ترکیب بهینه‌سازی استوار و مدیریت ریسک در طراحی شبکه زنجیره تأمین سبز حلقه بسته

معصومه ایوزی

دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی صنایع و مکانیک واحد قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران.
m.ayoozi@yahoo.com

علیرضا علی نژاد

دانشیار گروه مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی صنایع و مکانیک واحد قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران.(مسئول مکاتبات)*

چکیده: یکی از مهمترین عوامل تأثیرگذار در طراحی زنجیره تأمین کارامد، کاهش هزینه‌های اقتصادی می‌باشد. از سوی دیگر با افزایش حجم گازهای گلخانه‌ای و آلاینده‌ها، مدیران سازمان‌ها و محققان در پی طراحی و راه‌اندازی شبکه‌هایی برآمدند که علاوه بر بهینه‌سازی اقتصادی بر عوامل زیست‌محیطی و کاهش آلاینده‌ها در همه بخش‌ها، تمرکزی ویژه داشته باشند علاوه بر این دو مورد، از عوامل تأثیرگذار دیگر در زنجیره‌تأمین می‌توان به زمان تحویل کالا اشاره نمود. در این تحقیق یک مدل یکپارچه لجستیک مستقیم و معکوس با در نظر گرفتن سه تابع هدف کمینه نمودن اثرات زیست محیطی، هزینه‌های اقتصادی و زمان تحویل که از نوآوری های این تحقیق است مورد مطالعه قرار گرفته است.

عدم قطعیت در این مدل از طریق استوار بودن روش حل در نظر گرفته شده است، سناریوهای محتمل نیز با استفاده از ابزارهای متداول مدیریت ریسک شناسایی و ارزیابی گردیده‌اند. سپس با درنظر گرفتن پارامترهای غیرقطعی، مدل استوار سناریو محور مساله ارائه گردیده است و با جایگذاری خروجی‌های حاصل از ارزیابی ریسک (**RPN** نرمال شده) در مدل به جای وقوع هر یک از سناریوها مدل تکمیل شده و به کمک نرم افزار **GAMS** و از طریق روش **LP** متریک به یک مدل تک هدفه تبدیل و حل گردیده است. در نهایت می‌توان گفت که با ترکیب نمودن ارزیابی ریسک و بهینه‌سازی استوار یک زنجیره تأمین کارامد قابل طراحی می باشد که از نوآوری های دیگر تحقیق می باشد.

کلمات کلیدی: زنجیره‌تأمین حلقه بسته، زنجیره‌تأمین سبز، بهینه‌سازی استوار، مدیریت ریسک

۱- مقدمه

امروزه با توجه به پیشرفت تکنولوژی و رقابتی بودن بازار، زنجیره های تأمین با یکدیگر رقابت می‌کنند و به عبارتی یک زنجیره تأمین موثر، کارامد و قوی، یک مزیت رقابتی پایدار برای کشورها و شرکت‌ها به شمار می‌رود و به آنها در غلبه بر آشفتگی‌های محیطی زیاد و فشارهای رقابتی شدید تر کمک می‌کند. (A.Amiri,2006)

به همین دلیل طراحی مناسب و کارامد زنجیره تأمین به دغدغه اصلی مدیران و تصمیم‌گیرندگان تبدیل شده است. لذا یک طراحی مناسب شبکه زنجیره تأمین منجر به دستیابی به یک ساختار بهینه می‌گردد که این امر مدیریت موثر و رقابتی زنجیره تأمین را امکان‌پذیر می‌نماید. مفهوم زنجیره‌های تأمین حلقه بسته، درحال حاضر توجه زیادی را به خود جلب نموده است و از آنجاییکه زنجیره‌های تأمین پیشرو و معکوس باید هم‌زمان مدیریت شوند، ترکیب شبکه‌های زنجیره تأمین پیشرو و معکوس، تأثیر شدیدی بر عملکرد یکدیگر دارد. بنابراین، برای اجتناب از بهینگی‌های فرعی ناشی از طراحی جداگانه، شبکه‌های زنجیره‌تأمین پیشرو و معکوس باید ترکیب گردد.(Fleischmann et al.,2001).

از سوی دیگر جهان امروز با مسائلی چون گرم شدن زمین، انواع آلودگی‌ها و افزایش مقدار گازهای گلخانه‌ای مواجه است که این مسائل به طور بالقوه می‌تواند منجر به انقراض نوع بشر گردد. بنابراین حفظ محیط زیست و استراتژی‌های مربوط به آن خیلی زود در اولویت برنامه‌ها، به عنوان یک نوآوری مهم سازمانی قرار گرفت. سازمان از یک سو باید به سوددهی و مزیت رقابتی و

*(Correspondingauthor) alalinezhad@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۳/۱۹ / تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۹/۰۶
دوره ۹ / شماره ۲
صفحات: ۲۰۱-۱۸۶

ازسویی دیگر به از بین بردن یا به حداقل رساندن ضایعات (انرژی، تولیدگازهای گلخانه‌ای، مواد شیمیایی/خطرناک، مواد زائد جامد) توجه نماید و همین مسئله سبب شدکه ایده زنجیره تأمین سبز مطرح گردد و خیلی زود نظر همگان را به خود جلب نماید

بروز عواملی که منجر به ایجاد عدم قطعیت در زنجیره تأمین شده، موجب کاهش قابلیت تحمل زنجیره تأمین و افزایش آسیب‌پذیری آن می‌گردد. مدیریت ریسک زنجیره تأمین برای شناسایی و مقابله با این عدم قطعیت‌ها ضروری است.

جهت مدیریت عدم قطعیت حاکم بر زنجیره تأمین و داشتن اعتماد کافی به نتایج، برنامه ریزی قابل اتکا و استوار ضروری است تا مدیران بتوانند به نتایج آن اطمینان داشته باشند و ریسک تصمیم‌گیری آن‌ها کاهش یابد.

استفاده از رویکرد بهینه‌سازی در یک زنجیره تأمین حلقه بسته تحت شرایط عدم قطعیت موضوعی است که در این مقاله به منظور توسعه مدل‌های موجود، مورد بررسی قرار گرفته است. در بهینه‌سازی استوار نیازی به دانستن نوع تابع توزیع داده‌ها نیست و جواب برای تمامی سناریوها موجه است. در واقع در بهینه‌سازی استوار بهترین جواب از بین جواب‌هایی که برای همه سناریوها موجه هستند انتخاب می‌شود. (Ben-Tal et al.,2009).

لذا با توجه به اهمیت فراوان مباحث فوق بر آن شدیم که با استفاده از ترکیب بهینه‌سازی استوار و مدیریت ریسک به طراحی شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته سبز که زنجیره‌ای جدید می‌باشد بپردازیم.

در این مقاله یک مدل یکپارچه لجستیک مستقیم و معکوس تحت عنوان زنجیره تأمین حلقه بسته با در نظر گرفتن اثرات زیست محیطی (ECLSC) مورد مطالعه قرار گرفته است که شامل مراکز تولید متعدد، مراکز جمع‌آوری، مناطق تقاضا، و محصولات مختلف می‌باشد. مدل پیشنهادی متشکل از زنجیره تأمین رو به جلو و همچنین زنجیره تأمین معکوس می‌باشد. هزینه‌ها، تقاضا و زمان تحویل به عنوان پارامترهای غیر قطعی مدل فرض شده‌اند. در ابتدا مدل برنامه‌ریزی غیرخطی عدد صحیح مختلط و سه هدفه ارائه می‌گردد که تابع هدف اول برای کمینه نمودن هزینه‌های اقتصادی و تابع هدف دوم برای به حداقل رساندن هزینه‌های زیست محیطی و تابع هدف سوم جهت کمینه نمودن تأخیر در زمان تحویل فرمولبندی شده‌اند در مرحله بعد برای تبدیل مدل قطعی ارائه شده به مدل استوار سناریو محور از مدل معرفی شده توسط مالوی و همکارانش که در سال ۲۰۰۰ توسط مین و یو مورد بازنگری قرار گرفت استفاده می گردد، سپس مدل ارائه شده توسط روش LP متریک (یکی از روش‌های بهینه‌سازی تبدیل توابع چندهدفه به تک‌هدفه) به یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط تک‌هدفه تبدیل می‌شود از سوی دیگر ریسک‌های زنجیره تأمین به کمک روش‌های متداول شناسایی و ارزیابی ریسک، شناسایی می‌گردند و امتیازات ارزیابی ریسک بدست آمده در مدل استوار مسئله به جای سناریو ها جایگذاری می‌گردد و در نهایت مدل به کمک نرم افزار GAMS حل می‌گردد.

این‌تحقیق‌پاسخگوی‌سوالات زیرمی‌باشد :

چگونه می‌توان در زنجیره تأمین حلقه بسته سبز جریانات پیشرو و معکوس را به طور همزمان در نظرگرفت؟

چگونه می‌توان در یک زنجیره تأمین حلقه بسته سبز ریسک‌های مربوط به هزینه ها و تقاضارا مدیریت نمود؟

چگونه می‌توان با بهره‌گیری از مدیریت ریسک و بهینه‌سازی استوار به طراحی یک شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته سبز که شامل فرایندهای پیشرو و معکوس می‌باشدپرداخت؟

مفروضات مسئله به شرح زیر می باشد:

- مدل پیشنهادی به صورت تک دوره‌ای در نظر گرفته شده است.
- تمام محصولات برگشتی از مراکز تقاضا به مراکز جمع آوری فرستاده می شود.
- کارخانه‌ها به عنوان مراکز تولید، توزیع و احیا درنظر گرفته شده‌اند و دارای ظرفیت ثابتی می‌باشند. به دلیل مکانیابی برای این مراکز و همچنین مراکز جمع‌آوری، این مکان‌ها به صورت مکان‌های بالقوه درنظر گرفته شده‌اند.
- مکان تقاضا ثابت است.
- برای ساده‌سازی مسئله، هزینه نگهداری موجودی و همچنین هزینه سفارش نادیده گرفته شده است.

۲- مبانی نظری و مروری بر مطالعات گذشته

امروزه به دلیل اهمیت معیارهای زیست محیطی و همچنین تلاش سازمان‌ها به منظور استفاده موثر و کارا از محصولات تولیدی و حمایت از مصرف‌کنندگان، محققان توجه ویژه‌ای را به دو مقوله

طراحی زنجیره تأمین برگشتی و حلقه بسته منظور داشته‌اند. هدف اولیه از طرح موضوع، استفاده دوباره از کالاهای معیوب و یا مستعمل با فرایند بازیابی، جلوگیری از اتلاف بیشتر منابع، کاهش آلودگی‌های زیست محیطی و حصول سودآوری است که در کنار ملاحظات اجتماعی و تجاری دیگر مطرح می باشد.

در سال ۲۰۱۰، پن و ناگی بهینه‌سازی یکپارچه تدارکات و هزینه‌های تولید مربوط به اعضای زنجیره تأمین را موضوع کار خود قرار دادند. آن ها سه هدف کاهش هزینه‌های مورد انتظار، کاهش هزینه ناشی از عدم قطعیت در تقاضا و همچنین کاهش هزینه به دلیل تقاضای پس‌افت را مبنای کار خود قرار دادند و در مورد دو نوع متغیر، تصمیم‌گیری نمودند، متغیرهای باینری برای انتخاب شرکت‌ها در ایجاد زنجیره عرضه و متغیرهای پیوسته مرتبط به برنامه‌ریزی تولید. آن ها برای بهینه‌سازی مدل بهینه‌سازی استوار را مبنای کار خود قرار دادند. (Pan and Nagi.,2010)

در سال۲۰۱۱، پیشوایی و همکاران از جمله افرادی بودند که از مفهوم استواری زنجیره تأمین استفاده کردند. آنها عدم قطعیت موجود در تقاضا، هزینه‌ها و محصولات برگشتی شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته خود را به وسیله مجموعه عدم قطعیت جعبه‌ای در نظر گرفتند. (Pishvaee et al.,2011).

وحدانی و همکاران در سال ۲۰۱۲ یک مدل جدید برای طراحی یک شبکه زنجیره تامین حلقه بسته در شرایط عدم قطعیت ارائه دادند که برای این منظور، یک فرمول برنامه‌ریزی ریاضی دو هدفه توسعه داده شده است جهت به حداقل رساندن هزینه‌های کل و هزینه‌های حمل‌ونقل مورد انتظار پس از خرابی تسهیلات در یک شبکه تدارکات. برای حل این مدل، از یک روش جدید هیبرید که از ترکیب بهینه‌سازی استوار، نظریه صف و برنامه‌ریزی چندهدفه فازی حاصل شده استفاده شده است. (Vahdani et al.,2012).

در سال ۲۰۱۳، امین و ژنگ یک شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته شامل فرایندهای رو به جلو و معکوس که شامل چندین کارخانه، مراکز جمع‌آوری، بازار تقاضا، و محصولات می‌باشد را مورد بررسی قرار دادند و یک مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مرکب برای کمینه نمودن هزینه کل ارائه نمودند. این مدل توسط روش‌های تبدیل به قید و مجموع‌های وزن دار (w s m) توسعه داده شد. عوامل محیطی و همچنین تأثیر عدم قطعیت در تقاضا و بازگشت را روی شبکه مدل که شامل کارخانجات، مراکز تجمیع و بازارهای تقاضا می‌باشد، بررسی نمودند. (Amin and Zhang,2013).

در سال ۲۰۱۳، رمضانی و همکاران یک مدل چندهدفه جهت طراحی شبکه لجستیک در محیط نامطمئن که شامل سه سطح در جهت رو به جلو شامل (تأمین کنندگان، کارخانجات، و مراکز توزیع) و دو سطح در جهت برگشت شامل(مراکز جمع‌آوری و مراکز دفع) می‌باشد را در نظر گرفتند و به حداکثر رساندن سود، پاسخگویی مشتری و کیفیت به عنوان اهداف شبکه لجستیک مد نظر ایشان بود. (Ramezani et all.,2013).

آلتمن و بوگاسچیسکی در سال ۲۰۱۴ به ارائه یک مدل استوار در زنجیره تأمین حلقه بسته پرداختند. هدف از مدل، کمینه نمودن هزینه‌ها و به حداقل رساندن میزان دی‌اکسیدکربن می‌باشد. در مدل مطرح شده تقاضا و نسبت محصولات بازگشتی غیرقطعی درنظر گرفته شده است. (Altmann and Bogaschewsky.,2014)

در سال۲۰۱۵، ما و همکاران در مقاله خود، یک شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته که شامل کارخانجات، مراکز جمع‌آوری، مناطق تقاضا و محصولات متعدد است، را مورد بررسی قرار دادند. آنها ابتدا یک مدل برنامه‌ریزی غیرخطی عددصحیح چندهدفه ارائه نمودند. اولین تابع هدف به حداقل رساندن هزینه و تابع هدف دوم به حداقل رساندن تاثیر محیط زیست است عدم قطعیت در این مسئله به وسیله بهینه سازی استوار در نظر گرفته شده است. (MA et all.,2015).

طلایی و همکاران در سال ۲۰۱۶ یک مدل شبکه زنجیره‌تامین حلقه بسته سبز چند محصولی متشکل از مراکز تولید/ بازسازی ، مراکز بازرسی و مراکز تخریب و بازار را مورد بررسی قرار دادند و یک مدل برنامه‌ریزی خطی مختلط پیشنهاد دادند. هزینه‌ها و آثار زیست محیطی را کمینه نمودند و عدم قطعیت هزینه‌های متغیر و همچنین میزان تقاضا در طراحی شبکه را در نظرگرفته‌اند و برای حل مدل از رویکرد محدودیت استفاده شده است. (Talaei et al.,2016).

صفایی و همکاران در سال ۲۰۱۷ یک شبکه زنجیره عرضه حلقه بسته برای شبکه بازیافت با چند تامین‌کننده و مراحل تولید را در نظرگرفته است. یک مدل برنامه‌ریزی خطی مختلط برای بهینه سازی شبکه بازیافت پیشنهاد نموده است و رویکرد بهینه سازی استوار برای حل عدم قطعیت تقاضا در این شبکه مورد استفاده قرار می‌گیرد. این مدل سود کلی را به حداکثر می‌رساند. (Safaei et al.,2017).

سلیمانی و همکاران یک مسئله طراحی شبکه زنجیره‌تأمین حلقه بسته شامل تامین‌کنندگان، تولیدکنندگان، مراکز توزیع، مشتریان، انبار، بازگشت و بازیافت ارائه نمودند. این مسئله مستلزم سه انتخاب در مورد بازیافت محصول، بازیافت اجزا و یا مواد اولیه می‌باشد. اهداف مدل شامل بهینه‌سازی سود کلی و کاهش روزهای کاری از کار افتاده به دلیل حوادث شغلی می‌باشد. به منظور حل مدل، الگوریتم ژنتیک مورد استفاده قرار گرفته است و چندسناریو با جنبه‌های مختلف مورد مطالعه قرار گرفته است. حل این مدل تصمیم در مورد باز کردن یا بسته شدن هر یک از اجزای شبکه و جریان بهینه محصول را مشخص می‌نماید. (Soleimani et al.,2017).

باوجود تأثیرات زیاد ریسک زنجیره تأمین، این مفهوم موضوع جدیدی است که درگذشته توجه اندکی به آن شده است. طیف وسیعی از ریسک‌هایی که در زنجیره تأمین وجود دارند، ممکن است اثرات منفی بر عملکرد زنجیره وارد کنند؛ بنابراین، سازمان‌ها به منظور غلبه بر ریسک‌های زنجیره تأمین، باید از راهبردهای مناسب برای مدیریت و کنترل آنها استفاده کنند. این امر لزوم توجه به مدیریت ریسک در زنجیره را مشخص می‌کند.

اکنون تحقیقات و مطالعات متعددی به منظور شناسایی ریسک‌های زنجیره تأمین انجام شده است. اما علی‌رغم گستردگی ادبیات موضوع، به دلیل اینکه ریسک زنجیره‌تأمین مفهومی است که می‌توان آن را از زوایای متعدد بررسی نمود، توافق نهایی در این زمینه حاصل نشده و نتیجه‌ی واحدی راجع به ماهیت اینگونه ریسک‌ها ارائه نشده است.

تَنگ ریسک‌های زنجیره را به دو گروه ریسک های عملیاتی[1] و ریسک های شکست[2] تقسیم نموده است. ریسک‌های عملیاتی اشاره به عدم قطعیت‌های ذاتی نظیر تقاضای غیرقطعی مشتری و هزینه‌های غیرقطعی دارد و ریسک‌های شکست اشاره به شکست‌های زنجیره تأمین به دلیل وقوع حوادث طبیعی و انسانی نظیر زمین لرزه، سیل و یا بحران‌های اقتصادی و اعتصاب دارد، که در اغلب اوقات اثر و صدمات مربوط به ریسک‌های‌شکست بیش از ریسک‌های عملیاتی می‌باشد. (Tang.,2006).

گروهی از محققان از شبکه‌های پتری زمانی برای تحلیل زنجیره‌تأمین با درنظرگرفتن ریسک‌های مختلف استفاده نموده‌اند. آنها از تکنیک تجزیه و تحلیل حالت‌های خطا و آثار و وضع بحرانی[3] آنها برای شناسایی و ارزیابی ریسک‌ها استفاده نموده‌اند و اثر ریسک‌های مختلف بر روی سیستم و نیز تاثیر فعالیت‌های کاهش ریسک بر کارایی سیستم را مورد ارزیابی قرار داده‌اند (Tuncel and Alpan., 2010).

سان و هونیگ[4] به بررسی علمی و تجربی روش‌های مدیریت ریسک زنجیره‌تأمین پرداخته‌اند .آنها ۶۷ کارخانه تولیدی موجود در صنعت اتومبیل آلمان را مورد بررسی قرار داده‌اند. پس از بررسی محرک‌های کلیدی ریسک‌های موجود در زنجیره تأمین، ریسک‌های شناسایی شده را از طریق تحلیل و بررسی احتمال وقوع ریسک‌ها و اثرات احتمالی آنها بر زنجیره‌تأمین، ارزیابی نموده و نتایج را به صورت ماتریس احتمال اثر ترسیم نموده‌اند. سپس ابزار لازم برای مقابله با آنها را شناسایی کرده و اثر مدیریت ریسک را بر عملکرد سازمان مورد بررسی قرار داده‌اند.

برخی از محققان نیز الگوریتمی برای روبرو شدن با موضوع شبکه‌های جهانی چند مرحله‌ای با هدف بیشینه‌سازی سود و کمینه کردن ریسک پیشنهاد داده و در آن ریسک‌هایی نظیر ریسک ، تقاضا، نرخ مبادله ارز و شکست۵ را مورد بررسی قرار داده‌اند.(Goh et al.,2007).

یکی دیگر از موضوعات مهم در زنجیره مسئله عدم قطعیت می باشد که در ذیل به بررسی پژوهش ها و تحقیقات انجام شده در این خصوص پرداخته می شود.

در سال ۲۰۱۲، حسنی و همکاران مدل بهینه‌سازی جامعی با هدف حداکثر کردن سود پس از کسر مالیات در زنجیره‌تأمین حلقه بسته ارائه نمودند. مدل پیشنهادی دستگاه‌های پزشکی را تحت عدم قطعیت مورد بررسی قرار داده و رویکرد بهینه‌سازی استوار جهت قطعی‌سازی مدل را به کار برده است.(Hasani et al.,2012).

در سال ۱۳۹۱، بشیری و همکارانش رویکردی استوار جهت مکان‌یابی مجدد انبارهای زنجیره‌تأمین سه سطحی در شرایط عدم قطعیت ارائه نمودند. عدم قطعیت در پارامترها به صورت پارامترهای تصادفی گسسته تحت سناریوهای مختلف بررسی گردید و در نهایت رویکرد استوار به کار رفته در قالب یک مثال تشریح گردیده است.(بشیری و همکاران،۱۳۹۱)

[1] . Operational Risks
[2]. Disruption Risks
[3] . Failure Mode, Effects and Criticality Analysis (FMECA)
[4] . Thun and Hoenig
[5] . disruption

در سال۲۰۱۱، پیشوایی و همکاران از جمله افرادی بودند که از مفهوم استواری زنجیره‌تأمین استفاده کردند. آنها عدم قطعیت موجود در تقاضا، هزینه‌ها و محصولات برگشتی شبکه زنجیره‌تأمین حلقه بسته خود را به وسیله مجموعه عدم قطعیت جعبه‌ای در نظر گرفتند. (Pishvaee et al.,2011).

در سال ۲۰۰۸، رزنبلیت و همکارانش مدل استوار بازه‌ای را برای اصلاح مدل مسئله برنامه‌ریزی تولید تک محصولی- چند دوره‌ای به کار بردند که در مدل آنها فقط عامل تقاضا به عنوان پارامترهای غیر قطعی درنظر گرفته شده بود. آنها برای حل مدل خود از روش شبیه‌سازی استفاده کردند. (Rozenblit et al.,2008).

با توجه به مطالعات انجام شده تحقیقی مشاهده نشد که مسائل زیست محیطی، هزینه‌ها، زمان تحویل و ریسک را به طورهمزمان در طراحی یک زنجیره تأمین مدنظر قرار دهد و از این شکاف تحقیقاتی به عنوان نوآوری تحقیق استفاده شد. و با ترکیب ارزیابی ریسک و بهینه‌سازی استوار یک زنجیره تأمین کارامد طراحی گردید. امید است نتایج این مدل راهنمای خوبی برای مدیران بوده و آنها را در اتخاذ تصمیمات منطقی و کاربردی‌تر یاری رساند.

۳. روش پژوهش

شبکه مورد بررسی یک شبکه زنجیره‌تأمین حلقه بسته می‌باشد که شامل دو جریان مستقیم و معکوس می‌باشد. در جریان مستقیم، کالاهای تولید شده از مراکز تولید به مراکز تقاضا ارسال می‌گردند و در جریان معکوس، محصولات برگشتی پس از جمع‌آوری به دو گروه محصولات قابل احیا و محصولاتی که باید منهدم شوند تقسیم می‌شوند. ساختار کلی شبکه لجستیک یکپارچه مستقیم و معکوس در شکل (۱) نشان داده شده است. همان‌طور که مشخص شده است شبکه شامل مراکز تولید، تقاضا، جمع‌آوری و انهدام می‌باشد و خطوط پر بیانگر جریان مستقیم و خط‌چین‌ها بیانگر جریان معکوس کالا می‌باشد. مراکز تولید کارخانه‌های مختلفی هستند که در آنها چندین نوع محصول تولید می‌شود و سپس این محصولات با توجه به تقاضای مشتریان به مراکز تقاضا فرستاده می‌شود سپس مراکز تقاضا در صورت وجود مشکل در محصولات، آنها را به مراکز جمع‌آوری عودت می‌دهند. محصولات بازگشتی در مراکز جمع‌آوری با توجه به نوعشان برای احیا و یا عملیات ساخت مجدد به کارخانه‌ها فرستاده می‌شوند و یا برای دفع به مراکز انهدام ارسال می‌گردند.

در این تحقیق یک شبکه زنجیره‌تأمین حلقه بسته با درنظر گرفتن اثرات زیست محیطی مورد مطالعه قرار گرفته است که شامل مراکز تولید متعدد، مراکز جمع آوری، مناطق تقاضا، و محصولات مختلف می باشد. مدل پیشنهادی متشکل از زنجیره تأمین رو به جلو و همچنین زنجیره تأمین معکوس می‌باشد.

مراحل حل به ترتیب به شکل زیر می‌باشد:

۱. در ابتدا مدل برنامه‌ریزی غیرخطی عدد صحیح مختلط و سه هدفه ارائه می‌گردد که تابع هدف اول برای کمینه نمودن هزینه‌های اقتصادی و تابع هدف دوم برای به حداقل رساندن هزینه‌های زیست محیطی و تابع هدف سوم جهت کمینه نمودن تأخیر در زمان تحویل فرمولبندی شده‌اند.

۲. برای تبدیل مدل قطعی ارائه شده به مدل استوار سناریو محور از مدل معرفی شده توسط مالوی و همکارانش که در سال ۲۰۰۰ توسط مین و یو مورد بازنگری قرار گرفت استفاده می‌گردد.

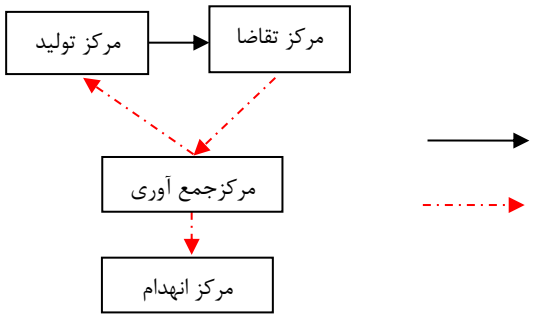
۳. سپس مدل ارائه شده توسط روش LP متریک (یکی از روش‌های بهینه‌سازی تبدیل توابع چندهدفه به تک‌هدفه) به یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط تک‌هدفه تبدیل می‌شود.

۴. ریسک‌های زنجیره تأمین به کمک روش‌های متداول شناسایی و ارزیابی ریسک، شناسایی می‌گردند.

۵. در نهایت امتیازات ارزیابی ریسک بدست آمده در مدل استوار مسئله به جای سناریوها جایگذاری می‌گردد و مدل به کمک نرم افزار GAMS حل می‌گردد.

در این تحقیق هزینه‌ها، تقاضا و زمان تحویل به عنوان پارامترهای غیر قطعی مدل در نظر گرفته شده‌اند

مدل پایه در این مقاله از (MA et al,2015) گرفته شده است ولی تغییراتی نیز دارد. مدل استفاده شده در مقاله (MA et al,2015) دو هدفه می‌باشد که شامل هزینه‌های اقتصادی و زیست‌محیطی می‌باشد در حالی که مدل جدید در مقاله مولفان سه هدفه می‌باشد که علاوه بر دو هدف قبلی تابع هدف کمینه‌سازی تأخیر در زمان تحویل را نیز مدنظر قرار داده است. علاوه بر این در تابع هدف مربوط به هزینه‌های اقتصادی، هزینه مربوط به تعمیرات و نگهداری و هزینه بازرسی نیز در نظر گرفته شده است که از نوآوری های تحقیق می باشد.



شکل(۱):ساختار شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته(منبع:MA et al,2015)

۱-۳سناریو سازی با استفاده از روش رتبه بندی ریسک

ریسک می‌تواند بر اهداف زنجیره تأمین از قبیل هزینه، زمان، کیفیت، محدوده، اعتبار تأثیر مثبت و یا منفی داشته باشد به طوری‌که اثر ریسک‌هایی که تأثیر منفی بر اهداف دارند(تهدیدها) و اثر ریسک‌هایی که تأثیر مثبت بر اهداف دارند (فرصت‌ها) به کمک روش FMEA قابل شناسایی و رتبه بندی می باشد.

FMEA در ارزیابی ریسک روشی تحلیلی است که می‌کوشد تا حد ممکن خطرات بالقوه موجود در محدوده‌ای که در آن ارزیابی ریسک انجام می‌شود و همچنین علل و اثرات مرتبط با آن را شناسایی و رتبه بندی کند. عدد اولویت ریسک (RPN) حاصلضرب سه عدد شدت (S)، وقوع(O)و تشخیص (D) است.

۲-۳تعیین شاخص ها، پارامترها و متغیرهای تصمیم مدل ریاضی

۱-۲-۳شاخص‌ها:

M: مجموعه نقاط بالقوه کارخانه (1… m …M)

K: مجموعه نقاط تقاضا (1,…,k, …K)

J: مجموعه محصولات (1,…j,…J)

I: مجموعه نقاط بالقوه مراکز جمع‌آوری(1,…i,…I)

۲-۲-۳ پارامترها:

ε: سناریوها

P_j^{ε}: هزینه تولید محصول j

G_j^{ε}:هزینه جمع‌آوری محصول j

A_j^{ε}:هزینه حمل و نقل محصول j به ازای هر کیلومتر بین کارخانه و نقاط تقاضا

B_j^{ε}:هزینه حمل‌ونقل محصول j به ازای هر کیلومتر بین نقاط تقاضا و مراکز جمع‌آوری

C_j^{ε}:هزینه حمل‌ونقل محصول j به ازای هر کیلومتر بین مراکز جمع‌آوری وکارخانه

D_j^{ε}:هزینه حمل‌ونقل محصول j به ازای هر کیلومتر بین مراکز جمع‌آوری و مراکز انهدام

F_m^{ε}:هزینه ثابت احداث کارخانه m

$\bar{F}_i^{\varepsilon}$:هزینه ثابت احداث مرکز جمع‌آوری i

S_j^{ε}:هزینه صرفه‌جویی محصول j (به دلیل محصول بازیابی شده)

H_j^{ε}:هزینه انهدام محصول j

e_{mj}^{ε}:هزینه محیطی تولید یک واحد محصول j در کارخانه m

ec_{ij}^{ε}:هزینه محیطی جمع‌آوری یک واحد محصول j در مرکز جمع‌آوری i

ed_j^{ε}:هزینه محیطی هر واحد محصول j در مرکز انهدام

etc_j^{ε}:هزینه محیطی حمل و نقل هر واحد محصول j به ازای هر کیلومتر

V_{mj}:ظرفیت کارخانه m برای محصول j

$\bar{V}_{ij}$:ظرفیت مرکز جمع‌آوری i برای محصول j

T_{mk}:فاصله بین مرکز جمع‌آوری i و مراکز تقاضا k (T_{ki} و T_{im}تعریف مشابه دارند)

d_{kj}^{ε}:تقاضای مشتری k برای محصول j

r_{kj}^{ε}:برگشت مشتری k برای محصول j

dt_{jmk}^{ε}:زمان تحویل محصول j ام از مرکز تولید m ام به مشتری k ام

edt_{jk}^{ε}:زمان تحویل مورد انتظار مشتری k ام از محصول j ام

GT_{mj}^{ε}:هزینه تعمیرات و نگهداری مرکز تولید m ام به ازای هر واحد محصول j ام

GB_{ij}^{ε}:هزینه بازرسی در مرکز جمع آوری i ام به ازای هر واحد محصول j ام

$M = \{m|dt_{jmk} \geq edt_{jk}\}$: مجموعه مراکز تولیدی که تأخیر در زمان تحویل داشتند

α_j: متوسط کسر انهدام از محصولj

λ: یک ضریب برای تنظیم تبادل بین ریسک و هزینه و قابل تنظیم می باشد.

ω: پارامتر ω برای حفظ شدنی بودن به مدل اضافه می شود. در واقع ω وزن جریمه برای مقدار کمبود یا مازاد می‌باشد و با توجه به شرایط و نظرات تصمیم‌گیرنده، تعیین می گردد.

۳-۲-۳ متغیرهای تصمیم:

X_{mkj}^{ε}:تعداد محصول نوع j که توسط کارخانهm برای نقطه تقاضایk تولید می‌گردد.

Y_{kij}^{ε}:تعداد محصولات برگشتی نوعj که از مرکز تقاضایk به مرکز جمع‌آوری i بر می‌گردد.

Z_{imj}^{ε}:تعداد محصولات برگشتی نوعj که از مرکز جمع آوریi به کارخانه m بر می‌گردد.

Q_{ij}^{ε}:تعداد محصولات برگشتی نوعj که از مرکز جمع‌آوریi به مرکز انهدام بر می‌گردد.

$Q_m = 1$:اگر کارخانه تأسیس گردد برابر یک می‌باشد.

$W_i = 1$:اگر مرکز جمع آوری احداث گردد برابر یک می‌باشد.

۳-۳ محدودیت‌های مدل قطعی مسئله

$$\sum_m X_{mkj}^{\varepsilon} \geq d_{kj}^{\varepsilon}, \quad \forall k,j, \qquad (۱)$$

$$\sum_i \sum_j Z_{imj}^{\varepsilon} + \sum_k \sum_j X_{mkj}^{\varepsilon} \leq O_m \sum_j V_{mj}^{\varepsilon} \quad \forall m, \qquad (۲)$$

$$\sum_k \sum_i Y_{kij}^{\varepsilon} \leq W_i \sum_i \bar{V}_{ij}, \quad \forall i, \qquad (۳)$$

$$\sum_i Y_{kij}^{\varepsilon} \leq \sum_m X_{mkj}^{\varepsilon}, \quad \forall k,j \qquad (۴)$$

$$\alpha_j \sum_k Y_{kij}^{\varepsilon} \leq Q_{ij}^{\varepsilon}, \forall i,j \qquad (۵)$$

$$\sum_k Y_{kij}^{\varepsilon} = \sum_m Z_{imj}^{\varepsilon} + Q_{ij}^{\varepsilon}, \quad \forall i,j \qquad (۶)$$

$$\sum_i Y_{kij}^{\varepsilon} = r_{kj}^{\varepsilon}, \quad \forall k,j \qquad (۷)$$

$$O_m, W_i \in \{0,1\}, X_{mkj}^{\varepsilon}, Y_{kij}^{\varepsilon}, Z_{imj}^{\varepsilon}, Q_{ij}^{\varepsilon} \geq 0 \quad \forall m,k,j,i, \qquad (۸)$$

محدودیت شماره(۱) محدودیت تقاضا می‌باشد و بیان می‌دارد که مجموع مقادیر هر نوع کالای تولیدی در مراکز تولید باید برآورد کننده تقاضای هر مشتری باشد. محدودیت(۲) محدودیت ظرفیت هر مرکز تولیدی است. این محدودیت مبین این است که مجموع محصولات عودتی از مراکز جمع‌آوری به هر کارخانه و میزان محصولات تولیدی در آن کارخانه نباید از ظرفیت آن مرکز تولید تجاوز کند. محدودیت(۳) محدودیت ظرفیت به ازای هر مرکز جمع‌آوری است و نشان می‌دهد که میزان محصولات برگشتی از مراکز تقاضا به هر مرکز جمع آوری نباید از ظرفیت آن مرکز بیشتر شود.

محدودیت(۴) نشان دهنده این اصل است که جریان رو به جلو در مدل باید بزرگتر از جریان معکوس باشد، که این امر به این صورت نشان داده می‌شود که میزان هر نوع کالای عودتی از هر مرکز تقاضا همواره کمتر یا مساوی میزان آن نوع محصولات ورودی به آن مرکز می‌باشد. محدودیت(۵) نشان می‌دهد که تعداد محصولاتی که به مرکز انهدام فرستاده می‌شود کمتر مساوی محصولاتی است که از مرکز تقاضا به مرکز جمع آوری عودت می شود. محدودیت(۶) بیان می‌کند که کل انواع محصولات عودتی از مراکز تقاضا به هر مرکز جمع‌آوری، یا قابل احیا هستند و به مراکز تولید یا احیا فرستاده می‌شوند و یا باید برای دفع به مراکز انهدام ارسال گردند. محدودیت(۷) نشان می‌دهد که کل هر نوع کالای برگشتی که توسط هر نقطه تقاضا به مراکز جمع‌آوری عودت داده می‌شود، برابر میزان کل کالای برگشتی آن مرکز تقاضا است.(تعادل در مرکز تقاضا). محدودیت (۸) جنس متغیرهای تصمیم را توضیح می‌دهد.

محدودیت‌های شماره (۱) تا (۱۱) برگرفته از مقاله (MA et al,2015) می‌باشد.

۳-۴ تابع هدف

$$FC^{\varepsilon} = \sum_m F_m^{\varepsilon} O_m + \sum_i \bar{F}_i^{\varepsilon} W_i \qquad (۹)$$

$$TRC^{\varepsilon} = \sum_m \sum_j \sum_k A_j^{\varepsilon} T_{mk} X_{mkj}^{\varepsilon} + \sum_k \sum_j \sum_i B_j^{\varepsilon} T_{ki} Y_{kij}^{\varepsilon} + \sum_i \sum_j \sum_m C_j^{\varepsilon} T_{im} Z_{imj}^{\varepsilon} + \sum_i \sum_j D_j^{\varepsilon} T_i Q_{ij}^{\varepsilon} \qquad (۱۰)$$

$$PC^{\varepsilon} = \sum_m \sum_k \sum_j P_j^{\varepsilon} X_{mkj}^{\varepsilon} + \sum_k \sum_i \sum_j G_j^{\varepsilon} Y_{kij}^{\varepsilon} - \sum_i \sum_m \sum_j S_j^{\varepsilon} Z_{imj}^{\varepsilon} + \sum_i \sum_j H_j^{\varepsilon} Q_{ij}^{\varepsilon} \qquad (۱۱)$$

$$NC^{\varepsilon} = \sum_m GT_{mj}{}^{\varepsilon} * V_{mj} \qquad (۱۲)$$

$$BC^{\varepsilon} \sum_i \sum_k GB_{ij}{}^{\varepsilon} * y_{kij}{}^{\varepsilon} \qquad (۱۳)$$

محدودیت (۹) بیان کننده هزینه ثابت کل می‌باشد که از مجموع هزینه ثابت جهت احداث کارخانه و مرکز جمع‌آوری در صورت احداث حاصل می‌شود.

محدودیت (۱۰) بیان کننده کل هزینه حمل‌ونقل می‌باشد که از مجموع هزینه حمل‌ونقل بین کارخانه و نقاط تقاضا و هزینه حمل‌ونقل بین نقاط تقاضا و مراکز جمع‌آوری و هزینه حمل‌ونقل بین مرکز جمع‌آوری و کارخانه و نهایتاً هزینه حمل‌ونقل بین مرکزجمع‌آوری و مرکز انهدام حاصل می‌شود.

محدودیت (۱۱) بیان‌گر هزینه کل تولید می‌باشد که شامل هزینه تولید، جمع‌آوری، هزینه صرفه‌جویی به دلیل محصول بازیافت شده و نهایتاً هزینه انهدام می‌باشد.

محدودیت‌های شماره (۹) تا (۱۱) برگرفته از مقاله (MA et al,2015) می‌باشد.

محدودیت (۱۲) بیان‌گر هزینه تعمیرات و نگهداری مرکز تولید می‌باشد.

محدودیت (۱۳) بیان‌گر هزینه بازرسی در مرکز جمع‌آوری می‌باشد.

محدودیتهای شماره (۱۲) و (۱۳) توسط مولفان به مدل اصلی اضافه گردیده است.

۳-۴-۱هزینه اقتصادی کل

$$f_1^{\varepsilon} = FC^{\varepsilon} + TRC^{\varepsilon} + PC^{\varepsilon} + NC^{\varepsilon} + BC^{\varepsilon} = \sum_m F_m^{\varepsilon} O_m + \sum_i \bar{F}_i^{\varepsilon} W_i + \sum_m \sum_k \sum_j (P_j^{\varepsilon} + A_j^{\varepsilon} T_{mk}) X_{mkj}^{\varepsilon} + \sum_k \sum_j \sum_i \left(G_j^{\varepsilon} + B_j^{\varepsilon} T_{ki}\right) Y_{kij}^{\varepsilon} + \sum_i \sum_j \sum_m (C_j^{\varepsilon} T_{im} - S_i^{\varepsilon}) Z_{imj}^{\varepsilon} + \sum_i \sum_j (H_j^{\varepsilon} + D_j^{\varepsilon} T_i)\, Q_{ij}^{\varepsilon} + \sum_m GT_{mj}{}^{\varepsilon} * V_{mj} + \sum_i \sum_k GB_{ij}{}^{\varepsilon} * y_{kij}{}^{\varepsilon} \quad (۱۴)$$

محدودیت (۱۴) بیان‌گر کل هزینه اقتصادی می‌باشد که حاصل‌جمع محدودیت‌های شماره (۹) تا (۱۳) می‌باشد و بیانگر هزینه ثابت (FC^{ε})، هزینه حمل‌و نقل(TRC^{ε})، هزینه تولید(PC^{ε})، هزینه تعمیرات نگهداری مرکز تولید (NC^{ε}) و هزینه بازرسی در مرکز جمع آوری(BC^{ε}) می‌باشد.

۳-۴-۲هزینه محیطی کل

$$f_2^{\varepsilon} = \sum_m \sum_k \sum_j (e_{mj}^{\varepsilon} + etc_j^{\varepsilon} T_{mk}) X_{mkj}^{\varepsilon} + \sum_k \sum_j \sum_i \left(ec_{ij}^{\varepsilon} + etc_j^{\varepsilon} T_{ki}\right) Y_{kij}^{\varepsilon} + \sum_i \sum_j \sum_m etc_j^{\varepsilon} T_{im} Z_{imj}^{\varepsilon} + \sum_i \sum_j (ed_j^{\varepsilon} + etc_j^{\varepsilon} T_i)\, Q_{ij}^{\varepsilon} \quad (۱۵)$$

محدودیت (۱۵) نشان‌دهنده هزینه محیطی کل زنجیره می‌باشد.

محدودیت‌شماره (۱۵) برگرفته از مقاله (MA et al,2015) می‌باشد.

۳-۴-۳ تأخیر در زمان تحویل

$$f_3^{\varepsilon} = \sum_n \sum_j \sum_{m \in M} \left(dt_{jmk}{}^{\varepsilon} - edt_{jk}{}^{\varepsilon}\right) X_{mkj}{}^{\varepsilon} \quad (۱۶)$$

محدودیت (۱۶) بیانگر تأخیر در زمان تحویل کل محصولاتی که از مرکز تولید به مرکز تقاضا ارسال می شوند می‌باشد.

محدودیت شماره (۱۶) توسط مولفان به مدل اصلی اضافه گردیده است.

۳-۵ قطعی‌سازی مدل به روش استوار

برای تبدیل مدل قطعی ارائه شده به مدل استوار سناریو محور از مدل معرفی شده توسط مالوی و همکارانش که در سال ۲۰۰۰ توسط مین و یو مورد بازنگری قرار گرفت استفاده شده است:

$$min \sum_\varepsilon \rho_\varepsilon f^{\varepsilon} + \lambda \sum_\varepsilon \rho_\varepsilon [(f^{\varepsilon} - \sum_\varepsilon \rho_\varepsilon f^{\varepsilon}) + 2\theta] + \omega \sum_\varepsilon \rho_\varepsilon \delta_\varepsilon \quad (۱۷)$$

subject to

$$f^{\varepsilon} - \sum_\varepsilon \rho_\varepsilon f^{\varepsilon} + \theta_\varepsilon \geq 0, \quad \forall \varepsilon \quad (۱۸)$$

$$\theta_\varepsilon \geq 0, \qquad \forall \varepsilon \quad (۱۹)$$

با توجه به مدل استوار معرفی شده بالا توابع هدف استوار مدل به قرار زیر می باشد:

$$minf_1 = \sum_\varepsilon \rho_\varepsilon f_1^{\varepsilon} + \lambda_1 \sum_\varepsilon \rho_\varepsilon [(f_1^{\varepsilon} - \sum_\varepsilon \rho_\varepsilon f_1^{\varepsilon}) + 2\theta_{1\varepsilon}] + \omega \sum_\varepsilon \rho_\varepsilon \left(X_{mkj}^{\varepsilon} - d_{kj}^{\varepsilon}\right) \quad (۲۰)$$

$$minf_2 = \sum_\varepsilon \rho_\varepsilon f_2^{\varepsilon} + \lambda_2 \sum_\varepsilon \rho_\varepsilon [(f_2^{\varepsilon} - \sum_\varepsilon \rho_\varepsilon f_2^{\varepsilon}) + 2\theta_{2\varepsilon}] \quad (۲۱)$$

$$minf_3 = \sum_\varepsilon \rho_\varepsilon f_3^{\varepsilon} + \lambda_3 \sum_\varepsilon \rho_\varepsilon [(f_3^{\varepsilon} - \sum_\varepsilon \rho_\varepsilon f_3^{\varepsilon}) + 2\theta_{1\varepsilon}] + \omega' \sum_\varepsilon \rho_\varepsilon \left(dt_{jmk}{}^{\varepsilon} - edt_{jk}{}^{\varepsilon}\right) \quad (۲۲)$$

به این توابع هدف استوار محدودیت های (۱) تا (۸) مدل قطعی معرفی شده اضافه می‌گردد علاوه بر این، محدودیت‌های (۱۸) و (۱۹) نیز اضافه می‌گردد.

محدودیت‌شماره (۱۷) تا (۲۱) برگرفته شده از مقاله (MA et al,2015) می‌باشند و محدودیت شماره (۲۲) توسط مولفان به مدل پایه اضافه گردیده است.

در نهایت با جایگذاری امتیازات ریسک نرمال شده در مدل استوار به جای سناریوها مدل به کمک نرم افزار گمز حل می‌گردد.

۴-یافته ها

به منظور درک بهتر، مسئله برای یک شرکت قطعه سازی با تعداد ۵ مرکز بالقوه تولید، ۳ نوع محصول، ۴ مرکز تقاضا، ۳ مرکز بالقوه جمع‌آوری و تحت سه سناریو و با توجه به امتیازات ارزیابی ریسک استخراج شده از جداول (۵) و به کمک نرم افزار GAMS حل شده است.

جهت ارزیابی ریسک عددهای مربوط به شدت و وقوع از جداول شماره (۱) و (۲) استخراج شده‌اند.

جدول (۳) ماتریس ارزیابی ریسک را نمایش می‌دهد. و با یافتن عدد ارزیابی ریسک (RPN) استخراج شده از جدول شماره (۴) در این ماتریس می‌توان دریافت که ریسک در چه سطحی قرار دارد.

جدول(۱): اثر یا شدت ریسک روی اهداف (نظر متخصصین و خبرگان)

	مقیاس				
هدف	خیلی کم	کم	متوسط	زیاد	خیلی زیاد
امتیاز	۱	۳	۵	۷	۹
هزینه	بی اهمیت در هزینه	انحراف کمتر از ۱۰٪	انحراف ۱۰٪تا۲۰٪	انحراف ۲۰٪تا۴۰٪	انحراف بیش از۴۰٪
زیست محیطی	تأثیر ناچیز	تأثیر کم	تأثیر متوسط	تأثیر زیاد	تأثیر بسیار زیاد
تأخیر در زمان تحویل	انحراف کمتر از ۲۰٪	انحراف ۲۰٪ تا ۴۰٪	انحراف ۴۰٪ تا ۶۰٪	انحراف ۶۰٪ تا ۸۰٪	انحراف ۸۰٪ تا ۱۰۰٪

جدول(۲): احتمال وقوع ریسک (نظر متخصصین و خبرگان)

مقیاس	امتیاز	درصد احتمال	فرکانس وقوع
خیلی کم	۱	۲۰٪>احتمال وقوع	روی نداده
کم	۳	۶۰ ٪>احتمال وقوع>۴۰٪	چندسال یک‌بار
متوسط	۵	۶۰٪>احتمال وقوع>۴۰٪	سالی یک بار
زیاد	۷	۸۰٪>احتمال وقوع>۶۰٪	چند ماه یکبار
خیلی زیاد	۹	۸۰٪<احتمال وقوع	به طور مستمر

جدول(۳): ماتریس ارزیابی ریسک (نظر متخصصین و خبرگان)

	ریسک	ریسک های منفی (تهدیدها)				ریسک‌های مثبت (فرصت ها)			
۹	۹	۲۷	۴۵	۶۳	۸۱	۸۱	۶۳	۴۵	۲۷	۹
۷	۷	۲۱	۳۵	۴۹	۶۳	۶۳	۴۹	۳۵	۲۱	۷
۵	۵	۱۵	۲۵	۳۵	۴۵	۴۵	۳۵	۲۵	۱۵	۵
۳	۳	۹	۱۵	۲۱	۲۷	۲۷	۲۱	۱۵	۹	۳
۱	۱	۳	۵	۷	۹	۹	۷	۵	۳	۱

	۱	۳	۵	۷	۹	۹	۷	۵	۳	۱
اثر ریسک										

جدول(۴): ارزیابی ریسک انجام شده

آنالیز ریسک									
ردیف	ریسک	علت	اهداف	تاثیرات بالقوه بر دستیابی به نتایج اهداف			RPN	نرمال شده RPN	اقدام
			وزن اهداف / احتمال وقوع	هدف اول	هدف دوم	هدف سوم			
				۴۰%	۲۰%	۴۰%			
۱	افزایش هزینه های تولید	افزایش قیمت مواد اولیه	۹	۷	۳	۷	۵۵.۸۰	۰.۴۳	سعی در کاهش هزینه های جانبی و سربار گردد. سعی گردد پیش بینی افزایش ها در آنالیز قیمت لحاظ گردد. این مورد بیشتر به سیاست های دولت مربوط می شود و تنها اقدامی که می‌توان تعریف نمود این است که تامین مواد اولیه (ورق و لوله) توسط مشتری صورت پذیرد
		افزایش ضایعات	۳	۵	۵	۵	۱۵	۰.۱۱	توجیه اپراتورها توسط سرپرست و استفاده از سیستم تشویق برای پرسنلی که تعداد ضایعات کمتری در طول ماه تولید می کنند. وجذب پرسنل کار آزموده و با تجربه
۲	عدم تأمین به موقع کالای وارداتی	تحریم	۵	۵	۷	۷	۳۱	۰.۲۴	استفاده از تأمین کننده جایگزین داخلی و مورد تأئید سازه گستر و انعقاد قرار داد با ایشان
۳	توقف خط تولید	توقفات برنامه ریزی	۷	۵	۵	۳	۲۹.۴۰	۰.۲۲	برای Overhaulبازه تعمیرات دستگاه هایی که ظرفیت بالاتری دارند و یا قدیمی تر هستند با توجه به نظر مدیر فنی و مهندسی و مسئول

		نشده ماشین آلات						تعمیرات و نگهداری تنگ تر گردد. و جهت PDCAاستفاده از چرخه بهبود مستمر
						۱۳۱.۲۰		

۴-۱سطح ریسک:

در برنامه مدیریت ریسک شدت اثر ریسک‌ها باتوجه به نظر کارشناسان در سه سطح مشخص می‌شود.

ریسک‌های سطح اول(Major) با رنگ قرمز
ریسک‌های سطح دوم(Medium) با رنگ زرد
ریسک‌های سطح سوم(Low) با رنگ سبز
جدول شماره (۴) به کمک جدول شماره (۳) سطح بندی شده است.

۴- ۲ اولویت بندی ریسک/فرصت

اولویت بندی ریسک/فرصت ارزیابی شده بر اساس جدول شماره (۷) انجام می‌شود. طبق این جدول، نمره اولویت ریسک بزرگتر یا مساوی ۴۵در ناحیه غیر قابل پذیرش،یا ریسک‌های با اهمیت زیاد را نشان می دهد که با رنگ قرمز مشخص شده است و نمره‌های اولویت ریسک کوچکتر از۴۵ و بزرگتر از ۱۵در ناحیه ی ALARP6(کمترین حد قابل قبول) هستند که ریسک با اهمیت متوسط را نشان می‌دهند و دارای رنگ زرد می‌باشند و نمره‌های اولویت ریسک کوچکتر مساوی۱۵ در ناحیه قابل پذیرش قرار دارد که با رنگ سبز مشخص گردیده است.نحوه برخورد شرکت با ریسک در هر ناحیه به شرح جدول شماره ۶ است.

جدول(۵): طبقه بندی ریسک/ فرصت(نظر متخصصین و خبرگان)

سطح	رنگ	تغییر
۱		ریسک با اهمیت زیاد (High)
۲		ریسک با اهمیت متوسط(Medium)
۳		ریسک با اهمیت کم (Low)

جدول(۶): نحوه برخورد با ریسک(نظر متخصصین و خبرگان)

محدوده نمره اولویت ریسک	نحوه برخورد با ریسک/فرصت
غیر قابل پذیرش (نمره ریسک =>۴۵)	اعمال کنترل و نظارت های جدید الزامی است
ALARM (۴۵>نمره>۱۵)	با توجه به عوامل زیرنیاز به کنترل و نظارتهای جدید باید بررسی و سپس اعمال شود:الزامات قانونی، الزامات کارفرما،هزینه،تأثیر بر سایر فرایندها، سهولت اقدام، سرعت اقدام،نظر ذینفعان
قابل پذیرش (۱۵>=نمره)	در حال حاظر، کنترل/نظارت بیشتری مورد نیاز نیست و کنترل/ نظارت های موجود باید استمرار یابد

[6]As Low As Reasonably Possible

۴- ۳تعیین اقدام‌های کنترلی و اجرای آن

بر اساس جدول شماره (۶) تعیین اقدام‌های کنترلی مورد نیاز برای ریسک‌های غیرقابل پذیرش ضروری است. طبق این جدول، تعریف کامل اقدام‌های فوق باید به همراه تعیین مسئول مرتبط و مهلت زمانی انجام اقدامات باشد. اقدام‌های تعیین شده باید در بازه‌ی زمانی مشخص خود اجرا شود.

با توجه به امتیاز ارزیابی ریسک استخراج شده از جدول (۴) و به کمک جدول(۶) می‌توان اقدام متناسب با هر ریسک را انجام داد.

با جایگذاری خروجی‌های حاصل از ارزیابی ریسک (RPN نرمال شده) از جدول (۴) در مدل استوار سناریو محور به جای p_ε و حل به کمک نرم افزار GAMS نتایج زیر حاصل می‌گردد.

که خروجی‌های حاصل از حل مدل نشان می‌دهد که از ۵ مرکز بالقوه تولید مراکز ۱،۴و ۵ و از ۳ مرکز بالقوه جمع آوری مراکز ۲و۳ اقدام به فعالیت کنند.

۵ – نتیجه‌گیری

مدل ارائه شده یک مدل زنجیره‌تأمین با جریانات مستقیم و معکوس می باشد که شناسایی و ارزیابی ریسک برای مدل مذکور به کمک روش FMEA انجام شده است و سناریو ها مشخص گردیده‌اند. مدل استوار با در نظر گرفتن عدم قطعیتی که در بعضی از پارامترها وجود دارد مدلی بهینه از لحاظ هزینه، اثرات زیست محیطی و زمان تحویل ارائه می‌دهد. در مدل استوار، مشکلات مدل‌های غیر قطعی که باعث ایجاد جواب نشدنی و یا غیر بهینه بودند وجود ندارد و برای مسائل واقعی قابل پیاده‌سازی می‌باشد

۶-پیشنهادات آتی

- یکی از ضعف‌های موجود در مدل استوار مبتنی بر سناریو این است که به دلیل حجم محاسبات بالا حل مسئله برای سناریوهای در ابعاد بزرگ بسیار دشوار است. در پژوهش‌های آتی می‌توان مسائل با ابعاد بزرگ را توسط رویکردهای ابتکاری مانند الگوریتم ژنتیک (GA) یا الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات(PSO) در مدت معقول انجام داد.
- مدل ارائه شده برای یک دوره طراحی شده است، در تحقیقات آتی می‌توان مسئله را به صورت چند دوره‌ای در نظر گرفت.
- برای ساده‌سازی مسئله، هزینه نگهداری موجودی و همچنین هزینه سفارش نادیده گرفته شده است. در تحقیقات آتی می‌توان این پارامترها را در نظر گرفت.
- می‌توان ارزیابی ریسک را به روش‌های متفاوت انجام داد و نتایج را تحلیل نمود.
- فاکتورهای محاسبه FMEA در اغلب مواقع بطور کاملا دقیق قابل اندازه‌گیری نمی‌باشند بنابراین به منظور غلبه بر کاستی روش محاسبه RPN می‌توان از تئوری فازی یا خاکستری برای محاسبه بهره برد.
- در این پژوهش اهمیت نسبی شدت حادثه، احتمال وقوع و احتمال تشخیص در نظر گرفته نشده است و فرض شده است که آن‌ها وزن برابری دارند، ولی در دنیای واقعی و در تصمیمات عملی اینطور نیست .این امر می‌تواند منجر به ایجاد خطا در ارزیابی‌های ریسک شود. استفاده از روش FMEA وزنی که در آن هر یک از فاکتورهای احتمال وقوع، شدت و تشخیص دارای وزن‌های متفاوتی باشند که جمع آن ها ۱ شود. و چینش سناریوها اینگونه باشد که به عنوان مثال در یک سناریو بیشترین وزن به احتمال وقوع داده شود به این معنی که سازمان اصلا نمی‌خواهد چنین ریسکی رخ دهد و در سناریو های بعدی بیشترین وزن به احتمال شدت و تشخیص داده شود.
- استفاده از تکنیک‌های دیگر جهت ارزیابی ریسک. این تکنیک‌ها شامل تکنیک تجزیه و تحلیل مقدماتی خطی، تکنیک مطالعه خطر و قابلیت عملکرد، تکنیک نمودار موفقیت، تکنیک جدول ارزش، تکنیک فرآیند مارکوف، تکنیک درخت واقعه، تکنیک شبیه‌سازی مونت کارلو، تکنیک ممیزی ایمنی، تکنیک تجزیه و تحلیل درخت خطا، می‌باشند.

فهرست منابع

[۱] اصغرپور محمدجواد، (۱۳۷۷)، تصمیم‌گیری چندمعیاره، موسسه انتشارات دانشگاه تهران.

[۲] بشیری مهدی، رضایی حمیدرضا، مسلمی امیر،(۱۳۹۱)، رویکردی استوار برای مکانیابی مجدد انبارهای زنجیره تأمین سه سطحی در شرایط عدم قطعیت، مدیریت تولید و عملیات۳،۱۰۱-۱۱۶.

[۳] جندقی نیلوفر، رضایی نیک ابراهیم، (۱۳۹۲)، برنامه‌ریزی تولید در شرایط عدم قطعیت با رویکرد ترکیبی بهینه‌سازی و مدیریت ریسک(مطالعه موردی: شرکت نیان الکترونیک)، دومین کنفرانس ملی مهندسی صنایع و سیستم ها.

[٤] زارعیان جهرمی حسین، فلاح نژاد محمد صابر، صادقیه احمد، احمدی یزدی احمد، (۱۳۹۳)، مدل بهینه‌سازی چندهدفه استوار در طراحی زنجیره‌تأمین حلقه بسته پایدار، نشریه پژوهش‌های مهندسی صنایع در سیستم‌های تولید.

[٥] شفیعی کیسمی میثم، سلیمانپور مقصود، دنیوی علی، (۱۳۹۲)،ارائه یک مدل برنامه‌ریزی استوار برای طراحی و مکان‌یابی تسهیلات در زنجیره‌تأمین حلقه بسته، دهمین کنفرانس بین المللی مهندسی صنایع.

[٦] صفار محمد مهدی، شکوری گنجوی حامد، رزمی جعفر، (۱۳۹۴)، طراحی یک زنجیره تأمین حلقه بسته سبز با در نظر گرفتن ریسک های عملیاتی در شرایط عدم قطعیت و حل آن با الگوریتم NSGAII، نشریه تخصصی مهندسی صنایع۴۹،۶۸-۵۵.

[۷] عسگری نسرین، زنجیری فراهانی رضا، (۱۳۸۵)، مدیریت زنجیره تأمین. ویرایش اشتدلر و کیلگر، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران

[۸] غضنفری مهدی، فتح اله مهدی، (۱۳۸۵)،نگرشی جامع بر مدیریت زنجیره تأمین، تهران، انتشارات دانشگاه علم و صنعت.

[۹] فلاح نژاد حسین، زارعیان جهرمی محمدصابر، صادقیه احمد، احمدی یزدی احمد،(۱۳۹۳)، مدل بهینه‌سازی چندهدفه استوار در طراحی زنجیره تأمین حلقه بسته پایدار، نشریه پژوهش‌های مهندسی صنایع درسیستم‌های تولید.

[۱۰] قدسی پور سیدحسن، (۱۳۸۵)، مباحثی در تصمیم گیری چندمعیاره برنامه ریزی چندهدفه،دانشگاه صنعتی امیرکبیر

[۱۱] مهرگان محمدرضا، (۱۳۸۶)،مدل‌های تصمیم‌گیری با چندین هدف، دانشگاه تهران

[۱۲] مرآتی،مسعود، (۱۳۹۱)، ارزیابی مدیریت ریسک با رویکرد تلفیقی FMEA و MADM موردکاوی: پروژه ساخت اجاق گاز. پایان نامه کارشناسی ارشد.موسسه آموزش عالی کار قزوین.

[۱۳] مهرعلی دهنوی، آقایی عبداله، ستاک مصطفی، (۱۳۹۰)، مدیریت ریسک زنجیره تأمین، نهمین کنفرانس بین المللی مدیریت

[14] Amari A., (2006), *Designing a distribution network in a supply chain system*, formulation and efficient solution procedure, European Journal of Operational Research 171, 567–576.

[15] Aghaei A., Zandi F., (2012), *Analyzing and Optimization a Two Echelon Supply Chain with Uncertainly Returned Product*, Journal of Industrial Engineering 46, 119-132.

[16] Amin S.H., Zhang G., (2013), *A multi – objective facility location model for closed-loop supply chain network under uncertain demand and return*, Applied Mathematical Modelling 37, 4165-4176.

[17] Altmann M., Bogaschewsky R., (2014), An environmentally conscious robust closed-loop supply chain design, J Bus Econ 84,613–37.

[18] Ben-Tal A., Nemirovski A., (2000), *Robust solutions of linear programming problems contaminated with uncertain data*, Math. Program 88, 411–424

[19] Barbosa-pvoa A., (2009), *Sustainable supply chains*. Comput Aided Chem Eng 27,127-32.

[20] Ben-TalL., El-Ghaoui A., Nemirovski., (2009), Robust Optimization, *Princeton University Press*

[21] Chopra S., Meindl P., (2001), *Supply chain management, Strategy*, Planning and Operation, Prentice –Hall Inc.

[22] Christopher M.., (2003), Understanding supply chain risk: A self-assessment workbook, Department for Transport, Cranfield University.

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

[24] Feizollahi M.J., Modarres M.., (2012), *Robust Quadratic Assignment Problem with Uncertain Locations, Iranian* Journal of Operations Research 3, 46-65.

[25] Fleischmann M., Beullens P., Bloemhof-ruwaard, J. M., Wassenhove L. N., (2001),*The impact of product recovery on logistics network design*, Production and Operations Management, 10(2), 156–173.

[26] Feng P., and Rakesh N., (2010), *Robust supply chain design under uncertain demand in agile manufacturing*, Computers & Operations Research, 37(4), 668 – 683.

[27] Goh M., Lim J.Y.S, Meng F., (2007), *A stochastic model for risk management in global supply chain networks*, European Journal of Operational Research 182, 164–173.

[28] Guillen Gosalbez G., Grossmann I.E., (2009), *Optimal designand planning of sustainable chemical supply chains under uncertainty*. 55, 99–121

[29] Hugos M., (2006), *Essentials of supply chain management*, Hoboken, New Jersey, Jon Wiley & sons.

[30] Hasani A., Zegordi S.H., Nikbakhsh E., (2012), *Robust Closed- loop supply chain network design for perishable goods in agil manufacturing under uncertainty*, International Journal of Production Research 50,4649-4669

[31] Huang S.H., Uppal M., Shi J., (2002), *A product driven approach to manufacturing supply chain selection. Supply Chain Management*, An International Journal, 7(4), 189–199.

[32] Juttner U., (2005), *Supply chain risk management: Understanding the business requirements from a practitioner perspective*, International Journal of Logistics Management, 16(1), 120-141. 16(1), 120-141.

[33] Jayaraman V., Guige Jr V.D.R., Srivastava R., (1999), *A closed-loop logistics model for manufacturing*, J. Oper. Res. Soc. 50,497–508.

[34] Jayaraman V., Patterson R.A., Rolland E., (2003), *The design of reverse distribution networks: models and solution procedures*, Eur. J. Oper. Res. 150, 128–149.

[35] Lam K.C., Postle R.., (2006), *Textile and apparel supply chain management in Hong Kong*, International Journal of Clothing Science and Technology 18 No. 4.

[36] Listes O., Dekker R.., (2005), *A stochastic approach to a case study for product recovery network design*, Eur. J. Oper. Res. 160, 268–287.

[37] Lee A.H.I., Dong H.Y., Hsu C.F., Hung H.C., (2009), A *green supplier selection model for high techin dustry*. Expert Syst Appl 36, 7917–27.

[38] Ma R., Yao L., Jin M., Ren P., Lv Z., (2015), *Robust environmental closed-loop supply chain design under uncertainty*, Chaos, Solitons & Fractals 000,1-8.

[39] Matook S., Lasch R., Tamaschke R.., (2009), *Supplier development with benchmarking as part of a comprehensive supplier risk management framework*, International Journal of Operations & Production Management, 29(3)

[40] *Melkote* S., & *Daskin* M.S., (2001), *Capacitated facility location/network design problems*. European Journal of Operational Research, 1

[41] Rozenblit M., Ben-Taly A., Golany B., (2008), *Robust Optimization of Multi-Period Production Planning Under Demand Uncertainty*, thesis submitted for the degree of master of science, Faculty of Industrial Engineering and Management.

[42] Nannikar A.A., Raut D.N., Chanmanwar R.M. and Patil D.B., (2012), *FMEA for manufacturing Assembly process*, International Confrence on Technology and Business 59, 108-120.

[43] *Pan* F., *Nagi* R.., (2010), *Robust supply chain design under uncertain demand in agile manufacturing*. Computers & Operations Research 37(4), 668–683.

[44] Pishvaee M.S., Rabbani M., Torabi S.A., (2011), *A robust optimization approach to closed-loopsupply chain network design*

under uncertainty, Applied Mathematical Modelling 35(2), 637-649.

[45] Pishvaee M. S, Razmi J., (2012), *Environmental supply chain network design using multi-objective fuzzy mathematical programming*, Applied Mathematical Modelling, 36(8), 3433-3446.

[46] Ramezani M., Kimiagari A.M., Karimi B, Hejazi T.H.,(2014), *Closed-loop supply chain network design under a fuzzy environment*, Knowledge-Based Systems 59,108-120.

[47] Ramezani M., Bashiri M., Tavakkoli-Moghaddam R., (2013), *A new multi-objective stochastic model for a forward/reverse logistic network design with responsiveness and quality level*, Applied Mathematical Modelling; 37:3 28-44

[48] 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, 1063–1077.

[49] Sabri E. H., Beamon B. M., (2000), *A multi-objective approach to simultaneous strategic and operational planning in supply chain design*, Omega, 28(5), pp.581–598.

[50] Snyder V.L., Daskin M.S., (2006), *Stochastic p-robust location problems*, IIE Transactions, 38, 971–985.

[51] Soleimani H., Seyyed-Esfahani M., Akbarpour Shirazi M., (2013), *A new multi-criteria scenario-based solution approach for stochastic forward/ reverse supply chain network design*, Operational Research, 10479-013-1435-z

[52] Safaei A.S., Roozbeh A., and Paydar M.M.., (2017), A *robust optimization model for the design of a cardboard closed-loop supply chain*, Journal of Cleaner Production 17, 31801-3180

[53] Soleimani H., Govindan k., Saghafi H., and Jafari H., (2017), *Fuzzy Multi-Objective Sustainable and Green Closed-Loop Supply Chain Network Design*,Computers & Industrial Engineering 17, 30184-30189

[54] Tuncel G., Alpan G., (2010), *Risk assessment and management for supply chain networks*: A case