مقاله پژوهشی

طراحی رقابتی شبکه زنجیره لجستیک کالای فاسدشدنی با تکیه بر بهینه‌سازی تقاضا و افزایش رضایت‌مندی مشتریان

نگین جهان‌بخش[1*]، حمید توحیدی [2]

دانشگاه آزاد واحد تهران جنوب

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۹/۰۲/۲۸

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۰۵/۰۱

چکیده

ازآنجاکه در زنجیره تأمین کالاهای فاسدشدنی زمان نقش پررنگی دارد و تأخیر به هر دلیلی در هر فرایند از زنجیره، می‌تواند به فساد محصولات و ایجاد ضررهای مالی و زیست‌محیطی منجر شود، در این تحقیق سعی شده است که با در نظر گرفتن اهداف کاهش هزینه و زمان تدارکات و افزایش رضایت‌مندی مشتری بالاترین میزان بهره‌وری را کسب نماید. بر این اساس تولیدکننده، کالای فاسدشدنی موردنظر خود را بر اساس تابع تقاضای متغیر که از اطلاعات بازار دریافت کرده است تولید می‌نماید. تولیدکننده می‌تواند مقدار مشخصی از تولید خود را به‌عنوان ذخیره اطمینان نگه دارد یا میزان تولید خود را بر اساس نیاز بازار منطبق کند که البته این نیاز دارای عدم قطعیت می‌باشد. کالای تولیدشده با وسایل نقلیه مختلف و با ظرفیت مشخص به توزیع‌کننده ارسال می‌شود. توزیع‌کننده می‌تواند مقداری از محصول را به‌عنوان ذخیره اطمینان انبار کند یا همه محصول را به بازار ارائه دهد. کالای حمل شده از مراکز توزیع به دست خرده‌فروشان می‌رسد تا تقاضای بازار را برطرف کنند...هدف این تحقیق، طراحی مدل ریاضی است که با در نظر گرفتن بهینه‌سازی هزینه، زمان تدارک و رضایت مشتری بهترین مکان‌یابی تسهیلات برای زنجیره تأمین را انجام دهد. در نتایج حاصل از مدل نشان داده شد که کاهش زمان تحویل و افزایش کیفیت آن باعث کاهش میزان مرجوعی کالا به میزان ۲۰ درصد می‌شود.

واژه‌های کلیدی: کالای فاسدشدنی، روش اپسیلون محدودیت، عملکرد زنجیره تأمین، مدل چندهدفه، بهینه‌سازی

۱- مقدمه

سال‌های اخیر نظر بسیاری از محققان و صنعتگران به تحقیقات در حوزه زنجیره تأمین[3] جلب شده است. زنجیره تأمین مجموعه‌ای از روش‌های مورداستفاده برای یکپارچگی مؤثر و کارای تأمین‌کنندگان[4]،تولیدکنندگان، توزیع‌کنندگان[5] و خرده‌فروشان[6] به‌منظور حداقل کردن هزینه‌های سیستم، تولید و توزیع کالاها به تعداد صحیح در مکان و زمان مناسب و تحقق نیازهای مشتری می‌باشد[۱]. از طرفی زنجیره تأمین، شبکه‌ای از سازمان‌ها است که با ارتباط بالادستی به پایین‌دستی در فرآیندها و فعالیت‌ها درگیرند و به‌صورت محصولات و خدمات ارائه‌شده به مشتری نهایی تولید ارزش می‌نمایند[۱] .هدف همه‌کسانی که در زنجیره تأمین فعالیت می‌کنند، افزایش رقابت‌پذیری است؛ زیرا امروزه از دید مشتری نهایی، یک واحد سازمانی به‌تنهایی در مورد رقابت‌پذیری محصولات یا خدمات خود مسئول نیست و زنجیره تأمین، همه سازمان‌های درگیر را باهم در نظر

۱*- دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، دانشکده صنایع ،دانشگاه آزاد تهران جنوب ، نویسنده پاسخگو ، نشانی: خیابان انقلاب اسلامی، خیابان پل چوبی، دانشگاه آزاد تهران جنوب پست الکترونیک: N.Jahanbakhsh1098@Gmail.com

۲- دانشیار گروه صنایع ، دانشکده صنایع ، دانشگاه آزاد تهران جنوب ،تهران ،ایران ،پست الکترونیک: H_tohidi@azad.ac.ir

3- Supply chain
4- Suppliers
5- Distributors
6- Retailers

می‌گیرد؛ این مطالب تأثیر هزینه و زمان در رضایت مشتری را نشان می‌دهد. در این میان زنجیره تأمین برای کالاهای فاسدشدنی داستان دیگری دارد. فساد کالاها یک پدیده شایع است. محصولات ممکن است ارزش یا کیفیت خود را به‌طور ناگهانی یا به‌مرور از دست بدهند. فساد یک تابع غیرخطی است که از فاکتورهای بسیاری مانند انواع حمل‌ونقل تأثیر می‌پذیرد[۲].

فاسدشدن سریع محصولات غذایی به از دست دادن حجم بسیاری از مواد غذایی و فشار بیشتر بر (FSCS[۱][۲]) طرح جبران خدمات مالی منجر می‌شود. همچنین باعث کاهش کیفیت، سودآوری و پایداری مواد غذایی می‌شود. برخی از تلفات مواد غذایی که پس از برداشت و در ارتباطات شبکه زنجیره تأمین اتفاق می‌افتد اجتناب‌ناپذیر است. بر اساس گزارشات فائو[۲] از ۲۰ تا ۶۰ درصد کل تولیدات در همه کشورها و یک‌سوم محصولات غذایی برای مصرف انسان در جهان پس از برداشت از بین می‌رود که به میزان حدود ۱,۳ میلیارد تن در سال است[۳] . حدود ۴۰ درصد از ضایعات مواد غذایی مربوط به فعالیت‌های زنجیره تأمین است؛ مواردی مانند حمل‌ونقل که نیاز به شرایط مشخص دارد و ذخیره‌سازی محصولات فاسدشدنی، مدیریت و بسته‌بندی. پس می‌تواند گفت بهبود زنجیره تأمین، به معنای بهبود ترکیب فاکتورهای مختلف است. به‌طوری‌که هزینه و زمان را کاهش و رضایت مشتری را افزایش دهد و عدم قطعیت‌ها را تا حد ممکن کنترل نماید [۴]. در زنجیره تأمین موردمطالعه در این پژوهش تولیدکننده، محصولی جدید را تولید و از طریق شرکت لجستیک نوع سوم[۳]3PL به یک بازار دور ارسال می‌نماید، سپس توزیع‌کننده کالا را خریده و به مشتریان نهایی می‌فروشد. ازآنجاکه محصول موردنظر فاسدشدنی است، ممکن است هم‌مقدار و هم کیفیت آن در طول فرایند ترابری، کاهش یابد. علاوه بر آن، مشتریان نهایی هم به قیمت خرده‌فروشی و هم به سطح تازگی محصول حساس هستند؛ بنابراین تقاضای بازار، تصادفی و وابستگی زیادی به این دو عامل دارد. با توجه به زمان ترابری متغیر، سطح تازگی محصول و تقاضای بازار، تصمیمات سه طرف درگیر در این زنجیره تأمین بسیار پیچیده است و در صورت عملکرد نامناسب ممکن است ایجاد ضرر نماید. هدف اصلی این مقاله بسط یک مدل برای مشخص نمودن تصمیمات مطلوبی است که هر جزء باید اتخاذ کند تا اعضای زنجیره به هماهنگی بیشتر تحریک شوند. به‌طوری‌که همگی از عملکرد ارتقا یافته سیستم سود ببرند. در این تحقیق، اهداف جزئی زیر موردنظر قرار خواهد گرفت:

* طراحی مدل ریاضی زنجیره لجستیک کالاهای فاسدشدنی با تکیه‌بر بهینه‌سازی تقاضا و افزایش رضایتمندی مشتریان
* کاهش هزینه‌ها و مدت تحویل
* افزایش رضایت مشتری
* ایجاد مزیت رقابتی و افزایش سهم بازار
* کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی

بر اساس مسئله تحقیق و جهت دستیابی به اهداف تحقیق، سؤالات اصلی عبارت است از:

* ساختار مدل لجستیک معکوس یکپارچه با استفاده از تکنیک برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح آمیخته در شرایط عدم قطعیت چگونه است؟
* تأثیر مدت‌زمان تحویل و کیفیت در عملکرد زنجیره تأمین معکوس در شرایط عدم قطعیت به چه میزان می‌باشد؟
* بازطراحی بهینه زنجیره تأمین معکوس در شرایط عدم قطعیت که پاسخگوی اهداف باشد چگونه است؟

۲- پیشینه تحقیق

بوخروبا[۴] (۲۰۱۵) رویکردی یکپارچه برای برنامه‌ریزی زنجیره تأمین حلقه باز مبتنی بر جنبه‌های اقتصادی، محیط زیستی و اجتماعی به‌صورت یک مدل مکان‌یابی تخصیصی در صنعت الوار ارائه کرده است. در مدل‌سازی ریاضی انجام‌شده با استفاده از برنامه‌ریزی چندهدفه و سپس با تکنیک برنامه‌ریزی آرمانی وزن داده‌شده و نسبت به حل آن اقدام گردیده است[۵]. ولیدی[۵] (۲۰۱۵) در پژوهشی متمرکز بر توزیع و حمل‌ونقل در زنجیره تأمین حلقه باز و با لحاظ کردن جنبه‌های اقتصادی و محیط زیستی و با توجه به تعداد زیاد متغیرهای مدل و hard-NP بودن آن، مسئله با کمک روش

1- Financial Services Compensation Scheme
2- Food and Agriculture organization
3-Third Party Logistics
4- Boukherroub
5- Validi

فرا ابتکاری حل‌شده است[۶]. آزاده و همکاران (۲۰۱۵) مدل برنامه‌نویسی چندهدفه فازی خطی برای بهینه‌سازی زنجیره عرضه گاز طبیعی از طریق یک رویکرد کاهش گازهای گلخانه‌ای ارائه دادند. در این مدل، برای مقابله با عدم قطعیت پارامترها، ازجمله تقاضا، ظرفیت و هزینه به‌عنوان پارامترهای فازی در نظر گرفته‌شده است. مسئله با استفاده از نرم‌افزار گمز حل‌شده و سپس تجزیه‌وتحلیل حساسیت بر پارامترهای آن انجام گشته است[۷]. ایوانف و همکاران (۲۰۱۶) مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط، جهت طراحی یک سیستم یکپارچه دیزل سوخت زیستی- نفتی ارائه دادند. برنامه‌ریزی استراتژیک زنجیره تأمین سوخت‌های زیستی یکپارچه با استفاده از کل هزینه سالانه و چرخه عمر گازهای گلخانه‌ای (گاز خانه سبز) به‌عنوان معیار اقتصادی و محیط زیستی نشان داده شد. زیر معیارها شامل، سازگاری زیرساخت‌ها، توزیع، اندازه و محل پالایشگاه زیستی با استفاده از زیست‌توده در دسترس و مالیات بر کربن می‌باشد. مقدار خوراک زیستی، هزینه حمل‌ونقل زیست‌توده، همچنین موجودی و هزینه پردازش به‌عنوان ورودی استفاده‌شده است. این مطالعه درنهایت مدلی را جهت تعیین مکان بهینه پالایشگاه برای تولید بیودیزل (B100) و تولید دیزل نفتی به‌عنوان یک مجتمع تأمین‌کننده زنجیره‌ای سوخت‌های زیستی ارائه داده است[۸]. طلایی و همکاران (۲۰۱۶) مدلی جهت بررسی تسهیلات محل/تخصیص برای حلقه بسته شبکه زنجیره تأمین سبز چند محصول متشکل از تولید / بازسازی و جمع‌آوری / مراکز بازرسی و همچنین مرکز دفع و بازار، ارائه‌شده است. جهت طراحی این شبکه، یک مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط که قادر به کاهش هزینه کل شبکه باشد، پیشنهاد کرده‌اند. مدل به‌گونه‌ای توسعه داده‌شده است که اهداف محیط زیستی ازجمله کاهش نرخ انتشار دی‌اکسید کربن در محیط‌زیست در سراسر شبکه را در نظر گیرد. در این تحقیق، از روش برنامه‌ریزی فازی جهت اثرات عدم قطعیت هزینه‌های متغیر و همچنین نرخ تقاضا، در طراحی شبکه استفاده‌شده است. برای حل مدل برنامه‌نویسی دو هدفه و برای نشان دادن انطباق مدل بهینه، از روش ε-محدودیت و تصویر عددی دستگاه‌های کپی صنعت، استفاده‌شده است. در پایان، نتایج نشان داد که مدل قادر به کنترل عدم قطعیت شبکه در بخش قیمت بر روی سیستم تحمیل‌شده، خواهد بود[۹]. پیشوایی و خلف (۲۰۱۶) نیز بررسی شبکه لجستیک در قالب یک زنجیره تأمین چند سطحی باهدف کمینه کردن کل هزینه چرخه و بخصوص هزینه محصولات چند دوره‌ایی بود. در این پژوهش محققان برای به هدف رسیدن از بهینه‌سازی فازی استفاده نمودند[۱۰]. فیتروکاسپن[1] و همکاران (۲۰۱۷) مدلی با در نظر گرفتن عدم قطعیت در تقاضا و تأمین‌کنندگان در محصولات بازیافتی در بازطراحی لجستیک معکوس ارائه دادند. این مقاله با استفاده از رویکرد پایدار مدل تهیه‌شده به توازن مناسبی بین اهداف اجتماعی و محیطی و اقتصادی دست‌یافته است. علاوه بر این خروجی‌ها برای تصمیمات استراتژیک مکان‌یابی تسهیلات، جریان مواد و حالت حمل-ونقل مفید واقع شدند. در قیاس با مدل‌های گفته‌شده در پیشینه پژوهش، مدل فعلی اثرات زیست‌محیطی را به‌صورت مؤثرتری در تصمیمات مکان‌یابی و حمل‌ونقل اعمال کرده است. در مقابل، استفاده از سطح خدمات مشتری به‌عنوان سنجشی برای عملکرد مورد انتظار زنجیره‌تامین، اهداف اقتصادی و زیست‌محیطی اطلاعات ارزشمندی برای تضمین رویکرد قوی پایدار، تهیه‌کرده‌اند. در مطالعه موردی نتایج نشان داد که برای بهبود عملکرد زنجیره نیاز به احداث دو کارخانه دیگر بازیافت وجود دارد. در بازطراحی زنجیره‌تامین، کاهش هزینه‌ها نشان داده‌شده است. به دلیل پیچیدگی‌های طراحی شبکه زنجیره‌تامین، شکاف‌های دانشی مختلفی وجود دارد. ازیک‌طرف، مدل‌سازی ریاضی در حوزه پیامدهای اجتماعی موضوعی است که حل‌نشده و می‌تواند فرصت بسیار خوبی برای بهبود عملکرد زنجیره‌تامین باشد. از سوی دیگر، تحلیل عدم قطعیت در پارامترهای دیگر مثل قیمت، هزینه-های تولیدی و کیفیت مواد بازیافتی موضوعاتی است که می-تواند در مطالعات آینده در نظر گرفته شود[۱۱]. موسوی و همکاران۲ (۲۰۱۷) مدل دو هدفه برای برنامه‌ریزی کامیون سبز و مسئله مسیریابی در یک سیستم انبار متقاطع معرفی کرده‌اند. این مدل سه تصمیم کلیدی در انبار متقاطع را مشخص می‌کند: ۱) تعیین توالی و برنامه کامیون‌های ورودی در درب پذیرش. ۲) تعیین یک دنباله و برنامه کامیون‌های ورودی در درب حمل‌ونقل. ۳) تعیین مسیرهای کامیون

1- Feitó-Cespón
2- Musavi

خروجی که به سمت مشتری می‌روند. اولین تابع هدف به پاسخگویی شبکه مربوط است که کمینه کردن نقص پنجره زمانی است و دومین هدف کمینه کردن کل مصرف سوخت برای حفظ جنبه زیست‌محیطی شبکه است. یک اثر یادگیری نیز در زمان فرایند بارگیری و تخلیه در نظر گرفته‌شده است. برای حل مدل دو هدفه یک مدل شبیه‌سازی چندهدفه (AMOSA[1]) به کار گرفته‌شده است. در این پژوهش از برنامه‌ریزی ریاضی استفاده شد. چندین مشتری در نظر گرفته‌شده که هرکدام یک تقاضای از قبل شناسایی‌شده برای هر نوع محصول و یک پنجره زمانی برای دریافت محصول دارد. یک انبار متقاطع با تنها یک در ورودی و یک در حمل‌ونقل که محصولات ورودی را جمع می‌کند، مرتب می‌کند و آن‌ها را به کامیون‌های خروجی توزیع می‌کند در نظر گرفته‌شده است. این پژوهش با روش حل اپسیلون محدودیت مقایسه شده است. الگوریتم فرا ابتکاری پیشنهادی به روش بهینه‌سازی پارتو نتایج بهتری در زمان محاسبه دارد[۱۲]. رفیعی مجد و همکاران (۲۰۱۸) زنجیره تأمین سه لایه شامل تأمین‌کننده، تعدادی مراکز توزیع و تعدادی خرده‌فروش (مشتری) را به‌صورت مسئله موجودی-مکان‌یابی- مسیریابی ارائه داده‌اند که در آن محصولات به مشتری‌ها در یک افق زمانی محدود ارسال می‌شود. تقاضای خرده‌فروش تصادفی است و از توزیع نرمال با میانگین و انحراف معیار مشخص تبعیت می‌کند. جریان حمل‌ونقل ناهمگون است و مراکز توزیع از یک برنامه زمانی که از تقابل عملیاتی وسایل نقلیه و همچنین تخصیص یک وسیله نقلیه به بیش از یک مرکز توزیع در هر دوره زمانی جلوگیری می‌کند، پیروی می‌کنند. تأمین‌کننده تلاش می‌کند تا انواع محصول فاسدشدنی را از طریق مراکز توزیع با جریان حمل ناهمگون ارسال کند. در این مقاله، روش آزادسازی لاگرانژ برای حل مدل و تعیین حد پایین به‌کاررفته است. یک الگوریتم ابتکاری نیز برای ممکن سازی نتایج الگوریتم آزادسازی لاگرانژ و تعیین حد بالا استفاده‌شده است. یکی از مهم‌ترین جنبه‌های مدیریت زنجیره تأمین ادغام تصمیمات در سطوح مختلف است. مسئله موجودی-مکانیابی مسئله‌ای است که با ادغام تصمیمات استراتژیک (مانند مکانیابی-تخصیص) و تصمیمات تاکتیکی (مانند موجودی) در نظر گرفته می‌شوند. مکان‌یابی و مسیریابی از مهم‌ترین جنبه‌های ارزیابی در معنای لجستیک است. ادغام و به‌طور همزمان ارزیابی سه عضو کلیدی زنجیره تأمین (مکان‌یابی- تخصیص، مسیریابی و مدیریت موجودی) یک سیستم جامع مرتبط با زنجیره تأمین را به‌عنوان یک واحد ادغام‌شده ایجاد می‌کند. همچنین بهینه‌سازی تصمیمات مکانیابی-تخصیص مسیریابی و موجودی به‌طور همزمان به‌طور قابل‌توجهی هزینه‌ها را کاهش می‌دهد؛ بنابراین، خدمات مشتری بهبود می‌یابد. این مقاله بهینه‌سازی ادغام مکانیابی-تخصیص، مسیریابی و تصمیمات مدیریت موجودی در زنجیره تأمین مواد فاسدشدنی در شرایط عدم قطعیت را بررسی می‌کند[۱۳]. موگال و همکاران (۲۰۱۸) در مدل ریاضیاتی چند دوره‌ای، چند مدله و چندهدفه جدید برای مسئله مکان‌یابی- تخصیص سیلوی حبوبات بازمان سکونت برای پشتیبانی از فرایند تصمیم‌گیری دولت هند دو هدف کمینه کردن متقاطع هزینه شبکه زنجیره تأمین و کل زمان تحویل به‌طور همزمان با استفاده از دو مدل پارتو مبتنی بر الگوریتم‌های چندهدفه با پارامترهای کالیبراسیون اجراشده است. فاکتورهای متنوعی مانند هزینه راه‌اندازی اولیه، هزینه حمل‌ونقل، هزینه موجودی، زمان سکونت و زمان انتقال در مدل لحاظ شده‌اند. هدف این مطالعه تعیین مکان‌های بهینه برای استقرار سیلوها با ظرفیت مشخص است. همچنین، جریان دانه غذایی و سطح موجودی نیز با مدل فرموله شده تعیین می‌شود. به دلیل طبیعت غیرخطی بودن و پیچیدگی بالای مدل، مدل مبتنی بر پارتو چندهدفه توسعه‌یافته به نام NCRO[2] برای بهینه کردن همزمان دو هدف متقاطع و کسب نتایج با الگوریتم پایدار NSGA-II[3] استفاده‌شده است. همچنین روش تاگوچی برای تنظیم پارامتر الگوریتم‌های NCRO و NSGA-II به‌کاررفته است[۱۴]. دای و همکاران[4] (۲۰۱۸) مسئله موجودی-مکانیابی شبکه زنجیره تأمین برای محصولات فاسدشدنی با ظرفیت فازی و محدودیت انتشار کربن ادغام و با مدل بهینه‌سازی بهبود داده‌اند. این مدل یک برنامه‌ریزی غیرخطی عدد صحیح مختلط را فرموله کرده است و برای حل آن از الگوریتم ژنتیک ترکیبی (HGA) و تحقیق هارمونی ترکیبی (HHS) به‌منظور کمینه کردن کل هزینه بهره برده‌اند. موارد تحت شرایط

1- Archived Multi Objective Simulated Annealing
2- Non-dominated sorting chemical reaction optimization
3- Non-dominated Sorting Genetic Algorithm
4- Dai

مختلف با استفاده از این دو الگوریتم و حلال بهینه‌ساز لیندو محاسبه‌شده است. اثر برخی فاکتورها مانند تعداد تسهیلات، نرخ سلامت و تقاضا ارزیابی شد. الگوریتم ژنتیک یک روش بهینه‌سازی جستجوی عمومی تصادفی است که تکامل بیولوژیکی طبیعی را شبیه‌سازی می‌کند. این روش می‌تواند به‌صورت خودکار اطلاعات جستجو را به دست آورده و تجمیع نماید و به‌منظور کسب جواب بهینه، خود را با شرایط سازگار نماید. در این مقاله، به منشور مطالعه اثر تقاضا بر هزینه کل، کل هزینه‌ها تحت تقاضاهای مختلف با استفاده از HGA و HHS محاسبه می‌شود. بر اساس نتایج حاصل‌شده، اگرچه لیندو از HHS و HGA سریع‌تر است، مقادیر HHS و HGA بالاتر از لیندو است. همچنین محدودیت ظرفیت و کربن تا زمانی که به سطح معینی برسند، اثر قابل‌توجهی بر هزینه‌های کل ندارند. از طرف دیگر، تعداد خرده‌فروشان به‌طور مثبتی با هزینه کل در ارتباط است. درحالی‌که تعداد کارخانه‌ها و انبارها رابطه منفی با هزینه‌های کل دارد[۱۵]. خداپرستی و همکاران[1] (۲۰۱۸) یک مسئله مکان‌یابی-تخصیص چند دوره‌ای برای برنامه‌ریزی شبکه زنجیره تأمین معکوس معرفی کردند. این پژوهش مدل تخصیص اصلاح‌شده‌ای برای جلوگیری از نقص ناخواسته معیارها ارائه می‌دهد. این مسئله به‌عنوان یک مدل پوششی که ظرفیت تسهیلات و کشش تقاضا لحاظ شده بیان‌شده است. عدم قطعیت در تقاضا در هر دوره زمانی با اتخاذ یک رویکرد پایدار توزیعی ثبت می‌شود. مسئله شبکه زنجیره تأمین معکوس می‌تواند به‌عنوان یک پوشش مدل مکانیابی-تخصیص که تعداد محدودی نقاط تقاضا (مراکز جمعیت) باید با تعدادی تسهیلات خدمت‌رسانی، مدل‌سازی شود. مکان‌یابی تسهیلات از یک مجموعه مکان مشخص انتخاب می‌شود. استفاده از چهارچوب چند دوره‌ای با استقرار تسهیلات جدید، نقاط تقاضا که با دوره‌های قبلی پوشش داده نشده‌اند، باید برآورده شوند. برای ارزیابی امکان افزایش سطح سرویس تخصیص مجدد به فواصل دورتر برای همه دوره انجام‌شده است، درحالی‌که تقاضاهای پوشش داده‌شده قبلی می‌توانند فقط با تسهیلات نزدیک‌تر جواب داده شوند؛ بنابراین از طریق افق زمانی، فاصله بین تقاضا و تسهیلات مرتباً کاهش می‌یابد. هدف این مقاله کاهش هزینه و کنترل نوسانات تقاضا است[۱۶]. دولان همکاران۲ (۲۰۱۸) در مدل ریاضیاتی چندهدفه برای حل یک مسئله مکانیابی-تخصیص در یک شبکه زنجیره تأمین چندلایه برای بهینه‌سازی سه هدف همزمان کمینه‌سازی هزینه کل زنجیره تأمین، بیشینه‌سازی نرخ تراکم و کمینه‌سازی انتشار گاز CO_2 ارائه دادند. رویکرد تحلیلی تکاملی ترکیبی استخراج‌شده از داده‌ها با ترکیب الگوریتم NSGA-II برای اهداف چندگانه در الگوریتم تفاضلات تکاملی به‌دست‌آمده است. پنج نوع الگوریتم ترکیبی برای مقایسه عملکرد با الگوریتم بهینه‌سازی ذرات ترکیبی ارزیابی‌شده است. تمرکز اولیه زنجیره تأمین برداده های بزرگ برای بیشینه کردن جریان منابع، محصولات و مجموعه بزرگی از اطلاعات به شکلی است که بیشترین رضایت با استاندارد کیفیت مناسب را برای مشتری ایجاد کند. پنج الگوریتم ترکیبی برای مکان‌یابی کارخانه‌ها و انبارها از میان یک مجموعه محدود و همچنین تخصیص منابع به تأمین‌کنندگان، کارخانه‌ها، مراکز توزیع و مناطق مشتریان به‌کاررفته‌اند[۱۷]. شوانگ[3] و همکاران (۲۰۱۹) در پژوهشی یک مدل مسیریابی تولید معکوس لجستیک با انتخاب سیاست کنترل انتشار گازهای گلخانه‌ایی را موردبررسی قراردادند. سیاست‌های کنترل انتشار گازهای گلخانه‌ایی در واکنش به نگرانی‌های جهانی در حال رشد، از مشکلات زیست‌محیطی پدید آمده‌اند. این مقررات باید زمانی در نظر گرفته شوند که تصمیمات سطح عملیاتی در مورد تولید، موجودی و مسیریابی به‌عنوان هزینه‌های تشعشعات ایجاد می‌شوند. در این مطالعه، محققان یک مدل زنجیره تأمین معکوس را با گزینه‌های بازتولید[4] تحت سیاست‌های کنترل انتشار گازهای گلخانه‌ایی مختلف در نظر گرفتند. هدف این تحقیق، انتخاب سیاست کنترلی گازهای گلخانه‌ایی بهینه برای پیروی از مقادیر بهینه تولید، فهرست موجودی و تحویل تحت سیاست کنترلی گازهای گلخانه‌ایی منتخب است. پژوهشگران یک برنامه‌ریزی ریاضی ارائه دادند که ناوگان حمل‌ونقل ناهمگن را در نظر می‌گیرد و امکان فروش را فراهم می‌کند. مدل ریاضی ارائه‌شده در حالت قطعی و در یک نسخه تصادفی دومرحله‌ای برای محاسبه عدم قطعیت تقاضا ارائه‌شده است. فرمولاسیون پیشنهادی از طریق دو مطالعه موردی نشان داده می‌شود، یک زنجیره تأمین لجستیک معکوس و یک زنجیره تأمین واقعی با گزینه‌های بازتولید. تحلیل حساسیت مدل برای آزمایش تأثیر پارامترهای

1- Khodaparasti
2- Doolun
3- Shuang
4- Remanufacturing

مختلف با استفاده از این دو الگوریتم و حلال بهینه‌ساز لیندو محاسبه‌شده است. اثر برخی فاکتورها مانند تعداد تسهیلات، نرخ سلامت و تقاضا ارزیابی شد. الگوریتم ژنتیک یک روش بهینه‌سازی جستجوی عمومی تصادفی است که تکامل بیولوژیکی طبیعی را شبیه‌سازی می‌کند. این روش می‌تواند به‌صورت خودکار اطلاعات جستجو را به دست آورده و تجمیع نماید و به‌منظور کسب جواب بهینه، خود را با شرایط سازگار نماید. در این مقاله، به منشور مطالعه اثر تقاضا بر هزینه کل، کل هزینه‌ها تحت تقاضاهای مختلف با استفاده از HGA و HHS محاسبه می‌شود. بر اساس نتایج حاصل‌شده، اگرچه لیندو از HHS و HGA سریع‌تر است، مقادیر HHS و HGA بالاتر از لیندو است. همچنین محدودیت ظرفیت و کربن تا زمانی که به سطح معینی برسند، اثر قابل‌توجهی بر هزینه‌های کل ندارند. از طرف دیگر، تعداد خرده‌فروشان به‌طور مثبتی با هزینه کل در ارتباط است. درحالی‌که تعداد کارخانه‌ها و انبارها رابطه منفی با هزینه‌های کل دارد[۱۵]. خداپرستی و همکاران[1] (۲۰۱۸) یک مسئله مکان‌یابی-تخصیص چند دوره‌ای برای برنامه‌ریزی شبکه زنجیره تأمین معکوس معرفی کردند. این پژوهش مدل تخصیص اصلاح‌شده‌ای برای جلوگیری از نقص ناخواسته معیارها ارائه می‌دهد. این مسئله به‌عنوان یک مدل پوششی که ظرفیت تسهیلات و کشش تقاضا لحاظ شده بیان‌شده است. عدم قطعیت در تقاضا در هر دوره زمانی با اتخاذ یک رویکرد پایدار توزیعی ثبت می‌شود. مسئله شبکه زنجیره تأمین معکوس می‌تواند به‌عنوان یک پوشش مدل مکانیابی-تخصیص که تعداد محدودی نقاط تقاضا (مراکز جمعیت) باید با تعدادی تسهیلات خدمت‌رسانی، مدل‌سازی شود. مکان‌یابی تسهیلات از یک مجموعه مکان مشخص انتخاب می‌شود. استفاده از چهارچوب چند دوره‌ای با استقرار تسهیلات جدید، نقاط تقاضا که با دوره‌های قبلی پوشش داده نشده‌اند، باید برآورده شوند. برای ارزیابی امکان افزایش سطح سرویس تخصیص مجدد به فواصل دورتر برای همه دوره انجام‌شده است، درحالی‌که تقاضاهای پوشش داده‌شده قبلی می‌توانند فقط با تسهیلات نزدیک‌تر جواب داده شوند؛ بنابراین از طریق افق زمانی، فاصله بین تقاضا و تسهیلات مرتباً کاهش می‌یابد. هدف این مقاله کاهش هزینه و کنترل نوسانات تقاضا است[۱۶]. دولان همکاران[2] (۲۰۱۸) در مدل ریاضیاتی چندهدفه برای حل یک مسئله مکانیابی-تخصیص در یک شبکه زنجیره تأمین چندلایه برای بهینه‌سازی سه هدف همزمان کمینه‌سازی هزینه کل زنجیره تأمین، بیشینه‌سازی نرخ تراکم و کمینه‌سازی انتشار گاز CO_2 ارائه دادند. رویکرد تحلیلی تکاملی ترکیبی استخراج‌شده از داده‌ها با ترکیب الگوریتم NSGA-II برای اهداف چندگانه در الگوریتم تفاضلات تکاملی به‌دست‌آمده است. پنج نوع الگوریتم ترکیبی برای مقایسه عملکرد با الگوریتم بهینه‌سازی ذرات ترکیبی ارزیابی‌شده است. تمرکز اولیه زنجیره تأمین برداده های بزرگ برای بیشینه کردن جریان منابع، محصولات و مجموعه بزرگی از اطلاعات به شکلی است که بیشترین رضایت با استاندارد کیفیت مناسب را برای مشتری ایجاد کند. پنج الگوریتم ترکیبی برای مکان‌یابی کارخانه‌ها و انبارها از میان یک مجموعه محدود و همچنین تخصیص منابع به تأمین‌کنندگان، کارخانه‌ها، مراکز توزیع و مناطق مشتریان به‌کاررفته‌اند[۱۷]. شوانگ[3] و همکاران (۲۰۱۹) در پژوهشی یک مدل مسیریابی تولید معکوس لجستیک با انتخاب سیاست کنترل انتشار گازهای گلخانه‌ایی را موردبررسی قراردادند. سیاست‌های کنترل انتشار گازهای گلخانه‌ایی در واکنش به نگرانی‌های جهانی در حال رشد، از مشکلات زیست‌محیطی پدید آمده‌اند. این مقررات باید زمانی در نظر گرفته شوند که تصمیمات سطح عملیاتی در مورد تولید، موجودی و مسیریابی به‌عنوان هزینه‌های تشعشعات ایجاد می‌شوند. در این مطالعه، محققان یک مدل زنجیره تأمین معکوس را با گزینه‌های بازتولید[4] تحت سیاست‌های کنترل انتشار گازهای گلخانه‌ایی مختلف در نظر گرفتند. هدف این تحقیق، انتخاب سیاست کنترلی گازهای گلخانه‌ایی بهینه برای پیروی از مقادیر بهینه تولید، فهرست موجودی و تحویل تحت سیاست کنترلی گازهای گلخانه‌ایی منتخب است. پژوهشگران یک برنامه‌ریزی ریاضی ارائه دادند که ناوگان حمل‌ونقل ناهمگن را در نظر می‌گیرد و امکان فروش را فراهم می‌کند. مدل ریاضی ارائه‌شده در حالت قطعی و در یک نسخه تصادفی دومرحله‌ای برای محاسبه عدم قطعیت تقاضا ارائه‌شده است. فرمولاسیون پیشنهادی از طریق دو مطالعه موردی نشان داده می‌شود، یک زنجیره تأمین لجستیک معکوس و یک زنجیره تأمین واقعی با گزینه‌های بازتولید. تحلیل حساسیت مدل برای آزمایش تأثیر پارامترهای

1- Khodaparasti
2- Doolun
3- Shuang
4- Remanufacturing

مدل‌سازی بر روی راه‌حل بهینه نشان‌داده شده است. نتایج نشان می‌دهد که سیاست گازهای گلخانه‌ایی انتخاب‌شده تأثیر قابل‌توجهی بر عملکرد زنجیره تأمین باقیمت گازهای گلخانه‌ایی دارد که مهم‌ترین پارامتر است[۱۸].گواسکی[1]و همکاران (۲۰۱۹) بهینه‌سازی شبکه لجستیک معکوس تحت تقاضای فازی را موردمطالعه قراردادند. هدف از این بهینه‌سازی بازیافت و جلوگیری از تخلیه سریع منابع طبیعی و تبدیل ضایعات تولیدشده به ارزش برای اقتصاد است. بااین‌حال، این فرآیند تبدیل به یک چالش عمده در صنعت خودروسازی می‌شود که نیازمند مشارکت تعاونی چند عضو در زنجیره تأمین پیچیده است. در راستای ماهیت موضوع، ادارات دولتی در سراسر جهان دستورالعمل‌های تنظیمی برای طراحی عملیات‌های بازیافت شامل فعالیت‌های مختلف مانند جمع‌آوری وسایل نقلیه آخر عمر[2] (ELVs)، بازیافت اجزای قابل‌استفاده مجدد، خرد کردن اجزاء، بازیافت مواد باارزش بازیافت و دفع مواد زائد خطرناک را صادر می‌کنند. به‌طورکلی، مقدار محصول بازگشتی در یک شبکه لجستیک معکوس بسیار نامشخص است و بازارELVs در ترکیه نیز از این امر مستثنی نیست. به همین منظور، هدف از این مطالعه ایجاد مدل تخصیص یک عدد صحیح مختلط فازی برای شبکه لجستیک معکوس مطابق با دستورالعمل‌های موجود در ترکیه است. بر این اساس، این مطالعه از رویکرد جدید استفاده می‌کند و فرض می‌کند که عرضه ELVs در شبکه نامشخص است. مزیت مدل ریاضی ارائه‌شده در یک سناریوی جهانی واقعی برای حل مسئله طراحی لجستیک معکوس برای ELVs ایجادشده در ناحیه شهری استانبول اثبات‌شده است. شبکه تولیدشده مشخص می‌کند که فرآیند بازیافت تحت شرایط موجود با سطح معینی ازELVs عرضه‌شده سودآوری ندارد و رکورد تولید سرانه در استانبول بسیار فراتر از متوسط اتحادیه اروپا است. درنتیجه، تحلیل حساسیت، قابلیت اطمینان نتایج به‌دست‌آمده را زیر سؤال می‌برد[۱۹]. جو[3]و همکاران در سال ۲۰۱۹ به بررسی استراتژی‌های بهینه بر اساس روش تصمیم‌گیری چند معیاره برای صنعت آهن و فولاد چین پرداختند. به‌منظور ساخت شبکه لجستیک معکوس با تمرکز بر تضاد بین پتانسیل قوی و وضعیت عملکرد معکوس بازیافت فولاد. آن‌ها چارچوب تصمیم‌گیری را در تلاش برای کمک به شرکت‌های فولاد برای انتخاب بهترین حالت آزاد و استفاده مؤثر از منابع فولاد قراضه ایجادشده قراردادند و با توجه به اینکه شرکت‌ها با فشارهای شدید بازار، سیاسی و اجتماعی برای بهبود عملیات‌های لجستیک معکوس مواجه هستند، یک چارچوب جامع پیشنهاد شد. که شامل شش بعد اقتصادی، اجتماعی، زیست‌محیطی، سیاست، مدیریت داخلی و رقابت بازار خارجی است. رویه این پژوهش چنین بود که ابتدا عوامل کلیدی تصمیم، شناسایی شد. سپس یک روش تصمیم‌گیری چند معیاره برای تجزیه‌وتحلیل وابستگی و بازخورد در میان این عوامل تصمیم‌گیری به کار گرفته شد و مناسب‌ترین راهبرد لجستیک معکوس را در میان جایگزین‌های پیشنهاد می‌کند. نتایج نشان می‌دهد که سیاست‌گذاری‌های دولتی تأثیر زیادی بر روی شرکت‌هایی دارد که در سیستم‌های لجستیک معکوس سرمایه‌گذاری می‌کنند. همچنین عوامل بازار خارجی و عوامل اقتصادی بازخورد مهمی را برای شکل‌دهی سیاست‌های دولت فراهم می‌کنند[۲۰]. علی رهبری[4]و همکاران در مقاله‌ای در سال ۲۰۱۹ یک مدل MILP[5] دو هدف برای مسئله مسیریابی و برنامه‌ریزی وسیله نقلیه با اتصال متقاطع برای محصولات قابل فساد ارائه دادند. همچنین مسئله مسیریابی وسایل نقلیه با اتصال متقاطع [6] VRPCD برای توزیع محصولات تازه موردبررسی قرارگرفته است. تمام مطالعات مربوط به VRPCD سعی در کاهش هزینه‌های لجستیکی بر اساس تعداد وسایل نقلیه استفاده‌شده، هزینه نگهداری موجودی در منطقه ذخیره موقت، هزینه حمل‌ونقل تحویل است. با استفاده از مدل پیشنهادی، تازه بودن محصولات تحویل‌شده به‌طور میانگین ۱۴.۷۴ درصد افزایش می‌یابد[۲۱]. شوای ژانگ[7] و همکاران (۲۰۲۰) استفاده و ذخیره‌سازی کربن [8] (CCUS)به‌طور گسترده‌ای به‌عنوان یک فناوری که باعث کاهش قابل‌توجه انتشار دی‌اکسید کربن (CO2) می‌شود را شناسایی کردند. این مطالعه یک چارچوب مبتنی بر بهینه‌سازی برای استقرار

1- Kuşakcı
2- End-of-Life Vehicles
3- Gu
4- Ali Rahbari
5- Mixed Integer Linear Programming
6- vehicle routing problem with cross-docking
7- Shuai Zhang
8- Carbon capture and utilization

زنجیره تأمین CCUS با نگرانی‌های اقتصادی و زیست‌محیطی ایجاد می‌کند. زنجیره تأمین این مطالعه در طی افق زمانی ۲۰ ساله بهینه‌شده است تا محل و مقیاس سایت‌های تسخیر و توقیف و همچنین کارآمدترین مسیرهای حمل‌ونقل CO_2 را که قادر به دستیابی به هدف کاهش هستند، فراهم شود. برنامه‌نویسی عدد صحیح خطی (MILP) در این مطالعه استفاده‌شده است که اهداف آن شامل به حداقل رساندن هزینه کل سالانه و تأثیرات زیست‌محیطی است. روش-ε محدودیت برای حل مدل چند هدفی حاصل به کار می‌رود. یک مطالعه موردی واقع‌گرایانه که به طراحی بهینه زنجیره تأمین CCUS موردنیاز برای تحقق این هدف در شمال شرقی چین پرداختند[۲۲]. مهدی بیوکی و همکاران (۲۰۲۰) انتقال زنجیره‌های تأمین پایدار در صنایعی که محصولات قابل فساد در آن برجسته است را موردمطالعه قراردادند. که به مدل‌های پیشرفته‌ای برای مدیریت لجستیک نیاز دارد. در این مقاله، الگویی از موقعیت یکپارچه، مسیریابی و مشکل موجودی، سه مشکل اساسی در بهینه‌سازی سیستم لجستیک، معرفی‌شده است.. پس از شناسایی تأمین‌کنندگان ، مسئله به‌عنوان یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط(MIP) برای کمک به برنامه‌ریزی زنجیره تأمین پایدار تدوین می‌شود. از الگوریتم ژنتیک (GA) و بهینه‌سازی ذرات (PSO) برای حل این مسئله استفاده می‌شود. این مدل باهدف تعیین(۱) تصمیمات مرتبط با محل تولید، مراکز تولید و توزیع، (۲) سطح موجودی در این دو محیط و (۳) جریان مواد مانند مسیریابی و برنامه‌ریزی کنترل حجم در یک محیط نامشخص انجام‌شده است[۲۴].

در حوزه‌ی برنامه‌ریزی و بهینه‌سازی در زنجیره لجستیک کالاهای فاسدشدنی با تکیه‌بر بهینه‌سازی تقاضا کالای فاسدشدنی مقالات اندکی پارامترهای تقاضا، زمان تحویل، کیفیت و ... در حالت عدم قطعیت را در مدل پیشنهادی خود در نظر گرفته‌اند. اکثر این مقالات نیز از برنامه‌ریزی احتمالی بهره گرفته‌اند.تنها کارا[۴] و همکاران (۲۰۰۷) و انوت[۵]و پیشوایی و همکاران (۲۰۱۰) از تکنیک بهینه‌سازی استوار برای برخورد با پارامترهای تقاضا، زمان تحویل و کیفیت همراه با عدم قطعیت بهره گرفته‌اند. همچنین در اکثر مقالات تنها عدم قطعیت تقاضا و یا عدم قطعیت هزینه‌ها در نظر گرفته‌شده است، در این مطالعه نوآوری‌های زیر اعمال گردیده است:

*ارائه مدل ریاضی چندهدفه، برای بالانس میان عرضه و تقاضای چند دوره‌ای در زنجیره تأمین چند سطحی

*طراحی مدل ریاضی چندهدفه که شامل حداقل سازی بازیافت و دورریز محصول و همچنین حداقل سازی زمان تحویل

*بررسی تأثیر دو شاخص اصلی سطح کیفیت محصول و ظرفیت یا توان حمل‌ونقل شرکت‌های حمل، برای دستیابی به اهداف فوق

۳-تعریف مسئله

در بسیاری از مطالعات انجام‌شده به مسئله توزیع محصولات فاسدشدنی بدون توجه به از دست رفتن تازگی محصولات در طول زمان، پرداخته‌شده است. بنابراین طراحی یک مسیر توزیع اثربخش که بتواند هزینه‌های کل را مینیمم و تازگی محصول نهایی که به دست مشتری می‌رسد را ماکزیمم کند حائز اهمیت است[۲۳]. مدل زنجیره تأمین چهار سطحی است. شامل تولیدکننده، توزیع‌کننده، خرده‌فروش و شرکت لجستیک سه‌بخشی در نظر گرفته‌شده است. براین اساس تولیدکننده، کالای فاسدشدنی موردنظر خود را بر اساس تابع تقاضای متغیری که از اطلاعات بازار دریافت کرده تولید می‌نماید. تولیدکننده می‌تواند مقدار مشخصی از تولید خود را به‌عنوان ذخیره اطمینان نگه دارد یا میزان تولید خود را بر اساس نیاز بازار منطبق کند که البته این نیاز دارای عدم قطعیت می‌باشد. کالای تولیدشده با وسایل نقلیه مختلف ولی مشخص و با ظرفیت مشخص به توزیع‌کننده ارسال می‌شود. توزیع‌کننده می‌تواند مقداری از محصول را به‌عنوان ذخیره اطمینان انبار کند یا همه محصول را به بازار ارائه دهد. کالای حمل شده از مراکز توزیع به دست خرده‌فروشان می‌رسد تا تقاضای بازار را برآورده کنند.در این مسئله مفروضات زیر مطرح است:

* ظرفیت وسایل نقلیه متفاوت است.
* هر خرده‌فروش/ مرکز توزیع در هر دوره‌ی زمانی حداکثر یک‌بار بازدید می‌شود.
* برای هر مقصد ممکن است بیش از یک مسیر وجود داشته باشد.
* ظرفیت تولیدکنندگان و مراکز توزیع محدود است.
* تقاضای خرده‌فروشان در هر دوره زمانی باید برآورده شود.

*خرده‌فروشان و مراکز توزیع اجازه سفارش بیش از نیاز فعلی خود را نیز دارند (ذخیره سفارش اضافی).

Qv : ظرفیت وسیله نقلیه نوع v

Cap_d : ظرفیت نگهداری مرکز توزیع d

Cap_m : ظرفیت تولید تولیدکننده‌ی m

Qv : ظرفیت وسیله نقلیه نوع v

Cap_d : ظرفیت نگهداری مرکز توزیع d

Cap_m : ظرفیت تولید تولیدکننده ی m

* مسافت، زمان و هزینه ارسال برای هر وسیله نقلیه مشخص است.
* هزینه نگهداری مشخص است.
* سرعت همه وسایل نقلیه یکسان در نظر گرفته می‌شود.
* برای ارسال محصول به تاریخ انقضای آن توجه می‌شود.

۴- مدل‌سازی ریاضی

با توجه به‌سرعت و رقابت بالا در بازار امروز، نیاز به انعطاف‌پذیری و چابکی در زنجیره تأمین کالاهای فاسدشدنی به‌خوبی درک شده است. در نمونه‌های کلاسیک برنامه‌ریزی ریاضی، پارامترهای مدل، قطعی در نظر گرفته می‌شوند. این نگرش، تأثیر عدم اطمینان بر کیفیت را مدنظر قرار نمی‌دهد. این مورد در مدل حاضر لحاظ شده است. برای حل مدل ریاضی پیشنهادی از روش ε- محدودیت استفاده‌شده است. این روش، مسئله بهینه‌سازی چندهدفه را به یک مسئله تک هدفه با تعدادی محدودیت اضافی تبدیل می‌کند. درواقع تابع هدف ارجح‌تر به‌عنوان تابع هدف مسئله در نظر گرفته می‌شود و سایر توابع هدف تعریف‌شده در مسئله با استفاده از بردار ε به‌عنوان محدودیت در نظر گرفته می‌شوند. روش ε محدودیت یک روش قدرتمند است و زمانی استفاده می‌شود که مسئله چندهدفه جواب شدنی نداشته باشد. درنتیجه این روش برای حل بهینه‌ای ارائه خواهد کرد. برای ارائه مدل ریاضی لازم است که پس از بیان مسئله مجموعه‌ها، پارامترها و متغیرهای تصمیم بیان شوند و سپس به بیان توابع هدف و محدودیت‌ها پرداخته شود.

۴-۱- مجموعه‌ها

V: مجموعه‌ای از انواع وسایل نقلیه

M : مجموعه‌ای از تولیدکنندگان بالقوه

D : مجموعه‌ای از مراکز توزیع بالقوه

R : مجموعه‌ای از خرده‌فروشان

T : مجموعه‌ای از دوره‌های زمانی

N : مجموعه مسافت بین دو گره

S: مجموعه‌ای از سناریوهای s

۴-۲- پارامترها

VC_{mt} : هزینه هر واحد محصول در مرکز تولیدی m در دوره زمانیt

HC_{dt} : هزینه نگهداری هر واحد تولیدشده در مرکز توزیع d در دوره زمانی t

HC_{rt} : هزینه نگهداری هر واحد تولیدشده در خرده‌فروشی r در دوره زمانی t

Qv : ظرفیت وسیله نقلیه نوع v

Cap_d : ظرفیت نگهداری مرکز توزیع d

Cap_m : ظرفیت تولید تولیدکننده‌ی m

OC_d : هزینه راه‌اندازی مرکز توزیع d

OC_m : هزینه راه‌اندازی تولیدی m

d_{rt} : تابع تقاضای مشتریان از خرده‌فروش r در دوره‌ی زمانی t

VI_{dt} : هزینه متغیر برای نگهداری یک محصول در مرکز توزیعیd در دوره زمانی t

VC_{mt} : هزینه هر واحد محصول در مرکز تولیدی m در دوره زمانیt

FVS_{ijt}^{v} : هزینه ثابت هر وسیله‌ی نقلیه نوع v که فاصله بین دو گره i, j را در دوره t می‌پیماید.

$VC_{i,j}$: هزینه متغیر برای حمل هر واحد محصول بین گره i, j

۳-۴- متغیر تصمیم

S_{mdrt} : میزان محصول ارسال‌شده به مشتری از طریق توزیع‌کننده d و خرده‌فروش r در دوره زمانی t که توسط تولیدی m تولیدشده است.

$f_{i,j}$: متغیر باینری اگر مسیر بین i, j انتخاب شود برابر با یک در غیر اینصورت صفر است.

R_{ij} : جریان محصول بین دو گره i ، j

R_{mrt}^{s} : مقدار محصول حمل شده از تولیدی m برای پاسخگویی به تقاضای خرده‌فروش r در دوره زمانی t بر اساس سناریو s

R_{rmt}^{s} : مقدار محصول حمل شده از خرده‌فروش r برای ارجاع به تولیدی m در دوره زمانی t بر اساس سناریو s

MD_{ijt}^{v} : برابر با ۱ اگر وسیله نقلیه v در بازه‌ی زمانی t مسافت بین دو گره i, j را بپیماید و در غیر این صورت برابر با صفر است.

M_{rij}^{v} : ۱ اگر وسیله نقلیه v در بازه‌ی زمانی t مسافت $arc(i, j)$ از توزیع‌کننده به خرده‌فروش را طی کند و در غیر این صورت برابر با صفر.

β_{drt} : متغیر باینری برابر با ۱ اگر مرکز توزیع d در بازه‌ی زمانی t به خرده‌فروش r سرویس ارائه دهد. در غیر این صورت برابر با صفر.

y_d : ۱ اگر مرکز توزیع d راه‌اندازی شده باشد. در غیر این صورت برابر با صفر

z_m : ۱ اگر واحد تولیدی m راه‌اندازی شده باشد. در غیر این صورت برابر با صفر

x_{mdt}^{v} : ۱ اگر وسیله v در بازه‌ی زمانی t مسافت بین تولیدکنندگان و توزیع‌کننده در arc(i, j) را طی می‌کند و در غیر این صورت برابر با صفر.

x_{drt}^{v} : ۱ اگر وسیله v در بازه‌ی زمانی t مسافت بین توزیع‌کننده و خرده‌فروش در arc(i, j) را طی کند و در غیر این صورت برابر با صفر.

η_{rt}^{v} : میزان محصول داده‌شده به خرده‌فروش r با وسیله‌ی نوع v در بازه‌ی زمانیt

δ_{mdt}^{v} : میزان محصول تحویل داده‌شده به مرکز توزیع d توسط تولیدی m با وسیله نقلیه v در دوره زمانی t

h_{mt} : میزان محصول تولیدشده در واحد تولیدی m در دوره زمانی t

I_{dt} : میزان محصول ذخیره‌شده در مرکز توزیع d به‌عنوان موجودی در دوره زمانیt

I_{mt} : میزان محصول ذخیره‌شده در تولیدی m به‌عنوان موجودی در دوره زمانیt

I_{rt} : میزان محصول ذخیره‌شده در خرده‌فروشی r به‌عنوان موجودی در دوره زمانیt

۴-۴- توابع هدف

تابع هدف اول کمینه کننده هزینه کل است. بخش اول این رابطه هزینه راه‌اندازی تولیدی، بخش دوم هزینه راه‌اندازی مرکز توزیع، بخش سوم هزینه نگهداری موجودی در تولیدی، بخش چهارم هزینه نگهداری موجودی در مرکز توزیع، بخش پنجم هزینه تولید محصول و بخش ششم هزینه حمل‌ونقل را نشان می‌دهد. در بخش پنجم هزینه تولید به‌صورت تابع نشان داده می‌شود.

$$\text{MinF1}=\sum_m o\, c_{m\times} Z_m + \sum_d oc_d \times Y_d$$

$$+\sum_m \sum_t I_{mt}\, HC_{mt} + \sum r \sum t \sum d\,(I_{rt}.\, HC_{rt} +$$

$$VI_{dt}.\, HC_{dt}) + \sum m \sum i \sum j\ VC_m(R_{ij})R_{ij} + \sum i \sum j$$

$$\sum m \sum t\, FVS_{ijt}{}^{v}.f_{ij} + VC_{ij}.f_{ij}.R_{ij})$$

تابع هدف دوم رضایتمندی مشتری را با توجه به معیارهای چابکی بیشینه می‌کند. در این رابطه α نشان‌دهنده فاکتور وزنی پاسخگویی به تقاضای بازار است. این تابع میزان پاسخگویی به تقاضای بازار را می‌سنجد که این میزان پاسخگویی در دوره t نشان‌دهنده سرعت عمل و درنتیجه چابکی زنجیره است.

$$\text{MinF1}=\sum_m o\, c_{m\times} Z_m + \sum_d oc_d \times Y_d$$

$$+\sum_m \sum_t I_{mt}\, HC_{mt} + \sum r \sum t \sum d\,(I_{rt}.\, HC_{rt} +$$

$$VI_{dt}.\, HC_{dt}) + \sum m \sum i \sum j\ VC_m(R_{ij})R_{ij} + \sum i \sum j$$

$$\sum m \sum t\, FVS_{ijt}{}^{v}.f_{ij} + VC_{ij}.f_{ij}.R_{ij})$$

تابع هدف دوم رضایتمندی مشتری را با توجه به معیارهای چابکی بیشینه می‌کند. در این رابطه α نشان‌دهنده فاکتور وزنی پاسخگویی به تقاضای بازار است. این تابع میزان پاسخگویی به تقاضای بازار را می‌سنجد که این میزان پاسخگویی در دوره t نشان‌دهنده سرعت عمل و درنتیجه چابکی زنجیره است.

$$Max \quad F_2 = \sum_s Pb_s \left[\alpha \left(\sum_m \sum_r \sum_t R^s_{mrt} \right) + (1-\alpha) \left(\sum_r \sum_m \sum_t R^s_{rmt} \right) \right]$$

تابع هدف سوم کالای مرجوعی را کمینه می‌کند.کاهش محصولات مرجوعی به کاهش ضایعات و درنتیجه کاهش میزان آلودگی منجر می‌شود. با توجه به اینکه درصدی از کالای ارسال‌شده به بازار، به‌عنوان کالای مرجوعی بازخواهد گشت، حاصل‌ضرب این درصد در حجم کالای ارسال‌شده، قاعدتاً میزان کالای مرجوعی در هر دوره را نشان خواهد داد. کمتر شدن این درصد به تمهیدات بازیگران زنجیره تأمین وابسته است که می‌توان باعث کاهش محصول بازگشتی گردد

$$Min \quad F_3 = \sum_m \sum_d \sum_r \sum_t PPM_{mdrt} S_{mdt}$$

تابع هدف چهارم بیانگر بیشینه‌سازی سودآوری زنجیره با توجه به‌تازگی محصول و کیفیت آن می‌باشد. این تابع شامل دو بخش است، بخش اول، میزان درآمد را براساس تازگی محصول بیان می‌کند و بخش دوم هزینه تولید (ثابت و متغیر) را بر اساس کیفیت محصول نشان می‌دهد.

$$\text{MaxF}_4 = \sum r \sum t \sum m\, d_{rt} A_{rt}{}^{q}\, P_m - \sum_m \sum_i \sum_j \sum t \ \text{-[(1-}$$

$$B_{rt})VC_{mt.} \cdot \delta mdt^{v} + (\delta mdt^{v} \cdot Vcmt) +$$

$$FVSijt^{v} \cdot f_{ij}]$$

۴-۵ - محدودیت‌ها

$$M^{v}_{rij} \le 1 \qquad \forall r \in R,\ (i,j) \in N, v \in V \qquad ۵$$

$$\sum_r \sum_t \sum_{ij} d_{rt}.MD^{v}_{ijt} \le \sum_{ij} Q_v.f_{ij} \qquad \forall v \in V \qquad ۶$$

$$\beta_{drt} \le 1 \qquad \forall d \in D,\ t \in T, r \in R \qquad ۷$$

$$\sum_r d_{rt}\beta_{drt} \le Cap_d y_d \qquad \forall d \in D,\ t \in T \qquad ۸$$

$$\eta^{v}_{rt} \le Q_v \times \sum_{ij} R_{ij} \qquad \forall r \in R, v \in V,\ t \in T \qquad ۹$$

$$I_{rt-1} + \sum_v \eta^{v}_{rt} = d_{rt} \qquad \forall r \in R,\ t \in T \qquad ۱۰$$

$$\sum_m \sum_v x^{v}_{mdt} = \sum_r \sum_v x^{v}_{drt} = y_d \qquad \forall d \in D,\ t \in T \qquad ۱۱$$

$$\delta^{v}_{mdt} \le Q_v \qquad \forall v \in V,\ t \in T, d \in D,\ \forall m \in M \qquad ۱۲$$

$$\sum_m \delta^v_{mdt} \le Q_v \times \sum_m x^v_{mdt} \quad \forall d \in D,\ v \in V,\ t \in T \qquad (13)$$

$$\sum_d \sum_m \delta^v_{mdt} \le Cap_d y_d \quad \forall\ v \in V,\ t \in T \qquad (14)$$

$$\sum_m h_{mt} = \sum_d \sum_m \sum_v y_d \delta^v_{mdt} \quad \forall\ t \in T \qquad (15)$$

$$h_{mt} \le Cap_m z_m \quad \forall m \in M,\ t \in T \qquad (16)$$

$$I_{dt-1} + \sum_m \sum_v \delta^v_{mdt} = \sum_r \sum_v \eta^v_{rt} \beta_{drt} \quad \forall d \in D,\ t \in T \qquad (17)$$

$$I_{dt} \le \zeta\left(\sum_v \sum_r \sum \eta^v_{rt-1}\right) \quad \forall d \in D,\ t \in \{0, \tau_{\max} - 1\} \qquad (18)$$

$$I_{rt} \le \zeta'(\sum_r d_{rt}) \quad \forall r \in R,\ t \in \{\cdot, \tau_{\max} - ۱\} \qquad (19)$$

$$r^v_{drt} \in \{0,1\} \quad \forall \in v \in V,\ d \in D,\ r \in R,\ t \in T \qquad (20)$$

$$\beta_{drt} \in \{0,1\} \quad \forall d \in D,\ r \in R,\ t \in T \qquad (21)$$

$$y_d \in \{0,1\} \quad \forall d \in D \qquad (22)$$

$$z_m \in \{0,1\} \quad \forall m \in M \qquad (23)$$

$$x^v_{mdt}, x^v_{drt} \in \{0,1\} \quad \forall m \in M,\ v \in V,\ d \in D,\ t \in T,\ r \in R \qquad (24)$$

$$\eta^v_{rt} \ge 0 \quad \forall v \in V,\ r \in R,\ t \in T \qquad (25)$$

$$h_{mt} \ge 0 \quad \forall m \in M,\ t \in T \qquad (26)$$

محدودیت (۵) نشان می‌دهد که هر خرده‌فروش فقط یک‌بار بازدید می‌شود. بدین معنی که توزیع‌کننده، تقاضای خرده‌فروش در هر دوره زمانی را حداکثر با یک‌بار مراجعه به او برطرف کند. محدودیت (۶) تضمین می‌کند که ظرفیت وسایل نقلیه، جوابگوی حمل تقاضا باشد. محدودیت (۷) بیان می‌کند که هر خرده‌فروش فقط از یک مرکز توزیع می‌تواند تأمین شود. نامعادله (۸) نشان می‌دهد که اگر یک مرکز توزیع بسته شد هیچ خرده‌فروشی به آن وارد نشود. محدودیت (۹) نشان می‌دهد که اگر وسیلهv خرده‌فروش r را نبیند، میزان محصول منتقل‌شده از وسیله v به سمت r باید صفر باشد. محدودیت (۱۰) بالانس مجموع محصول موجود در هر خرده‌فروش برای ارضای نیاز مشتری را نشان می‌دهد. محدودیت (۱۱) نشان می‌دهد که اگر یک گردش وارد مرکز توزیع شود یک گردش باید وارد خرده‌فروشی شود. محدودیت (۱۲) بیان‌کننده لحاظ نمودن ظرفیت هر وسیله می‌باشد. محدودیت (۱۳) نشان می‌دهد که اگر وسیله نقلیه v وارد مرکز توزیع d نشود، میزان محصول ارسال‌شده به مرکز توزیعی d توسط آن وسیله نقلیه باید صفر باشد. نامعادله (۱۴) بیان می‌کند که میزان محصول ارسال‌شده به مرکز توزیع باید مطابق با ظرفیت آن باشد. محدودیت (۱۵) ایجاب می‌کند که میزان محصول تولیدشده در واحد تولیدی m در بازه زمانی t برابر است با میزان محصولی که باید از آن گره فرستاده شوند. محدودیت (۱۶) بیانگر ظرفیت واحد تولیدی m می‌باشد و اگر واحد تولیدی m تأسیس نشود نمی‌توان ادعای تولید از آن را داشت. محدودیت (۱۷) بالانس موجودی در هر مرکز توزیع dرا نشان می‌دهد. محدودیت (۱۸) تضمین‌کننده این است که مرکز توزیع d هیچ سطح موجودی بالاتر از ضریب مجموع کلی محصولات فرستاده‌شده به خرده‌فروشان در دوره‌ی زمانی قبلی ندارد. محدودیت (۱۹) نشان می‌دهد که خرده‌فروش r هیچ سطح موجودی بالاتر از ضریبی از تقاضای کلی در بازه زمانی پیوسته $(\tau_{\max} - 1)$ ندارد. محدودیت (۲۰) تا محدودیت (۲۶) عبارات منطقی مربوط به بازه تغییرات متغیرهای تعریف‌شده است.

۵- روش حل

۵-۱ روش اپسیلون محدودیت

یکی از روش‌های دقیق به دست آوردن حل‌های پارتوی بهینه استفاده از روش محدودیت اپسیلون است که اولین بار توسط آلجدان ارائه‌شده است. مزیت اصلی این روش نسبت به سایر روش‌ها بهینه‌سازی چندهدفه کاربرد آن برای فضاهای حل غیر محدب است زیرا روش‌هایی از قبیل ترکیب وزنی اهداف در فضای نامحدب کارایی خود را از دست می‌دهند. زمان محاسباتی یک الگوریتم از ویژگی‌های مهم هر الگوریتم جهت ارزیابی آن است ازآنجایی‌که یکی از ضعف‌های اساسی الگوریتم‌های مبتنی بر جستجوی دقیق ازجمله روش اپسیلون محدودیت بالا بودن زمان محاسباتی آن‌هاست.

۵-۲ معرفی ابزار حل (سالور CPLEX)

CPLEX یک بسته‌ی نرم‌افزاری شامل مجموعه‌ای از برنامه مدل‌سازی ریاضی است. این برنامه ابتدا توسط رابرت بیکسبی

توسعه یافت. از مهم‌ترین مشخصات CPLEX سرعت‌بالای حل مدل‌های با متغیر و محدودیت زیاد می‌باشد. این قابلیت به حدی است که این برنامه را از سایر برنامه‌های مشابه تولیدشده در شرکت‌های دیگر متمایز می‌سازد.

۵-۳ حل مدل

برای حل مدل ارائه‌شده از داده‌های نزدیک به واقعیت یکی از شرکت‌های صنایع لبنی تولیدی ایران (کاله) استفاده‌شده است. مطالعه این تحقیق، تولید محصول ماست است که محصول خود را با طول عمر ۴۵ روزه به بازار عرضه می‌کند. این محصول شرایط نگهداری خاصی دارد و برای حمل آن باید از وسایل نقلیه یخچال دار استفاده شود. ماست برگشت‌خورده از بازار با توجه به شرایط و کیفیت آن و همچنین تاریخ باقیمانده از انقضای محصول برای تولید محصول دیگر مانند دوغ استفاده می‌شود یا معدوم می‌گردد. این تولیدی که دارای ۳ مرکز تولید در مکان‌های متفاوت (شمال، مرکز و غرب کشور)، ۵ نوع وسیله نقلیه متفاوت یخچال دار: ایسوز ۵۲۰۰، ایسوز ۵۵۰۰، ایسوز ۶۰۰۰، ایسوز ۸۰۰۰ و ایسوز ۸۲۰۰ برای هر کدام از واحدهای تولیدی، ۱۲ مرکز توزیع در شهرهای مختلف (با توجه به جانمایی و توزیع جمعیتی) و ۱۷۸ خرده‌فروش در شهرهای مختلف کشور است، تلاش می‌کند تا با کاهش هزینه‌های خود، کاهش تعداد کالای مرجوعی و افزایش رضایت‌مندی، به بالاترین حد سودآوری و بهره‌وری خود دست یابد. تولیدکننده می‌تواند از همه مکان‌ها و امکانات خود استفاده نماید اما با توجه به اینکه محدودیت در منابع وجود دارد و ترکیب بهینه، لزوماً به معنی راه‌اندازی همه امکانات (و درنتیجه افزایش هزینه) نیست، مدل پیشنهادی این پژوهش می‌تواند کمک شایانی دررسیدن به اهداف این شرکت تولیدی نماید. همان‌طور که در بخش مدل‌سازی ریاضی بیان شد، مدل پیشنهادی یک مدل ریاضی سیستم تولید چابک و انعطاف‌پذیر کالاهای فاسدشدنی با تکیه‌بر بهینه‌سازی تقاضا در حالت عدم قطعیت است که در این بخش برای حل، از داده‌ها و اطلاعات این واحد تولیدی محصولات فاسدشدنی (ماست) استفاده می‌شود تا مدل پیشنهادی و نتایج حاصل بیانگر عملکرد درست مدل باشد.

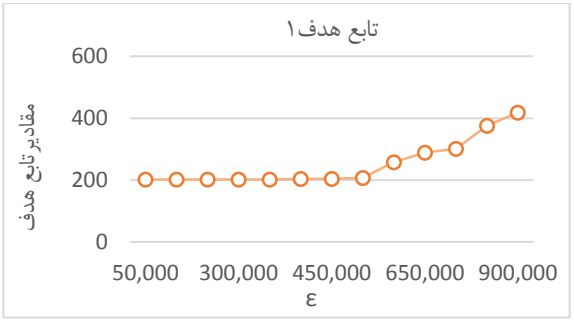
۵-۴ نتایج حاصل از حل مدل

در این بخش با توجه به اینکه روش εمحدودیت، برای حل مسئله ریاضی معرفی‌شده است، با مقادیر مختلف ε توابع هدف محاسبه و در جدول (۱) نشان داده‌شده‌اند. در این جدول مقادیر مختلفی برای ε تعریف‌شده و توابع هدف با آن‌ها حل‌شده است. همان‌طور که از جدول مشخص است، مقادیر تابع هدف با افزایش ε تا مقدار مشخصی، تغییر قابل‌توجهی از خود نشان نمی‌دهند، اما از جایی به بعد (برای مثال تابع هدف اول) افزایش در مقدار ε، افزایش پلکانی و با شیب قابل‌ملاحظه‌ای در مقادیر توابع هدف را گزارش می‌کند. این تغییرات در توابع هدف کمینه و بیشینه با شیب‌های متفاوتی خود را نشان داده است. بدین‌صورت که برای مثال افزایش هزینه، افزایش کالای مرجوعی را نیز به دنبال داشته است اما افزایش در تعداد کالا مرجوعی با سرعت کمتری نسبت به افزایش هزینه اتفاق افتاده است.

"جدول (۱): نتایج حل مدل با روش ε - محدودیت"

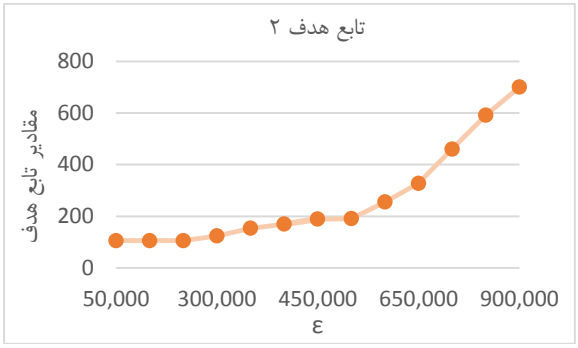
مقدارتابع هدف چهارم	مقدارتابع هدف سوم	مقدارتابع هدف دوم	مقدارتابع هدف اول	ε
۵۸،۹۰۰،۰۰۰	۵۱۲	۱۰،۵۷۵	۲۰،۱۵۷،۳۱۶	۵۰،۰۰۰
۶۴،۵۳۱،۰۰۰	۵۶۳	۱۰،۵۷۵	۲۰،۱۵۷،۳۱۶	۱۰۰،۰۰۰
۱۰۸،۵۹۲،۰۰۰	۴۵۰	۱۰،۵۷۵	۲۰،۱۵۷،۳۱۶	۲۰۰،۰۰۰
۱۸۲،۵۵۴،۰۰۰	۴۱۳	۱۲،۳۷۵	۲۰،۱۵۷،۳۱۶	۳۰۰،۰۰۰
۲۵۰،۹۳۷،۰۰۰	۳۹۸	۱۵،۳۰۸	۲۰،۲۰۳،۸۷۱	۳۵۰،۰۰۰
۲۷۸،۳۱۴،۰۰۰	۳۶۵	۱۶،۹۴۷	۲۰،۳۹۴،۲۵۴	۴۰۰،۰۰۰
۲۸۱،۲۲۶،۰۰۰	۳۴۸	۱۸،۸۶۳	۲۰،۴۱۷،۸۸۳	۴۵۰،۰۰۰
۳۱۵،۴۷۱،۰۰۰	۳۰۷	۱۹،۰۵۸	۲۰،۷۳۵،۶۴۷	۵۰۰،۰۰۰
۳۷۴،۶۹۳،۰۰۰	۲۹۵	۲۵،۴۸۰	۲۵،۷۷۴،۳۲۱	۶۰۰،۰۰۰
۳۹۵،۹۵۰،۰۰۰	۲۸۴	۳۲،۷۲۰	۲۸،۹۰۳،۱۱۴	۶۵۰،۰۰۰
۴۱۰،۱۴۹،۰۰۰	۲۳۰	۴۵،۹۸۳	۳۰،۱۷۵،۸۹۴	۷۰۰،۰۰۰
۴۲۳،۸۷۸،۰۰۰	۲۳۶	۵۹،۰۸۱	۳۷،۵۶۵،۲۴۲	۸۰۰،۰۰۰
۴۶۹،۸۵۷،۰۰۰	۲۳۵	۷۰،۰۰۰	۴۱،۸۲۷،۳۶۸	۹۰۰،۰۰۰

در شکل‌های (۱) الی (۴) نمودار تحلیل حساسیت توابع هدف چهارگانه مسئله تحقیق با توجه به مقادیر مختلف ε بر اساس نتایج حاصل از جدول (۱) نشان داده‌شده است.



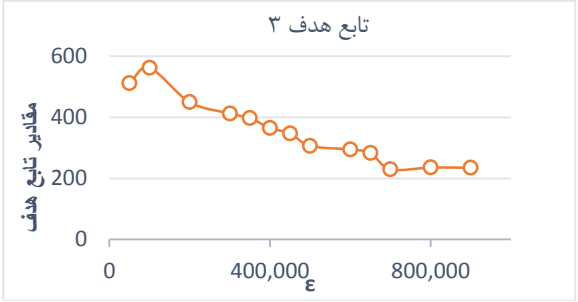
"شکل (۱): تحلیل حساسیت تابع هدف اول بر اساس مقادیر ε"

با توجه به "شکل (۱)" درمی‌یابیم که در بازه اپسیلون ۵۰۰۰۰ الی ۴۵۰۰۰۰ در مقادیر تابع هدف (۱) تغییری حاصل نمی‌گردد. در بازه بیشتر از ۴۵۰۰۰۰ مقادیر این تابع هدف به‌صورت پلکانی سیر صعودی را طی می‌نمایند.



"شکل (۲): تحلیل حساسیت تابع هدف دوم بر اساس مقادیر ε"

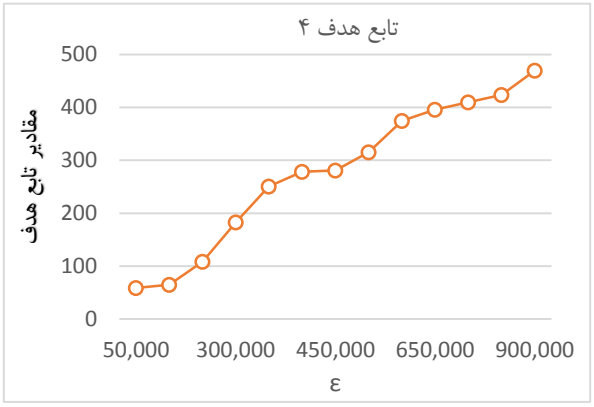
با توجه به "شکل (۲)"درمی‌یابیم که در بازه اپسیلون ۵۰۰۰۰ الی ۲۸۰۰۰۰ در مقادیر تابع هدف (۲) تغییری حاصل نمی‌گردد، در بازه ۲۸۰۰۰۰ از ۵۵۰۰۰۰ مقادیر این تابع هدف به‌صورت محسوسی افزایش می‌یابند؛ اما در بعد از مقدار اپسیلون ۵۵۰۰۰۰ جهش قابل‌توجهی در مقادیر تابع هدف (درصد رضایتمندی مشتری) حاصل می‌شود. دلیل این افزایش ناگهانی بر اساس افزایش در افتتاح مکان‌های کاندید توزیع و افزایش سطح سرویس‌دهی به مشتریان در تمام نقاط مدنظر می‌باشد.



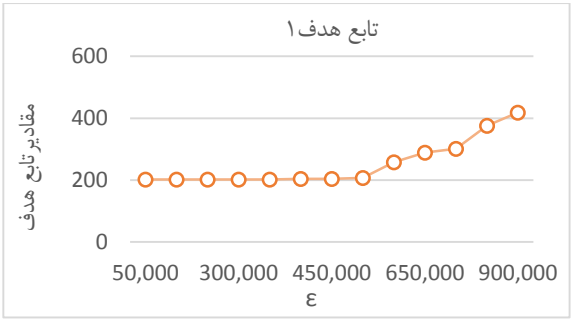
"شکل (۳): تحلیل حساسیت تابع هدف سوم براساس مقادیر ε"

"شکل (۳)" نشان‌دهنده تغییرات جواب در حالات مختلف تغییر در مقدار اپسیلون می‌باشد، بطوری که در بازه ۲۰۰۰۰۰ الی ۶۵۰۰۰۰، تابع هدف ۳ سیر نزولی را طی میکند، در بازه ۶۵۰۰۰۰ الی ۹۰۰۰۰۰ مقادیر این تابع هدف در حالت ثابت قرار می‌گیرد. دلیل کاهش در مقادیر مختلف اپسیلون، کاهش ضایعات می‌باشد که این کاهش ضایعات در راستای افزایش تازگی (توازن عرضه و تقاضا) حاصل شده است.

"شکل (۴): تحلیل حساسیت تابع هدف چهارم بر اساس مقادیر ε"

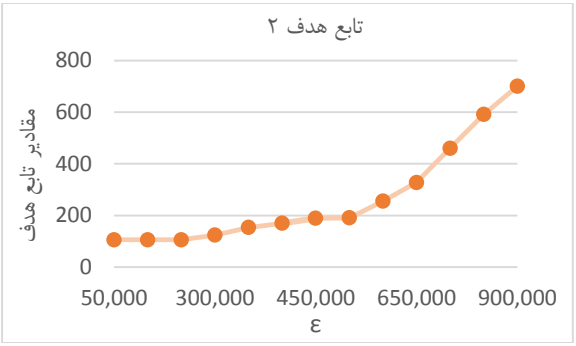


"شکل (۴)" نشان‌دهنده تغییرات جواب در حالات مختلف تغییر در مقدار اپسیلون برای تابع هدف چهارم (سودآوری زنجیره با توجه به تازگی محصول و کیفیت) می‌باشد، بطوری که شکل فوق در دو مرحله سیر صعوی را نشان می‌دهد، سیر صعودی اول در بازه اپسیلون ۱۵۰۰۰۰ الی ۴۰۰۰۰۰ و مرحله دوم، در بازه اپسیلون ۴۵۰۰۰۰ الی ۹۰۰۰۰۰. دلیل صعود دو بخشی در این تابع هدف را میتوان چنین بیان نمود که زمانی که تولیدکننده محصول تازه را روانه بازار نماید، مشتری با رغبت بسیاری از محصول یا محصولات ارائه شده استقبال می‌نماید؛ که این مورد وابسته به فرآیند تولید و میزان توازن در عرضه و تقاضا می‌باشد. همچنین هنگامی که محصول در زمان تازگی به فروش می‌رسد تولیدکننده هزینه اضافی برای باز تولید محصول بازگشتی نخواهد داشت، لذا سودآوری زنجیره بیشینه می‌شود. در جدول (۲) بر اساس داده های تعریف شده در روابط توابع هدف و محدودیت ها، با تعریف مقدار ورودی برای آنها، به حل مسئله در ۶ سناریوی مختلف پرداخته شده است.



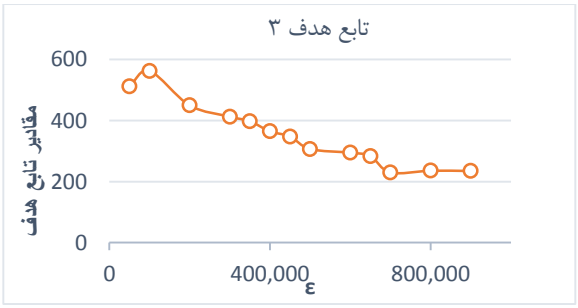
"شکل (۱): تحلیل حساسیت تابع هدف اول بر اساس مقادیر ε"

با توجه به "شکل (۱)" درمی‌یابیم که در بازه اپسیلون ۵۰۰۰۰ الی ۴۵۰۰۰۰ در مقادیر تابع هدف (۱) تغییری حاصل نمی‌گردد. در بازه بیشتر از ۴۵۰۰۰۰ مقادیر این تابع هدف به‌صورت پلکانی سیر صعودی را طی می‌نمایند.



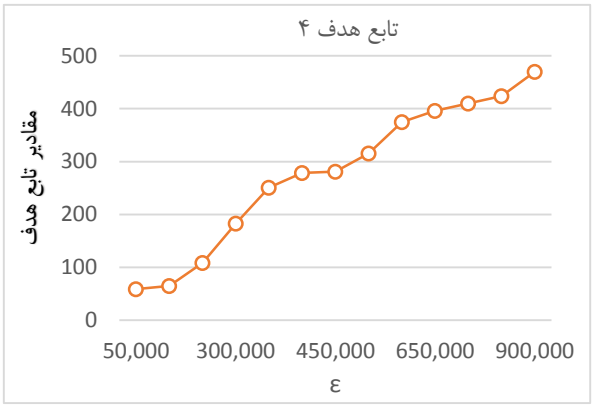
"شکل (۲): تحلیل حساسیت تابع هدف دوم بر اساس مقادیر ε"

با توجه به "شکل (۲)"درمی‌یابیم که در بازه اپسیلون ۵۰۰۰۰ الی ۲۸۰۰۰۰ در مقادیر تابع هدف (۲) تغییری حاصل نمی‌گردد، در بازه ۲۸۰۰۰۰ از ۵۵۰۰۰۰ مقادیر این تابع هدف به‌صورت محسوسی افزایش می‌یابند؛ اما در بعد از مقدار اپسیلون ۵۵۰۰۰۰ جهش قابل‌توجهی در مقادیر تابع هدف (درصد رضایتمندی مشتری) حاصل می‌شود. دلیل این افزایش ناگهانی بر اساس افزایش در افتتاح مکان‌های کاندید توزیع و افزایش سطح سرویس‌دهی به مشتریان در تمام نقاط مدنظر می‌باشد.



"شکل (۳): تحلیل حساسیت تابع هدف سوم براساس مقادیر ε"

"شکل (۳)" نشان‌دهنده تغییرات جواب در حالات مختلف تغییر در مقدار اپسیلون می‌باشد، بطوری که در بازه ۲۰۰۰۰۰ الی ۶۵۰۰۰۰، تابع هدف ۳ سیر نزولی را طی میکند، در بازه ۶۵۰۰۰۰ الی ۹۰۰۰۰۰ مقادیر این تابع هدف در حالت ثابت قرار می‌گیرد. دلیل کاهش در مقادیر مختلف اپسیلون، کاهش ضایعات می‌باشد که این کاهش ضایعات در راستای افزایش تازگی (توازن عرضه و تقاضا) حاصل شده است.



"شکل (۴): تحلیل حساسیت تابع هدف چهارم بر اساس مقادیر ε"

"شکل (۴)" نشان‌دهنده تغییرات جواب در حالات مختلف تغییر در مقدار اپسیلون برای تابع هدف چهارم (سودآوری زنجیره با توجه به تازگی محصول و کیفیت)

می‌باشد، بطوری که شکل فوق در دو مرحله سیر صعوی را نشان می‌دهد، سیر صعودی اول در بازه اپسیلون ۱۵۰۰۰۰ الی ۴۰۰۰۰۰ و مرحله دوم، در بازه اپسیلون ۴۵۰۰۰۰ الی ۹۰۰۰۰۰. دلیل صعود دو بخشی در این تابع هدف را میتوان چنین بیان نمود که زمانی که تولیدکننده محصول تازه را روانه بازار نماید، مشتری با رغبت بسیاری از محصول یا محصولات ارائه شده استقبال می‌نماید؛ که این مورد وابسته به فرآیند تولید و میزان توازن در عرضه و تقاضا می‌باشد. همچنین هنگامی که محصول در زمان تازگی به فروش می‌رسد تولیدکننده هزینه اضافی برای باز تولید محصول بازگشتی نخواهد داشت، لذا سودآوری زنجیره بیشینه می‌شود. در جدول (۲) بر اساس داده های تعریف شده در روابط توابع هدف و محدودیت ها، با تعریف مقدار ورودی برای آنها، به حل مسئله در ۶ سناریوی مختلف پرداخته شده است.

"جدول (۲): مقدار بهینه مدل پیشنهادی تحقیق"

Scenario	میزان تولید کل	تولیدی	مرکز توزیع	مسیر انتخابی بین تولیدی و مرکز توزیع	مسیر انتخابی بین مرکز توزیع و خرده فروش	درصد تغییرات
۱	۱۵۰۰۰۰	۱	۱	۱	۲	-۲,۲
			۲	۲	۲	
			۶	۱	۲	
			۷	۱	۱	
			۸	۲	۲	
			۱۲	۲	۱	
		۲	۳	۲	۱	
			۴	۲	۱	
			۵	۱	۲	
			۹	۱	۱	
			۱۰	۲	۲	
			۱۱	۱	۱	
۲	۲۰۰۰۰۰	۲	۴	۲	۲	-۳,۰۱
			۵	۱	۲	
			۶	۱	۲	
			۹	۲	۱	
		۳	۱	۲	۱	
			۳	۱	۱	
			۷	۲	۱	
			۱۱	۱	۲	
۳	۳۰۰۰۰۰	۱	۱	۲	۱	۰,۵۸
			۳	۲	۲	
			۵	۲	۱	
			۸	۱	۲	
			۹	۱	۲	
		۳	۱	۱	۱	
			۶	۲	۱	
			۱۰	۲	۱	
			۱۲	۲	۱	
۴	۴۵۰۰۰۰	۱	۴	۱	۲	۰۰,۰۰
			۵	۲	۱	
			۶	۱	۲	

"ادامه جدول (۲): مقدار بهینه مدل پیشنهادی تحقیق"

سناریوی پایه			۹	۱	۲
		۲	۱	۱	۲
			۲	۱	۱
			۳	۲	۱
			۱۲	۱	۲
		۳	۷	۱	۲
			۸	۱	۱
			۱۰	۲	۱
			۱۱	۲	۱
۵	۵۵۰۰۰۰	۱	۴	۱	۱
			۶	۲	۱
			۹	۱	۱
		۲	۱	۲	۱
			۲	۲	۱
			۵	۱	۲
			۱۲	۲	۲
		۳	۸	۱	۲
			۱۰	۱	۲
			۱۱	۱	۲
۶	۷۰۰۰۰۰	۱	۱	۲	۱
			۲	۲	۱
			۴	۲	۱
		۲	۳	۱	۲
			۵	۲	۱
			۶	۲	۲
		۳	۷	۱	۱
			۸	۱	۱
			۹	۲	۲
			۱۲	۱	۱

۶- نتیجه‌گیری و پیشنهادات

در این تحقیق سعی می‌شود تا با در نظر گرفتن متغیرهای چابکی و انعطاف‌پذیری در زنجیره تأمین کالاهای فاسدشدنی چهار سطحی با فاکتور عدم قطعیت در تقاضا و سپس حل آن با کمک روش ε-محدودیت، نزدیک به دنیای واقعی مدلی ارائه شود که قابلیت استفاده با بالاترین بازده را داشته باشد.

در نتایج حاصل از مدل نیز نشان داده شد، کاهش زمان تحویل و افزایش کیفیت آن باعث کاهش میزان مرجوعی کالا به میزان ۲۰ درصد می‌شود. بسیاری از تلاش‌های انجام‌شده در حوزه زنجیره تأمین کالای فاسدشدنی از روش‌های قطعی

بهره بردند. درصورتی‌که در جهان واقعی فرض قطعی بودن پارامترها فرضی غیرمنطقی است. لذا حضور عنصر عدم کالای فاسدشدنی چابکی و انعطاف‌پذیری در زنجیره تأمین است که در کنار عدم قطعیت مجموعه‌ی کارایی را شکل می‌دهد که در این تحقیق به آن پرداخته‌شده است. چهار تابع هدف برای کمینه کردن هزینه کل زنجیره و کالای مرجوعی و بیشینه کردن سودآوری و میزان رضایتمندی در یک زنجیره تأمین برای کالای فاسدشدنی معرفی‌شده است و با استفاده از روش ε- محدودیت حل‌شده است. مدل پیشنهادی این پژوهش برای یک شرکت تولیدی ماست اجرا شد که با تعیین ۶ سناریو بهترین آن‌ها که بیشترین تفاوت مثبت از حالت پایه را ایجاد کرده است به‌عنوان سناریوی برتر انتخاب شد. این تحقیق نیز هم به لحاظ نو و جدید بودن موضوع پژوهش، خالی از مسائل و مشکلات نبوده داست. مهم‌ترین محدودیتی که پیش روی این تحقیق بود عدم دسترسی به داده‌های کامل جهت تست نمودن مدل موردنظر با داده‌های کامل به‌جای ارائه مطالعه موردی محدود می‌باشد.

در تحقیقات آتی می‌توان از سایر رویکردهای مدل‌سازی احتمالی استفاده کرد یا این رویکرد ترکیبی از سیستم‌های قطعیت، در بررسی‌ها و تصمیم‌گیری‌ها ضروری است. از طرفی یکی از مفاهیم سازگار و جدانشدنی یک زنجیره تأمین فازی و هوش مصنوعی استفاده نمود و نتایج حاصل را باهم مقایسه نمود. همچنین می‌توان از رویکرد استوار نیز جهت تخصیص و تطابق با عدم قطعیت بهره گرفت.

* استفاده از محاسبات Z-numbers در بررسی متغیرها
* ارائه روش‌های جدید و فرا ابتکاری برای حل مدل‌هایی با متغیرهای کلامی
* لحاظ کردن عدم قطعیت در تقاضا به‌صورت اعداد فازی
* بررسی اثر شلاق چرمی در مکان‌یابی چند سطحی در زنجیره تأمین
* بررسی مدل ارائه‌شده برای کالاهای حساس و فاسدشدنی
* تلفیق مسئله مذکور با مسئله مسیریابی وسایل نقلیه برای تعیین مسیر حرکت توزیع‌کننده کالاها
* به‌کارگیری انواع مختلف تقاضا مانند تقاضای وابسته به قیمت، تقاضای وابسته به سطح موجودی و غیره در مدل.
* حل مدل با فرض مجاز بودن کمبود
* استفاده از مدل‌های تخفیف بر قیمت

۷- منابع و مآخذ

[1] Z Dai, F Aqlan, X Zheng, & KA Gao.A location-inventory supply chain network model using two heuristic algorithms for perishable products with fuzzy constraints. Computers & Industrial Engineering (2018).

[2]Mir Saman Pishvaee, Masoud Rabbani ,Seyed Ali Torabi .A robust optimization approach to closed-loop supply chain network design under uncertainty. Applied Mathematical Modelling Volume 35, Issue 2, Pages 637-64(2011).

[3] N. M Galal, A.F Moneim,
A Developing sustainable supply chains in developing countries. Procedia Cirp,volume 48, 419-424 (2016).

[4] J. M Bloemhof, &M Soysal. Sustainable food supply chain design. In Sustainable Supply Chains (395 - 412). Springer International Publishing (2017).

[5]Tasseda Boukherroub , Angel Ruiz ,Alian Guinet , Julien Fondrevelle. An integrated approach for sustainable supply chain planning. Computers & Operations Research.
Volume 54, Pages 180-194.(2015).

[6]Sahar Validi, Arijit Bhattacharya , P.J Byrne. A solution method for a two-layer sustainable supply chain distribution model. Computers & Operations Research. Pages 204-217(2017).

[7]Ali Azadeh, Zeinab Raoofi,
Mansour Zarrin. A multi-objective fuzzy linear programming model for optimization of natural gas supply chain through a greenhouse gas reduction approach. Journal of Natural Gas Science and Engineering, Pages 702-710(2015).

[8] Boyan Ivanov, Stoyan Stoyanov.
A mathematical model formulation for the design of an integrated biodiesel-petroleum diesel blends system. Energy, Pages 221-236(2016).

[9]Mohammad Talaei ,Babak Farhang Moghaddam, Mir Saman Pishvaee, Ali Bozorgi-Amiri ,Sepideh Gholamnejad. A robust fuzzy optimization model for carbon-efficient closed-loop supply chain network design problem: a numerical illustration in

electronics industry.Journal of Cleaner Production .Pages 662-673(2017).

[9]Mohammad Talaei ,Babak Farhang Moghaddam, Mir Saman Pishvaee, Ali Bozorgi-Amiri ,Sepideh Gholamnejad. A robust fuzzy optimization model for carbon-efficient closed-loop supply chain network design problem: a numerical illustration in electronics industry.Journal of Cleaner Production.Pages 662-673(2017).

[10] Mir Saman Pishvaee ,Mohamadreza Fazli Khalaf. Novel robust fuzzy mathematical programming methods. Applied Mathematical Modelling, Pages 407-418(2016).

[11]Michael Feitó-Cespón ,William Sarache, FrankPiedra-Jimenez, Roberto Cespón-Castro.Redesign of a sustainable reverse supply chain under uncertainty: A case study.Journal of Cleaner Production. 206-217 (2017).

[12] M Musavi, R Tavakkoli-Moghaddam, &F Rayat. A Bi-Objective Green Truck Routing and Scheduling Problem in a Cross Dock with the Learning Effect ,2-14(2017).

[12] Z Rafie-Majd , Pasandideh & B Naderi.Modelling and solving the integrated inventory-location-routing problem in a multi-period and multi-perishable product supply chain with uncertainty Lagrangian relaxation algorithm.Volume 109, pages 9-22(2018).

[14] D. G Mogale, M Kumar, S. K Kumar, & M. K Tiwari,Grain silo location-allocation problem with dwell time for optimization of food grain supply chain network. Transportation Research Part ELogistics and Transportation Review, 111, 40-69 (2018).

[15] Z Dai, F Aqlan., X Zheng & K. A Gao. A location-inventory supply chain network model using two heuristic algorithms for perishable products with fuzzy constraints.Computers & Industrial Engineering. 338-352 (2018).

[16] S Khodaparasti, M. E Bruni,P Beraldi , H. R Maleki, & S Jahedi,. A multi-period location-allocation model for nursing home network planning under uncertainty. Operations Research for Health Care. 4-15(2018).

[17] I. S Doolun, S.G Ponnambalam, N Subramanian & Kanagaraj G. Data driven hybrid evolutionary analytical approach for multi objective location allocation decisions: Automotive green supply chain empirical evidence. Computers & Operations Research.265-283 (2018).

[18] Yan Shuang ,Ali Diabat ,Yi Liao. A stochastic reverse logistics production routing model with emissions control policy selection. International Journal of Production Economics.201-216(2019).

[19] Ali Osman Kuşakcı ,Berk Ayvaz ,Emine Cin, NezirAydın..Optimization of reverse logistics network of End of Life Vehicles under fuzzy supply: A case study for Istanbul Metropolitan Area. Journal of Cleaner Production 1036-1051(2019).

[20] Wei Gu, Chen Wang, Shufen Dai, Lirong Wei. Robert Chiang Optimal strategies for reverse logistics network construction: A multi-criteria decision method for Chinese iron and steel industry Resources Policy (2019).

[21] Ali Rahbari ،Mohammad Mahdi Nasiri ، Frank Werner ،Mir Mohammad Musavi،Fariborz Jolai.The vehicle routing and scheduling problem with cross-docking for perishable products under uncertainty: Two robust bi-objective models. Applied Mathematical Modelling. Pages 605-625 (2019).

[22] Shuai Zhang,Yu Zhuang, RanTao, Linlin Liu ,Lei Zhang ,Jian Du. Multi-objective Optimization for the Deployment of Carbon Capture Utilization and Storage Supply Chain Considering Economic and Environmental Performance (2020).

[23] Bo Yan Tao,Wang Yan-ping, Liu Yang Liu. Decision analysis of retailer-dominated dual-channel supply chain considering cost misreporting. International Journal of Production Economics 34-41(2016).

[24]Mehdi Biuki ،Abolfazl Kazemi ،Alireza Alinezhad.An integrated location-routing-inventory model for sustainable design of a perishable products supply chain network.journal of cleaner production (2020)