), 5272–5283.

36- Şen, S., Başligil, H., Şen, C. G., & Baracli, H. (2008). A framework for defining both qualitative and quantitative supplier selection criteria considering the buyer–supplier integration strategies. *International Journal of Production Research*, *46*(7), 1825–1845.

37- Sheu, J. B., Chou, Y. H., & Hu, C. C. (2005). An integrated logistics operational model for green-supply chain management. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, *41*(4), 287–313.

38- Shi, J., Zhang, G., & Sha, J. (2011). Optimal production planning for a multi-product closed loop system with uncertain demand and return. *Computers and Operations Research*, *38*(3), 641–650.

39- Shi, J., Zhang, G., Sha, J., & Amin, S. H. (2010). Coordinating Production and Recycling Decisions With Stochastic Demand and Return. *Journal of Systems Science and Systems Engineering*, *19*(4), 385–407.

40- Tam, M. C. Y., & Tummala, V. M. R. (2001). An application of the AHP in vendor selection of a telecommunications system. *Omega*, *29*(2), 171–182.

41- Vinodh, S., Ramiya, R. A., & Gautham, S. G. (2011). Application of fuzzy analytic network process for supplier selection in a manufacturing organisation. *Expert Systems with Applications*, *38*(1), 272–280.

42- Wood, D. A. (2016). Journal of Natural Gas Science and Engineering Supplier selection for development of petroleum industry facilities , applying multi-criteria decision making techniques including fuzzy and intuitionistic fuzzy TOPSIS with fl exible entropy weighting. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, *28*, 594–612.

43- Wu, C., & Barnes, D. (2010). Formulating partner selection criteria for agile supply chains: A Dempster-Shafer belief acceptability optimisation approach. *International Journal of Production Economics*, *125*(2), 284–293.

44- Zhang, G., & Ma, L. (2009). Optimal acquisition policy with quantity discounts and uncertain demands. *International Journal of Production Research*, *47*(9), 2409–2425.