طراحی مدل ریاضی زنجیره تأمین حلقه بسته (سبز) با تاکید برتوانمندسازی قابلیت‌های زیست محیطی و افزایش سود آوری

ابوالفضل صادقی[۱]، کیوان شاه‌قلیان[۲،*]، اکبر عالم تبریز[۳]

[۲] دانشجوی دکتری، گروه مدیریت صنعتی، واحد قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران

[۱] استادیار، گروه مدیریت صنعتی، واحد قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران(عهده‌دار مکاتبات)

[۳] استاد، گروه مدیریت صنعتی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: مرداد ۱۴۰۱، اصلاحیه: مهر ۱۴۰۱، پذیرش: آذر ۱۴۰۱

چکیده

راهکار اصلی دستیابی همزمان شرکت ها به اهداف اقتصادی و زیست محیطی پیاده سازی زنجیره تامین حلقه بسته میباشد. هدف اصلی این پژوهش طراحی مدل ریاضی توانمند سازی قابلیت‌های زیست محیطی و سودآوری زنجیره تأمین حلقه بسته در صنایع نظامی میباشد. مدل ارائه شده یک مدل ۴ هدفه بوده که هدف اول آن حداقل ساختن نشر الایندگی, هدف دوم حداقل ساختن زباله های زیست محیطی, هدف سوم حداقل ساختن هزینه و هدف چهارم حداقل ساختن ریسک تامین مواداولیه است. پس از طراحی مدل , اعتبار سنجی مدل با حل آن در ابعاد کوچک صورت گرفته است و سپس با استفاده از چهار الگوریتم NSGAII,MOPSO,MOACO,MOSA حل مدل در ابعاد متوسط و بزرگ حل و نتایج آن با هم مقایسه گردیده است. بر اساس نتایج تنظیم پارامترهای مدل صورت گرفته و واکنش مدل نسبت به پارامترهای مختلف بررسی گردیده است. نتایج نشان داده ، ملاحظات هم زمان ابعاد زیست محیطی ,اقتصادی در پارامترها به بهبود عملکرد زنجیره تأمین حلقه بسته از نظر توانمند سازی قابلیت های زیست محیطی و سودآوری منجر می شود.

واژه‌های اصلی: زنجیره تامین حلقه بسته ، صنایع نظامی ، الگوریتم فراابتکاری،مدل سازی ریاضی ،محیط زیست

۱- مقدمه

امروزه با توجه به افزایش آلودگی و انتشار کربن، حفاظت از محیط زیست بیشتر مورد توجه قرار گرفته است [۲۷] چرخه عمر محصول نیز به دلیل پیشرفت در فناوری محصولات کوتاه شده است که این امر منجر به تولید محصولات جدید با سرعت بیشتری می شود و در نهایت باعث کمبود منابع طبیعی می شود [۲۲] برای رفع این مسائل شیوه های بازیابی محصول مانند بازیافت، تولید مجدد و غیره رایج شده است به منظور ادغام این شیوه ها، بسیاری از سازمان ها زنجیره تامین حلقه بسته[۱] (CLSC) را پیاده سازی کرده اند .این شیوه همچنین چندین مزیت دیگر مانند صرفه جویی در هزینه های انرژی، هزینه های دفع زباله، هزینه های مواد، و غیره را نیز فراهم می کند . به دلیل افزایش خطرات زیست محیطی و مقررات دولتی ، و همچنین محدودیت منابع تولید ، محققان توجه ویژه ای به طراحی شبکه های زنجیره تامین سبز با حلقه بسته داشته اند[۱۰] هر محصولی که در زنجیره تأمین تولید، توزیع و مصرف میشود، تأثیر مشخصی بر محیط زیست میگذارد.در سال های اخیر، مواد با سرعت بسیار بیشتری مصرف می شوند که منجر به افزایش تولید زباله های سمی و کمبود منابع شده است [۳۴] بازیابی مواد با ارزش از محصولات استفاده شده بازگشتی به کاهش آلودگی، انتشار گازهای گلخانه ای، کاهش ضایعات و امکان استفاده از مواد اولیه کمک می کند.

برای رفع نگرانی‌های زیست‌محیطی، تولیدکنندگان شیوه‌های تولید مجدد را اجرا می‌کنند. محصولات بازتولید شده به مقدار کمتری از مواد اولیه و انرژی کمتری برای تولید نیاز دارند، بنابراین مزایای اقتصادی و زیست‌محیطی را برای شرکت‌ها فراهم می‌کنند .

کاهش اثرات مضر زیست محیطی به عنوان یک هدف اصلی در زنجیره تامین در نظر گرفته میشود. شاخص انتشار دی اکسید کربن به طور گسترده برای تعیین اثرات زیست محیطی در نظر گرفته می شود که می تواند در مدل سازی زیست محیطی زنجیره تامین مورد استفاده قرار گیرد. زنجیره تامین (SC) را می‌توان به عنوان فعالیت‌هایی تسهیلاتی برای تهیه مواد، ساخت محصولات، انتقال بین طرف‌های مختلف و توزیع محصولات نهایی بین مصرف کنندگان تعریف نمود. فعالیت‌های زنجیره تأمین شامل تبدیل منابع طبیعی، مواد اولیه و اجزای سازنده به یک محصول نهایی است که به مشتری نهایی تحویل داده می‌شود[۲۳]

[1] Closed-Loop Supply Chain

*kshahgholian@qiau.ac.ir

زنجیره تأمین به چند دسته کلی طبقه بندی میشوند: یک نوع آن زنجیره تأمین سنتی است که به عنوان زنجیره تأمین روبه جلو و یا حلقه بازشناخته میشود، که شامل اجزایی همانند مواد خام، تسهیلات تولیدی، خدمات توزیع ،مشتریان و جریان اطلاعات است[۳۰]نوع دیگر آن زنجیره تأمین معکوس است که 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 میباشد، طراحی میگردد. فعالیت های بازیافت و تولید مجدد شرکت ها(زنجیره تامین معکوس) با زنجیره تامین سنتی آنها ترکیب می شود تا یک سیستم زنجیره تامین حلقه بسته را تشکیل دهد [۱۷] نوع سوم زنجیره تامین که در این پژوهش به آن پرداخته میشود زنجیره تامین حلقه بسته میباشد.از یکپارچگی زنجیره های تأمین روبه جلو و معکوس، زنجیره تأمین حلقه بسته بوجود میاید

توسعه و تقویت فعالیت‌های زنجیره تأمین حلقه بسته از یک سو می‌تواند منجر به کاهش هزینه‌های مربوط به مواد اولیه گردیده و از سوی دیگر می‌تواند اثرات منفی فعالیت‌های تولیدی شرکت‌ها بر محیط زیست را کاهش بخشد.[۲۶]

زنجیره تامین حلقه بسته یک روش کارآمد جهت کاهش هزینه های تولید بواسطه استفاده از قطعات محصولات بازگشتی میباشد از سوی دیگر با توجه به استفاده مجدد از محصولات از رده خارج شده به کاهش زباله های صنعتی و در نتیجه حفظ محیط زیست کمک بسزایی مینماید. مطالعات نشان داده‌اند که توانمندی‌ها و قابلیت‌های زیست محیطی شرکت‌ها دارای اثرات قابل توجهی بر استفاده آن‌ها از زنجیره تأمین حلقه بسته می‌باشد. این قابلیت‌ها به فناوری‌ها، دارایی‌ها و تجربیات و تخصص-های شرکت‌ها به‌منظور مدیریت نیازهای مختلف زیست محیطی 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 لجستیک معکوس، موجودی قابل تعمیر و مدیریت قطعات یدکی است [۱۹] سازمان صنایع دفاع که زیر مجموعه ای از وزارت دفاع میباشد مسئول اصلی تولید محصولات نظامی در کشور میباشد. این سازمان متشکل از چندین گروه و صنعت بزرگ در حوزه های مختلف تولید محصولات نظامی فعال میباشد.از جمله مسایل اصلی در این سازمان افزایش بهره وری و کاهش هزینه های محصولات گران قیمت نظامی به جهت ماندن در چرخه رقابت بویژه در صادرات این محصولات به کشورهای منطقه خاورمیانه میباشد. از سوی دیگر حجم بالای زباله های صنعتی ایجاد شده از محصولات نظامی و فشارنهادهای زیست محیطی عامل دیگری است که این سازمان را همیشه درگیر نموده است. در فرایند تولید محصولات نظامی آلودگی‌های فراوانی به محیط زیست منتشر می‌شود که در این بین، آلودگی هوا اهمیت ویژه‌ای دارد. این آلودگی‌ها به‌طور عمده از ذرات گردوغبار NO2CO، CO، SO2 و HF2 و فلزات سنگین تشکیل شده اند که در مراحل دریافت و آماده‌سازی مواد اولیه و جوشکاری ها و ماشین کاریهای فراوان تولید می‌شوند. لذا با توجه به ماهیت تولید محصولات نظامی و جوشکاری های ویژه و قطعات الکترونیکی ویژه و مواد های فلزی خاص, به همین منظور موضوعی با عنوان "طراحی مدل ریاضی زنجیره تامین حلقه بسته(سبز) با تاکید بر توانمند سازی قابلیت های زیست محیطی و افزایش سود آوری در صنایع نظامی " در این پژوهش مورد بررسی قرار گرفته است

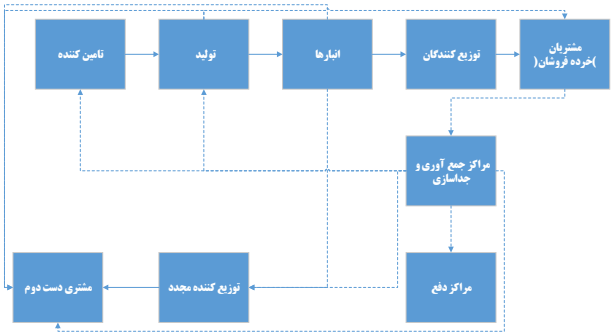
سوال اصلی این پژوهش این است که مدل ریاضی مناسب زنجیره تأمین حلقه بسته با تاکید بر توانمند سازی قابلیت های زیست محیطی و افزایش سود آوری در صنایع نظامی چیست؟

اهداف اصلی این پژوهش نیز شامل طراحی مدل ریاضی جهت توانمندسازی قابلیت‌های زیست محیطی در نیروهای مسلح کشور با تمرکز بر بازگشت و احیا محصولات نظامی با استفاده از زنجیره تامین حلقه بسته میباشد.با توجه به هزینه های بالایی که تولید محصولات نظامی دارد لذا این پژوهش کمک مینماید تا با استفاده از زنجیره تامین حلقه بسته و بازگشت محصولات از رده خارج یگان های نظامی مستقر در کشور در کاهش این هزینه ها راهکار ارایه مینمایدهمچنین این تحقیق کمک مینماید تا مدلی طراحی گردد که زباله های محصولات نظامی موجود در یگان های نظامی با استفاده از زنجیره تامین حلقه بسته کاهش یابد.در ضمن در حوزه کاهش آلاینده های محیط زیستی نیز با استفاده از کاهش تولید قطعات و فعالیت های تولیدی محصولات نظامی مدل سازی مناسبی ارایه مینماید

۲- زنجیره تامین حلقه بسته

اولین مطالعه گسترده روی زنجیره تامین حلقه بسته در سال ۲۰۰۰ توسط فلیشمن و همکاران انجام شده است.[۱۱]

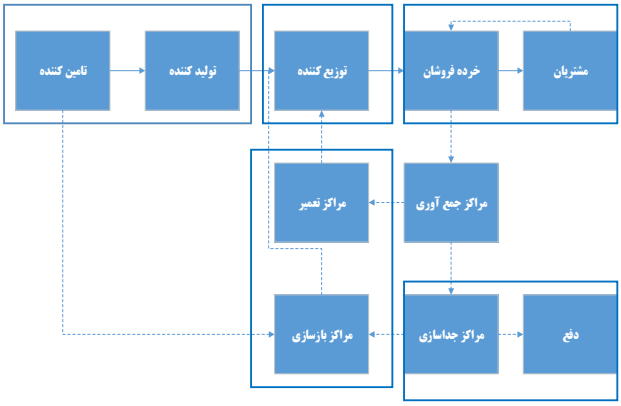
سلیمانی و همکاران[۲۷] استدلال کردند که در زنجیره تامین حلقه بسته ، تولید کننده باید مسئولیت جمع آوری محصولات استفاده شده خود و بازیابی آنها را به هر یک از پنج روش زیر بپذیرد: استفاده مجدد مستقیم، نوسازی، تعمیر، ساخت مجدد ویا بازیافت.شکل شماره یک شبکه زنجیره تامین حلقه بسته آنها را نشان میدهد.



شکل (۱): مدل زنجیره تامین حلقه بسته[۲۷]

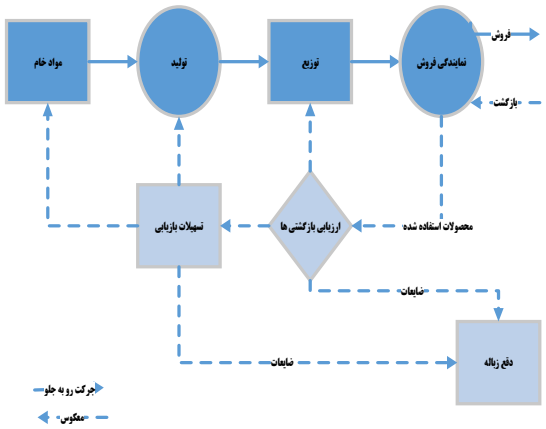
طراحی شبکه CLSC توسط Srivastava [۲۹]در شکل ۲ ارائه شده

است. با استفاده از مطالعات موردی در مورد دیدگاه های مختلف ارس و همکاران[۴] یک طراحی شبکه کلی را ارائه می دهد که شامل چهار سطح است: یک مکان کارخانه/تسهیلات بازیابی محصولات تولید شده/بازسازی شده. دوم محل انبار برای توزیع محصولات تولید شده یا بازسازی شده. سوم مراکز ادغام و چهارم مناطق خرده فروش/مشتری.



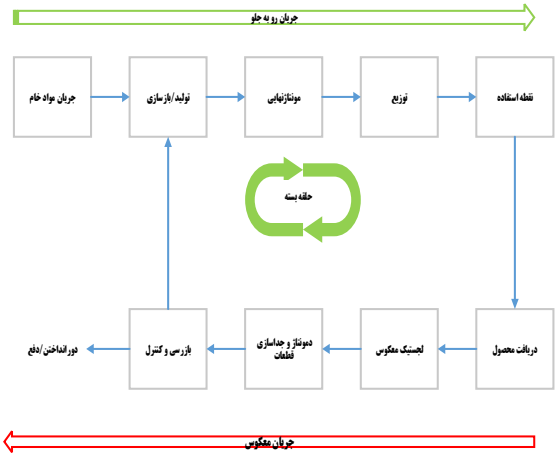
شکل(۲): شبکه زنجیره تامین حلقه بسته[۲۹]

اگر زنجیره تامین رو به جلو و معکوس را به طور همزمان در نظر بگیریم، منتج به یک زنجیره تامین حلقه بسته می‌شود. شکل ۳ یک زنجیره تامین عمومی را برای لجستیک روبه جلو و معکوس نشان می‌دهد. در این شکل، زنجیره تامین کلاسیک (روبه جلو) و معکوس به ترتیب با خطوط ثابت و خط تیره ارائه شده است.



شکل (۳): یک شکل عمومی از زنجیره تامین رو به جلو / معکوس [۳۲]

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 به طور همزمان با سه بعد توسعه پاید دار : زیست محیطی ، اجتماعی و اقتصادی مطابقت دارند. یک شرکت می تواند یک برنامه پایدار به عنوان یک ابزار استراتژیک نه تنها برای حفظ محیط زیست استفاده کند بلکه به منظور ارتقاء تصویرشرکت خود، نام تجاری، تولید درآمد، خدمت به مشتریان خود، و کاهش هزینه های تولید خود بهره ببرد. این نوع از زنجیره برا ی مدیریت بازیافت و ادامه زندگی محصولاتی که در انتهای چرخه حیاط خود قرار دارند طراحی شده است که علاوه بر زنجیره تامین سنتی (حلقه باز) دارای لجستیک معکوس نیز می باشد که محصولات استفاده شده را بعد از جمع آوری بازیافت کرده و در بازارها ی اصلی یا ثانویه (بر اساس کیفیت محصول باز تولید شده)به فروش می رساند[۷]



شکل (۴): نمودار شبکه زنجیره تامین حلقه بسته[۳۳]

در زنجیره تامین حلقه بسته، مواد و محصولات بازیابی شده دوباره به زنجیره تامین رو به جلو همان شرکت بر میگردد بطوریکه محصولات تولید شده از واحد کنترل کیفیت کارخانه عبورمیکندو 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 روش هایی شبیه محصولات تولید شده با مواد خام دست اول به فروش میروندو روند سفارش و تقاضا هم متفاوت نیست .بطور کلی محصولات بازیابی شده بعنوان نوع دیگر محصول مطرح نمیشوند .و یا به عبارتی محصولات برگشتی به تولید کننده اصلی بر میگردند[۱۳] سبز کردن زنجیره تأمین، فرآیند در نظر گرفتن معیارها یا ملاحظات زیست محیطی در سرتاسر زنجیره تأمین است .در بررسی اثرات زیست محیطی فعالیتهای زنجیره تأمین به تحلیل اثرات محصولات بر محیط زیست به کمک رویکردی کل نگر(شامل تحلیل دوره عمر محصول از آغاز تاپایان عمر آن)پرداخته میشود .در این رویکرد کلیه اثرات بوم شناختی، علم عادات، نحوه زندگی موجودات و تعامل آنها با محیط هر فعالیت در مراحل مختلف عمر محصول مانند مفهوم محصول، طراحی بهینه ی مواد خام، ساخت و تولید، مونتاژ، نگهداری و بسته بندی، حمل ونقل و استفاده ی مجدد محصول اندازه گیری و در طراحی محصول لحاظ میشود[۹] امروزه استفاده از برنامه ریزی چندهدفه برای در نظر گرفتن سایر جنبه های زنجیره تامین به جز هزینه یا سود کل رواج یافته است

اگر چه زنجیره تأمین حلقه بسته دارای مزایای اقتصادی است، اما مطالعات اخیر نشان میدهد که زنجیره تأمین حلقه بسته میتواند تأثیرات مثبتی بر محیط زیست مانند کاهش ضایعات و مصرف مواد اولیه و انرژی به همراه داشته باشد

۳- قابلیتهای زیست محیطی

قابلیت سازمانی، توانایی سازمان برای اجرای فعالیتها و کارهای سازمان است در نتیجه، قابلیت زیست محیطی سازمان، توانایی یک سازمان برای انجام فعالیتهای سازمانی در جهت سازگار با محیط زیست است[۱۳]منابع داخلی سازمانها مزیت رقابتی یک سازمان هستند و عامل مهمی در قابلیتهای سازمانی مطرح میشوند .منابع سازمانی اثر مثبتی بر یکپارچگی قابلیتهای سازمانی با مسائل زیست محیطی و سیاستهای استراتژیک دارد که موجب عملکرد بهتر سازمان میشود[۲۰]بنابراین سازمانها میتوانند از مزیت به کارگیری قابلیتهای زیست محیطی برای افزایش قابلیتهای داخلی سازمان نظیر به کارگیری نیروهای خورشیدی برای تولید سوخت به جای استفاده از سوختهای فسیلی بهره گیرند[۸] اگر قابلیتهای زیست محیطی سازمان، در مدیریت زنجیره تأمین سبز مؤثر و مفید واقع شود، به منزله دارایی ارزشمند برای سازمان حفظ شده و مزیت رقابتی ایجاد مینماید[۵]سازمانها میتوانند از طریق قابلیتهای زیست محیطی و به واسطه مدیریت زنجیره تأمین سبز، قابلیتهای داخلی ایجاد نمایند و در خارج سازمان از طریق همکاری زیست محیطی با اعضای زنجیره تأمین به مزیت رقابتی دست یابند در نتیجه قابلیتهای زیست محیطی میتوانند عملکرد سازمان را بهبود بخشند .

در این پژوهش ۴۵ مقاله از نظر زنجیره تامین حلقه بسته مورد ارزیابی قرار گرفت. همگی از روش‌های مختلفی استفاده کرده اند و با در نظر گرفتن جریان‌های مواد، کالا و خدمات، پیشنهادات مختلفی ارائه کرده اند.

در این پژوهش مطالعات مربوط به زنجیره تامین حلقه بسته در ۲۰ سال گذشته بررسی شده است و سال‌ها، بخش‌ها و روش‌شناسی‌های مبتنی بر مطالعات برای انجام تحلیل, گروه‌بندی شده‌اند. با افزایش نگرانی های زیست محیطی و فعالیت های سبز، اهمیت زنجیره تامین حلقه بسته، به ویژه CLSC سبز در حال افزایش است. در مطالعاتی که بررسی شده است ، مشاهده می شود که روش های مختلفی برای بهینه سازی یا طراحی زنجیره تامین حلقه بسته وجود دارد. نه تنها رویکردهای قطعی، بلکه از رویکردهای تصادفی نیز برای مدل‌سازی زنجیره‌های تامین حلقه بسته استفاده شده‌اند. علاوه بر این، به طور کلی از رویکردهای ریاضی برای درک آن استفاده می شود. در زیر برخی از مطالعات تحقیقات پیشین را مشاهده میکنید:

سلیمانی از یک مدل سازی چندهدفه فازی برای طراحی شبکه CLSC استفاده کرده و یک الگوریتم ژنتیک را برای حل مدل خود توسعه داده اند. از آنجایی که تقاضا واضح نیست، آنها از یک رویکرد فازی برای مدل‌سازی تقاضا استفاده کردند[۲۸]

طلایی یک مسئله طراحی شبکه زنجیره تامین حلقه بسته کارآمد کربن را با روش فازی مدلسازی کرده اند. 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 با هدف به حداقل رساندن هزینه کل و در عین حال به حداقل رساندن انتشار کربن در نظر گرفت.[۳۱]

گویدان، سلیمانی و کنان طراحی زنجیره تامین حلقه بسته یک مسئله NP-hard است که یک مدل هیبریدی جدیدپیشنهادوآنهاازبهینه سازی ازدحام ذرات والگوریتم عمومی برای طراحی یک مدل زنجیره تامین حلقه بسته برای شبکه های مقیاس بزرگ استفاده کردند. متغیرهای برنامه ریزی و طراحی در مدل جدید گنجانده و این دو الگوریتم فراابتکاری محبوب به بهبود نتایج زمانی که آنها به صورت جداگانه توسط الگوریتم ژنتیک و بهینه سازی ازدحام گرفته می شوند کمک کردند. [۱۶]

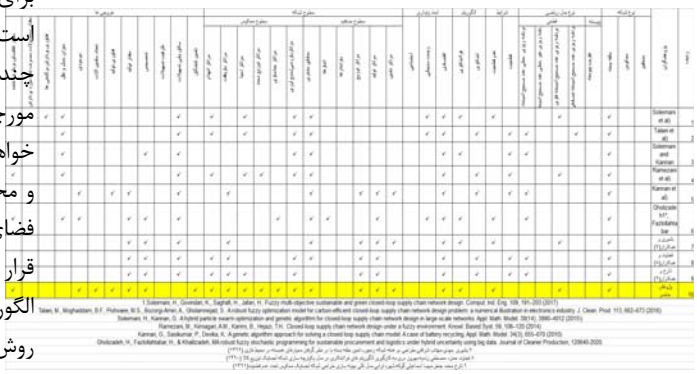
رمضانی یک شبکه زنجیره تامین حلقه بسته تحت فازی را با در نظر گرفتن چند محصول، تعامل زنجیره تامین حلقه بسته و ویژگی های چند دوره ای طراحی کرد که در آن به حداکثر رساندن سود وکیفیت، به حداقل رساندن زمان تحویل اهداف اصلی مدل هستند. مدل‌سازی ریاضی، که در این مطالعه استفاده می‌شود، یک برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط فازی است، زیرا محدودیت‌ها قطعی نیستند و ضرایب قطعی نیستند. مقادیر بهینه‌سازی واضح و مقادیر بهینه‌سازی فازی در پایان مطالعه با هم مقایسه می‌شوند و از مثال عددی برای نشان دادن مناسب بودن مدل برای این زنجیره تامین حلقه بسته استفاده شده است. مدل پیشنهادی رمضانی و همکاران. یک تدارکات معکوس و یک استراتژی تدارکات رو به جلو نه تنها برای تامین کنندگان بلکه برای خرده فروشان نیز فراهم می کند.[۲۵]

کنان الگوریتم ژنتیک را برای حل مدل برنامه ریزی خطی عدد صحیح مختلط مطالعه کرد. با توجه به مسائل قانونی محیط زیست بودن، امروزه نه تنها تولید سبز، بلکه جمع آوری محصولات پایان عمر نیز امری ضروری است. بنابراین مدیریت لجستیک معکوس برای محصولات برگشتی بسیار مهم است. این محصولات برگشتی با گزینه های بازیابی متفاوتی مانند بازیافت، ساخت مجدد یا استفاده مجدد مواجه خواهند شد. این جریان فرآیند باید به یک شبکه لجستیک مرتبط باشد. مدل پیشنهادی در این تحقیق طراحی مدلی برای باتری‌های سرب اسیدی برای تولید باتری‌های جدید است، زیرا این ضایعات باتری‌ها خطرناک هستند و دفع آن کاملاً محدود است. یک مدل شبکه زنجیره تامین چند لایه، چند دوره ای، چند محصولی با در نظر گرفتن جریان های مواد، تولید، توزیع و بازیابی پیشنهاد می شود. نتایج الگوریتم ژنتیک با راه حل های نرم افزار GAMS مقایسه می شود که نتایج کافی و با کیفیت بود. [۲۱]

طراحی زنجیره تامین حلقه بسته مشکلی است که در سال های اخیر توجه بسیاری را به خود جلب کرده است. به طور کلی، اکثر تحقیقات ،

یک هدف را در نظر می گیرند که عمدتاً شامل به حداقل رساندن هزینه های ثابت راه اندازی، بهره برداری و حمل و نقل است. همچنین، رویکردهای بهینه‌سازی مورد استفاده در ادبیات آنها برای زنجیره‌های تامین حلقه بسته یا سبز شامل برنامه‌ریزی تصادفی، بهینه‌سازی قوی، الگوریتم ژنتیک، الگوریتم ازدحام ذرات ترکیبی-ژنتیک و سایر فراابتکاری‌ها می‌شود. با توجه به پیشینه های تحقیقی که در آنها مدل سازی ریاضی وجود داشت نیز جدول زیر استنباط میگردد در ردیف ۱۰ خروجی مورد نظر این تحقیق ارایه گردیده است:

جدول (۱): خلاصه تحقیقات پیشین



۴- روش شناسی تحقیق

مراحل اجرای این پژوهش در شکل زیر نشان داده شده است.

شکل (۵): مراحل اجرای پژوهش حاضر

تحقیق پیش رو یک تحقیق توصیفی تحلیلی و از نوع ریاضی است از حیث هدف کاربردی است. اما با توجه به مطالعه روش های پیشین، وارایه پیشنهاد روش مناسب تر و کاربردی تر، مطالعه حاضر از حیث روش، توسعه ای کاربردی است روش‌شناسی پژوهش این پژوهش از نظر انواع جهت‌گیری‌های پژوهش، جزء پژوهش‌های توسعه‌ای است؛ چون سعی دارد که مدل‌های موجود در طراحی شبکه زنجیره تأمین را گسترش دهد و ابعاد محیط زیستی 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، از نظر ماهیت و چگونگی، ریاضی و از نوع مدل سازی است. مسئله بررسی‌شده در این پژوهش، طراحی مدل ریاضی جهت توانمند سازی قابلیت های زیست محیطی 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.

مسائل برنامه‌ریزی تولید عموما به‌عنوان مسائل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط مدلسازی می‌شوند؛ و به علت پیچیدگی محاسباتی بالا و ذاتی این نوع مسائل، از طریق الگوریتم‌های ابتکاری حل می‌شوند.

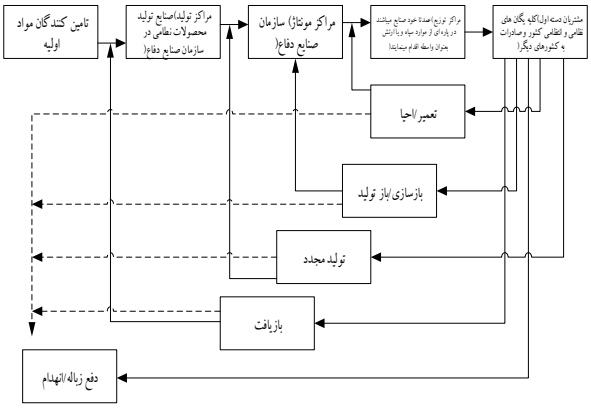
از آن جا که این چهار مدل متعلق به کلاس NP-Hardمیباشد زمان حل آن ها با افزایش ابعاد مسأله به شدت افزایش می یابد به احتمال زیاد برای حل این چهار مدل ازالگوریتم های فرا ابتکاری استفاده شده است.الگوریتم ژنتیک چند هدفه ، الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات چند هدفه ۲ ، الگوریتم تبرید شبیه سازی شده۳ و الگوریتم کلونی مورچگان۴ نیز الگوریتم های احتمالی استفاده شده در این مطالعه خواهند بود.حل این مدل بسیار مشکل است، زیرا با افزایش تعداد متغیرها و محدودیت ها زمان حل با حالت نمایی رشد می کنند وازحیث زمان و فضای مورد نیاز برای حل،در گروه مسائل با پیچیدگی غیر چند جمله ای قرار می گیرد و ثابت شده است که یک مدل nphard است ، یعنی هیچ الگوریتم کارآیی برای حل مدل وجود ندارد .در نتیجه برای حل مدل از روش های فرا ابتکاری استفاده شده است .رویه روش های فرا ابتکاری در زمان کوتاه جواب مناسبی را ارائه می دهد، که البته بهینه بودن را تضمین نمی کند

زنجیره تامین مورد بحث کـه یـک شـبکه چندسطحی و چندمحصولی است، پس از تولید شدن محصول‌ها در مراکز تولیدی، از طریق مراکز توزیع بـرای مشـتریان فرستاده می‌شود، محصول‌هایی که مشتریان از آنها راضی نیستند یا عمر آنها به اتمام رسیده است برگشـت داده شـده و در مراکـز جمـع‌آوری نگهـداری می‌شوند. در قسمت جمع‌آوری و بازرسی، درصدی از محصول‌های بازگشتی به مراکز انهدام ارسال مـی‌شـوند تـا منهـدم شوند. مابقی محصول‌ها به دو شیوه مجدداً استفاده می‌شوند:

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

- محصولات غیر قابل تعمیر، در مراکز بازیافت دمونتاژ شده و از قطعات آنها استفاده میگردد. بنابراین، همان طور که مطرح شد، محصول‌هـا در جهـت جلـو تولیـد و بـین مشـتریان توزیـع می‌شوند و در جهت رو به عقب به یکی از مراکز بازیافت، احیا، بازتولید یا انهدام برمی‌گردند.

[2] Multiple Objective Particle Swarm Optimization
[3] Non-dominated Sorting Genetic
[4] Algorithm,Ant Colony



شکل (۶): تصویر زنجیره تامین حلقه بسته مورد مطالعه در سازمان صنایع دفاع

۵- ارائه مدل ریاضی پژوهش

۵-۱- مفروضات

- مدل طراحی شده به صورت چندمحصولی، چندهدفه، چند سطحی میباشد
- محصولات مرجوعی به مراکز جمع آوری ارسال شده ودر این مراکز مورد بازرسی قرار می گیرند و با توجه به میزان سلامت قطعاتشان در ارتباط با بازیابی و یا دفع آنها تصمیم گیری می شود .محصولات قابل بازیابی و تعمیر به مراکز بازیابی منتقل و محصولات غیرقابل بازیابی برای دفع به مراکز دفع فرستاده می شوند.
- پارامترهایی‌نظیرظرفیت،هزینه،تقاضا،میزان‌تعمیر،بازتولید،انهدام ،بازیافت،ظرفیت‌وسائل‌حمل‌ونقل،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 جمع آوری و کارخانجات تولیدی) محدود میباشد.
- 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 جمع آوری و تعمیر و بازیافت معلوم و به صورت گسسته است .فضای حل مسئله به صورت گسسته است.
- مقدار گاز CO_2 منتشرشده ناشی از حمل ونقل با ماشین آلات 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 پایین تری نسبت به محصولات نو دارند.
- به تمام مشتریان پاسخ داده شده و تمام کالاهای مرجوعی نیز جمع آوری می شوند.
- محصولات وارد شده در مراکز در هر دوره زمانی در همان دوره از مرکز مربوطه خارج شده و وارد دوره بعدی نمی شوند
- تمام تقاضا باید برآورده شود
- از لحاظ میزان جا بجایی روی شبکه محدودیت ظرفیت انتقالی وجود ندارد.
- 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، مراکـز بازیافـت، مراکـزانهدام، مراکز توزیع مجدد و مشتریان دسته دوم) را دربرمی‌گیرد.
- مدل ریاضـی ارائـه شـده دارای چهار تـابع هـدف اسـت: . تابع اول حداقل کردن گازهای گل خانه ای تابع دوم کاهش زباله های محصولات نظامی تابع سوم حداقل کردن هزینه های تولید محصولات نظامی و تابع چهارم حداقل کردن ریسک تامین مواد اولیه و قطعات تحریم شده میباشد.

۵-۲- مدل ریاضی

اندیسها: iتامین کننده-jتولید کننده-kتوزیع کننده-mبازتولید کننده-nتعمیر کننده-oبازیافت کننده-qانهدام کننده-vوسایل نقلیه-pمحصول-cمراکز جمع اوری-aمشتریان دسته اول-bمشتریان دسته دوم-tدوره زمانی

پارامترها

TCI_{iv} هزینه ارسال ازتامین کننده به تولید کننده با وسیله نقلیه V

MC_{pj} هزینه تولید محصول p توسط تولید کننده j

RMC_{pm} هزینه بازتولید تولید محصول p توسط باز تولید کننده m

$TCTK_{jkv}$ هزینه ارسال کالا از تولید کنندهj به توزیع کنندهk با وسیله نقلیه V

$TCKa_{kav}$ هزینه ارسال کالا از توزیع کنندهk به مشتری دست اول a با وسیله نقلیه V

$TCac_{acv}$ هزینه ارسال کالا از مشتری دست اول a به مرکز جمع اوری cبا وسیله نقلیه V

$TCco_{cov}$ هزینه ارسال کالا از مرکز جمع اوری c به مرکز بازیافت oبا وسیله نقلیه V

$TCcm_{cmv}$ هزینه ارسال کالا از مرکز جمع اوری c به مرکز بازتولید mبا وسیله نقلیه V

$TCcn_{cnv}$ هزینه ارسال کالا از مرکز جمع اوری c به مرکزتعمیر n با وسیله نقلیه V

$TCcq_{cqv}$ هزینه ارسال کالا از مرکز جمع اوری c به مرکز انهدام q با وسیله نقلیه v

$TCmb_{mbv}$ هزینه ارسال کالا از مرکز بازتولید m به مشتری دست دوم bبا وسیله نقلیه V

$TCnb_{nbv}$ هزینه ارسال کالا از مرکزتعمیر n به مشتری دست دوم b با وسیله نقلیه V

$TCoi_{oiv}$ هزینه ارسال کالا از مرکز بازیافت o به تامین کننده i با وسیله نقلیه V

$FCPo_{pw}$ هزینه خرید محصولات بازگشتی p از مشتریان دست اول a

CCn_{ac} هزینه جمع آوری از مشتریان دست اول a توسط مرکز جمع اوری c

$FCWI_{wi}$ هزینه خرید مواد اولیه w از تامین کننده i

$RCPn_{pn}$ هزینه تعمیر محصول p توسط تعمیر کننده n

$RCPo_{po}$ هزینه بازیافت محصول p توسط بازیافت کننده o

$RCPq_{pq}$ هزینه انهدام محصول p توسط انهدام کننده q

ZCP_p هزینه کمبود محصول p

CPC_p هزینه جریمه محصول p جمع اوری نشده

$MIPI_{pj}$ هزینه موجودی محصول P برای تولید کننده J

$MIPK_{pk}$ هزینه موجودی محصول P برای توزیع کننده K

$MIPC_{pc}$ هزینه موجودی محصول P برای مرکز جمع آوری C

FCI_i هزینه احداث تامین کننده i

FCC_c هزینه احداث مرکز جمع اوری c

$PCO2_{pv}$ مقدار دی اکسید کربن منتشر شده توسط وسیله نقلیه V

$MCO2_{pj}$ مقدار دی اکسید کربن منتشر شده توسط وسیله نقلیه مرکز تولید jبرای محصول p

Dem_{pt} میزان تقاضای محصول p در دوره زمانی t

RSK_i ریسک تامین مواد اولیه از تامین کننده I

$CAPJ_j$ ظرفیت کارخانه j

$CAPO_o$ ظرفیت بازیافت کننده o

$CAPN_n$ ظرفیت تعمیر کننده n

$CAPQ_q$ ظرفیت انهدام کننده q

$CAPI_i$ ظرفیت تامین کننده i

$CAPK_k$ ظرفیت تامین کننده k

$CAPC_c$ ظرفیت مرکز جمع اوری c

$CAPM_m$ ظرفیت بازتولید کننده m

متغیرهای تصمیم

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

$XIKV_{ikv}$ اگر ارسال کالا از تولید کنندهj به توزیع کنندهk با وسیله نقلیه V صورت گیرد ۱ و در غیراینصورت صفر

XKa_{kav} اگر ارسال کالا از توزیع کنندهk به مشتری دست اول a با وسیله نقلیه V صورت گیرد ۱ و در غیراینصورت صفر

$Xacv_{acv}$ اگر ارسال کالا از مشتری دست اول a به مرکز جمع اوری cبا وسیله نقلیه V صورت گیرد ۱ و در غیراینصورت صفر

XCO_{cov} اگر ارسال کالا از مرکز جمع اوری c به مرکز بازیافت oبا وسیله نقلیه V صورت گیرد ۱ و در غیراینصورت صفر

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

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

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

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

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

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

XMC_{pj} میزان تولید محصول p توسط تولید کننده j

$XRMC_{pm}$ میزان محصول بازتولید شده pتوسط بازتولید کننده m

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

Xac_{acp} میزان کالای بازگشتیp از مشتری دست اول a به مرکز جمع اوری c

Xca_{cap} میزان محصول بازگشتی p از مرکز جمع اوری c به مرکز بازیافت o

Xcm_{cmp} میزان محصول ارسالی p از مرکز جمع اوری c به مرکز بازتولید m

Xcn_{cnp} میزان محصول ارسالی p از مرکز جمع اوری c به مرکزتعمیر n

Xcq_{cqp} میزان محصول ارسالی p از مرکز جمع اوری c به مرکز انهدام q

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

Xnb_{nbp} میزان محصول ارسالیp از مرکزتعمیر n به مشتری دست دوم b

Xoi_{oip} میزان محصول ارسالیp از مرکز بازیافت o به تامین کننده i

$XFCwi_{wi}$ میزان مواد اولیه w خریداری شده از تامین کننده i

$XLCP_p$ میزان کمبود محصول P

$XCPC_p$ میزان محصول جمع اوری نشده

$XMIPJ_{pj}$ میزان موجودی محصول P برای تولید کننده J

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

$XMIPC_{pc}$ میزان موجودی محصول P برای مرکز جمع آوری C

XI_i اگر تامین کننده i در مکان بالقوه احداث شود ۱ و در غیر اینصورت صفر

XCC_c اگر مرکز جمع آوری c در مکان بالقوه احداث شود ۱ و در غیر اینصورت صفر

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

$$\min z1 = \sum_j \sum_k \sum_v \overline{VCO2_v}.XJK_{jkv} + \sum_a \sum_k \sum_v \overline{VCO2_v}.XKa_{kav} + \sum_a \sum_c \sum_v \overline{VCO2_v}.Xac_{acv} + \sum_a \sum_c \sum_v \overline{VCO2_v}.XCO_{cov} + \sum_m \sum_c \sum_v \overline{VCO2_v}.XCM_{cmv} + \sum_m \sum_c \sum_v \overline{VCO2_v}.XCN_{cnv} + \sum_q \sum_c \sum_v \overline{VCO2_v}.XCQ_{cqv} + \sum_m \sum_b \sum_v \overline{VCO2_v}.XMBV_{mbv} + \sum_n \sum_b \sum_v \overline{VCO2_v}.XNBV_{nbv} + \sum_o \sum_t \sum_v \overline{VCO2_v}.XOI_{oiv} + \sum_j \sum_p \sum_m \overline{MCO2_{jp}}.XMC_{pj} \quad (۱)$$

رابطه فوق به دنبال حداقل ساختن نشر آلایندگی توسط وسایل نقلیه و تولید کنندگان می باشد.

$$\min z2 = \sum_a \sum_c \sum_p Xac_{acp} - [\sum_o \sum_c \sum_p Xca_{cap} + \sum_m \sum_c \sum_p Xcm_{cmp} + \sum_n \sum_c \sum_p Xcn_{cnp} + \sum_q \sum_c \sum_p Xcq_{cqp} + \sum_m \sum_b \sum_p Xmb_{mbp} + \sum_n \sum_b \sum_p Xnb_{nbp} + \sum_o \sum_t \sum_p Xot_{otp}] \quad (۲)$$

رابطه ۲ به دنبال حداقل ساختن زباله های زیست محیطی می باشد که می تواند از جمع اوری کالاها برجا بماند.

$$\min z3 = \sum_t \sum_j \sum_v \overline{TCI_{tjv}}.XI_t.XJ_{tjv} + \sum_k \sum_j \sum_v \overline{TCJK_{jkv}}.XJK_{tjv} + \sum_k \sum_a \sum_v \overline{TCKa_{jk}}.Xka_{kav} + \sum_c \sum_a \sum_v \overline{TCac_{acv}}.Xac_{acv} + \sum_c \sum_o \sum_v \overline{TCco_{cov}}.Xco_{cov} + \sum_c \sum_m \sum_v \overline{TCcm_{cmv}}.Xcm_{cmv} + \sum_c \sum_n \sum_v \overline{TCcn_{cnv}}.Xcn_{cnv} + \sum_c \sum_q \sum_v \overline{TCcq_{cqv}}.Xcq_{cqv} + \sum_m \sum_b \sum_v \overline{TCmb_{mbv}}.Xmb_{mbv} + \sum_n \sum_b \sum_v \overline{TCnb_{nbv}}.Xnb_{nbv} + \sum_o \sum_t \sum_v \overline{TCoi_{oiv}}.Xoi_{oiv} + \sum_p \sum_j \overline{MC_{pj}}.XMC_{pj} + \sum_p \sum_m \overline{RMC_{pm}}.XRMC_{pm} + \sum_p \sum_a \overline{PCPa_{pa}}.Xac_{acp} + \sum_a \sum_c \overline{CCa_{ac}}.Xac_{acp} + \sum_w \sum_t \overline{PCWI_{wt}}.XPCwi_{wt} + \sum_p \sum_n \sum_c \overline{RCPn_{pn}}.Xcn_{cnp} + \sum_p \sum_a \sum_c \overline{RCPo_{po}}.Xco_{cop} + \sum_p \sum_q \sum_c \overline{RCPQ_{pq}}.Xcq_{cqp} + \sum_p \overline{LCP_p}.XLCP_p + \sum_p \overline{CPC_p}.XCPC_p + \sum_p \sum_j \overline{MIPJ_{pj}}.XMIPJ_{pj} + \sum_p \sum_k \overline{MIPK_{pk}}.XMIPk_{pk} + \sum_p \sum_c \overline{MIPC_{pc}}.XMIPc_{pc} + \sum_t \overline{FCI_t}.XI_t + \sum_c \overline{FCC_c}.XCC_c \quad (۳)$$

رابطه ۳ به دنبال حداقل ساختن هزینه ها می باشد که این هزینه ها شامل هزینه تولید،انتقال، نگهداری، کمبود و بازتولید می باشد.

$$MIN\ 4 = \sum_{t} RSK_t \cdot XII_t$$

(۴)

تابع هدف فوق به دنبال حداقل ساختن ریسک تامین قطعات یا مواد اولیه می باشد

$$XII_{ij} \leq XI_i$$

(۵)

رابطه فوق بیان می کند که ارسال کالا از تامین کننده منوط به احداث آن می باشد.

$$XII_i \leq XI_i$$

(۶)

رابطه ۶ نشان می دهد که انتخاب تامین کننده منوط به احداث آن می باشد.

$$\sum_{i} XMC_{ij} \geq Dem_{ij}$$

(۷)

رابطه ۷ بیان می کند که کل تقاضا باید توسط تولید تمامی کارخانه ها محقق شود

$$XMC_{ij} \leq CAPI_i$$

(۸)

رابطه ۸ نشانگر محدودیت ظرفیت هر کارخانه است

$$\sum_{m} XRMC_{imm} \leq \sum_{k} XMC_{ij}$$

(۹)

رابطه فوق نشان می دهد جمع کل محصولات بازتولید شده به طور طبیعی نمی تواند از کل محصولات تولید شده بیشتر باشد.

$$XRMC_{imm} \leq CAPM_m$$

(۱۰)

رابطه ۱۰ بیانگر محدودیت ظرفیت بازتولید کننده می باشد.

$$\sum_{w} \sum_{c} Xac_{iwc} \leq \sum_{k} XMC_{ij}$$

(۱۱)

رابطه ۱۱ بیان می کند که کل محصول بازگشتی ازمشتریان دست اول به مراکز جمع آوری نمی تواند بیش از محصولات تولید شده باشد.

$$\sum_{c} \sum_{q} XCO_{cqp} + \sum_{c} \sum_{m} XCM_{cmp} + \sum_{c} \sum_{n} XCN_{cnp} + \sum_{c} \sum_{q} Xcq_{cqp} + \sum_{m} \sum_{h} Xmb_{mhp} + \sum_{n} \sum_{h} Xnp_{nph} + \sum_{a} \sum_{t} Xot_{atp} \leq \sum_{a} \sum_{c} Xac_{acp}$$

(۱۲).

رابطه ۱۲ بیانگر این نکته است که جمع محصولات تعمیر شده، منهدم شده، بازیافت شده و بازتولید شده نمی تواند از کل محصولات جمع اوری شده بیشتر باشد که این امر یکی از شروط حلقه بسته بودن زنجیره تامین به شمار می رود.

$$XCO_{cqp} \leq CAPO_q$$

(۱۳)

رابطه ۱۳ نشانگر محدودیت ظرفیت بازیافت می باشد.

$$Xcn_{cnn} \leq CAPN_n$$

(۱۴)

رابطه ۱۴ نشانگر محدودیت ظرفیت تعمیر می باشد.

$$Xcq_{cqq} \leq CAPQ_q$$

(۱۵)

رابطه ۱۵ نشانگر محدودیت ظرفیت انهدام کننده می باشد.

$$Xot_{oio} \leq CAPI_i$$

(۱۶)

رابطه ۱۶ نشانگر محدودیت ظرفیت تامین کننده می باشد.

$$XMIFI_{ik} \leq CAPI_i$$

(۱۷)

رابطه فوق محدودیت موجودی را برای کارخانه نشان می دهد

$$XMIFK_{ik} \leq CAPK_k$$

(۱۸)

رابطه فوق محدودیت موجودی را برای توزیع کننده نشان می دهد.

$$XMIFC_{ic} \leq CAPC_c$$

(۱۹)

رابطه ۱۹ محدودیت ظرفیت را برای جمع اوری کننده نشان می دهد.

$$Xac_{acc} \leq MM.XCC_c$$

(۲۰)

رابطه ۲۰ نشان می دهد در صورتی حجم بازگشتی به مرکز جمع اوری وجود دارد که آن مرکز احداث شده باشد.

$$XfK_{fk} \leq MMXfKV_{fku}$$

(۲۱)

محدودیت ۲۱ نشان می دهد در صورتی حجم کالا از تولید کننده به توزیع کننده وجود دارد که ارسال کالا از تولید کننده به توزیع کننده در نظر گرفته شده باشد.

$$Xac_{ijr} \leq MMXacv_{iru}$$

(۲۲)

محدودیت ۲۲ بیان می کند در صورتی حجم بازگشتی از مشتری دست اول به مرکز جمع اوری وجود دارد که ارسال کالا از مشتری به آن مرکز در نظر گرفته شده باشد.

$$Xcc_{ijr} \leq MMXCCv_{iru}$$

(۲۳)

محدودیت ۲۳ نشان می دهد در صورتی از مرکز جمع اوری به مرکز بازیافت کالا ارسال می شود که ارسال از آن در نظر گرفته شده باشد.

$$Xcm_{ijmr} \leq MMXCMv_{imu}$$

(۲۴)

رابطه فوق نشان می دهد در صورتی از مراکز جمع اوری به مراکز بازتولید محصول ارسال می شود که این ارسال در نظر گرفته شده باشد.

$$Xcn_{ijr} \leq XCNv_{iru}$$

(۲۵)

در رابطه فوق این نکته بیان شده است که در صورتی حجم کالا برای تعمیر ارسال می شود که ارسال کالا در نظر گرفته شده باشد.

$$Xcq_{ijr} \leq XCQv_{iru}$$

(۲۶)

رابطه فوق بیان می کند در صورتی حجم کالا به مرکز انهدام ارسال می شود که این ارسال در نظر گرفته شده باشد.

$$Xmb_{mkr} \leq XMBv_{mku}$$

(۲۷)

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

$$Xnb_{nkr} \leq XNBv_{nku}$$

(۲۸)

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

$$Xol_{ojr} \leq XOlv_{ou}$$

(۲۹)

رابطه فوق ارسال محصول بازیافتی به تامین کننده در صورتی می باشد که این ارسال در نظر گرفته شده باشد.

$$XLCF_{jt} = \overline{Dem}_{jt} - \sum_{i} XMC_{ijt}$$

(۳۰)

رابطه فوق بیانگر میزان کمبود محصول می باشد.

$$XCFC_{jt} = \sum_{i} XMC_{ijt} - \sum_{w} \sum_{r} Xac_{wjrt}$$

(۳۱)

رابطه فوق بیانگر میزان محصول جمع اوری نشده می باشد.

فازی زدایی

سپس با استفاده از رویکرد فازی زدایی خیمنز و همکاران فازی زدایی پارامترها و برخی محدودیتها که دارای پارامترهای فازی هستند(در مدل با علامت ~ مشخص شده اند)صورت می گیرد.

۶- تجزیه و تحلیل داده ها

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

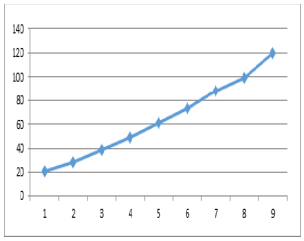
۶-۱- اعتبار سنجی مدل

در این بخش به اعتبار سنجی مدل پرداخته می شود در ابتدا مدل در ابعاد کوچک حل شده و نتایج روش دقیق ارائه می گردد. پیش از آن ابعاد مدل در ابعاد کوچک تعیین می شود که در جدول ۲ این ابعاد تعیین گردیده است.

این داده ها شامل تعداد عناصر زنجیره تامین یعنی تامین کنندگان، تولید کنندگان، توزیع کنندگان و سایر گره های زنجیره می باشد که در هر مسئله این تعداد که ابعاد مسئله می باشند افزایش می یابد و در نهایت کل تعداد مسائل با ابعاد گوناگون تعیین می شود.

جدول (۲): حل مدل در ابعاد کوچک

مسئله	زمان حل به ثانیه
1	21
2	29
3	39
4	49
5	61
6	73
7	88
8	99
9	120
10	low memory

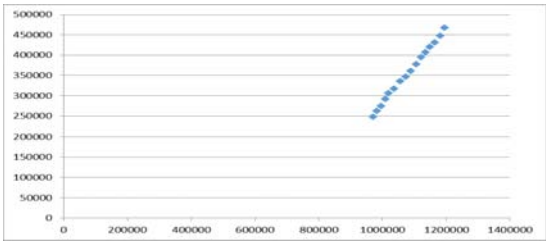


شکل (۷): حل مدل در ابعاد کوچک

همانگونه که مشاهده می شود با افزایش ابعاد مسائل کوچک زمان محاسبه نیز افزایش یافته و در نهایت در مثال ۱۰ با ارور LOW MEMORY مواجه می شویم که این امر نشانگر ناکارائی روش دقیق در حل مسئله مزبور بوده و لذا از مثال ۱۰ به بعد را می بایست با الگوریتمهای فراابتکاری حل نمود.

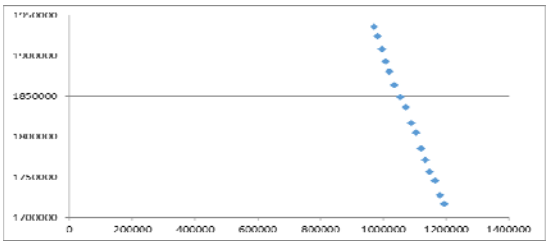
در شکل ۷ دیده می شود که با افزایش ابعاد زمان محاسبه افزایش یافته و لذا بر این اساس می توان گفت مدل دارای اعتبار برای حل آن در ابعاد بزرگ می باشد..لازم به ذکر است که اعتبار سنجی بر روی تابع هدف سوم مسئله یعنی حداقل ساختن هزینه صورت گرفته است چرا که این تابع هدف دارای بیشترین متغیرها و پارامترهای مسئله می باشد.

در ادامه نمودار پارتو برای اهداف تحقیق به تفکیک مقایسه دو هدف ارائه شده است.



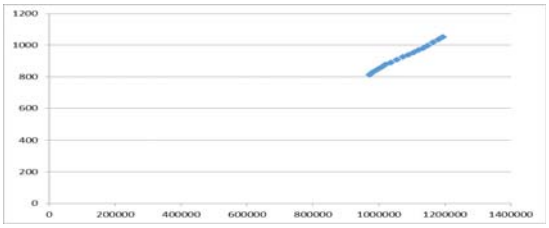
شکل(۸): نمودار پارتو برای اهداف نشر آلایندگی و زباله های زیست محیطی

همانگونه که در نمودار پارتوی فوق مشاهده می شود رابطه بین اهداف نشر آلایندگی و زباله های زیست محیطی در وضعیت مستقیم بوده و با افزایش نشر الایندگی زباله های زیست محیطی نیز افزایش می یابند و برعکس آن نیز مصداق دارد.



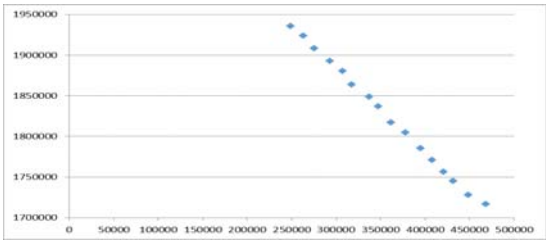
شکل(۹): نمودار پارتو برای اهداف نشر آلایندگی و هزینه

در نمودار فوق یک رابطه معکوس بین نشر آلایندگی و هزینه مشاهده می شود که با افزایش هزینه می توان انتظار کاهش نشر آلایندگی را به شکل قابل توجهی داشت.



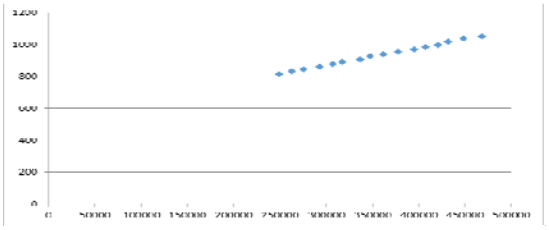
شکل(۱۰): نمودار پارتو برای اهداف نشر آلایندگی وریسک

نمودار فوق نشانگر ارتباط بین اهداف نشر الایندگی و ریسک می باشد که با افزایش نشر آلایندگی می توان انتظار افزایش ریسک را داشت که برعکس این موضوع نیز مصداق دارد.



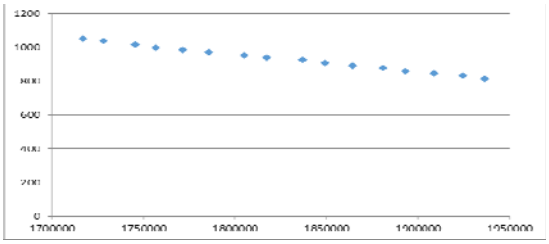
شکل(۱۱): نمودار پارتو برای اهداف زباله های زیست محیطی و هزینه

رابطه فوق نشانگر ارتباط بین اهداف زباله های زیست محیطی و هزینه است که با افزایش هزینه می توان انتظار کاهش زباله های زیست محیطی را داشت.



شکل (۱۲): نمودار پارتو برای اهداف زباله های زیست محیطی و ریسک

در نمودار فوق ارتباط ریسک و زباله های زیست محیطی ترسیم شده است که نشانگر رابطه مستقیم بین دو هدف می باشد به این صورت که با افزایش زباله های زیست محیطی می توان انتظار افزایش ریسک در زنجیره تامین محصولات نظامی را داشت.



شکل(۱۳): نمودار پارتو برای اهداف هزینه و ریسک

در نمودار فوق رابطه بین هزینه و ریسک ترسیم شده است که این رابطه دارای ماهیتی معکوس می باشد به این صورت که با افزایش هزینه احتمال کاهش ریسک وجود دارد به عبارت دیگر به منظور کاهش ریسک می بایست هزینه را افزایش داد.

۷- الگوریتمهای فراابتکاری پیشنهادی در این پژوهش

الگوریتم NSGA-II نوع چندهدفه الگوریتم ژنتیک می‌باشد که بر اساس یافتن نقاط پارتویی نامغلوب به جواب دست می‌یابد. در واقع این الگوریتم به علت نیاز به حل مسائل چندهدفه پس از تحولات شکل گرفته در الگوریتم ژنتیک اولیه یا کلاسیک پیشنهاد گردید 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 گردیده و سپس نحوه برازش مدل ارائه می گردد.

علاوه بر الگوریتم NSGAII که الگوریتم پایه در تحقیق حاضر می باشد از الگوریتمهای MOPSO MOSA و MOACO نیز استفاده می شود که البته این الگوریتمها با الگوریتم NSGAII مقایسه می شوند اما نحوه تولید جواب و کروموزمها برای تمامی الگوریتمها یکسان می باشد.

۸- نحوه نمایش جواب

نمایش جواب شامل نحوه ترسیم جواب با توجه به متغیرهای یک مدل می‌باشد. در واقع در مسائل چندهدفه هر مدل شامل یک یا چندهدف می‌باشد که با توجه به مسأله حاضر که مسأله چندهدفه می‌باشد چندهدف در قالب یک کروموزوم ترسیم شده و هر متغیر تصمیم به صورت یک ژن در این کروموزم در نظر گرفته می‌شود. اما در مجموع سه نوع متغیرتصمیم یا ژن برای تشکیل کروموزوم قابل توجه می‌باشند.

نوع اول متغیرهای تصمیم یا ژن که در مدل تحقیق حاضر نیز در نظر گرفته شده است نوع باینری می‌باشد که در آن اعداد به صورت صفر و یک در نظر گرفته می‌شود.

۱	۱	۰	۱	۱		۰	۱	۱	۰	۱

شکل (۱۴): متغیرهای تصمیم یا ژن در مدل تحقیق

این نوع بردار جواب معمولا در مسائلی نظیر مکانیابی هاب استفاده می-شود که اشاره به احداث یا عدم احداث یک تسهیل دارد. در صورت احداث این مقدار برابر ۱ در نظر گرفته می‌شود و در غیر اینصورت این مقدار برابر صفر در نظر گرفته می‌شود. اما در تحقیق حاضر برای برخی متغیرهای تصمیم نظیر انتخاب یا عدم‌انتخاب فعالیت، اجرا یا عدم اجرای فعالیت و همچنین انتخاب یا عدم انتخاب تامین‌کننده در مسأله حاضر از این نوع متغیر استفاده می‌شود.

۲۰۳	۱۴۳	۴۱۵	۶۷۸	۴۴۵	۱۳۱	۲۷۶	۱۵۱	۱۱۶	۲۲۳

شکل (۱۵): نمودار پارتو برای اهداف زباله های زیست محیطی و ریسک

نوع سوم متغیر یا ژن که در مسأله حاضر نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد، بردار جواب عدد صحیح یا نوع پیوسته می‌باشد. دو متغیر در مدل تحقیق حاضر نیز شامل نوع عددصحیح می‌باشد سطح موجودی و میزان مواد انتقالی به عنوان متغیرهای عدد صحیح در مسئله حاضر در نظر گرفته می شودن. که هدف مدل تعیین بازه بهینه متغیرهای مذکور با استفاده از الگوریتم می‌باشد. در صورتی که هدف حداقل‌سازی باشد هر چه مقادیر عددصحیح کمتر باشد به هدف حداقل‌سازی بیشتر می‌توان نزدیک شد و برعکس. ضمن اینکه با توجه به محدودیت‌هایی نظیر ظرفیت یا تقاضا اعداد موجود در بردار جواب عدد صحیح، در بازه ای بین پارامترهای تقاضا یا ظرفیت قرار می‌گیرد.

۸-تنظیم پارامترها

با توجه به اهمیت پارامترها در الگوریتم‌های فراابتکاری و واکنش آنها به تغییرات در پارامترها در این بخش به بحث تنظیم پارامترها پرداخته می-شود. تنظیم پارامتر می‌بایست با دقت انجام شود تا عملکرد الگوریتم به طور چشمگیری بهبود یابد. دو دسته پارامتر برای الگوریتم‌های فراابتکاری وجود دارد که شامل پارامترهای مسأله و پارامترهای الگوریتم می‌شود. در این بخش هدف تنظیم پارامترهای الگوریتم می‌باشد به گونه‌ای که به

بهترین نتیجه منجر شود . الگوریتم پیشنهادی در تحقیق حاضر شامل سه دسته مسأله می‌باشد: مسائل کوچک، مسائل متوسط و مسائل بزرگ. کمتر از ۱۰ فعالیت در دسته مسائل کوچک ، بین ۱۰ تا ۳۰ مسأله در دسته مسائل متوسط و بیش از ۳۰ فعالیت در زمره مسائل بزرگ قرار می گیرند. برای تنظیم پارامتر از تحلیل حساسیت بین پارامترها استفاده شده است، به این صورت که با ثابت نگه داشتن تمامی پارامترها میزان تغییر در تعداد جواب‌های نامغلوب به ازای تغییر در هر یک از پارامترها محاسبه شده و پارامتری تغییر یافته که بیشترین تاثیر را در افزایش تعداد جواب-های نامغلوب داشته است. این افزایش در میزان پارامترها تا جایی ادامه یافته که تعداد جواب‌های نامغلوب کاهش یابند یا تغییر به خصوصی نداشته باشند نتایج به تفکیک مسائل کوچک، متوسط و بزرگ در جداول ذیل ارائه شده است.

جدول (۳): تنظیم پارامترهای الگوریتم NSGA-II و MOSA در ابعاد کوچک

پارامترهای قابل تنظیم								
جمعیت هر نسل	n	3n	3n	4n	4n	4n	4n	4n
بیشترین تکرار حلقه اصلی	2	3	4	25	30	35	40	45
تعداد دفعات انتخاب تصادفی از بین زمان‌های شروع	1	1	1	4	4	6	6	8
نرخ تقاطع	0.1	0.1	0.2	0.2	0.6	0.6	0.6	0.6
نرخ جهش	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3
احتمال انتخاب تقاطع تک نقطه‌ای	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
احتمال انتخاب تقاطع آریتماتیک	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
احتمال انتخاب جهش تبادلی	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
احتمال انتخاب جهت توزیع احتمالی	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
نرخ کاهش درجه T	۰.۰۱	۰.۰۱	۰.۰۱	۰.۰۱	۰.۰۱	۰.۰۱	۰.۰۲	۰.۰۲
مقدار حافظه جمعی	۰.۰۱	۰.۰۱	۰.۰۲	۰.۰۳	۰.۰۴	۰.۰۴	۰.۰۵	۰.۰۵
مقدار فرومون	۰.۰۱	۰.۰۱	۰.۰۱	۰.۰۱	۰.۰۲	۰.۰۲	۰.۰۳	۰.۰۳
متوسط تعداد جواب‌های نامغلوب در ۱۰ اجرای الگوریتم	4	4	5	5	7	8	10	11

جدول (۴): تنظیم پارامترهای الگوریتم های فراابتکاری تحقیق حاضر در ابعاد متوسط

پارامترهای قابل تنظیم	مقادیر							
جمعیت هر نسل	n	3n	3n	4n	4n	4n	4n	4n
بیشترین تکرار حلقه اصلی	2	3	4	25	30	35	40	45
تعداد دفعات انتخاب تصادفی از بین زمان‌های شروع	1	1	1	4	4	6	6	8
نرخ تقاطع	0.1	0.1	0.2	0.2	0.6	0.6	0.6	0.6
نرخ جهش	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.25	0.3	0.3
احتمال انتخاب تقاطع تک نقطه‌ای	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
احتمال انتخاب تقاطع آریتماتیک	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
احتمال انتخاب جهش تبادلی	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
احتمال انتخاب جهت توزیع احتمالی	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
نرخ کاهش درجه T	۰.۰۱	۰.۰۱	۰.۰۱	۰.۰۱	۰.۰۱	۰.۰۱	۰.۰۲	۰.۰۲
مقدار حافظه جمعی	۰.۰۱	۰.۰۱	۰.۰۲	۰.۰۳	۰.۰۴	۰.۰۴	۰.۰۵	۰.۰۵
مقدار فرومون	۰.۰۱	۰.۰۱	۰.۰۱	۰.۰۱	۰.۰۲	۰.۰۲	۰.۰۳	۰.۰۳
متوسط تعداد جواب‌های نامغلوب در ۱۰ اجرای الگوریتم	4.8	5.1	6.6	6.8	7	7.5	8.5	8.8

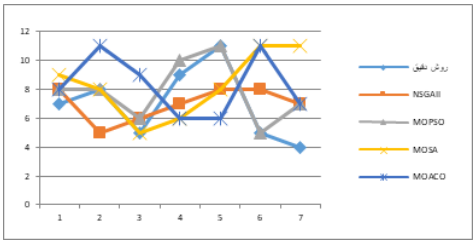
جدول (۵):تنظیم پارامترهای الگوریتمهای فراابتکاری در تحقیق حاضر در ابعاد بزرگ

پارامترهای قابل تنظیم	مقادیر							
جمعیت هر نسل	n	$3n$	$3n$	$4n$	$4n$	$4n$	$4n$	$4n$
بیشترین تکرار حلقه اصلی	2	3	3	20	20	30	30	30
تعداد دفعات انتخاب تصادفی از بین زمان‌های شروع	1	1	1	4	5	5	5	5
نرخ تقاطع	0.1	0.1	0.2	0.2	0.3	0.5	0.5	0.5
نرخ جهش	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
احتمال انتخاب تقاطع تک نقطه‌ای	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
احتمال انتخاب تقاطع آریتماتیک	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
احتمال انتخاب جهش تبادلی	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
احتمال انتخاب جهت توزیع احتمالی	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
نرخ کاهش درجه T	10^{-1}	10^{-1}	10^{-1}	10^{-1}	10^{-1}	10^{-1}	10^{-2}	10^{-2}
مقدار حافظه جمعی	10^{-1}	10^{-1}	10^{-2}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-2}	10^{-5}	10^{-5}
مقدار فرومون	10^{-1}	10^{-1}	10^{-1}	10^{-1}	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-3}
متوسط تعداد جواب‌های نامغلوب در ۱۰ اجرای الگوریتم	4.2	4.6	5.5	5.7	6	6.2	7.2	7.8

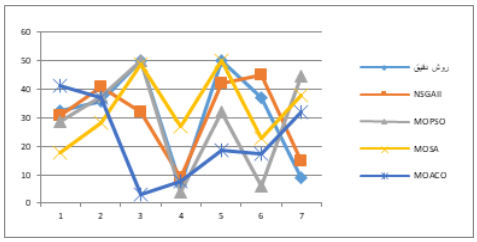
همانگونه که مشاهده می‌شود با افزایش ابعاد مسأله باید تعداد تکرارها یا جمعیت را کاهش داد تا زمان حل بیش از حد افزایش نیابد. افزایش این دو پارامتر منجر به افزایش تعداد جواب‌های نامغلوب می‌شود اما زمان پردازش نباید بیش از حد افزایش یابد. بهترین میزان برای نرخ جهش و تقاطع تعیین شده که برای نرخ جهش ۰,۲ و برای نرخ تقاطع ۰,۵ می-باشد.

۹-تولید مثال- حل مدل

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

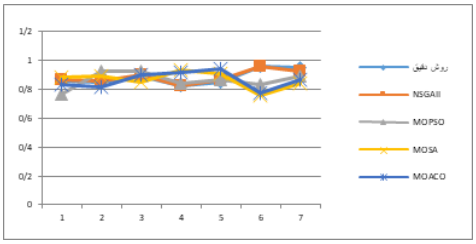


شکل (۱۶): مقایسه روش دقیق و الگوریتمها از نظر تعداد نقاط پارتو

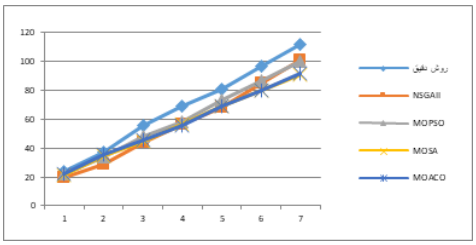


شکل (۱۷): مقایسه روش دقیق و الگوریتمها از نظر معیار پراکندگی

هر چه یک الگوریتم قادر به تولید نقاط پارتوی بیشتری باشد می توان گفت که دارای قدرت بیشتری نیز است. بنابراین در تولید نقاط پارتو بالاتر بودن تعداد مهم می باشد . در شکل ۱۶ مشاهده می شود که تولید نقاط پارتو در مسائلی که با روش دقیق و الگوریتمها مشترک می باشد در هیچیک از روشها برتری وجود نداشته و صرفا الگوریتمها NSGAII از یک الگوی نسبتا ثابت و کم نوسان در تولید نقاط پارتو پیروی کرده است پراکندگی هر چه کمتر باشد نشانگر عملکرد بهتری در خصوص یک روش حل بهینه سازی می باشد در شکل ۱۷ دیده می شود که که MOACO کمترین مقدار پراکندگی را بدست آورده و نسبت به روشهای دیگر در پائینترین حد قرار دارد این در حالی است که الگوریتم MOSA مقدار پراکندگی بیشتری را نسبت به سایر الگوریتمها نشان می دهد.

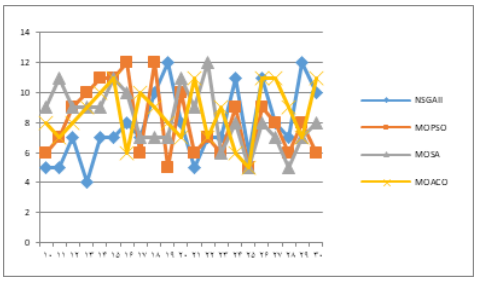


شکل (۱۸): مقایسه روش دقیق و الگوریتمها از نظر فاصله تا نقطه ایده آل

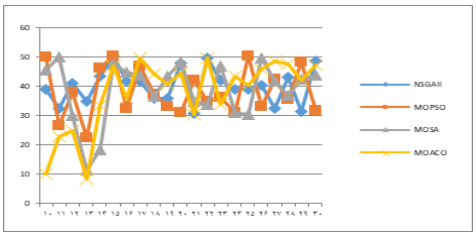


شکل (۱۹): مقایسه روش دقیق و الگوریتمها از نظرزمان محاسبه

معیار فاصله تا نقطه ایده آل معیار دیگری است که هر چه کمتر باشد عملکرد بهتری را نسبت به روش مورد استفاده تبیین میکند. در این مدل نشان داده می شود که الگوریتمهای MOSA,MOACO موفق به فاصله تا نقطه ایده آل بهتری در مسئله ششم شده اند در حالیکه الگوریتمهای NSGAII و روش دقیق فاصله تا نقطه ایده آل بیشتری را تولید کرده اند. زمان محاسبه موضوع مهم دیگری است که هر چه کمتر باشد عملکرد بهتری را نشان می دهد بر اساس شکل ۱۹ دیده می شود که الگوریتم MOACO نسبت به سایر روشها زمان کمتری را به وجود آورده است البته الگوریتم NSGAII نیز در این خصوص موفق نشان داده است اما روش دقیق بیشترین زمان محاسبه را داشته است که از این لحاظ می توان گفت روش دقیق ناکاراست.



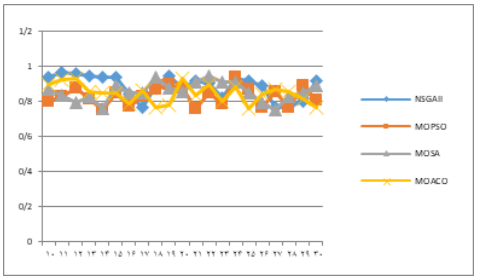
شکل (۲۰): مقایسه الگوریتمها در مثالهای متوسط و بزرگ از نظر تولید نقاط پارتو



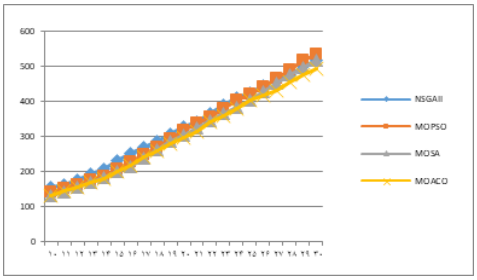
شکل (۲۱): مقایسه الگوریتمها در مثالهای متوسط و بزرگ از نظر معیار پراکندگی

دراین بخش صرفا مقایسه الگوریتمها در مثالهای متوسط و بزرگ از نظر تولید نقاط پارتو صورت می گیرد چرا که روش دقیق امکان حل مثالهای متوسط و بزرگ را ندارد و در اینجا صرفا مقایسه بین الگوریتمهای فراابتکاری صورت می گیرد. نتیجه در ۲۰ شکل نشان می دهد که در مثالهای بزرگ الگوریتم NSGAII کمترین تعداد ناقط پارتو را ایجاد کرده است در حالیکه الگوریتم MOPSO موفق به تولید بیشترین نقاط پارتو در مسائل ۱۷ و ۱۹ شده است.

از نظر معیار پراکندگی نیز در شکل ۲۱ مشاهده می شود که MOACO کمترین پراکندگی را ایجاد کرده است در حالیکه MOPSO بیشترین پراکندگی را در برخی مسائل به وجود اورده است.



شکل (۲۲): مقایسه الگوریتمها در مثالهای متوسط و بزرگ از نظر فاصله تا نقطه ایده آل



شکل (۲۳): مقایسه الگوریتمها در مثالهای متوسط و بزرگ از نظر زمان محاسبه

طبق شکل ۲۲ الگوریتم MOPSO کمترین میزان فاصله تا نقطه ایده آل را به وجود اورده است در حالیکه الگوریتم MOSA نیز در این خصوص با الگوریتم MOPSO قابل قیاس است اما بیشترین میزان فاصله تا نقطه ایده آل توسط الگوریتم NSGAII به وجود آمده است.

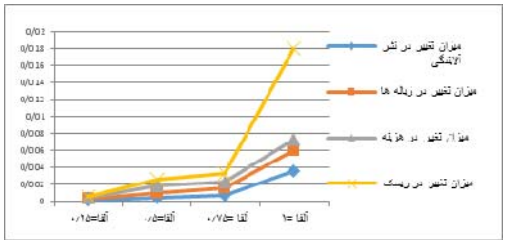
در خصوص زمان محاسبه باید گفت به نظر می رسد الگوریتم MOACO زمان محاسبه کمتری را در شکل ۲۳ نشان می دهد اما در مجموع فاصله زمان محاسبه بین چهار الگوریتم چندان زیاد نیست و الگوریتم NSGAII بیشترین زمان محاسبه را دارا می باشد.

۹- یافته های پژوهش

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

جدول (۳): تحلیل اثر عدم قطعیت بر توابع هدف مسئله

میزان عدم قطعیت	نشر آلایندگی	زباله های زیست محیطی	هزینه	ریسک
آلفا=۰	970883	248946	1936091	814
آلفا=۰,۲۵	971046	249086	1937999	819
آلفا=۰,۵	971365	249410	1941339	826
آلفا =۰,۷۵	971797	249844	1945965	836
آلفا =۱	972412	250470	1951806	850



شکل (۲۴): تحلیل عدم قطعیت بر توابع هدف مسئله

همانگونه که دیده می شود با افزایش آلفا مقادیر توابع هدف مسئله که همگی حداقل سازی می باشند افزایش یافته و لذا جواب بدتر شده است اما نکته حائز اهمیت این است که تابع هدف ریسک بیش از سایر توابع هدف اثرپذیر بوده و با رسیدن آلفا به ۱ شاهد افزایش بسیار زیاد ریسک هستیم به گونه ای که میزان ریسک از آلفا نزدیک ۴ دهم درصد به ۱,۸ درصد رسیده است یعنی در آلفا برابر با ۱ شاهد بدتر شدن ریسک تا میزان ۱,۸ درصد می باشیم اما در خصوص سایر توابع هدف این مقدار کمتر می باشد به عنوان مثال در آلفا=۱ هزینه ۷ دهم درصد زباله های زیست محیطی ۶ دهم درصد و نشر آلایندگی ۴ دهم درصد بدتر شده اند اما تغییرات در ریسک به نسبت بیشتر می باشد. بنابراین می توان گفت افزایش عدم قطعیت در ابتدا بر ریسک اثرگذار بوده و سپس به ترتیب بر هزینه، زباله های زیست محیطی و نشر آلایندگی اثرگذار خواهد بود.

۵-نتیجه گیری

مساله ای که در این مقاله به مطالعه آن پرداخته شده، ارائه یک مدل ریاضی چهار هدفه جهت حداقل ساختن نشر الایندگی, حداقل ساختن زباله های زیست محیطی, حداقل ساختن هزینه و حداقل ساختن ریسک تامین مواداولیه است. متدولوژی پیشنهادی در این پژوهش به نحوی طراحی شده است که قابلیت بررسی توابع هدف در زنجیره تامین حلقه بسته را امکان پذیر می کند .به عبارت دیگر متدولوژی پیشنهادی با دیدی واقع بینانه تر و انعطاف پذیرتر، به ارائه راهکار جهت بهینه سازی در محیط واقعی صنایع نظامی می پردازد.سوال اصلی این پژوهش عبارت بود از "مدل ریاضی مناسب جهت ایجاد زنجیره تأمین حلقه بسته در محصولات نظامی با تاکید بر توانمند سازی قابلیت های زیست محیطی و افزایش سود آوری چیست؟"در پاسخ به این سوال مدل ریاضی با چهار تابع هدف فوق همراه با محدودیتهای مربوطه طراحی گردید .به طوری که بعد از حل با الگوریتم های فرا ابتکاری NSGA-II ، MOPSO ، MOSAو MOACO با توجه به کمینه کردن توابع هدف مقدار بهینه آنها بدست آمد.لذا به صنایع نظامی پیشنهاد میگردد با توجه به اینکه هزینه بازتولید و تولید می تواند بیشترین اثر را بر تولید زباله گذاشته و لذا به طور کلی یکی اهداف کاهش زباله می باشد لذا کنترل هزینه های بازتولید و تولید می بایست در دستور کار قرار گیرد. به عبارت دیگر تا حد امکان ، شرایطی برای بازتولید به وجود نیامده یا بازتولید محصولات حداقل شود. در این صورت می توان انتظار کاهش زباله را داشت ضمن اینکه هزینه های تولید نیز با توجه به نهاده های تولید باید کنترل شود تا این اثرگذاری حداکثر گردد.

اگر مدیران خواهان حداقل ساختن هزینه نیز می باشند می بایست بازتولید را در زنجیره کاهش دهند به گونه ای 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 می تواند ایده آل باشد اما می توان هزینه کمبود را حداقل نمود.

منابع و مأخذ

[۱] بشیری، مهدی. شرافتی، مهتاب. (۱۳۹۲). **طراحی دو هدفه شبکه زنجیره تامین حلقه بسته با در نظر گرفتن معیارهای همبسته در محیط فازی**، پژوهش های مهندسی صنایع در سیستم های تولید، دوره ۱ شماره ۱ ، ۲۵-۳۵.

[۲] تارخ، محمد جعفر. اسماعیلی گوکه، مهسا. ترابی، شهره. (۱۳۹۱). **مدل کلی بهینه سازی طراحی شبکه لجستیک معکوس تحت عدم قطعیت**، نشریه تخصصی مهندسی صنایع، دوره ۴۶ شماره۲ ،۱۵۹-۱۷۳.

[۳] قجاوند، حمزه. زندیه، مصطفی. دری، بهروز. (۱۳۹۰). **به کارگیری الگوریتم های فرابتکاری در مدل یکپارچه سازی شبکه لجستیک توزیع کالا**، چشم انداز مدیریت صنعتی، دوره ۱ شماره ۳ ,۹۹-۱۱۹.

[4] Aras, N., Boyaci, T., Verter, V. (2010). **Designing the Reverse Logistics Network Closed Loop Supply Chains: New Developments to Improve the Sustainability of Business Practices**, 67-98.

[5] Bae, H.S. (2017). **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 33, No. 3, 167-176.

[6] Braz, A. C., De Mello, A. M., de Vasconcelos Gomes, L. A., de Souza Nascimento, P. T. (2018). **The bBullwhip Effect in Closed-Loop Supply Chains: A Systematic Literature R.** Journal of Cleaner Production, 202, 376–389.

[7] Cannella, S., Bruccoleri, M., Framinan, J.M. (2016). **Closed-loop Supply Chains: What Reverse Logistics Factors Influence Performance**. International Journal of Production Economics 175, 35-49.

[8] Dean, T.J., Brown, R.L. (1995). **Pollution Regulation as a Barrier to New firm Entry: Initial Evidence and Implications for Future Research**. Academy of Management Journal 38, No. 1, 288-303.

Analysis. International Journal of Production Research 57, No. 15-16, 4937-4960.

[23] Kozlenkova, V.G., Tomas, M., Hult, D.J., Lund, J.A.M., Kekec, P. (2015). **The Role of Marketing Channels in Supply Chain Management**. Journal of Retailing 91, No. 4,586-609.

[24] Ninlawan, C., Seksan, P., Tossapol, K., Pilada, W. (2010). **The Implementation of Green Supply Chain Management Practices in Electronics Industry.** In World Congress on Engineering, 4-6, London, UK., Vol. 2182, pp. 1563-1568. International Association of Engineers.

[25] 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 (2014): 108-120.

[26] Shaharudin, M.R., Tan, K.C., Kannan, V., Zailani, S. (2019). **The Mediating Effects of Product Returns on the Relationship between Green Capabilities and Closed-Loop Supply Chain Adoption.** Journal of cleaner production 211, 233-246.

[27] Soleimani, R., Shoushtari, N., Mirza, B., Salahi, A. (2013). **Experimental Investigation, Modeling and Optimization of Membrane Separation Using Artificial Neural Network and Multi-Objective Optimization Using Genetic Algorithm.** Chemical engineering research and design 91, No. 5, 883-903.

[28] Soleimani, H., Govindan, K., Saghafi, H., Jafari, H. (2017). **Fuzzy Multi-Objective Sustainable and Green Closed-Loop Supply Chain Network Design.** Computers & industrial engineering 109,191-203.

[29] Srivastava, S.K. (2008). **Network Design for Reverse Logistics.** Omega 36, No. 4, 535-548.

[30] Stevens, G.C. (1989). **Integrating the Supply Chain**. international Journal of physical distribution & Materials Management.

[31] Talaei, M., Moghaddam, B.F., Pishvaee, M.S., Bozorgi-Amiri, A., Gholamnejad, S. (2016). **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 113, 662-673.

[32] Tonanont, A. (2009). **Performance Evaluation in Reverse Logistics with Data Envelopment Analysis**.

[33] Turner, K.J. (2012). **Exploring Critical Factors for Successful Closed-Loop Supply Chains with Remanufacturing**.

[34] Zhu, Q., Sarkis, J. (2017). **The Moderating Effects of Institutional Pressures on Emergent Green Supply Chain Practices and Performance.** International journal of production research 45, No. 18-19, 4333-4355.

[9] Farahani, R., Asgari, N., Davarzani, H. (2009). **Supply Chain and Logistics in National**, **International and Governmental Environment: Concepts and Models.** Springer Science & Business Media.

[10] Farrokh, M., Azar, A., Jandaghi, GH., Ahmadi, E. (2018). **A Novel Robust Fuzzy Stochastic Programming for Closed Loop Supply Chain Network Design under Hybrid Uncertainty**. Fuzzy sets and systems 341, 69-91.

[11] Fleischmann, M., Krikke, H.R., Dekker, R., Flapper, S.D.P. (2006). **A Caracterisation of Logistics Networks for Product Rcovery.** Omega 28, No. 6, 653-666.

[12] French, M.L., Lawrence LaForge, R. (2006). **Closed-loop Supply Chains in Process Industries: An Empirical Study of Producer Re-use issues.** Journal of Operations Management 24, No. 3, 271-286.

[13] Gagnon, S. (1999). **ResourceBased Competition and the new Operations Strategy**. International Journal of Operations & Production Management.

[14] Ghavamifar, Ali., Makui, A., Taleizadeh. A. (2018). **Designing a Resilient Competitive Supply Chain Network Under Disruption Risks: A Real-world Application**. Transportation Research part E: Logistics and Transportation Review 115, 87-109.

[15] Gholizadeh, H., Fazlollahtabar, H., Mohammad Khalilzadeh, M. (2020). **A Robust Fuzzy Stochastic Programming for sustainable procurement and logistics under hybrid uncertainty using big data.** Journal of Cleaner Production 258, 120640.

[16] Govindan, K., Soleimani, H., Devika Kannan, D. (2015). **Reverse Logistics and Closed-loop Supply Chain: A Comprehensive Review to Explore the Future**. European journal of operational research 240, No. 3, 603-626.

[17] Guide, JR., Daniel, V.R., Van Wassenhove, L.N. (2009). **The Evolution of Closed-Loop Supply Chain Research.** Operations research 57, No. 1, 10-18.

[18] Guide JR., Daniel, V.R., Van Wassenhove, L.N. (2001). **Managing Product Returns for Remanufacturing**. Production and operations management 10, No. 2, 142-155.

[19] Jayaraman, V.V., Daniel, R., Guide JR., Srivastava, R. (1999). **A Closed-Loop Logistics Model for Remanufacturing.** Journal of the operational research society 50, No. 5, 497-508.

[20] Judge, W.Q., Douglas, T.J. (1998). **Performance Implications of Incorporating Natural Environmental Issues into the Strategic Planning Process: An Empirical Assessment.** Journal of management Studies 35, No. 2, 241-262.

[21] Kannan, D., Diabat, A., Alrefaei, M., Govindan, K., Yong, G. (2012). **A Carbon Footprint Based Reverse Logistics Network Design Model**. Resources, conservation and recycling 67, 75-79.

[22] Kazemi, N., Modak, N.M., Govindan, K. (2019). **A Review of Reverse Logistics and Closed Loop Supply Chain Management Studies Published in IJPR: a Bibliometric and Content**