فصلنامه علمی پژوهشی
دانش حسابداری و حسابرسی مدیریت
سال نهم / شماره ۳۵/ پائیز ۱۳۹۹

طراحی مدل ریاضی چند هدفه انتخاب تأمین کننده در شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته سبز

عصمت سعدی
دانشجوی دکتری مدیریت صنعتی ،گروه مدیریت صنعتی،دانشکده مدیریت و اقتصاد، واحد علوم و تحقیقات تهران، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
e.saedi@bankmellat.ir

کیامرث فتحی هفشجانی
استادیار مدیریت صنعتی، گروه مدیریت صنعتی ، دانشکده مدیریت، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی ، تهران، ایران،(نویسنده مسئول)
fathikiamars@yahoo.com

رضا رادفر
استاد مدیریت صنعتی، گروه مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت و اقصاد ،واحد علوم و تحقیقات ، دانشگاه آزاد اسلامی ،تهران، ایران
radfar@gmail.com

تاریخ دریافت: ۹۸/۰۸/۱۱ تاریخ پذیرش: ۹۸/۱۰/۰۳

چکیده

یکی از گام های اساسی در جهت سبز شدن زنجیره های تأمین، بررسی الزام ها و عوامل زیست محیطی در تامین کننده ها است.امروزه شبکه های زنجیره تامین به عنوان ستون اصلی فعالیتهای اقتصادی شناخته می شوند در این راستا این تحقیق به توسعه مدل زنجیره تامین حلقه بسته سبز (زیست محیطی) چند دوره ای ، چند محصولی چند هدفه با در نظر گرفتن برگشت مجدد محصولات معیوب به چرخه تولید و سیاست تخفیف توأم کلی و نموی در فضای مدل ریاضی خطی ترکیبی با عدد صحیح پرداخته شده است. مدل پیشنهادی سه بعدی، با دو روش حل اپسیلون محدودیت بهبود یافته و الگوریتم پیشنهادی MOPSO به تولید جواب های پارتو از طریق نرم افزار گمز با حل کننده سیپلکس میپردازد.جهت مقایسه عملکرد روشهای حل، پنج شاخص تعریف میگردد. نتایج عددی حاصله نشانگر کارایی و کیفیت الگوریتم پیشنهادی در مقایسه با روش حل دقیق اپسیلون محدودیت بهبود یافته است.

واژه‌های کلیدی: زنجیره تامین سبز، انتخاب تامین کننده سبز، مدل فراابتکاری، چند محصول.

۱- مقدمه

مدیریت زنجیرهٔ تأمین مدیریت کلیهٔ فرایندهای ساخت و تأمین ، از مواد اولیه تا مشتری نهایی، است که کل زنجیرهٔ ارزش را، از استخراج مواد تا پایان عمر مفید محصول، در بر می-گیرد .برخی فراتر می‌روند و بازیافت مواد اولیه را نیز در محدودهٔ مدیریت زنجیرهٔ تأمین می‌دانند .پیشرفت سریع و شگرف فناوری همراه با افزایش روز افزون رقابت در بازارهای جهان،مدیران واحدهای اقتصادی را به تولید محصولاتی با کیفیت بالا،ارائه خدمات مطلوب به مشتریان و در غایت کاستن از هزینه تمام شده کالا و خدمات ترغیب نموه اند.از اینرو جهت تحقق این انتظارات ، تأمین اطلاعات مورد نیاز به صورت جامع برای سیستم حسابداری نیز یک ضرورت است و بهمین علت بسیاری از دست اندرکاران امور اقتصادی به تدریج از دیدگاه های سنتی مبتنی بر حسابداری بهای تمام شده فاصله گرفته و به ایجاد سیستم مدیریت هزینه بر پایه مدل سازی ریاضی با توجه به شرایط حاکم گرایش پیدا کرده اند.سیستم مدیریت هزینه نوعی سیستم برنامه ریزی و کنترل است که بر اساس اطلاعات جامع طرح ریزی می گردد.در این سیستم ، هزینه فعالیت های عمده بنگاه اقتصادی به کالاها و خدمات مربوط به تولید با توجه به نحوه استفاده از فعالیتها در تولید کالاها و خدمات تخصیص می یابد.در این راستا هدف های سازمانی مدیران نیز بسیار متنوع است.برخی از هدفها که بطور مکرر مورد تأکید قرار می گیرند عبارتند از : توجه به سودآوری و رشد ، رسیدن به خودکفایی مالی ، به حداقل رساندن بهای تمام شده کالا ، متنوع ساختن بازار ، ارتقای کیفیت محصولات مطابق با استانداردهای بین المللی ، رعایت ملاحظات زیست محیطی و همچنین تنجام وظایف مربوط به خدمات اجتماعی.

مدیریت لجستیک معکوس حوزه کوچک ولی مهمی از زنجیره تأمین کنندگان امروزی است و این اجازه را به مدیریت شرکت ها می دهد که کالاها و مواد اولیه برگشتی را به عرضه کنندگان بازگرداند و برای حفظ تداوم هماهنگ کردن فعالیت های تولید، توزیع و جلوگیری از توقف عملیات و نیز قابل استفاده نمودن اقلام و کالاهای برگشتی ، خط مشی ها ، نظام ها و روش هایی را اتخاذ نمایند تا مجموع هزینه های مرتبط با زنجیره تأمین را کاهش دهند.از شروط بسیار مهم در بازیافت و مصرف مجدد کالاها و اقلام تولیدی در زنجیره تأمین معکوس " جداسازی اقلام قابل استفاده مجدد و اقلام غیرقابل استفاده " از یکدیگر است.اقلام قابل استفاده می توانند به عنوان جایگزین مناسب برای تأمین قطعات سفارش داده شده مورد استفاده واقع شوند.چرا که بسیاری از عدم اطمینان ها و نارضایتی ها ناشی از رابطه مستقیم محصولات عودتی و برگشت داده شده با زمان ، کیفیت و کمیت کالاها می باشد ، که با جایگزین کردن اقلام قابل استفاده کالاهای برگشتی ، علاوه بر صرفه جویی در هزینه ها ، در ابعاد مختلف دیگر نیز می توان رضایت مصرف کننده را کسب نمود و این امر مستلزم پایه ریزی یک سیستم برنامه ریزی قوی در امر تولید است.تحولات چند سال گذشته شامل آزادسازی اقتصاد، رونق مجدد بورس اوراق بهادار و نزدیک شدن نرخ بهره به سطح نرخ تعادلی ، باعث گردیده که مباحث مختلف مدیریت هزینه اهمیت فراوان بیابد.زیرا هرگونه اقدام در جهت کاهش هزینه تولید کالا و خدمات مستقیما" بر قیمت سهام در بورس سهام نیز اثر می گذارد.جذاب بودن سهام هر مؤسسه اقتصادی و تولیدی نیز به نوبه خود می تواند معیاری در جذب و تخصیص سرمایه که مهمترین ارکان تولید و توسعه اقتصادی است تلقی گردد.یکی از پیامدهای رشد توسعه همه جانبه پیدایش رویکردی جدید مبتنی بر پیوند توسعه و موفقیت اقتصادی با ملاحظات اخلاقی و تأثیر متقابل مسائل اقتصادی و اخلاقی و ارزش های اجتماعی بر یکدیگر است.به همین دلیل ضرورت پیدا کرد که سیستمی بوجود آید که مدیریت را در امر شناسایی مشکل ، تعیین اهداف ، شناسایی دقیق مسأله ، تعریف راه حل های ممکن ، ارزیابی راه حل ها ، انتخاب یک راه حل بهینه ، اجرا ، کنترل و ارزیابی آن کمک کند.نقش حسابداری مدیریت عبارت است از تهیه و ارایه اطلاعات مرتبط و سودمند برای کمک به مدیریت و برنامه ریزی فعالیتها ، اعمال کنترل مدیریت و تصمیم گیری عقلایی در جهت تحقق اهداف سازمان است.بنابراین سیستم اطلاعاتی حسابداری مدیریت با هدف کمک به مدیران در امر تصمیم گیری بوجود آمد و همگام با گسترش و پیچیده شدن سیستم تولید و ارائه خدمات رشد و گسترش پیدا کرده است.بدیهی است تلفیق سیستم اطلاعاتی حسابداری با اهداف و روش های مدیریت هزینه ، روندی فزاینده در جهت کاهش هزینه ها و کمک به افزایش سودآوری را در پی خواهد داشت.مدیریت هزینه مفهومی است که می کوشد راه های مناسب برای تصمیم گیری های که متضمن ارزش آفرینی برای مشتریان همراه با کاهش هزینه است را بیابد.مدیریت هزینه بر این نگرش استوار است که هزینه ها به خودی خود ایجاد نمی شوند بلکه تمام هزینه های تولید و یا انجام

خدمات محصول نتیجه تصمیم گیری های مدیریت است که عمدتا" معطوف به چگونگی استفاده از منابع محدود سازمان است.با افزایش سهم فناوری و سایر اجزای هزینه های سربار در تولید کالاها و خدمات ، روش هزینه یابی سنتی ، اطلاعات صحیح در مورد هزینه سربار و تسهیم آن فراهم نمی

آورد در حالیکه اطلاعات بهای تمام شده محصولات خدمات و مشتریان از مهمترین اطلاعات مالی است که برای تصمیمات مدیریت مورد نیاز است ، برآورده نشدن اطلاعات مورد نیاز مدیریت توسط سیستم هزینه یابی سنتی ، واحدهای اقتصادی را به سمت استفاده از سیستم هزینه یابی بر مبنای فعالیت ،یکی از سیستم های نوین هزینه یابی محصولات و خدمات است که نیازهایی از قبیل محاسبه صحیح بهای تمام شده محصول ، بهبود فرآیند تولید ، حذف فعالیت های زائد ، شناخت محرک های هزینه ، برنامه ریزی عملیات و تعیین راهبردهای تجاری را برای واحد اقتصادی برآورده می سازد.این سیستم به جای پرداختن به نشانه و معلول، علت ایجاد هزینه و تولید را کالبدشکافی می کند و اگر فعالیتی دارای فلسفه توجیهی ، متقاضی و حتی ارزش افزوده نباشد زمینه حذف ، تعدیل یا بهبود آن را فراهم می کند.(رهنمای رودپشتی ، ۱۳۸۸)

نظر به اینکه یک از هزینه های مهم هر بنگاه اقتصادی در مدیریت هزینه را هزینه های شبکه توزیع تشکیل می دهد، بنابراین در این پژوهش به مطالعه شبکه توزیع خواهیم پرداخت شبکه توزیع در زنجیره تأمین اشاره به مرحله ای دارد که محصول از مرحله تأمین کننده به مرحله مشتری در زنجیره تأمین ذخیره و منقل می گردد.بدین منظور مواد اولیه و اجزاء و قطعات از تأمین کنندگان به تولیدکنندگان منتقل می گردد و از آنجا به توزیع کنندگان و تولیدات نهایی سازندگان به مشتریان نهایی منتقل می گردند.

در سال های اخیر، به دلیل افزایش سرعت و حجم ارتباط در سراسر نقاط جهان و گسترش فضای رقابتی میان سازمان-های تولیدی و خدماتی، اهمیت طراحی و اعمال یک زنجیرهٔ تأمین بهینه و اقتصادی بیش از پیش مورد توجه مدیران و مسئولان قرار گرفته است. با توجه به شتاب بالای تغییرهای اجتماعی و فن‌آورانه، اندیشیدن به آینده بیش از پیش از اهمیت برخوردار شده است. ملت‌ها، سازمان‌ها و حتی افراد در این مسیر باید اقدام خود را بر دانشی آمیخته با عدم قطعیت و احتمال استوار سازند تا بتوانند واقع بینانه و خلاقانه درباره آینده تفکر کنند. انسان‌ها با توجه به داشتن قدرت اختیار، می‌توانند با اقدام‌های خود فرصت‌های بسیاری برای معماری آینده خود ایجاد کنند.. پس آینده به این دلیل مطالعه می‌شود که فاعلیت و عاملیت در برابر آن افزایش یابد تا بتوان آینده بهتری ساخت؛ چرا که آینده یک "امکان" است و برحسب اراده و تصمیم‌های امروز می‌تواند به هر ترتیبی که مد نظر باشد ساخته شود. آینده‌پژوهی دانش و معرفت شکل بخشیدن به آینده، به شیوه‌ای آگاهانه، عاملانه و پیش‌دستانه است و انسان را از غافل‌گیری در برابر توفان سهمگین تغییرها و پیشرفت‌های سرسام آور محافظت می‌کند. یکی از پیش فرض‌های اساسی آینده‌پژوهی آن است که آینده محتوم و قطعی نیست و پدید آمدن آن بستگی بی واسطه به اراده انسان‌ها دارد.

زنجیره تامین شامل دو یا چند سازمان است که از طی جریان هایی تعریف شده از عرضه مواد خام تا تحویل محصول نهایی به مشتری، با یکدیگر مرتبط می شوند. مدیریت زنجیره تأمین، به مفهوم مدیریت، نظارت و هماهنگی بین شبکه گسترده ای از فعالیتها تا ارائه محصول نهایی به مشتری است.

سیر تکاملی زنجیره تامین روشی منسجم ایجاد می کند که به طور همزمان جریان های رو به جلو و رو به عقب را در نظر می گیرد. زنجیره های تامین را که دارای بخش بازیافت نیز می باشند؛" زنجیره تامین حلقه بسته"، گفته می شود. در زنجیره تامین حلقه بسته، خروجی های نامطلوب و خروجی های مطلوب، هر دو وجود دارند. به عنوان مثال، محصولات و کالاهای معیوب را می توان به عنوان خروجی نامطلوب در نظر گرفت که پس از ورود به بخش تعمیر و بازیافت دوباره به نوعی قابل استفاده خواهند بود.(فلیشمن ۲۰۰۱).

زنجیره تأمین سبز بدین صورت تعریف شده است: «در نظر گرفتن مسائل زیست محیطی در مدیریت زنجیره تأمین شامل طراحی محصول، انتخاب و منبع یابی مواد، فرایند ساخت و تولید، تحویل محصول نهایی به مشتری و مدیریت محصول پس از مصرف و طی شدن عمر مفید آن(Büyüközkan ، ۲۰۱۲) سبز کردن زنجیره تأمین، فرایند در نظر گرفتن معیارها یا ملاحظات زیست محیطی در سرتاسر زنجیره تأمین است. مدیریت زنجیره تأمین سبز، یکپارچه کننده مدیریت زنجیره تأمین با الزامات زیست محیطی در تمام مراحل طراحی محصول، انتخاب و تأمین سبز کردن زنجیره تأمین، فرایند در نظر گرفتن معیارها یا ملاحظات زیست محیطی در سرتاسر زنجیره تأمین است.

به دلیل جایگاه مهم تامین کننده از بعد تاثیرگذاری فراوان در هزینه‌های تولید، انتخاب تامین کننده بهینه موجب کاهش هزینه‌ها و پایداری روابط در زنجیره تامین می‌گردد. سازمان در راستای میل به سوددهی و مزیت رقابتی، باید به از بین بردن یا به حداقل رساندن ضایعات (انرژی ، تولید گازهای گلخانه‌ای، شیمیایی/ خطرناک، مواد زائدجامد) توجه شایانی کند. با توجه به تاثیر کیفیت مواد اولیه بر روی کیفیت محصولات نهایی، کارخانجات فرایندی را جهت ارزیابی تامین کنندگان تدوین می‌نمایند.

در حقیقت، مسأله انتخاب تأمین‌کنندگان یک مسأله تصمیم‌گیری چند معیاره است و اگر فرضیات دنیای واقعی به آن افزوده گردد، بسیار سخت و پیچیده می‌شود. در شیوه‌های سنتی انتخاب تأمین‌کنندگان، ابتدا تأمین‌کنندگان انتخاب می‌شدند و سپس خریدار با بررسی‌های دیگر و در نظر گرفتن محدودیت‌های جانبی تصمیم می‌گرفت چه مقدار سفارش به هر یک از تأمین‌کنندگان اختصاص دهد. اما در دهه‌های اخیر، محققان بر روی رویکردهای ترکیبی که در آن مسأله انتخاب تأمین‌کنندگان و تخصیص سفارش به طور همزمان بررسی می‌شود، متمرکز شده‌اند.

۲- پیشینه پژوهش

باتاتاکاریا و همکاران[3] در پژوهشی به بهینه سازی هزینه-ی بازسازی چند مرحله‌ای در زنجیره تامین حلقه بسته پرداختند. در یک فرآیند بازسازی در زنجیره تامین حلقه بسته ، تولیدکنندگان با استفاده از پایان عمر محصول و دریافت آن از مشتریان، تعمیرات را انجام داده و آن را همراه با محصولات تازه تولید شده به فروش می رسانند. بازسازی برای محصولاتی می تواند انجام شود که مکانیکی بوده و از قابلیت استفاده مجدد، برخوردار باشند. ورود محصولات بازسازی شده به بازار سبب کاهش تقاضای مواد خام یا زیرمجموعه های مورد نیاز از تامین کنندگان خواهد شد. در این پژوهش، یک مدل بدون محدودیت غیر خطی با تابع هدف بیشینه سازی سود در زنجیره تامین حلقه بسته محصولات بازسازی شده با توجه به تقاضای وابسته به قیمت متغیرهای تصمیم گیری، قیمت فروش، قیمت خرید، درصد بازگشت پذیری محصولات و توزیع آنها، ارائه شده است

ژو و همکاران (Zhou ، ۲۰۱۸) یک مدل ترجیحی برای انتخاب تامین کننده با استفاده از (مجموعه های فازی تعاملی) ارائه دادند. هزینه و کیفیت خدمات تامین کنندگان، ملاحظات اصلی در مدل پیشنهادی هستند. با تصمیم گیری تعاملی و چند معیاره برای ارزیابی ویژگی های غیر قابل اندازه گیری کیفیت خدمات استفاده می شود که شامل نمایش رقابتی، توانایی های شرایط، پایداری، رقابت پذیری راه حل ها، و آمادگی ارتباطی و دینامیک می شود.

سلطانی تهرانی و همکاران (Soltani ، ۲۰۱۵) با استفاده از روش برنامه‌ریزی چند هدفه مدل چند هدفه، چند محصولی و چند دوره‌ای با توابع هدف حداقل‌سازی هزینه‌های حمل و نقل بین مراکز و هزینه پردازش داخل مراکز و مراکز ساخته شده ارائه کرده‌اند و حداقل‌سازی کربن دی‌اکسید منتشر شده در داخل مراکز و در اثر حمل ونقل بین مراکز انجام شده است.

صفار و همکاران(Saffar، ۲۰۱۵) با استفاده از روش فازی الگوریتم ژنتیک مرتب سازی نامغلوب در این تحقیق یک شبکهٔ زنجیرهٔ تأمین چندلایه ای، چندمحصولی، و چنددوره ای با بازگشت محصولات در زنجیره تامین حلقه بسته بررسی می شود. ریسک های عملیاتی به صورت خرابی در قسمت تأمین کنندگان و کارخانه در نظر گرفته شد .مدل ریاضی تأمین کنندگان مناسب را بر اساس معیارهایی مانند قیمت فروش، متوسط خرابی، و هزینه های حمل ونقل انتخاب می کند.

مقدم(Moghaddam ، ۲۰۱۵) با استفاده از روش روش برنامه ریزی چند هدفه فازی(مونت کارلو) مدل چند هدفه فازی برای رتبه‌بندی تامین‌کنندگان و تعداد قطعات جدید و نوشده و محصولات نهایی در شبکه لجستیک معکوس با در نظر گرفتن عدم‌قطعیت تقاضای مشتریان، ظرفیت تامین-کنندگان و درصد محصولات بازگشتی توسعه یافته است. سود کل، قطعات معیوب کل، قطعات دیر تحویل یافته و فاکتور ریسک‌های اقتصادی مرتبط با تامین کننده کاندید در محیط فازی به دلیل عدم‌قطعیت حداقل‌سازی گشته است.

وو و بارنس (Wu, C., & Barnes ، ۲۰۱۶)با استفاده از روش برنامه ریزی ریاضی و فرآیند تحلیل شبکه با توجه به مهم بودن انتخاب شریک سبز در زنجیره تامین سبز مدل برنامه‌ریزی چند هدفه و روش فرایند تحلیل شبکه ترکیب شده است. نکته اصلی ساخت همزمان زنجیره تامین و انتخاب شریک سبز که موجب حداقل کردن تاثیرات منفی زیست محیطی در حالی که عملکرد کسب و کار بیشینه گردد. در مطالعه موردی صنعت تجهیزات و وسایل الکتریکی چین بررسی شده است.

غایبلو و همکاران (Ghayebloo ، ۲۰۱۵) با استفاده از یک مدل برنامه نویسی عدد صحیح مختلط دو هدف توسعه برای شبکه رو به جلو/ معکوس لجستیک شامل سه رده در جهت رو به جلو (تامین کنندگان، مراکز مونتاژ و مناطق مشتری) و دو رده در جهت معکوس (مراکز جداسازی قطعات و مرکز بازیافت) شده است.

کانان و همکاران (Kannan ،۲۰۱۴) با استفاده از روش تاپسیس فازی برای انتخاب و رتبه‌بندی از تاپسیس فازی برای انتخاب و رتبه‌بندی تامین‌کننده سبز برای شرکت الکترونیک برزیلی پیشنهاد شده چارچوب بر پایه ی معیارهای شیوه‌های مدیریت زنجیره تامین سبز ساخته شده است.

خداوردی و همکاران (Khodaverdi ، ۲۰۱۳) با استفاده از روش با استفاده از روش تاپسیس فازی و تصمیم گیری چند معیاره زنجیره تامین پایدار جهت شناسایی مدل اثربخش بر پایه رویکرد خط پایین سه‌گانه (جنبه های اجتماعی، اقتصادی،

محیطی) برای عملیات انتخاب تامین‌کنندگان در زنجیره تامین توسط ارائه رویکرد چند معیاره فازی بررسی کرده است.

لی و همکاران (Lee ، ۲۰۱۳)یک مدل برنامه ریزی عدد صحیح مختلط جهت حل مسئله تعیین اندازه محموله توسط چندین تامین کننده، در چندین دوره و با در نظر گرفتن تخفیف کلی و نموی را ارائه دادند. آنها در نهایت از یک الگوریتم ژنتیک کارا جهت حل مسئله با توجه به پیچیدگی مسئله استفاده کردند. اهداف ارائه شده در مدل آنها عبارت بودند از می نیمم کردن هزینه کل که مشتمل بر هزینه سفارش، نگهداری، خرید و جابه جایی تحت شرایطی که کمبود موجودی در سیستم اجازه داده نشده است. نتایج بدست آمده از حل مدل آنها با استفاده از الگوریتم ژنتیک بیانگر دقیق و موثر بودن این الگوریتم برای حل مدل آنها است.

یه و چوانگ (Yeh, W. C., & Chuang، ۲۰۱۱) با استفاده از رویکرد رویکرد الگوریتم ژنتیک مرتب سازی نامغلوب تحقیق بهبود مدل برنامه‌ریزی ریاضی بهینه برای انتخاب شریک سبز، که شامل چهار تابع هدف از قبیل حداقل کردن هزینه و زمان، حل این اهداف متضاد، با استفاده از دو الگوریتم چند هدفه ژنتیک می باشد.

ابراهیم و همکاران (Ebrahim ، ۲۰۰۹) یک مدل ترکیبی شامل تحلیل سلسله مراتبی و برنامه ریزی چند هدفه خطی عدد صحیح با در نظر گرفتن یک محصول را بکار گرفتند. در این پژوهش، سه تابع هدف که در مدل ژیا و وو (Xia, W., & Wu، ۲۰۰۷) هم به کار رفته شده است یعنی حداقل کردن هزینه کل خرید با در نظر گرفتن تخفیف، حداکثر کردن مقدار موزون خریداری شده و حداقل کردن تعداد محصولات معیوب در نظر گرفته شد ولی به جای یک مدل تخفیف پژوهش ژیا و وو، سه نوع تخفیف کلی،تجاری و نموی لحاظ شده و در نهایت به خاطر پیچیدگی مسئله ، یک الگوریتم جستجوی پراکنده جهت حل مورد استفاده قرار گرفت.

عمید و همکاران ،۲۰۰۳) یک مدل خطی عدد صحیح چند هدفه فازی وزن دار افزایشی را برای مسئله انتخاب تامین کننده با در نظر گرفتن تخفیف کلی را ارائه دادند. مدل آنها شامل سه هدف مینیمم کردن هزینه، مینیمم کردن تعدادکالاهای معیوب و مینیمم کردن تعداد کالاهایی که به موقع تحویل داده نمی شوند تحت محدودیت های ظرفیت وتقاضا است

ژیا و وو ،۲۰۰۷) یک مدل ترکیبی از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی تحلیلی و برنامه ریزی چند هدفه عدد صحیح مختلط را برای پشتیبانی تصمیمات انتخاب تامین کننده در شرایط تخفیف معرفی نمودند، جائیکه تخفیف به مقدار کل سفارشات تعلق می گیرد. در مدل پیشنهادی آنها یک مدل برنامه ریزی چند هدفه، به نحوی فرمول بندی می شود که به طور همزمان، تعدادتامین کنندگان و مقدار سفارشات تخصیص یافته به هر یک تعیین گردد. توابع به کار گرفته شده در این مدل برنامه ریزی چند هدفه، حداقل کردن هزینه کل خرید، حداکثر کردن مقدار موزون خریداری شده حداقل کردن تعداد محصولات معیوب و حد اکثر کردن تعداد محصولات که به موقع تحویل داده شده است به نحوی که محدودیت های مربوط به تقاضا و ظرفیت تامین کنندگان برآورده شود.

داهل [18] از یک رویکرد برنامه ریزی چند هدفه عدد صحیح به منظور تعیین تامین کنندگان جهت به کار گیری و مقادیر سفارش تخصیص به هر یک از آن ها در حالت چند محصول و چند تامین کننده استفاده نمود. او هم از همان اهداف چائودری و همکاران ،۱۹۹۳) بدون در نظر گرفتن هدف زمان استفاده کرد. همچنین در این قرآیند تخفیف قیمتی که به کل سفارشات تعلق می گیرد مورد بررسی قرار گرفت.

۳- تعریف مساله و ارائه مدل ریاضی

در پژوهش حاضر، یک مدل تلفیقی برای مسئله انتخاب تامین کننده چند هدفه چند دوره ای با محصولات چند گانه با در نظر گرفتن تخفیف در زنجیره ی تامین حلقه بسته سبز ارائه شده است. در مدل تلفیقی پیشنهادی، دو نوع تخفیف کلی- نموی به طور همزمان با فرض اینکه هر تامین کننده قادر است فقط یکی از دو نوع مدل تخفیف کلی و نموی را ارائه دهد، لحاظ شده است. در دنیای واقعی از آنجایی که ممکن است یکسری از تامین کنندگان، تخفیف کلی و دیگر تامین کنندگان تخفیف نموی را ارائه دهند بنابراین نیاز به مدلی که به طور همزمان هم تخفیف کلی و هم تخفیف نموی را در نظر بگیرد احساس می شود.

در مقالات بررسی شده پژوهشی که در آن تخفیف برای مسئله لجستیک معکوس با چندین هدف و چندین محصول با در نظر گیری تخفیف کلی و نموی چه به صورت مجزا و چه به صورت همزمان با هم کار نشده است. بیشتر پژوهش های انجام شده در حوزه انتخاب تأمین کننده برای موقعیت های خرید تک محصولی طراحی شده اند و معمولا" به دلیل جلوگیری از پیچیده شدن محاسبات ریاضی ، تخفیفات در نظر گرفته نمی شوند یا تنها فقط یک نوع تخفیف در نظر گرفته می شود در حالیکه در واقعیت تأمین کنندگان می توانند شرایط تخفیف دلخواه را بیان و مشخصات خود را اعلام کنند و خریدار با توجه به موقعیت خود بهترین گزینه را انتخاب کند . در ادامه به طور مختصر مدل های تخفیف مذکور شرح داده می‌شود.

۳-۱- مدل های تخفیف

تخفیف: یعنی قیمت هر واحد کالا با افزایش مقدار سفارش کاهش می یابد. تخفیف دو نوع کلی و نموی (افزایشی) دارد :

تخفیف کلی

در این حالت تخفیف بر کل کالاها به صورت یکسان اعمال می شود به عبارت دیگر در این حالت تمام واحدهای خریداری شده با یک قیمت واحد محصول خریداری می شوند.

تخفیف نموی یا افزایشی

در این حالت تخفیف بر هر محدوده به صورت جداگانه اعمال می‌شود به عبارت دیگر در این حالت تمامی واحدهای خریداری شده با یک قیمت واحد محصول خریداری نمی شوند و تخفیف بر اساس مقادیر داخل محدوده تخفیف برای هر واحد محصول تعریف می شود.

۳-۲- مفروضات مدل

مدل ریاضی ارائه شده در این پژوهش با توجه به فرضیه های زیر طراحی و حل شده است

* خریدار می تواند مقدار کالای مورد نیاز خود را از چند تأمین کننده تهیه کند.
* مراکز تأمین کنندگان، تولیدکنندگان/مونتاژگران، توزیع کنندگان و مشتریان و جمع آوری و دمونتاژ و بازیافت و دفع و انهدام ثابت و از پیش تعریف شده است.
* هزینه انتقال(جابه جایی) به نوع مواد، قطعه ، محصول بستگی ندارد و تحت تأثیر مبدأ و مقصد میباشد.
* هزینه دفع و انهدام مواد و قطعات در هزینه حمل و نقل آنها به مراکز دفع درنظر گرفته شده است.
* قطعات مورد استفاده در مراکز مونتاژ به مرکز تولیدکنندگان برگشت داده می شود.
* محصولات سبز از مواد قابل بازیافت ساخته شده است.
* محصولات پس از جمع آوری از مناطق مشتری، دمونتاژ می شوند.
* قطعات حاصل از دمونتاژ در سه دسته قطعات مشابه نو، قطعات بازیافتی و قطعات ضایعاتی به ترتیب، به مراکز مونتاژ، مرکز بازیافت و مرکز دفع منتقل می شوند.
* زنجیره ای شامل بخش تأمین کننده ،تولید کنندگان و توزیع کنندگان ،مشتریان .. ، دفع و انهدام وجود دارد.
* چندین آیتم می تواند از هر تامین کننده خریداری شود.
* کمبود آیتم ها برای هر تامین کننده مجاز نمی باشد.
* فقط یکی از دو نوع مدل تخفیف کلی یا نموی از طرف هر تامین کننده می تواند ارائه شود. (در مدل سوم این فرض مطرح می باشد)
* مقادیر کالاهای مرجوعی و تقاضای مشتری قطعی است.
* محصولات معیوب می تواند تعمیر شود و به سیستم توزیع در دوره بعدی فروخته شود.

اندیس ها ، پارامترها ، متغیرهای تصمیم و تابع هدف مدل ریاضی ارائه شده برای زنجیره تأمین بسته حلقه سبز به شرح زیر می باشد.

۳-۳- اندیس ها

I : شمارنده تامین کننده i=1,2,…,n

S : شمارنده آیتم ها $s=1,2,...,r$

J : شمارنده سطوح تخفیف j=1,2,…,m(i,s)

T : شمارنده دوره زمانی $t=1,2,...,l$

۳-۴- پارامترها

p_{isjt} : قیمت ارائه شده از طرف تامین کننده i ام برای آیتم s ام در سطح تخفیف j ام و دوره زمانی t ام

k_{is} : درصدی از سطح کیفیت خدمات ارائه شده از طرف تامین کننده i ام برای محصول s ام

C_{it} : ظرفیت تامین دوره t ام تامین کننده i ام

r_{is} : درصد سطح کیفیت محصول s ام از طرف تامین کننده i ام

$D_{s,t}$: مقدار تقاضای مورد نیاز از آیتم s در دوره t ام

C_{it} : ظرفیت تامین دوره t ام تامین کننده i ام

b_{isj} : سطح قیمت j ام تامین کننده i ام برای محصولs ام

f_{ist} : درصد مقدار مرجوعی از آیتم s ام برای تامین کننده i ام در دوره t

F_s : حد بالا قابل قبول از مقدار مرجوعی برای آیتم s ام

B_s : بودجه تخصیص داده شده به آیتم s

N : تعداد تامین کنندگانی که برای انتخاب شدن با هم رقابت می‌کنند.

R : تعداد محصولات مورد نیاز خریدار که باید از طرف تامین کننده گان تامین شود

Q : تعداد اهداف موجود در تصمیم گیری

$m\ (i,s)$: تعداد بازه های تخفیف ارائه شده از طرف تامین کننده i ام برای آیتم s ام

n_1 : تعداد تامین کنندگانی که تخفیف کلی را ارائه می دهند.

HC : هزینه نگهداری

۳-۵- متغیرها

inv_{st} : موجودی محصول s در دوره t .

Y_{isjt} : مقدار یک می‌گیرد اگر تامین کننده i ام برای محصول s ام در سطح تخفیف j ام در دوره t انتخاب شود؛ در غیر این صورت مقدار صفر می‌گیرد.

X_{isjt} : تعداد خریداری شده از طرف تامین کننده i ام برای محصول s ام در سطح تخفیف j/م در دوره t.

۳-۶-تابع هدف

در این مقاله سه تابع هدف در مدل در نظر گرفته شده است که در زیر به توضیح آن پرداخته می شود.

اهداف مدل عبارتند از کمینه کردن هزینه خرید و نگه داری، ماکزیمم کردن سطح کیفیت خدمات و ماکزیمم کردن سطح کیفیت محصولات است به طوری که تواماً هر سه این اهداف به سطح بهینه برسند. به عبارت دیگر مدل مساله، با توجه به هزینه های خرید محصولات و هزینه‌های نگه‌داری در دوره های مختلف و بر اساس مدل تخفیف تامین کنندگان در هر دوره به دنبال تعداد بهینه تامین محصولات از تامین کنندگان می‌باشد به طوریکه هزینه های عملیاتی کمینه و سطح کیفیت خدمات و کیفیت محصولات بیشینه گردد.

مواد از مراکز بازیافت تهیه و به تأمین کنندگان داده می شود.سپس قطعات به وسیله تأمین کنندگان تولید و به مراکز تولید و مونتاژ ارسال می شود.تولیدکنندگان محصولات حاصله را از طریق توزیع کنندگان به منظور برآورده سازی تقاضا به دست مشتریان میرسانند.پس از مصرف محصولات از دست مشتریان جمع آوری و به مراکز جمع آوری و پس از آن به مراکز دمونتاژ فرستاده می شود.محصولات در مراکز دمونتاژ به قطعات مشابه نو ، قطعات قابل بازیافت و قطعات زائد جداسازی و تقسیم می شوند

قطعات مشابه نو به مراکز تولید و مونتاژ برای قرارگیری در چرخه مجدد تولید محصولات فرستاده می شوند.قطعات قابل بازیافت در مرکز بازیافت ، بازیافت گردیده و به مواد بازیافته و مواد دور ریز تقسیم می شوند.

مواد بازیافته به تأمین کنندگان برای حضور مجدد در چرخه تولید قطعات ارسال می شود.همچنین مواد دور ریز همانند قطعات زائد به مرکز دفع برای دفع و انهدام منتقل می شوند.

با توجه به اینکه مدل ارائه شده دارای سه تابع هدف می باشد به جای یک پاسخ مشخص ، باید به بررسی مجموعه ای از پاسخ ها پرداخت.بطور کلی روش های زیادی جهت محاسبه مجموعه پاسخ های حاصل از حل مسائل چند هدفه تحت عنوان پاسخ های نامغلوب یا یا پاسخ های پارتویی شناخته می شود.معمول ترین این روش ها ، روش محدودیت-اپسیلون می باشد که بطور مستقیم مجموعه پاسخ های پارتویی را گزارش می دهد.در این تحقیق از روش محدودیت – اپسیلون به منظور شناسایی مجموعه پاسخ های نامغلوب با حل کننده CPLEX برمبنای روش شاخه و کران در نرم افزار گمز ۲۴,۱ استفاده شده است.اگر چه مدل های برنامه ریزی عدد صحیح (MIP) ابزار قدرتمندی برای تدارکات لجستیک می باشد داده ها و نیازهای محاسباتی به شدت افزایش می یابد.قابلیت اطمینان داده ها و دقت مدل برای مقیاس بزرگتر کاهش می یابد.با توجه به اینکه اغلب مسائل زنجیره تأمین حلقه بسته از رده مسائل NP-Hard هستند بنابراین جهت حل مسئله در ابعاد بزرگ باید از روش های فراابتکاری استفاده شود.

در این تحقیق از نسخه چندهدفه الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات چندهدفه (MOPSO) در حالت سه تابع هدف استفاده شده است.کارایی محاسباتی و کیفیت جوابهای آن با جوابهای حاصل از نرم افزار گمز در سایز کوچک مورد مقایسه قرار میگیرد.در مقالات پیشین هیچگاه مقایسه بین محدودیت-اپسیلون و الگوریتم های فراابتکاری MOPSO در تولید جبهه پارتو برای این چنین مدلی انجام نشده است.

۳-۷- مدل مساله سه هدفه چند دوره‌ای با محصولات چند گانه با در نظر گرفتن تخفیف کلی- نموی

تابع هدف (۱) بدنبال کمینه کردن مجموع هزینه‌های خرید و نگهداری (عملیاتی) است، بطوریکه که تامین محصولات در هر دوره، از طریق تامین کنندگان با انواع تخفیف نموی یا کلی می‌باشد. تابع هدف (۲) بدنبال بیشینه کردن مجموع سطح کیفیت خدمات و تابع هدف (۳) نیز وظیفه بیشینه کردن مجموع سطح کیفیت محصولات را دارد.

$$Min\ Z_1 = \sum_{t=1}^{T}\sum_{i=1}^{n_1}\sum_{s=1}^{r}\sum_{j=1}^{m(i,s)} x_{isjt}\, p_{isjt} + \sum_{t=1}^{T}\sum_{i=n_1+1}^{n}\sum_{s=1}^{r}\sum_{j=1}^{m(i,s)} (p_{isjt}\,(x_{isjt} - b_{isj-1} + 1) + \sum_{k=1}^{j-1} p_{iskt}\,(b_{isk} - b_{isk-1}))\, y_{isjt}$$

$$+HC\sum_{s=1}^{r}\sum_{t=1}^{T} inv_{st} \quad ; \quad p_{i,s,1,t} \ge p_{i,s,2,t} \ge p_{i,s,3,t} \ge p_{i,s,m(i,s),t}$$

$$Max\ Z_2 = \sum_{t=1}^{T}\sum_{i=1}^{n}\sum_{s=1}^{r}\sum_{j=1}^{m(i,s)} k_{is}\, x_{isjt}$$

$$Max\ Z_3 = \sum_{t=1}^{T}\sum_{i=1}^{n}\sum_{s=1}^{r}\sum_{j=1}^{m(i,s)} r_{is}\, x_{isj}$$

$$s.t:$$

$$\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m(i,s)} (1+f_{ist})\, x_{isjt} + inv_{st-1} - inv_{st} = D_{st} \quad ; \ s=1,2,...,r \ ; \ t=1,2,...,T$$

$$inv_{sT} = 0 \ ; \ s=1,2,...,r$$

$$\sum_{s=1}^{r}\sum_{j=1}^{m(i,s)} (1-f_{ist}) \times x_{isjt} \le c_{it} \quad i=1,2,\ldots,n \ ; \ t=1,..,T$$

$$b_{isj-1} y_{isjt} < x_{isjt} \le b_{isj}\, y_{isjt}, \ i=1,2,\ldots,n \ ; j=1,2,\ldots,m(i,s) \ ; s=1,2,\ldots,r \ ; t=1,..,T$$

$$\sum_{j=1}^{m(i,s)} y_{isjt} \le 1 \quad i=1,2,\ldots,n \ ; \ s=1,2,\ldots,r \ ; t=1,..,T$$

$$\sum_{t=1}^{T}\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m(i,s)} f_{ist}\, x_{isjt} \le F_s \quad s=1,2,\ldots,r$$

$$\sum_{t=1}^{T}\sum_{i=1}^{n_1}\sum_{j=1}^{m(i,s)} x_{isjt}\, p_{isjt} + \sum_{t=1}^{T}\sum_{i=n_1+1}^{n}\sum_{j=1}^{m(i,s)} (p_{isjt}\,(x_{isjt} - b_{isj-1} + 1) + \sum_{k=1}^{j-1} p_{iskt}\,(b_{isk} - b_{isk-1}))\, y_{isjt} \le B_s$$

$$s=1,2,\ldots,r$$

$$x_{isjt} \in \mathbb{Z}^+ \ ; \ y_{isjt} \in \{0,1\} \ ; \ inv_{i,t} \in \{0,1\} \quad i=1,2,\ldots,n \ ; j=1,2,\ldots,m(i,s); \ s=1,2,\ldots,r \ ; t=1,...,T$$

محدودیت (۴)، محدودیت تعادلی تقاضا با در نظر گرفتن عودت محصولات معیوب را نشان می‌دهد و تضمین می‌کند که تقاضای محصولات هر دوره زمانی، دچار کمبود نشود و محدودیت (۵) تضمین می‌کند موجودی پایان دوره صفر گردد.

محدودیت (۶)، محدودیت ظرفیت تامین کننده با در نظر گرفتن عودت محصولات معیوب را نشان می‌دهد و ضمانت می‌دهد میزان تقاضا از تامین کننده شامل محصولات تولیدی و معیوب عودت یافته در هر دوره زمانی، بیشتر از حد مجاز نگردد.

محدودیت (۷) نشان می‌دهد هرگاه محصولی در یک دوره زمانی از تامین کننده‌ای بر اساس یکی از سطوح تخفیف مقدار گیرد آنگاه متغیر باینری متناظر آن نیز یک می‌گردد و در غیر اینصورت مقدار صفر را می‌پذیرد.

محدودیت (۸)، تضمین می‌کند تامین تقاضای هریک از محصولات در هر دوره از تامین کننده مورد نظر، حداکثر می‌تواند در طبقه بندی یکی از سطوح تخفیف قرار گیرد.

از طریق محدودیت (۹)، ظرفیت کل مرجوعی محاسبه می‌گردد و مطمئن می‌شود این مقدار از حد مجاز مرجوعی محصول تخطی نکند. محدودیت (۱۰)، محدودیت بودجه می‌باشد و کل هزینه‌های خرید محصول را به مقدار معینی محدود می‌سازد.

محدودیت (۱۱) هم در انتها دامنه متغیرهای تصمیم را نشان می‌دهد.

۴- روش شناسی حل مساله

زنجیره تأمین حلقه بسته سبز مورد بررسی در این تحقیق از نوع NP-HARD می باشد. در ابعاد کوچک جهت حل مساله به روش حل دقیق با در نظر گرفتن حل توام سه تابع هدف جهت بهینگی مدل، برای تعیین نقاط پارتو از رویکرد اپسیلون محدودیت تقویت شده استفاده می‌گردد. با توجه به اینکه روش حل دقیق جهت حل مدل در زمان طولانی صورت می‌گیرد از روش حل تقریبی به نام الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات (MOPSO) و الگوریتم ژنتیک مرتب سازی نامغلوب جهت مقایسه با روش حل دقیق ارائه می‌گردد.

تعریف مسئله در این تحقیق به منظورانتخاب تأمین کنندگان مناسب و تعیین میزان بهینه تخصیص سفارش به آنها از مدلسازی ریاضی استفاده میشود .اطلاعات و داده های مورد نیاز برای انجام پژوهش از طریق مصاحبه با کارشناسان شرکت مورد مطالعه، اسناد و داده های موجود در سازمان جمع آوری شده است مدل ریاضی مناسب طراحی شده و سپس با استفاده از داده های موجود، پارامترهای مدل ریاضی محاسبه شده در نهایت مدل ریاضی مسئله انتخاب تأمین کننده سبز با استفاده از نرم افزار گمز مورد مطالعه پژوهش حل شده است،

مسائل زنجیره‌تامین حلقه‌بسته، به روش‌های مختلف امکان‌پذیر است. اکثر راه‌حل‌های پیشنهادی راه‌حل‌های قوی هستند که با استفاده از نرم‌افزارهای مدلسازی ریاضی مثل LINGO و GAMS حل می‌شوند. مسائلی که با این نرم‌افزارها مدلسازی شده‌اند بطور کلی در مقیاس کوچک هستند. سال‌ها بعد از CPLEX برای ارائه یک روش استوار برای مسائل با مقیاس کوچک و از الگوریتم ژنتیک و ابتکاری برای مسائل با مقیاس بزرگتر استفاده شد. همچنین در سال ۲۰۱۴ یک الگوریتم ترکیبی ژنتیک- ازدحام ذرات برای حل مدل‌های بزرگتر که دقت بیشتری داشت ارائه شد. در سال‌های ۲۰۱۵ و ۲۰۱۶، شبکه زنجیره تامین اصلاح‌شده که یک مدل غیرخطی را به خطی تبدیل می‌کند، توسعه دادند. علاوه بر این، الگوریتم ژنتیک و سایر الگوریتم‌های فراابتکاری در شبکه‌های زنجیره-تامین حلقه‌بسته و لجستیک معکوس در مقالات اخیر اغلب استفاده شده است.

۵- رویکرد حل

۵-۱- اپسیلون محدودیت بهبود یافته

ماوروتاس در سال ۲۰۰۹ نسخه بهبود یافته‌ای از حل رویکرد اپسیلون محدودیت در مقایسه با روش محدودیت اپسیلون سنتی ارائه نمود (ماوروتاس، ۲۰۰۹). مدل ریاضی محدودیت اپسیلون بهبود یافته در مقایسه با محدودیت اپسیلون سنتی در جدول (1) مشاهده می‌گردد.

جدول ۱- مقایسه رویکردهای اپسیلون محدودیت سنتی و بهبود یافته

محدودیت اپسیلون بهبود یافته	محدودیت اپسیلون سنتی
$\min\ f_1(\vec{x}) + \xi(s_2/v_2)$ $s.t:$ $f_2(\vec{x}) + s_2 = \varepsilon_2$ $\vec{x} \in X\ \&\ s_2 \geq 0$	$\min\ f_1(\vec{x})$ $s.t:$ $f_2(\vec{x}) \leq \varepsilon_2$ $\vec{x} \in X$

۵-۲- الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات (MOPSO)

هر یک از ذرات تولید شده در الگوریتم MOPSO، باید دارای چهار ویژگی شامل مختصات، سرعت، بهترین تجربه شخصی (Pbest) و بهترین تجربه جمعی (Leader) می‌باشد. در ادامه هر کدام از ویژگی ذره شرح داده می‌شود.

مختصات

با توجه به مدل مساله، مختصات باید به گونه‌ای باشد که که در هیچ یک از دوره‌ها مشتری دچار کمبود نگردد. بنابراین در هر یک از دوره‌ها مقادیر تخصیص یافته می‌بایست در رابطه (12) صدق کند.

اگر X_t مقدار تخصیص یافته و D_t تقاضای مشتری در دوره t باشد و موجودی دوره t از رابطه $I_t = X_t - D_t$ محاسبه شود، آنگاه داریم:

رابطه ۱۲

$$D_t - \sum_{\tau=1}^{t-1} I_\tau \leq X_t \leq \sum_{\tau=1}^{t} D_\tau - \sum_{\tau=1}^{t-1} X_\tau \quad \forall t$$

حال می‌توان با در نظر گرفتن رابطه (۱۲) ماتریس مختصات جواب در گام اول به گونه ای که کمبود در آن مجاز نباشد تشکیل می‌گردد. جدول (2) یک نمونه ماتریس اولیه را نشان می‌دهد. سطر اول مقادیر تامین تقاضا را در سه دوره برای محصول اول و سطر دوم مقادیر تامین تقاضا را در سه دوره برای محصول دوم نشان می‌دهد.

جدول ۲- ماتریس اولیه مختصات

X_{11}	X_{21}	X_{31}
X_{12}	X_{22}	X_{32}

در هر یک از درایه‌های ماتریس فوق، همچنین باید معلوم گردد مشتری از کدام تامین کننده، تقاضای خود را تامین کند. بنابراین هر یک از درایه‌ها به تعداد تامین کنندگان شکسته می‌شود و مقادیر آن به طور تصادفی تقسیم می‌شود. جدول (3)، ماتریس نهایی مختصات را برای چهار تامین کننده نشان می‌دهد.

جدول ۳- ماتریس نهایی مختصات

X_{11}^{1}	X_{11}^{2}	X_{11}^{3}	X_{11}^{4}
X_{12}^{1}	X_{12}^{2}	X_{12}^{3}	X_{12}^{4}
X_{21}^{1}	X_{21}^{2}	X_{21}^{3}	X_{21}^{4}
X_{22}^{1}	X_{22}^{2}	X_{22}^{3}	X_{22}^{4}
X_{31}^{1}	X_{31}^{2}	X_{31}^{3}	X_{31}^{4}
X_{32}^{1}	X_{32}^{2}	X_{32}^{3}	X_{32}^{4}

چندین دیدگاه برای استفاده از الگوریتم های بهینه سازی در نحوه انتخاب جواب های تولید شده وجود دارد که مهمترین آن‌ها عبارتند از: روش‌های مبتنی بر جستجوی ناحیه قابل قبول طراحی و روش‌های مبتنی بر تابع جریمه. استفاده از روش‌های گروه اول بیشتر در مسائل با تعداد محدویت و متغیرهای کم کاربرد دارد. اما در مسائل بزرگ و طبیعت پیچیده و قیود زیاد روش گروه دوم مفیدتر هستند.

در روش جریمه‌ای اگر میزان جریمه ای که به تابع هدف اضافه می‌گردد ناچیز باشد باعث صرف زمان زیادی برای جستجو در نواحی غیر قابل قبول خواهد شد و الگوریتم به پاسخی غیر قابل قبول همگرا می‌شود و همچنین میزان جریمه بزرگ مانع از جستجو در نواحی غیر قابل قبول می‌شود و این عامل باعث همگرایی سریع و اغلب دور از بهینگی فراگیر می-انجامد. در این روش با توجه به میزان تخطی از قیود، جریمه-هایی متناسب با تکرار الگوریتم افزایش خواهد یافت. اگر رابطه کلی مدل به صورت رابطه (۱۳) باشد:

رابطه(۱۳)

$$\min_{x} f(x), \quad x \in R^{n}$$
$$g_i(x) \le 0, \quad i = 1,...,m$$

و h_k مقدار جریمه اصلاح شده پویا، k شماره تکرار جاری الگوریتم و H_x ضریب جریمه باشد فرم کلی جریمه مذکور به صورت رابطه (۱۴) است.

رابطه(۱۴)

$$F_{NEW} = F_{OLD} + h_k H_x$$

که در آن مطابق رابطه (۱۵) داریم:

رابطه(۱۵)

$$H_x = \sum_{i=1}^{m} \theta(q_i^x) \times \left(q_i^x\right)^{\gamma(q_i^x)}$$

$$q_i^x = \max\{0, g_i(x)\}, \; i = 1,...,m$$

پارامتر $\theta(q_i^x)$ تابع تخصیص چند مرحله‌ای است و $\gamma(q_i^x)$ توان تابع جریمه می‌باشد.

بعد از اینکه هر درآیه از ماتریس مختصات، با شرایط تشریح شده به صورت تصادفی ایجاد گردید، سرعت هر مختصات برای هر یک از ذرات متناسب با درایه‌های موجود در مختصات، یک مقدار سرعت، تعلق می‌گیرد. سطر بعدی ماتریس ذره اولیه ، اختصاص به بهترین موقعیت تجربه شخصی هر ذره (*PB*) که با شایستگی آن موقعیت سنجیده می‌شود، دارد. سطر پنجم ماتریس ذره (*Leader*) به بهترین تجربه ذرات تا به حال اختصاص می‌یابد که با توجه به مفهوم پارتو از نقاط نامغلوب ذخیره شده مطابق با مفهوم الگوریتم MOPSO محاسبه می‌شود.

محاسبه بردار انتقال و بروز رسانی موقعیت ذرات

بعد از تولید جمعیت اولیه و تعیین Pbest و Leader، بردار انتقال ذرات محاسبه می‌شود. سپس موقعیت جدید ذره به روز رسانی می‌گردد.

رابطه (۱۶)

$$V(i,t+1) = w * v(i,t) + r1*c1\,(Pbest(i,t) - X(i,t)) + r2*c2\,(Leader(i,t) - X(i,t))$$

رابطه (۱۷)

$$X(i,t+1) = X(i,t) + V(i,t+1)$$

۵-۳- به روز رسانی‌ها و تکرار گام‌ها

بعد از تولید موقعیت جدید ذرات، لازم است Pbest و سپس مخزن به روز رسانی شود. نقاط نامغلوب جدید به مخزن اضافه شده و به روز رسانی مخزن صورت می‌گیرد و تمامی این روند و گام‌های الگوریتم MOPSO پیشنهادی، به تکرار معینی ادامه پیدا می‌کند. در پایان، اعضای مخزن به عنوان جواب‌های پارتوی حل مساله، به منظور خروجی مسئله مورد تحقیق انتخاب می‌گردد.

۵-۳-۱- تنظیم پارامتر

در آزمایش برای الگوریتم پیشنهادی MOPSO، به تنظیم چهار فاکتور ۱) تعداد جمعیت اولیه ۲) تعداد تکرار و ۳) فشار انتخاب رهبر و ۴) فشار حذف رهبر ، در چهار سطح در نرم افزار Minitab پرداخته می‌شود. این آزمایش‌ها بر روی مساله با پنج تامین کننده، سه دوره زمانی، سه محصول و سه بازه تخفیف انجام می‌شود. با توجه به نتایج آزمایش‌ها، تعداد جمعیت اولیه ۱۵۰، تعداد تکرار الگوریتم ۱۰۰، فشار انتخاب لیدر ۳ و فشار حذف لیدر ۳ در نظر گرفته شد.

۵-۳-۲- شاخص‌های مقایسه نتایج پارتو

عملکرد الگوریتم‌های چند هدفه از عملکرد الگوریتم‌های تک هدفه بسیار پیچیده‌تر است و با توجه به معیارهای ارائه شده، یک شاخص ارزیابی نمی‌تواند برای بررسی جواب‌های حاصل از الگوریتم‌های ارائه شده کافی باشد. به طور کلی یک جواب ارائه شده توسط الگوریتم‌های چند هدفه می‌بایست، سه ویژگی داشته باشد

۱) فاصله بین مجموعه جواب‌های غالب حاصل از حل مسئله توسط الگوریتم با مجموعه پارتو بهینه کمینه باشد
۲) نحوه توزیع جواب‌ها در مجموعه جواب‌های پارتو به صورت یکنواخت باشند.
۳) جواب‌های حاصله به صورت گسترده بخش زیادی از مقادیر هر یک از توابع هدف را پوشش دهند.

بنابراین جهت مقایسه الگوریتم‌ها از شاخص‌های زیر استفاده کرده که در این قسمت به شرح مختصری از آن‌ها پرداخته می‌شود.

شاخص کیفیت (QM)[8]

شاخص کیفیت بدین گونه است که کلیه جواب‌های پارتو بدست آمده توسط هر یک از الگوریتم‌ها را با هم در نظر گرفته، سپس عملیات نامغلوب برای کلیه جواب‌ها انجام داده می‌شود در نهایت، کیفیت الگوریتم‌ها برابر است با سهم جواب پارتوی جدید مختص به آن الگوریتم. کیفیت بالاتر منزله بهتر بودن الگوریتم می‌باشد.

فاصله از نقطه ایده‌آل(MID)[7]

مقدار این شاخص برابر است با فاصله نقاط پارتو الگوریتم مورد بررسی از نقطه ایده‌آل. در این تحقیق، با توجه به اینکه تابع هدف اول بدنبال کمینه سازی و تابع هدف دوم و سوم بدنبال بیشینه سازیست، نقاط ایده آل برای آن‌ها $f_1^{\min}$ و $f_2^{\max}$ و $f_3^{\max}$ در نظر گرفته می‌شود. شاخص MID را می‌توان توسط رابطه (۱۷) محاسبه کرد.

رابطه (۱۷)

$$MID = \frac{\sum_{i=1}^{n}\left\{\left(\frac{f_{1i}-f_1^{\min}}{f_{1,total}^{\max}-f_{1,total}^{\min}}\right)^2+\left(\frac{f_{2i}-f_2^{\max}}{f_{2,total}^{\max}-f_{2,total}^{\min}}\right)^2+\left(\frac{f_{3i}-f_3^{\max}}{f_{3,total}^{\max}-f_{3,total}^{\min}}\right)^2\right\}^{0.5}}{n}$$

که در آن n برابر تعداد نقاط پارتو و همچنین $f_{i,total}^{\max}$ و $f_{i,total}^{\min}$ ، به ترتیب برابرند با بیشینه و کمینه‌ترین مقدار توابع هدف نامغلوب یافت شده کل اجرا در نتایج حل مدل. پایین بودن مقدار MID به منزله بهتر بودن روش حل است.

شاخص پراکندگی (DM)[10]

این شاخص وسعت جواب‌های پارتو یک الگوریتم را نشان می‌دهد و توسط رابطه (۱۸) می‌توان آن را محاسبه کرد. هر چه شاخص DM بیشتر باشد، الگوریتم بهتر است.

رابطه (۱۸)

$$DM = \left\{\left(\frac{\max f_{1i}-\min f_{1i}}{f_{1,total}^{\max}-f_{1,total}^{\min}}\right)^2+\left(\frac{\max f_{2i}-\min f_{2i}}{f_{2,total}^{\max}-f_{2,total}^{\min}}\right)^2+\left(\frac{\max f_{3i}-\min f_{3i}}{f_{3,total}^{\max}-f_{3,total}^{\min}}\right)^2\right\}^{0.5}$$

شاخص فاصله (SM)[9]

این شاخص یکنواختی توزیع جواب‌های پارتو در فضای حل را نشان می‌دهد. نحوه محاسبه این شاخص مطابق رابطه (۱۹) می‌باشد.

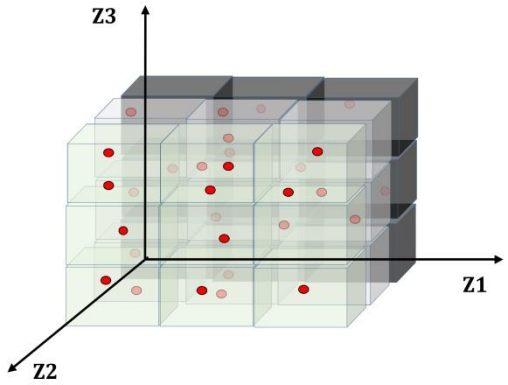
رابطه (۱۹)

$$SM = \frac{\sum_{i=1}^{G^3}\left|\bar{d}-d_i\right|}{G^3\times\bar{d}}$$

در فضای سه بعدی محاسبه شاخص فوق بدلیل اینکه تعیین نقاط پارتوی کناری نیازمند محاسبه پیچیده‌تر و زمانبرتری

می‌باشد از شاخص دیگری که پراکندگی نقاط پارتو را نشان می‌دهد استفاده می‌کنیم. طبق شکل (۲) فضای جواب به تعداد معینی (G) تقسیم بندی می‌شود. بنابراین هریک از سلول های کوچک سه‌بعدی شامل تعدادی نقاط پارتو می‌گردد. هر چه این تعداد نقاط پارتو در سلول‌های ایجاد شده انحراف معیار کمتری داشته باشد شاخص SM کارایی الگوریتم بهتر می‌باشد. رابطه SM در این تحقیق از رابطه (۱۹) بدست می‌آید.

که در آن d_i مطابق شکل (۱)، برابر است با تعداد نقاط پارتو در سلول iام و همچنین $\overline{d}$ نیز برابر با میانگین تعداد نقاط پارتو در کل سلول هاست.



شکل ۱- میانگین تعداد نقاط پارتو در کل سلول هاشاخص زمان

شاخص زمان (RT)

آخرین شاخص مورد بررسی مربوط به زمان اجرا و حل الگوریتم می‌باشد. هر چه این مقدار کمتر باشد الگوریتم بهتر می‌باشد.

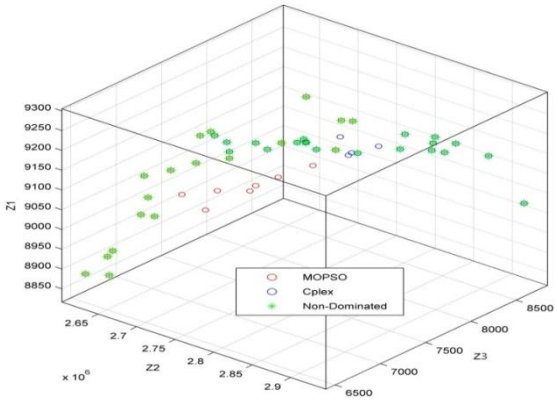
۵-۴- نتایج عددی

در این بخش با توجه به شاخص های معرفی شده در ابعاد کوچک، مدل مساله را با روش حل دقیق و الگوریتم پیشنهادی MOPSO حل و جهت بررسی کیفیت و کارایی الگوریتم پیشنهادی، نتایج از از طریق میانگین خطا مورد تحلیل قرار می‌گیرد. الگوریتم پیشنهادی برای هر یک از ابعاد مساله به تعداد معینی اجرا و میانگین ثبت می‌گردد. نتایج عددی برای دو شاخص QM و SM در جدول (۵) آورده شده است. دو رقم اول ابعاد مساله تعداد تامین کننده، و رقم های بعدی به ترتیب سطوح تخفیف، تعداد محصول و دوره زمانی را نشان می‌دهد. در شاخص QM که میزان سهم نقاط پارتو هر یک از روش‌های حل دقیق و الگوریتم پیشنهادی MOPSO را نشان می‌دهد همانطور که ملاحظه می‌شود جز در یک مورد روش Cplex مبتنی بر اپسیلون محدودیت تقویت شده، سهم بیشتری را نسبت به الگوریتم پیشنهادی تصاحب کرده‌است و به طور میانگین خطای الگوریتم پیشنهادی تنها ۹٪ نسبت به روش حل دقیق بدتر بوده است.

این مقدار از سهم الگوریتم پیشنهادی از مجموع نقاط پارتو کشف شده تجمیع شده در هر دو روش نشان دهنده آن است که الگوریتم پیشنهادی که یک روش حل تقریبی بشمار می‌آید عملکرد قابل قبولی را از خود نشان می‌دهد. شکل (۲) نقاط کشف شده هر دو روش حل و نقاط پارتو نامغلوب تجمیع شده و سهم هر یک از روش های حل در جواب تجمیع شده نا مغلوب نقاط پارتو را در مساله شماره دو نشان می‌دهد.

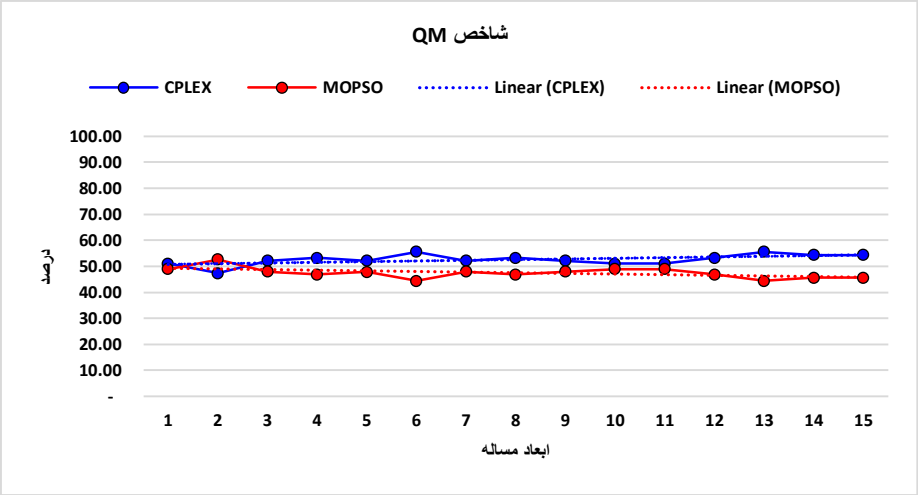
جدول ۵- مقایسه عملکرد الگوریتم MOPSO پیشنهادی با روش حل دقیق

Problem No.	Quality Metric (QM)					Spacing Metric (SM)				
	CPLEX		MOPSO		%Err	CPLEX		MOPSO		%Err
	Mean	Std.Dv	Mean	Std.Dv		Mean	Std.Dv	Mean	Std.Dv	
#05-3-2-2	51.02	-	48.98	0.24	0.04	0.69	-	0.67	0.02	(3.24)
#05-5-2-2	47.37	-	52.63	0.18	(0.11)	0.66	-	0.64	0.03	(2.23)
#07-5-2-2	52.08	-	47.92	0.19	0.08	0.67	-	0.65	0.05	(2.49)
#07-5-2-2	53.19	-	46.81	0.10	0.12	0.78	-	0.63	0.07	(19.02)
#10-3-2-2	52.17	-	47.83	0.05	0.08	0.59	-	0.58	0.05	(1.41)
#10-5-2-2	55.56	-	44.44	0.24	0.20	0.60	-	0.56	0.05	(6.54)
#05-3-3-2	52.08	-	47.92	0.17	0.08	0.45	-	0.48	0.07	6.67
#05-5-3-2	53.19	-	46.81	0.09	0.12	0.47	-	0.44	0.06	(6.52)
#07-3-3-2	52.08	-	47.92	0.05	0.08	0.39	-	0.42	0.06	6.95
#07-5-3-2	51.06	-	48.94	0.01	0.04	0.77	-	0.56	0.07	(27.23)
#10-3-3-2	51.02	-	48.98	0.12	0.04	0.77	-	0.66	0.04	(14.66)
#10-5-3-2	53.19	-	46.81	0.04	0.12	0.65	-	0.62	0.05	(4.29)
#05-3-3-3	55.56	-	44.44	0.02	0.20	0.78	-	0.60	0.06	(23.56)
#05-5-3-3	54.35	-	45.65	0.03	0.16	0.76	-	0.59	0.04	(21.42)
#07-3-3-3	54.35	-	45.65	0.06	0.16	0.76	-	0.62	0.06	(19.44)

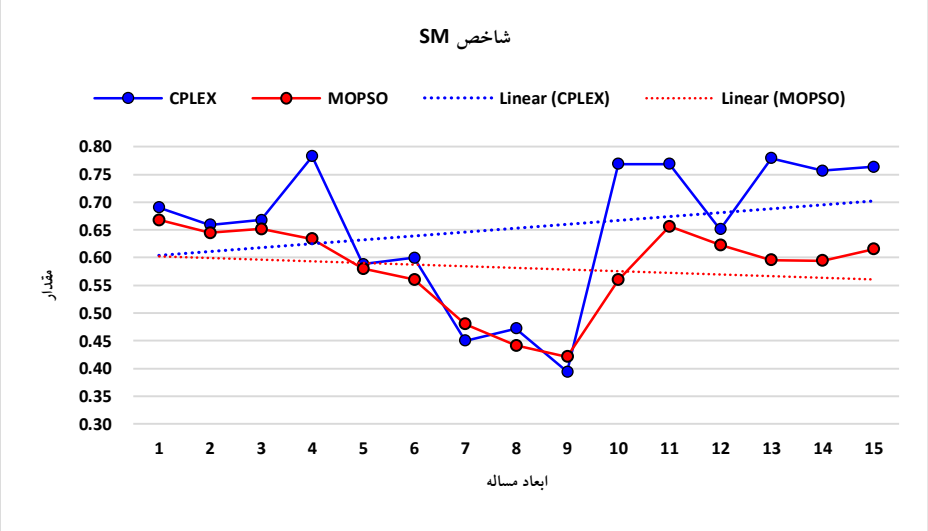


شکل ۲- نمونه ای از نقاط پارتو حل شده از طریق روش Cplex و MOPSO و نقاط مشترک نامغلوب

همانطور که پیشتر گفته شد شاخص SM میزان نظم نقاط پارتو در فضای حل و فاصله نقاط پارتو را نسبت به هم نشان می‌دهد. هر چه یکنواختی فاصله نقاط پارتو بیشتر باشد شاخص SM که پراکندگی نقاط پارتو را محاسبه می‌کند کمتر و موثرتر می‌باشد. نتایج روش های حل نشان می‌دهد در اکثر موارد الگوریتم پیشنهادی MOPSO با تنظیم درست فشار انتخاب لیدر و حذف نقاط پارتو مناسب هنگامی که ظرفیت مخزن نقاط پارتو تکمیل می‌گردد، بهتر عمل می‌کند و یکنواختی نقاط پارتوی بهتری را ثبت کرده است به طوریکه میانگین خطا در روش حل دقیق ۹,۲۳٪ بدتر از الگوریتم MOPSO پیشنهادی بوده‌است. یکنواختی فواصل نقاط پارتو در فضای کشف شده نقاط موثر بیشتری در اختیار مدیریت جهت سناریو های مختلف می‌دهد.



شکل ۳- نتایج عددی الگوریتم پیشنهادی MOPSO و روش حل دقیق – شاخص QM



شکل ۴- نتایج عددی الگوریتم پیشنهادی MOPSO و روش حل دقیق – شاخص SM

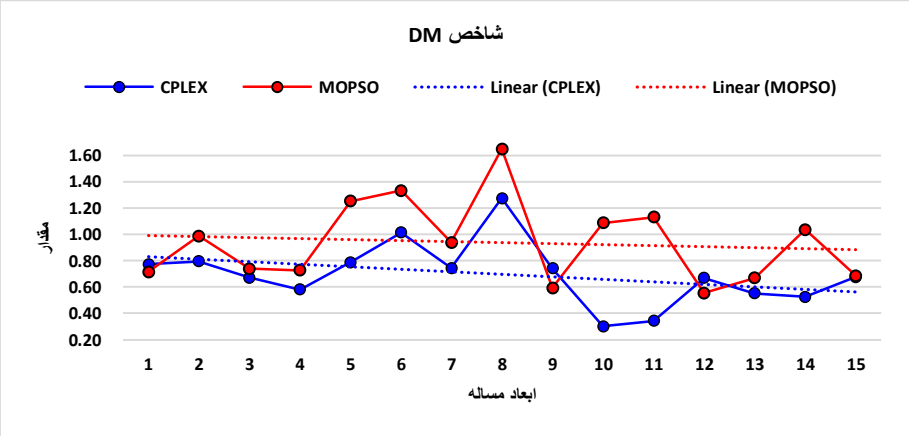
در ادامه به شاخص‌های DM (شاخص پراکندگی) و MID (فاصله از نقطه ایده آل) پرداخته می‌شود.

نتایج عددی روش حل دقیق و روش پیشنهادی MOPSO برای دو شاخص‌های DM و MID در جدول (۶) آورده شده است.

شاخص DM که دامنه جواب‌های کشف شده را ارزیابی می‌کند در بهترین حالت اگر کل فضای کشف شده سه بعدی را پوشش دهد مقدار $\sqrt{3}$ را می‌پذیرد. بنابراین هر چه مقدار شاخص DM به مقدار ۱,۷۳ نزدیکتر باشد عملکرد بهتری دارد. نتایج عددی حاکی از آن است که الگوریتم پیشنهادی MOPSO در شاخص DM در مجموع عملکرد بهتری را دارد و دامنه بیشتری از فضای جواب را پوشش می‌دهد و به طور کل میانگین شاخص DM در الگوریتم پیشنهادی ۵۱٪ بهتر از الگوریتم روش حل دقیق مبتنی بر اپسیلون محدودیت تقویت شده عمل می‌کند.

جدول ۶- مقایسه عملکرد الگوریتم MOPSO پیشنهادی با روش حل دقیق

Problem No.	Diversity Metric (DM)					Mean Ideal Distance (MID)				
	CPLEX		MOPSO		%Err	CPLEX		MOPSO		%Err
	Mean	Std.Dv	Mean	Std.Dv		Mean	Std.Dv	Mean	Std.Dv	
#05-3-2-2	0.77	-	0.71	0.00	7.66	8.74	-	9.21	0.08	5.38
#05-5-2-2	0.79	-	0.99	0.00	(24.31)	7.90	-	8.15	0.11	3.07
#07-5-2-2	0.67	-	0.74	0.01	(10.04)	6.29	-	6.63	0.06	5.39
#07-5-2-2	0.58	-	0.73	0.03	(24.84)	6.35	-	6.58	0.09	3.54
#10-3-2-2	0.79	-	1.25	0.02	(58.70)	7.20	-	7.73	0.12	7.32
#10-5-2-2	1.01	-	1.33	0.01	(31.25)	9.54	-	10.09	0.13	5.77
#05-3-3-2	0.74	-	0.94	0.03	(26.17)	6.00	-	6.43	0.09	7.10
#05-5-3-2	1.27	-	1.65	0.04	(29.42)	6.11	-	6.30	0.08	3.13
#07-3-3-2	0.74	-	0.59	0.02	20.18	10.82	-	11.38	0.09	5.18
#07-5-3-2	0.30	-	1.09	0.02	(260.64)	6.74	-	7.06	0.12	4.86
#10-3-3-2	0.34	-	1.13	0.01	(231.38)	6.32	-	6.79	0.09	7.40
#10-5-3-2	0.67	-	0.56	0.03	16.93	8.49	-	8.81	0.07	3.75
#05-3-3-3	0.55	-	0.67	0.02	(21.21)	8.54	-	9.07	0.07	6.28
#05-5-3-3	0.52	-	1.04	0.02	(97.65)	8.51	-	8.84	0.06	3.90
#07-3-3-3	0.67	-	0.69	0.02	(1.61)	7.03	-	7.46	0.06	6.19



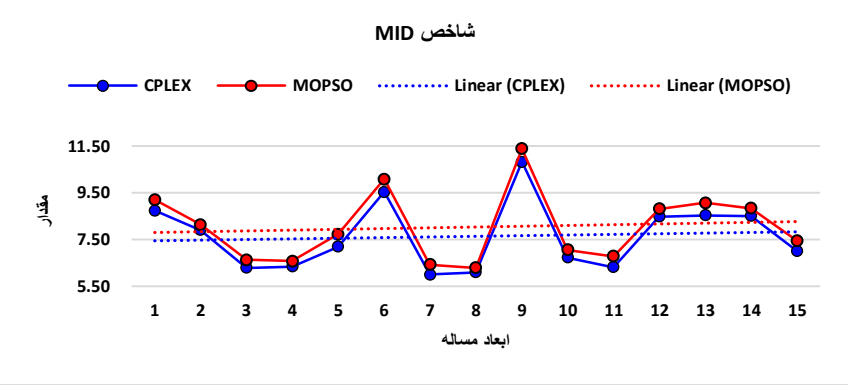
شکل ۵- نتایج عددی الگوریتم پیشنهادی MOPSO و روش حل دقیق – شاخص DM

اما مهمترین شاخصی که کیفیت نقاط پارتو را نشان می‌دهد شاخص MID می باشد. این شاخص که فاصله نقاط پارتو از نقاط ایده آل را ارزیابی می‌کند از قدرتمندترین شاخص جهت ارزیابی کارایی الگوریتم پیشنهادی در مقایسه با روش حل دقیق می‌باشد. در این نقطه ایده آل برای تابع هدف هزینه که بدنبال کمینه کردن آن می‌باشد، صفر در نظر گرفته شده و همچنین نقاط ایده آل برای توابع هدف کیفیت (کیفیت محصول و خدمات) که به دنبال بیشینه سازی می‌باشند، بزرگترین نقطه کشف شده در هر دو روش حل تعیین گردید. همانطور که در نتایج عددی مشاهده می‌گردد میانگین شاخص MID در الگوریتم پیشنهادی تنها ۵,۲۲٪ بالاتر از روش حل دقیق را ثبت کرده‌است. بنابراین الگوریتم MOPSO که یک

روش تقریبی محسوب می‌گردد نتایج نزدیک به بهینه را کشف و در مهمترین شاخص کارایی، مناسب و کارآمد نشان می‌دهد.

آخرین شاخص مورد بررسی زمان اجرای (RT) حل ابعاد مختلف مدل می‌باشد. جدول (۷) نتایج عددی این شاخص را نشان می‌دهد.

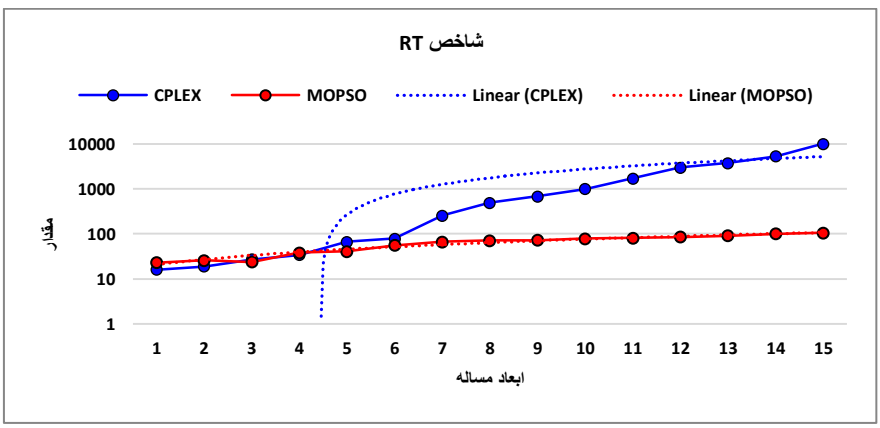
همانطور که مشاهده می‌گردد نتایج عددی زمان اجرای ابعاد مختلف مساله حاکی از آن است که تقریبا بجز ابعاد خیلی کوچک مساله، در بقیه موارد الگوریتم پیشنهادی MOPSO بهتر از روش حل دقیق عمل می‌کند و روند کیفیت شاخص الگوریتم پیشنهادی با افزایش پیچیدگی مساله به صورت معناداری تشدید می‌گردد. همچنین نشان می‌دهد در آخرین بعد از ابعاد کوچک مساله حدود ۱۰۰۰۰ ثانیه حل مدل به روش حل دقیق به طول می‌انجامد



شکل ۶- نتایج عددی الگوریتم پیشنهادی MOPSO و روش حل دقیق – شاخص MID

جدول ۷- مقایسه عملکرد الگوریتم MOPSO پیشنهادی با روش حل دقیق

Problem No.	Run Time (RT)				
	CPLEX		MOPSO		%Err
	Mean(s)	Std.Dv(s)	Mean(s)	Std.Dv(s)	
#05-3-2-2	16	1	23	2	43.8
#05-5-2-2	19	1	26	3	36.8
#07-5-2-2	27	4	24	3	-11.1
#07-5-2-2	34	6	38	3	11.8
#10-3-2-2	67	8	41	5	-38.8
#10-5-2-2	79	21	56	4	-29.1
#05-3-3-2	254	36	67	6	-73.6
#05-5-3-2	489	41	71	5	-85.5
#07-3-3-2	678	130	73	8	-89.2
#07-5-3-2	991	150	79	4	-92.0
#10-3-3-2	1706	199	81	6	-95.3
#10-5-3-2	2983	267	86	7	-97.1
#05-3-3-3	3740	301	91	6	-97.6
#05-5-3-3	5279	389	101	7	-98.1
#07-3-3-3	9968	507	106	6	-98.9



شکل ۷- نتایج عددی الگوریتم پیشنهادی MOPSO و روش حل دقیق – شاخص RT

آزمایش عددی

ابعاد مساله از طریق پارامترهای زیر تعیین می‌شود.

I: تعداد تامین کنندگان

R: تعداد محصولات

T: تعداد دوره

J: تعداد بازه‌های تخفیف

از آنجایی که در مدل پیشنهادی ادغام تخفیف کلی و نموی نوآوری مدل محسوب می‌شود و نتایج عددی آن در مقالات دیگر موجود نمی باشد، کلیه پارامترها بر اساس مفروضات منطقی بنا شده است.

فرض می‌شود قیمت ارائه شده از طرف تامین کننده، برای محصول نوع یک تا سه، به ترتیب دارای توزیع یکنواخت به صورت تابع $U_1 \sim [250,400]$ و $U_2 \sim [\ 2\ 0\ ]$ و $U_3 \sim [200,450]$ می‌باشد. در بازه‌های تخفیف با افزایش J به ازای هر گام افزایش، مقادیر ارائه شده تامین کنندگان، شامل تخفیف قیمت به ترتیب ۴۰ واحدی برای محصولات خواهد شد. در ادامه پارامترهای دیگر در جدول شماره (۴) آورده شده‌است.

با توجه به این که جوابهای بدست آمده برای متغیرهای تصمیم معقول میباشد و با حل و تحلیل دستی این مثال تطابق دارد .لذا مدل ریاضی ارائه شده کارا و معتبر است

جدول ۴- پارامترهای مشترک در سناریو اول و دوم

$f_{is}(\%)$	$C_{i,s,t}$	$D_{S,t}$	$k_{i,s}(\%)$	$r_{i,s}(\%)$
$U \sim [1,15]$	$U \sim [2000,5000]$	$U \sim [1000,4500]$	$N \sim (80,10)$	$N \sim (80,10)$
HC	B_S		F_S	
200	$(3.2E+6, 3.4E+6)$		$(300,500)$	

پارامتر	مقدار
تعداد تأمین کننده	۱۰
تعداد سطوح تخفیف	۳
تعداد محصول	۳
تعداد دوره ها	۲

تابع هدف	مقدار
هدف اول	۳۹۳۴۵۲۴
هدف دوم	۱۰۵۹۷
هدف سوم	۱۲۹۹۵

۶- نتیجه‌گیری و پیشنهادات آتی

با توجه به پیچیدگی مساله، با افزایش ابعاد، کارایی روش حل دقیق کاهش می‌یابد. بنابراین در حل ابعاد بزرگ مساله، الگوریتم پیشنهادی MOPSO پیشنهاد می شود. ابتدا پارامترهای الگوریتم مورد استفاده در این مقاله پس از اجراهای متوالی روی مقادیر متفاوت مطابق جدول دسته بندی شده و سپس توسط روش تاگوچی تنظیم شده اند جهت کارایی الگوریتم پیشنهادی در ابعاد کوچک و تعمیم آن به ابعاد بزرگ، نتایج حاصل از روش حل دقیق بر اساس شاخص‌های QM، MID، DM، SM، RT مقایسه و عملکرد الگوریتم پیشنهادی (MOPSO) ارزیابی شد. برنامه نویسی این الگوریتم با نرم‌افزار MATLAB انجام شد و کلیه بررسی ها به وسیله رایانه با مشخصات پردازنده Core i5 2.93 GHz و 4.00 GB Ram انجام گرفت.

به منظور افزایش کیفیت الگوریتم پیشنهادی، تحلیل پارامترهای آن، در چهار سطح طراحی آزمایش‌ها (DOE)12 صورت پذیرفت. ۱۵ مساله به عنوان ابعاد کوچک که روش حل دقیق توانایی حل آن را در کمتر از زمانی معین داشته است تعریف گردید. با توجه به سه تابع هدف بودن مدل مساله و تولید جواب پارتو، جهت ارزیابی کیفیت جواب‌ها، پنج شاخص تعریف گردید.

همانطور که نتایج عددی نشان می‌دهد روش اپسیلون محدودیت تقویت شده جهت حل دقیق با حل کننده Cplex، قادر به حل مسائل با ابعاد حداکثر هفت تامین‌کننده، سه دوره زمانی و سه محصول در بازه های تخفیف سه مرحله‌ای در کمتر از ۱۰۰۰۰ ثانیه می‌باشد.

در بین شاخص‌ها، میانگین شاخص‌های SM، DM و RT الگوریتم پیشنهادی MOPSO بهتر از روش حل دقیق عمل کرده‌است. در شاخص های QM و MID نیز نتایج الگوریتم پیشنهادی نزدیک به روش حل دقیق بوده و نشان دهنده کیفیت بالای الگوریتم پیشنهادی است. در نتیجه در اکثر شاخص های الگوریتم MOPSO پیشنهادی، بر اساس میزان خطاهای ثبت شده، نتایج حاکی از آن است که الگوریتم پیشنهادی مذکور دارای کیفیت و کارایی بالایی می‌باشد و این کارایی با افزایش پیچیدگی مساله نیز حفظ می‌گردد.

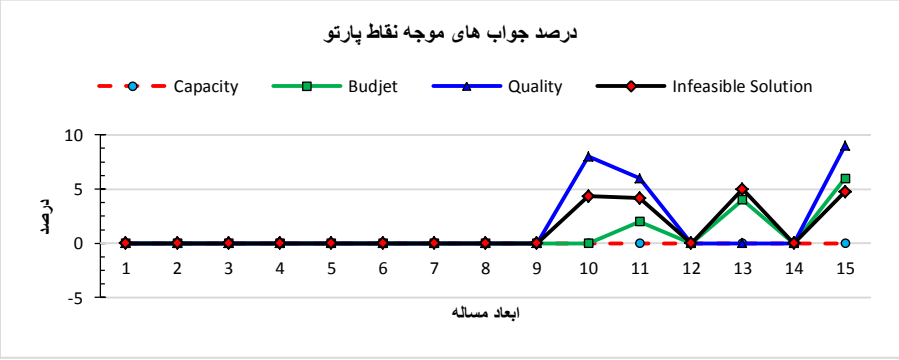
همچنین استفاده از تابع جریمه باعث گردید علی‌رغم پیچیدگی مدل مساله از قبیل محدودیت های بودجه، ظرفیت، استاندارد های کیفیتی، الگوریتم پیشنهادی در زمان مناسب به جواب های با کیفیت برسد. با تابع جریمه و نامقید کردن محدودیت‌های مذکور این احتمال وجود دارد که کیفیت جواب‌های الگوریتم تحت تاثیر جواب های ناموجه قرار گیرد. بنابراین در یک آزمون دیگر کیفیت نقاط موجه مورد بررسی قرار گرفت و نتایج نشان می‌دهد تنها در چهار مساله درصد کمی از نقاط پارتو از محدویت های مساله تخطی می‌کند و این تخطی از محدودیت نیز تنها در محدودیت کیفیت محصول و بودجه به میزان کمی بوده است که می‌توان با توجه به سرعت و کیفیت الگوریتم از آن چشم پوشی کرد.

در نتیجه با در نظر گرفتن شاخص های مورد بررسی، الگوریتم پیشنهادی MOPSO در ابعاد کوچک با کیفیت بالایی عمل نموده است و می‌تواند در ابعاد بزرگ نیز که روش حل دقیق قادر به تولید جواب های پارتو در زمان کمتر از ۱۰۰۰۰ ثانیه نمی باشد از الگوریتم پیشنهادی MOPSO بهره برد.

مدل ارائه شده در این تحقیق می تواند به تصمیم گیرنده در انتخاب تأمین کننده مناسب کمک کند، چرا که این تحقیق با ارائه مدل چند هدفه و چند محصولی و چند دوره ای و با درنظر گرفتن تخفیف برای مشتریان با داده های قطعی و همچنین در نظرگرفتن زمان اعتبار مصرف برای اقلام خریداری شده بمنظور جلب توجه خریداران و همچنین امکان تأمین تقاضا از چندین تأمین کننده در نظر گرفته شده است می بایست این زنجیره را به نحوی بهینه سازی نموده تا با انتخاب بهترین تأمین کننده و نقاط مراکز تسهیلات، با صرف کمترین هزینه بتوانیم پاسخ گویی مناسبی را به مشتریان داشته باشیم.

همانطور که از نتایج مشخص است استفاده از چندین تأمین کننده باعث بهبود خدمات ارائه شده و همچنین وابستگی خریدار به تأمین کننده واحد را کاهش می دهد تفاوت در تعداد تأمین کنندگان موجب شده تمامی توابع هدف تغییر کرده و تابع هدف سود زنجیره تأمین نیز تغییر میکند تصمیم گیری در مورد انتخاب و تعداد تأمین کنندگان به نزدیکی خریدار با تأمین کنندگان بستگی دارد در سازمان هایی که ارتباط نزدیک و گسترده با تأمین کنندگان وجود دارد در صورتیکه تعداد تأمین کنندگان افزایش یابد حفظ و برقراری این ارتباط برای شرکت هزینه بر و وقت گیر است هزینه های مربوط به تأمین کنندگان افزایش یافته و در نتیجه مقدار تابع هدف سود کاهش می یابد همچنین برای افزایش سود زنجیره باید میزان قطعات تأمین یافته از سوی تأمین کنندگان افزایش یافته و بالعکس .

انتخاب تأمین کننده و تخصیص کالا به آنها، با برنامه ریزی تولید و توزیع و بازگشت مجدد کالا به زنجیره ، یکپارچه شده است.پس علاوه بر تمامی مزایایی که از یکپارچه سازی زنجیره به دست می آید می توان گفت خرید کالا بر اساس مدل بر حسب نیاز زنجیره و درنظرگرفتن مقدار قطعات بازگشتی به زنجیره صورت می پذیرد.



شکل ۱۳-درصد جواب‌های موجه نقاط پارتو و درصد تخطی از محدودیت- پیشنهادی MOPSO

چند محصولی بودن در فرآیند خرید ، اغلب شرکتها نیاز به تأمین بیش از یک قلم کالا دارند میزان خرید هر یک از این اقلام با توجه به ظرفیت نگهداری و اعتبار زمان مصرف و استفاده بهتر از پیشنهادات تأمین کنندگان (مانند تخفیف) به خصوص در زمان تصمیم گیری برای چند بازه زمانی ، میزان نرخ تخفیف را در دوره های زمانی مختلف تغییر داده تا میزان فروش و همچنین سود شرکت بیشتر شده مثلا" اگر نرخ تخفیف را برای بعضی از محصولاتی که در انبار از آن نوع محصول بیشتر یوده افزایش دهیم باعث شده تا محصولات سریعتر فروش رفته و هزینه های انبارداری کاهش یافته و همچنین باعث کاهش قیمت تمام شده کالا شده و سود بیشتری عاید شرکت شده و به شرکت کمک کرده تا مشتریان در دوره های زمانی که تخفیف ارائه داده محصولات بیشتری را خریداری کنند.

احداث مراکز در نقاط مختلف میتواند حتی بدون اعمال تخفیف برای محصولات منجربه فروش بیشتر شرکت و در نتیجه سود شرکت را افزایش دهد.

اکثر شرکت های فعال در زنجیره تأمین به دنبال افزایش سود خود هستند در شرایط واقعی زنجیره تأمین مشتریان انتظار افزایش کیفیت محصولات و کیفیت خدمات ارائه شده را دارند در این تعریف با توجه به تعریف اهداف چندگانه برای هر کدام از این اهداف سعی گردیده انتظار مشتریان در کنار افزایش سود شرکت مورد توجه قرار بگیرد نتایج تحقیق نشان می دهد شرکت ها برای افزایش کیفیت در ارائه خدمات باید با تعریف کالاهای موازی قابلیت اطمینان را در قابلیت دسترس پذیری کالاها و در نتیجه کیفیت کالاها را افزایش دهند.در حالی که در صورت عدم توجه به این هدف میزان سود شرکت ها متفاوت است.

زمان تحویل کالاها به مشتریان همواره یکی از دغدغه های مشتریان محسوب می گردد نتایج حاصل از تحقیق نشان می دهد با کاهش سود مورد انتظار شرکت ها می توان زمان انتظار مشتریان را برای دریافت کالاها کاهش داد.

با توجه به هزینه های خرید محصولات و هزینه‌های نگه-داری در دوره های مختلف و بر اساس مدل تخفیف تامین کنندگان در هر دوره به دنبال تعداد بهینه تامین محصولات از تامین کنندگان می‌باشد به طوریکه هزینه های عملیاتی کمینه و سطح کیفیت خدمات و کیفیت محصولات بیشینه گردد.

تحقیقات آتی می تواند شامل بررسی سایر روش های حل مسائل چند هدفه و مقایسه آنها در تولید جواب ها باشد. درنظرگرفتن پارامترهای غیرقطعی از جمله هزینه ها و فواصل بین مکان ها مدل را واقعی تر کرده در نتیجه استفاده از روشی غیر از مبتنی بر سناریو الزامی می باشد.و همچنین درنظرگرفتن اثرهای عدم قطعیت پارامترها روی مدل به روش هایی چون بهینه سازی فازی یا استوار ، فرض وجود پنجره زمانی انعطاف پذیر برای تحویل کالا در سطوح مختلف ، توسعه مدل و لحاظ کردن ارزش زمانی پول با توجه به اینکه مدل ارائه شده یک مدل چند دوره ای است و نرخ تورم می تواند بر تصمیم ها در بلند مدت تأثیرگذار باشد و توجه به مسائل زیست محیطی و درنظر گرفتن زنجیره تأمین حلقه بسته سبز و به کارگیری و توسعه روش های فراابتکاری دیگر برای مسائل بهینه سازی چندهدفه و مقایسه آن با الگوریتم پیشنهادی در این مقاله ، پیشنهاد می شود و حل مدل با الگوریتم‌های فراابتکاری مختلف نظیر گرگ خاکستری، زنبور عسل ، ژنتیک، شبیه‌سازی تبرید و انجماد تدریجی و کلونی مورچگان و جستجوی ممنوعه و غیره اشاره نمود.

فهرست منابع

* رهنمای رودپشتی، فریدون ،(۱۳۸۸) " هزینه یابی بر مبنای فعالیت مدیریت " انتشارات ترمه
* Amid, A., Ghodsypour, S. H., & O'Brien, C. (2009). A weighted additive fuzzy multiobjective model for the supplier selection problem under price breaks in a supply chain. International Journal of Production Economics, 121(2), 323-332.
* Büyüközkan, G., & Çifçi, G. (2012). A novel hybrid MCDM approach based on fuzzy DEMATEL, fuzzy ANP and fuzzy TOPSIS to evaluate green suppliers. Expert Systems with Applications, 39(3), 3000-3011.
* Bhattacharya, R., Kaur, A., & Amit, R. K. (2018). Price optimization of multi-stage remanufacturing in a closed loop supply chain. Journal of cleaner production, 186, 943-962.
* Chaudhry, S. S., Forst, F. G., & Zydiak, J. L. (1993). Vendor selection with price breaks. European Journal of Operational Research, 70(1), 52-66.
* Dahel, N. E. (2003). Vendor selection and order quantity allocation in volume discount environments. Supply Chain Management: An International Journal, 8(4), 335-342
* Ebrahim, R. M., Razmi, J., & Haleh, H. (2009). Scatter search algorithm for supplier selection and order lot sizing under multiple price discount environment. Advances in Engineering Software, 40(9), 766-776.
* Fleischmann, M., Beullens, P., BLOEMHOF-RUWAARD, J. M., & Van Wassenhove, L. N. (2001). The impact of product recovery on logistics network design. Production and operations management, 10(2), 156-173.

یادداشت‌ها

1. Demand
2. Rejected Quantity
3. Budget Constraint
4. All-unit and incremental
5. All-unit discount
6. Incremental discount
7. Mean Ideal Distance
8. Quality Metric
9. Spacing Metric
10. Diversity Metric
11. Run time
12. Design of Experiments

* Ghayebloo, S., Tarokh, M. J., Venkatadri, U., & Diallo, C. (2015). Developing a bi-objective model of the closed-loop supply chain network with green supplier selection and disassembly of products: the impact of parts reliability and product greenness on the recovery network. Journal of Manufacturing Systems, 36, 76-86
* Govindan, K., Khodaverdi, R., & Jafarian, A. (2013). A fuzzy multi criteria approach for measuring sustainability performance of a supplier based on triple bottom line approach. Journal of Cleaner production, 47, 345-354.
* Kannan, D., de Sousa Jabbour, A. B. L., & Jabbour, C. J. C. (2014). Selecting green suppliers based on GSCM practices: Using fuzzy TOPSIS applied to a Brazilian electronics company. European Journal of Operational Research, 233(2), 432-447.
* Lee, A. H., Kang, H. Y., Lai, C. M., & Hong, W. Y. (2013). An integrated model for lot sizing with supplier selection and quantity discounts. Applied Mathematical Modelling, 37(7), 4733-4746.
* Moghaddam, K. S. (2015). Fuzzy multi-objective model for supplier selection and order allocation in reverse logistics systems under supply and demand uncertainty. Expert Systems with Applications, 42(15-16), 6237-6254.
* Mavrotas, George. (2007)."Generation of efficient solutions in multiobjective mathematical programming problems using GAMS. Effective implementation of the ε-constraint method." Lecturer, Laboratory of Industrial and Energy Economics, School of Chemical Engineering. National Technical University of Athens
* Soltani Tehrani M.,Hasanpour H.,Ramezani S. (2015). Optimization model of cost and carbon dioxide in the closed-loop supply chain. Management research in IRAN, 19(1) , 169-189 (In Persian).
* Srivastava, S. K. (2007). Green supply-chain management: a state-of-the-art literature review. International journal of management reviews, 9(1), 53-80.
* Saffar M.,Shakouri Ganjavi H., Razmi J. (2015). Design of a green closed loop supply chain considering operational risk in Uncertainty conditions and Solving that with the algorithm NSGA II. Journal of Industrial Engineering, 49(1), 55-68 (In Persian).
* Wu, C., & Barnes, D. (2016). An integrated model for green partner selection and supply chain construction. Journal of Cleaner Production, 112, 2114-2132.
* Xia, W., & Wu, Z. (2007). Supplier selection with multiple criteria in volume discount environments. OMEGA – International Journal of Management Science, 35(5), 494-504.
* Yeh, W. C., & Chuang, M. C. (2011). Using multi-objective genetic algorithm for partner selection in green supply chain problems. Expert Systems with applications, 38(4), 4244-4253.
* Zhou, Z., Dou, Y., Liao, T., & Tan, Y. (2018). A Preference Model for Supplier Selection Based on Hesitant Fuzzy Sets. Sustainability, 10(3), 659