بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه خوارزمی

دانشکده مدیریت

پایان نامه کارشناسی ارشد رشته مدیریت صنعتی-گرایش تولید و عملیات

عنوان پایان نامه

طراحی شبکه زنجیره تامین حلقه بسته در فضای عدم قطعیت با رویکرد بهینه سازی استوار

استاد راهنما

دکتر رضا یوسفی زنوز

استاد مشاور

دکتر فرزاد حقیقی راد

پژوهشگر

سید سجاد ذاکری تبار امیری

بهمن ماه ۱۳۹۷

اظهارنامه دانشجو

موضوع پایان نامه : **طراحی شبکه زنجیره تامین حلقه بسته در فضای عدم قطعیت با رویکرد بهینه سازی استوار**

استاد راهنما: **دکتر رضا یوسفی زنوز**

اینجانب سید سجاد ذاکری تبار امیری دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مدیریت صنعتی گرایش تولید و عملیات دانشگاه خوارزمی به شماره دانشجویی ۹۵۳۱۳۶۵۰۴ گواهی می نمایم که تحقیقات ارائه شده در این پایان نامه توسط شخص اینجانب انجام شده و صحت و اصالت مطالب نگارش شده مورد تائید می باشد و در موارد استفاده از کار دیگر محققان به مرجع مورد استفاده اشاره شده است. به‌علاوه گواهی می نمایم که مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی توسط اینجانب یا فرد دیگری ارائه نشده است و در تدوین متن پایان نامه چارچوب مصوب دانشکده را به‌طور کامل رعایت کرده ام.

امضاء دانشجو:

تاریخ:

کلیه حقوق مادی و معنوی مترتب بر نتایج مطالعات، ابتکارات و نوآوری های ناشی از تحقیق، همچنین چاپ و تکثیر، نسخه برداری، ترجمه و اقتباس از این پایان نامه کارشناسی ارشد، برای دانشکده خوارزمی محفوظ است.نقل مطلب با ذکر منبع بلامانع است.

دانشگاه خوارزمی

دانشکده مدیریت

پایان نامه کارشناسی ارشد آقای سید سجاد ذاکری تبار امیری، رشته مدیریت صنعتی- تولید

تحت عنوان:

طراحی شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته در فضای عدم قطعیت با رویکرد بهینه سازی استوار

در تاریخ ۹۷/۱۱/۱۷ توسط هیات داوران زیر بررسی و با نمره ۱۸/۲۵ به تصویب نهایی رسید.

اعضای هیأت داوران		نام و نام خانوادگی	رتبه علمی	امضاء
۱.	استاد راهنما	دکتر [illegible]	.....	امضا
۲.	استاد مشاور	دکتر [illegible]	[illegible]	امضا
۳.	استاد داور	دکتر [illegible]	.....	امضا

امضاء نماینده تحصیلات تکمیلی

چکیده

در سال‌های اخیر با افزایش رقابت بین سازمان ها و به دلیل نگرانی های هزینه و محیط زیست، زنجیره تامین معکوس [۱] (RSC) توجه زیادی را به خود جلب کرده است. زنجیره تامین معکوس به فعالیت های جمع آوری و بازیافت محصولات در مدیریت زنجیره تامین اطلاق می‌شود. ادغام زنجیره تامین مستقیم[۲] (FSC) و زنجیره تامین معکوس(RSC) به یک زنجیره تامین حلقه بسته [۳] (CLSC)منجر می شود .این پژوهش، یک مدل حلقه بسته چند محصولی و چند دوره ای و چند سطحی که شامل مراکز تامین کننده، تولید کننده، توزیع کننده، مشتری و جمع آوری و انهدام است، طراحی می‌شود که مباحث مکان یابی ، تخصیص و کنترل موجودی شبکه را نیز در بردارد. این مدل در خصوص مکان یابی مراکز مذکور و چگونگی تخصیص و انتقال محصولات در بین لایه های زنجیره و کنترل موجودی انبار در مراکز توزیع، تصمیم گیری می‌کند. یک مدل برنامه ریزی خطی دو هدفه برای شبکه در نظر گرفته می‌شود که تابع هدف اول برای کمینه کردن هزینه های اقتصادی و تابع هدف دوم شامل حداقل کردن زمان تاخیر و تعجیل در ارسال محصولات از تولیدکنندگان به توزیع کنندگان می‌باشد. مدل پیشنهادی یک مدل چندهدفه می‌باشد که برای حل آن در ابعاد کوچک از روش های ال پی-متریک و اپسیلون-محدودیت استفاده شده است. در نهایت مثال عددی برای ارزیابی و آزمون مدل مطرح می‌شود. در این مدل هزینه ها و تقاضا به عنوان پارامترهای غیر قطعی در نظرگرفته می‌شود. در راستای مواجهه با پارامترهای غیر قطعی و کاهش تاثیر آن بر روی جواب بهینه، یک مدل بهینه سازی استوار[۴] مطرح شده است. از آنجایی که این مسأله جزو مسائل NP-hard می‌باشد به منظور حل مدل ارائه شده در مقیاس بزرگ از الگوریتم بهینه سازی چند هدفه ازدحام ذرات (MOPSO) بهره گرفته شد. در نهایت برای نشان دادن کارایی الگوریتم فراابتکاری پیشنهادی MOPSO، جواب های به دست آمده با جواب های روش حل دقیق مقایسه شده است.

کلمات کلیدی: زنجیره تامین حلقه بسته، ، عدم قطعیت، بهینه سازی استوار، الگوریتم بهینه سازی چند هدفه ازدحام ذرات

[۱] Reverse supply chain
[۲] Forward supply chain
[۳] Closed-loop supply chain
[۴] Robust Optimization

فهرست مطالب

عنوان صفحه

چکیده ..... ح
فصل اول: کلیات پژوهش ۱
۱-مقدمه ۲
۱-۲ بیان مسئله ۳
۱-۳ اهمیت و ضرورت تحقیق ۴
۱-٤ اهداف تحقیق ۵
۱-۵ سوالات تحقیق ۶
۱-٦ مفروضات پژوهش ۶
۱-۷ نوآوری تحقیق ۷
۱-۸ روش و مراحل تحقیق ۷
۱-۹ مراحل تحقیق ۷
۱-۱۰ تعریف واژه های کلیدی ۹
۱-۱۰-۱ زنجیره تامین رو به جلو ۹
۱-۱۰-۲ زنجیره تامین معکوس ۹
۱-۱۰-۳ عدم قطعیت (اطمینان) ۹
۱-۱۰-٤ بهینه سازی استوار ۹
۱-۱۰-۵ الگوریتمMOPSO ۹
فصل دوم: مرور ادبیات و پیشینه تحقیق ۱۱
۲-مقدمه ۱۲
الف) بخش اول: مبانی نظری ۱۲
۲-۱ تعاریف زنجیره تامین ۱۲
۲-۲ تعاریف مدیریت زنجیره تامین ۱۴
۲-۳ تاریخچه زنجیره تامین ۱۶
۲-٤ طراحی شبکه زنجیره تامین ۱۸
۲-۵ استواری، مفهوم و نقش آن در تحقیق در عملیات ۱۹
ب) معرفی روش ها ریاضی حل مدل ۲۲
۲-٦ مدل های ریاضی استوار ۲۲
۲-٦-۱ مدل استوار مبتنی بر سناریو ۲۳

۲-٦-۲ در نظر گرفتن مجموعه عدم قطعیت به صورت بازه ای ۲۷
۲-٦-۲-۱ مدل سویستر ۲۷
۲-٦-۲-۲ مدل بن تال و نمیروفسکی ۲۹
۲-٦-۲-۳ مدل برتسیماس و سیم ۳۰
۲-۶-۳ برنامه ریزی خطی استوار فازی ۳۲
۲-۷ بهینه سازی چند هدفه ۳۲
۲-۷-۱ انواع دسته بندی روش های حل مسائل بهینه سازی چند هدفه ۳۳
۲-۸ بررسی روش های حل در طراحی شبکه ۳۵
۲-۹ چارچوب تئوریک: ۳۷
ج) مروری بر پژهش های صورت گرفته ۳۸
۲-۱۰ بررسی ادبیات طراحی شبکه زنجیره تامین حلقه بسته ۳۸
۲-۱۱ شکاف تحقیقاتی و نوآوری پژهش ۴۶
۲-۱۲ جمع بندی ۴۷
فصل سوم: روش شناسی تحقیق ۴۸
۳-مقدمه ۴۹
۳-۱ تعریف مساله ۴۹
۳-۲ ویژگی های مدل ۵۰
۳-۳ مفروضات مدل: ۵۱
۳-٤ نمادهای مدلسازی مساله ۵۱
۳-٤-۱ اندیس ها و مجموعه های مدل ۵۱
۳-٤-۲ پارامترهای مدل ۵۲
۳-٤-۳ متغیرهای تصمیم مدل ۵۳
۳-۵ مدلسازی ریاضی ۵۴
۳-۵-۱ توابع هدف ۵۴
۳-۵-۲ محدودیت ها ۵۵
۳-٦ مدل بهینه سازی استوار پیشنهادی ۵۶
۳-٦-۱ پارامترها ۵۷
۳-٦-۲ متغیر های کنترل ۵۷
۳-٦-۳ توابع هدف ۵۷
۳-٦-٤ محدودیت ها ۵۸
۳-۷ تصمیم گیری چند هدفه ۵۹

۳-۸ روش ال پی-متریک ۶۰
۳-۹ روش اپسیلون-محدودیت ۶۰
۳-۱۰ الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات ۶۲
۳- ۱۱فلوچارت الگوریتم PSO ۶۳
۳-۱۲الگوریتم بهینه سازی چند هدفه ازدحام ذرات ۶۴
۳-۱۳ فلوچارت الگوریتم MOPSO ۶۵
۳-۱٤ جمع بندی ۶۶
فصل چهارم: تجزیه و تحلیل داده‌های تحقیق ۸۵
٤ مقدمه ۶۹
٤-۱مثال عددی و اعتباردهی مدل ریاضی ۶۹
٤-۲ بررسی جواب‌های حل مدل با دو روش ال پی-متریک و اپسیلون-محدودیت ۷۰
٤-۳ بررسی و تحلیل جواب ها در حالت قطعی و استوار ۷۳
٤-٤ بررسی توابع هدف به ازای وزن های متفاوت ۷۵
٤-٥ تحلیل حساسیت ۷۶
٤-٦ برخی از خروجی های حاصله از مدل ۷۸
٤-۷ تنظیم پارامترهای الگوریتم پیشنهادی MOPSO ۷۹
٤-۸ بررسی نتایج روش حل دقیق و فراابتکاری ۸۰
٤-۹ جمع بندی ۸۲
فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات ۱۲۷
٥ مقدمه ۸۴
٥-۱خلاصه پایان نامه ۸۴
٥-۲ نتایج تحقیق ۸۴
٥-۳ دستاوردهای اصلی پایان نامه ۸۶
٥-٤ پیشنهاد برای تحقیقات آتی ۸۶
٥-٥ محدودیت تحقیق ۸۷
٥-٦ پیشنهادات کاربردی ۸۷
منابع و ماخذ ۸۸
الف)منابع فارسی ۸۸
ب)منابع انگلیسی ۸۹
ABSTRACT ۹۸

فهرست جداول

جدول ۲-۱- تعاریف اولیه مدیریت زنجیره تامین ۱۵
جدول ۲-۲- مرور مقالات مسأله طراحی زنجیره تأمین ۳۸
جدول ۲-۳- تحقیقات در زمینه روش های حل بکار گرفته شده ۴۵
جدول۳-۱- ویژگی های مدل ریاضی ۵۰
جدول ۳-۲- اندیس های مدل ریاضی ۵۱
جدول۳-۳-پارامترهای مدل ریاضی ۵۲
جدول ۳-۴- متغیرهای تصمیم مدل ریاضی ۵۳
جدول ۳-۵-پارامترهای اضافه شده به مدل ۵۷
جدول ۳-۶-متغیرهای کنترل ۵۷
جدول ۴-۱- اندازه مختلف مسائل ۶۹
جدول ۴-۲-اطلاعات عددی پارامترها ۷۰
جدول۴-۳-نتایج محاسباتی با روش ال پی-متریک ۷۱
جدول۴-۴- نتایج محاسباتی با روش اپسیلون-محدودیت ۷۱
جدول ۴-۴-مقایسه جواب ها در حالت قطعی و استوار ۷۳
جدول ۴-۵-مقایسه توابع هدف به ازای وزن های متفاوت ۷۵
جدول۴-۶-نتایج تحلیل حساسیت میزان محصولات برگشتی ۷۷
جدول ۴-۷- احداث مراکز بالقوه در سه سناریو ۷۸
جدول ۴-۸-تقاضای محصولات در دوره های مختلف ۷۹
جدول ۴-۹-پارامترهای الگوریتم ۸۰
جدول۴-۱۰-نتایج حل مثال ها با دو روش دقیق و فراابتکاری ۸۰

فهرست اشکال

شکل ۱-۱-رویه کلی تحقیق ۸
شکل ۲-۱-نمایش اجزا و مراحل زنجیره تأمین (چوپرا، ۲۰۰۷)..... ۱۳
شکل ۲-۲-طبقه بندی برخی روش ها برای بهینه سازی چند هدفه ۳۵
شکل ۳-۱-شبکه زنجیره تامین حلقه بسته ۵۰
شکل ۳-۲-نحوه ی عملکرد الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات ۶۲
شکل ۴-۱-مقدار Z_1 در شش مسئله طراحی شده ۷۲
شکل ۴-۲-مقدار Z_2 در شش مسئله طراحی شده ۷۲
شکل ۴-۳-نمودار گرافیکی مقادیر تابع هدف اول در حالت قطعی و استوار ۷۴
شکل ۴-۴-نمودار گرافیکی مقادیر تابع هدف دوم در حالت قطعی و استوار ۷۴
شکل ۴-۵-نمودار پارتو بین توابع هدف Z_1, Z_2..... ۷۶
شکل ۴-۶-نمودار تحلیل حساسیت میزان محصولات برگشتی برای تابع هدف اول ۷۷
شکل ۴-۷-نمودار تحلیل حساسیت میزان محصولات برگشتی برای تابع هدف دوم ۷۸
شکل ۴-۸-شکل نهایی اجرای الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات ۸۱

فصل اول

کلیات پژوهش

۱-مقدمه

نیاز روزافزون به بازسازی و بازیافت با توجه به کمبود منابع و نگرانی های زیست محیطی، به شرکت هایی برای هماهنگی جریان های رو به جلو و معکوس در زنجیره های عرضه خود نیاز دارند. این باعث ایجاد یک شبکه زنجیره تامین بسته حلقه بسته (CLSCN)[۱] می شود. مدیریت زنجیره تأمین حلقه بسته، مدیریت همه فرآیندهای زنجیره از تأمین کننده تا مشتری نهایی و بازیافت مواد اولیه و انهدام مواد غیرقابل استفاده می باشد که این چرخه از استخراج محصول تا پایان عمر مفید آن را شامل می شود .در دنیای امروزی با گسترش فضای رقابتی، رشد و افزایش صنایع کلان، مهمترین و اساسی ترین برنامه های سازمان ها و بنگاه های اقتصادی، تولید محصولات باکیفیت و ارائه خدمات مورد نیاز مشتریان به بهترین نحو، همچنین به موازات آن، در پی کاهش هزینه ها می باشند، اکنون دستیابی به این هدف بدون مدیریت یکپارچه زنجیره تأمین امکان پذیر نمی باشد .

طراحی شبکه زنجیره تامین، یک تصمیم مهم استراتژیک است که اثرات آن برای سال ها ادامه می یابد در حالی که محیط کسب و کار ممکن است تغییر کند. از طرف دیگر در سال های اخیر به علت افزایش نگرانی های زیست محیطی و تلاش سازمان ها به منظور استفاده موثر از محصولات تولیدی و حمایت از مصرف کنندگان مسیر پژوهشی جذابی در مقوله طراحی شبکه زنجیره تامین حلقه بسته ایجاد شده است.

تصمیم راهبردی طراحی شبکه زنجیره تامین منجر به اتخاذ تصمیماتی در رابطه با تعداد، موقعیت، سطح ظرفیت و تکنولوژی تسهیلات خواهد شد. از آنجایی که فعالیتهای تاکتیکی و عملیاتی بر مبنای تصمیمات راهبردی اجرا می گردند لذا پیکربندی شبکه زنجیره تامین چارچوب و نقشه راهی گویا برای پیاده سازی تصمیمات تاکتیکی و عملیاتی خواهد بود.(پیشوایی و همکاران ۲۰۱۲). از طرف دیگر پیکربندی شبکه لجستیک یک موضوع استراتژیک کلیدی بوده که فعالیتهای تاکتیکی و عملیاتی را تحت تاثیر خود قرار می دهد و در یک افق زمانی بلند مدت طرح ریزی می گردد. چرا که تصمیم گیری راهبردی در زنجیره تامین، نیاز به صرف هزینه و زمان زیادی است که محققان و صاحبان صنایع را وا می دارد که در این مسیر پیچیده و حساس گام های دقیق و کم خطا بردارند. (رمضانی و همکاران ۲۰۱۳)

مکان یابی به طور کلی، فرآیندی طولانی و مستلزم دقت و تمرکز بالا از سوی شرکتها و کارخانجات است .مسئله مکان‌یابی تسهیلات، بیشتر در کسب و کارهایی وجود دارد که صنایع و کارخانجات گسترده دارند یعنی شرکت هایی که در فرآیند معرفی و پخش محصولات خود، مسیرهای طولانی حمل دارند و مشتری های آنها از کارخانجات تولیدی دور

[۱] Closed-loop supply chain network

هستند .این شرکت ها باید محصولات خود را به فاصله های دور برسانند .در این حالت، مسئله مکان‌یابی تسهیلات اهمیت قابل توجهی دارد. بدین گونه که اگر در انتخاب مراکز پخش یا تسهیلات تصمیم نادرستی گرفته شود، مجموعه دچار زیان های غیر قابل بازگشتی خواهد شد .مکان‌یابی تسهیلات نقش مهمی در برنامه ریزی استراتژیک زنجیره تامین ایفا می‌کند و اثر بلند مدتی بر عملکردش دارد زیرا باز نمودن و بستن دائمی تسهیلات و انتقال آن به مکان دیگر هزینه فوق العاده زیادی ایجاد می نماید .

مدل های مکان یابی همراه با ظرفیت محدود تنها در چند دهه اخیر مورد توجه قرار گرفته اند، با توجه به پیدایش رسانه ها و سیستم تبلیغاتی بسیار قوی و گسترده، هر فردی شاید خواستار وسایلی باشد که حتی ممکن است تامین کننده آن در کشور وجود نداشته باشد .از این رو کارخانجات و مراکز تولیدی برای افزایش فروش و در پی آن افزایش درآمد حاصل از فروش بیشتر مجبور شده اند تا محصولات تولیدی خود را به اکثر نقاط جهان صادر کنند .با توجه به آن کارخانجات برای توزیع محصولات خود نیاز به مراکز توزیع در نقاط مختلف دارند تا بتوانند از طریق آنها تقاضای مشتریان را برآورده سازند. همچنین بعضی از مراکز برای کاهش هزینه های اضافی، ظرفیت مراکز را نیز محدود در نظر گرفته اند .بنابراین، از دیدگاه کاربردی حوزه وسیعی را شامل میشود که اهمیت پرداختن به این مساله را نشان میدهد.

۱-۲ بیان مسئله

جهانی شدن اقتصاد و توسعه فناوری باعث گردیده است که سازمان‌ها برای حفظ و بقای خود به اهمیت ارضای نیازهای مشتریان پی ببرند. این نیازها در طی زمان دائما در حال تغییر می باشند. زنجیره تامین به عنوان یکی از مهمترین مجموعه های هماهنگ فعالیت در اکثر سازمان ها و شرکت ها محسوب می شود که دارای ساختار شبکه ای است و طراحی آن شامل تصمیم گیری در زمینه تولید و توزیع در محل تولید، شرایط توزیع، ظرفیت ها و مقادیر حمل و نقل می باشد. هدف از طراحی شبکه زنجیره تامین، ارائه یک خط مشی بهینه برای مدیریت زنجیره تامین کارآمد و موثر است که شامل تصمیم گیری استراتژیک و تاکتیکی در تولید، مکان، حمل و نقل و هماهنگی هر یک از تسهیلات می شود. مفهوم طراحی زنجیره تأمین در لجستیک معکوس با مفاهیمی همچون بازیافت، چرخه مجدد و یا استفاده مجدد از محصولات ارائه می‌شود .به طور کلی طراحی شبکه زنجیره تأمین معکوس شامل تعیین تعداد، مکان و ظرفیت های تسهیلات و همچنین مقدار جریان بین هر جفت از تسهیلات می‌باشد . (کارا و همکاران[1] ۲۰۱۰). مسئله محصولات معیوب و ضایعات همیشه یک چالش مهم برای تولید کنندگان بوده و این مسئله مورد علاقه بسیاری از تولیدکنندگان است، زیرا آنها متوجه شدند که کالاهای بازیافتی

[1] Kara, et al

و استفاده مجدد از محصولات، ضایعات و بقایای محصولات نه تنها باعث کاهش اثرات زیان آور برای محیط زیست می شوند بلکه می توانند وضعیت رقابتی خود را در بازار افزایش دهند. آن ها با این استراتژی ها می‌توانند به طور قابل ملاحظه ای شبکه های زنجیره تامین خود را بازسازی کرده و ازین طریق میتوانند مزایای اقتصادی خود را به حداکثر برسانند. از این منظر تلاش ها در زمینه فعالیت های بازیافتی و لجستیکی آنها موجب شده تا شرکت ها روی بسته شدن حلقه زنجیره تامین و ایجاد زنجیره های تامین حلقه بسته (CLSC) تمرکز کنند. بنابراین زنجیره تامین حلقه بسته شامل زنجیره تامین مستقیم و زنجیره تامین معکوس است که در طول دو دهه گذشته نقش گسترده ای ایفا کرده است.مسئله دیگری که در دنیای واقعی با آن مواجه هستیم عدم قطعیت است که اگر عدم اطمینان در سطوح استراتژیک نادیده گرفته شود، آسیب به سیستم اغلب دشوارتر و غیر قابل برگشت است. به عنوان یک نتیجه، طراحی یک شبکه زنجیره تأمین که می تواند به طور کارآمد تحت عدم اطمینان عمل کند، برای مزیت رقابتی زنجیره ای ضروری است.

در این پایان نامه، یک مدل برنامه ریزی خطی دو هدفه برای شبکه زنجیره تامین در نظر گرفته می‌شود که تابع هدف اول برای کمینه کردن هزینه های اقتصادی و تابع هدف دوم شامل حداقل کردن زمان تاخیر و تعجیل در ارسال محصولات از تولیدکنندگان به توزیع کنندگان می‌باشد که هزینه ها و تقاضا به عنوان پارامترهای غیر قطعی در نظر گرفته شدند. شبکه زنجیره تامین مساله یک زنجیره حلقه بسته چند محصولی ، چند دوره ای و چند لایه ای شامل مراکز تامین کننده، تولید کننده، توزیع کننده، مشتری و جمع آوری و انهدام است

بدین صورت با یک مسئله طراحی شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته چند هدفه و غیر قطعی رو به رو خواهیم شد.

۱-۳ اهمیت و ضرورت تحقیق

در بیشتر تحقیقات صورت گرفته شده در حوزه زنجیره تامین، پارامترها کمتر به صورت غیرقطعی در نظر گرفته شده اند که این امر موجب می شود تا مسئله مورد نظر از دنیای واقعی فاصله بگیرد، در نتیجه جواب های بدست آمده نیز در دنیای واقعی در بعضی مواقع غیر بهینه و نشدنی می‌باشند. در این پژوهش هدف طراحی شبکه زنجیره تامین، در شرایط عدم قطعیت و با رویکرد بهینه سازی استوار می باشد.

(چن[۱]،۲۰۰۷) برخی از تصمیمات مهم زنجیره تامین را این طور بیان می‌کند:

- ✓ از کدام تامین کننده ها استفاده شود؟
- ✓ چند کارخانه و انبار باید داشته باشیم و هر کدام در چه مکانی باید قرار گیرند؟

[۱] chen

- ✓ ظرفیت تسهیلات در هر مکان چقدر باید باشد؟
- ✓ هر یک از کارخانه ها چه محصولاتی باید تولید کنند؟

با داشتن مکان و ظرفیت تسهیلات میتوان اقدام به یافتن پاسخ سوالهای زیر نمود:

- ✓ در هر مکان چقدر باید تولید و انبار شود؟
- ✓ چه مقدار باید در هر مکان به مکان دیگر حمل گردد و چه زمانی؟

طراحی و ایجاد شبکه های زنجیره تأمین یک تصمیم استراتژیک است که اثر آن برای چندین سال باقی خواهد ماند .از سوی دیگر، از آنجا که احداث و راه اندازی تسهیلات بسیار گران قیمت و زمان بر است، ایجاد تغییر در تصمیم گیری محل تسهیلات با توجه به نوسان پارامترها در زمان کوتاه غیر ممکن است. از این رو یکی از موارد مهم در طراحی شبکه لجستیک معکوس که باید مورد توجه قرار گیرد، دستیابی به اهداف طولانی و استراتژیک می باشد .بنابراین تصمیم گیری در مورد اینکه کدام تسهیل از میان تسهیلات بالقوه احداث شود، نقش بسیار مهمی جهت کاهش هزینه ها دارد. (پیشوایی و همکاران ۲۰۱۱)

اگر شرکت ها برنامه ریزی برای بازگرداندن محصولات برگشتی را به روش کارآمد تر انجام دهند و تحقیقات بیشتری بر روی اتوماسیون فرایندهای بازیابی صورت گیرد، شرکت هایی که در عرصه زنجیره های تامین رو به جلو و معکوس دخیل هستند دارای مزایای بیشتری نسبت به سایر شرکت هایی که تنها در یک زنجیره تامین رو به جلو فعالیت دارند است. اولین مزیت، ارائه قطعات ارزان تر و دومین مزیت، به نمایش گذاشتن یک تصویر بهتر از شرکت در میان مشتریان است. چندمحصولی، چندسطحی، چنددوره ای و چند هدفه بودن از مهمترین ویژگی های مسائل زنجیره تامین واقعی است که دربیشتر مدل های قبلی برای سادگی کار بعضی از آنها را نادیده گرفتند، در حالی که همه این ویژگی ها در این پژوهش گنجانده شده است.

۱-٤ اهداف تحقیق

اهداف این تحقیق عبارتند از:

- بررسی تحقیقات صورت گرفته در حوزه زنجیره تأمین حلقه بسته
- ارائه مدل خطی برنامه ریزی عدد صحیح مختلط در یک شبکه زنجیره تامین برگشت پذیر شامل چند دوره، چند محصول و چند سطح

- بررسی شرایط عدم قطعیت در پارامترهای مدل مسئله و نحوه برخورد با آن (در این پژوهش عدم قطعیت در هزینه ها و تقاضا مد نظر قرار گرفته می‌شود)
- ارائه یک جواب بهینه استوار برای مساله طراحی زنجیره تامین حلقه بسته
- به کارگیری روش ال پی-متریک و اپسیلون-محدودیت برای حل مدل چند هدفه
- پیاده سازی مدل پیشنهادی در نرم افزار گمز و متلب و تحلیل نتایج آن

۱-۵ سوالات تحقیق

با انجام این پژوهش به دنبال پاسخگویی به سوالات زیر هستیم:

- متغیرهای تصمیم و محدودیت های مدل زنجیره تأمین کدامند؟
- پارامترهای مدل از چه نوعی هستند؟ (کدام یک از پارامترها قطعی و کدام یک از نوع غیر قطعی هستند؟
- مکان استقرار تسهیلات و میزان تولید آنها با توجه به شرایط چگونه تعیین می‌شود ؟
- رویکرد بهینه سازی استوار را چگونه در مدل ریاضی پیاده سازی کرد و حل آن به چه صورت خواهد بود؟
- تغییرات پارامترهای مهم مساله چه تاثیری بر توابع هدف دارد؟

۱-٦ مفروضات پژوهش

مفروضات اصلی این پژوهش به شرح زیر است

- مساله به صورت چنددوره ای، چندسطحی و چندمحصولی در نظر گرفته شده است
- مجاز بودن هزینه نگهداری در مراکز توزیع
- تقاضا و هزینه ها به صورت غیر قطعی فرض می شوند
- برنامه ریزی مسئله برای چند دوره در نظر گرفته میشود
- مکان تامین کنندگان، مراکز مشتری و مراکز انهدام ثابت می‌باشند
- ظرفیت مراکز تولید، توزیع و جمع آوری از پیش تعیین شده می‌باشد

۱-۷ نوآوری تحقیق

با توجه به مطالعات صورت گرفته در زمینه طراحی زنجیره تامین حلقه بسته، نوآوری های صورت گرفته به شرح زیر است:

- توسعه مدل طراحی شبکه زنجیره تامین حلقه بسته
- مدل زنجیره تامین حلقه بسته را با مدیریت موجودی مانند مجاز بودن هزینه نگهداری در نظر گرفته می‌شود
- استفاده و بکارگیری از رویکرد برنامه ریزی چندهدفه استوار
- ارائه روش تصمیم گیری چند هدفه (MODM) شامل روش ال پی-متریک و اپسیلون-محدودیت جهت مقایسه و حل مسئله چندهدفه مدل پیشنهادی در ابعاد کوچک
- با توجه به NP-hard بودن مسئله، استفاده از روش فراابتکاری شامل الگوریتم بهینه سازی چندهدفه ازدحام ذرات (MOPSO) برای حل در مسائل با ابعاد بزرگ.

۱-۸ روش و مراحل تحقیق

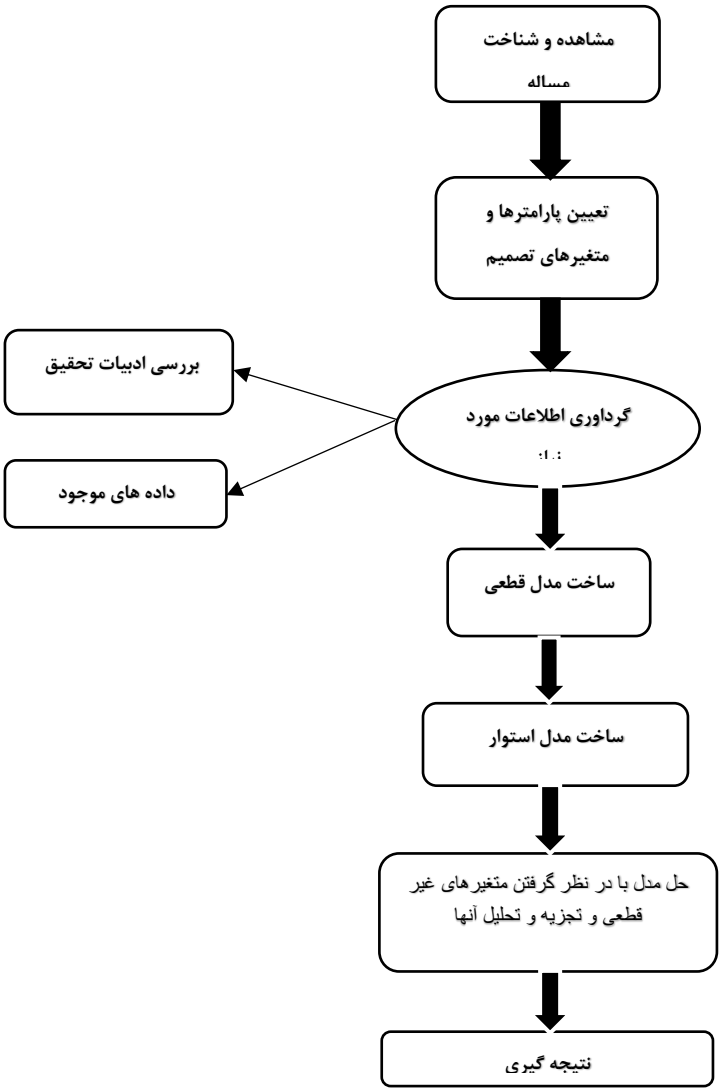
این تحقیق از منظر هدف کاربردی بوده و از منظر شیوه گرداوری داده ها توصیفی-پیمایشی می‌باشد و داده ها به صورت تصادفی تولید میشود. برای جمع آوری اطلاعات و داده های تحقیق سعی شده است که از اطلاعات موجود در مقالات معتبر استفاده شود و چون اکثر داده های موجود در مقالات بر اساس داده های واقعی اند، نتایج محاسبات به واقعیت نزدیک هستند. پس از ارائه شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته و همچنین الگوریتم بهینه سازی پیشنهادی، از مثالی عددی به همراه تحلیل حساسیت برای بررسی کارایی و مناسب بودن مدل و الگوریتم پیشنهادی استفاده شده است. بدین منظور از تکنیک های برنامه نویسی با نرم افزارهای تحقیق در عملیات برای حل مدل و بررسی نتایج استفاده شده است. بهینه سازی مدل های مربوطه در سطوح کوچکتر با استفاده از نرم افزار GAMS و در سطوح بزرگتر با استفاده از نرم افزار MATLAB انجام می‌شود.

۱-۹ مراحل تحقیق

در این بخش رویه کلی تحقیق یا مراحل تحقیق ارائه می گردد:

- مطالعه مبانی نظری و آشنایی با ادبیات تحقیق زنجیره تأمین
- تعریف دقیق مساله و تدوین مدل مفهومی

- ویژگی ها و مفروضات مدل
- مدلسازی ریاضی در شرایط اسمی یا قطعی (تعریف متغیرها، پارامترها، تعیین اهداف و محدودیت ها در زنجیره تأمین) با رجوع به ادبیات نظری
- تعیین مقادیر پارامترهای قطعی، تعیین مقادیر اسمی پارامترهای غیر قطعی
- مدلسازی استوار (تبدیل مدل ریاضی اسمی به مدل ریاضی همتای استوار)
- حل مدل اسمی و استوار
- نتیجه گیری



شکل ۱-۱- رویه کلی تحقیق

۱-۱۰ تعریف واژه های کلیدی

۱-۱۰-۱ زنجیره تامین رو به جلو: شامل مجموعه ای از فعالیت ها در جریان تبدیل مواد خام به محصولات نهایی می باشد. مدیران سعی می کنند تا عملکرد زنجیره تامین را در زمینه هایی مانند مدیریت تقاضا، تهیه و اجرای سفارش، بهبود بخشند (کوپر و همکاران[۱] ۱۹۹۷).

۱-۱۰-۲ زنجیره تامین معکوس: به عنوان فعالیت های جمع آوری و بازیافت محصول در مدیریت زنجیره تامین (SCM)[۲] تعریف شده است. ویژگی های اقتصادی، جهت گیری های دولت و فشار مشتری، سه جنبه لجستیک معکوس است (ملو[۳] و همکاران ۲۰۰۹)

۱-۱۰-۳ عدم قطعیت (اطمینان): عدم قطعیت(اطمینان) بر مبنای نظر گالبریت (۱۹۷۳) به تفاوت بین مقدار اطلاعات مورد نیاز برای اجرای یک وظیفه و مقدار اطلاعات واقعاً در دسترس اطلاق میشود. در فرآیند تصمیم برنامه- ریزی زنجیره های تأمین عدم اطمینان فاکتوری اساسی است که میتواند بر اثر بخشی پیکره بندی و هماهنگی زنجیره تأمین موثر باشد. (ربیعه، ۱۳۸۹).

۱-۱۰-٤ بهینه سازی استوار: در این رویکرد به دنبال جواب های نزدیک به بهینه ای هستیم که با احتمال بالایی موجه باشند یا به دنبال جوابی هستیم که بدترین عملکرد مورد را تحت مجموعه ای از سناریوها حداقل سازد. (فیض اللهی، ۱۳۸۶)

۱-۱۰-۵ الگوریتم MOPSO: برای حل مسائل چند هدفه ارائه شده است .در ا ین روش می توان پارامترها را به عنوان توابع هدف چند گانه در نظر گرفته و همزمان تمامی آن ها را در مقدار بهینه به دست آورد .به این ترتیب می توان به جای دستیابی به یک نقطه بهینه، به یک دسته نقاط بهینه به عنوان جبهه ی پارتو رسید. (بهداروند و همکاران ۱۳۹۴)

[۱] Cooper, et al
[۲] Supply chain management
[۳] Melo

فصل دوم

مرور ادبیات و پیشینه تحقیق

۲-مقدمه

در سال های اخیر بحث زنجیره تأمین چه در تئوری و چه در عمل به دلایل زیادی، جذابیت های فراوانی را فراهم آورده است. زنجیره های تامین برای تصاحب سهم بیشتری از بازار با هم رقابت می کنند .حتی اگر در حال حاضر هیچ رقیبی نباشد، زنجیره های تامین باید برای شرایط رقابتی احتمالی آینده در طراحی شبکه زنجیره تامین آماده باشند .طراحی شبکه زنجیره تامین، تعیین کننده ساختار مؤثر بر هزینه ها و عملکرد زنجیره است .همچنین مرتبط با تصمیمات مختلفی همچون تعیین تعداد، اندازه و مکان تسهیلات در یک زنجیره تامین است و می تواند شامل تصمیمات تاکتیکی (مانند توزیع، حمل ونقل و سیاست های مدیریت موجودی) و تصمیمات عملیاتی (مانند تامین تقاضای مشتریان) باشد (زنجیرانی فراهانی و همکاران۲۰۱۳).

بحث استواری، از مباحث نسبتا جدید علم پژوهش عملیاتی می باشد و با واژه هایی چون عدم قطعیت یا عدم اطمینان، عدم دقت و... همراه است و به عبارتی استواری و مدل های مربوطه به منظور مقابله با عدم اطمینان و واژه های مشابه مورد استفاده قرار می گیرند. در این فصل ابتدا به مبانی نظری در این حوزه و سپس به مدل های استوار ریاضی پرداخته و در نهایت مروری جامع بر ادبیات طراحی زنجیره تأمین بر اساس تقسیم بندی های موجود در این زمینه می پردازیم.

الف) بخش اول: مبانی نظری

۲-۱ تعاریف زنجیره تامین

در ابتدا به مروری از تعاریف اولیه ارائه شده در حوزه زنجیره تأمین پرداخته می‌شود و سپس نگاه یکپارچه ای به این حوزه صورت می گیرد.

واژه ی زنجیره ی تامین نخستین بار در سال ۱۹۸۲ توسط اولیور و وبر، دو مشاور حرفه ای استفاده شد که این واژه را به عنوان شبکه ای از سازمان های بهم مرتبط در ارتباطات به طور بالا دستی و پایین دستی، در فرایندها و فعالیت هایی که به تولید ارزش در محصولات و خدماتی که برای مصرف نهایی تعریف کردند .بعد از آن، بسیاری از محققین تلاش کردند تا به فهم و توضیح اینکه چگونه سازمان ها باید فعالیت هایشان را در زنجیره کامل کرده و جریان مواد، اطلاعات و پول را

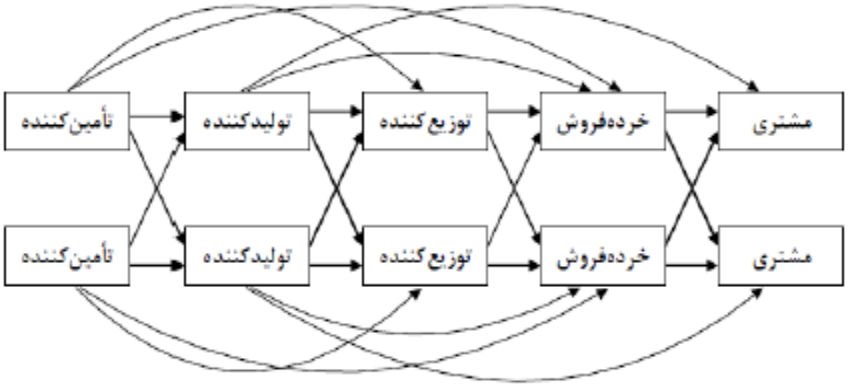
برای تامین بهتر تقاضای بازار هماهنگ نموده و به بهبود رقابت در مجموعه ی زنجیره بپردازند، دست یابند.(استادلر[۱]،۲۰۱۱).

کریستوفر زنجیره تأمین را به عنوان شبکه ای از سازمانها که از طریق مشارکت در ارتباط های بالا دستی و پایین دستی در فرایند ها و فعالیت های متفاوت که به شکل ایجاد ارزش در محصولات و خدمات برای مشتریان ظاهر می شود، تعریف می‌کند (کریستوفر[۲] ۱۹۹۸).

یک زنجیره تأمین شامل همه بخش هایی است که به طور مستقیم و غیرمستقیم در برآورد نیازهای مشتری درگیر هستند و تنها شامل تأمین کنندگان و مشتریان نبوده بلکه شامل حمل و نقل، انبار، خرده فروشان و حتی خود تولیدکنندگان نیز می‌باشد. یک زنجیره تأمین بطور عمومی شامل تنوعی از مراحل به شرح ذیل می‌باشد:

- ✓ تأمین کنندگان؛
- ✓ تولیدکنندگان؛
- ✓ توزیع کنندگان؛
- ✓ خرده فروشان؛
- ✓ مشتریان؛

در واقع هر یک از مراحل مذکور توسط جریان محصولات، اطلاعات و سرمایه (پول) با یکدیگر مرتبط می شوند.(چوپرا ۲۰۰۷).



شکل۲-۱- نمایش اجزا و مراحل زنجیره تأمین (چوپرا، ۲۰۰۷)

[۱] Stadtler
[۲] Christopher

زنجیره ی تامین از دو یا تعداد بیشتری سازمان مستقل از نظر قانونی تشکیل شده است که توسط جریان های مواد، اطلاعات و مالی به یکدیگر وصل شده اند. این سازمان ها ممکن است شرکت هایی باشند که قطعات، اجزا یا محصول نهایی تولید می کنند، خدمات پشتیبانی ارائه می دهند یا حتی مشتری نهایی باشند. هدف نهایی تمام زنجیره های تامین دست یابی به رقابت پذیری بالاتر است. بنابراین رقابت از سطح سازمان ها به سطح زنجیره های تامین کشیده شده است. یکی از الزامات افزایش رقابت پذیری، فراهم کردن سطح خدمت بالاتر برای مشتریان با حداقل هزینه است. دو ابزار اصلی برای افزایش رقابت پذیری زنجیره های تامین عبارت اند از: یکپارچه سازی سازمان ها و دیگری هماهنگی جریان های مواد، اطلاعات و مالی. از این منظر، غلبه بر مرزهای سازمانی، راهبردهای اتحاد و سرعت بخشیدن به جریان ها در زنجیره تامین موضوعات رایج هستند(مروتی شریف آبادی، ۱۳۹۱).

همه فرآیندهای زنجیره تامین در سازمان می تواند به سه دسته فرآیند اصلی تقسیم شود: الف) مدیریت ارتباط با مشتری، ب) مدیریت زنجیره تامین داخلی، ج) مدیریت ارتباط با تامین کنندگان؛ این فرآیندهای اصلی جریان اطلاعات، محصول و سرمایه را که برای دریافت، تولید و انجام خواست مشتری نیاز است، مدیریت می کند (کیانی مأوی و همکاران، ۱۳۹۰)

۲-۲ تعاریف مدیریت زنجیره تامین

در سال های اخیر مدیریت زنجیره تامین به دلیل جهانی شدن بازارهای کسب و کار، اهمیت بیشتری پیدا کرده است. مدیریت زنجیره تامین نتیجه تکامل مدیریت انبارداری است. در دهه ۱۹۶۰ کارشناسان با مطالعه بر روی رابطه داخلی بین انبارداری و حمل و نقل و یکپارچه سازی آن ها قادر به کاهش موجودی خود شدند که حاصل این مطالعات مدیریت توزیع نام گرفت. در مسیر تکامل با اضافه شدن مباحث مدیریت ساخت، تدارکات و سفارش ها به مدیریت توزیع، مفهوم لجستیک پدید آمد و وضعیت کنونی یعنی زنجیره تامین نتیجه به هم پیوستن حلقه های عملیاتی مختلف است که در ابتدای آن تامین کنندگان و در انتهای آن مشتریان قرار دارند. (مروتی شریف آبادی، ۱۳۹۱).

جدول ۲-۱- تعاریف اولیه مدیریت زنجیره تامین

نویسنده	سال	تعریف
الرام[۱]	۱۹۹۱	شبکه ای از شرکت هاست که برای تحویل محصول یا خدمت در ارتباط با یکدیگر قرار دارند و جریان مواد از عرضه مواد اولیه تا تحویل نهایی را در بر می گیرد.
توماس[۲] و همکاران	۱۹۹۶	مدیریت زنجیره تأمین کنترل جریان مواد بین فروشندگان، تسهیلات، انبار و مشتریان می‌باشد، بطوری که مجموع هزینه ها در زنجیره تأمین بتواند حداقل شود
سیمچی و همکاران[۳]	۲۰۰۰	مدیریت زنجیره تأمین یک مجموعه از روش هایی است که برای یکپارچه نمودن موثر عرضه کنندگان ،تولید کنندگان، انبارها و فروشگاه ها به کار می رود، تا محصولات مورد نیاز به مقدار مشخص و در زمان معین و در مکان معین تولید شده و به مشتریان عرضه شود تا هزینه های کل زنجیره حداقل شود و در ضمن نیاز مشتریان با سطح سرویس بالا برآورده شود
جعفرنژاد و همکاران	۱۳۹۱	مدیریت مؤثر زنجیره تامین شامل، مدیریت دارایی ها، محصولات، اطلاعات و جریان های مالی موجود در آن است تا حداکثرسازی سود زنجیره تامین برآورده گردد
هوگوا[۴]	۲۰۰۶	مدیریت زنجیره تامین شامل هماهنگی فعالیت های تولید، موجودی کالا ،موقعیت یابی و حمل و نقل میان فعالان زنجیره ی تأمین با هدف دستیابی به کارایی بیشتر و برآورده کردن انتظارات مشتریان
ژائو و همکاران[۵]	۲۰۱۶	مدیریت زنجیره تامین شامل برنامه ریزی، و مدیریت تمام فعالیت های دخیل در منبع یابی، تدارکات ، بازاریابی و فعالیتهای مدیریت آماده سازی می باشد

[۱] Ellram
[۲] Thomas
[۳] Simchi, et al
[۴] Hugos
[۵] Zhao

تیلور[1] (۱۹۹۷) مدیریت زنجیره تأمین را به موارد زیر تقسیم نموده است:

- ✓ استراتژی تهیه و توزیع کالا در زنجیره تأمین
- ✓ مدیریت خرید و تهیه و تدارک کالا
- ✓ تدارکات تولید
- ✓ برنامه ریزی و استراتژی توزیع
- ✓ برنامه ریزی جهت نگه داری کالا در انبار و مدیریت عملیاتی
- ✓ مدیریت موجودی
- ✓ مدیریت حمل و نقل
- ✓ تهیه و توزیع کالا در سطح بین المللی و استراتژی های ورود به بازارهای بین المللی

تعریف تیلور نشان دهنده آن است که تهیه و توزیع کالا زیرمجموعه ای از مدیریت زنجیره تأمین می باشد .هر کدام از این موارد می تواند به عملکرد بهتر فرایند زنجیره تأمین کمک کرده و در نتیجه باعث رضایت ذینفعان گردد.

۲-۳ تاریخچه زنجیره تامین

در طول دو دهه اخیر، مدیران شاهد یک دوره تغییرات شگرف جهانی به واسطه پیشرفت در تکنولوژی، جهانی شدن بازارها و شرایط جدید اقتصاد سیاسی بوده اند. با افزایش تعداد رقبا در کلاس جهانی، سازمان ها مجبور شدند که سریعا فرآیندی درون سازمانی را برای باقی ماندن در صحنه رقابت جهانی بهبود بخشند. در دهه ۱۹۶۰ سازمان ها به توسعه جزئیات استراتژی های بازار همت گماردند که بر برآورده کردن رضایت مشتریان متمرکز بود. آن ها بدین درک نایل آمدند که مهندسی و طراحی قوی و عملیات تولید منسجم و هماهنگ، پیش‌نیاز دستیابی به نیازمندی های بازار و در نتیجه سهم بازار بیشتر است. بنابراین، طراحان مجبور شدند که ایده آل ها و نیازمندی های مورد نظر مشتریان را در طراحی محصولات خود بگنجانند و در حقیقت محصولی را با حداکثر سطح کیفی ممکن، در حداقل هزینه، توام با ایده آل های مورد نظر مشتری روانه بازار سازند.

در دهه ۱۹۸۰ با افزایش تنوع در الگوهای مورد نظر مشتریان، سازمان های تولیدی به طور فزاینده‌ای به افزایش انعطاف پذیری در خطوط تولید، بهبود محصولات و فرآیندهای موجود و توسعه محصولات جدید برای ارضای مشتریان علاقه‌مند شدند که این موضوع به نوبه خود چالش های جدیدی را برای آن ها رقم زد . (تومالا و اسچنهر[1] ۲۰۰۶).

[1] Taylor

در دهه ۱۹۹۰ به موازات بهبود در توانمندی های تولید، مدیران صنایع درک کردند که مواد و خدمات دریافتی از تامین کنندگان مختلف تاثیر بسزایی در افزایش توانمندهای سازمان به منظور بر خورد با نیازمندی های مشتریان دارد که این امر به نوبه خود، تاثیر مضاعفی در تمرکز سازمان و پایگاه های تامین و استراتژی های منبع یابی برجا نهاد. هم چنین مدیران دریافتند که صرفا تولید یک محصول کیفی، کافی نسبت، در واقع تامین محصولات با معیارهای مورد نظر مشتری (چه موقع، کجا، چگونه) و با کیفیت و هزینه مورد نظر آن ها، چالش های جدیدی را به وجود آورد. (زاهدی، ۱۳۹۲). در چنین شرایطی به عنوان یک نتیجه گیری از تغییرات مذکور دریافتند که این تغییرات در طولانی مدت برای مدیریت سازمان‌شان کافی نیست. آن ها باید در مدیریت شبکه همه کارخانجات و شرکت هایی که ورودی های سازمان آن ها را به طور مستقیم و غیرمستقیم تامین می کردند، همچنین شبکه شرکت هایی مرتبط با تحویل و خدمات بعد از فروش محصول به مشتری درگیر می شدند. با چنین نگرشی، رویکرد های زنجیره تامین و مدیریت آن پا به عرصه وجود نهاد.(هوگوا[۲]، ۲۰۱۱). از طرف دیگر با توسعه سریع فناوری اطلاعات درسال های اخیر و کاربرد وسیع آن در مدیریت زنجیره تامین، بسیاری از فعالیت های اساسی مدیریت زنجیره با روش های جدید درحال انجام است. (کاکس[۳]، ۱۹۹۹)

به طور خلاصه:

- ✓ در دو دهه ۶۰ و ۷۰ میلادی سازمان ها به دنبال افزایش کارایی بودند.
- ✓ در دهه ۸۰ میلادی انعطاف پذیری مطرح شد.
- ✓ در دهه ۹۰ میلادی رویکردهای زنجیره تامین و مدیریت آن پا به عرصه وجود نهاد.

تحقیقات لجستیک متاثر از جنبه های اقتصادی و رفتاری است .رویکردهای اقتصادی توجه خود را در کمینه کردن هزینه ها و بیشینه نمودن سود معطوف می دارند، در حالی که رویکردهای رفتاری بر جنبه های اجتماعی و روانشناسی این مفهوم تمرکز دارند .براساس این دو حوزه به طور کاملا متفاوت، محققین روش های تحقیق کیفی و کمی متعددی را مورد بررسی قرار داده اند (ساشان و داتا[۴]، ۲۰۰۵)

[۱] Tummala & Schoenherr
[۲] Hugos
[۳] Cox
[۴] Sachan & Datta

۲-٤ طراحی شبکه زنجیره تامین

در سال های اخیر، مساله طراحی شبکه زنجیره تامین به دلیل رقابت های جهانی به یکی از مسائل مهم در حوزه زنجیره تامین تبدیل شده است. توسعه سریع تکنولوژی های ارتباطی و جهانی سازی، منجر به افزایش عدم قطعیت در تقاضاها و تغییرات زیادی در رفتار و ترجیحات مشتری شده است. بنابراین طراحی مناسب یک شبکه زنجیره تامین از نیازهای شرکت ها در دنیای امروز است (ملو و همکاران[۱]، ۲۰۰۹)

در طراحی شبکه، مکان یابی و نقش واحد ها، تخصیص محصول، برنامه ریزی ظرفیت راهبردی و توسعه حمل و نقل و روش های تبادل اطلاعات مورد توجه قرار می گیرد (مروتی شریف آبادی، ۱۳۹۱)

پیکربندی شبکه تسهیلات یا طراحی شبکه زنجیره تامین تعیین کننده تعداد و مکان تمامی انواع تسهیلات مورد نیاز برای زنجیره تامین و همچنین تعیین کننده وظایف و روابط میان هر یک از تسهیلات است به طوری که ارزش کل زنجیره حداکثر گردد (زاهدی ۱۳۹۲).

در مدیریت زنجیره تامین، سه سطح تصمیم گیری استراتژیک، تاکتیکی و عملیاتی وجود دارد:

تصمیمات استراتژیک: مهم ترین نوع تصمیمات هستند که جهت و خط مشی کلی سازمان را مشخص می‌کنند؛ اثرات طولانی مدتی دارند، منابع زیادی را درگیر می کنند و تهدیدها و فرصت های زیادی به
همراه دارند.

تصمیمات تاکتیکی: با پیاده کردن استراتژی ها در میان مدت سر و کار دارند؛ به جزئیات بیشتری دقت
می کنند و منابع کمتری درگیر و خطرات کمتری هم دارند.

تصمیمات عملیاتی: فعالیت های جزئی تر در کوتاه مدت را در بر می گیرند، خطرات کمی دارند و منابع
کمی نیز مصرف می کنند (رامشانی، ۱۳۹۳).

طراحی شبکه زنجیره تأمین جنبه های استراتژیک و تاکتیکی برنامه ریزی را مورد خطاب قرار می‌دهد . تصمیمات طراحی شبکه در زنجیره تامین ، مسائلی چون تخصیص وظایف، تاسیسات، مکان های تولیدی، انبار و همچنین حمل و نقل مرتبط با زنجیره را شامل شده و در کنار این مسائل، ظرفیت و وضعیت بازار هر یک از تسهیلات را بررسی می نماید .تصمیمات مربوط به طراحی شبکه در زنجیره تامین در رابطه با شاخص های زیر است:

۱)نقش تسهیلات: نقش هر ساختمان چیست و چه فرایندهایی باید در آن صورت پذیرند.

[۱] Melo, et al

۲) مکان تسهیلات: محل قرار گرفتن هر ساختمان با توجه به هدف و کارکرد آن باید در چه نقطه یا منطقه ای واقع شود.

۳) ظرفیت تسهیلات: هر یک از ساختمان ها باید چه مقدار از ظرفیت را در خود نگهداری نمایند.

۴) بازار تسهیلات: هر یک از تاسیسات به منظور تامین نیاز چه بازار یا بازارهایی راه اندازی شده است. از سوی دیگر هر یک از تاسیسات چه منابع یا تامین کنندگانی برای پشتیبانی در اختیار دارد.(جعفرنژاد،۱۳۹۱).

مسئله طراحی شبکه زنجیره تامین به دلیل افزایش رقابت ناشی از جهانی شدن بازار، اهمیت دارد و یکی از جامع ترین تصمیم های استراتژیک است که باید برای عملیات طولانی مدت کل زنجیره تامین بهینه سازی شود. عملیات شبکه های زنجیره تامین کارآمد معمولا نیاز به پروسه های متعددی دارد که عبارتند از: (۱) تخصیص تولید با مقادیر خاصی از محصولات تولید شده برای پاسخگویی به تقاضای خرده فروشان (۲) برنامه ریزی توزیع و فرایند لجستیک برای تعیین کانال توزیع بهینه (۳) فرایند کنترل موجودی که موجودی را در مراکز توزیع با ذخیره سازی تأثیر می گذارد. این فرایندها باید به صورت مشترک بهینه شوند تا تقاضای و نیازهای خرده فروشان را برآورده سازند و همچنین هزینه کل شبکه زنجیره تامین را به حداقل برسانند

۲-۵ استواری، مفهوم و نقش آن در تحقیق در عملیات

یکی از مواردی که تأثیر بسیاری بر مدل سازی شبکه لجستیک معکوس دارد، در نظر گرفتن شرایط عدم قطعیت است. در لجستیک معکوس، پارامترهایی مثل ظرفیت مراکز، تقاضا، هزینه و کیفیت میتوانند غیرقطعی باشند. بنابراین، طراحی زنجیره تأمینی که در برابر عدم قطعیت داده ها مقاوم باشد اهمیت بسزایی خواهد داشت. عدم قطعیت مؤثر در سیستم های تولیدی در دنیای واقعی به دو گروه تقسیم میشوند:

۱. عدم قطعیت محیطی

۲. عدم قطعیت سیستمی

در حوزه زنجیره تأمین، عدم قطعیت محیطی مربوط به عدم قطعیت در میزان عرضه و تقاضای به ترتیب تأمین کنندگان و مشتریان است. عدم قطعیت سیستمی مربوط به عدم قطعیت در فرآیندهای تولید، توزیع، جمع آوری و بازیابی، مانند عدم قطعیت در زمان تحویل، هزینه تولید و ظرفیت واقعی فرآیندهای مختلف است (پیشوایی و همکاران، ۲۰۱۰)

برخی دلایل عدم قطعیت عبارتند از:

- خطای پیش بینی: عدم قطعیت در داده ها و مشخص نبودن مقدار پارامترهای زمان حل مساله
- خطای اندازه گیری: خطاهای اندازه گیری و تخمین پارامترها

- خطای اجرا: خطاهای پیاده سازی و استفاده از جواب بهینه

تفاوت هایی بین دو مفهوم عدم قطعیت و ریسک وجود دارد که باید به آن توجه شود عدم قطعیت به وضعیتی اطلاق میشود که در آن، شخص نمیتواند با اطلاعاتی که در اختیار دارد، رفتار و سایر خصوصیات یک سیستم را از بعد کمی و کیفی به صورت دقیق توصیف، تعیین و یا پیش بینی کند. همچنین براساس تعریف نایت ، عدم قطعیت، وضعیتی است که در آن احتمالات مربوط به وقایع، قابل تشخیص و تعیین نیستند. تصمیم گیرنده ممکن است تمامی رخدادهای ممکن را بداند، اما هیچ راهی برای تعیین احتمالات مربوط به آنها وجود ندارد و یا تنها برخی از گزینه ها یا رخدادهای مربوط به آنها شناخته شده است، اما ریسک به وضعیتی اطلاق میشود که در آن تصمیم گیرنده گرچه تمام گزینه های مختلف را می‌شناسد، اما نتایج حاصل از انتخاب هر گزینه به صورت تعدادی رخداد احتمالی است. بنابراین، با نامعلوم بودن نتایج هر گزینه، احتمالاتی برای آن در نظرگرفته میشود (قاسمی و محمودزاده، ۱۳۸۹).

رویکردهای زیادی در مورد عدم قطعیت ارائه شده است. معروف ترین این رویکردها عبارتند از: ۱) برنامه ریزی فازی، ۲) برنامه ریزی تصادفی، ۳) برنامه ریزی پویا، ۴) بهینه سازی استوار.

مسائل تصمیم گیری اغلب به دلیل عدم دقت، تغییرپذیری مستمر و ناتوانی در دیدن وقایع آینده با عدم اطمینان هایی موجه هستند .نویسندگان بسیاری بحث استواری را مورد تحقیق و بررسی قرار داده و نتیجه کار آنها منجر به حوزه تحقیقاتی وسیعی شده است(هیتس و همکاران[۱]،۲۰۰۶)

به لحاظ تاریخی بهینه سازی در شرایط غیرقطعی در اواخر دهه ۱۹۵۰ شروع شد و هم در زمینه تئوری و هم در زمینه الگوریتم به سرعت پیشرفت کرد. رویکردهای زیادی برای بهینه سازی در شرایط غیرقطعی مورد استفاده قرار گرفته است که از آن جمله، کمینه کردن امید ریاضی، کمینه کردن انحراف از آرمانها، کمینه کردن بیشترین هزینه ها را می‌توان نام برد.

در روش های کلاسیک برای در نظر گرفتن عدم قطعیت داده ها از رویکرد تحلیل حساسیت نیز بهره می گیرند. در این رویکرد متخصصین و مدلسازها در ابتدا از تأثیر عدم قطعیت داده ها بر روی مدل چشم پوشی کرده و متعاقباً برای صحه گذاشتن بر جوابهای بدست آمده از تحلیل حساسیت استفاده میکنند. اما تحلیل حساسیت تنها ابزاری برای تحلیل خوب بودن جواب است و نمی‌توان از آن برای تولید جواب های استوار استفاده کرد. علاوه بر آن انجام تحلیل حساسیت توأم در مدل هایی که به تعداد زیادی داده غیرقطعی دارند، عملی نمی‌باشد (فیض الهی، ۱۳۸۶).

رویکرد دیگری که در سال های اخیر برای مقابله با عدم قطعیت داده ها، بسط داده شده است، بهینه سازی استوار میباشد . که در آن به بهینه سازی در هنگام رخ دادن بدترین موارد پرداخته میشود که ممکن است منجر به یک تابع هدف کمینه کردن

[۱] Hites, et al

ماکسیمم شود . در این رویکرد به دنبال جواب های نزدیک به بهینه ای هستیم که با احتمال بالایی موجه باشند . به عبارت دیگر با کمی صرف نظر کردن از تابع هدف، موجه بودن جواب بدست آمده را تضمین میکنیم . البته در مورد عدم قطعیت در ضرایب تابع هدف، باکمی صرف نظر کردن از مقدار تابع هدف بهینه، به دنبال جوابی هستیم که با احتمال بالایی جوابهای واقعی بهتر از آن جواب باشند.(فیض اللهی، ۱۳۸۶).

روی[۱] (۲۰۱۰) در این تعریف بحث چند معنی بودن واژه استواری را مطرح می نماید و بر این اعتقاد است که چند معنی بودن می تواند ناشی از موقعیت یا شرایط باشد. ایشان بیان داشته که در حالت کلی مفهوم یا تفکر استواری می تواند با مفاهیمی چون:

- انعطاف پذیری
- ثبات، پایایی، پایداری
- حساسیت (حساس بودن)
- عدالت، انصاف و برابری

ارتباط داشته باشد. با این توصیف تعریف ایشان از واژه استوار به شرح ذیل می باشد: استوار صفتی است که به ظرفیتی برای پایداری تخمین های مبهم و یا نقاط نامشخص به منظور ممانعت از اثرات نامطلوب تنزل ویژگی هایی که مورد نظر است و باید آن را حفظ کرد، اطلاق می شود.

اولین گام و تحقیق در این راستا از سویستر ارائه گردید که یک مدل برنامه ریزی خطی را برای تولید جوابی که برای همه داده های متعلق به یک مجموعه محدب موجه است، ارائه کرد. مدل مذکور جوابهایی ارائه میکند که در قبال بهینگی مسأله اسمی به منظور اطمینان از استواری، به شدت محافظه کارانه عمل می کند. بدین معنی که در این رویکرد برای اطمینان از استوار بودن جواب، به مقدار زیادی از بهینگی مساله اسمی دور میشود. در این مدل هر داده ورودی میتواند هر مقداری از یک بازه را بگیرد (بن تال و نمیروفسکی[۲]، ۲۰۰۰ و برتسیمس و سیم[۳]،۲۰۰۴).

پس از این گام های مهم دیگری بطور مستقل در توسعه تئوری بهینه سازی استوار توسط بن تال ونمیروسکی، ال قاووی و لبرنت، ال قاووی و همکاران صورت گرفته است. بن تال و نمیروفسکی و ال قاووی با فرض اینکه داده ها در مجموعه های بیضوی دارای عدم قطعیت هستند، به محافظه کاری بیش از حد نیز توجه داشته و روش های کارایی برای حل مسائل بهینه سازی محدب در شرایط عدم قطعیت داده ها ارائه نموده اند، اما با توجه به اینکه فرموله بندی های استوار بدست آمده در

[۱] roy
[۲] Ben-Tal & Nemirovski
[۳] Bertsimas & Sim

روش های این محققان، مسائل درجه دو مخروطی می‌باشند، این روشها نمی‌توانند به طور مستقیم برای مسائل بهینه سازی گسسته، کارا باشند (بن تال ونمیروفسکی، ۲۰۰۰).

در سال ۱۹۹۵ مالوی و همکاران در پژوهشی با عنوان بهینه سازی استوار به بحث بهینه سازی استوار مسائل برنامه ریزی ریاضی با داده های نوسانی (نامطمئن) می پردازد . این بهینه سازی مرتبط با مسائلی است که جنس داده های آن از نوع سناریو باشد . ایشان در این تحقیق بیان می دارند که در کاربردهای تحقیق در عملیات، مدل های برنامه ریزی ریاضی با داده های نوسانی ، خطادار و ناکامل مورد استفاده است. مواجهه با این نوع داده ها از طریق تحلیل حساسیت یا فرمول بندی برنامه ریزی احتمالی با مشکلاتی مواجه می باشد . همچنین برای حالتی که مقادیر داده های مسأله توسط مجموعه ای از سناریوها توصیف شود (در مقایسه با تخمین های نقطه ای) از برتری های مدل پیشنهادی سخن به میان می آورند . از نظر ایشان دو تعریف مهم در حوزه مدل استوار وجود دارد، یعنی جواب استوار و مدل استوار که در ذیل به هر یک اشاره می گردد :

یک جواب برای مدل بهینه سازی، جوابی استوار نامیده می شود، اگر آن جواب برای همه سناریوهای داده های ورودی مدل " نزدیک " به بهینه باقی بماند، و همچنین مدلی استوار است که " تقریباً " برای همه سناریوهای داده های ورودی موجه باشد (مالوی و همکاران[۱] ۱۹۹۵).

ب) معرفی روش ها ریاضی حل مدل

۲-٦ مدل های ریاضی استوار

برنامه ریزی پیرامون استواری را می توان در قالب سه نوع مدل ریاضی استوار زیر معرفی نمود:

۱) مدل های برنامه ریزی استوار با داده های بازه ای

۲) مدل استوار سناریویی (مدلی استوار مالوی و همکاران ۱۹۹۵)

۳) مدل برنامه ریزی خطی استوار فازی (FRLP) (ربیعه، ۱۳۹۰)

در ادامه به تشریح این سه دسته مدلی پرداخته شده است .

[۱] Mulvey, et al

۲-٦-۱ مدل استوار مبتنی بر سناریو

مالوی و همکاران (۱۹۹۵) در تحقیقی با عنوان " بهینه سازی استوار (RO)[۱] سیستم های با مقیاس بزرگ" به بحث بهینه سازی استوار مسائل برنامه ریزی ریاضی با داده های نوسانی (نامطمئن) می پردازد. این بهینه سازی مرتبط با مسائلی است که جنس داده های آن از نوع سناریو باشد. ایشان در این تحقیق بیان می دارند که در کاربردهای تحقیق در عملیات، مدلهای برنامه ریزی ریاضی با داده های نوسانی ، خطادار و ناکامل مورداستفاده است. مواجهه با این نوع داده ها از طریق تحلیل حساسیت یا فرمول بندی برنامه ریزی احتمالی با مشکلاتی مواجه می‌باشد. همچنین برای حالتی که مقادیر داده های مسأله توسط مجموعه ای از سناریوها توصیف شود (در مقایسه با تخمین های نقطه ای) از برتری های مدل پیشنهادی سخن به میان می آورند.

ایشان بیان می دارند که در حقیقت هنگامی که دانشمندان تحقیق در عملیات در تلاش هستند تا مدلی از سیستم دنیای واقعی را بسازند آنها با مسأله داده های نوسانی، ناکامل و خطادار (همراه با خطا) مواجه می شوند. در حقیقت در کاربردهای دنیای کسب و کار دادههای نوسانی رایج و متداول میباشد. نرخ بازگشت های مالی، تقاضای محصول، هزینه سوخت مثال هایی نمونه از داده های مدل هستند که معمولاً با برخی توزیع های احتمالی شناخته می شوند. در حوزه های علوم اجتماعی، مهندسی، علوم فیزیک و... نیز دادههای نوسانی قابل مشاهده است. در مقابل در مدلهای برنامه ریزی ریاضی عموماً فرض می شوند، داده ها قطعی هستند و مدل ها به وسیله "بهترین حدس " مقادیر نامطمئن و یا در بدترین (بدبینانه ترین) حالت حل می شوند. اما راه حل هایی مثل "مقادیر میانگین (متوسط)" یا "بدترین حالت" در مواجهه با دادههای نامطمئن کفایت نمی کنند. برای مثال بریج[۲] (۱۹۸۲) اثبات کرده است، هنگامی که مسائل را با لحاظ مقادیر میانگین یا متوسط برای داده ها حل می کنیم، خطاهای زیادی رخ می دهد. فرمول هابندی مسأله در حالت بدبینانه یا بدترین حالت نیز موجب می شود که خیلی محافظه کارانه عمل کنیم و موجب می شود که به جوابهای گران و پرهزینه ای دست یابیم.

دانشمندان مدیریت به منظور سازش و انطباق بین داده های دنیای واقعی و قلمرو برنامه ریزی ریاضی از تحلیل حساسیت استفاده نموده اند. هدف از این نوع بررسی های پس از حل پی بردن و کشف اثر نگرانی های داده ها در قبال خروجی های مدل میباشد. چنین بررسی های پس از حلی از نوع واکنشی هستند یا اصطلاحاً خاصیت واکنش پذیری دارند.

[۱] Robust optimizatrion
[۲] Bridge

مالوی و همکاران (۱۹۹۵) معتقدند که روشی پیشگیرانه[۱] مورد نیاز می‌باشد. به عبارتی ایشان معتقدند که به جای استفاده از روش های واکنشی مثل تحلیل حساسیت از روش های پیشگیرانه استفاده شود. بنابراین باید مدل هایی طراحی و مدلسازی شوند که در مقایسه با مدلی های برنامه ریزی ریاضی کلاسیک نسبت به داده های مدل کمتر حساس باشند. یکی از این مدل ها برنامه ریزی خطی احتمالی است اما رویکردی که توسط مالوی و همکاران در این خصوص ارائه شده است، بهینه سازی استوار نامیده می شود. این روش از مفهوم برنامه ریزی آرمانی در راستای توصیفی مبتنی بر سناریو (سناریو محور) از داده های مساله عمل میکند و کمتر نسبت به تغییر در داده ها حساس است. این روش اگر چه دارای محدودیت هایی است اما نسبت به برنامه ریزی خطی احتمالی مزایایی دارد و به طور کلی کاربردی تر است. در این مدل ترکیبی از دو هدف موجه ماندن و بهینگی برای تمامی سناریوهای در نظر گرفتره شرده، ارائه شده است و بر این اساس با توجه به سناریوها و داده های ورودی، جوابی به عنوان جواب استوار ارائه می شود. مدل ملوی شامل دو جز اساسی است. یک، جز ساختاری که همان جز ثابت مدل اسرت و صررفاً برا داده های قطعی سر و کار دارد و دیگری، جز کنترلی است که داده های تصادفی را در برر مری گیررد. بنرابراین دو دسته متغیر مانند زیر باید تعریف شوند.

X: این متغیر به عنوان جز ثابت مدل است به عبارت دیگر بردار متغیرهای تصادفی در فضای n_1 است به طوری که مقدار بهینه آن تحت تأثیر محدودیت با مقادیر تصادفی نمی شود.

Y: این متغیر به عنوان جز کنترل مدل مورد استفاده قرار می گیرد به عبارت دیگر بردار متغیرهای تصادفی در فضای n_2 است به طوری که مقدار آن بر مبنای مقادیر غیر قطعی و مقادیر مشاهده شده مشخص می شود.

به این ترتیب مدل زیر در نظر گرفته شده است.

(۱-۲)

$$Minz = c^{T}x + d^{T}y \qquad ۱$$

$$Subject\ to: Ax = b \qquad ۲$$

$$Bx + Cy = e \qquad ۳$$

$$X \geq 0 \qquad ۴$$

معادله ۲ بیانگر محدودیتهای ساختاری است که ضرایب آن ثابت و فاقد هرگونه نویز و نوسان (ضرایبی مطمئن) هستند. معادله ۳ بیانگر محدودیتهای کنترل هستند. ضرایب این محدودیت در برگیرنده (مستعد) حالت نویزی و نوسانی هستند و معادله ۴ بیانگر اطمینان از بردارهای نامنفی می‌باشد.

[۱] Proactive

به منظور تعریف مسأله بهینه سازی استوار مجموعه ای از سناریوها بدین شکل تعریف می شود:

$\Omega=\{۱،۲،۳,..., s\}$

اکنون برای هر یک از سناریوهای باید پارامتر (e_s ,C_s ,B_s ,d_s) تعریف گردد. در حالی که s تعداد سناریوها و P_s احتمال وقوع هر یک از این بردارها باشد، رابطه ای به صورت زیر برقرار خواهد بود.

$\sum P_s=۱$

جواب بهینه مدل ریاضی فوق به لحاظ بهینگی، استوار خواهد بود. اگر به ازای هر تحقق یافتن(عملکرد) سناریو s ،" نزدیک" به بهینه باقی خواهد ماند و این " استواری جواب " نامیده می شود. جواب همچنین در قبال موجه بودن استوار است. اگر جواب به ازای هر تحقق یافتن (عملکرد) از s "تقریبا" موجه می‌باشد و این "استواری مدل" نامیده می شود.

در اکثر مواقع یک مدل نمی‌تواند هم دارای راه حل استوار باشد و هم خود مدل استوار باشد. در اکثر مواقع سناریوهایی وجود دارد که یکی از این موارد را نقض کنند. در این صورت مدلسازی باید بدنبال توازنی بین مدل استوار و راه حل استوار باشد. در اینجاست که برنامه ریزی آرمانی به مدلسازی کمک می‌کند تا این توازن را بدست آورد. بدین ترتیب مدلی به صورت زیر ارایه شده است.

(۲-۲)

$$Minz= (x,y_۱,y_۲,...,y_s)+ \omega\Sigma\rho(\delta_۱,...,\delta_s)$$

$$Subject\ to: Ax=b$$

$$B_s x+C_s y_s+ \delta_s=e_s ,\quad s\in\Omega$$

$$x\geq ۰ ,s\geq ۰ ,\qquad s\in\Omega$$

در مدل استوار مجموعه $\{y_۱,y_۲,...,y_s\}$ مجموعه ای از متغیر کنترل برای سناریو $s\in\Omega$ است. همچنین $\{\delta_۱,\delta_۲,...,\delta_s\}$ مجموعه ای از بردارهای خطا است که ناموجهی مجاز در محدودیتهای کنترل تحت سناریوی sرا اندازه گیری می کنند. با توجه به سناریوهای چندگانه، تابع هدف $\xi_s= c^Tx+d^Ty$ متغیری تصادفی است که مقدار $\xi_s= c^Tx+d_s{}^Ty_s$ را با احتمال p_s می گیرد. مبادله استواری جواب و استواری مدل به کمک مفهوم تصمیم گیری چند معیاره[۱] تعیین می شود. در حقیقت مدل بهینه سازی استوار فوق قادر است میزان این مبادله را بسنجد. در فرموله بندی برنامه ریزی خطی احتمالی مقدار میانگین $\sigma(.)=\Sigma_{s=\Omega} P_s\xi_s$ مورد استفاده قرار می گیرد. اما مدل استوار فوق که بهینه سازی استوار نامیده می شود، عبارت $\sigma(.)$ به

[۱] Multiple criteria decision making

صورت عبارتی غیرخطی لحاظ می شود. در حقیقت این مدل استوار مبتنی بر کاربردی از مدل برنامه ریزی غیرخطی احتمالی است (لئونگ[۱]، ۲۰۰۷ و مالوی و همکاران، ۱۹۹۵)

عبارت دوم در تابع هدف یعنی $(\delta_1,...,\delta_S)$ یک تابع جریمه مواجه بودن است که به منظور جریمه کردن نقض و تخطی از محدودیتهای کنترل با توجه به برخی از سناریوها مد نظر قرار می گیرد. نقض و تخطی از محدودیتهای کنترل به این مفهوم است که جواب غیرموجه برای یک مسأله در برخی از ستاریوها حاصل می شود. به کمک وزن توازن (مبادله) بین استواری جواب (که توسط واژه $\sigma(.)$، سنجیده می شود) و استواری مدل)که توسط عبارت $\rho(.)$ سنجیده می شود(میتواند تحت فرآیند تصمیمگیری چندمعیاره مدل شوند. برای نمونه اگر $\omega = 0$ باشد، تابع هدف عبارت $\sigma(.)$ را حداقل می کند و جواب ممکن است غیرموجه باشد در حالیکه اگر به ω مقدار نسبتاً بزرگی تخصیص یابد هزینه بیشتری را حاصل می کند. (لئونگ ۲۰۰۷ ، مالوی و همکاران، ۱۹۹۵ ، یو و لی[۲] ۲۰۰۰، مالوی و رازینسکی[۳] ۱۹۹۵).

واژه $\sigma(x,y_1,y_2,...,y_S)$ که به وسیله مالوی و همکاران (۱۹۹۵) ارائه شده که شامل مقدار میانگین (.) و به علاوه مقدار ثابت λ ضرب در واریانس آن است، به طوری که داریم:

(۳-۲)

$$(x, y_1, y_2,..., y_S)= \Sigma_{s\in S} P_s\xi_s + \lambda\Sigma_{s\in S} P_s(\xi_s-\Sigma_{s'\in S} P_{s'}\xi_{s'})^2$$

این راه حلی با افزایش کمتر به تغییر در داده ها تحت همه سناریوها حساس است (مالوی و رازینسکی ۱۹۹۵) واضح است که عبارت فوق شامل بخشی است که دارای توان دوم است و شکلی کوادراتیک[۴] در مدلسازی می‌باشد. بر این اساس یو و لی (۲۰۰۰) بیان می‌دارد که عبارت $\sigma(x,y_1,y_2,...,y_S)$ ارائه شده به وسیله مالوی و همکاران(۱۹۹۵) نیازمند محاسبات زیادی است. ایشان فرموله بندی زیر را به جای آن ارائه نمودند:

(۴-۲)

$$(x,_1,y_2,...,y_S)= \Sigma_{s\in S} P_s\xi_s+ \lambda\Sigma_{s\in S} P_s|\xi_s-\Sigma_{s'\in S} P_{s'}\xi_{s'}|$$

اما این تابع هدف هنوز هم غیرخطی است ولی قابل تبدیل به تابع خطی با اضافه کردن دو متغیر انحراف غیرمنفی میباشد. یو و لی پیشنهاد می دهند، در حقیقت به جای حداقل کردن مرجع انحرافات مطلق از میانگین دو تابع فوق، دو متغیر انحراف با

[۱] Leung
[۲] Yu & Li
[۳] Mulvey & Ruszczynski
[۴] Quadratic

توجه به محدودیت ها حداقل می گردد. اما یو و لی (۲۰۰۰) یک روش کارا (بر اساس روش حل مسائل برنامه ریزی آرمانی ارائه شده توسط لی (۱۹۹۶)) را ارائه می کنند.

رویکرد یو و لی (۲۰۰۰) بدین شکل می‌باشد:

(۵-۲)

$$Minz= \Sigma_{s\in S} P_s\xi_s+ \lambda\Sigma_{s\in S} [(\xi_s-\Sigma_{s'\in S} P_{s'}\xi_{s'})+2\theta_s]$$

$$Subject\ to: \xi_s-\Sigma_{s\in S} P_s\xi_s\geq 0$$

روشی پیشنهادی یو و لی (۲۰۰۰) مدل استوار را تبدیل به یک مدل خطی که n+rn متغیر اضافی دارد(n تعداد سناریوها و m تعداد محدودیتهای کنترل است) میکند در حالی که مدل پیشنهادی مالوی و همکاران ۲m+۲n متغیر نیاز دارد.

۲-۶-۲ در نظر گرفتن مجموعه عدم قطعیت به صورت بازه ای

در این رویکرد، داده های غیر قطعی با داده های قطعی در مدلی متفاوت جایگزین می‌شوند. در این زمینه مدل های مختلفی ارائه شده است که در ادامه به آنها پرداخته شده است.

قبل از تشریح مدل ها لازم به ذکر است که در مباحث رویکرد استوار به ازای هر مساله اسمی یک مدل استوار ارائه می گردد که " همتای استوار" نامیده می شود، به عبارتی با حل مدل همتای استوار جوابهای استوار برای مساله اصلی ارائه می گردد.

۲-۶-۲-۱ مدل سویستر[۱]

سویستر برای اولین بار در سال ۱۹۷۳ مدلی که در برابر تمام عدم قطعیت داده ها مصون بود، ارایه کرد. این مدل پاسخ هایی را نتیجه میداد که بسیار محافظه کارانه بودند. بدین ترتیب که برای موجه باقی ماندن، از مقدار زیادی بهینگی صرف نظر میشد. سویستر برنامه ریزی خطی زیر را به عنوان مسأله اصلی در نظر گرفت (بن تال و نمیروسکی، ۲۰۰۹)

(۶-۲)

$$Maximize\ C^Tx$$
$$Subject\ to: Ax \leq b$$
$$l\leq x\leq u$$

[۱] Soyster

به طوری که l و u و c بردارهایی n بعدی ، b با بعد m و A ماتریسی با ابعاد m × n است، فرض می شود تنها پارامترهای A غیرقطعی باشند.

در رویکرد سویستر، فرض میشود که در مسأله فوق، ضرایب تابع هدف و همچنین ضرایب سمت راست محدودیتها قطعی بوده و ضرایب متغیرها در محدودیتها، یعنی $\tilde{a}_{ij}$ ها متغیرهای تصادفی هستند که در بازه $[a_{ij} - \hat{a}, a_{ij} + \hat{a}_{ij}]$ مستقلاً نوسان میکنند (مقدار می گیرند). متغیر تصادفی $\eta_{ij}=(\tilde{a}_{ij}-a_{ij})/\hat{a}_{ij}$ را مرتبط با داده غیر قطعی $\tilde{a}_{ij}$ تعریف میکنیم که از یک توزیع ناشناخته در بازه[۱،۱−] پیروی میکند.

فرض قطعی بودن c و b هیچ خللی به کلیت مسأله وارد نمی کند، چرا که اگر در تابع هدف پارامتر نامطمئن داشته باشیم، تابع هدف نیز به راحتی قابل تبدیل به یک محدودیت می باشد. همچنین در صورتی که بردار b غیرقطعی باشند، همانند پارامترهای سمت چپ با آن رفتار می شود، به نحوی که می‌توان فرض کرد در یک متغیر با مقدار ثابت یک، ضرب شده باشد.

(۷-۲)

$$Maximize\ C^T x$$
$$Subject\ to: \Sigma_j a_{ij}\, y_j + \Sigma_j \hat{a}_{ij}\, y_j \le b_i \qquad \forall i$$
$$-y_j \le x_j \le y_j \qquad \forall j$$
$$l \le x \le u$$
$$y \ge ۰$$

x^* را جواب بهینه مدل همتای استوار فوق در نظر بگیرید. در حالت بهینگی، واضح است که $y_j = |x_j^*|$

پس داریم:

(۸-۲)

$$\Sigma_j\, a_{ij}\, x_j^* + \Sigma_j\, \hat{a}_{ij}\, |x_j^*| \qquad \forall i$$

سویستر نشان داد که به ازای همه $\tilde{a}_{ij}$ های ممکن برای داده های غیرقطعی، جواب بدست آمده موجه باقی می ماند، و از آن رو این جواب ،" استوار" است و داریم:

(۹-۲)

$$\Sigma_j\, \tilde{a}_{ij}\, x_j^* = \Sigma_j\, a_{ij}\, x_j^* + \Sigma_j\, \eta_{ij}\, \hat{a}_{ij}\, x_j^* \le \Sigma_j\, a_{ij}\, x_j^* + \Sigma_j\, \hat{a}_{ij}\, |x_j^*| \le bi \qquad \forall i$$

برای هر محدودیت i عبارت $\Sigma_j\, \hat{a}_{ij}|x_j^*|$ ، با حفظ یک فاصله بین $\Sigma_j\, a_{ij}\, x_j^*$ و b_i حفاظت لازم را تضمین می کند.

۲-۶-۲-۲ مدل بن تال و نمیروفسکی[۱]

بن تال و نمیروفسکی با فرض اینکه داده ها در مجموعه های بیضوی دارای عدم قطعیت هستند الگوریتم های کارایی برای حل مسائل بهینه سازی محدب تحت عدم قطعیت داده ها ارایه نموده اند. با این وجود با توجه به این که فرموله بندی های پایدار بدست آمده از مسایل درجه دو مخروطی می باشند، این روش ها نمی توانند به طور مستقیم برای مسائل بهینه سازی گسسته مورد استفاده قرار گیرند (بن تال و نمیرفسکی، ۲۰۰۰).

با وجود اینکه روش سویستر حداکثر حفاظت را موجب می شود، این روش در عمل محافظه کارانه ترین روش نیز میباشد و مقدار تابع هدف بسیار بدتری از مقدار تابع هدف مسئله بهینه سازی خطی اسمی ارائه میکند. برای حل این مشکل بن تال و نمیروفسکی همتای استوار زیر را برای مسئله بهینه سازی خطی اسمی ذکر شده ارائه کردند (بن تال و نمیروفسکی، ۲۰۰۰).

$$Maximize\ C^T x \qquad (۱۰-۲)$$

$$Subject\ to: \Sigma_j\, a_{ij}\, y_j + \Sigma_{j\epsilon Ji}\, \hat{a}_{ij}\, y_{ij} + \Omega_i \sqrt{\hat{a}_{ij}^2\, z_{ij}^2} \le b_i \qquad \forall i$$

$$-y_{ij} \le x_j - z_{ij} \le y_{ij} \quad \forall i,j \in J_i$$

$$l \le x \le u$$

$$y \ge ۰$$

جهت بررسی مدل فوق فرض می شود k ضریب، از m*n ضریب موجود در ماتریس A غیرقطعی باشند. به ازای مسأله بهینه سازی خطی اسمی ذکر شده که n متغیر و m محدودیت (بدون احتساب محدودیتهای کران متغیرها) دارد، مدل بن تال و نمیروفسکی یک مدل مسأله مخروطی درجه دو با n+۲k متغیر و m+۲k محدودیت است. از آنجا که این مدل غیرخطی می باشد جهت حل مدل های بهینه سازی گسسته مناسب نیست. بر طبق مدل فوق بن تال و نمیرفسکی نشان دادند که احتمال نقض شدن محدودیت iام حداکثر برابر $\exp(-\Omega_i^2/2)$است (بن تال و نمیرفسکی، ۲۰۰۰).

[۱] Ben-Tal & Nemirovski

۲-۶-۲-۳ مدل برتسیماس و سیم

مدل برتسیماس و سیم که در سال ۲۰۰۳ ارائه گردید، اهمیت بهینه سازی استوار را بررسی کرده است. در این جا به معرفی مدل برتسیماس و سیم که در این تحقیق نیز به کار گرفته شده است پرداخته میشود. مدل برنامه ریزی ریاضی زیر را در نظر بگیرید (برتسیماس و سیم[۱]، ۲۰۰۴).

مسأله برنامه ریزی عدد صحیح مختلط اسمی زیر را با مجموعه n متغیر که k تای اول آن متغیرهای عدد صحیح هستند را در نظر گرفته شده است.

(۱۱-۲)

Maximize C'x

Subject to: $Ax \leq b$

$l \leq x \leq u$

$x_i \in Z$, $i = ۱, \ldots, k$

بدون از دست دادن کلیت مسأله فرض میشود، ماتریس A و c شامل داده های غیرقطعی و بردار b شامل اعداد قطعی باشد. با فرض اینکه هرکدام از ضرایب a_{ij} ,$j \in N$ به صورت یک متغیر تصادفی مستقل، با توزیع متقارن و کراندار $\tilde{a}_{ij}$,$j \in N$ مدل می شود که در بازه $[a_{ij}- \hat{a}_{ij}, a_{ij}+ \hat{a}_{ij}]$ مقدار میگیرد. هر کدام از c_j ,$j \in N$ در بازه $[c_j-d_j, c_j+d_j]$ مقدار می گیرد، به طوری که d_j بیانگر انحراف از ضریب هزینه اسمی c_j می باشد. همچنین تنها فرض برای توزیع ضرایب a_{ij} متقارن بودن آن می باشد. علاوه بر این اگر عدد سمت راست نیز همانند ضرایب فنی در بازه ای متقارن نوسان کند، هیچ خللی به بحث وارد نمی شود و مدلسازی استوار آن شبیه ضرایب فنی صورت می گیرد. در راستای تحقق هدف استواری جواب، اعداد Γ_i ,$i=۰,۱,...,m$, تعریف می شود که در $[\ |J_i|\ ,\ ۰\ ]$ مقدار میگیرند، به طوری که $|J_i|$ برابر با تعداد داده های غیرقطعی در محدودیت iام میباشد. نقش پارامتر Γ_i در محدودیت ها، تنظیم میزان استواری در مقابل سطح محافظه کاری جواب میباشد. پارامتر $\Gamma_.$ سطح استوار بودن را برای تابع هدف کنترل میکند. اگر $\Gamma_.=۰$ باشد، اثر تغییرات در ضرایب هزینه به طور کامل لحاظ میشود. اما اگر $\Gamma_.=|J_.|$ باشد، همه تغییرات ممکن لحاظ میشود که محافظه کارانه ترین حالت میباشد. همتای استوار برتسیمس و سیم برای مدل(۲-۱۱) به شکل زیر است (برتسیمس وسیم، ۲۰۰۴ و برتسیمس ، ۲۰۰۶):

(۱۲-۲)

$$Min z = c'x + z_. \Gamma_. + \Sigma_{j \in j_.} p_{.j}$$

[۱] Bertsimas & Sim

$S.t: \Sigma_j a_{ij}x_j+z_i\Gamma_i+\Sigma_{j\in ji} p_{ij}\leq b_i \quad \forall i$

$z_{\cdot}+p_{\cdot j}\geq d_j y_j \qquad \forall j\in J_{\cdot}$

$z_i+p_{ij}\geq \hat{a}_{ij}y_j \qquad \forall i\neq ۰, j\in J_i$

$p_{ij}\geq ۰ \qquad \forall i,\in j_i$

$y_{ij}\geq ۰ \qquad \forall j$

$z_i\geq ۰ \qquad \forall j$

$-y_j\leq x_j\leq y_j \qquad \forall j$

$l_j\leq x_j\leq u_j \qquad \forall j$

$x_i\in z \qquad i=۱,...,k$

در صورتی که عدد سمت راست یعنی b_i در بازه $[b_i-\hat{b}_i\ ,b_i+\hat{b}_i]$ نیز مقدار بگیرد، همتای استوار برتسیمس و سیم برای مدل به شکل زیر خواهد بود:

(۱۳-۲)

$Minz= c'x+z_{\cdot}\Gamma_{\cdot}+\Sigma_{j\in j_{\cdot}} p_{\cdot j}$

$S.t: \Sigma_j a_{ij}x_j+z_i\Gamma_i+\Sigma_{j\in ji} p_{ij}\leq b_i \qquad \forall i$

$z_{\cdot}+p_{\cdot j}\geq d_j y_j \qquad \forall j\in J_{\cdot}$

$z_i+p_{ij}\geq \hat{a}_{ij}y_j \qquad \forall i\neq ۰,\in Ji$

$z_i+p_{i\cdot}\geq \hat{b}_i \qquad \forall i$

$p_{ij}\geq ۰ \qquad \forall i,\in j_i$

$y_{ij}\geq ۰ \qquad \forall j$

$z_i\geq ۰ \qquad \forall j$

$-y_j\leq x_j\leq y_j \qquad \forall j$

$l_j\leq x_j\leq u_j \qquad \forall j$

$x_i\in z \qquad i=۱,...,k$

۲-۶-۳ برنامه ریزی خطی استوار فازی

برنامه ریزی خطی استوار فازی شامل بهینه سازی یک تابع هدف قطعی با توجه به فضای تصمیم فازی محدود شده توسط محدودیت هایی با ضرایب و ظرفیت های فازی است (لی و همکاران، ۲۰۰۸). یک مساله فازی FRLP در شکل عمومی میتواند به صورت زیر تعریف گردد:

(۱۴-۲)

$$Minz= c^T x$$

$$Subject\ to: Ax \lesssim b$$

$B\in\{R\}^{n\times 1}$, $A\in\{R\}^{n\times 1}$, $C\in\{R\}^{n\times 1}$, $X\in\{R\}^{n\times 1}$ که بیانگر مجموعه از متغیرها و پارامترهای فازی و R بیانگر مجموعه عداد قطعی و به معنای نامعادله فازی می‌باشد. محدودیت در رابطه b مدل فوق را می توان به شکل معین زیر نشان داد:

به طوری که A و B زیر مجموعه های فازی و نماد $\oplus$ بیانگر جمع بین زیر مجموعه های فازی میباشد. فازی بودن تصمیم به دلیل عدم اطمینان در ضرایب A و B میباشد. با فرض اینکه U و V متغیرهای پایه تحمیل شده از سوی زیر مجموعه های A و B باشند، خواهیم داشت:

(۱۵-۲)

$$A_1X_1 \oplus A_2X_2 \oplus \dots \oplus A_nX_n \lesssim B$$

۲-۷ بهینه سازی چند هدفه

در حالی که در دنیای واقعی نیازمند بهینه سازی همزمان چندین هدف و دستیابی به چندین معیار متضاد هستیم، معمولا برای پیدا کردن جواب های مسائل چند هدفه، از ترکیبات اهداف برای بهینه سازی استفاده می‌شود. در حالی که این‌گونه مسائل باید به صورت چند هدفه مورد بررسی قرار گیرند.(فونسکا[۱] و همکاران۱۹۹۳). برخلاف بهینه سازی تک هدفه که در آن جواب بهینه واحد جستجو می‌شود، در مسائل چند هدفه، به دلیل تبادل بین اهداف متضاد، جواب بهینه واحدی وجود ندارد و باید چندین جواب بهینه که مجموعه غیر مغلوب نامیده می‌شود را جستجو نمود. (دب،کالیانموی۱۳۸۷).

[۱] Fonseca

۲-۷-۱ انواع دسته بندی روش های حل مسائل بهینه سازی چند هدفه

هوانگ و مسعود[۱](۱۹۷۹) روش های حل مسائل بهینه سازی چند هدفه را به سه دسته طبقه بندی نمودند: روش های وزن دهی قبل از حل[۲]، روش های تعاملی[۳] و روش های وزن دهی بعد از حل[۴]. آنها اذعان کردند که روش های وزن دهی بعد از حل، تصویر کلی از فضای جواب های مساله فراهم می کند. از این رو، تصمیم گیرندگان، این روش ها را بیش از روش های دیگر ترجیح می دهند.

چوآدهاری و همکاران[۵] سه رویکرد برای حل مسائل چند هدفه ارائه داد ه اند. رویکرد اول مستلزم فرموله کردن مجدد مساله به عنوان یک مساله تک هدفه است. برای این منظور اطلاعات اضافی باید از تصمیم گیرنده کسب گردد، از جمله اهمیت نسبی یا وزن های اهداف، سطوح هدف برای اهداف، مقادیر توابع و غیره. رویکرد دوم مستلزم آن است که تصمیم گیرندگان با روند بهینه سازی و به طور معمول توسط تعیین اولویت بین جفت راه حل های ارائه شده، ارتباط برقرار کنند. رویکرد سوم، بهینه سازی پارتو، یک مجموعه نماینده از راه حل های غیر غالب نزدیک به مرز پارتو می یابد. روش های بهینه سازی پارتو، از جمله الگوریتم های بهینه سازی چند هدفه تکاملی، به تصمیم گیرندگان اجازه می دهند که راه حل های بالقوه را بدون قضاوت قبلی با توجه به اهمیت نسبی توابع هدف، بررسی کنند. تجزیه و تحلیل پس از بهینه سازی پارتو برای انتخاب یک راه حل واحد برای پیاده سازی لازم است.

هر سه رویکرد برای حل مسائل بهینه سازی چند هدفه کاستی هایی دارند. راه حلی که رویکرد تک هدفه باز می گرداند می تواند وابستگی بالایی به وزن ها داشته باشد و در مسائل غیر محدب، واکنش و پاسخ به تغییرات در وزن ها و بخصوص وزن اهداف ممکن است غیر قابل پیش بینی باشد . همچنین در صورت وجود معیار های نامتناسب و متضاد، قضاوت ارزشی از جمله انتخاب وزن ها یا اهداف برای معیارها کارسختی خواهد بود. در نهایت اطلاعات داده شده توسط تصمیم گیرنده موجب برگرداندن یک راه حل واحد می شود. رویکردهای تعاملی تنها یک مجموعه کوچک از راه حل های غیر غالب را با توجه به سعی و تلاشی که در این زمینه مورد نیاز است، در نظر می گیرند. (کرماک[۶] و همکاران ۱۹۷۱).

آندرسون[۷] راه های مختلف حل این مسائل را به طور کلی به چهار دسته تقسیم نمود، که برگزیدن آنها وابسته به این است که تصمیم گیرنده اولویت هایش نسبت به اهداف مختلف را چه زمانی در مقایسه با بکارگیری روش بهینه سازی اتخاذ کند، از

---

۱ Hwang & Masud
۲ priori methods
۳ interactive methods
۴ posteriori methods
۵ Chaudhari, et al
۶ Cormack
۷ Andersson

جمله مشخص کردن اولویت اهداف، هرگز، قبل، در طی و یا بعد از روش بهینه سازی. در واقع آنها روش های در دسترس برای حل این مسائل را به چهار دسته تقسیم نمودند:

بدون بیان اولویت [۱]

بیان قبلی اطلاعات اولویت [۲]

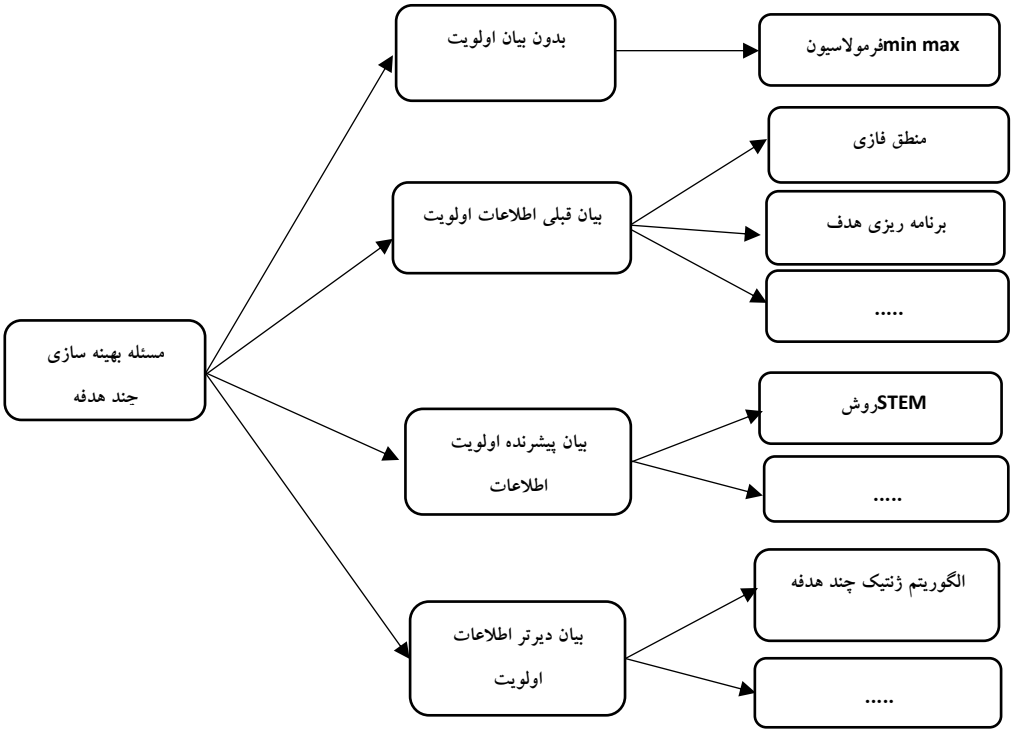
بیان پیشرونده اولویت اطلاعات [۳]

بیان دیرتر اطلاعات اولویت[۴]

وی اذعان نمود که با استفاده از روش های بیان قبلی اولویت های تصمیم گیرندگان، تابع هدفی فرموله می شود که مقدار عددی بیانگر ارزش یک راه حل برگزیده را نشان می دهد . این روش ها روش های سریعی هستند که دقیق تر از روش های سریع دیگر اندازه گیری می کنند. البته نا گفته نماند که با توجه به مساله، رویکردهای مختلفی ممکن است مناسب باشند. اگر بهینه سازی بسیار وقت گیر باشد، ممکن است ایده خوبی باشد که زمان بیشتری را برای فرمولاسیون تابع هدف صرف نمود. برای مسائل دیگر، ممکن است به منظور به دست آوردن حسی نسبت به مساله، شروع با یک فرمولاسیون سریع قبل از انجام بهینه سازی واقعی کافی باشد. به طور طبیعی، توانایی تصمیم گیرندگان برای بیان اولویت هایشان باید به خوبی به حساب آورده شود. بسته به نوع مسئله و تصمیم گیرنده، رویکرد تکرار شونده رسمی ممکن است مناسب تر باشد.

رایج ترین روش انجام بهینه سازی چند هدفه، استفاده از نظرات تصمیم گیرنده در مورد اطلاعات اولویت قبل از بهینه سازی است .این بدین معنی است که قبل از بهینه سازی واقعی، توافق می شود که چگونه اهداف مختلف به صورت شایسته ای به یک شکل واحد تبدیل شوند . این کار را به روش های مختلفی می توان انجام داد، که برخی از آن ها را در طبقه دوم از شکل۳-۱ مشاهده می‌کنید.(پندیان[۵] و همکاران ۲۰۱۳)

[۱] no articulation of preference information
[۲] priori aggregation of preference information
[۳] Progressive articulation of preference information
[۴] Posteriori articulation of preference information
[۵] Pandian



شکل۲-۲- طبقه بندی برخی روش ها برای بهینه سازی چند هدفه

۲-۸ بررسی روش های حل در طراحی شبکه

با توجه به ماهیت NP-Hard بودن اکثر مدل های طراحی شبکه، روش حل این مدل ها نیز دارای اهمیت فراوانی خواهد بود. برای حل مسائل طراحی شبکه زنجیره تأمین از روش های مختلفی استفاده می‌شود .عمده این روش ها، روش های دقیق، روش های ابتکاری، فراابتکاری هستند. روش‌ها و الگوریتم‌های بهینه‌سازی به دو دسته الگوریتم های دقیق (exact) و الگوریتم‌های تقریبی (approximate algorithms) تقسیم‌بندی می‌شوند. روش های دقیق حل این مسایل، همان روش های مرسوم برنامه ریزی ریاضی همچون انشعاب و تحدید، انشعاب و برش، برنامه ریزی عددصحیح، برنامه ریزی پویا و برنامه ریزی غیر خطی هستند. قادر به یافتن جواب بهینه به صورت دقیق هستند اما در مورد مسائل بهینه‌سازی سخت کارایی کافی ندارند و زمان اجرای آن‌ها متناسب با ابعاد مسائل به صورت نمایی افزایش می‌یابد. الگوریتم‌های تقریبی قادر به یافتن جواب‌های خوب (نزدیک به بهینه) در زمان حل کوتاه برای مسائل بهینه‌سازی سخت هستند. (فرشاد مریخ بیات ۱۳۹۳).

الگوریتم‌های فراابتکاری یا فراتکاملی یا فرااکتشافی نوعی از الگوریتم‌های تصادفی هستند که برای یافتن پاسخ بهینه به کار می‌روند.

الگوریتم‌های تقریبی نیز به سه دسته الگوریتم‌های ابتکاری (heuristic) و فراابتکاری (meta-heuristic) و فوق ابتکاری (hyper heuristic) بخش‌بندی می‌شوند. از جمله روشهای ابتکاری میتوان به روش تفکیک بندر اشاره نمود. روش های جستجوی ممنوع، الگوریتم ژنتیک، الگوریتم مورچگان، الگوریتم عملیات حرارتی شبیه سازی شده و بسیاری از روش های دیگر از جمله روش های فراابتکاری هستند (مسعود یقینی و همکاران).

دو مشکل اصلی الگوریتم‌های ابتکاری، گیر افتادن آنها در نقاط بهینه محلی، همگرایی زودرس به این نقاط است. الگوریتم‌های فراابتکاری برای حل این مشکلات الگوریتم‌های ابتکاری ارائه شده‌اند. در واقع الگوریتم‌های فراابتکاری، یکی از انواع الگوریتم‌های بهینه‌سازی تقریبی هستند و قابلیت کاربرد در طیف گسترده‌ای از مسائل را دارند. رده‌های گوناگونی از این نوع الگوریتم در دهه‌های اخیر توسعه یافته‌است که همه این ها زیر مجموعه الگوریتم فراابتکاری می باشند. تا به امروز تعریف مشخص و جامعی از اصطلاح متاهیوریستیک یا فرا ابتکاری صورت نگرفته است و تعاریف مختلفی برای این اصطلاح ارائه شده است.(مسعود یقینی و همکاران ۱۳۹۰).

به طور خلاصه می‌توان مشخصات اصلی روش‌های فراابتکاری را به صورت زیر بیان نمود:(طلبی و همکاران،۲۰۰۹)

- برخلاف روش‌های ابتکاری، هدف اصلی این روش‌ها، جستجوی مؤثر و کارای فضای جواب به جای یافتن صرف جواب‌های بهینه یا نزدیک بهینه می‌باشد؛
- روش‌های فرا ابتکاری سیاست‌ها و راهکارهایی هستند که فرآیند جستجو را هدایت می‌کنند؛
- روش‌های فرا ابتکاری تقریبی بوده و اغلب غیر قطعی(تصادفی) می‌باشند؛
- الگوریتم‌های فرا ابتکاری، برخلاف روش‌های ابتکاری وابسته به نوع مساله نیستند، به عبارت دیگر می‌توان آنها را برای حل طیف گسترده‌ای از مسائل بهینه‌سازی مورد استفاده قرار داد؛
- روش‌های فرا ابتکاری پیشرفته‌تر، از تجربیات و اطلاعات به دست آمده در طول فرآیند جستجو به شکل حافظه برای هدایت جستجو به نواحی پرامیدتر فضای جواب استفاده می‌کنند؛

به طور خلاصه می‌توان گفت که الگوریتم‌های فرا ابتکاری، راهکارهای پیشرفته و کلی جستجو می‌باشند و گام‌ها و معیارهایی را پیشنهاد می‌کنند که در فرار از دام بهینه‌های موضعی بسیار مؤثر هستند

۲-۹ چارچوب تئوریک:

ما در این پژوهش به دنبال طراحی یک شبکه زنجیره تامین حلقه بسته کارامد می باشیم که بتواند به ما کمک کند که چه مقدار محصول از یک تسهیلات به تسهیلات دیگر انتقال یابد یا کدام تسهیلات احداث شوند به طوری که سازمان ها بتوانند به اهداف خود که شامل پاسخگویی به نیاز مشتریان و حداقل کردن هزینه است دست یابند. در این تحقیق به توسعه و بهبود این جریان رو به جلو و بازگشتی پرداخته می‌شود. ماهیت پیچیده و پویای زنجیره تامین درجه بالایی از عدم قطعیت را بر تصمیمات برنامه ریزی زنجیره تامین تحمیل می‌کند و به گونه ای قابل توجه بر عملکرد کل زنجیره اثر می‌گذارد. در یک مساله در دنیای واقعی، می‌توان ادعا داشت که تقریبا هیچ یک از ورودی های مساله، به صورت قطعی مشخص نیستند و هنگامی که صحبت از بررسی مساله در شرایط غیرقطعی به میان می اید، منظور لحاظ نمودن غیرقطعی ترین و یا مهم ترین و اثرگذارترین ورودی های غیرقطعی است.

در تحقیق حاضر نیز، بعد از بررسی ها به مهمترین این پارامترها دست پیدا کرده ایم که در بخش ساختار مساله و مفروضات به آن اشاره می‌کنیم. برای مقابله با این پارامترهای غیر قطعی از رویکرد بهینه سازی استوار که روش مناسبی برای برخورد این گونه مسائل است استفاده شده است. مدل پیشنهادی یک مدل چندهدفه می‌باشد که برای حل آن از روش تصمیم گیری چندهدفه (MODM) که شامل روش های ال پی-متریک و اپسیلون-محدودیت می‌باشد استفاده کردیم که در مطالعات گذشته کمتر به مقایسه این دو روش پرداخته شد.

روش ال پی-متریک به دو دلیل بیشتر مورد توجه قرار گرفت :۱) به اطلاعات کمتری ازسوی خبره نیاز دارد ۲) استفاده از آن در عمل ساده است .

در روش معیار جامع نیازی به اولویت بندی اهداف، وزن دهی، یا تبدیل اهداف به محدودیت نیست. روش معیار جامع، بسته به مورد، مجموع توان اول، دوم، ...انحرافات نسبی اهداف از مقدار بهینه شان را حداقل می کند.(عادل آذر و مومنی، ۱۳۹۵). از مزایای روش اپسیلون-محدودیت می توان به موارد زیر اشاره نمود: (ماوروتاس[۱]،۲۰۰۹)

- با تغییرمقدار ε میتوان جوابهای بهینه مختلف یافت
- این روش قادر به تولید راه حل های کارآمد متعادل تری می‌باشد
- در این روش مقیاس توابع هدف ضروری نیست

[۱] Mavrotas

با توجه به NP-hard بودن مسئله در ابعاد بزرگ از الگوریتم فراابتکاری ازدحام ذرات بهره گرفته شد از مزایای این الگوریتم می‌توان به سرعت بالای همگرایی این الگوریتم در رسیدن به پاسخ‌های بهینه اشاره کرد.

لذا با توجه به مطالب بیان شده، رویکرد پیشنهادی قادر به طراحی یک شبکه زنجیره تامین حلقه بسته تحت شرایط عدم قطعیت می‌باشد.

ج) مروری بر پژوهش های صورت گرفته

۲-۱۰ بررسی ادبیات طراحی شبکه زنجیره تامین حلقه بسته

جدول (۲-۲) مروری بر مقالات ارائه شده در زمینه طراحی شبکه زنجیره تامین حلقه بسته مطرح شده است.

جدول ۲-۲- مرور مقالات مسأله طراحی زنجیره تأمین

نویسنده و سال	عنوان پژوهش	اهداف پژوهش	یافته های تحقیق
جایارامان و همکاران (۱۹۹۹)	طراحی مدل زنجیره معکوس تحت یک سیستم سفارش کششی بر اساس تقاضای مشتریان برای محصولات بازیابی شده	حداقل سازی هزینه های سیستم بر پایه بهینه سازی یک مدل برنامه ریزی خطی عدد صحیح مختلط	مدل پیشنهادی بیان کننده: ۱) حد بالای تعداد مراکز پردازش که میتواند احداث شود. ۲) ظرفیت های ذخیره برای محصولات قابل تولید مجدد و دوباره تولید شده در مراکز پردازش
شولتمن و همکاران (۲۰۰۵)	مدل برنامه ریزی مسیریابی وسایل نقلیه در شبکه های بازیابی محصول	حداقل رساندن طول مجموع تمام تورهای مورد نیاز با اطلاعات موجود در مورد مکان های امکانات بازفرآوری و تعداد تخلیه کنندگان در هر دوره جمع آوری	سه سناریوی ارائه شد و نتایج حاصل از آن کمک کرد تا سناریوهای بهبود یافته را فراهم آورند و در نتیجه به برنامه ریزی کامل لجستیک معکوس کمک کنند.

تنگ (۲۰۰۶)	تصـــویر و دورنمـــایی از مـدیریت ریسـک زنجیـره تأمین	۱. توسعه چارچوبی یکنواخت برای طبقه بندی مقالات SCRM ۲. ارائه رهنمودی عملی برای برخی محققین تا در مسیر تحقیقات آتی قرار بگیرند. ۳. شکاف بین تئوری و عمل مشخص شود تا رهنمودی برای تحقیقات آتی باشد.	بررسی چندین مدل کمی برای مدیریت ریسک زنجیره تامین که این مدل های کمی برای مدیریت ریسک های عملیاتی در درجه اول، طراحی شده اند. با این وجود، استدلال کرد که استراتژی ها می توانند زنجیره تامین را از لحاظ مدیریت ریسک های عملیاتی و از نظر مدیریت ریسک های ناشی از کارآیی بیشتر کنند
ال سید و همکاران (۲۰۱۰)	مدل تصادفی برای طراحی شبکه لجستیک رو به جلو- معکوس در معرض ریسک	تصمیم گیری برای مکانیابی موارد زیر: تامین کنندگان، مراکز توزیع، انبارها و مراکز توزیع مجدد، تولید در هر مکان(چه چیزی و چه مقدار برای تولید)، مقدار حمل و نقل کالا بین مکان ها و تعداد کالاها در هر دوره که به عنوان موجودی نگهداری می شود.	این مدل برای حل مسائل بزرگ انعطاف پذیر است. با این حال، این نیاز به سخت افزار قوی تر دارد، زیرا تعداد سناریوها با افزایش تعداد دوره ها به طور نمادین افزایش می یابد. مدل پیشنهادی نشان داد که کل سود مورد انتظار به طور مستقیم تحت تأثیر تقاضا و نسبت محصولات بازگشتی است.
میر سامان پیشوایی و همکاران (۲۰۱۱)	رویکرد بهینه سازی برای طراحی شبکه های زنجیره تامین حلقه بسته تحت عدم اطمینان	یک مدل بهینه سازی برای به دست آوردن عدم اطمینان ذاتی داده های ورودی در یک مسئله طراحی شبکه زنجیره تامین حلقه پیشنهاد می کند	برتری مدل استوار پیشنهادی در بررسی داده های نامشخص و استواری راه حل های مربوطه در مقایسه با راه حل های به دست آمده از مدل قطعی نشان میدهد. برای پیشنهادات آینده می‌توان با چند محصولی کردن و حداکثر کردن پاسخگویی شبکه به عنوان یک هدف دیگر ارائه کرد.

حسنی و همکاران(۲۰۱۲)	طراحی شبکه زنجیره تامین حلقه بسته استوار برای کالاهای فاسد شدنی در تولید چابک تحت شرایط عدم قطعیت	ارائه مدل ریاضی برای طراحی شبکه زنجیره تامین چند رده ای حلقه بسته چند زمانه برای محصولات با طول عمر انبارداری محدود در تولید چابک	هزینه کلی طراحی شبکه زنجیرهای عرضه با حضور عدم قطعیت بسیار بیشتر از وضعیت قطعی است. مدل پیشنهاد شده موجب تصمیمات یکپارچه ای درباره زنجیره تامین حلقه بسته با موضوعاتی از قبیل صورت حساب مواد و تولیدات چند دوره ای و محصولات فسادپذیر و... است. برای تحقیقات آینده، تصمیم گیری های مختلف تاکتیکی مانند سیاست های موجود و مسیریابی خودرو را می توان در نظر گرفت.
ویلدان و همکاران (۲۰۱۳)	بهینه سازی چند هدفه از زنجیره های تامین حلقه بسته در محیط نامشخص	مدل پیشنهادی اهداف اساسی را در یک زنجیره تامین مرتبط با به حداکثر رساندن سود و رضایت مشتری در رابطه با تعدیل قیمت و اجرای تقاضا تعریف می کند	ازجمله نتایج قابل توجه می‌توان به مقدار محصولات برگشتی که تغییرات قابل توجهی نسبت به کیفیت آنها در راه حل مسئله زنجیره تامین حلقه بسته اشاره کرد. پویایی سیستم و مدل‌های شبیه سازی می توانند برای بررسی اثرات آینده این مسائل مناسب باشند.
سونیا و همکاران (۲۰۱۳)	طراحی و برنامه ریزی زنجیره های تامین با ادغام فعالیت های لجستیک معکوس تحت عدم اطمینان تقاضا	حداکثر سازی ارزش فعلی خالص مورد انتظار و نتایج آن ارائه دهنده جزئیات مربوط به اندازه و محل کارخانه ها، انبارها و خرده فروشان، تعریف فرایندها برای نصب و راه اندازی، ایجاد جریان های رو به جلو و معکوس و میزان موجودی برای دستیابی	برنامه کاربردی مدل نشان داد که ترکیب لجستیک معکوس، گرچه گران است، ممکن است منجر به افزایش مزایای اقتصادی مرتبط با بازیابی محصولات میشود. همچنین انعطاف پذیری بیشتر از لحاظ جریان، منجر به ایجاد یک شبکه سودآور می شود. برای پیشنهادات آتی می‌توان نگرانی های زیست

			محیطی را در این مدل لحاظ کرد. سپس رویکردهای چند هدفه مورد توجه قرار گیرد.
سامان حسن زاده و همکاران (۲۰۱۳)	مدل مکان یابی تسهیلات چند هدفه برای شبکه زنجیره تامین حلقه بسته تحت تقاضا و عودت(بازگشت) عدم اطمینان	هدف اصلی مدل این است که بدانیم که چه تعداد و چه کارخانه هایی و مراکز جمع آوری باید باز شوند و کدام محصولات و کدام مقادیر باید در آنها ذخیره شود. تابع هدف هزینه کل را به حداقل می رساند	نتایج نشان داد که روش اپسیلون محدودیت می تواند راه حل های کارآمدتری را نسبت به روش های وزن دهی به دست آورد..در مطالعات آینده برای توسعه میتوان از رویکردهای فراابتکاری مانند الگوریتم ژنتیک استفاده است. در این پژوهش مدل پیشنهادی برای یک دوره واحد طراحی شده است. مدل را می توان برای بررسی دوره های مختلف توسعه داد.
سوسمیتا و رانجان (۲۰۱٤)	یک مسئله زنجیره تامین سه هدفه با الگوریتم NSGA-II اصلاح شده	اهداف مورد نظر در این مقاله عبارتند از:(۱) به حداقل رساندن هزینه حمل و نقل برای واحد حمل و نقل، (۲) به حداقل رساندن واریانس مقدار سفارش و(۳)به حداقل رساندن موجودی کل زنجیره عرضه.	الگوریتم پیشنهاد شده به طور قابل توجهی بهتراز NSGA-II و SPEA۲ اصلی است. این مقاله ممکن است برای کارکنان و محققان زنجیره تأمین موثر باشد. برای تحقیق آینده می‌توان از روش های فراابتکاری دیگر مانند الگوریتم ازدحام ذرات یا کلونی زنبور عسل بکار برد.
رویمین و همکاران (۲۰۱۵)	مدل بهینه سازی استوار در زنجیره تامین حلقه بسته با در نظر گرفتن اثرات محیطی و عدم قطعیت	ابتدا یک مدل برنامه ریزی استوار غیرخطی عدد صحیح مختلط و دو هدفه ارائه شد. که تابع هدف اول برای کمینه کردن هزینه های اقتصادی و تابع هدف دوم برای به حداقل رساندن هزینه های زیست	نتایج محاسباتی نشان دهنده برتری مدل استوار شده است که میتواند با در نظر گرفتن عدم قطعیتی که در بعضی پارامترها وجود دارد مدلی بهینه از لحاظ هزینه و اثرات محیطی ارائه دهد. در پژوهش های آتی میتوان درمسائل با ابعاد بزرگ توسط

		محیطی فرموله شده اند	رویکردهای فراابتکاری مانند الگوریتم ژنتیک(GA) یا الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات (PS۰) در مدت معقول در نظر گرفت. سپس می توان مسئله را به صورت چند دوره ای فرض کرد.
سلیمانی و کانن (۲۰۱۵)	بهینه سازی ترکیبی ازدحام ذرات و الگوریتم ژنتیک برای طراحی شبکه زنجیره تامین حلقه بسته در ابعاد بزرگ	این پژوهش به بررسی بهبود فرایندهای بهینه سازی شبکه زنجیره تامین از طریق برخورد با ابزارهای برنامه ریزی ریاضی می پردازد؛ توسعه یک مدل چند محصولی، چند رده ای، چند دوره ای و در نهایت یک روش مناسب برای حل در اندازه های مختلف نمونه ها در ابعاد بزرگ ارائه می کند.	عملکرد الگوریتم ترکیبی پیشنهاد شده ، عملکرد بهتری نسبت به الگوریتم های ژنتیکی در همه موارد میدهد. برای تحقیق آینده میتوان از روشی دیگر مانند بهینه سازی مبتنی بر شبیه سازی به جای یک رویکرد برنامه ریزی ریاضی استفاده شود.
انیل جیندال و همکاران (۲۰۱۵)	طراحی شبکه و بهینه سازی یک زنجیره تامین حلقه بسته چند محصولی، چند دوره ای چند رده ای در یک محیط نامشخص	هدف مدل به حداکثر رساندن سود سازمان با بهینه سازی تعداد قطعات مورد نیاز برای خرید از تامین کنندگان خارجی و محل و تخصیص به مراکز مختلف تسهیلات و سطح موجودی قطعات برای پاسخگویی به تقاضای محصول است.	روش راه حل پیشنهادی قادر به ایجاد یک تعادل بین درجه امکان سنجی و میزان رضایتمندی است. برای پیشنهادات آتی میتوان در ابعاد بزرگ میتوان از رویکرد فراابتکاری استفاده نمود.
زهل و سلیمانی (۲۰۱۶)	توسعه یک رویکرد کلونی مورچه برای طراحی شبکه	توسعه یک مدل برنامه ریزی خطی عدد صحیح برای حداقل	مدل پیشنهادی و روش پیشنهادی توسعه یافته، پیشنهادات مفیدی برای

	زنجیره تامین حلقه بسته سبز مورد مطالعاتی در صنعت طلا	کردن هزینه ها و انتشار گزهای گلخانه ای	مدیران زنجیره تامین برای مطالعه موردی انتخاب شده است. برای پیشنهادات آینده میتوان مدل را به یک شبکه چند محصولی توسعه داد. در این مقاله، تمام پارامترها به صورت قطعی در نظر گرفته شدند، در حالی که در دنیای واقعی برخی از پارامترها، مانند تقاضا و قیمت، قطعی نیستند.
کاسکن و همکاران (۲۰۱۶)	یک مدل پیشنهادی برای طراحی شبکه زنجیره تامین سبز براساس تقسیم بندی مصرف کننده	ارائه یک مدل برنامه محور با در نظر گرفتن سه طبقه مصرف کننده؛ به عنوان مثال سبز، نامتناقض و مصرف کنندگان قرمز.	یافته های این مطالعه روشی را برای سنجش روابط زنجیره های تامین سبز و رفتار مصرف کننده ارائه می دهد که انواع مختلف یا بخش هایی از مصرف کنندگان مطابق با نگرش آنها نسبت به محصولات سبز در بازار وجود دارد.
حسن زاده و فاضل (۲۰۱۷)	یک مدل مکان یابی تسهیلات برای طراحی شبکه جهانی زنجیره تامین حلقه بسته	ارائه مدل ریاضی برای یک شبکه زنجیره تامین حلقه بسته با توجه به عوامل جهانی، از جمله نرخ های مبادله و عوارض گمرکی انتخاب بهترین تامین کنندگان را در طول پیکربندی شبکه براساس دو معیار	نتایج نشان داد که نرخ ارز و عوارض گمرکی نقش مهمی را در شبکه های جهانی CLSC ایفا می کنند. مشاهده شد شبکه بهینه می تواند زمانی متفاوت باشد که فاکتورهای جهانی در نظر گرفته نشوند. در تحقیقات آینده می‌توان عوامل مدیریت موجودی را در مدل ترکیب کرد.

یان یان کوی و همکاران (۲۰۱۷)	مسئله شبکه زنجیره تامین حلقه بسته با عدم قطعیت در تقاضا و محصولات بازگشتی طبق روش الگوریتم کلونی مصنوعی زنبور عسل	تعیین یک شبکه زنجیره تأمین بهینه، که شامل چندین تولید کننده، بازسازنده، مراکز میانی و مراکز مشتری	الگوریتم مصنوعی ژنتیک زنبور عسل (GABC) نسبت به الگوریتم اصلی کلونی زنبور عسل (ABC) و الگوریتم ژنتیک (GA) تغییرات کمتری در مقادیر هدف ، برای سناریوهای مختلف بدست می آید. این نشان دهنده استواری بهتر نتایج حاصل از الگوریتم GABC بر اساس تغییرات در کل هزینه شبکه است. در تحقیقات آینده می توان عدم قطعیت در تقاضای محصولات جدید با استفاده از روش های بهینه سازی استوار در نظر گرفت.
ندا مکرونی و همکاران (۲۰۱۷)	مدل مکان یابی تسهیلات چند هدفه استوار شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته تحت عدم قطعیت زمانی	ارائه یک مدل برنامه ریزی عدد صحیح چند هدفه برای به حداقل رساندن هزینه ها و به حداکثر رساندن برخی از مسائل زیست محیطی	نتایج عددی نشان داد که مدل استوار در مقایسه با مدل برنامه ریزی تصادفی، به نتایج مدل قطعی نزدیک تر است.
کنسر بیلیر و همکاران (۲۰۱۷)	طراحی شبکه زنجیره تامین چند هدفه یکپارچه و مدل مکان یابی تسهیلات رقابتی	ارائه یک مدل جدید که در آن مفهوم مدلسازی بهینه سازی شبکه زنجیره تامین (SC) با ویژگی های مکان رقابتی گنجانده شده است هدف از این مدل، تأثیر ساختار شبکه فیزیکی SC بر تقاضای مشتری است	نتایج نشان داد که با در نظر گرفتن مقیاس بزرگتر مدل، اضافه کردن تابع سودمندی به مدل شانس بیشتری برای تغییر راه حل بهینه و در نهایت تصمیمات شبکه راهبردی SC است.

در ادامه در جدول (۲-۳) برخی از مهم‌ترین انواع روش‌های حل بکار گرفته‌شده جهت حل مدل‌های طراحی شبکه زنجیره تأمین اشاره شده است:

جدول ۲-۳- تحقیقات در زمینه روش های حل بکار گرفته شده

نویسندگان	سال	تابع هدف			محیط مسئله					روش حل		
		SO	MO		قطعی	غیرقطعی				دقیق	غیردقیق	
						احتمالی	فازی	استوار			ابتکاری	فراابتکاری
جایارامان و همکارانش	۱۹۹۹	✓			✓					برنامه ریزی خطی عدد صحیح مختلط		
یو و لی	۲۰۰۰	✓						✓		بهینه سازی استوار مبتنی بر سناریو		
شولتمن و همکاران	۲۰۰۵	✓				✓				برنامه ریزی خطی عدد صحیح مختلط		
ال سید و همکاران	۲۰۱۰		✓			✓				برنامه ریزی احتمالی		
میرسامان پیشوایی و همکاران	۲۰۱۱	✓				✓				برنامه ریزی احتمالی		
علی اکبر حسنی و همکاران	۲۰۱۲		✓			✓				برنامه ریزی احتمالی/ال پی- متریک		
ویلدان و همکاران	۲۰۱۳		✓				✓			برنامه ریزی فازی		
سونیا و همکاران	۲۰۱۳	✓						✓		بهینه سازی استوار		
سامان حسن زاده و همکاران	۲۰۱۳		✓			✓				اپسیلون محدودیت		
سوسمیتا و رانجان	۲۰۱٤		✓		✓							NSGA-II/ SPEA۲
رویمین و همکاران	۲۰۱۵		✓					✓		ال پی-متریک		
سلیمانی و کانن	۲۰۱۵	✓			✓							GA/PSO

انیل جیندال	۲۰۱۵	✓					✓		برنامه ریزی فازی		
زهل و سلیمانی	۲۰۱۶		✓				✓		برنامه ریزی ارمانی		
کاسکن و همکاران	۲۰۱۶		✓			✓			برنامه ریزی ارمانی		
حسن زاده و فاضل	۲۰۱۷		✓				✓		ال پی-متریک		
یان یان کوی و همکاران	۲۰۱۷	✓			✓						ABC GA/GABC
ندا مکرونی و همکاران	۲۰۱۷		✓		✓				اپسیلون-محدودیت		
کنسر بیلیر و همکاران	۲۰۱۷		✓			✓			برنامه ریزی ارمانی		
پژوهش حاضر			✓		✓				ال پی-متریک/ اپسیلون-محدودیت		MOPSO

۲-۱۱ شکاف تحقیقاتی و نوآوری پژوهش

در پژوهش های گذشته، مطالعات صورت گرفته در حوزه طراحی شبکه زنجیره تامین حلقه بسته عموما به مسائل تک هدفه یا تک دوره ای یا با یک محصول ارائه شدند و در اکثر پژوهش ها پارامترها در شرایط قطعی مورد بررسی قرارگرفتند و در اکثر مواقع مدل پیشنهادی مقاله مورد نظر در ابعاد کوچک با استفاده از نرم افزار گمز حل و بررسی شد. در مقالات اندکی به حل مسائل در ابعاد بزرگ با استفاده از الگوریتم فراابتکاری پرداخته شده است.

با توجه به شکاف های مطرح شده نوآوری این پژوهش شامل موارد زیر می باشد:

- توسعه یک مدل ریاضی چند هدفه ، چند سطحی، چند دوره ای، چند محصولی برای طراحی یک شبکه زنجیره تامین حلقه بسته
- در نظر گرفتن مدل پیشنهادی در شرایط عدم قطعیت که پارامترهای تقاضا و هزینه ها به صورت غیر قطعی فرض شدند
- ببهره گیری از رویکرد برنامه ریزی استوار مبتنی بر سناریو جهت برخورد با عدم قطعیت
- حل مدل پیشنهادی در مقیاس کوچک با بهره گیری از روشهای ال پی-متریک و اپسیلون-محدودیت

-با توجه به NP-hard بودن مسئله از روش فراابتکاری الگوریتم ازدحام ذرات چند هدفه (MOPSO)[1] برای حل در مسائل با ابعاد بزرگ استفاده شده است.

۲-۱۲ جمع بندی

این فصل ابتدا به سه بخش تقسیم شده است در بخش اول مبانی نظری شامل تعاریف اولیه از زنجیره تامین و سپس تاریخچه زنجیره تامین مورد بررسی قرار گرفت در ادامه به موضوعات طراحی شبکه زنجیره تامین، نقش و اهمیت در نظر گرفتن عدم قطعیت در زنجیره تامین و مفهوم رویکرد استواری و اهمیت استفاده از آن وسپس روش های حل در چنین شبکه ای پرداخته شد. در بخش دوم به معرفی روش ها و مدل های ریاضی حل مدل و همچنین روش ها و مدل های مقابله با عدم قطعیت در نظر گرفته شد و در نهایت در بخش سوم مروری بر تحقیقات پیشین صورت گرفته در این حوزه مورد بررسی قرار گرفت.

[1] Multi-Objective Particle Swarm Optimization

فصل سوم

روش شناسی تحقیق

۳-مقدمه

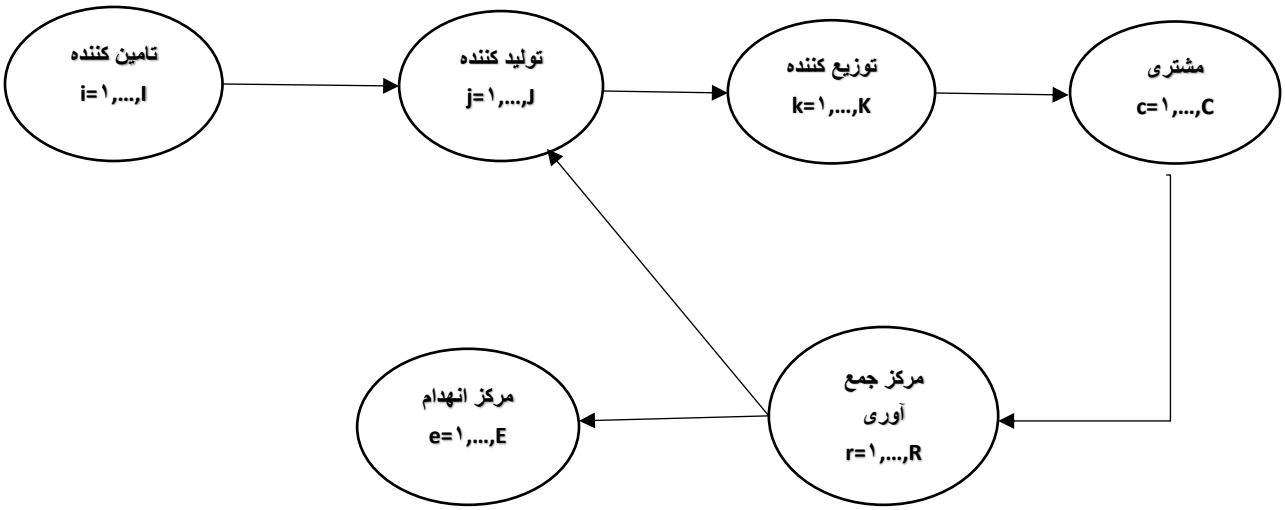
یکی از مهمترین عملیات ها در زنجیره تأمین تصمیم گیری برای تعداد فعالیت ها، هزینه ها، میزان و مقدار فعالیت ها و... است، از این رو روش های مختلفی مورد استفاده قرارگرفته است. برای طراحی مدل، از نتایج مطالعات و بررسی مبانی نظری تحقیق که در فصل دوم صورت گرفت، الهام گرفته می‌شود. در این فصل مساله طراحی شبکه زنجیره تامین حلقه بسته در شرایط عدم قطعیت تشریح میگردد. زنجیره تامین مورد بررسی در کانال مستقیم شامل تامین کنندگان، تولیدکنندگان و توزیع کنندگان و مشتری است و در کانال معکوس بازیافت کنندگان محصولات فرسوده قرار دارند. رویکرد کلی این تحقیق مدلسازی ریاضی در فضای عدم اطمینان و از این رو به منظور برخورد با عدم قطعیت پارامترها از روش بهینه سازی استوار جهت مدلسازی مسأله در بدترین شرایط استفاده شده است. یکی از مهمترین دلایل استفاده از رویکرد بهینه سازی استوار، عدم نیاز این روش به دانستن تابع توزیع پارامترهای غیرقطعی است. آنچه در این فصل ارائه می شود، عمدتاً در راستای پاسخ به سوالات تحقیق در فصل اول می باشد سپس با بهره گیری از ادبیات تحقیق و نظرات خبرگان و استاد راهنما به طراحی مدل خواهیم پرداخت.

۳-۱ تعریف مساله:

شبکه لجستیک مورد بررسی در این پایان نامه، یک شبکه لجستیک حلقه بسته چندهدفه، چند محصولی و چند سطحی است که مباحث مکان یابی ، تخصیص و کنترل موجودی شبکه را نیز در بردارد.

مدل پیشنهادی در این پژوهش در خصوص مکان یابی مراکز مذکور و چگونگی تخصیص و انتقال محصولات در بین لایه های زنجیره و کنترل موجودی انبار مرکز توزیع، تصمیم گیری می‌کند. ساختار کلی شبکه لجستیک حلقه بسته در شکل (۳-۱) نشان داده شده است. شبکه پیشنهادی شامل چهار سطح در جهت رو به جلو (تامین کنندگان، تولید کنندگان، مراکز توزیع و مشتریان) و دارای دو سطح در جهت معکوس (مراکز جمع آوری، مراکز انهدام) بوده که تامین کننده ها مسئول ارائه مواد اولیه به تولید کنندگان هستند و محصولات از کارخانه ها به مراکز توزیع ارسال میشوند سپس به مراکز مشتری فرستاده میشوند، در مسیر معکوس برخی از محصولات توسط مشتریان برگردانده شده و در مراکز جمع آوری، جمع آوری شده و بعد از تست، محصولات قابل بازیافت به سمت تسهیلات و یا کارخانه ها حمل می شوند و باقی‌مانده محصولات به مراکز انهدام فرستاده میشوند. مرکز جمع آوری مسئولیت هایی از جمله: جمع آوری محصولات برگشتی از بازارهای تقاضا، تعیین شرایط تولید مجدد و یا جداسازی به منظور بازیافت یا عدم بازیافت، جداسازی به منظور تفکیک محصولات قابل

بهبود از غیر قابل بهبودها، فرستادن محصولات قابل بهبود به کارخانه ها (به دلایل اقتصادی و تکنولوژیکی) و فرستادن محصولات غیر قابل بهبود به مراکز انهدام یا دفع.



شکل ۳-۱- شبکه زنجیره تامین حلقه بسته

۳-۲ ویژگی های مدل:

ویژگی های مهم مدل ریاضی این تحقیق به صورت زیر است:

جدول۳-۱- ویژگی های مدل ریاضی

ماهیت روابط بین متغیرهای مدل	خطی
ماهیت هدفی مدل	چندهدفه
جنس پارامترها	قطعی، غیرقطعی
به لحاظ دوره یا زمانی	چند دوره ای

۳-۳ مفروضات مدل:

- خطی بودن روابط بین متغیرهای مدل
- مجاز بودن هزینه نگهداری در مرکز توزیع
- تقاضا و هزینه ها به صورت غیر قطعی فرض می شوند
- مکان تامین کنندگان، مراکز مشتری و مراکز انهدام ثابت می‌باشند
- ظرفیت مراکز تولید، توزیع و جمع آوری از پیش تعیین شده می‌باشد

۳-٤ نمادهای مدلسازی مساله:

جهت مدلسازی مساله ذکر شده از شاخص ها، پارامترها و متغیرها به صورت زیر ارائه میشود و سپس مساله طراحی شبکه زنجیره تامین حلقه بسته با توجه به شرایط عدم قطعیت مدل می‌شود.

۳-٤-۱ اندیس ها و مجموعه های مدل:

جدول ۳-۲- اندیس های مدل ریاضی

i	**مجموعه مکان ثابت تامین کنندگان (I—i—۱)**
j	**مجموعه مکان بالقوه مراکز تولید و باز تولید (J—j—۱)**
k	**مجموعه مکان بالقوه مراکز توزیع (K—k—۱)**
c	**مجموعه مکان های ثابت مراکز مشتری (C—c—۱)**
r	**مجموعه مکان های بالقوه مراکز جمع آوری (R—r—۱)**
e	**مجموعه مکان های ثابت مراکز انهدام (E—e—۱)**
p	**مجموعه محصولات (P—p—۱)**
t	**دوره زمانی (T—t—۱)**

۳-٤-۲ پارامترهای مدل:

جدول۳-۳-پارامترهای مدل ریاضی

$\check{D}_{cpt}$	تقاضای مشتری c برای محصول p در دوره t
F_j	هزینه ثابت احداث مرکز تولید j
A_k	هزینه ثابت احداث مرکز توزیع k
B_r	هزینه ثابت احداث مرکز جمع آوری r
SC_p	هزینه خرید هر واحد محصول p از تامین کننده
MC_p	واحد هزینه تولید هرواحد محصول p از کارخانه
CIJ_p	هزینه حمل هر واحد محصول p به ازای هر کیلومتر بین تامین کننده و کارخانه
CJK_p	هزینه حمل هر واحد محصولp به ازای هر کیلومتر بین مرکز تولید و مرکز توزیع
CKC_p	هزینه حمل هر واحد محصول p به ازای هر کیلومتر بین مرکز توزیع و مشتری
CCR_p	هزینه حمل هر واحد محصول p به ازای هر کیلومتر بین مرکز مشتری و مرکز جمع آوری
CRE_p	هزینه حمل هر واحد محصول p به ازای هر کیلومتر بین مرکز جمع آوری و مرکز انهدام
CRJ_p	هزینه حمل هر واحد محصول p به ازای هر کیلومتر بین مرکز جمع آوری و کارخانه
H_p	هزینه انهدام برای واحد محصول p
a_p	هزینه ذخیره محصول p (به دلیل بازیافت محصول)
α_p	حداقل دفع محصول
HC_{Kpt}	هزینه نگهداری هر واحد محصول p در مرکز توزیع K در دوره t
RE_{cpt}	میزان محصول برگشتی p از مشتری c در دوره t
CaJ_{jp}	ظرفیت کارخانه j برای محصول p

CaR_{rp}	ظرفیت مرکز جمع آوری **r** برای محصول **p**
Cak_{kp}	ظرفیت مرکز توزیع **k** برای محصول **p**
E_{ij}	فاصله بین مکان تامین کننده **i** و کارخانه **j**
E_{jk}	فاصله بین کارخانه **j** و مرکز توزیع**k**
E_{kc}	فاصله بین مرکز توزیع **k** و مرکز مشتری **c**
E_{cr}	فاصله بین مرکز مشتری **c** و مرکز جمع آوری **r**
E_{rj}	فاصله بین مرکز جمع آوری **r** و کارخانه **j**
E_{re}	فاصله بین مرکز جمع آوری **r** و مرکز اندام **e**
γ_{jkpt}	جریمه هر واحد زمان تعجیل در رسیدن محصول **p** از کارخانه **j** به مرکز توزیع **k** در دوره **t**
β_{jkpt}	جریمه هر واحد زمان تاخیر در رسیدن محصول **p** از کارخانه **j** به مرکز توزیع **k** در دوره **t**
ac_{jkpt}	زمان تعجیل در رسیدن محصول **p** از کارخانه **j** به مرکز توزیع **k** در دوره **t**
de_{jkpt}	زمان تاخیر در رسیدن محصول **p** از کارخانه **j** به مرکز توزیع **k** در دوره **t**

۳-٤-۳ متغیرهای تصمیم مدل:

جدول ۳-٤- متغیرهای تصمیم مدل ریاضی

X_{ijpt}	مقدار محصول **p** ارسال شده از تامین کننده **i** به کارخانه **j** در دوره **t**
Y_{jkpt}	مقدار محصول **p** ارسال شده از کارخانه **j** به مرکز توزیع **k** در دوره **t**
Z_{kcpt}	مقدار محصول **p** ارسال شده از مرکز توزیع **k** به مرکز مشتری **c** در دوره **t**
U_{crpt}	مقدار محصول برگشتی **p** توسط مرکز مشتری **c** برای مرکز جمع آوری **r** در دوره **t**

V_{rjpt}	مقدار محصول **p** برگشتی توسط مرکز جمع آوری **r** برای کارخانه **j** در دوره **t**	
W_{rept}	مقدار محصول برگشتی **p** توسط مرکز جمع آوری **r** برای مرکز انهدام **e** در دوره **t**	
InV_{kpt}	موجودی محصول **p** در مرکز توزیع **k** در پایان دوره **t**	
O_k	مرکز توزیع **k**	۱ احداث شود
		۰ در غیر این صورت
G_r	مرکز جمع آوری **r**	۱ احداث شود
		۰ در غیر این صورت
L_j	مرکز تولید**j**	۱ احداث شود
		۰ در غیر این صورت

۳-۵ مدلسازی ریاضی:

با توجه به نمادهای تعریف شده، مدل برنامه ریزی خطی عدد صحیح مختلط برای طراحی شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته با اهداف حداقل کردن هزینه و حداقل کردن زمان تاخیر و تاجیل محصول از تولید کننده به توزیع کننده به صورت ذیل ارائه میگردد:

۳-۵-۱ توابع هدف:

$$\text{Min } Z_1: \sum_j F_j.L_j + \sum_k A_k.O_k + \sum_r B_r.G_r + \sum_k\sum_p\sum_t InV_{kpt}.HC_{kpt} + \sum_i\sum_j\sum_p\sum_t\left(SC_p + E_{ij}.CIJ_p\right)X_{ijpt} + \sum_j\sum_k\sum_p\sum_t\left(MC_p + E_{jk}.CKC_p\right)Y_{jkpt} + \sum_k\sum_c\sum_p\sum_t CKC_p.E_{kc}.Z_{kcpt} + \sum_c\sum_r\sum_p\sum_t CCR_p.E_{cr}.U_{crpt} + \sum_r\sum_j\sum_p\sum_t(-\alpha_p + CRJ_p.E_{rj})V_{rjpt} + \sum_r\sum_e\sum_p\sum_t(H_p + CRE_p.E_{rc})W_{rept} \quad (۱-۳)$$

$$\text{Min } Z_2: \left[\sum_j\sum_k\sum_p\sum_t(\gamma_{jkpt}.ac_{jkpt}.Y_{jkpt})\right] + \left[\sum_j\sum_k\sum_p\sum_t(\beta_{jkpt}.de_{jkpt}.Y_{jkpt})\right] \quad (۲-۳)$$

تابع هدف اول که در معادله (۳-۱) نشان داده شده است، کل هزینه شبکه را به حداقل میرساند. بخش اول و دوم و سوم هزینه احداث تسهیلات (مراکز تولید، مراکز توزیع و مراکز جمع آوری) را نشان می دهد. بخش چهارم به هزینه موجودی کل در در مراکز توزیع اشاره شد. بخش پنجم شامل هزینه های خرید و حمل و نقل محصولات از تامین کنندگان به کارخانه ها می‌باشد. بخش ششم شامل هزینه های تولید و حمل و نقل محصولات از کارخانه ها به مراکز توزیع است. بخش هفتم شامل هزینه حمل و نقل محصولات از کارخانه ها به مراکز توزیع است. بخش بعدی تابع هدف هزینه های حمل و نقل محصولات بازگشتی را نشان می دهد. بخش نهم صرفه جویی در هزینه محصولات بازگشتی و هزینه های حمل و نقل ارسال محصولات از مراکز جمع آوری به کارخانه ها را نشان می‌دهد. بخش دهم هزینه انهدام و حمل و نقل محصولات را در مدل اشاره می کند.

تابع هدف دوم در راستای کمینه کردن فضای انبارش و در نتیجه حداقل کردن زمان تاخیر و تعجیل در ارسال محصولات از تولیدکنندگان به توزیع کنندگان است که به عنوان دومین تابع هدف تعریف شده است.

۳-۵-۲ محدودیت ها:

$$\sum_k Z_{kcpt} \geq \check{D}_{cpt} \qquad \forall c,p,t \qquad (۳-۳)$$

$$\sum_j Y_{jkpt} + Inv_{kp(t-1)} = \sum_c Z_{kcpt} + Inv_{kpt} \qquad \forall k,p,t \qquad (۳-۴)$$

$$\sum_i X_{ijpt} + \sum_r V_{rjpt} = \sum_k Y_{jkpt} \qquad \forall j,p,t \qquad (۳-۵)$$

$$\sum_j Y_{jkpt} \geq \sum_c Z_{kcpt} \qquad \forall k,p,t \qquad (۳-۶)$$

$$\sum_k Z_{kcpt} \geq \sum_r U_{crpt} \qquad \forall c,p,t \qquad (۳-۷)$$

$$\sum_r U_{crpt} = RE_{cpt} \qquad \forall c,p,t \qquad (۳-۸)$$

$$\alpha_p \sum_c U_{crpt} \leq \sum_e W_{rept} \qquad \forall r,p,t \qquad (۳-۹)$$

$$\sum_c U_{crpt} = \sum_j V_{rjpt} + \sum_e W_{rept} \qquad \forall r,p,t \qquad (۳-۱۰)$$

$$\sum_i \sum_p X_{ijpt} + \sum_r \sum_p V_{rjpt} \leq L_j \sum_p CaJ_{jp} \qquad \forall j,t \qquad (۱۱-۳)$$

$$\sum_j \sum_p Y_{jkpt} \leq O_k \sum_p CaK_{kp} \qquad \forall k,t \qquad (۱۲-۳)$$

$$\sum_c \sum_p U_{crpt} \leq G_r \sum_p CaR_{rp} \qquad \forall r,t \qquad (۱۳-۳)$$

$$O_k, G_r, L_j \in \{۰,۱\} \qquad \forall j,r,k \qquad (۱۴-۳)$$

$$X_{ijpt}, Y_{jkpt}, Z_{kcpt}, U_{crpt}, V_{rjpt}, W_{rept}, InV_{kpt} \geq ۰ \qquad \forall i,j,k,c,r,e,p,t \qquad (۱۵-۳)$$

محدودیت (۳-۳) بیان می‌کند که برای هر محصول و در هر دوره، میزان موجود در هر یک از مراکز توزیع باید بتواند تقاضای آن محصول را برآورده کند. محدودیت (۳-۴) تضمین می‌کند که برای هر یک از محصولات در هر یک از دوره ها، میزان ورودی به هر یک از مراکز توزیع و نیز موجودی باقی مانده از دوره قبل، برابر میزان ارسال شده به مشتری ها و نیز مابقی موجودی در انتهای دوره می باشد. این رابطه به رابطه بالانس موجودی معروف است. محدودیت (۳-۵) نشان می‌دهد تعداد محصولات فرستاده شده از کارخانه ها با تعداد محصولات فرستاده شده از مراکز جمع آوری و تامین کنندگان به کارخانه برابر است. محدودیت (۳-۶) و (۳-۷) محدودیت شبکه زنجیره تامین است. محدودیت (۳-۸) بیانگر تعداد محصولات برگشتی از بازارهای تقاضا است. محدودیت (۳-۹) نشان دهنده کسری از محصولات برگشتی است. در محدودیت (۳-۱۰) تعداد محصولاتی که به مرکز جمع آوری فرستاده میشود با تعداد محصولات ارسال شده به مرکز دفع و کارخانه ها برابر است.

محدودیت (۳-۱۱) و (۳-۱۲) و (۳-۱۳) مربوط به ظرفیت تسهیلات (کارخانه ها، مراکز توزیع و مراکز جمع آوری) است. محدودیت (۳-۱۴) نشان دهنده متغیرهای دودویی و محدودیت (۳-۱۵) نشان دهنده متغیرهای غیر منفی است.

۳-۶ مدل بهینه سازی استوار پیشنهادی

در اینجا تابع هدف اول مسئله استوار سازی می شود و با فرض اینکه تقاضا و هزینه ها دارای عدم قطعیت می‌باشند. بر این اساس و همان طور که در فصل قبل توضیح داده شد، برای مدل پیشنهادی از بهینه سازی استوار با رویکرد مالوی و همکاران استفاده می شود. در ابتدا یک اندیس جدید s (s=۱،۲...,S) با عنوان تعداد سناریو ها به مجموعه اندیس ها اضافه می‌شود و سپس به معرفی پارامترها و متغیرهای کنترل جدید می‌پردازیم:

۳-٦-۱ پارامترها:

جدول ۳-۵-پارامترهای اضافه شده به مدل

P_S	احتمال رخداد سناریو sام
λ	مقدار ثابت
ω	هزینه جریمه هر واحد تقاضای پاسخ داده نشده

۳-٦-۲ متغیر های کنترل:

جدول ۳-٦-متغیرهای کنترل

δ_{cpts}	تقاضای پاسخ داده نشده محصول p برای مشتری c در دوره t تحت سناریو s
θ_s	ضریب خطی سازی تحت سناریو s

۳-٦-۳ توابع هدف:

تابع هدف دوم به دلیل اینکه پارامترهای غیرقطعی در آن تاثیر ندارد بدون تغییر می‌ماند:

$$Z_{1s}=\sum_k\sum_p\sum_t\sum_S InV_{kpts}.HC_{kpts}+\sum_i\sum_j\sum_p\sum_t\sum_S(SC_{ps}+E_{ij}.CIJ_{ps})X_{ijpts}+\sum_j\sum_k\sum_p\sum_t\sum_S(MC_{ps}+E_{jk}.CKC_{ps})Y_{jkpts}+\sum_k\sum_c\sum_p\sum_t\sum_S CKC_{ps}.E_{kc}.Z_{kcpts}+\sum_c\sum_r\sum_p\sum_t\sum_S CCR_{ps}.E_{cr}.U_{crpts}+\sum_r\sum_j\sum_p\sum_t\sum_S(-\alpha_p+CRJ_{ps}.E_{rj})V_{rjpts}+\sum_r\sum_e\sum_p\sum_t\sum_S(H_p+CRE_{ps}.E_{rc})W_{repts} \quad (۱۶-۳)$$

$$\text{Min}Z_1=\sum_s P_s Z_{1s}+\lambda\sum_s P_s((Z_{1s}-\sum_s P_s Z_{1s})+2\theta_s)+\omega\sum_c\sum_p\sum_t\sum_s P_s\delta_{cpts} \quad (۱۷-۳)$$

$$\text{Min}Z_2=[\sum_j\sum_k\sum_p\sum_t\sum_s(\gamma_{jkpt}.ac_{jkpt}.Y_{jkpts})]+[\sum_j\sum_k\sum_p\sum_t\sum_s(\beta_{jkpt}.de_{jkpt}.Y_{jkpts})] \quad (۱۸-۳)$$

عبارت نخست تابع هدف (۳-۱۷) به حداقل نمودن میانگین تابع هزینه در صورت رخداد هر یک از سناریوها پرداخته میشود و عبارت دوم آن جهت حداقل نمودن واریانس تابع مذکور و باقی عبارات تابع هدف، توابع جریمه هستند که همگی مربوط به بخش استواری مدل می‌باشند.

۳-٦-٤ محدودیت ها:

محدودیت های کنترل بصورت زیر می باشند:

$$\sum_k Z_{kcpts} + \delta_{cpts} = \check{D}_{cpts} \qquad \forall c,p,t,s \qquad (۱۹-۳)$$

$$\sum_j Y_{jkpts} + Inv_{kp(t-۱)s} = \sum_c Z_{kcpts} + Inv_{kpts} \qquad \forall k,p,t,s \qquad (۲۰-۳)$$

$$\sum_i X_{ijpts} + \sum_r V_{rjpts} = \sum_k Y_{jkpts} \qquad \forall j,p,t,s \qquad (۲۱-۳)$$

$$\sum_j Y_{jkpts} \geq \sum_c Z_{kcpts} \qquad \forall k,p,t,s \qquad (۲۲-۳)$$

$$\sum_k Z_{kcpts} \geq \sum_r U_{crpts} \qquad \forall c,p,t,s \qquad (۲۳-۳)$$

$$\sum_r U_{crpts} = RE_{cpts} \qquad \forall c,p,t,s \qquad (۲۳-۳)$$

$$\alpha_p \sum_c U_{crpts} \leq \sum_e W_{repts} \qquad \forall r,p,t,s \qquad (۲۴-۳)$$

$$\sum_c U_{crpts} = \sum_j V_{rjpts} + \sum_e W_{repts} \qquad \forall r,p,t,s \qquad (۲۵-۳)$$

$$\sum_i \sum_p X_{ijpts} + \sum_r \sum_p V_{rjpts} \leq L_j \sum_p CaJ_{jp} \qquad \forall j,t,s \qquad (۲۶-۳)$$

$$\sum_j \sum_p Y_{jkpts} \leq O_k \sum_p CaK_{kp} \qquad \forall k,t,s \qquad (۲۷-۳)$$

$$\sum_c \sum_p U_{crpts} \leq G_r \sum_p CaR_{rp} \qquad \forall r,t,s \qquad (۲۸-۳)$$

$$Z_{۱s} - \sum_s P_s Z_{۱s} + \theta_s \geq ۰ \qquad \forall s \qquad (۲۹-۳)$$

$O_k, G_r, L_j \in \{۰,۱\}$ ∀j,r,k (۳۰-۳)

$X_{ijpt}, Y_{jkpt}, Z_{kcpt}, U_{crpt}, V_{rjpt}, W_{rept}, InV_{kpt} \geq ۰$ ∀i,j,k,c,r,e,p,t,s (۳۱-۳)

محدودیت های ظرفیت ذخیره سازی مراکز تولید و توزیع و جمع آوری و همچنین محدودیت مربوط به تعادل موجودی محصول پایانی در مراکز توزیع و سپس محدودیت تقاضا به صورت عبارات بالا بازنویسی می‌شوند. محدودیت ۳-۲۹ نشان دهنده محدودیت خطی سازی تابع هدف استوار به عنوان محدودیت جدید اضافه می‌شود.

۳-۷ تصمیم گیری چند هدفه:

یک مسأله چند هدفه به وسیله k بردار هدف مشخص میشود که به صورت ریاضی میتوان آن را به صورت زیر نشان داد

$Z(x) = [Z_۱(x), Z_۲(x),..., Z_k(x)]$ (۳۲-۳)

با توجه به: $x \epsilon X$

که در آن X منطقه جواب است.

$X=\{x:x \in R^n, g_i(x) \leq ۰, x_j \geq ۰ \ \forall i,j\}$ (۳۳-۳)

در مدل مذکور R مجموعه اعدادحقیقی، $g_i(x)$ محدودیت i ام و x_j متغیر تصمیم j ام است. مقیاس سنجش برای هر هدف ممکن است با بقیه اهداف متفاوت بوده و نتوان بسادگی آنها را با یکدیگر جمع کرد .به طور کلی، نمیتوان بردار توابع هدف را همزمان بهینه کرد.(هامیه[۱] و همکاران ۱۹۷۴).

از جمله روش های حل در تصمیم گیری چندهدفه می‌توان به روش مجموع موزون، روش لکسیکوگرافیک، روش ال پی-متریک[۲] ، روش برنامه ریزی آرمانی، روش برنامه ریزی آرمانی فازی، روش اپسیلون محدودیت و الگوریتم های تکاملی اشاره کرد که در این پایان نامه از روش ال پی-متریک و اپسیلون-محدودیت بهره گرفته شده است.

[۱] Hamies
[۲] LP-metric

۳-۸ روش ال پی-متریک:

فاصله متریک برای سنجش نزدیکی یک راه حل موجود نسبت به راه حل ایده آل در روش های برنامه ریزی خطی مورد استفاده قرار میگیرند. این سنجش از انحراف به شکل یک تابع سازگار به صورت زیر می‌باشد:

$$\text{L-P}=\{\sum_{j=1}^{k}\gamma_i[\mathrm{f_j}(x_j^*)-f_j(x)]^p\}^{1/p} \qquad (۳۴-۳)$$

هدف ها به شکل بیشینه مورد نظر هستند، x_j^* راه حل ایده آل را در بهینه سازی هدف j ام نشان می‌دهد.x یک راه حل مفروض را بیان کرده و γ_j درجه اهمیت یا همان وزن را برای هدف j ام با γ_j نشان می‌دهد.

تابع سازگار برنامه ریزی خطی برای اینکه انحرافات از ایده آل را حداقل کند، باید کمینه گردد. $1\leq P\leq\infty$ پارامتر مشخص کننده خانواده LP[1] را بیان می‌کند. ارزش p نشان درجه تاکید به انحراف موجود را مشخص میکند. به صورتی که هرچه ارزش p بزرگتر باشد، تاکید بیشتری بر انحرافات دارد و اگر $p=\infty$ شود، این مفهوم را دارد که بزرگترین انحراف از انحرافات موجود برای بهینه سازی مد نظر است. معمولا ارزش های $p=\infty$ و $p=1$ و $p=2$ در محاسبات بکار می‌گیرند، ارزش p در هر صورت وابسته به معیارهای ذهنی تصمیم گیرنده می‌باشد. به دلیل اینکه ارزش LP متریک میتواند تحت تاثیر مقیاس اندازه گیری از اهداف موجود قرار گیرد، برای حل این مشکل، می‌توان فرمول زیر مورد استفاده قرار داد.

$$\text{L-P}=\{\sum_{j=1}^{k}\gamma_i[\frac{\mathrm{f_j}(x_j^*)-f_j(x_j)}{f_j(x_j^*)}]^p\}^{1/p} \qquad \sum_{j=1}^{n}\gamma_j=1 \qquad (۳۵-۳)$$

با فرض وجود بردار γ، راه حل حاصل شده از کمینه کردن برنامه ریزی خطی، X^P معروف به یک راه حل سازگاری می‌باشد. مجموع راه حل های X^P به ازای $1\leq P\leq\infty$ در صورت $\gamma_j\geq 0$ ، تشکیل دهنده راه حل های موثر می‌باشند.(اصغر پور[2]، ۱۹۹۷).

۳-۹ روش اپسیلون-محدودیت[3]

روش محدویت اپسیلون، از جمله روش های حل مسائل چند هدفه می‌باشد که تعداد دلخواهی نقطه پارتویی حاصل از موازنه توابع هدف را ارائه می دهد. نقاط پارتویی، به مجموعه تمامی راه حل های موثر یک مساله چندهدفه اطلاق می شود. روش

[1] Linear Programming
[2] Asgharpoor
[3] ε-constraint

اپسیلون محدودیت برخلاف روش وزن دهی در مسائل برنامه ریزی چندهدفه عدد صحیح و عدد صحیح مختلط کاربرد دارد. در روش وزن دهی، توابع هدف باید هم مقیاس باشند؛ درحالی که در روش اپسیلون، محدودیت مقیاس توابع هدف تأثیر زیادی بر نتایج ندارد. با روش اپسیلون محدودیت می‌توانیم با تنظیم درست نقاط شبکه در هریک از دامنه های تابع هدف، جواب های کارای تولیدشده را کنترل کنیم؛ درحالی که این کار با روش وزن دهی آسان نیست. این روش یکی از روش های بدست آوردن مرز پارتو می باشد (ماوروتاس،[۱] ۲۰۰۹). روش اپسیلون-محدودیت یکی از معروف‌ترین روش‌های حل مسائل بهینه‌سازی چندهدفه است. در این روش، به‌جای ترکیب نمودن توابع هدف در قالب یک تابع، بهینه‌سازی یک هدف مدنظر قرار می‌گیرد و سایر توابع هدف به محدودیت‌هایی که محدودیت اپسیلون نامیده می‌شوند، تبدیل می‌شوند (ایرگت[۲]، ۲۰۰۵). این روش نخستین بار توسط هیمز[۳] و همکاران (۱۹۷۱) توسعه داده شد و جزئیات آن در تحقیق چانکونگ و هیمز[۴] (۲۰۰۸) تشریح شده است. روش اپسیلون محدودیت یکی از رویکردهای شناخته‌شده برای مواجهه با مسائل چندهدفه که با انتقال تمامی توابع هدف به‌جز یکی از آن‌ها در هر مرحله به محدودیت به حل این نوع از مسائل می‌پردازد. مرز پارتو[۵] می‌تواند با روش قید ε ایجاد شود.

$$\min f(X) = f_1(X) \quad (۳۶-۳)$$

$$s.t$$

$$X \in D \quad (۳۷-۳)$$

$$f_1(X) \leq \varepsilon_2 \quad (۳۸-۳)$$

$$\dots$$

$$f_n(X) \leq \varepsilon_n$$

به طور کلی، گام های روش اپسیلون محدودیت به صورت زیر است: (توکلی‌مقدم و همکاران، ۱۳۹۰):

گام ۱. یکی از توابع هدف را به عنوان تابع هدف اصلی انتخاب کنید.

گام ۲. هربار با توجه به یکی از توابع هدف، مسئله را حل کنید و مقادیر بهینه هر تابع هدف را به دست آورید.

گام ۳. بازه بین دو مقدار بهینه توابع هدف فرعی را به تعداد از قبل مشخص شده تقسیم کنید و یک جدول برای $\varepsilon_2, \dots, \varepsilon_n$ به دست آورید.

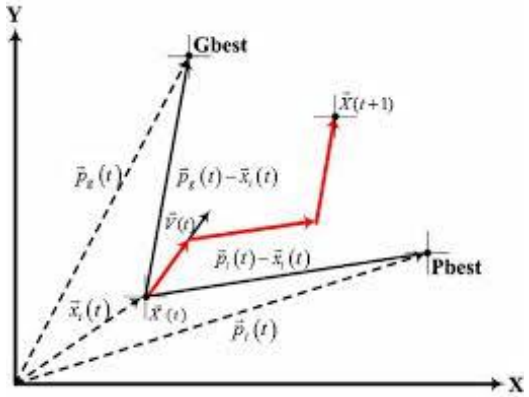
[۱] Mavrotas
[۲] Ehrgott
[۳] Haimes
[۴] Chankong and Haimes
[۵] Pareto Front

گام ۴. هربار مسئله را با تابع هدف اصلی با هریک از مقادیر $\varepsilon_2, ,, \varepsilon_n$ حل کنید.

گام ۵. درنهایت نیز جواب‌های پارتویی نتیجه شده گزارش گردد.

۳-۱۰ الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات[۱]

الگوریتم دسته ذرات اولین بار در سال ۱۹۹۵ توسط کندی و ابرهارت مطرح شد. در تدوین این روش از پرواز گروهی پرندگان و شنای دسته جمعی ماهی ها و زندگی اجتماعی آنها الهام گرفته شد و با استفاده از روابط ریاضی ساده فرمول بندی گردید. مانند دیگر الگوریتمهای تکاملی، الگوریتم دسته ذرات نیز با ایجاد یک جمعیت تصادفی از ذرات شروع می کند که به آنها گروه ذرات گفته می شود. مشخصات هر ذره در گروه بر اساس مجموعه ای از پارامترها تعیین می شود که باید مقدار بهینه آنها تعیین شود. در این روش هر ذره یک نقطه از فضای جواب مساله را نشان می دهد. (انجلین، ۱۹۹۸ و ابرهارت و شی، ۱۹۹۸).



شکل ۳-۲-نحوه ی عملکرد الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات

در این الگوریتم، هر پرنده یک جواب ممکن در فضای جستجوی مسئله می باشد که آن را ذره می نامند .در ابتدا PSO بوسیله گروهی از پرندگان که به طور تصادفی در فضای مسئله تولید شده اند، مقداردهی می شوند و سپس جستجو برای رسیدن به بهترین جواب آغاز می گردد .(پولی ریکاردو[۲] و همکاران، ۲۰۰۷).

در هر مرحله از تکرار الگوریتم، ذره به سمت موقعیت بهتر جا به جا می شود .موقعیت بعدی برای هر ذره با توجه به دو مقدار به دست می آید .اولین مقدار، بهترین موقعیتی است که آن ذره تاکنون داشته است (pbest) و دومین مقدار،

[۱] Particle Swarm Optimization
[۲] PoliRiccardo

بهترین موقعیتی است که تا به حال توسط کل ذره های آن اجتماع به دست آمده است و بهترین pbest در کل گروه می باشد (gbest). این فرآیند تا زمانی که نتیجه مطلوب حاصل گردد(یعنی سرعت پرندگان به سمت صفر میل نماید) و یا اینکه به حداکثر تعداد تکرار در نظر گرفته شده برای الگوریتم PSO برسیم، تکرار می شود .با توجه به مقادیر pbest و gbestهر پرنده از روابط زیر برای تعیین موقعیت بعدی استفاده می‌کند.

$$V_i^{t+1}=wV_i^t + c_1r_1(xpbest-X_i^t) + c_2r_2(xgbest-X_i^t) \qquad (۳۹-۳)$$

$$X_i^{t+1}=X_i^t + V_i^{t+1} \qquad (۴۰-۳)$$

فرض کنید یک فضای جستجوی d ب عدی و n ذره وجود دارد به طوریکه iامین ذره در هر موقعیت خاص $X_i(x_{i1},x_{i2},...,x_{id})$ با یک سرعت $V_i(v_{i1},v_{i2},...,v_{id})$ حرکت می کند.(لالوانی[1] و همکاران، ۲۰۱۳).

ثابت های c_1 و c_2 در روابط بالا پارامترهای یادگیری (میزان تاثیر) pbest و gbest را تعیین می کنند و معمولا برابر ۲ انتخاب می شوند. r_1 و r_2 اعدادی تصادفی در محدوده ی [۰،۱] هستند. X_i^t موقعیت کنونی iامین ذره در زمان t و V_i^t سرعت حرکت ذره ها در آن مرحله می باشد. w پارامتری است که لختی حرکت ذرات را کنترل می نماید. در ابتدای اجرای الگوریتم، سرعت بیشتر و بعد از مدتی که به پاسخ نزدیکتر می شویم، به کندی کاهش می یابد. توابع مورد استفاده برای این منظور معمولا کاهشی خطی را بعد از هر بار تکرار سبب می‌شوند.(رمضانی و همکاران، ۱۳۸۸).

در یک PSO استاندارد، یک مسئله حداقل سازی طوری فرض می شود که مجموعه پارامتر $\vec{x}$ یک بردار از m متغیرهای تصمیم $x=(x_1,x_2,\ldots,x_m)^t$ برای تابع هدف تکی به صورت زیر می باشد.

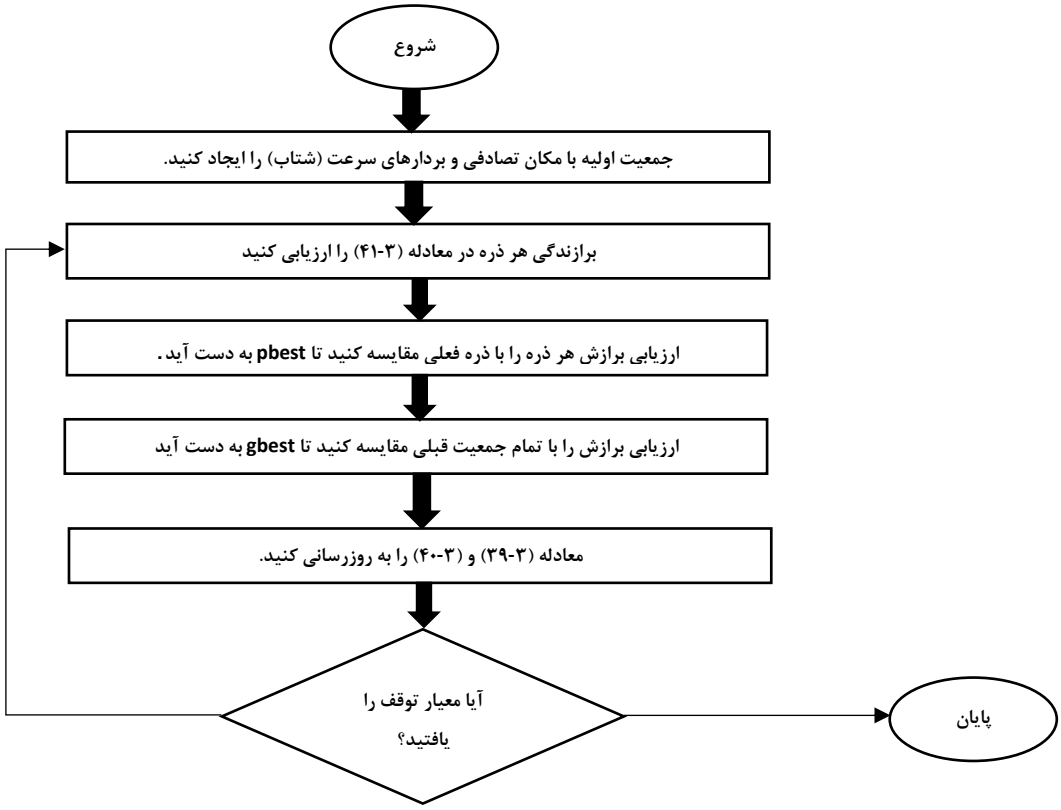
$$Minimize/Maximize\ f_n(x); \qquad (۴۱-۳)$$

$$subject\ to\ x_i^{(L)} \le x_i \le x_i^{(U)},\quad i=1،2,...,m.$$

۳- ۱۱فلوچارت الگوریتم PSO:

نمای کلی الگوریتم ازدحام ذرات(PSO) در شکل(۳-۳) خلاصه شده است:

[1] Lalwani



شکل۳-۳- فلوچارت بهینه سازی ازدحام ذرات

۳-۱۲الگوریتم بهینه سازی چند هدفه ازدحام ذرات[۱]

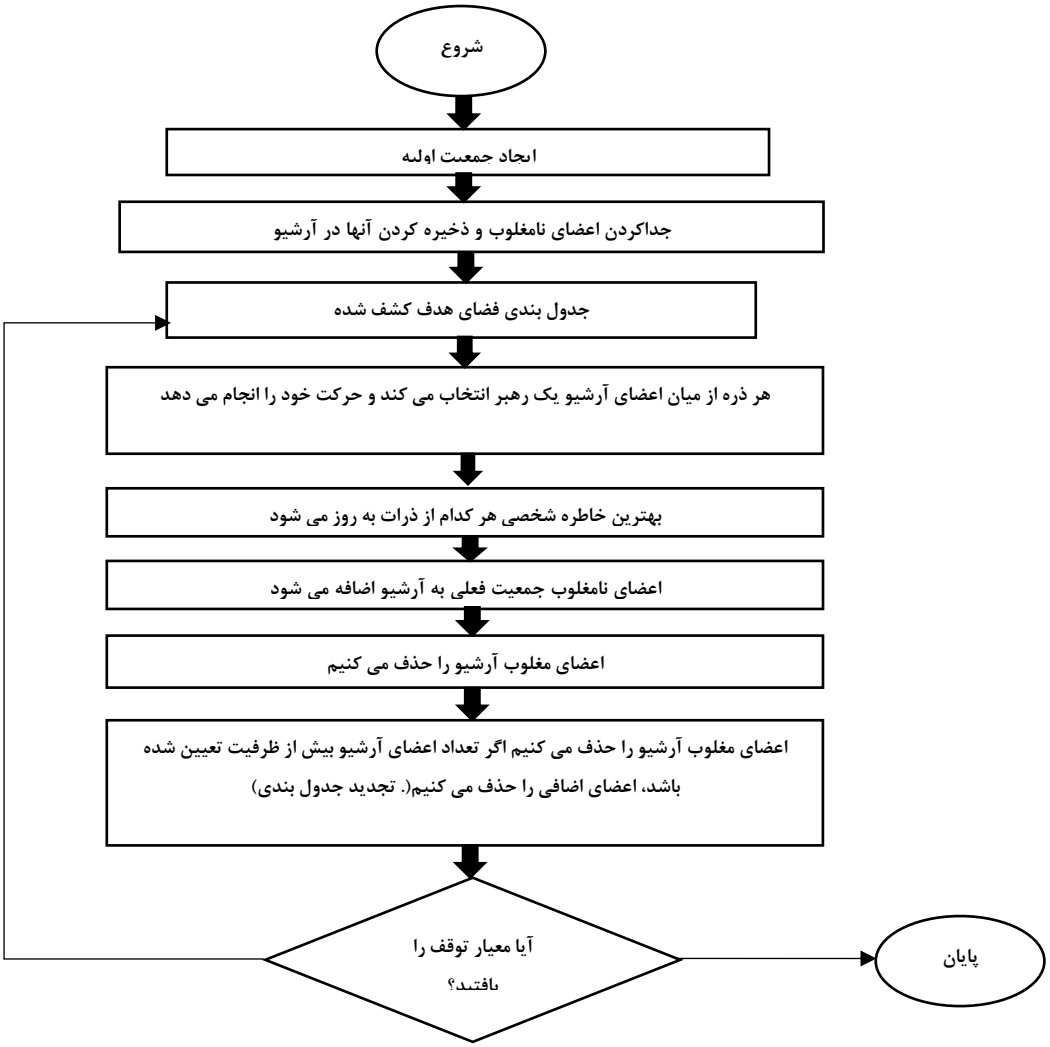
الگوریتم بهینه سازی چند هدفه ازدحام ذرات (MOPSO) توسط کوئلو در سال ۲۰۰۴ معرفی گردید و در واقع الگوریتم، تعمیمی است از الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات (PSO)، که برای حل مسائل چند هدفه بکار می رود. در الگوریتم MOPSO یک مفهومی به نام مخزن[۲] نسبت به الگوریتم PSO اضافه شده است. انتخاب بهترین جواب کلی و بهترین حافظه شخصی برای هر ذره گام مهم و اساسی در الگوریتم بهینه سازی چندهدفه است. هنگامی که ذرات می خواهند حرکتی انجام دهند یک عضو از مخزن را به عنوان لیدر یا رهبر انتخاب می کنند. این لیدر حتما باید عضو مخزن و همچنین نامغلوب باشد. اعضای مخزن بیانگر جبهه ی پارتو و شامل ذرات نامغلوب هستند. پس به جای gbest یکی از اعضای مخزن انتخاب می شود. به این دلیل در PSO مخزن وجود ندارد که در آن تنها یک هدف وجود دارد و یک ذره است که بهترین است. اما در MOPSO چند ذره وجود دارند که نامغلوب هستند و در مجموعه جواب جای دارند.

[۱] Multi-Objective Particle Swarm Optimization
[۲] Repository

در MOPSO معادلات به روزرسانی موقعیت و سرعت مانند معادلات (۳-۳۷) و (۳-۳۶) در PSO باقی می مانند. همه ی پارامترهای مشخص شده به جز تابع هدف مشابه PSO هستند.

۳-۱۳ فلوچارت الگوریتم MOPSO

شکل ۳-۴ فلوچارت الگوریتم MOPSO که بر مبنای معیار غلبه است را نشان می دهد.



شکل۳-٤-فلوچارت الگوریتم بهینه سازی چند هدفه ازدحام ذرات

۳-۱۴ جمع بندی:

در این فصل، دو مدل ریاضی برای مسأله طراحی زنجیره تأمین حلقه بسته در حالت قطعی و استوار ارائه شده است. مدل پیشنهادی یک مدل چندهدفه است که از دو تابع هدف تشکیل شده است. تابع هدف اول برای کمینه کردن هزینه های اقتصادی و تابع هدف دوم حداقل کردن زمان تاخیر و تعجیل در ارسال محصولات از تولیدکنندگان به توزیع کنندگان است. سپس مدل ارائه شده توسط روش ال پی-متریک و اپسیلون-محدودیت به صورت یک مدل برنامه ریزی عدد صحیح مختلط تک هدفه تبدیل می‌شود. با توجه به چند هدفه بودن مدل، استفاده از روش های کلاسیک بهینه سازی جهت دستیابی به جواب های بهینه سراسری یا موضعی، تقریباً غیرممکن است (نرم افزار GAMS فقط در مسئله با ابعاد کوچک جواب بهینه محلی ارائه می دهد). بنابراین برای حل این مسئله که جزء مسائل NP-hard می باشد ، از روش فراابتکاری MOPSOاستفاده شده است. در فصل بعدی برای نشان دادن کارایی و عملکرد مدل و روش های حل، چندین مثال عددی مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

فصل چهارم

تجزیه و تحلیل داده‌های تحقیق

٤ مقدمه:

در این بخش به سؤالات تحقیق براساس داده ها و یافته ها ، پاسخ داده میشود. در این فصل به دنبال روش مناسبی برای حل مدل پیشنهادی، رسیدن به جواب بهینه و مقایسه آنها می‌باشیم؛ از آنجا که نرم افزار GAMS یک نرم افزار قوی در زمینه حل مدل های بهینه سازی است، جهت حل در ابعاد کوچکتر از این نرم افزار استفاده شده است. لازم به ذکر است که به دلیل عدم کارایی نرم افزار GAMS در حل مسائل در ابعاد بزرگ، مدل ارائه شده به کمک الگوریتم فراابتکاری پیشنهادی در نرم افزار Matlab به کار گرفته شده است. به منظور ارائه نتایج محاسباتی، یک مثال عددی مبنا با چند حالت مختلف در نظر گرفته شده است.

٤-١مثال عددی و اعتباردهی مدل ریاضی:

در این بخش برای نشان دادن اعتبار و کارایی مدل سناریویی و روش های حل پیشنهاد شده در فصل گذشته و نیز مقایسه عملکرد این روش ها به منظور بهینه ساختن توابع هدف به طور همزمان، چند مثال عددی با ابعاد مختلف ارائه می شوند. برای مدل پیشنهادی ۱۰ مسئله با ابعاد بزرگ و کوچک (۶ مسئله با ابعاد کوچک و ۴ مسئله با ابعاد بزرگ) در نظر گرفته می‌شود که در جدول (۴-۱) تمامی مسائل در سه سناریو نشان داده شده است. در نهایت پارامترهای ورودی مسائل به طور تصادفی با استفاده از توزیع یکنواخت در جدول (۴-۲) ارائه شده است.

جدول ٤-١- اندازه مختلف مسائل

اندازه	شماره مسئله	تعداد تامین کننده	تعداد تولید کننده	تعداد مراکز توزیع	تعداد مراکز مشتری	تعداد مراکز جمع آوری	تعداد مراکز انهدام	تعداد محصول	تعداد دوره
ابعاد کوچک	١	٤	٤	٢	٢	٢	٤	٣	٢
	٢	٤	٣	٣	٢	٥	٧	٣	٢
	٣	٥	٢	٣	٣	٢	٤	٢	٣
	٤	٥	٣	٣	٣	٤	٥	٣	٣
	٥	٨	٣	٦	٥	٦	٨	٤	٢
	٦	٨	٣	٦	٦	٥	٧	٤	٢
ابعاد بزرگ	٧	١٧	١٦	١٤	١٢	١٣	١٢	١٠	٩
	٨	١٨	١٧	١٦	١٣	١٣	١٣	١١	١١
	٩	١٩	١٨	١٧	١٤	١٣	١٣	١٢	١١
	١٠	٢٠	١٩	١٩	١٦	١٤	١٥	١٣	١٣

جدول ٤-٢-اطلاعات عددی پارامترها

پارامترها	توزیع تصادفی	پارامترها	توزیع تصادفی
D_{cpt}	U(۳۰۰،۵۰۰)	HC_{Kpt}	U(۱۰،۵۰)
F_j	U(۱۵۰۰،۲۵۰۰)	RE_{cpt}	U(۱۰۰،۲۰۰)
A_k	U(۲۰۰،۸۰۰)	CaJ_{jp}	U(۱۰۰۰،۵۰۰۰)
B_r	U(۵۰۰،۱۰۰۰)	CaR_{rp}	U(۱۰۰۰،۲۰۰۰)
SC_p	U(۱۵۰۰،۳۰۰۰)	Cak_{kp}	U(۵۰۰،۹۰۰)
MC_p	U(۱۰۰۰،۲۰۰۰)	E_{ij}	U(۷۰،۲۰۰)
CIJ_p	U(۱۰،۲۰)	E_{jk}	U(۱۰۰،۲۰۰)
CJK_p	U(۲۰،۳۰)	E_{kc}	U(۵۰،۳۰۰)
CKC_p	U(۳۰،٤۰)	E_{cr}	U(۱۰،۲۰)
CCR_p	U(٤۰،۵۰)	E_{rj}	U(۱۵۰،۳۰۰)
CRE_p	U(٦۰،۷۰)	E_{re}	U(۲۰۰،٤۰۰)
CRJ_p	U(۵۰،٦۰)	γ_{jkpt}	U(۷۰،۱۲۰)
H_p	U(۱۵،۳۰)	β_{jkpt}	U(۱۰۰،۲۰۰)
a_p	U(۲۰،٤۰)	ac_{jkpt}	U(۲،۳)
α_p	U(۰,۲۵،۰,۵۵)	de_{jkpt}	U(٤،٦)

با استفاده از داده های عددی در جدول بالا ، مدل پیشنهادی چند هدفه استوار با دو روش ال پی متریک و اپسیلون-محدودیت در نسخه ۲۴,۱,۳ نرم افزار GAMS و در یک سیستم با مشخصات CPU=CORiv۷ و حافظه رم ۲ گیگابایت حل شده است.

٤-۲ بررسی جواب‌های حل مدل با دو روش ال پی-متریک و اپسیلون-محدودیت

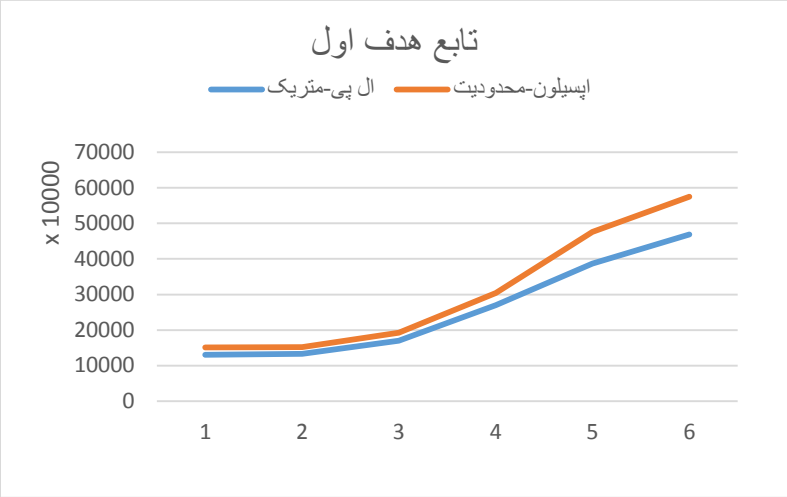
در جدول (۴-۳) و (۴-۴) و شکل (۴-۱) و (۴-۲) نتایج حاصل از مقادیر توابع هدف $Z_۱$ و $Z_۲$ و در شش مسئله مختلف با دو روش اپسیلون-محدودیت و ال پی-متریک بررسی.می گردد.

جدول٤-٣-نتایج محاسباتی با روش ال پی-متریک

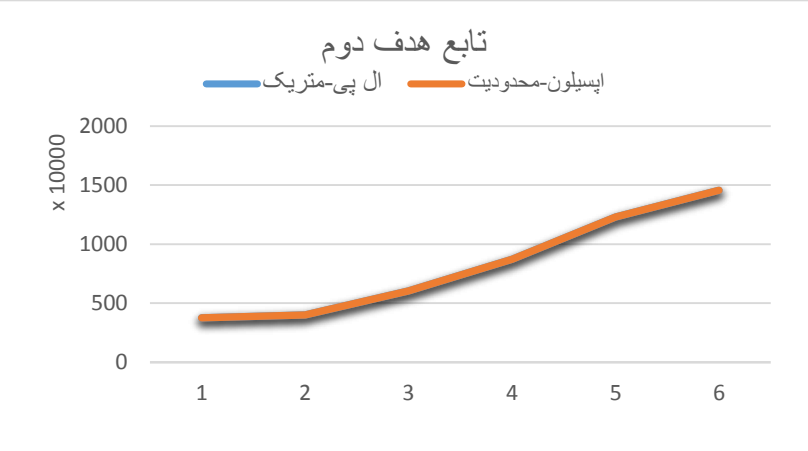
مسئله	Z_1	Z_2
١	١٣٠٥٥٧٢٠٠	٣٧٥٣٨٨٤
٢	١٣٢٨٣٣٥٠٠	٤٠٠٣٨٤٦
٣	١٦٩٩٣٨٦٠٠	٦٠٢٧٢٣١
٤	٢٦٩٧٢٣٨٠٠	٨٧٠٦٧٩٩
٥	٣٨٦٤٦٧٧٠٠	١٢٢٨٩٤٩٠
٦	٤٦٨٧٠٥٠٠٠	١٤٥٥٧٦٠٠

جدول٤-٤- نتایج محاسباتی با روش اپسیلون-محدودیت

مسئله	Z_1	Z_2
١	١٥٠٩٧١٨٠٠	٣٧٥٣٨٨٤
٢	١٥١٩١٣٧٠٠	٤٠٠٣٨٤٦
٣	١٩٢٩٤٦٤٠٠	٦٠٢٧٢٣١
٤	٣٠٤٣٠٥٧٠٠	٨٧٠٦٧٩٩
٥	٤٧٦٠٩٧٥٠٠	١٢٢٨٩٤٩٠
٦	٥٧٥١١٨٩٠٠	١٤٥٥٧٦٠٠



شکل ٤-١-مقدار Z_1 در شش مسئله طراحی شده



شکل ٤-٢-مقدار Z_2 در شش مسئله طراحی شده

برای انتخاب بهترین روش با توجه به جداول (۴-۳) و (۴-۴)، برای هر مساله بهترین و بدترین مقدار را در نظر گرفته می شود. چون Z_1 و Z_2 در مدل پیشنهادی از جنس کمینه سازی بوده پس کمترین مقدار در هر مساله به عنوان بهترین جواب انتخاب میشود.

نمودارهای مربوط به Z_2 نشان می‌دهند که دو روش هیچ تفاوتی در به حداقل رساندن زمان تاخیر و تعجیل نسبت به هم ندارند. نمودارهای Z_1 نشان دهنده این است که روش ال پی-متریک عملکرد بهتری را در به حداقل رساندن هزینه ها داشته است. بنابراین در روش ال پی- متریک مقادیر Z_1 و Z_2 در تمامی مسائل طراحی شده کمترین مقادیر را نسبت به روش اپسیلون-محدودیت دارد، در نهایت در میان این دو روش، روش ال پی-متریک بهترین است.

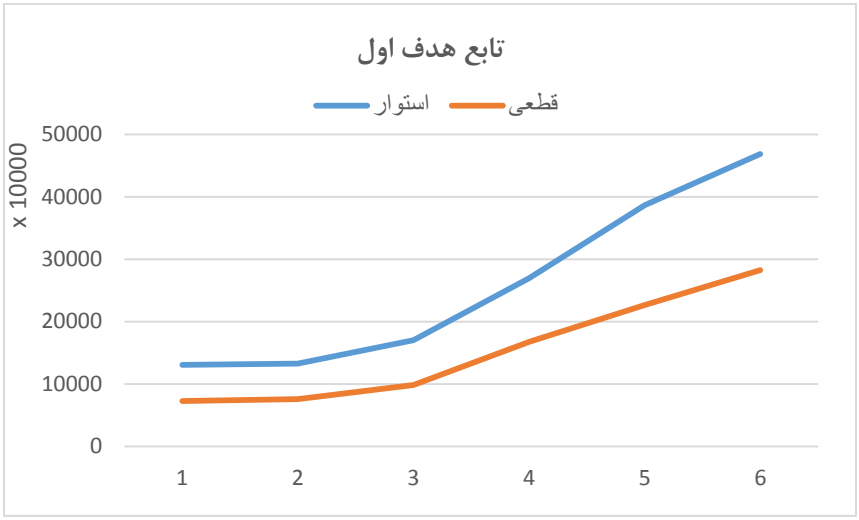
٤-٣ بررسی و تحلیل جواب ها در حالت قطعی و استوار

با توجه به درنظر گرفتن مدل ریاضی در دو حالت قطعی و غیر قطعی، نتایج برای هر دو حالت در شش مسئله ازمایشی در جدول (۴-۴) ارائه شده است.

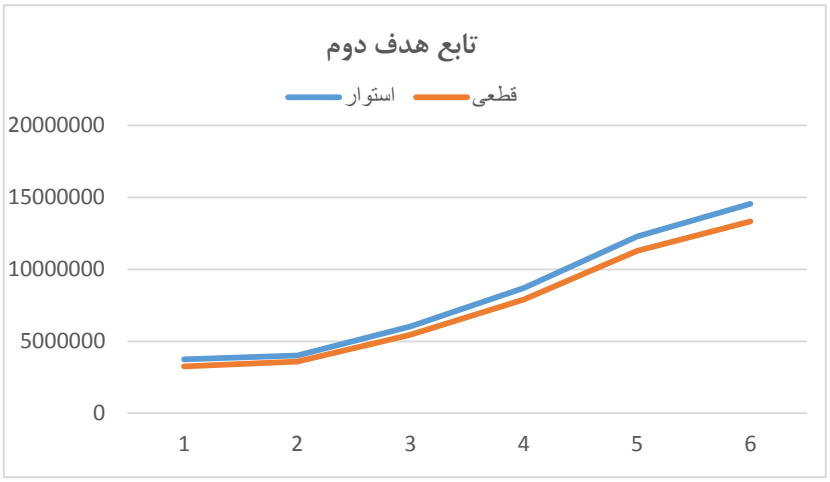
جدول ٤-٤-مقایسه جواب ها در حالت قطعی و استوار

شماره مسئله	قطعی		استوار	
	Z_1	Z_2	Z_1	Z_2
۱	۷۲۹۲۲۱٦۰	۳۲۵۲۹٦٤	۱۳۰۵۵۷۲۰۰	۳۷۵۳۸۸٤
۲	۷۵۷۱۱۹۰۰	۳۵۸۳۸۸۸	۱۳۲۸۳۳۵۰۰	٤۰۰۳۸٤٦
۳	۹۸۳۱۷۲۰۰	٥٤٥٤۸٦٥	۱٦۹۹۳۸٦۰۰	٦۰۲۷۲۳۱
٤	۱٦۷۵۸۲۰۰۰	۷۹۰۳۰۲۹	۲٦۹۷۲۳۸۰۰	۸۷۰٦۷۹۹
٥	۲۲٦۸٤۳٦۰۰	۱۱۲۸۱۷٤۰	۳۸٦٤٦۷۷۰۰	۱۲۲۸۹٤۹۰
٦	۲۸۲۲۸٤٦۰۰	۱۳۳۲۸۹۲۰	٤٦۸۷۰٥۰۰۰	۱٤٥٥۷٦۰۰

با توجه به نتایج محاسباتی بدست آمده در جدول (۴-۴) برای تمام مسائل در ابعاد کوچک طراحی شده، مشاهده می شود که جواب مدل در حالت استوار نسبت به حالت قطعی بدتر بوده است و این امری طبیعی است. زیرا در حالت بهینه سازی استوار بدترین حالات سیستم در نظر گرفته می شود و از این رو جواب های حاصل همواره نسبت به مدل های قطعی بدتر می‌باشد. از این جهت پیاده سازی جواب مدل های استوار دارای ریسک به مراتب پایین تری نسبت به مدل های قطعی می‌باشد.



شکل٤-٣-نمودار گرافیکی مقادیر تابع هدف اول در حالت قطعی و استوار



شکل٤-٤-نمودار گرافیکی مقادیر تابع هدف دوم در حالت قطعی و استوار

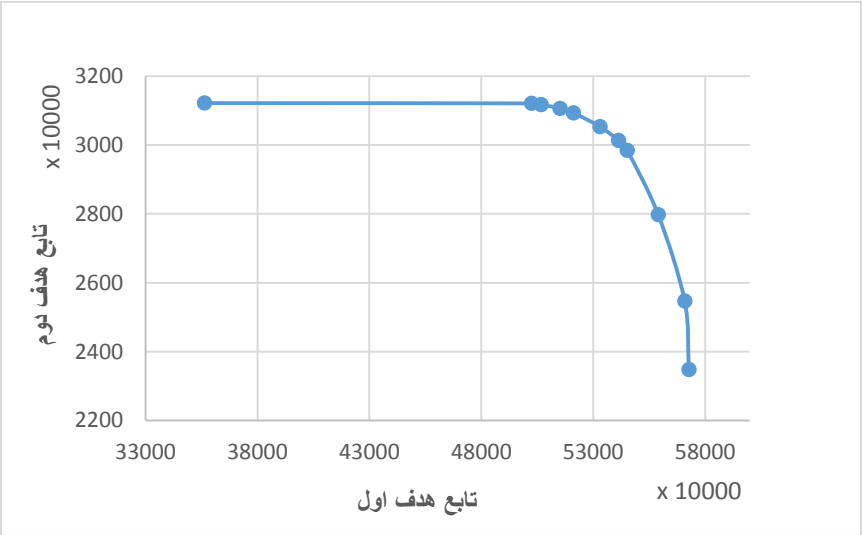
نمودار گرافیکی مقادیر مربوط به دو حالت قطعی و استوار در شکل (۴-۳) و (۴-۴) نشان داده شده است. برای هر مسئله آزمایشی مقدارتابع هدف اول و دوم با یکدیگر مقایسه شده است. همانطور که در شکل (۴-۳) مشاهده می‌شود، برای هر مسئله آزمایشی مقدار تابع هدف اول برای حالت قطعی کمتر از حالت استوار است. و این نشان دهنده این امر می‌باشد که حالت قطعی با توجه به مینیمم بودن تابع هدف مقدار کمتری دارد. در شکل (۴-۴) مقایسه مقدار تابع هدف دوم در حالت قطعی و استوار نشان داده شده است. این شکل نیز روال افزایشی برای حالت استوار دارد و نشان دهنده این است که همواره جواب مدل در حالت قطعی نسبت به استوار بهتر است.

٤-٤ بررسی توابع هدف به ازای وزن های متفاوت:

مجموعه جواب‌های بدست امده از توابع هدف Z_1 و Z_2 در ۱۱ تکرار به ازای مقدار وزن های متفاوت در جدول(۴-۵) ارائه گردید سپس نمودار پارتو برای توابع هدف به ازای ۱, ۰,۹, ۰,۸, ۰,۷, ۰,۶, ۰,۵, ۰,۴, ۰,۳, ۰,۲, ۰,۱, ۰=w مطابق شکل (۴-۵) نشان داده شده است.

جدول ٤-٥-مقایسه توابع هدف به ازای وزن های متفاوت

شماره تکرار	وزن(W)	Z_1	Z_2
۱	۰	۳۸۹۵۹۵۲۹٦۸	۲۱۳۹۹۷۱۱٦,٤
۲	۰,۱	٤۱٤۳۸٤۱٤۰۹	۲۱٤۰۸۵۷٦۰
۳	۰,۲	٤۱٦۷۲۰۸٤٦۷	۲۱٤۰۰۷۵۰۲,۱
٤	۰,۳	٤۲۳۸۸۸٦۳۳۱	۲۱۳۲۲٦۰۲۸,۵
۵	۰,٤	٤۲٦٦٦۲۳۳۳۱	۲۱۲۷۵۸۱۰۹,٤
٦	۰,۵	٤٤۳٦۳۲۸۷۸۹	۲۰۸۷٤۳۱۳۳,۳
۷	۰,٦	٤٤۹٤۲۳۷۰۲۸	۲۰٦۸۸۸۵۷۷
۸	۰,۷	٤۵٦۱۵۸٦۱۰٤	۲۰۳۲۵۸۷۸٤,۷
۹	۰,۸	٤٦۲۲۰۵۳۸۵۱	۱۹۷٤۸۸۰۲۱,۷
۱۰	۰,۹	٤۷٤٦۹۰۸٦۲۳	۱۷٦۳٦۵۹٤۸,٤
۱۱	۱	٤۷۸٤۱۱۱۷٤۸	۱۵٦٦۹٤۹۰۸,۷



شکل٤-٥-نمودار پارتو بین توابع هدف Z_1 و Z_2

با توجه به نتایج و محاسبات صورت گرفته مطابق جدول (۴-۵) همانطور که مشاهده می‌گردد با افزایش مقدار وزن(W)، مقدار تابع هدف اول که مینیمم کردن هزینه می‌باشد افزایش یافته و در همان راستا تابع هدف دوم هم که یک تابع مینیمم است کاهش می‌یابد. در تکرار شماره ۱ بهترین جواب برای تابع هدف اول (هزینه) و بدترین جواب تابع هدف دوم (زمان) را شامل شده و در تکرار شماره ۱۱ بهترین جواب تابع هدف دوم و بدترین جواب تابع هدف اول را نشان می دهد . همانطور که جدول (۴-۵) نشان می دهد با بهبود وضعیت تابع هدف دوم، مقدار تابع هدف اول وضعیت بدتری را به خود می گیرد و بالعکس. روند نشان داده شده در شکل (۴-۵) نیز تعارض بین دو تابع هدف ارائه شده را نشان می‌دهد.

٤-٥ تحلیل حساسیت:

یکی از کاربردهای مدل های ریاضی آن است که به کمک آن میتوان تغییرات و نوسانات در هر یک از پارامتر های مطرح شده را بررسی و تاثیر آن بر روی خروجی نهایی مدل ریاضی را رصد نمود. برای این منظور در مدل ریاضی ارائه شده کلیدی ترین پارامتر ها مورد بررسی قرار می گیرد. پس از بررسی های انجام شده مشخص شده است که میزان محصولات برگشتی از مشتری پارامتری است که به دلیل وابستگی زیاد به شرایط و محدودیت های تولید، ممکن است نوسانات مختلفی داشته باشد.

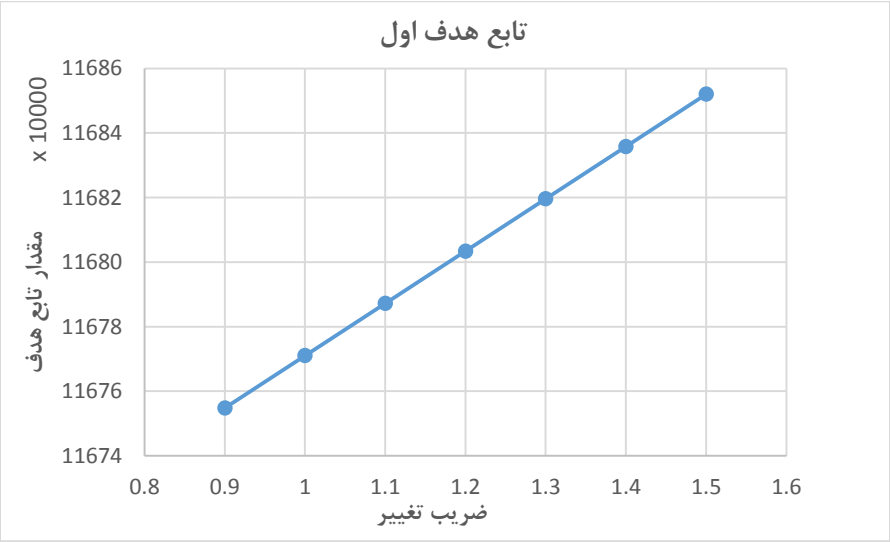
به منظور تحلیل حساسیت این پارامتر به سراغ مثال بررسی شده در اعتبار سنجی مدل ریاضی می رویم. بر اساس آن مقدار پارامتر میزان محصولات برگشتی را بر اساس یک روند صعودی افزایش داده می شود. برای این منظور یک ضریب تغییر از

۰,۹ تا ۱,۵ در نظر گرفته و در هر حالت مقدار پایه میزان محصولات برگشتی را در این مقدار ضرب کرده و سپس به ازای آن مدل قطعی را اجرا کرده تا تاثیر آن بر روی مقدار تابع کل مشخص شود. نتیجه این اجرا در جدول زیر ارائه شده است:

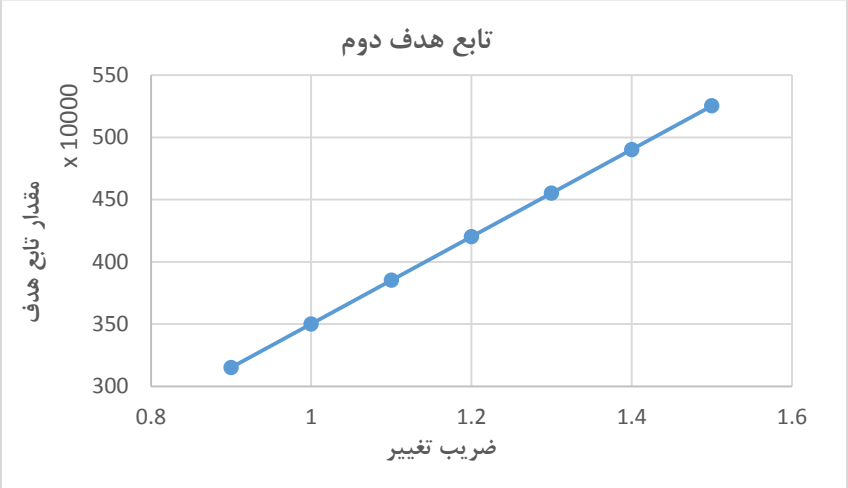
جدول٤-٦-نتایج تحلیل حساسیت میزان محصولات برگشتی

ضریب تغییر	میزان محصولات برگشتی از مشتری	مقدار تابع هدف Z_1	مقدار تابع هدف z_2
۰,۹	۹۰	۱۰۶۵۱۹۷۰۰	۳۱۵۱٤٤۰
۱	۱۰۰	۱۱۸۳۳۰۵۰۰	۳۵۰۱٦۰۰
۱,۱	۱۱۰	۱۳۰۱٤۱۳۰۰	۳۸۵۱۷٦۰
۱,۲	۱۲۰	۱٤۱۹۵۲۲۰۰	٤۲۰۱۹۲۰
۱,۳	۱۳۰	۱۵۳۷٦۳۰۰۰	٤۵۵۲۰۸۰
۱,٤	۱٤۰	۱٦۵۵۷۳۸۰۰	٤۹۰۲۲٤۰
۱,۵	۱۵۰	۱۷۷۳۸٤٦۰۰	۵۲۵۲٤۰۰

همانطور که در جدول فوق مشاهده می شود با افزایش میزان کالای برگشتی، مقادیر توابع هدف Z_1 و Z_2 نیز روند افزایشی دارد. به منظور درک بهتر این موضوع نمودار زیر ارائه شده است:



شکل٤-٦-نمودار تحلیل حساسیت میزان محصولات برگشتی برای تابع هدف اول



شکل٤-٧- نمودار تحلیل حساسیت میزان محصولات برگشتی برای تابع هدف دوم

با توجه به شکل (۴-۶) و (۴-۷) مشاهده می شود افزایش مقدار توابع هدف با افزایش ضریب تغییر رابطه کاملا خطی دارد. لذا در این شرایط می‌توان ادعا نمود که افزایش و یا کاهش میزان محصولات بازگشتی تاثیر کاملا شفافی روی مقدار توابع هدف Z_1 و Z_2 دارد و با توجه به رابطه کاملا خطی بین آنها به سادگی میتوان میزان افزایش و یا میزان کاهش در ازای تغییر این پارامتر را مشخص نمود.

٤-٦ برخی از خروجی های حاصله از مدل:

در جداول (۴-۷) احداث مراکز بالقوه تولیدکننده و توزیع کننده و مرکز جمع آوری در مسئله ای با مشخصات پنج تامین کننده و تولید کننده و توزیع کننده و مرکز انهدام، دو مرکز مشتری، چهار مرکز جمع آوری، سه نوع محصول و سه سناریو نشان داده شده است.

جدول ٤-٧- احداث مراکز بالقوه در سه سناریو

احداث مراکز جمع آوری(r)	احداث مراکز توزیع(k)	احداث مراکز تولید(j)	تعداد سناریو(s)
۲،٤	۱،۳،٤	۲،٤،٥	۱
۲،٤	۱،۲،۳،٤	۲،٤،٥	۲
۱،۲،٤	۱،۳،٤	۲،۳،٤،٥	۳

در جدول(۴-۸) تقاضای براورده نشده مشتری در سه نوع محصول و سه دوره زمانی و سه سناریو خوش بینانه و محتمل و بدبینانه ارائه شده است. با توجه به اطلاعات جمع آوری شده، احتمال وقوع هر سناریو به ترتیب ۰,۳۵ ، ۰,۴ ، ۰,۲۵ در نظر گرفته شده است

جدول ٤-٨-تقاضای محصولات در دوره های مختلف

تعداد دوره	نوع محصول	تقاضای مشتری			تقاضای براورده نشده مشتری		
		سناریو			سناریو		
		۱	۲	۳	۱	۲	۳
۱	۱	۳۰۳	٤۳٦	٤۹۱	۹۲	۱۹۲	۳۰۰
	۲	۳۱٦	۳۱٦	٤۲۱	۱۲۷	۲۰٤	۲۳٤
	۳	۳۳۳	۳۷۳	٤۳۷	٤۷	۲٤٤	۲۸۷
۲	۱	٤۷۵	٤۸۰	٤۸۰	۲۱۸	۳۱۹	۳۵۸
	۲	۳۳۱	٤۱۹	٤۳۷	۱۳٦	۱۸٦	۲۹۵
	۳	٤۰۱	٤۱۵	٤٤٤	۲۵۳	۲۸۹	۳۳٦
۳	۱	۳۷۸	٤۰۱	٤٦۷	۱۹۲	۲۳۱	۳٤٤
	۲	۳٦۳	۳٦٦	٤۰٤	۱۳۷	۱۵۷	۲۳۹
	۳	۳۰۳	٤۳۷	٤٦۸	۱۵۷	۱۷۲	۲۸٦

نتایج محاسباتی از برتری مدل استوار پیشنهادی در بررسی پارامترهای غیر قطعی و استواری راه حل های مربوطه در مقایسه با راه حل های به دست آمده از مدل قطعی نشان می دهد. در این مدل استوار، مشکلات مدل های غیرقطعی که باعث ایجاد جواب نشدنی و یا غیر بهینه بودند وجود ندارد و برای مسائل واقعی قابل پیاده سازی است.

٤-۷ تنظیم پارامترهای الگوریتم پیشنهادی MOPSO

تنظیم مناسب مقادیر پارامترهای اولیه و نوع عملگرها نقش بسیار مهمی بر همگرایی الگوریتم به جوابهای بهینه کلی مسئله و دور شدن از دام بهینگی محلی دارد. در حقیقت هدف از این عمل، بهبود عملکرد الگوریتمهای ارائه شده در جستجوی فضای موجه مسئله در زمان مناسب میباشد. اگر پارامترهای یک الگوریتم کارآمد به طور صحیح تنظیم نگردد باعث

ناکارآمدی این الگوریتم خواهد شد. لازم به ذکر است پارامترهای مربوط به تنظیمات الگوریتم پیشنهادی MOPSO، در جدول (۴-۹) نمایش داده شده است.

جدول ٤-۹-پارامترهای الگوریتم

پارامتر	مقدار	پارامتر	مقدار
جمعیت اصلی	۵۰	فشار حذف	۱
جمعیت آرشیو	۳۰	c_1	۲
نرخ جهش	۰,۲	c_2	۲
فشار انتخاب	۱	w	۰,۵

٤-۸ بررسی نتایج روش حل دقیق و فراابتکاری

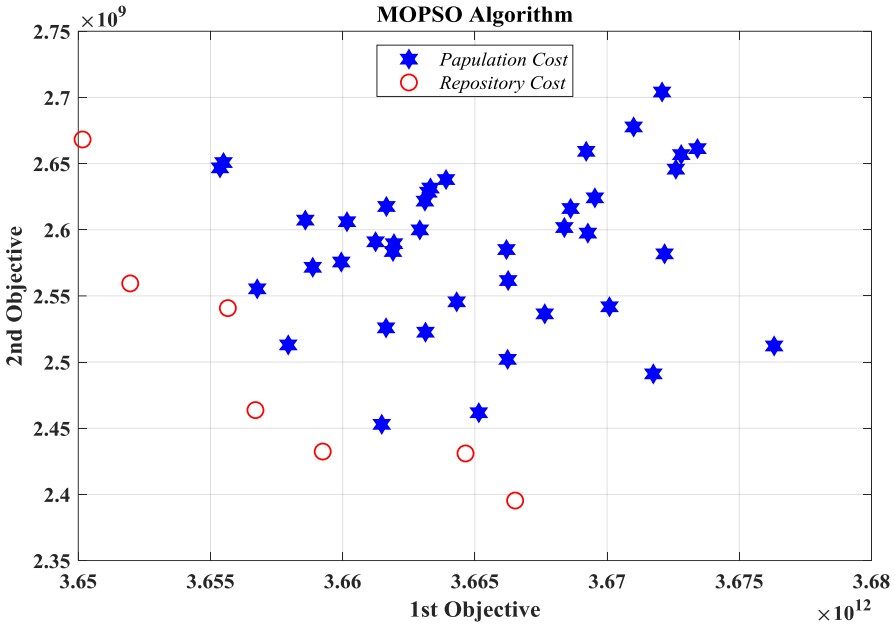
در این قسمت جهت مقایسه نتایج حاصله از نرم افزار GAMS با دیگر الگوریتم فراابتکاری ملزم به استفاده از روش اپسیلون-محدودیت شدیم تا به جواب های پارتو دست یابیم. برای تحلیل عملکرد این دو روش حل دقیق و فراابتکاری با توجه به جدول (۴-۱) در ۱۰ مثال عددی مختلف با ابعاد بزرگ و کوچک در ۳۰ بار تکرار الگوریتم ارائه شد. سه شاخص ارزیابی شامل مقدار تابع هدف اول، مقدار تابع هدف دوم و زمان اجرای مدل تعیین گردیده است. نتایج حاصل از اجرای این دو روش دقیق و فراابتکاری در جدول (۴-۱۰) نشان داده شده است. لازم به ذکر است که مدل ارائه شده در این تحقیق در برنامه MATLAB R۲۰۱۳a و پیاده سازی شد.

جدول٤-۱۰-نتایج حل مثال ها با دو روش دقیق و فراابتکاری

شماره مسئله	تابع هدف اول		تابع هدف دوم		زمان پردازش	
	MOPSO	GAMS	MOPSO	GAMS	MOPSO	GAMS
۱	٤١٢٥٥٢٩٨١٠,٤	١٤٧١٧٦٥٠٠	٤٧٧١٣٩٨,١	٣٧٩٨٧٦١,٤	١٥,٥٩٣	٤,٩٦٥
۲	١٤٦٤٤٧٤٥٠٥٦,٠	١٣٩١٤٩٦٠٠	١٤٧٩٠٩٢٥,١	٤١٦١٤٩١,٤	٦٦,٦٩٧	٨,٦٥٥
۳	٦٤١٧٦٤١١٧٤٧,٣	١٨٧٧٦٩٥٠٠	٤٧٢٨٥٤٠٣,٧٩	٦٠٧٨٠٣١,٣	٨٣,٥٤٨	٨,٩٧٧
٤	١٤٣٥٣١٧٢٨٥٧٨,٩	٢٨٢٧٠١٢٠٠	٨٧٢٧٢٠٨٩,٩	٨٤٠٢٢٢٢,٤	١٠٤,٦٥٠	٩,٣٢٢
۵	٦٤٦٤٠٥٧٠٤٩٣١,٦	٤٤٦٦٢٧٨٠٠	٨٥٠٢٥٨٣١٢,٦	١٢٤٥٤٥٥٠	١٦٩,٩٨٩	١٣,٤٨٤
٦	٧٦٤٥٥٠٧٤٩٩٣٦,٤	٥٣٠٧٤٥٠٠٠	٩٢٢٨١٥٢٨٦,١	١٤٧٣٦٧٩٠	١٩٤,٦٢٢	١٣,٥٢٢

۷	۳۵۵۲۸٤۷۸۷۳۲۳۱٤۸	-	۳۳۸۸۳۷۷۲۱۱۷۳,۳	-	۳۰۵,۳٦۳	-
۸	۷۸٤٦۹۰۸۲٤۰۱٤۰٤۸	-	٦۵۰٤۳٦٤٦۹۱۸۰,۷	-	٤٤۱,۵۱٦	-
۹	۹۳۰۳۲۳۷۰۲۹۳۵۰٦۷	-	٦۸۹۷۳۲۸۸۳٦٤۸,۳	-	۵۲٦,٤۵۲	-
۱۰	۱۱۳۷٤۲٤۰۳۵۸۰۸۲۲۰	-	۸٤۹۵۳۸۵۷۲۹۹۳,۹	-	٦٦۹,٦٦۲	-

همچنین شکل نهایی مربوط به اجرای مدل توسط الگوریتم حل پیشنهادی در شکل (۴-۸) نشان داده شده است.



شکل ٤-۸-شکل نهایی اجرای الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات

با توجه به جدول و شکل فوق نتایج نشان می‌دهد که در ابعاد بزرگ روش حل دقیق کارایی خود را از دست می‌دهد زیرا استفاده از روش های کلاسیک بهینه سازی جهت دستیابی به جواب های بهینه سراسری یا موضعی، تقریباً غیرممکن است (نرم افزارGAMS فقط در مسئله با ابعاد کوچک جواب بهینه محلی ارائه می دهدو قادر به حل این گونه مسائل که جزء مسائل NP-Hard است نمی باشد) و الگوریتم بهینه سازی چند هدفه ازدحام ذرات(MOPSO) جواب بهینه تری ارائه می دهد. همچنین در ابعاد کوچک تر روش اپسیلون-محدودیت کارآمدتر می باشد.

٤-٩ جمع بندی:

در این فصل در ابتدا به منظور اعتبار سنجی و ارائه نتایج محاسباتی، یک مثال عددی مبنا با چند حالت مختلف در نظر گرفته شد مدل ریاضی پیشنهادی برای زنجیره تأمین حلقه بسته مورد نظر یک نمونه کوچک از مسأله ارائه شد. نتایج به دست آمده از حل مدل پیشنهادی اول با دو روش ال پی-متریک و اپسیلون-محدودیت ارائه شده است . با مقایسه این دو روش دریافتیم که روش ال پی-متریک با P=۲ عملکرد بهتری نسبت به روش دیگر داشته است. سپس عملکرد مدل در دو حالت قطعی و استوار مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج حاصله پس از حل مدل حاکی از آن است که کیفیت مدل قطعی در همه مسائل بهتر از مدل استوار است. در قسمت بعدی نمودار پارتو مربوط به مدل پیشنهادی در ۱۱ تکرار مختلف با مقادیر وزن های مختلف مورد بررسی قرار گرفت. در بخش تحلیل حساسیت مشاهده شد که با افزایش میزان محصولات برگشتی توابع هدف دارای روند صعودی داشت. در ادامه برخی از خروجی های حاصل ازمدل پیشنهادی ارائه شد. سپس روش دقیق و روش فراابتکاری در مسائل یزرگ و کوچک مورد ارزیابی قرار گرفت که همانطور که مشاهده شد روش حل دقیق در ابعاد کوچک عملکرد بهتری داشت ولی در ابعاد بزرگ کارایی خود را از دست داد.

فصل پنجم

نتیجه‌گیری و پیشنهادات

۵ مقدمه

در این فصل ابتدا به صورت خلاصه کلیات هر فصل بیان می‌شود سپس نتایج حاصل از فصل های مختلف پایان نامه ارائه شده و در نهایت پیشنهادهایی برای ادامه این تحقیق مطرح شده است.

۵-۱خلاصه پایان نامه

در فصل اول ابتدا مقدمه ای بر حوزه های اصلی کار این پژوهش ارائه گردید و در ادامه ی این فصل به بیان اهداف تحقیق پرداخته و سپس سوال های تحقیق و روش تحقیق مورد استفاده در این پژوهش تشریح شد و در نهایت به تعاریف مختصری از واژه های کلیدی ارائه گردید.

در فصل دوم مروری بر ادبیات همه مفاهیم بیان شده در فصل ۱ صورت گرفته، سیر تاریخی رویکرد حل پیشنهادی بررسی شده و سپس انواع روشهای برخورد با عدم قطعیت و راهکارهای حل مدلهای غیرقطعی در ادبیات مورد بررسی قرار گرفت و در نهایت به بررسی خلاصه کارهای اخیر انجام شده در زمینه های مورد بحث پرداخته شده است.

در فصل سوم با توجه به تحقیقات گذشته، یک مدل جامع برای دستیابی به اهداف و فرضیات مسئله ارائه شد و سپس همه اندیس ها ، پارامترها و متغیرهای تصمیم مورد استفاده در مدل ها معرفی گردید. با توجه به تعاریف، مدل قطعی و استوار نوشته شده و روش های حل برخورد با این مدل پیشنهادی بیان شده است.

فصل چهارم به حل مدل های ارائه شده در فصل سوم اختصاص داده شد و نتایج حاصله از تجزیه و تحلیل داده ها مورد بررسی قرار گرفت.

فصل پنجم یا به عبارتی فصل جاری، به نتیجه گیری و ارائه پیشنهادهایی برای ادامه تحقیق اختصاص یافته است.

۵-۲ نتایج تحقیق

در این تحقیق در این پژوهش، یک مدل حلقه بسته برای طراحی شبکه زنجیره تامین چند محصولی و چند دوره ای و چند سطحی که شامل مراکز تامین کننده، تولید کننده، توزیع کننده، مشتری و جمع آوری و انهدام است، بررسی شده است که مباحث مکان یابی ، تخصیص و کنترل موجودی شبکه را نیز در بردارد.

یک مدل برنامه ریزی خطی دو هدفه برای شبکه در نظر گرفته شد که تابع هدف اول شامل کمینه کردن هزینه های اقتصادی و تابع هدف دوم شامل حداقل کردن زمان تاخیر و تعجیل در ارسال محصولات از تولیدکنندگان به توزیع کنندگان می‌باشد

و دوپارامتر تقاضا و هزینه ها به صورت غیر قطعی در نظر گرفته شده است. با توجه به مفروضات بیان شده در فصل سوم، یک مدل چند هدفه به صورت قطعی و استوار مبتنی بر سناریو ارائه شده است برای نشان دادن اعتبار و کارایی مدل سناریویی به منظور بهینه ساختن توابع هدف به طور همزمان، ۱۰ مثال عددی مختلف با ابعاد کوچک و بزرگ (شش مثال در ابعاد کوچک و چهار مثال در ابعاد بزرگ) ارائه شد. با توجه به چندهدفه بودن مدل پیشنهادی و برای حل آن از روش های تصمیم گیری چند هدفه شامل روش ال پی-متریک و اپسیلون-محدودیت استفاده شده است. با توجه به مقایسات صورت گرفته در زمینه توابع هدف اول و دوم، روش ال پی-متریک در همه مسائل طراحی شده عملکرد بهتری داشته است. زیرا تابع هدف اول و دوم در مدل پیشنهادی از جنس کمینه سازی بوده پس کمترین مقدار در هر مساله به عنوان بهترین جواب انتخاب میشود. در روش ال پی-متریک در همه مثال عددی ازین حیث عملکرد بهتری نسبت به روش اپسیلون-محدودیت داشته است.

در ادامه مدل پیشنهادی در به صورت قطعی و استوار مورد بررسی و مقایسه قرار گرفت که مشاهده شد مقادیر توابع هدف حاصل از حل مساله توسط مدل استواردر مقایسه با مقادیر توابع هدف حاصل از حل همان مساله توسط مدل قطعی در تمامی حالات، بدترند، زیرا در بهینه سازی استوار بدترین حالات ممکن در نظر گرفته می شوند.

در مرحله بعدی نمودار پارتو مربوط به مدل پیشنهادی در ۱۱ تکرار مختلف با مقادیر وزن های مختلف (۰، ۰,۱، ۰,۲، ۰,۳، ۰,۴، ۰,۵، ۰,۶، ۰,۷، ۰,۸، ۰,۹، ۱) مورد بررسی قرار گرفت که در نقطه $w=0$ تابع هدف اول بیشترین مقدار و تابع هدف دوم کمترین مقدار را داشته است به همین صورت در نقطه $w=1$ تابع هدف اول کمترین مقدار و تابع هدف دوم بیشترین مقدار را به خود میگیرد.

در قسمت تحلیل حساسیت مدل پیشنهادی را با تغییر پارامتر میزان محصولات برگشتی با میزان تغییر پذیری ۰,۹ تا ۱,۵ مورد ارزیابی قرار دادیم که با توجه به نتایج بدست آمده از مدل ارائه شده مشاهده شد که افزایش مقدار تابع هدف با افزایش ضریب تغییر رابطه کاملا خطی دارد. لذا در این شرایط می‌توان ادعا نمود که افزایش و یا کاهش میزان محصولات برگشتی تاثیر کاملا شفافی روی مقادیر توابع هدف دارد.

در قسمت بعدی برخی از خروجی های حاصله از مدل پیشنهادی مانند احداث مراکز بالقوه تولیدکننده و توزیع کننده و مرکز جمع آوری و همینطور تقاضای محصولات در دوره های مختلف مورد تحلیل و بررسی قرار گرفت.

نتایج محاسباتی از برتری مدل استوار پیشنهادی در بررسی پارامترهای نامشخص و استواری راه حل های مربوطه در مقایسه راه حل های به دست آمده از مدل قطعی نشان داد. در این مدل استوار، مشکلات مدل های غیرقطعی که باعث ایجاد جواب نشدنی و یا غیر بهینه بودند وجود ندارد و برای مسائل واقعی قابل پیاده سازی است.

در بخش بعدی از روش دقیق و روش فراابتکاری برای حل در مسائل یزرگ و کوچک مورد مقایسه و ارزیابی قرار گرفتند. در روش حل دقیق از اپسیلون-محدودیت که یکی از روش های حل در برنامه ریزی چند هدفه می باشد استفاده شد که این دو روش در ۱۰ مثال عددی مختلف با ابعاد بزرگ و کوچک در ۳۰ بار تکرار الگوریتم مورد بررسی قرار گرفتند. همانطور که مشاهده شد در ابعاد بزرگ روش حل دقیق کارایی خود را از دست داد زیرا نرم افزار GAMS قادر به حل این مسائل که جزء مسائل NP-Hard است نمی باشد و بالعکس الگوریتم بهینه سازی چند هدفه ازدحام ذرات(MOPSO) جواب بهینه تری ارائه می دهد. در ابعاد کوچک روش حل دقیق عملکرد کارامدتر می‌باشد.

۵-۳ دستاوردهای اصلی پایان نامه

مهمترین دستاوردها و نتایج حاصل انجام این پژوهش شامل موارد زیر می باشد:

- اشنایی با جریان های محصولات در مسأله طراحی شبکه زنجیره تأمین که شامل جریان های رو به جلو و جریان های برگشت پذیر در زنجیره تأمین حلقه بسته می باشد و طراحی یک مسئله چند هدفه و چندسطحی و چند دوره ای و چند محصولی
- برخورد با انواع رویکردهای بهینه سازی استوار در مسأله طراحی شبکه زنجیره تأمین که شامل بهینه سازی استوار با در نظر گرفتن مجموعه عدم قطعیت در قالب سناریو و مجموعه عدم قطعیت به صورت بازه ای خود شامل مدل سویستر، مدل برتسیماس و سیم و مدل جعبه ای بنتال و نمیروفسکی می‌باشد.
- شناخت انواع رویکردهای برخورد با مسایل چندهدفه در مسأله طراحی شبکه زنجیره تأمین که در این پژوهش شامل روش های ال پی-متریک و اپسیلون-محدودیت می‌باشد.
- حل مدل ارائه شده در ابعاد کوچک با استفاده از نرم افزار گمز و در ابعاد بزرگ با استفاده از الگوریتم فراابتکاری چندهدفه ازدحام ذرات در نرم افزار متلب

۵-٤ پیشنهاد برای تحقیقات آتی

با توجه به مطالب ذکر شده در این فصل، برخی از مواردی که در تحقیقات آتی میتوانند مورد توجه قرار گیرند به شرح زیر می‌باشد:

- رویکرد فازی رویکرد مناسبی برای پرداختن به عدم قطعیت است، می توان در تحقیقات آینده از این رویکرد در این حوزه استفاده کرد.

- در نظر گرفتن معیارهای دیگر زیست محیطی و همچنین شاخص های ارزیابی اجتماعی در مدل های بهینه سازی لجستیک نیز به عنوان موضوعات جالب وجذاب برای محققان می‌باشد.
- در نظر گرفتن عدم قطعیت درکیفیت برای مسئله پیشنهادی
- مرتبط کردن مدل های ارائه شده با زنجیره ی سبز می تواند نتایج عملیاتی بهتری را به دنبال داشته باشد.
- در نظر گرفتن کمبود و عدم ارضای کامل تقاضا مشتریان و نتایج حاصله از این کمبود در مدل.
- در نظر گرفتن سطوح و لایه های بیشتر در زنجیره تامین به منظور هرچه بیشتر منطبق شدن آن با دنیای واقعی.
- پیاده سازی مدل پیشنهاد شده در یک مثال واقعی با استفاده از داده های واقعی
- استفاده از سایر الگوریتم های فراابتکاری جدید و مقایسه نتایج را می توان به‌عنوان پیشنهاد پژوهشی دیگری در نظر گرفت. این موضوع می تواند باعث فراهم شدن زمینه مناسب جهت تولید پاسخ های بهتر توسط سایر الگوریتم ها و همچنین مقایسه کارکرد الگوریتم های مختلف در این مسئله شود.

۵-۵ محدودیت تحقیق

معمولا در مسائل زنجیره تامین به دلیل اینکه ما با بخش های مختلفی (تامین کننده ، تولیدکننده و مشتری و ...) مواجه هستیم امکان جمع آوری اطلاعات از بخش های گوناگون معمولا با مشکلات مختلفی رو به رو است در این پژوهش نیز ما با محدودیت های مختتلفی مواجه بودیم که شامل موارد زیر می‌باشد:

- محدودیت نتایج تحقیق به دوره زمانی که اطلاعات در آن جمع آوری شده
- عدم دسترسی به یک مطالعه موردی که بتوان مدل پیشنهادی را روی آن پیاده سازی کرد
- محدودیت در کسب اطلاعات و داده های دقیق
- محدودیت استفاده از روش های مختلف برای حل مدل

۵-٦ پیشنهادات کاربردی

نتایج حاصل از این پایان‌نامه می‌تواند برای سازمان هایی که در حوزه زنجیره تامین حلقه بسته و لجستیک معکوس فعالیت میکنند مورد استفاده قرارگیرد و با تعیین مکان بهینه تسهیلات ، تخصیص بهینه و همچنین بهینه سازی هزینه های موجودی شبکه میتوان هزینه ها را کاهش داد و از لحاظ مزایای اقتصادی به صرفه میباشد. در زمینه محیط زیست، با بازیاف کالا و استفاده مجدد از محصولات، ضایعات باعث کاهش اثرات زیان آور و مخرب میشود.

منابع و ماخذ

الف)منابع فارسی

۱. آذر عادل و رضایی پندری عباس/ تحقیق در عملیات پیشرفته: مدل سازی و روش حل آن. ناشر: نگاه دانش، ۱۳۹۵

۲. بهداروند، علی، و همکاران، (۱۳۹۴)؛ "اندازه و مکان یابی چند هدفه منابع تولید پراکنده و خازن های موازی به صورت همزمان در سیستم های توزیع با استفاده از الگوریتم MOPSO "، کنفرانس بین المللی علوم مهندسی، هنر و حقوق، اسپانیا.

۳. جعفرنژاد، احمد؛ مروتی شریف آبادی، علی؛ عطائی، عبدالرضا، (۱۳۹۱)؛ "مدیریت زنجیره تامین و لجستیک"، کانون گسترش علوم.

۴. جعفرنژاد، احمد، و عموزاد مهدیرجی، (۱۳۹۱)؛ "طراحی و کنترل زنجیره تامین رویکردی کمی"، مهربان نشر.

۵. دب،کالیانموی، الگوریتم های ژنتیک با رویکرد بهینه یابی چندهدفه، ترجمه جعفر رضایی و منصور داوودی منفرد، تهران: انتشارات پلک، ۱۳۸۷ ، چاپ اول

۶. رامشانی، محمد؛ رنگریز، حسن؛ بزرگی، علی، (۱۳۹۳) "طراحی و برنامه ریزی زنجیره تامین بین المللی چند هدفی چند سطحی"، پایان نامه، دانشکده اقتصاد دانشگاه علوم -اقتصادی.

۷. ربیعه م(۱۳۸۹) " طراحی مدل ریاضی استوار زنجیره تأمین " رساله دوره دکتری مدیریت صنعتی، دانشگاه تربیت مدرس

۸. رمضانی موزیرجی، فرهاد. یعقوبی، مهدی. الگوریتم کیاتیک بهینه سازی پرندگان. دانشگاه آزاد اسلامی مشهد، گروه هوش مصنوعی. اولین کنفرانس ملی مهندسی۱۳۸۸

۹. زاهدی. ع, "توزیع چند هدفه و چند سطحی تهیه و تولید در زنجیره تامین به همراه پارامترهای فازی," جهت اخذ مدرک کارشناسی, مهندسی صنایع, دانشگاه علم و صنعت ایران، واحد بهشهر, ۱۳۹۲

۱۰. فیض اللهی محمد جواد. بهینه سازی استوار و کاربرد آن در مهندسی مالی و صنایع. دانشگاه صنعتی شریف، ۱۳۸۶

۱۱. قاسمی، ع.، محمودزاده، س.(۱۳۸۹) " ارزیابی طرح های اقتصادی در شرایط عدم قطعیت (رویکرد فازی)"، مجله تحقیقات اقتصادی

۱۲. کیانی مأوی، رضا؛ رنگریز، حسن؛ استادعلی اکبر، آرمان، (۱۳۹۰)؛ "تعیین وضعیت محصولات گروه صنعتی گداختار در زنجیره تامین جهت بهبود عملکرد آن با استفاده از روش TOPSIS فازی سلسله مراتبی"، فصلنامه مدیریت زنجیره تامین، سال سیزدهم، شماره ۳۴

۱۳. مریخ بیات فرشاد / الگوریتم‌های بهینه‌سازی فراابتکاری (همراه با کاربردهایی در مهندسی برق) ، انتشارات جهاد دانشگاهی، ۱۳۹۳

۱۴. یقینی مسعود ، اخوان کاظم‌زاده محمد رحیم/ الگوریتم‌های بهینه‌سازی فراابتکاری. جهاد دانشگاهی واحد صنعتی امیرکبیر ۱۳۹۰

ب)منابع انگلیسی

۱۵. Aliakbar Hasani , Seyed Hessameddin Zegordi , Ehsan Nikbakhsh (۲۰۱۱). Robust closed-loop supply chain network design for perishable goods in agile manufacturing under uncertainty, Journal International Journal of Production Research ۵۰,(۱٦)

۱٦. Altiparmak, F., Gen, M., Lin, L & ,.Paksoy, T (۲۰۰٦) .A genetic algorithm approach for multi-objective optimization of supply chain networks . .Computers & Industrial Engineering.٦۱۲-۱۷۲ ,

۱۷. Angeline, P. (۱۹۹۸). "Evolutionary Optimization Versus Particle Swarm Optimization". Philosophy And Performance Differences: ٦۰۱-٦۱۰.

۱۸. Andrew Cox. Power, (۱۹۹۹) value and supply chain management. Supply Chain Management: An International Journal, Vol. ۴(۴), pp. ۱۶۷–۱۷۵.

۱۹. Andersson, J. (۲۰۰۰), A survey of multiobjective optimization in engineering design, Department of Mechanical Engineering, Linköping University

۲۰. Anil Jindal, Kuldip Singh Sangwan, and Sachin Saxena (۲۰۱۵). Network Design and Optimization for Multi-product, Multi-time, Multi-echelon Closed-loop Supply Chain under Uncertainty. Procedia CIRP. Vol ۲۹, pp ٦۵٦-٦٦۱

۲۱. Asgharpour, M.J. ۱۹۹۷: Multiple criteria decision making. Tehran: Tehran University Press

۲۲. Bandyopadhyay, S. and R. Bhattacharya (۲۰۱٤), Solving a tri-objective supply chain problem with modified NSGA-II algorithm. Journal of Manufacturing Systems,. ۳۳(۱): p. ٤۱-۵۰.

۲۳. Beamon, B.M., (۱۹۹۸). Supply chain design and analysis: models and methods. International Journal of Production Economics ۵۵, ۲۸۱–۲۹٤

٢٤. Behnam Vahdani , Reza Tavakkoli-Moghaddam , Mohammad Modarres , Armand Baboli (٢٠١٢). Reliable design of a forward/reverse logistics network under uncertainty: Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review ٤٨, (٦), pp ١١٥٢-١١٦٨

٢٥. Behnam vahdani, M. Mohamadi (٢٠١٥). A bi-objective interval-stochastic robust optimization model for designing closed loop supply chain network with multi-priority queuing system

٢٦. Ben-Tal, A., Golany, B., Shtern, S., (٢٠٠٩). "Robust multi-echelon multi-period inventory control", European Journal of Operational Research, Vol. ١٩٩, pp. ٩٢٢–.٥٣٩

٢٧. Ben-Tal, A., & Nemirovski, A. (٢٠٠٠). Robust solutions of Linear Programming problemscontaminated with uncertain data. Math Program, ١١١-١٦١

٢٨. Bertsimas, D., Sim, M., (٢٠٠٤). "The Price of Robustness", Operations Research, Vol. ٥٢(١), pp. ٣٥–٣٣.

٢٩. Bertsimas, D., Thiele, A., (٢٠٠٦). "A Robust Optimization Approach to Inventory theory", Operations Research, Vol. ٥٤(١), pp. ١٥٠–.٨٦١

٣٠. Bridge JS,; Jarvis J(١٩٨٢) The dynamics of a river bend: a study in flow and sedimentary processes. Sedimentology ٢٩:٤٩٩–٥٥٠

٣١. Brito, M. P. de., Flapper, S. D. P., and Dekker, R., (٢٠٠٢), Reverse Logistics: a review of case studies. ERIM report series research in management

٣٢. Canser Bilir , Sule Onsel Ekici , Fusun Ulengin (٢٠١٧). An integrated multi-objective supply chain network and competitive facility location model, Computers & Industrial Engineering, ١٠٨, pp ١٣٦-١٤٨

٣٣. Chankong, V., & Haimes, Y. (١٩٨٣). Optimization-based methods for multiobjective decision-making-an overview. *Large Scale Systems In Information And Decision Technologies, 5*(١), pp ١-٣٣.

٣٤. Chaudhari,P.M.,Dharaskar,R. V.,Thakare, V. M. (٢٠١٠), Computing the Most Significant Solution from Pareto Front obtained in Multi-objective Evolutionary, International Journal of Advanced Computer Science and Applications, Vol. ١,No.٤,

٣٥. Chen, T.H., Chen, J.M. (٢٠٠٥). Optimizing supply chain collaboration based on joint replenishment and channel coordination. *Transportation Research*, *Part E*, ٤١ (٤): ٢٦١-٢٨٥.

٣٦. Chopra, Sunil, Meindel.P (١٩٩٢) Supply chain management: strategy, planning, and operation, New York, Prentice Hall.

٣٧. Christopher, M. (١٩٩٨). *Logistics and Supply Chain Management, Strategies for Reducing Cost and Improving Service*, second ed., London.

٣٨. Cooper, M. C., Lambert, D. M., and Pagh, J. D. (١٩٩٧). Supply chain management: more than a new name for logistics, The International Journal of Logistics Management, ٨ (١), ١-٩.

٣٩. Cormack,R. M., (١٩٧١). A review of classification. Journal of the RoyalStatistical Society A , ١٣٤(٣), , pp. ٣٢١– ٣٦٧. .٤٠

٤١. Coskun, S. et al. (٢٠١٦); "A model for green supply chain network design based on consumer segmentation", Journal of Cleaner Production, ١١٠, pp ١٤٩-١٥٧

٤٢. Eberhart, R., and Y. Shi (١٩٩٨). "Comparison between genetic algorithms and particle swarm optimization". *In: Porto VW*, Saravanan N, Waagen D & Eiben AE (eds.)

٤٣. Ellram, L.M. (١٩٩١). Supply chain management: the industrial organization perspective. *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management,* ٢١(١): pp ١٣-٢٢.

٤٤. Fleischmann, M., Bloemhof-Ruwaard, J. M., Dekker, R., Van Der Laan, E., Van Nunen, J. A., and Van Wassenhove, L. N., (١٩٩٧), Quantitative models for reverse logistics: a review. European Journal of Operational Research, ١٠٣,pp ١–١٧.

٤٥. Fonseca, C.M. and Fleming, P.J. (١٩٩٣) Genetic Algorithms for Multiobjective Optimization: Formulation, Discussion and Generalization. Proceedings of the ICGA-٩٣: Fifth International Conference on Genetic Algorithms, ١٧-٢٢ July ١٩٩٣, San Mateo, pp ٤١٦-٤٢٣.

٤٦. G. Mavrotas, (٢٠٠٩). Effective implementation of the ε-constraint method in multi-objective mathematical programming problems modified augmented, Appl.Math. Comput. ٢١٣ (٢). pp٤٥٥–٤٦٥

٤٧. Hamed Fazlollahtabar, Iraj Mahdavi, Amir Mohajeri (٢٠١٣). Applying fuzzy mathematical programming approach to optimize a multiple supply network in uncertain condition with comparative analysis. Applied Soft Computing, ١٣, (١), pp ٥٥٠-٥٦٢

٤٨. Hamies Y.Y., Hall W.A. (١٩٧٤); Multi objectives in water resources systems analysis: The surrogate woth tradeoff method; *Water Resources Research*, Vol.١٠, No.٤,

٤٩. Hites, R., De Smet, H.,Risse, N., Salazar-Neumsnn, M., Vincke, P. (٢٠٠٦). "About the pplicationability of MCDA to some robustness problems", E. J of Operational Research, Vol. ١٧٤, pp. ٣٢٢–٣٣٢

٥٠. Huang, G. Q., Lau, S. K. J., Mak, K.L. (٢٠٠٢). The impacts of sharing production information on supply chain dynamics: a review of the literature. *International Journal of Production Research*, ٤١(٧): pp ١٤٨٣-١٥١٧.

٥١. Hugos M.H., (٢٠١١), Essentials of Supply Chain Management, John Wiley & Sons.

٥٢. Hwang, C.L., Masud, A.S.M., (١٩٧٩). Multiple objective decision making : Methods and Applications: A sate of the art survey, Lecture notes in Economics and Mathematical Systems, ١٦٤, Spring-Verglag, Berlin,

٥٣. Jayaraman, V., Guide, JR, V., and Srivastava, R., (١٩٩٩), A closed-loop logistics model for remanufacturing. Journal of the Operational Research Society, ٥٠, pp٤٩٧–٥٠٨.

٥٤. J. Mula, R. Poler, J. Garcia-Sabater, and F. C. Lario; (٢٠٠٦). "Models for production planning under uncertainty: A review", International journal of production economics, vol .١٠٣, pp ٢٧١-٢٨٥,.

٥٥. Kannan Govindan , , Mohammad Fattahi , Esmaeil Keyvanshokooh (٢٠١٧). Supply chain network design under uncertainty: A comprehensive review and future research directions. European Journal of Operational Research, ٢٦٣, (١), pp ١٤١-١٠٨

٥٦. Kara SS, Onut S. (٢٠١٠).A two-stage stochastic and robust programming approach to strategic planning of a reverse supply network: The case of paper recycling. Expert Systems with Applications.;٣٧:٦١ , pp ٢٩-٣٧.

٥٧. Lee, J. W. (١٩٩٣). Determining Order Quantity And Selling Price By Geomettric Programming. Decesion Science , pp ٧٦-٨٧.

٥٨. Lee, W. (٢٠٠٥). A joint economic lot size model for raw material ordering, manufacturing setup, and finished goods delivering. Omega, ٣٣, pp ١٦٣-١٧٤

٥٩. Leung, S.C.H., Tsang, S.O.S., Ng, W.L. , Wu, Y., (٢٠٠٧). " A robust optimization model for multisite production planning problem in an uncertain environment". European Journal of Operational Research, Vol. ١٨١, pp. ٢٢٤–.٨٣٢

٦٠. Luis J. Zeballosa, Carlos A. Méndeza, Ana P. Barbosa-Povoab, Augusto Q. Novais (٢٠١٤). Multi-period design and planning of closed-loop supply chains with uncertain supply and demand

٦١. Mavrotas, G. (٢٠٠٩). Effective implementation of ε-constraint method in Multi-Objective Mathematical Programming problems". Applied Mathematics and Computation, ٢١٣, pp ٤٥٥-٤٦٥.

٦٢. Melo, M. T., Nickel, S., and Saldanha-da-Gama, F. (٢٠٠٩). Facility location and supply chain management – A review, European Journal of Operational Research, ١٩٦ (٢), ٤٠١-٤١٢.

٦٣. Mir Saman Pishvaee, Masoud Rabbani , Seyed Ali Torabi (٢٠١١). A robust optimization approach to closed-loop supply chain network design under uncertainty. Applied Mathematical Modelling. ٣٥, (٢), pp ٦٣٧-٦٤٩

٦٤. M. El-Sayed , N. Afia, A. El-Kharbotly (٢٠١٠). A stochastic model for forward–reverse logistics network design under risk. Computers & Industrial Engineering. ٥٨, (٣), pp٤٢٣-٤٣١

٦٥. M. H. Hugos, (٢٠١١). Essentials of supply chain management vol. ٦٢: John Wiley & Sons

٦٦. M.S. Pishvaee, S.A.Torabi (٢٠١٠). A possibilistic programming approach for closed-loop supply chain network design under uncertainty. Computers & Industrial Engineering. ٥٨ ,pp٤٢٣–٤٣١

٦٧. M.T. Melo , S. Nickel , F. Saldanha-da-Gama (٢٠٠٩). Facility location and supply chain management – European Journal of Operational Research, ١٩٦, (٢), pp ٤٠١-٤١٢

٦٨. Mulvey, J.M. , Ruszczynski, , A., (١٩٩٥). "A new scenario decomposition method for large-scale stochastic optimization", Operations Research, Vol.٤٣ (٣), pp. ٤٧٧-.٠٩٤

٦٩. M.T. Melo , S. Nickel , F. Saldanha-da-Gama (٢٠٠٩). Facility location and supply chain management – A review. European Journal of Operational Research.١٩٦, (٢), pp ٤٠١-٤١٢

٧٠. Neda Makrooni, Maziar Salahi.(٢٠١٧). Robust Multi-Objective Facility Location Model of Closed-Loop Supply Chain Network under Interval Uncertainty. International Journal of Operations Research ١٤, (٢),pp, ٥٣–٦٣

٧١. Pandian, P., Jayalakshmi,M. (٢٠١٣), Determining Efficient Solutions to Multiple Objective Linear Programming Problems, Applied Mathematical Sciences,٧, no. ٢٦, pp. ١٢٧٥ – ١٢٨٢.

۷۲. Pishvaee,M, Rabbani,M, Torabi,A, (۲۰۱۱), A robust optimization approach to closed-loop supply chain network design under uncertainty, Applied Mathematical Modelling ۳۵, ۲, pp ۶۳۷-۶۴۹

۷۳. Pishvaee, M., Razmi, J. and Torabi, S. (۲۰۱۲). Robust possibilistic programming for socially responsible supply chain network design: A new approach. Fuzzy Sets and Systems, ۲۰۶, pp.۱-۲۰.

۷۴. Pishvaee, M.S., Farahani, R.Z., Dullaert, W. (۲۰۱۰), A memetic algorithm for biobjective integrated forward/reverse logistics network design, Comput. OperRes., ۳۷,, pp. ۱۱۰۰–۱۱۱۲

۷۵. Poli, R., & Broomhead, D. (۲۰۰۷). Exact analysis of the sampling distribution for the canonical particle swarm optimiser and its convergence during stagnation. In Genetic and evolutionary computation conference (GECCO), London. ACM, New York. pp. ۱۳۴-۱۴۱

۷۶. PoliRiccardo, KennedyJames,(۲۰۰۷). BlackwellTim Particle swarm optimization An overview. s.l., Springer Science. pp.۳۳–۵۷

۷۷. Ramezani, M., Bashiri, M., & Tavakkoli-Moghaddam, R. (۲۰۱۳). A new multi-objective stochastic model for a forward/reverse logistic network design with responsiveness and quality level. Applied Mathematical Modelling, ۳۷(۱-۲), pp.۳۲۸-۳۴۴.

۷۸. Roy, B., (۲۰۱۰). "Robustness in operational research and decision aiding: A multi-faceted issue", European Journal of Operational Research, Vol. ۲۰۰, pp. ۶۲۹–.۸۳۶

۷۹. Ruimin MA, Lifei YAO, Maozhu JIN, Peiyu REN, Zhihan LV(۲۰۱۵). Robust environmental closed-loop supply chain design under uncertainty. Chaos, Solitons & Fractals, ۸۹, pp. ۱۹۵-۲۰۲

۸۰. Sabri, E.H., Beamon, B.M., (۲۰۰۰). "A multi-objective approach to simultaneous strategic and operational planning in supply chain design", *Omega (The International Journal of Management Science),* Vol. ۲۸, pp. ۵۸۱–۵۹۸

۸۱. Sachan, A. & Datta, S. (۲۰۰۵). Review of supply chain management and logistics research. .International Journal of Physical Distribution & Logistics Management, ۳۵(۹/۱۰): pp.۶۶۴-۷۰۵.

۸۲. Saman Hassanzadeh Amin, Guoqing Zhang (۲۰۱۳). A multi-objective facility location model for closed-loop supply chain network under uncertain demand and return. Applied Mathematical Modelling. ۳۷, ۶, pp ۴۱۶۵-۴۱۷۶

۸۳. Schultmann, F., Zumkeller, M., and Rentz, O., (۲۰۰۵), Modeling reverse logistic tasks within closed-loop supply chains: An example from the automotive industry. European Journal of Operational Research, pp.۱–۱۸.

۸٤. Selcuk Erenguc, S, Simpson, NC & Vakharia, AJ (۱۹۹۹), 'Integrated production/distribution planning in supply chains: An invited review', European Journal of Operational Research, vol. ۱۱٥, p. ۲۱۹–۲۳٦.

۸٥. Seyed Reza Mirmajlesi , Rasoul Shafaei (۲۰۱٦). An integrated approach to solve a robust forward/reverse supply chain for short lifetime products. Computers & Industrial Engineering. ۹۷, pp ۲۲۲-۲۳۹

۸٦. Simchi.Levi.D, Kaminsky.P, (۲۰۰۰) Designing and managing the supply chain, New York, Mc Graw Hill.

۸۷. Stadtler, H. & Kilger, C. (eds) (۲۰۱۱); “Supply Chain Management and Advanced Planning: Concepts, Models, Software, and case studies”, Berlin: Springer.

۸۸. Soleimani, H. and G. Kannan, (۲۰۱٥). A hybrid particle swarm optimization and genetic algorithm for closed-loop supply chain network design in large-scale networks. Applied Mathematical Modelling,. ۳۹(۱٤): pp. ۳۹۹۰-٤۰۱۲.

۸۹. Soyster, A.L., (۱۹۷۳). "Convex programming with set-inclusive constraints: Applications to inexact linear programming". Operations Research, Vol. ۲۱, pp. ۱۱٥٤–.۷٥۱

۹۰. Sonia R. Cardoso, Ana Paula F.D. Barbosa-Povoa , Susana Relvas (۲۰۱۳). Design and planning of supply chains with integration of reverse logistics activities under demand uncertainty. European Journal of Operational Research. ۲۲٦, (۳), , pp ٤۳٦-٤٥۱

۹۱. S. Lalwani, S. Singhal, R. Kumar and N. Gupta. (۲۰۱۳). “A comprehensive survey: Applications of multi-objective particle swarm optimization (MOPSO) algorithm”, Article ۲, (۲), pp ۱۰۱-۳۹

۹۲. Talbi, El-Ghazali. Metaheuristics, (۲۰۰۹): From Design to Impelementation. John Wiley and sons

۹۳. Tan, K.C. (۲۰۰۱), “A framework of supply chain management literature”, European Journal of Purchasing and Supply Management, Vol. ۷ No. ۱, pp. ۳۹-٤۸.

۹٤. Tang, C. S., (۲۰۰٦), Perspectives in supply chain risk management, Int. J. Production Economics, Vol. ۱۰۳, pp. ٤٥۱-٤۸۸

۹٥. Taylor, D., (۱۹۹۷). Global Cases in Logistics and Supply Chain Management. International Thompson Business Press, Boston, MA.

۹٦. Thomas, D.J., Griffin, P.M. (۱۹۹٦). Coordinated supply chain management. European. *Journal of Operational Research*, ۹٤ (۱): pp.۱–۱٥.

۹۷. Tummala, V.M. Rao, and Tobias Schoenherr. (۲۰۱۱) "Assessing and Managing Risks Using the Supply Chain Risk Management Process (SCRMP)," Supply Chain Management: An International Journal, Vol. ۱٦, No. ٦,, pp. ٤۷٤-٤۸۳.

۹۸. Vildan Özkır, Hüseyin Bas¸ lıgil (۲۰۱۳). Multi-objective optimization of closed-loop supply chains in uncertain environment. Journal of Cleaner Production. ٤۱, pp. ۱۱٤-۱۲٥

۹۹. Yan Yan Cui, Zailin Guan, Ullah Saif, Li Zhang, Fei Zhang, Jahanzaib Mirza (۲۰۱۷). Close Loop Supply Chain Network Problem with Uncertainty in Demand and Returned Products: Journal of Cleaner Production. ۱٦۲,, pp ۷۱۷-۷٤۲

۱۰۰. Yu, C.S., Li, H.L., (۲۰۰۰). A robust optimization model for stochastic logistic problems. International Journal of Production Economics ٦٤,pp.۳۸٥–۳۹۷

۱۰۱. Yu-Chung Tsao, Vo-Van Thanh, Jye-Chyi Lu, Vicent Yu (۲۰۱۷). Designing Sustainable Supply Chain Networks under Uncertain Environments: Fuzzy Multi-Objective Programming,, Journal of Cleaner Production, ۱۷٤ , pp ۱٥٥۰-۱٥٦٥

۱۰۲. Wang, C.H., Even, J.C., Adams, S.K., (۱۹۹٥) . a mixed integer linear model for optimal processing and transport of secondary materials, Resources, Conservation and Recycling, pp.۱٥٦٥-۷۸.

۱۰۳. ZHAO, S., WU, K., & YUAN, X.-M. (۲۰۱٦). Optimal Production-Inventory Policy for an Integrated Multi-Stage Supply Chain with Time-Varying Demand. European Journal of Operational Research, pp.٦-۱۱.

۱۰٤. Zohal, M. Soleimani, Hamed. (۲۰۱٦); "Developing an ant colony approach for green closed-loop supply chain network design: a case study in gold industry", Journal of Cleaner Production, ۱۳۳, pp.۳۱٤-۳۳۷

پیوست‌ها

Closed-loop Supply chain network design under uncertainty with Robust optimization approach

Abstract

in recent years, the reverse supply chain (RSC) has attracted much attention by increasing competition between organizations and because of cost and environmental concerns. The reverse supply chain refers to the activities of collection and recycling of products in the supply chain management. The integration of the forward supply chain (FSC) and the reverse supply chain (RSC) leads to a closed - loop supply chain (CLSC). The study seeks to design a closed - loop model of a multi-product and multi-echelon chain model containing supplier, producer, distributor, customer, collection center and disposal centers and include locating, allocating and inventoty control. A two - objective linear programming model for the network is considered to be the first objective function for minimizing the economic costs and the second objective function involves minimizing the time of delay and rush to send products from producers to distributors. The proposed model is a multi-objective model that is used for solving a multi-objective decision method (MODM) that includes LP-metric and ε-constraint methods. Finally, a numerical example is proposed for evaluation and testing of the model. In this model, costs and demand are considered as non-deterministic parameters. In order to deal with non-deterministic parameters and reduce its impact on optimal response, a robust optimization model is proposed. In order to solve the large-scale model, the multi-objective particle swarm optimization algorithm (MOPSO) was used. To illustrate the effectiveness of the proposed MOPSO algorithm, the obtained solutions are compared with the solutions of the exact solution.

KeyWords: closed-loop supply chain, uncertainty, Robust optimization, Multi-objective Particle Swarm Optimization

kharazmi University

Faculty of Management

Thesis Master in Industrial Management – production & operation

Title of the Thesis

Closed-loop Supply chain network design under uncertainty with Robust optimization approach

Supervisor
Reza Yousefi-Zenouz,Ph.D

Advisor
Dr.Farzad haghighirad

By
Seyyed sajjad zakeritabar amiri

January ۲۰۱۹