فصلنامه علمی مطالعات مدیریت راهبردی دفاع ملی
سال هفتم، شماره ۲۸، زمستان ۱۴۰۲
مقاله پژوهشی، از صفحات ۱۰۵-۱۳۴

مقاله پژوهشی:

طراحی مدل ریاضی
توانمندسازی قابلیت‌های زیست‌محیطی زنجیره تأمین حلقه بسته

کیوان شاه قلیان [۱]، ابوالفضل صادقی [۲]، اکبر عالم تبریز [۳]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۵/۲۵ **تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۹/۱۱**

چکیده

آلودگی‌های زیست‌محیطی به یکی از مهم‌ترین دغدغه‌های انسان تبدیل شده است. امروزه حجم بالای زباله‌های صنعتی ایجادشده توسط محصولات نظامی، فشار نهاده‌های زیست‌محیطی و همچنین کمبود منابع، صنایع تولیدکننده در این حوزه را ترغیب کرده تا به سمت پیاده‌سازی زنجیره تامین حلقه بسته حرکت کنند. هدف اصلی این پژوهش طراحی مدل ریاضی توانمندسازی قابلیت‌های زیست‌محیطی زنجیره تأمین حلقه بسته است. این پژوهش، ازنظر هدف، یک تحقیق کاربردی و ازنظر جمع‌آوری داده‌ها و اطلاعات و روش تجزیه‌وتحلیل یک تحقیق کمی است. بنابراین یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی فازی طراحی شده است. مدل ارائه‌شده مبتنی بر چهار هدف است که هدف اول آن حداقل ساختن نشر آلایندگی؛ هدف دوم، حداقل ساختن زباله‌های زیست‌محیطی؛ هدف سوم، حداقل ساختن هزینه و هدف چهارم، حداقل ساختن خطر تامین مواد اولیه است. پس از طراحی مدل، اعتبارسنجی مدل با حل آن در ابعاد کوچک صورت گرفته است و سپس با استفاده از چهار الگوریتم NSGAII,MOPSO,MOACO,MOSA مدل در ابعاد متوسط و بزرگ حل و نتایج آن باهم مقایسه شده است. بر اساس نتایج تحلیل حساسیت، واکنش مدل نسبت به پارامترهای مختلف بررسی شده است. نتایج نشان داده، ملاحظات هم‌زمان ابعاد زیست‌محیطی، اقتصادی و خطر در پارامترها به بهبود عملکرد زنجیره تأمین حلقه بسته ازنظر توانمندسازی قابلیت‌های زیست‌محیطی و سودآوری منجر می‌شود.

کلیدواژه‌ها: زنجیره تامین حلقه بسته، صنایع نظامی، الگوریتم فرا ابتکاری، مدل‌سازی ریاضی، محیط‌زیست.

۱. استادیار، دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد قزوین، قزوین، ایران.

۲. دانشجوی دکتری مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد قزوین، قزوین، ایران. Abolfazlsadeghi۲۰۰۷@gmail.com

۳. استاد مدیریت، گروه مدیریت صنعتی و فناوری اطلاعات، دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

مقدمه

زنجیره تأمین [۱] نظامی متشکل از سازمان‌ها، افراد، فعالیت‌ها، اطلاعات و منابعی است که در عرضه یک محصول یا خدمت به مصرف‌کننده دخیل هستند. فعالیت‌های زنجیره تأمین شامل تبدیل منابع طبیعی، مواد اولیه و اجزای سازنده به یک محصول نهایی است که به مشتری نهایی تحویل داده می‌شود (کوزلنکوا و همکاران [۲] ۲۰۱۵) مدیریت زنجیره تأمین، مدیریت و هماهنگی یک شبکه پیچیده‌ای از فعالیت‌های درگیر در ارائه محصول نهایی به مشتری است (نینلاوان و همکاران [۳] ۲۰۱۰). زنجیره تأمین به چند دسته کلی طبقه‌بندی می‌شوند: زنجیره تأمین سنتی که به‌عنوان زنجیره تأمین روبه‌جلو و یا حلقه بازشناخته می‌شود، یک نظام یکپارچه تشکیل‌شده از اجزایی همانند مواد خام، تسهیلات تولیدی، خدمات توزیع و مشتریانی است که به‌وسیله جریان مواد در زنجیره روبه‌جلو و جریان اطلاعات در زنجیره معکوس با یکدیگر در ارتباط هستند (استیونز و مدیریت [۴] ۱۹۸۹) زنجیره تأمین معکوس به حرکت جریان مواد از سوی مشتری به تولیدکننده اشاره دارد. این زنجیره برخلاف زنجیره تأمین سنتی که در آن حرکت جریان مواد از سمت تولیدکننده به مشتری است، طراحی می‌شود. از طرفی در زنجیره تأمین معکوس، محصولات مصرف‌شده از سوی مصرف‌کننده نهایی به مراکز تولیدی در جریان است. از یکپارچگی زنجیره‌های تأمین روبه‌جلو و معکوس، زنجیره تأمین حلقه بسته CLSC [۵] نتیجه می‌شود (جونیور و واسنهو [۶]، ۲۰۰۹). در مقابل زنجیره تأمین مستقیم یا پیش‌رونده، شق دوم زنجیره تأمین حلقه بسته که فرایندی معکوس را در پیش می‌گیرد، از کاربر نهایی محصول شروع‌شده و در

---

۱. Supply chain

۲. Kozlenkova et al.

۳. Ninlawan et al.

۴. Stevens and Management

۵. Closed loop supply chains

۶. Guide Jr and Van Wassenhove

جمع‌آوری محصولاتی که عمر آنها پایان‌یافته یا محصولات برگشتی و فعالیت‌هایی چون بازیافت، احیا و دفع آنها، برای دستیابی به مواد اولیه، قطعات و محصولات و کاهش اثرات زیست‌محیطی پسماندها، سهیم است (گویندان، سلیمانی و کنان[۱]، ۲۰۱۵). امروزه، به دلیل افزایش خطرات زیست‌محیطی و مقررات دولتی و همچنین محدودیت منابع تولید، محققان توجه ویژه‌ای به طراحی شبکه‌های زنجیره تامین سبز با حلقه بسته داشته‌اند (قلی زاده، فضل‌الله تبار و خلیل زاده[۲]، ۲۰۲۰). توسعه و تقویت فعالیت‌های زنجیره تأمین حلقه بسته از یک‌سو می‌تواند منجر به کاهش هزینه‌های مربوط به مواد اولیه شده و از سوی دیگر می‌تواند اثرات منفی فعالیت‌های تولیدی شرکت‌ها بر محیط‌زیست را کاهش دهد (شاهرودین و همکاران[۳]، ۲۰۱۹).

در نظر گرفتن مسائل زیست‌محیطی در مدیریت زنجیره تأمین شامل طراحی محصول، انتخاب و منبع‌یابی مواد، فرآیند ساخت و تولید، تحویل محصول نهایی به مشتری و مدیریت محصول پس از مصرف و طی شدن عمر مفید آن است. با افزایش روبه رشد آلودگی‌های زیست‌محیطی، جمع‌آوری محصولات استفاده‌شده جهت استفاده مجدد و همچنین بازیافت و دفع صحیح محصولات و قطعات غیرقابل‌بازیابی موردتوجه بسیاری از محققان قرارگرفته است (قوامی فر و همکاران[۴] ، ۲۰۱۸). زنجیره تامین حلقه بسته یک روش کارآمد جهت کاهش هزینه‌های تولید به‌واسطه استفاده از قطعات محصولات بازگشتی است از سوی دیگر با توجه به استفاده مجدد از محصولات از رده خارج‌شده به کاهش زباله‌های صنعتی و درنتیجه حفظ محیط‌زیست کمک به‌سزایی می‌کند. مطالعات نشان داده‌اند که توانمندی‌ها و قابلیت‌های زیست‌محیطی شرکت‌ها دارای اثرات قابل‌توجهی بر استفاده آنها از زنجیره تأمین حلقه بسته است. این قابلیت‌ها به فناوری‌ها،

۱. Govindan, Soleimani, and Kannan

۲. Gholizadeh, Fazlollahtabar, and Khalilzadeh

۳. Shaharudin et al.

۴. Ghavamifar et al.

دارایی‌ها و تجربیات و تخصص‌های شرکت‌ها برای مدیریت نیازهای مختلف زیست‌محیطی مشتریان و سایر ذی‌نفعان اشاره داشته است و می‌تواند اثرات معناداری بر تلاش شرکت جهت بازگرداندن محصولات قابل بازیافت به شرکت و توسعه فعالیت‌های زنجیره تأمین حلقه بسته داشته باشد.زنجیره تامین حلقه بسته در صنایع نظامی شامل آماد و پشتیبانی معکوس، موجودی قابل تعمیر و مدیریت قطعات یدکی است (بایرامان، گاید جونیور و سریواستاوا[۱]، ۱۹۹۹). هزینه‌های نظامی باعث افزایش انتشار دی‌اکسید کربن می‌شود؛ به‌عبارت‌دیگر با افزایش فعالیت‌ها و تحقیقات نظامی محیط‌زیست آلوده‌تر خواهد شد.

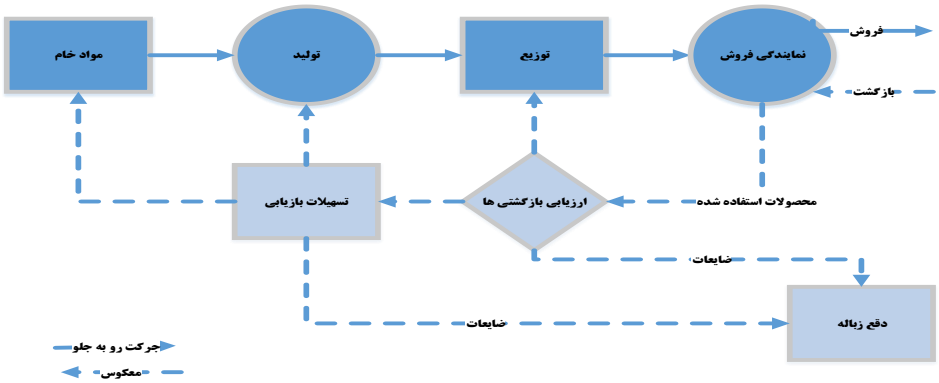
سازمان صنایع دفاع که زیرمجموعه‌ای از وزارت دفاع است، مسئول اصلی تولید محصولات نظامی در کشور است. این سازمان متشکل از چندین گروه و صنعت بزرگ در حوزه‌های مختلف تولید محصولات نظامی فعال است. ازجمله مسائل اصلی در این سازمان افزایش بهره‌وری و کاهش هزینه‌های محصولات گران‌قیمت نظامی به جهت ماندن در چرخه رقابت بویژه در صادرات این محصولات به کشورهای منطقه خاورمیانه است. از سوی دیگر حجم بالای زباله‌های صنعتی ایجادشده از محصولات نظامی و فشار نهاده‌ای زیست‌محیطی عامل دیگری است که این سازمان را همیشه درگیر کرده است. در فرایند تولید محصولات نظامی آلودگی‌های فراوانی در محیط‌زیست منتشر می‌شود کـه دراین‌بین، آلـودگی هـوا اهمیت ویژه‌ای دارد. این آلودگی‌ها به‌طور عمده از ذرات گردوغبار NO_2CO، CO، SO_2 و HF_2 و فلزات سنگین تشکیل‌شده‌اند که در مراحل دریافت و آماده‌سازی مواد اولیه و جوشکاری‌ها و ماشین‌کاری‌های فراوان تولید می‌شوند. پس با توجه به ماهیت تولید محصولات نظامی و جوشکاری‌های ویژه و قطعات الکترونیکی ویژه و مواد فلزی خاص، موضوعی با عنوان "طراحی مدل ریاضی توانمندسازی قابلیت‌های زیست‌محیطی زنجیره تأمین حلقه بسته در صنایع نظامی " در این پژوهش موردبررسی قرارگرفته است.

۱. Jayaraman, Guide and Srivastava

مبانی نظری و پیشینه شناسی تحقیق

زنجیره تامین حلقه بسته

اگر زنجیره تامین روبه‌جلو و معکوس را به‌طور هم‌زمان در نظر بگیریم، منتج به یک زنجیره تامین حلقه بسته می‌شود. شکل ۱ یک زنجیره تامین عمومی را برای آماد و پشتیبانی روبه‌جلو و معکوس نشان می‌دهد. در این شکل، زنجیره تامین کلاسیک (روبه‌جلو) و معکوس به ترتیب با خطوط ثابت و خط تیره ارائه‌شده است.

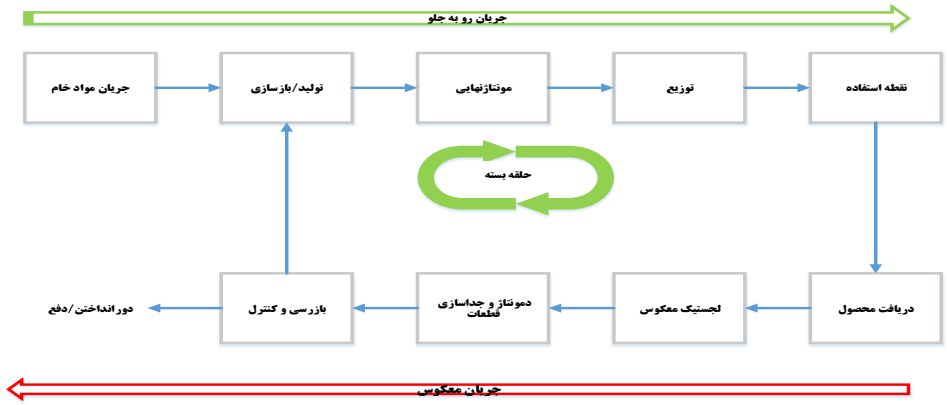


شکل ۱. یک‌شکل عمومی از زنجیره تامین روبه‌جلو / معکوس(تونانونت و همکاران[۱]، ۲۰۰۸)

زنجیره تامین حلقه بسته نوعی زنجیره پایدار است؛ زنجیره تامین پایدار اشاره به مدیریت جریان مواد، اطلاعات و منابع مالی و همچنین همکاری بین شرکت‌های در امتداد زنجیره تامین دارد که به‌طور هم‌زمان با سه بعد توسعه پایدار : زیست‌محیطی، اجتماعی و اقتصادی مطابقت دارند. یک شرکت می‌تواند از یک برنامه پایدار به‌عنوان یک ابزار راهبردی نه‌تنها برای حفظ محیط‌زیست استفاده کند، بلکه برای ارتقای تصویر شرکت خود، نام تجاری، تولید، درآمد، خدمت به مشتریان خود و نیز کاهش هزینه‌های تولید بهره ببرد؛ این نوع از زنجیره برای مدیریت بازیافت و ادامه زندگی محصولاتی که در انتهای چرخه حیاط خود قرار دارند، طراحی‌شده است که علاوه بر زنجیره تامین سنتی (حلقه

۱. Tonanont et al.

باز) دارای آماد و پشتیبانی معکوس نیز است که محصولات استفاده‌شده را بعد از جمع‌آوری بازیافت کرده و در بازارهای اصلی یا ثانویه (براساس کیفیت محصول بازتولیدشده) به فروش می‌رساند (دارچین، بروکلی و فرامینان[۱]، ۲۰۱۶).



شکل ۲- نمودار شبکه زنجیره تامین حلقه بسته (تورنر ۲۰۱۲)[۲]

در زنجیره تامین حلقه بسته، مواد و محصولات بازیابی شده دوباره به زنجیره تامین روبه‌جلو همان شرکت برمی‌گردد؛ بطوریکه محصولات تولیدشده از واحد کنترل کیفیت کارخانه عبورمی کند و به بازارهای اصلی جهت فروش ارسال می‌شوند و یا اینکه از مرحله نوسازی بدون کنترل کیفیت به بازارهای ثانویه خواهند رفت؛ به عبارتی روشن‌تر محصولات بازیابی شده به روش‌هایی شبیه محصولات تولیدشده با مواد خام دست‌اول به فروش می‌رسند و روند سفارش و تقاضا هم متفاوت نیست. به‌طورکلی محصولات بازیابی شده به‌عنوان نوع دیگر محصول مطرح نمی‌شوند و یا به عبارتی محصولات برگشتی به تولیدکننده اصلی برمی‌گردند (فرنچ و لافورژ[۳]، ۲۰۰۶). سبز کردن زنجیره تأمین، فرآیند در نظر گرفتن معیارها یا ملاحظات زیست‌محیطی در سرتاسر زنجیره تأمین است. در بررسی اثرات زیست‌محیطی فعالیت‌های زنجیره تأمین به تحلیل اثرات محصولات بر محیط‌زیست

۱. Cannella, Bruccoleri and Framinan

۲. Turner

۳. French and LaForge

به کمک رویکردی کل‌نگر (شامل تحلیل دوره عمر محصول از آغاز تاپایان عمر آن) پرداخته می‌شود؛ در این رویکرد کلیه اثرات بوم‌شناختی، علم عادات، نحوه زندگی موجودات و تعامل آنها با محیط هر فعالیت در مراحل مختلف عمر محصول مانند مفهوم محصول، طراحی بهینه مواد خام، ساخت و تولید، مونتاژ، نگهداری و بسته‌بندی، حمل‌ونقل و استفاده مجدد محصول اندازه‌گیری و در طراحی محصول لحاظ می‌شود (فراهانی[۱]، ۲۰۰۹).

قابلیت‌های زیست‌محیطی

قابلیت سازمانی، توانایی سازمان برای اجرای فعالیت‌ها و کارهای سازمان است درنتیجه، قابلیت زیست‌محیطی سازمان، توانایی یک سازمان برای انجام فعالیت‌های سازمانی در جهت سازگاربامحیط‌زیست است (گانیون و مدیریت[۲]، ۱۹۹۹) منابع داخلی سازمان‌ها مزیت رقابتی یک سازمان هستند و عامل مهمی در قابلیت‌های سازمانی تلقی می‌شوند. منابع سازمانی اثر مثبتی بر یکپارچگی قابلیت‌های سازمانی با مسائل زیست‌محیطی و سیاست‌های راهبردی دارد که موجب عملکرد بهتر سازمان می‌شود (جادج و داگلاس[۳]، ۱۹۹۸). بنابراین سازمان‌ها می‌توانند از مزیت به‌کارگیری قابلیت‌های زیست‌محیطی برای افزایش قابلیت‌های داخلی سازمان نظیر به‌کارگیری نیروهای خورشیدی برای تولید سوخت به‌جای استفاده از سوخت‌های فسیلی بهره گیرند (دین و براون[۴]، ۱۹۹۵) اگر قابلیت‌های زیست‌محیطی سازمان در مدیریت زنجیره تأمین سبز مؤثر و مفید واقع شود، به‌منزله دارایی ارزشمند برای سازمان حفظ‌شده و مزیت رقابتی ایجاد می‌کند(بای و لجیستیکز[۵]، ۲۰۱۷). سازمان‌ها می‌توانند از طریق قابلیت‌های زیست‌محیطی و به‌واسطه مدیریت زنجیره تأمین سبز، قابلیت‌های داخلی ایجاد کنند و در خارج سازمان

---

۱. Farahani

۲. Gagnon and Management

۳. Judge and Douglas

۴. Dean and Brown

۵. Bae and logistics

از طریق همکاری زیست‌محیطی با اعضای زنجیره تأمین به مزیت رقابتی دست یابند؛ درنتیجه قابلیت‌های زیست‌محیطی می‌توانند عملکرد سازمان را بهبود بخشند. در این پژوهش ۴۵ مقاله ازنظر زنجیره تامین حلقه بسته مورد ارزیابی قرار گرفت؛ همگی از روش‌های مختلفی استفاده کرده‌اند و با در نظر گرفتن جریان‌های مواد، کالا و خدمات، پیشنهادها مختلفی ارائه داده‌اند.

در این پژوهش مطالعات مربوط به زنجیره تامین حلقه بسته در ۲۰ سال گذشته بررسی‌شده است و سال‌ها، بخش‌ها و روش‌شناسی‌های مبتنی بر مطالعات برای انجام تحلیل, گروه‌بندی‌شده‌اند. با افزایش نگرانی‌های زیست‌محیطی و فعالیت‌های سبز، اهمیت زنجیره تامین حلقه بسته، به‌ویژه CLSC سبز در حال افزایش است. در مطالعاتی که بررسی‌شده است، مشاهده می‌شود که روش‌های مختلفی برای بهینه‌سازی یا طراحی زنجیره تامین حلقه بسته وجود دارد. نه‌تنها رویکردهای قطعی، بلکه از رویکردهای تصادفی نیز برای مدل‌سازی زنجیره‌های تامین حلقه بسته استفاده‌شده‌اند. علاوه بر این، به‌طورکلی از رویکردهای ریاضی برای درک آن استفاده می‌شود. در زیر برخی از مطالعات تحقیقات پیشین را مشاهده می‌کنید:

(گارای و همکاران[۱]، ۲۰۲۲) در پژوهش خود به زنجیره تامین مستقل ازنظر اقتصادی برای داروهای گیاهی و سوخت زیستی پرداخته و گزارش دادند مدل پیشنهادی این پژوهش به‌طور هم‌زمان تولید سوخت زیستی نسل دوم از محصولات استفاده‌شده در زنجیره معکوس و ساخت مجدد خاک‌پوششی را به‌عنوان اقلام قابل‌برگشت در زنجیره تولید در نظر می‌گیرد تا به نگرانی‌های زیست‌محیطی رسیدگی کند و پایداری بلندمدت را تضمین نماید. هم‌زمان، این مطالعه رضایت مشتریان خرده‌فروشی داروهای گیاهی را در کنار مشتریان بزرگ سوخت زیستی نسل دوم بهبود می‌بخشد. برای دستیابی به مقدار بهینه مطلوب‌تر تابع هدف اصلی، مطالعه حاضر یک الگوریتم بهینه‌سازی چندهدف نیمه‌خودکار

۱. Garai et al.

مبتنی بر روش minmax اصلاح‌شده را با اصلاح روش minmax کلاسیک توسعه می‌دهد.

(کو و همکاران[۱]، ۲۰۲۲) در پژوهش خود به راهبردهای تصمیم‌گیری برای زنجیره تامین ضایعات تجهیزات الکتریکی پرداخته و گزارش دادند بازیافت آنلاین به‌عنوان یک روش کارآمد برای افزایش میزان بازیابی ضایعات تجهیزات الکتریکی و الکترونیکی (WEEE) شناخته‌شده است. این مقاله یک مدل تصمیم‌گیری زنجیره تامین معکوس کانال دوگانه بازیافت (RSC) را با استفاده از مدل بازی استاکلبرگ[۲] ایجاد می‌کند و تأثیر درک مصرف‌کننده، تلاش‌های بازیافت برخط و مقررات دولتی بر قیمت، مقدار و سود مجموعه را موردبحث قرار می‌دهد.

(خو و همکاران[۳]، ۲۰۲۲) در پژوهش خود به رویکرد مدیریت زنجیره تامین معکوس برای زباله جامد شهری باسیاست یارانه تفکیک زباله پرداخته و گزارش دادند افزایش مستمر تولید زباله جامد شهری (MSW) که منجر به آلودگی زیست‌محیطی جدی، مصرف منابع و مشکلات بهداشتی شده است، نیازمند یک جریان دفع برای بهبود بازیافت و استفاده مجدد است. در این مطالعه، یک روش جدید پیشنهادشده است که فناوری‌های پیشرفته «مسیر سخت» و سیاست «مسیر نرم» را برای تسهیل رویکرد اتلاف به انرژی مؤثر و پایدار ترکیب می‌کند. چندین نظام آبشاری فناوری–اقتصادی زباله جامد شهری برای تصفیه آنها ایجاد و ترکیب شدند و یک سیاست یارانه برای مدیریت منابع زباله اعمال شد.

(سلیمانی و همکاران[۴]، ۲۰۱۷) از یک مدل‌سازی فازی برای طراحی شبکه CLSC استفاده کرده و یک الگوریتم ژنتیک را برای حل مدل خود توسعه داده‌اند. ازآنجایی‌که تقاضا واضح نیست، آنها از یک رویکرد فازی برای مدل‌سازی تقاضا استفاده کردند.

---

۱. Qu et al.

۲ . Stackelberg

۳. Xu et al.

۴. Soleimani et al. ۲۰۱۷

(طلایی و همکاران[۱] ، ۲۰۱۶) یک مسئله طراحی شبکه زنجیره تامین حلقه بسته کارآمد کربن را با روش فازی مدل‌سازی کرده‌اند. آنها از یک مدل برنامه‌نویسی عدد صحیح مختلط برای حل مشکلات مکان‌یابی تسهیلات و تخصیص یک شبکه زنجیره تامین حلقه بسته فازی استفاده کرده‌اند؛ دلیل اصلی استفاده از برنامه‌ریزی فازی این است که مشکلات زنجیره تامین حلقه بسته کارآمد کربن را می‌توان تحت شرایط نامشخص باهدف به حداقل رساندن هزینه کل و درعین‌حال به حداقل رساندن انتشار کربن در نظر گرفت.

روش‌شناسی تحقیق

مراحل اجرای این پژوهش در شکل زیر نشان داده‌شده است.

شکل ۳-مراحل اجرای پژوهش حاضر(کای و کردستانی زاده[۲]، ۲۰۱۹)

تحقیق پیش رو یک تحقیق توصیفی تحلیلی و از نوع ریاضی است؛ از حیث هدف کاربردی است. اما با توجه به مطالعه روش‌های پیشین و ارایه پیشنهاد روش مناسب‌تر و کاربردی‌تر، مطالعه حاضر از حیث روش، توسعه‌ای کاربردی است. روش‌شناسی پژوهش این پژوهش ازنظر انواع جهت‌گیری‌های پژوهش، جزء پژوهش‌های توسعه‌ای است؛ چون

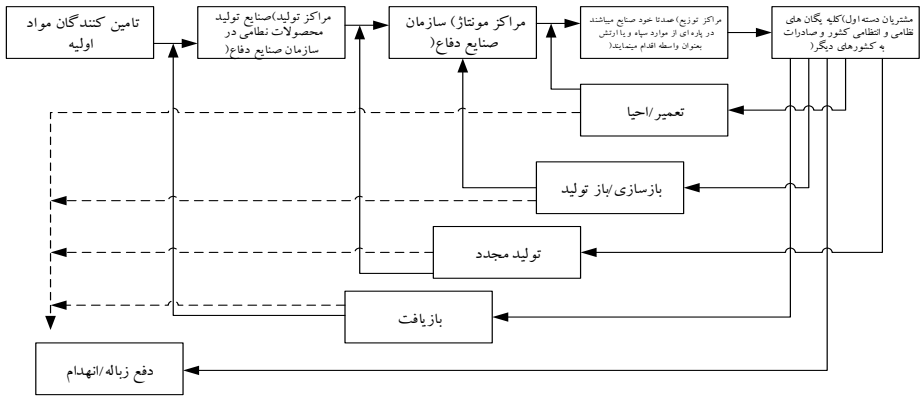
۱. Talaei et al. ۲۰۱۶

۲. Kai and Kordestanizadeh

سعی دارد که مدل‌های موجود در طراحی شبکه زنجیره تأمین را گسترش دهد و ابعاد محیط‌زیستی را که در پژوهش‌های قبلی کمتر به آن اشاره شده بود، در نظر بگیرد. بنابراین، در مقایسه با پژوهشگران قبلی، توسعه‌یافته‌تر و عمیق‌تر است. همچنین، ازنظر ماهیت و چگونگی، ریاضی و از نوع مدل‌سازی است. مسئله بررسی‌شده در این پژوهش، طراحی مدل ریاضی جهت توانمندسازی قابلیت‌های زیست‌محیطی زنجیره تأمین حلقه بسته برای صنایع نظامی است. در این پژوهش، طراحی مدل ریاضی با در نظر گرفتن اهداف اقتصادی و زیست‌محیطی، انجام شده است. زنجیره تامین موردبحث که یک شبکه چندسطحی و چندمحصولی است، پس از تولید شدن محصول‌ها در مراکز تولیدی، از طریق مراکز توزیع برای مشتریان فرستاده می‌شود؛ محصول‌هایی که مشتریان از آنها راضی نیستند یا عمر آنها به اتمام رسیده است، برگشت داده‌شده و در مراکز جمع‌آوری نگهداری می‌شوند. در قسمت جمع‌آوری و بازرسی، درصدی از محصول‌های بازگشتی به مراکز انهدام ارسال می‌شوند تا منهدم شوند. مابقی محصول‌ها به دو شیوه مجدداً استفاده می‌شوند:

۱. محصولات قابل تعمیر در مراکز احیا یا تعمیر، تعمیر می‌شوند و از طریق مراکز توزیع، بار دیگر برای مشتریان ارسال خواهند شد.

۲. محصولات غیرقابل تعمیر، بازیافت شده و از قطعات آنها استفاده می‌شود. بنابراین، همان طور که مطرح شد، محصول‌ها در جهت رو به جلو تولید و بین مشتریان توزیع می‌شوند و در جهت رو به عقب به یکی از مراکز بازیافت، احیا، بازتولید یا انهدام برمی‌گردند.



شکل ۴: تصویر زنجیره تامین حلقه بسته مورد مطالعه

(برگرفته شده از روند حرکتی زنجیره تامین موجود در برخی از صنایع نظامی)

یافته ها و تجزیه‌وتحلیل داده‌ها

الف: یافته‌های تحقیق

مفروضات

- مدل طراحی شده به‌صورت چندمحصولی، چندهدف و چند سطحی است.
- محصولات مرجوعی به مراکز جمع آوری ارسال شده و در این مراکز مورد بازرسی قرار می گیرند و با توجه به میزان سلامت قطعاتشان در ارتباط با بازیابی و یا دفع آنها تصمیم‌گیری می‌شود. محصولات قابل بازیابی و تعمیر به مراکز بازیابی منتقل و محصولات غیرقابل بازیابی برای دفع به مراکز دفع فرستاده می شوند.
- عواملی نظیر ظرفیت، هزینه، تقاضا، میزان‌تعمیر، بازتولید، انهدام، بازیافت، ظرفیت وسائل حمل‌ونقل، زمان‌های حمل محصول، قطعی نیستند و از تئوری فازی برای رفع عدم قطعیت استفاده شده است.
- کیفیت محصول‌های تعمیر شده برای فروش، با محصول‌های جدید تفاوت دارد.
- ظرفیت تسهیلات (مراکز توز یع، مراکز انبار و بازرسی جمع‌آوری و کارخانجات تولیدی) محدود است.
- مکان‌های مراکز بالقوه تولید، توزیع، توزیع مجدد، بازتولید، احیا یا تعمیر، بازیافت و انهدام مشخص است.
- مقادیر کالاهای مرجوعی و تقاضای مشتریان قطعی است.
- مکان های بالقوه برای تأسیس مراکز توزیع و مراکز جمع‌آوری و تعمیر و بازیافت معلوم و به‌صورت گسسته است. فضای حل مسئله به‌صورت گسسته است.
- مقدار گاز CO_2 منتشرشده ناشی از حمل‌ونقل با ماشین‌آلات مختلف غیر قطعی در نظر گرفته شده است.
- مقدار گاز CO_2 منتشرشده ناشی از تولید هر واحد محصول نیز غیر قطعی در نظر گرفته شده است.
- مشتریان عملکرد محصولات نو و دست دوم را یکسان فرض می‌کنند.

- محصولات دست دوم قیمت پایین‌تری نسبت به محصولات نو دارند.
- شبکه زنجیره تأمین مورد مطالعه، از نوع شبکه حلقه بسته است که شبکه رو به جلو چهار سطح (تأمین، تولید، توزیع و مشتریان دسته اول) و شبکه برگشتی هفت سطح (مراکز جمع‌آوری، مراکز احیا، مراکز بازتولید، مراکز بازیافت، مراکزانهدام، مراکز توزیع مجدد و مشتریان دسته دوم) را دربرمی‌گیرد.
- مدل ریاضی ارائه شده دارای چهار تابع هدف است: تابع اول، حداقل کردن گازهای گل خانه‌ای؛ تابع دوم، کاهش زباله‌های محصولات نظامی؛ تابع سوم، حداقل کردن هزینه‌های تولید محصولات نظامی و تابع چهارم، حداقل کردن خطر تامین مواد اولیه و قطعات تحریم شده است.

اندیس‌ها: iتامین‌کننده- jتولیدکننده- kتوزیع‌کننده- mبازتولیدکننده- nتعمیرکننده- oبازیافت‌کننده- qانهدام‌کننده- vوسایل‌نقلیه- pمحصول- cمراکز جمع‌آوری- aمشتریان دسته اول- bمشتریان دسته دوم- tدوره زمانی

پارامترها

$\widetilde{TCIJ}_{ijv}$ هزینه ارسال از تامین‌کننده به تولیدکننده با وسیله نقلیه **V**

$\widetilde{MC}_{pj}$ هزینه تولید محصول **p** توسط تولیدکننده **j**

$\widetilde{RMC}_{pm}$ هزینه بازتولید تولید محصول **p** توسط بازتولیدکننده **m**

$\widetilde{TCJK}_{jkv}$ هزینه ارسال کالا از تولیدکننده**j** به توزیع کننده**k** با وسیله نقلیه **V**

$\widetilde{TCKa}_{jk}$ هزینه ارسال کالا از توزیع کننده**k** به مشتری دست‌اول **a** با وسیله نقلیه **V**

$\widetilde{TCac}_{acv}$ هزینه ارسال کالا از مشتری دست‌اول **a** به مرکز جمع‌آوری **c**با وسیله نقلیه **V**

$\widetilde{TCco}_{cov}$ هزینه ارسال کالا از مرکز جمع‌آوری **c** به مرکز بازیافت **o**با وسیله نقلیه **V**

$\widetilde{TCcm}_{cmv}$ هزینه ارسال کالا از مرکز جمع‌آوری **c** به مرکز بازتولید **m**با وسیله نقلیه **V**

$\widetilde{TCcn}_{cnv}$ هزینه ارسال کالا از مرکز جمع‌آوری **c** به مرکزتعمیر **n** با وسیله نقلیه **V**

$\widetilde{TCcq}_{cqv}$ هزینه ارسال کالا از مرکز جمع‌آوری **c** به مرکز انهدام **q** با وسیله نقلیه **v**

$\widetilde{TCmb}_{mbv}$ هزینه ارسال کالا از مرکز بازتولید **m** به مشتری دست دوم **b**با وسیله نقلیه **V**

$\widetilde{TCnb}_{nbv}$ هزینه ارسال کالا از مرکزتعمیر **n** به مشتری دست دوم **b**با وسیله نقلیه **V**

$\widetilde{TCoi}_{oiv}$ هزینه ارسال کالا از مرکز بازیافت **o** به تامین‌کننده **i** با وسیله نقلیه **V**

$\widetilde{PCPa}_{pa}$ هزینه خرید محصولات بازگشتی **p** از مشتریان دست‌اول **a**

$\widetilde{CCa}_{ac}$ هزینه جمع‌آوری از مشتریان دست‌اول **a** توسط مرکز جمع‌آوری **c**

$\widetilde{PCWI}_{wi}$ هزینه خرید مواد اولیه **w** از تامین‌کننده **i**

$\widetilde{RCPn}_{pn}$ هزینه تعمیر محصول **p** توسط تعمیر کننده **n**

$\widetilde{RCPo}_{po}$ هزینه بازیافت محصول **p** توسط بازیافت کننده **o**

$\widetilde{RCPQ}_{pq}$ هزینه انهدام محصول **p** توسط انهدام کننده **q**

$\widetilde{LCP}_{p}$ هزینه کمبود محصول **p**

$\widetilde{CPC}_{p}$ هزینه جریمه محصول **p** جمع‌آوری نشده

$\widetilde{MIPJ}_{pj}$ هزینه موجودی محصول **P** برای تولیدکننده **J**

$\widetilde{MIPK}_{pk}$ هزینه موجودی محصول **P** برای توزیع کننده **K**

$\widetilde{MIPC}_{pc}$ هزینه موجودی محصول **P** برای مرکز جمع‌آوری **C**

$\widetilde{FCI}_{i}$ هزینه احداث تامین‌کننده **i**

$\widetilde{FCC}_{c}$ هزینه احداث مرکز جمع‌آوری **c**

$\widetilde{VCO2}_{v}$ مقدار دی‌اکسید کربن منتشر شده توسط وسیله نقلیه **V**

$\widetilde{MCO2}_{jp}$ مقدار دی‌اکسید کربن منتشر شده توسط وسیله نقلیه مرکز تولید **j**برای محصول **p**

$\widetilde{Dem}_{pt}$ میزان تقاضای محصول **p** در دوره زمانی **t**

$\widetilde{RSK}_{i}$ خطر تامین مواد اولیه از تامین‌کننده **I**

$\widetilde{CAPJ}_{j}$ ظرفیت کارخانه **j**

$\widetilde{CAPO}_{o}$ ظرفیت بازیافت کننده **o**

$\widetilde{CAPN}_{n}$ ظرفیت تعمیر کننده **n**

$\widetilde{CAPQ}_{q}$ ظرفیت انهدام کننده **q**

$\widetilde{CAPI}_{i}$ ظرفیت تامین‌کننده **i**

$\widetilde{CAPK}_{k}$ ظرفیت تامین‌کننده **k**

$\widetilde{CAPC}_{c}$ ظرفیت مرکز جمع‌آوری **c**

$\widetilde{CAPM}_m$ ظرفیت بازتولیدکننده **m**

متغیرهای تصمیم

XIJ_{ijv} اگر ارسال مواد اولیه از تامین‌کننده **i** به کارخانه **j** با استفاده از وسیله نقلیه **v** انجام شود ۱ و در غیراینصورت صفر

$\boldsymbol{XJKV_{jkv}}$ اگر ارسال کالا از تولیدکننده**j** به توزیع کننده**k** با وسیله نقلیه **V** صورت گیرد ۱ و در غیراینصورت صفر

$\boldsymbol{XKa_{kav}}$ اگر ارسال کالا از توزیع کننده**k** به مشتری دست‌اول **a** با وسیله نقلیه **V** صورت گیرد ۱ و در غیراینصورت صفر

$\boldsymbol{Xacv_{acv}}$ اگر ارسال کالا از مشتری دست‌اول **a** به مرکز جمع‌آوری **c**با وسیله نقلیه **V** صورت گیرد ۱ و در غیراینصورت صفر

$\boldsymbol{XCO_{cov}}$ اگر ارسال کالا از مرکز جمع‌آوری **c** به مرکز بازیافت **o**با وسیله نقلیه **V** صورت گیرد ۱ و در غیراینصورت صفر

$\boldsymbol{XCMv_{cmv}}$ اگر ارسال کالا از مرکز جمع‌آوری **c** به مرکز بازتولید **m**با وسیله نقلیه **V** صورت گیرد ۱ و در غیراینصورت صفر

$\boldsymbol{XCNv_{cnv}}$ اگر ارسال کالا از مرکز جمع‌آوری **c** به مرکزتعمیر **n** با وسیله نقلیه **V** صورت گیرد ۱ و در غیراینصورت صفر

$\boldsymbol{XCQv_{cqv}}$ اگر ارسال کالا از مرکز جمع‌آوری **c** به مرکز انهدام **q** با وسیله نقلیه **v** صورت گیرد ۱ و در غیراینصورت صفر

$\boldsymbol{XMBV_{mbv}}$ اگر ارسال کالا از مرکز بازتولید **m** به مشتری دست دوم **b**با وسیله نقلیه **V** صورت گیرد ۱ و در غیراینصورت صفر

$\boldsymbol{XNBV_{nbv}}$ اگر ارسال کالا از مرکزتعمیر **n** به مشتری دست دوم **b**با وسیله نقلیه **V** صورت گیرد ۱ و در غیراینصورت صفر

$\boldsymbol{XOIv_{oiv}}$ اگر ارسال کالا از مرکز بازیافت **o** به تامین‌کننده **i** با وسیله نقلیه **V** صورت گیرد ۱ و در غیراینصورت صفر

$\boldsymbol{XMC_{pj}}$ میزان تولید محصول **p** توسط تولیدکننده **j**

$XRMC_{pm}$ میزان محصول بازتولیدشده **p**توسط بازتولیدکننده **m**

XJK_{jk} میزان محصول ارسالی از تولیدکننده **j** به توزیع کننده **k**

Xac_{acp} میزان کالای بازگشتی**p** از مشتری دست‌اول **a** به مرکز جمع‌آوری **c**

Xco_{cop} میزان محصول بازگشتی **p** از مرکز جمع‌آوری **c** به مرکز بازیافت **o**

Xcm_{cmp} میزان محصول ارسالی **p** از مرکز جمع‌آوری **c** به مرکز بازتولید **m**

Xcn_{cnp} میزان محصول ارسالی **p** از مرکز جمع‌آوری **c** به مرکزتعمیر **n**

Xcq_{cqp} میزان محصول ارسالی **p** از مرکز جمع‌آوری **c** به مرکز انهدام **q**

Xmb_{mbp} میزان محصول ارسالی **p** از مرکز بازتولید **m** به مشتری دست دوم **b**

Xnb_{nbp} میزان محصول ارسالی**p** از مرکزتعمیر **n** به مشتری دست دوم **b**

Xoi_{oip} میزان محصول ارسالی**p** از مرکز بازیافت **o** به تامین‌کننده **i**

$XPCwi_{wi}$ میزان مواد اولیه **w** خریداری شده از تامین‌کننده **i**

$XLCP_p$ میزان کمبود محصول **P**

$XCPC_p$ میزان محصول جمع‌آوری نشده

$XMIPJ_{pj}$ میزان موجودی محصول **P** برای تولیدکننده **J**

$XMIPK_{pk}$ میزان موجودی محصول **P** برای توزیع کننده **K**

$XMIPC_{pc}$ میزان موجودی محصول **P** برای مرکز جمع‌آوری **C**

XI_i اگر تامین‌کننده **i** در مکان بالقوه احداث شود ۱ و در غیر اینصورت صفر

XCC_c اگر مرکز جمع‌آوری **c** در مکان بالقوه احداث شود ۱ و در غیر اینصورت صفر

XII_i اگر تامین‌کننده **i** برای تامین مواد اولیه انتخاب شود ۱ و در غیر اینصورت صفر

$$\min z1 = \sum_{j}\sum_{k}\sum_{v} \widetilde{VCO2}_{v}.XJK_{jkv} + \sum_{a}\sum_{k}\sum_{v} \widetilde{VCO2}_{v}.XKa_{kav} + \sum_{a}\sum_{c}\sum_{v} \widetilde{VCO2}_{v}.Xac_{acv}$$
$$+ \sum_{o}\sum_{c}\sum_{v} \widetilde{VCO2}_{v}.XCO_{cov} + \sum_{m}\sum_{c}\sum_{v} \widetilde{VCO2}_{v}.XCM_{cmv}$$
$$+ \sum_{m}\sum_{c}\sum_{v} \widetilde{VCO2}_{v}.XCN_{cnv} + \sum_{q}\sum_{c}\sum_{v} \widetilde{VCO2}_{v}.XCQ_{cqv}$$
$$+ \sum_{m}\sum_{b}\sum_{v} \widetilde{VCO2}_{v}.XMBV_{mbv} + \sum_{n}\sum_{b}\sum_{v} \widetilde{VCO2}_{v}.XNBV_{nbv}$$
$$+ \sum_{o}\sum_{i}\sum_{v} \widetilde{VCO2}_{v}.XOI_{oiv} + \sum_{j}\sum_{p}\sum_{m} \widetilde{MCO2}_{jp}.XMC_{pj}$$

(۱)رابطه فوق به دنبال حداقل ساختن نشر آلایندگی توسط وسایل نقلیه و تولید کنندگان است.

$$\min z2 = \sum_{a}\sum_{c}\sum_{p} Xac_{acp} - [\sum_{o}\sum_{c}\sum_{p} Xco_{ocp} + \sum_{m}\sum_{c}\sum_{p} Xcm_{cmp} + \sum_{n}\sum_{c}\sum_{p} Xcn_{cnp}$$
$$+ \sum_{q}\sum_{c}\sum_{p} Xcq_{cqp} + \sum_{m}\sum_{b}\sum_{p} Xmb_{cbp} + \sum_{n}\sum_{b}\sum_{p} Xnb_{cbp} + \sum_{o}\sum_{i}\sum_{p} Xoi_{oip}]$$

(۲)رابطه ۲ به دنبال حداقل ساختن زباله‌های زیست‌محیطی است که می‌تواند از جمع‌آوری کالاها برجا بماند.

$$\min z3 = \sum_{i}\sum_{j}\sum_{v} \widetilde{TCIJ}_{ijv}.XIJ_{ijv} + \sum_{k}\sum_{j}\sum_{v} \widetilde{TCJK}_{jkv}.XJk_{ijv} + \sum_{k}\sum_{a}\sum_{v} \widetilde{TCKa}_{jk}.Xka_{kav}$$
$$+ \sum_{c}\sum_{a}\sum_{v} \widetilde{TCac}_{acv}.Xac_{acv} + \sum_{c}\sum_{o}\sum_{v} \widetilde{TCco}_{cov}.Xco_{cov}$$
$$+ \sum_{c}\sum_{m}\sum_{v} \widetilde{TCcm}_{cmv}.Xcm_{cmv} + \sum_{c}\sum_{n}\sum_{v} \widetilde{TCcn}_{cnv}.Xcn_{cnv}$$
$$+ \sum_{c}\sum_{q}\sum_{v} \widetilde{TCcq}_{cqv}Xcq_{cqv} + \sum_{m}\sum_{b}\sum_{v} \widetilde{TCmb}_{mbv}Xmb_{mbv}$$
$$+ \sum_{n}\sum_{b}\sum_{v} \widetilde{TCnb}_{nbv}Xnb_{nbv} + \sum_{o}\sum_{i}\sum_{v} \widetilde{TCoi}_{oiv}Xoi_{oiv} + \sum_{p}\sum_{j} \widetilde{MC}_{pj}.XMC_{pj}$$
$$+ \sum_{p}\sum_{m} \widetilde{RMC}_{pm}.XRMC_{pm} + \sum_{p}\sum_{a} \widetilde{PCP}a_{pa}.Xac_{acp} + \sum_{a}\sum_{c} \widetilde{CCa}_{ac}.Xac_{acp}$$
$$+ \sum_{w}\sum_{i} \widetilde{PCWI}_{wi}XPCwi_{wi} + \sum_{p}\sum_{n}\sum_{c} \widetilde{RCP}n_{pn}Xcn_{cnp}$$
$$+ \sum_{p}\sum_{o}\sum_{C} \widetilde{RCP}o_{po}.Xco_{cop} + \sum_{P}\sum_{Q}\sum_{C} \widetilde{RCPQ}_{pq}.Xcq_{cqp} + \sum_{p} \widetilde{LCP}_{p}.XLCP_{p}$$
$$+ \sum_{p} \widetilde{CPC}_{p}.XCPC_{p} + \sum_{p}\sum_{j} \widetilde{MIPJ}_{pj}.XMIPJ_{pj} + \sum_{p}\sum_{k} \widetilde{MIPK}_{pk}.XMIPk_{pk}$$
$$+ \sum_{p}\sum_{c} \widetilde{MIPC}_{pc}.XMIPc_{pc} + \sum_{i} \widetilde{FCI}_{i}.XI_{i} + \sum_{c} \widetilde{FCC}_{c}.XCC_{c}$$

(۳)رابطه ۳ به دنبال حداقل ساختن هزینه ها است که این هزینه ها شامل هزینه تولید، انتقال، نگهداری، کمبود و بازتولید است.

$$MIN\ 4 = \sum_{I} RSK_i . XII_i$$

(۴)تابع هدف فوق به دنبال حداقل ساختن خطر تامین قطعات یا مواد اولیه است.

$$XIJ_{ijv} \le XI_i$$

(۵)رابطه فوق بیان می‌کند که ارسال کالا از تامین‌کننده منوط به احداث آن است.

$$XII_i \le XI_i$$

(۶)رابطه ۶ نشان می‌دهد که انتخاب تامین‌کننده منوط به احداث آن است.

$$\sum_{I} XMC_{pj} \ge \widetilde{Dem}_p$$

(۷)رابطه ۷ بیان می‌کند که کل تقاضا باید توسط تولید تمامی کارخانه ها محقق شود.

$$XMC_{pj} \le \widetilde{CAPJ}_j$$

(۸)رابطه ۸ نشانگر محدودیت ظرفیت هر کارخانه است.

$$\sum_{m} XRMC_{pm} \le \sum_{j} XMC_{pj}$$

(۹)رابطه فوق نشان می‌دهد جمع کل محصولات بازتولیدشده به‌طور طبیعی نمی‌تواند از کل محصولات تولیدشده بیشتر باشد.

$$XRMC_{pm} \le \widetilde{CAPM}_m$$

(۱۰)رابطه ۱۰ بیانگر محدودیت ظرفیت بازتولیدکننده است.

$$\sum_{a}\sum_{c} Xac_{acp} \le \sum_{j} XMC_{pj}$$

(۱۱)رابطه ۱۱ بیان می‌کند که کل محصول بازگشتی ازمشتریان دست اول به مراکز جمع‌آوری نمی‌تواند بیش از محصولات تولیدشده باشد.

$$\sum_{c}\sum_{o} XCO_{cop} + \sum_{c}\sum_{m} XCM_{cmp} + \sum_{c}\sum_{n} XCN_{cnp} + \sum_{c}\sum_{q} Xcq_{cqp} + \sum_{m}\sum_{b} Xmb_{mbp} + \sum_{n}\sum_{b} Xnp_{npb} + \sum_{o}\sum_{i} Xoi_{oip} \le \sum_{a}\sum_{c} Xac_{acp}$$

(۱۲)رابطه ۱۲ بیانگر این نکته است که جمع محصولات تعمیر شده، منهدم شده، بازیافت شده و بازتولیدشده نمی‌تواند از کل محصولات جمع‌آوری شده بیشتر باشد که این امر یکی از شروط حلقه بسته بودن زنجیره تامین به شمار می‌رود.

$$XCO_{cop} \leq \widetilde{CAPO}_{c}$$

(۱۳)رابطه ۱۳ نشانگر محدودیت ظرفیت بازیافت است.

$$Xcn_{cnp} \leq \widetilde{CAPN}_{n}$$

(۱۴)رابطه ۱۴ نشانگر محدودیت ظرفیت تعمیر است.

$$Xcq_{cqp} \leq \widetilde{CAPQ}_{q}$$

(۱۵)رابطه ۱۵ نشانگر محدودیت ظرفیت انهدام کننده است.

$$Xoi_{oip} \leq \widetilde{CAPI}_{i}$$

(۱۶)رابطه ۱۶ نشانگر محدودیت ظرفیت تامین‌کننده است.

$$XMIPJ_{pj} \leq \widetilde{CAPJ}_{j}$$

(۱۷)رابطه فوق محدودیت موجودی را برای کارخانه نشان می‌دهد

$$XMIPK_{pk} \leq \widetilde{CAPK}_{k}$$

(۱۸)رابطه فوق محدودیت موجودی را برای توزیع کننده نشان می‌دهد.

$$XMIPC_{pc} \leq \widetilde{CAPC}_{c}$$

(۱۹)رابطه ۱۹ محدودیت ظرفیت را برای جمع‌آوری کننده نشان می‌دهد.

$$Xac_{acp} \leq MM.XCC_{c}$$

(۲۰)رابطه ۲۰ نشان می‌دهد در صورتی حجم بازگشتی به مرکز جمع‌آوری وجود دارد که آن مرکز احداث شده باشد.

$$XJK_{jk} \leq MMXJKV_{jkv}$$

(۲۱)محدودیت ۲۱ نشان می‌دهد در صورتی حجم کالا از تولیدکننده به توزیع کننده وجود

دارد که ارسال کالا از تولیدکننده به توزیع کننده در نظر گرفته شده باشد.

$$Xac_{acp} \leq MMXacv_{acv}$$

(۲۲)محدودیت ۲۲ بیان می‌کند در صورتی حجم بازگشتی از مشتری دست‌اول به مرکز جمع‌آوری وجود دارد که ارسال کالا از مشتری به آن مرکز در نظر گرفته شده باشد.

$$Xco_{cop} \leq MMXCOv_{cov}$$

(۲۳)محدودیت ۲۳ نشان می‌دهد در صورتی از مرکز جمع‌آوری به مرکز بازیافت کالا ارسال می‌شود که ارسال از آن در نظر گرفته شده باشد.

$$Xcm_{cmp} \leq MMXCMv_{cmv}$$

(۲۴)رابطه فوق نشان می‌دهد در صورتی از مراکز جمع‌آوری به مراکز بازتولید محصول ارسال می‌شود که این ارسال در نظر گرفته شده باشد.

$$Xcn_{cnp} \leq XCNv_{cnv}$$

(۲۵)در رابطه فوق این نکته بیان شده است که در صورتی حجم کالا برای تعمیر ارسال می‌شود که ارسال کالا در نظر گرفته شده باشد.

$$Xcq_{cqp} \leq XCQv_{cqv}$$

(۲۶)رابطه فوق بیان می‌کند در صورتی حجم کالا به مرکز انهدام ارسال می‌شود که این ارسال در نظر گرفته شده باشد.

$$Xmb_{mbp} \leq XMBV_{mbv}$$

(۲۷)رابطه فوق بیان می‌کند حجم کالا از مرکز بازتولید به مشتریان دست دوم در صورتی وجود دارد که ارسال محصول در نظر گرفته شده باشد.

$$Xnb_{nbp} \leq XNBV_{nbv}$$

(۲۸)در رابطه فوق ارسال کالای تعمیر شده به مشتریان دست دوم در صورتی است که این ارسال در نظر گرفته شده باشد.

$$Xoi_{oip} \leq XOIv_{oiv}$$

(۲۹) رابطه فوق ارسال محصول بازیافتی به تامین‌کننده در صورتی است که این ارسال در نظر گرفته شده باشد.

$$XLCP_p = \widetilde{Dem}_p - \sum_j XMC_{pj}$$

(۳۰)رابطه فوق بیانگر میزان کمبود محصول است.

$$XCPC_p = \sum_j XMC_{pj} - \sum_a \sum_c Xac_{acp}$$

(۳۱)رابطه فوق بیانگر میزان محصول جمع‌آوری نشده است.

فازی‌زدایی

در این بخش با استفاده از رویکرد فازی‌زدایی خیمنز و همکاران (۲۰۰۷) فازی‌زدایی عوامل و برخی محدودیت‌ها که دارای عوامل فازی هستند (در مدل با علامت ~ مشخص شده‌اند) صورت می‌گیرد.

تجزیه‌وتحلیل یافته‌ها

برای حل مدل از چهار الگوریتم **NSGAII,MOPSO,MOACO,MOSA** استفاده می‌شود و نتایج حاصل از این الگوریتم‌ها باهم مقایسه می‌شود. در ابتدا اعتبار سنجی مدل انجام می‌شود. برای اعتبار سنجی، مسئله در ابعاد کوچک حل می‌شود تا بدین وسیله اعتبار مدل تائید شود. سپس تحلیل حساسیت که مهم‌ترین بخش تجزیه‌وتحلیل است صورت می‌گیرد. با استفاده از تحلیل حساسیت واکنش مدل و اهداف مدل به تغییرات در پارامترهای مختلف تعیین می‌شود و در پایان مشخص می‌شود که کدام‌یک از پارامترها بر کدام‌یک از اهداف تحقیق اثر بیشتری را نشان می‌دهد. در پایان با استفاده از برش آلفا اثرگذاری عدم قطعیت بر اهداف تحقیق تبیین می‌شود.

اعتبار سنجی مدل

در این بخش به اعتبار سنجی مدل پرداخته می‌شود. در ابتدا مدل در ابعاد کوچک حل شده و نتایج روش دقیق ارائه می‌شود. پیش از آن ابعاد مدل در ابعاد کوچک تعیین می‌شود. این داده‌ها شامل تعداد عناصر زنجیره تامین یعنی تامین‌کنندگان، تولیدکنندگان، توزیع‌کنندگان و سایر گروه‌های زنجیره است که در هر مسئله این تعداد که ابعاد مسئله

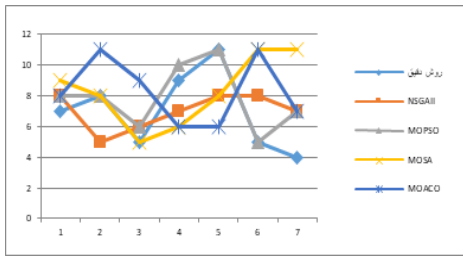
می‌باشند، افزایش می‌یابد و در نهایت کل تعداد مسائل با ابعاد گوناگون تعیین می‌شود. طبق مشاهدات با افزایش ابعاد مسائل کوچک زمان محاسبه نیز افزایش‌یافته و در نهایت در مثال ۱۰ با پیام **LOW MEMORY** مواجه می شویم که این امر نشانگر ناکارائی روش دقیق در حل مسئله مزبور بوده بنابراین از مثال ۱۰ به بعد را باید با الگوریتم‌های فرا ابتکاری حل کرد. پس با افزایش ابعاد، زمان محاسبه افزایش یافته و بر این اساس می‌توان گفت مدل دارای اعتبار برای حل آن در ابعاد بزرگ است. لازم به ذکر است که اعتبار سنجی بر روی تابع هدف سوم مسئله یعنی حداقل ساختن هزینه صورت گرفته است؛ چراکه این تابع هدف دارای بیشترین متغیرهای مسئله است.

الگوریتم‌های فرا ابتکاری پیشنهادی در این پژوهش

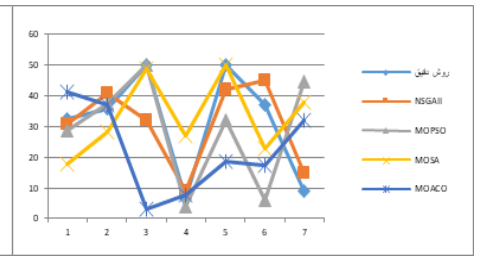
الگوریتم **NSGA-II** نوع چندهدفه الگوریتم ژنتیک است که بر اساس یافتن نقاط پارتویی نامغلوب به جواب دست می‌یابد. درواقع این الگوریتم به علت نیاز به حل مسائل چندهدفه پس از تحولات شکل گرفته در الگوریتم ژنتیک اولیه یا کلاسیک پیشنهاد شد که موفق به حل بسیاری از مسائل چندهدفه در دنیای واقعی و همچنین در حوزه‌های مختلف مسائل چندهدفه گردید. در ابتدا نحوه نمایش جواب یا اصطلاحات بردارهای جواب در مسأله حاضر ارائه شده و سپس نحوه برازش مدل ارائه می شود. علاوه بر الگوریتم **NSGAII** که الگوریتم پایه در تحقیق حاضر است از الگوریتم‌های **MOPSO MOSA** و **MOACO** نیز استفاده می‌شود که البته این الگوریتم‌ها با الگوریتم **NSGAII** مقایسه می‌شوند؛ اما نحوه تولید جواب و کروموزوم‌ها برای تمامی الگوریتم‌ها یکسان است.

تولید مثال- حل مدل

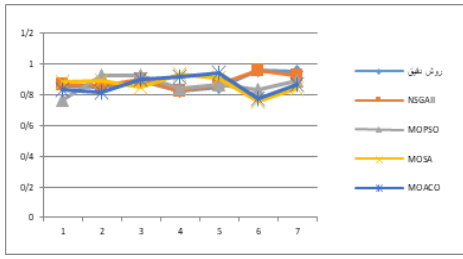
پس از بررسی اعتبار مدل و حل مدل در ابعاد کوچک در ادامه حل مدل در ابعاد بزرگ صورت می‌گیرد. پس از تعیین ابعاد مدل با استفاده از چهار الگوریتم **MOPSO NSGAII MOSA** و **MOACO** حل شد و نتایج آن ازنظر چهار معیار تعداد نقاط پارتو، معیار پراکندگی، شاخص فاصله تا نقطه ایده‌آل و زمان حل به ثانیه با روش دقیق و همچنین بین خود الگوریتم‌ها مقایسه شد.



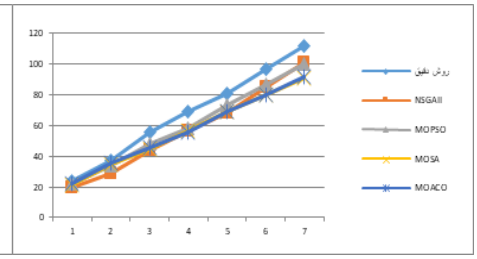
شکل ۵- مقایسه دقیق و الگوریتم‌ها ازنظر تعداد نقاط پارتو



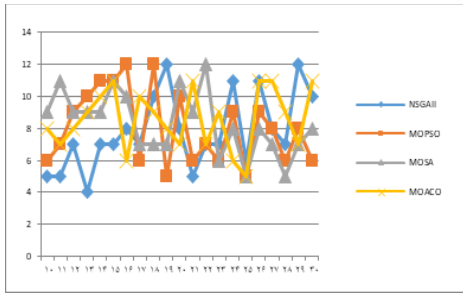
شکل ۶- مقایسه دقیق و الگوریتم‌ها ازنظر معیار پراکندگی



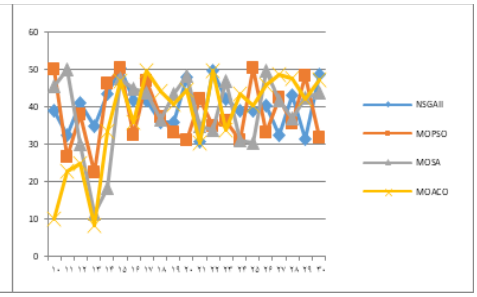
شکل۷- مقایسه دقیق و الگوریتم‌ها ازنظر فاصله تا نقطه ایده آل



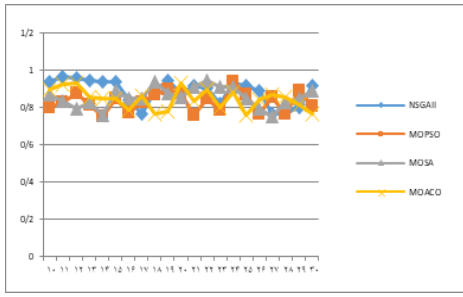
شکل ۸- مقایسه دقیق و الگوریتم‌ها ازنظرزمان محاسبه



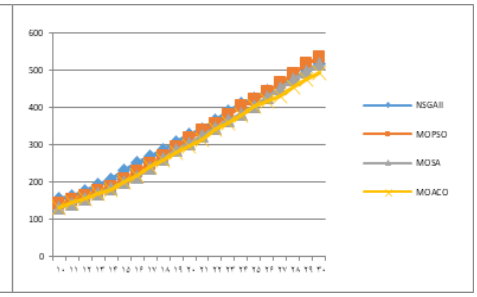
شکل ۹- الگوریتم‌ها در متوسط و بزرگ ازنظر تولید نقاط پارتو



شکل ۱۰- الگوریتم‌ها در متوسط و بزرگ ازنظر معیار پراکندگی



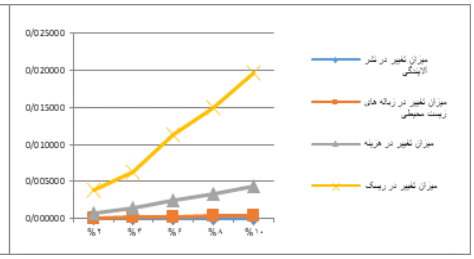
شکل ۱۱- الگوریتم‌ها در متوسط و بزرگ (فاصله تا نقطه ایده‌آل)



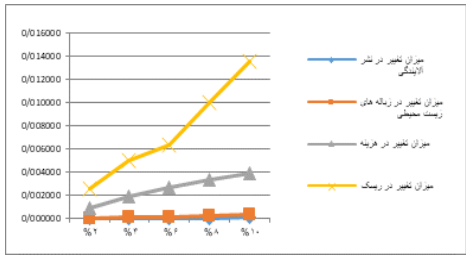
شکل ۱۲- الگوریتم‌ها در متوسط و بزرگ(زمان محاسبه)

تحلیل حساسیت

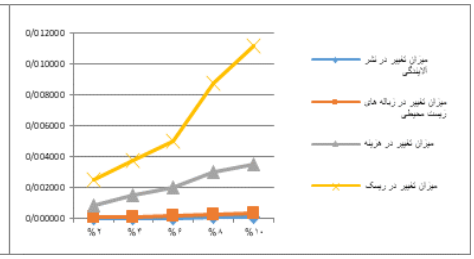
تحلیل حساسیت، رویکردی است که با آن می‌توان واکنش یک مدل بهینه‌سازی به پارامترهای موجود در آن را اندازه‌گیری کرد. در این بخش نیز هدف، تعیین این امر است که کدام‌یک از پارامترها بر توابع هدف چه تأثیری داشته و میزان این تأثیر چقدر است.



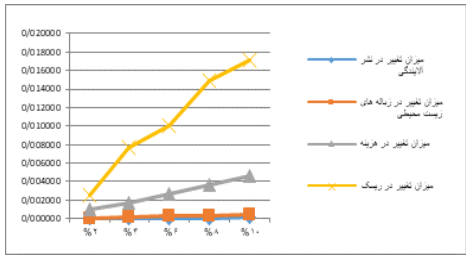
شکل ۱۳ تحلیل حساسیت هزینه ارسال



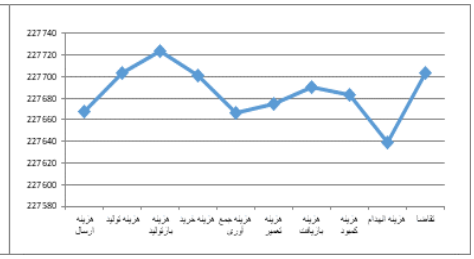
شکل ۱۴- تحلیل حساسیت هزینه تولید



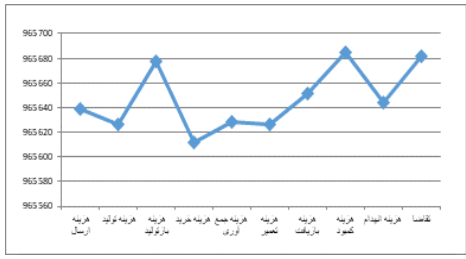
شکل ۱۵- تحلیل حساسیت هزینه بازتولید



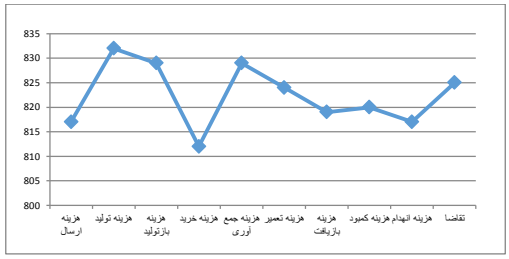
شکل ۱۶- تحلیل حساسیت هزینه خرید



شکل ۱۷- اثر پارامترها بر نشر آلایندگی در افزایش ۱۰٪



شکل ۱۸- اثر پارامترها بر زباله‌های زیست‌محیطی در افزایش ۱۰٪



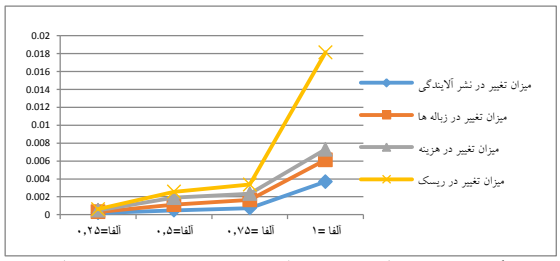
شکل ۱۹- مقایسه اثر پارامترها بر خطر در افزایش ۱۰ ٪

تحلیل عدم قطعیت

با توجه به اینکه مسئله حاضر در فضای عدم قطعیت بررسی می‌شود در این بخش به تحلیل عدم قطعیت بر اساس برش آلفا پرداخته می‌شود. درواقع تعیین می‌شود که با افزایش آلفا از صفر به ۱ وضعیت توابع هدف به چه صورت خواهد بود.

جدول ۱- تحلیل اثر عدم قطعیت بر توابع هدف مسئله (۲۰۱۲)

میزان عدم قطعیت	نشر آلایندگی	زباله‌های زیست‌محیطی	هزینه	خطر
آلفا=۰	۹۷۰۸۸۳	۲۴۸۹۴۶	۱۹۳۶۰۹۱	۸۱۴
آلفا=۰,۲۵	۹۷۱۰۴۶	۲۴۹۰۸۶	۱۹۳۷۹۹۹	۸۱۹
آلفا=۰,۵	۹۷۱۳۶۵	۲۴۹۴۱۰	۱۹۴۱۳۳۹	۸۲۶
آلفا =۰,۷۵	۹۷۱۷۹۷	۲۴۹۸۴۴	۱۹۴۵۹۶۵	۸۳۶
آلفا =۱	۹۷۲۴۱۲	۲۵۰۴۷۰	۱۹۵۱۸۰۶	۸۵۰



شکل ۲۰- تحلیل عدم قطعیت بر توابع هدف مسئله

نتیجه‌گیری

مسئله‌ای که در این پژوهش به مطالعه آن پرداخته‌شده است، ارائه یک مدل ریاضی چهار هدفه جهت حداقل ساختن نشر آلایندگی، حداقل ساختن زباله‌های زیست‌محیطی، حداقل ساختن هزینه و حداقل ساختن خطر تامین مواد اولیه است. روش پیشنهادی در این پژوهش به نحوی طراحی‌شده است که قابلیت بررسی توابع هدف در زنجیره تامین حلقه بسته را امکان‌پذیر می‌کند؛ به‌عبارت‌دیگر روش پیشنهادی با دیدی واقع‌بینانه‌تر و انعطاف‌پذیرتر به ارائه راهکار جهت بهینه‌سازی در محیط واقعی صنایع نظامی می‌پردازد. سؤال اصلی این پژوهش عبارت بود از "مدل ریاضی مناسب جهت توانمندسازی

قابلیت‌های زیست‌محیطی در زنجیره تأمین حلقه بسته در محصولات نظامی چیست؟"در پاسخ به این سؤال مدل ریاضی با چهار تابع هدف فوق همراه با محدودیت‌های مربوطه طراحی شد؛ به‌طوری‌که بعد از حل با الگوریتم‌های فرا ابتکاری**NSGA-II**، **MOPSO**، **MOSA**و **MOACO** با توجه به کمینه کردن توابع هدف مقدار بهینه آنها به‌دست آمد. همچنین در این بخش تبیین نتایج بر اساس تحلیل حساسیت انجام شده است که نتایج آن به‌صورت پیشنهادهای زیر به صنایع نظامی ارائه می‌شود: در زنجیره تامین محصولات نظامی بر اساس یافته‌های تحقیق حاضر می‌توان گفت کمبود و تقاضا باعث بیشترین آلایندگی در زنجیره می‌شوند؛ بنابراین مدیران زنجیره به‌منظور کنترل آلایندگی باید کمبود و تقاضا که باهم ارتباط دارند را کنترل کنند؛ به‌عبارت‌دیگر تا حد امکان مانع از ایجاد کمبود شوند؛ چراکه با افزایش تقاضا امکان ایجاد کمبود به‌وجود آمده و این کمبود و تقاضا به‌طور هم‌زمان بر نشر آلایندگی در زنجیره تامین اثرگذار هستند. کاهش زباله‌های زیست‌محیطی هدف دیگری در مدل تحقیق حاضر به‌شمار می‌رود که در کنار کاهش آلایندگی می‌تواند در زمره اهداف سبز زنجیره تامین حلقه بسته قرار گیرد. با توجه به اینکه هزینه بازتولید و تولید می‌تواند بیشترین اثر را بر تولید زباله گذاشته است، پس به‌طورکلی یکی از اهداف، کاهش زباله است، از این رو کنترل هزینه‌های بازتولید و تولید باید در دستور کار قرار گیرد؛ به‌عبارت‌دیگر تا حد امکان، شرایطی برای بازتولید به‌وجود نیاید یا بازتولید محصولات حداقل شود. در این صورت می‌توان انتظار کاهش زباله را داشت؛ ضمن اینکه هزینه‌های تولید نیز با توجه به نهاده‌های تولید باید کنترل شود تا این اثرگذاری حداکثر شود. اما اگر مدیران خواهان حداقل ساختن هزینه در زنجیره تامین محصولات نظامی باشند، باید همچنان به تقاضا و بازتولید توجه کنند. نکته جالب‌توجه این است که تقاضا، کمبود و بازتولید همچنان مهم‌ترین عوامل هستند و افزایش آنها می‌تواند بر سه هدف تحقیق اثرگذار باشد. بنابراین اگر مدیران خواهان حداقل ساختن هزینه نیز هستند، باید بازتولید را در زنجیره کاهش دهند؛ به‌گونه‌ای که محصولات نیازمند حداقل بازتولید باشند و همچنین تقاضا تا جایی که امکان دارد محقق شود و کمبودی وجود نداشته باشد

که البته این حالت می‌تواند ایده آل باشد؛ اما می‌توان هزینه کمبود را حداقل کرد. خطر زنجیره تامین و حداقل ساختن آن در زنجیره تامین محصولات نظامی به‌عنوان هدف چهارم در تحقیق حاضر در نظر گرفته می‌شود. بر اساس یافته‌های تحقیق مشاهده می‌شود که همچنان تقاضا، کمبود و بازتولید دارای بیشترین اثرگذاری بر خطر است. درواقع این عوامل منجر به بالاتر رفتن خطرات احتمالی در زنجیره است که با مدیریت بهتر تقاضا و کاهش کمبود و همچنین ایجاد تمهیداتی جهت کنترل بازتولید یا عدم نیاز به بازتولید می‌توان انتظار کاهش خطر در زنجیره تامین را داشت.

پیشنهادها

پیشنهادهای پژوهشی

پیشنهاد می‌شود در طراحی زنجیره تامین حلقه بسته برای محصولات نظامی، خطرهای موجود در زنجیره تامین موردتوجه قرار گیرد.

پیشنهاد می‌شود در طراحی زنجیره تامین حلقه بسته برای محصولات نظامی، به ابعاد زیست‌محیطی و تأثیر طراحی زنجیره تامین بر آن توجه شود.

پیشنهادهایی برای تحقیقات آتی

بر اساس محدودیت‌های تحقیق حاضر پیشنهاد برای تحقیق آتی مطرح می‌شود.

توسعه مدل حاضر به یک مدل حلقه بسته سبز

توسعه مدل حاضر به یک مدل حلقه بسته پایدار

در نظر گرفتن مدل به‌صورت استوار

استفاده از الگوریتم فراابتکاری جدید نظیر سنجاقک، کرم شب‌تاب، خفاش، نهنگ و..

.

فهرست منابع ومآخذ

الف. منابع فارسی

- بشیری، مهدی و شرافتی، مهتاب (۱۳۹۲)، طراحی دو هدفه شبکه زنجیره تامین حلقه بسته با در نظر گرفتن معیارهای همبسته در محیط فازی، ***پژوهش‌های مهندسی صنایع در نظام‌های تولید***، دوره ۱ شماره ۱ ۲۵-۳۵.
- تارخ، محمد جعفر؛ اسماعیلی گوکه، مهسا؛ ترابی، شهره (۱۳۹۱)، مدل کلی بهینه‌سازی طراحی شبکه آماد و پشتیبانی معکوس تحت عدم قطعیت، ***نشریه تخصصی مهندسی صنایع***، دوره ۴۶ شماره۲ ،۱۵۹-۱۷۳.
- قجاوند، حمزه؛ زندیه، مصطفی؛ دری، بهروز(۱۳۹۰)، به‌کارگیری الگوریتم‌های فرا ابتکاری در مدل یکپارچه سازی شبکه آماد و پشتیبانی توزیع کالا، ***چشم انداز مدیریت صنعتی***، دوره ۱ شماره ۳،۹۹-۱۱۹.

ب. منابع انگلیسی

- Bae, Hee Sung. (۲۰۱۷). The effect of environmental capabilities on environmental strategy and environmental performance of Korean exporters for green supply chain management. ***The Asian journal of shipping and logistics*** ۳۳, no. ۳ : ۱٦۷-۱۷٦. https://doi.org/۱۰,۱۰۱٦/j.ajsl.۲۰۱۷,۰۹,۰۰٦
- Cannella, Salvatore, Manfredi Bruccoleri, and Jose M. Framinan (۲۰۱٦). Closed-loop supply chains: What reverse logistics factors influence performance, ***International Journal of Production Economics*** ۱۷٥:۳٥-٤۹. https://doi.org/۱۰,۱۰۱٦/j.ijpe.۲۰۱٦,۰۱,۰۱۲
- Dean, Thomas J., and Robert L. Brown. (۱۹۹٥). Pollution regulation as a barrier to new firm entry: Initial evidence and implications for future research. ***Academy of Management Journal*** ۳۸, no. ۱: DOI:۲۸۸-۳۰۳. DOI:۱۰,٥٤٦٥/۲٥٦۷۳۷
- Farahani, Reza Zanjirani, Nasrin Asgari, and Hoda Davarzani, eds (۲۰۰۹). **Supply chain and logistics in national, international and governmental environment: concepts and models**. Springer Science & Business Media. DOI:۱۰,۱۰۰۷/۹۷۸-۳-۷۹۰۸-۲۱٥٦-۷
- French, Monique L., and R. Lawrence LaForge. (۲۰۰٦). Closed-loop supply chains in process industries: An empirical study of producer re-use issues**.** ***Journal of Operations Management*** ۲٤, no. ۳ : ۲۷۱-۲۸٦. DOI: ۱۰,۱۰۱٦/j.jom.۲۰۰٤,۰۷,۰۱۲
- Gagnon, Stephane. (۱۹۹۹). Resource based competition and the new operations strategy**.** ***International Journal of Operations & Production Management***. DOI: ۱۰,۱۱۰۸/۰۱٤٤۳٥۷۹۹۱۰۲٤۷۳۹۲
- Garai, A., & Sarkar, B. (۲۰۲۲). Economically independent reverse logistics of customer-centric closed-loop supply chain for herbal medicines and biofuel. ***Journal of Cleaner Production***, ۳۳٤, ۱۲۹۹۷۷. DOI: ۱۰,۱۰۱٦/j.jclepro.۲۰۲۱,۱۲۹۹۷۷
- Ghavamifar, Ali, Ahmad Makui, and Ata Allah Taleizadeh. (۲۰۱۸). Designing a resilient

competitive supply chain network under disruption risks: A real-world application. ***Transportation research part E: logistics and transportation review*** ۱۱۵: ۸۷-۱۰۹. DOI: ۱۰,۱۰۱٦/j.tre.۲۰۱۸,۰٤,۰۱٤

- Gholizadeh, Hadi, Hamed Fazlollahtabar, and Mohammad Khalilzadeh. (۲۰۲۰). A robust fuzzy stochastic programming for sustainable procurement and logistics under hybrid uncertainty using big data. ***Journal of Cleaner Production*** ۲۵۸: ۱۲۰٦٤۰. DOI: ۱۰,۱۰۱٦/j.jclepro.۲۰۲۰,۱۲۰٦٤۰
- Govindan, Kannan, Hamed Soleimani, and Devika Kannan. (۲۰۱۵). Reverse logistics and closed-loop supply chain: A comprehensive review to explore the future. ***European journal of operational research*** ۲٤۰, no. ۳: ٦۰۳-٦۲٦. DOI: ۱۰,۱۰۱٦/j.jclepro.۲۰۱٦,۰۳,۱۲٦
- Guide Jr, V. Daniel R., and Luk N. Van Wassenhove. (۲۰۰۹). OR FORUM—The evolution of closed-loop supply chain research. ***Operations research*** ۵۷, no. ۱: ۱۰-۱۸. DOI: http://www.jstor.org/stable/۲۵٦۱٤۷۲۷
- G Guide Jr, V. Daniel R., and Luk N. Van Wassenhove. (۲۰۰۱). Managing product returns for remanufacturing. ***Production and operations management*** ۱۰, no. ۲: ۱٤۲-۱۵۵. DOI: ۱۰,۱۱۱۱/j.۱۹۳۷-۵۹۵٦,۲۰۰۱.tb۰۰۷۵.
- Isiksal, A. Z. (۲۰۲۱). **Testing the effect of sustainable energy and military expenses on environmental degradation: evidence from the states with the highest military expenses**. Environmental Science and Pollution Research, ۲۸(۱٦), ۲۰٤۸۷-۲۰٤۹۸. DOI:https://doi.org/۱۰,۱۰۰۷/s۱۱۳۵٦-۰۲۰-۱۱۷۳۵-۷
- Jayaraman, Vaidyanathan, V. Daniel R. Guide Jr, and Rajesh Srivastava. (۱۹۹۹). A closed-loop logistics model for remanufacturing. ***Journal of the operational research society*** ۵۰, no. ۵: ٤۹۷-۵۰۸. DOI:۱۰,۱۲۸۷/mnsc.۱۰۳۰,۰۱۸٦
- Judge, William Q., and Thomas J. Douglas. (۱۹۹۸). Performance implications of incorporating natural environmental issues into the strategic planning process: An empirical assessment. ***Journal of management Studies*** ۳۵, no. ۲: ۲٤۱-۲٦۲. DOI: ۱۰,۱۱۱۱/۱٤٦۷-٦٤۸٦,۰۰۰۹۲.
- Kai, L., & Kordestanizadeh, R. M. (۲۰۲۱). **Designing an Agile Closed-Loop Supply Chain with Environmental Aspects Using a Novel Multiobjective Metaheuristic Algorithm**. Mathematical Problems in Engineering, ۲۰۲۱. DOI: ۱۰,۱۱۵۵/۲۰۲۱/۳۸۱۱٤۱۷
- Kannan, Devika, Ali Diabat, Mahmoud Alrefaei, Kannan Govindan, and Geng Yong(۲۰۱۲). A carbon footprint based reverse logistics network design model. ***Resources, conservation and recycling*** ٦۷: ۷۵-۷۹. DOI: ۱۰,۱۰۱٦/j.resconrec.۲۰۱۲,۰۳,۰۰۵
- Kozlenkova, Irina V., G. Tomas M. Hult, Donald J. Lund, Jeannette A. Mena, and Pinar Kekec (۲۰۱۵). The role of marketing channels in supply chain management. ***Journal of Retailing*** ۹۱, no. ٤: ۵۸٦-٦۰۹. DOI: ۱۰,۱۰۱٦/j.jretai.۲۰۱۵,۰۳,۰۰۳
- Ninlawan, C., P. Seksan, K. Tossapol, and W. Pilada. (۲۰۱۲). The implementation of green supply chain management practices in electronics industry. ***In World Congress on Engineering***. July ٤-٦, ۲۰۱۲. London, UK., vol. ۲۱۸۲, pp. ۱۵٦۳-۱۵٦۸. International Association of Engineers. DOI: ۲۰۷۸-۰۹۵۸.
- Qu, Y., Zhang, Y., Guo, L., Cao, Y., & Zhu, P. (۲۰۲۲). **Decision Strategies for the WEEE Reverse Supply Chain under the "Internet+ Recycling" Model**. Computers & Industrial Engineering, ۱۰۸۵۳۲. DOI: ۱۰,۱۰۱٦/j.cie.۲۰۲۲,۱۰۸۵۳۲
- Ramezani, Majid, Ali Mohammad Kimiagari, Behrooz Karimi, and Taha Hossein Hejazi. (۲۰۱٤). Closed-loop supply chain network design under a fuzzy environment. ***Knowledge-Based Systems*** ۵۹: ۱۰۸-۱۲۰. DOI: ۱۰,۱۰۱٦/j.knosys.۲۰۱٤,۰۱,۰۱٦
- Shaharudin, Mohd Rizaimy, Keah Choon Tan, Vijay Kannan, and Suhaiza Zailani. (۲۰۱۹). The mediating effects of product returns on the relationship between green capabilities and closed-loop supply chain adoption. ***Journal of cleaner production*** ۲۱۱: ۲۳۳-۲٤٦. DOI:

۱۰,۱۰۱٦/j.jclepro.۲۰۱۸,۱۱,۰۳۵

- Soleimani, Hamed, Kannan Govindan, Hamid Saghafi, and Hamid Jafari. (۲۰۱۷). Fuzzy multi-objective sustainable and green closed-loop supply chain network design. ***Computers & industrial engineering*** ۱۰۹: ۱۹۱-۲۰۳. DOI: ۱۰,۱۰۱٦/j.cie.۲۰۱۷,۰٤,۰۳۸
- Stevens, Graham C. (۱۹۸۹). Integrating the supply chain , ***international Journal of physical distribution & Materials Management***.
- Talaei, Mohammad, Babak Farhang Moghaddam, Mir Saman Pishvaee, Ali Bozorgi-Amiri, and Sepideh Gholamnejad. (۲۰۱٦). A robust fuzzy optimization model for carbon-efficient closed-loop supply chain network design problem: a numerical illustration in electronics industry. ***Journal of Cleaner Production*** ۱۱۳: ٦٦۲-٦۷۳. DOI: ۱۰,۱۰۱٦/j.jclepro.۲۰۱٥,۱۰,۰۷٤
- Tonanont, Ake. (۲۰۰۹). **Performance evaluation in reverse logistics with data envelopment analysis**. DOI: ۱۳,۱۲۱٦/j.seps.۲۰۰۹,۱۰۱۱۸۲
- Turner, Kyle John. (۲۰۱۲). **Exploring critical factors for successful closed-loop supply chains with remanufacturing**. DOI: ۱۳,۱۰۱۲/j.jclepro.۲۰۱۲,۱۱,۱۲٥
- Xu, J., Huang, Y., Shi, Y., & Li, R. (۲۰۲۲). Reverse supply chain management approach for municipal solid waste with waste sorting subsidy policy. *Socio-**Economic Planning Sciences***, *۸۱*, ۱۰۱۱۸۰. DOI: ۱۰,۱۰۱٦/j.seps.۲۰۲۱,۱۰۱۱۸۰