فصلنامه پژوهشنامه بازرگانی، شماره ۱۰۱، زمستان ۱۴۰۰، ۱۹۲-۱۵۷

مقاله پژوهشی: طراحی زنجیره تأمین کالاهای فاسدشدنی با دوره عمر ثابت با استفاده از تکنیک محدوده میان‌بخشی نرمال

احمد ابراهیمی* لعیا الفت**

مقصود امیری*** محمدتقی تقوی‌فرد****

دریافت: ۹۹/۴/۸ پذیرش: ۹۹/۷/۹

طراحی زنجیره تأمین / کالای فاسدشدنی / مدل‌سازی ریاضی / تکنیک محدوده میان‌بخشی نرمال

چکیده

طراحی زنجیره تأمین بر کارایی و اثربخشی آن تاثیر به‌سزایی دارد. از این‌رو هدف از انجام این پژوهش طراحی یک زنجیره تأمین چهار سطحی، شامل کارخانجات تولیدی، مراکز توزیع، عمده‌فروشان و خرده‌فروشان جهت کالاهای فاسدشدنی با دوره عمر ثابت می‌باشد که به صورت یک مدل ریاضی چند هدفه به‌منظور تصمیم‌گیری در سطح راهبردی و راه‌کنش از جمله تعداد، اندازه و مکان مراکز توزیع و عمده‌فروشان، تعیین میزان جریان کالا میان تسهیلات مختلف در سطوح زنجیره تأمین، محاسبه میزان موجودی در مراکز انبارش کالا و همچنین انتخاب وسیله حمل کالا میان سطوح زنجیره، ارائه شده است و هدف مدل حداقل‌سازی هزینه‌های زنجیره تأمین و

*. دانشجوی دکتری مدیریت تولید و عملیات a_ebrahimi@aut.ac.ir

**. استاد دانشگاه علامه طباطبائی، مدیریت olfat@aut.ac.ir

***. استاد دانشگاه علامه طباطبائی، مهندسی صنایع amiri@aut.ac.ir

****. دانشیار دانشگاه علامه طباطبائی، مهندسی صنایع taghavifard@aut.ac.ir

■ لعیا الفت، نویسنده مسئول

درعین حال دست‌یابی به کمترین زمان سفر کالا در زنجیره تأمین می‌باشد. مدل‌سازی انجام شده تلاش می‌کند با در نظر گرفتن دوره عمر محصول، نرخ متفاوت فساد کالا در تسهیلات مختلف انبارش و همچنین در نظر گرفتن روش‌های مختلف حمل محصول با نرخ‌های مختلف فساد کالا، نقصان تحقیقات قبلی در حوزه طراحی زنجیره تأمین کالاهای فاسدشدنی را برطرف نماید. با توجه به چندهدفه بودن مدل، این مطالعه از رویکرد حل محدوده میان‌بخشی نرمال در قالب نرم‌افزار GAMS ۲۴ و حل کننده CPLEX به‌منظور حل مدل ریاضی بهره گرفته است که در مقایسه با سایر رویکردها مانند برنامه‌ریزی آرمانی، برتری‌های قابل توجهی دارد و به تصمیم گیرنده این امکان را می‌دهد که با توجه به درجه اهمیت اهداف مختلف، مطلوب‌ترین راه‌حل را از میان راه‌حل‌های موجود انتخاب نماید. مدل توسعه داده شده و رویکرد حل در یک مطالعه موردی در صنعت لبنیات در ایران مورد آزمون قرار گرفته است.

طبقه‌بندی JEL : L16, C61

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

مقدمه

توسعه بازارها و انتظارات روزافزون مشتریان به‌عنوان مهم‌ترین عوامل تاثیرگذار بر سازمان‌ها باعث شده است تا آنها به دنبال کسب مزیت رقابتی از طریق زنجیره تأمین خود باشند[۱]. موفقیت یک زنجیره تأمین به هماهنگی یکپارچه همه بنگاه‌ها برای شکل دادن به ساختار یک شبکه موثر و چگونگی طراحی شبکه زنجیره تأمین بستگی دارد[۲]. طراحی زنجیره تأمین یکی از مهم‌ترین فرایندها در مدیریت زنجیره تأمین است که تاثیرات بلندمدت و مهمی را بر عملکرد اجزای مختلف زنجیره تأمین به ویژه مکان‌یابی تسهیلات می‌گذارد.[۳] مکان‌یابی و ایجاد تسهیلات جدید، کوچک‌سازی یا مکان‌یابی مجدد و توسعه تسهیلات موجود از جمله پروژه‌های بلندمدتی هستند که در سطح تصمیم‌گیری راهبردی زنجیره تأمین قرار دارند.[۴] از این‌رو، انتخاب مکان نامناسب برای استقرار تسهیلاتْ به تحمیل هزینه‌های اضافی در کل دوره بهره‌برداری از تسهیلات منجر خواهد شد.[۵] علاوه بر مکان‌یابی تسهیلات یکی از مهم‌ترین فاکتورهایی که در طراحی زنجیره تأمین نقش تعیین‌کننده ایفا می‌کند نوع محصول می‌باشد که محدودیت‌های خاصی را بر فرایندهای مختلف زنجیره تأمین از جمله تدارکات و تامین، برنامه‌ریزی تولید و مدیریت موجودی و همچنین شبکه توزیع اعمال می‌نماید.[۶]

بخش قابل توجهی از محصولاتی که در سراسر جهان تولید و مصرف می‌شوند از انواع کالاهای فاسدشدنی[۷] (مانند: محصولات دارویی، لبنی، فراورده‌های خونی و بسیاری از محصولات صنعتی) هستند.[۸] به‌طور مثال ۵۰ درصد از سهم فروش صنعت خواروبارفروشی در ایالات متحده به محصولات فاسدشدنی تعلق دارد.[۹] و یا در حوزه مدیریت فراورده‌های خونی -مطابق گزارش سازمان جهانی سلامت - سالانه بیش از نود و دو میلیون واحد خونی در جهان از اهداکنندگان جمع‌آوری می‌شود.[۱۰] باید عنوان کرد، به‌طور کلی محصولات فاسدشدنی به

---

۱. آذر و همکاران، (۱۳۹۵).

۲. فیضی و همکاران، (۱۳۹۱)

3. Hasani et al, (2012).
4. Melo et al, (2006).
5. Meng et al, (2009).
6. Amorim et al, (2013).
7. Perishable
8. Firoozi et al, (2013)
9. Ferguson & Ketzenberg, (2006).
10. World Health Organization Report, (2011).

دو دسته اصلی تقسیم می‌شوند. دسته اول شامل محصولات فاسدشدنی هستند که ارزش آنها وابسته به زمان است (اقلام فسادپذیر و بهبودپذیر). به عبارت دیگر میزان مطلوبیت این کالاها با گذشت زمان تغییر می‌کند. دسته دوم شامل محصولاتی می‌شوند که دارای دوره عمر ثابت بوده و میزان مطلوبیت آنها در دوره عمر کالا تغییر نمی‌کند اما پس از پایان دوره عمر، میزان مطلوبیت آنها به صفر رسیده و اصطلاحاً آنها را محصولات فاسدشدنی با دوره عمر ثابت می‌نامند.[۱] با در نظر داشتن محصولات فاسدشدنی از نوع دوره عمر ثابت در این مطالعه، باید عنوان کرد که این کالاها تنها در دوره عمر[۲] خود قابل استفاده هستند و زمانی که دوره عمر آنها به پایان رسد بی‌ارزش شده و باید امحاء گردند.[۳] بنابراین، طراحی شبکه زنجیره تأمین این گروه از کالاها از اثرگذارترین فاکتورهای موفقیت در کسب و کار می‌باشد.[۴]

با توجه به اهمیت طراحی زنجیره تأمین در این گروه از کالاها و همچنین اثرگذاری آن بر کسب مزیت رقابتی پایدار، توجه به عوامل دوره عمر محصول[۵]، زمان حمل، نرخ فسادپذیری[۶] و تعداد دوره‌های برنامه‌ریزی[۷] بسیار تعیین‌کننده است. دوره عمر محصول نقش به‌سزایی در تعیین سیاست‌های موجودی و دوره انبارش محصول دارد. همچنین جهانی شدن زنجیره‌های تامین و در نتیجه افزایش فاصله میان تسهیلات مختلف، اهمیت زمان حمل محصول میان تسهیلات مختلف و به تبع آن الگوهای حمل و نقل را دوچندان کرده است[۸] در نتیجه در نظر گرفتن تنوع در وسیله حمل و نقل محصولات می‌تواند علاوه بر انعطاف‌پذیری زنجیره تأمین در کاهش هزینه‌ها، کارایی آن در تحویل سریع و به موقع محصولات و کاهش نرخ فسادپذیری محصولات حین حمل را نیز افزایش دهد. از طرف دیگر نرخ فسادپذیری کالا مستقیماً از شرایط نگهداری محصول در تسهیلات انبارش و حمل و نقل (مانند: دما، نور، رطوبت و ...) تاثیر می‌پذیرد در نتیجه چگونگی محاسبه نرخ فسادپذیری در مدل‌سازی حائز اهمیت است. بسیاری از پژوهشگران با در نظر گرفتن مفروضاتی از قبیل در نظر گرفتن نرخ ثابتی

---

۱. غلامی و هنرور، (۱۳۹۴).

2. Shelf life
3. Amorim et al, (2011).
4. Mohammad Musavi & Bozorgi-Amiri, (2017).
5. Firoozi et al , (2013)
6. Zahiri et al, (2015).
7. Castro et al, (2017).
8. De keizer et al, (2017)

برای ضایع شدن محصولات در هر دوره یا در نظر گرفتن فسادپذیری تنها در محصول یا زنجیره تأمین خاص به ساده‌سازی مسئله پرداخته‌اند و از جزئیات فسادپذیری صرفنظر کرده‌اند.[1] همچنین با توجه به سرعت مصرف کالاهای فاسدشدنی، بیشتر پژوهش‌ها برنامه‌ریزی و طراحی زنجیره تأمین این دسته از کالاها را به صورت یک دوره‌ای در نظر گرفته‌اند در حالی که برنامه‌ریزی در بسیاری از این محصولات لزوماً چند دوره‌ای است. از این‌رو این پژوهش با تمرکز بر محصولات فاسدشدنی با دوره عمر ثابت، تلاش می‌کند مدلی را جهت طراحی زنجیره تأمین چهار سطحی برای کالاهای فاسدشدنی ارائه دهد که در آن ضمن در نظر گرفتن نرخ متفاوت فساد کالا در تسهیلات مختلف انبارش کالا، تنوع در روش‌های حمل و نقل کالا میان سطوح مختلف زنجیره تأمین را مدنظر قرار داده و همچنین نرخ فساد کالا در حمل به روش‌های مختلف را نیز به صورت مستقل و متفاوت و در قالب مدل‌سازی ریاضی لحاظ نماید؛ از سوی دیگر با توجه به اهمیت زمان در زنجیره تأمین کالاهای فاسدشدنی با دوره عمر ثابت، ضمن تلاش برای حداقل نمودن هزینه کل زنجیره تأمین، زمان حمل و نقل کالا میان تسهیلات مختلف در سطوح زنجیره تأمین را نیز به حداقل برساند.

۱. پیشینه پژوهش

طراحی شبکه زنجیره تأمین همواره به‌عنوان یک تصمیم راهبردی که در آن تصمیمات مربوط به مکان‌یابی و تخصیص تسهیلات گرفته می‌شوند مورد توجه قرار گرفته است.[2،3،4] طراحی شبکه تولید و توزیع کالاهای فاسدشدنی همواره با چالش‌های خاصی همراه بوده است. تحویل به موقع محصولات فاسدشدنی با توجه به دوره عمر آنها مهم‌ترین فاکتور در فرایند توزیع این دسته از محصولات است که تحت تاثیر مکان مراکز توزیع و سایر تسهیلات است.[5] علاوه بر آن هزینه ایجاد و راه‌اندازی تسهیلات و همچنین هزینه توزیع محصولات فاکتور مهم دیگری در طراحی زنجیره تأمین محصولات فاسدشدنی محسوب می‌شود. با این حال بسیاری از پژوهش‌ها با استفاده از مفروضاتی به ساده‌سازی مسئله طراحی زنجیره تأمین

1. Zahiri et al, (2017)
2. Zokaee et al, (2014).
3. Jabbarzadeh et al, (2014).
4. Shishebori et al, (2013).
5. Khalili-Damghani et al, (2015).

کالاهای فاسدشدنی پرداخته‌اند.[1] در حقیقت مسئله مهم در طراحی زنجیره تأمین این دسته از محصولات دستیابی به حداقل هزینه و همچنین زمان تحویل به موقع می‌باشد. زمان و هزینه توزیع محصولات کاملاً به موقعیت تسهیلات انبارش و توزیع کالا و همچنین مسیریابی حمل و نقل کالا میان سطوح مختلف زنجیره تأمین، یا به‌عبارت دیگر الگوی تخصیص تسهیلات وابسته است.[2]

فدرگروئن و همکاران[3] (۱۹۸۶) مدل تخصیصی را برای محصولات فسادپذیر ارائه و در آن مسال‌های مرکب از تخصیص موجودی در دسترس و توزیع از یک مرکز منطقه‌ای به مجموعه‌ای از مکان‌ها با تقاضای تصادفی مورد بررسی قرار داده‌اند. وندر ورست و همکاران[4] (۲۰۰۹) ضمن تاکید بر اهمیت عامل کیفیت در طراحی زنجیره تأمین مواد غذایی، رویکرد یکپارچه‌ای را در طراحی مجدد زنجیره تأمین مواد غذایی با لحاظ نمودن پایداری و کیفیت در محیط شبیه‌سازی ALADINTM ارائه کرده‌اند و رویکرد خود را در زنجیره صدور آناناس از کشور غنا به هلند مورد آزمون قرار داده‌اند. آنها با لحاظ نمودن روش حمل و نقل دریایی و هوایی به‌طور ویژه به بررسی تاثیر سرعت حمل محصولات بر کیفیت و طراحی کل زنجیره تأمین پرداخته‌اند. هیاست و دیابَت[5] (۲۰۱۱) مدلی برای زنجیره‌ای که در آن یک تامین‌کننده کالایی فاسدشدنی را با دوره عمر معین از طریق مراکز توزیع میان خرده‌فروشان متعددی توزیع می‌کند ارائه داده‌اند و در آن به مکان‌یابی تسهیلات، تعیین تعداد انبار مورد نیاز، مکان آنها و همچنین تخصیص مشتریان به آنها پرداخته‌اند. دی و همکاران[6] (۲۰۱۱) مدلی برای طراحی شبکه توزیع و تعیین مراکز توزیع محصولات کشاورزی فاسدشدنی با هدف حداقل‌سازی هزینه‌های تسهیلات، موجودی، حمل و نقل و هزینه خرابی ارائه داده‌اند. در تحقیقی دیگر ژائو و الوی[7] (۲۰۱۱) مدلی برای مکان‌یابی تسهیلات با در نظر گرفتن ظرفیت و نوع وسایل حمل و نقل در زنجیره تأمین محصولات کشاورزی با هدف حداقل کردن هزینه تولید و حمل

1. Zahiri et al, (2017).
2. Khalili-Damghani et al, (2017).
3. Federgruen et al
4. van der Vorst et al.
5. Hiassat & Diabat
6. Di et al
7. Zhao & Lv

و نقل ارائه داده‌اند. از سوی دیگر ینگ و همکاران[1] (۲۰۱۲) با در نظر گرفتن عدم اطمینان در زمان سفر کالا، مدلی فازی برای محاسبه زمان سفر میان سطوح مختلف زنجیره تأمین ارائه داده‌اند که تلاش می‌کند حداکثر زمان سفر میان تسهیلات مختلف را حداقل نموده و در تمامی مسیرها از مقدار معینی کمتر باشد. در پژوهشی دیگر حسنی و همکاران (۲۰۱۲) طراحی یک زنجیره تأمین بسته چهارسطحی برای کالاهای فاسدشدنی را با در در نظر گرفتن عدم اطمینان در تقاضا مورد بررسی قرار داده‌اند. آنها در عین تلاش برای حفظ جامعیت مدل خود از طریق در نظرگرفتن پارامترها و متغیرهای یک زنجیره تأمین واقعی، تنوع در روش‌های حمل و تفاوت در نرخ فاسدشدگی در هر یک از تسهیلات حمل و انبارش و همچنین هزینه فاسدشدگی محصول را در تابع هدف لحاظ نکرده‌اند. فیروزی و همکاران (۲۰۱۳) نیز با در نظر گرفتن یک زنجیره تأمین سه سطحی جهت کالاهای فاسدشدنی، تعیین مکان تسهیلات و سیاست‌های موجودی در شبکه زنجیره تأمین را در قالب یک مدل غیرخطی با هدف حداقل‌سازی هزینه سالانه را مورد بررسی قرار داده‌اند. درزنر و اسکات[2] (۲۰۱۳) مدلی را برای کالاهای فاسدشدنی با هدف حداقل‌سازی هزینه حمل و موجودی ارائه داده‌اند که مسئله موجودی و مکان‌یابی تسهیلات را با هم ترکیب نموده و در آن یک مرکز توزیع تعداد محدودی فروشنده را تغذیه می‌کند و سیاست‌های موجودی متاثر از مکان مرکز توزیع می‌باشد. جوزدانی و همکاران[3] (۲۰۱۳) مدلی پویا برای مکان‌یابی تسهیلات و برنامه‌ریزی زنجیره تأمین شیر ارائه داده‌اند که هدف آن تعیین مکان بهینه تسهیلات و تعیین میزان بهینه تولید به‌منظور حداقل‌سازی هزینه حمل با در نظر گرفتن ترافیک جاده‌ای و همچنین عدم اطمینان در تقاضا می‌باشد. در تحقیقی دیگر یو و ناگرنی[4] (۲۰۱۳) بهینه‌سازی زنجیره تأمین غذا با در نظر گرفتن فساد کالا به صورت یک تابع نمایی و معرفی ضریب تکاثر در هر سطح زنجیره، میزان فساد کالا در زنجیره را محاسبه و از این طریق میزان جریان اولیه در هر مسیر ارسال کالا را به گونه‌ای که تقاضای نهایی برآورده شود محاسبه و در تابع هدف لحاظ نموده‌اند. گووندان و همکاران[5] (۲۰۱۴) با در نظر گرفتن یک زنجیره تأمین سه سطحی در صنعت غذا،

1. Yang et al
2. Drezner & Scott
3. Jouzdani et al
4. Yu & Nagurney
5. Govindan, Jafarian & Khodaverdi

به طراحی و بهینه‌سازی زنجیره تأمین با دو هدف حداقل‌سازی هزینه و حداقل‌سازی اثرات زیست‌محیطی پرداخته‌اند. آنها با تعریف زودترین و دیرترین زمان رسیدن کالا به توزیع‌کننده و خرده‌فروش، جریمه‌ای برای زودتر یا دیرتر رسیدن کالا تعریف کرده‌اند اما هزینه فسادپذیری را در مدل منظور نکرده‌اند. غلامی و هنرور (۱۳۹۴) مدلی جهت برنامه‌ریزی یک زنجیره تأمین سه سطحی با رویکرد مدیریت موجودی توسط فروشنده جهت کالاهای فسادپذیر و بهبودپذیر ارائه کرده‌اند. آنها هزینه فساد کالا را صرفا برای مواد خام و محصول نهایی در نظر گرفته و نرخ فاسدشدگی را نیز ثابت فرض کرده‌اند. خلیلی دامغانی و همکاران (۲۰۱۵) مدلی دو هدفه و قطعی جهت کاهش هزینه کل در یک زنجیره تأمین سه سطحی محصولات فاسدشدنی متشکل از کارخانجات تولیدی، مراکز توزیع و مشتریان نهایی و همچنین متعادل‌سازی بار کاری مراکز توزیع در عین توجه به تحویل به موقع محصولات ارائه داده‌اند. مکان مشتریان و کارخانجات تولیدی ثابت و از پیش تعیین شده و مکان مراکز توزیع از میان نقاط پیشنهادی انتخاب می‌شود. روش‌های حمل و نقل متنوع و مسئله به صورت تک دوره‌ای مدل شده است و نرخ فاسدشدگی محصول در مراکز انبارش و همچنین روش‌های حمل و نقل مورد توجه قرار نگرفته است و به‌منظور حل مدل توسعه داده شده نیز از الگوریتم ژنتیک استفاده شده است. در تحقیقی دیگر اعتمادنیا و همکاران[1] (۲۰۱۵) در پژوهشی یک زنجیره تأمین سه سطحی شامل مراکز تولید، مراکز توزیع و مراکز مصرف را با هدف تسهیل حمل و نقل غذا از مراکز تولیدی به مراکز مصرف به صورت یک مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مدل‌سازی کرده‌اند. مدل ارائه شده تک دوره‌ای بوده و حداقل‌سازی هزینه حمل و نقل و هزینه مکان‌یابی مراکز توزیع را دنبال می‌نماید اما در عین حال نرخ فاسدشدگی و در نتیجه هزینه فاسدشدگی محصول در مدل لحاظ نشده است. کریشنامورتی[2] (۲۰۱۶) مدلی برای مکان‌یابی مراکز طبخ و تهیه غذا و توزیع میان مدارس در مناطق کمتر توسعه یافته هند با هدف حداقل‌سازی هزینه سرمایه‌گذاری و هزینه تحویل غذا ارائه کرده است و علیرغم فاسدشدنی بودن محصول نه فسادپذیری و نه دوره عمر را به‌عنوان یک عامل مدنظر قرار نداده است. کاسترو و همکاران (۲۰۱۷) ضمن اشاره به کم‌توجهی پژوهشگران به مکان‌یابی تسهیلات در زنجیره تأمین محصولات کشاورزی فاسدشدنی، یک مدل برنامه‌ریزی خطی برای مکان‌یابی مراکز

1. Etemadnia at al.
2. Krishnamoorthy

جمع‌آوری این گروه از محصولات در یک زنجیره تأمین سه سطحی ارائه کردند. آنها به‌منظور محاسبه میزان فاسدشدگی و هزینه ناشی از آن دو متغیر دما و رطوبت محیطی را در مدل خود منظور کردند و هزینه ناشی از فاسدشدگی را در تابع هدف مدل منظور نمودند اما همچنان به تفاوت نرخ فاسدشدگی در تسهیلات مختلف انبارش و حمل کالا توجه نکردند. رمضانیان و بهبودی (۲۰۱۷) با در نظر گرفتن پارامترهایی نظیر فاصله اهداکنندگان تا مراکز خون، تجربه اهداکنندگان در مراکز، بودجه تبلیغات در مراکز و همچنین جنبه‌های اجتماعی، مدلی را برای حداقل‌سازی هزینه زنجیره تأمین خون در شرایط عدم اطمینان و با در نظر گرفتن نقاط بالقوه برای تاسیس مراکز دائم خونگیری و ایجاد مراکز خون سیار، ارائه داده‌اند. مدل آنها یک زنجیره تأمین سه سطحی و چند دوره‌ای را مورد بررسی قرار داده است. دیکایزر و همکاران[1] (۲۰۱۷) نیز ضمن اشاره به محدودیت پژوهش‌هایی که مسئله فسادپذیری را مدنظر قرار داده‌اند، مکان‌یابی هاب‌های توزیع و میزان حمل کالا میان تامین‌کنندگان و هاب‌های توزیع و موجودی را در یک زنجیره تأمین سه سطحی در صنعت غذا بدون توجه به تنوع در حمل و نقل و نرخ فاسدشدگی کالا در تسهیلات مختلف مورد بررسی قرار داده‌اند. قضاوتی و همکاران[2] (۲۰۱۷) مدلی برای توزیع محصولات کشاورزی ارائه کرده است که هدف آن حداکثرسازی سود توزیع‌کننده که نقش محوری در حوزه توزیع دارد می‌باشد. مدل آنها با معرفی سه شاخص برای اندازه‌گیری عمر محصول و استفاده از سه تابع برای اندازه‌گیری آنها، بر ارائه فصلی محصول متمرکز می‌باشد. با اتمام محدوده زمانی، قیمت موجودی به صفر می‌رسد و نرخ کاهش قیمت نیز خطی فرض شده است. هیاست و همکاران (۲۰۱۷) مدلی قطعی به‌منظور مکانیابی، تعیین میزان موجودی و مسیریابی در یک شبکه زنجیره تأمین دو سطحی شامل انبارها و خرده‌فروشان جهت کالاهای فاسدشدنی ارائه داده‌اند که در آن مکان انبارها از میان نقاط بالقوه انتخاب می‌شود و کالا توسط ناوگان حمل و نقل یکسان میان تسهیلات جابجا می‌شود. زهیری و همکاران (۲۰۱۷) یک مدل یکپارچه چندهدفه به‌منظور طراحی زنجیره تأمین چهارسطحی دارو در شرایط عدم اطمینان ارائه داده‌اند. آنها یک زنجیره تأمین چهار سطحی شامل کارخانجات تولیدی، مراکز توزیع اصلی، مراکز توزیع محلی و مراکز تقاضا را مدنظر قرار داده‌اند و مسئله را به صورت یک مدل برنامه‌ریزی خطی چند

1. De Keizer et al
2. Ghezavati et al

دوره‌ای و چند محصولی با در نظر گرفتن روش‌های حمل و نقل متنوع و در شرایط عدم اطمینان به صورت فازی و احتمالی[1] مدل‌سازی کرده‌اند. اهداف مدل شامل حداقل‌سازی هزینه، حداقل‌سازی تاثیرات اجتماعی زنجیره تأمین، حداقل‌سازی تاثیرات محیطی و همچنین حداقل‌سازی عدم تاب‌آوری[2] شبکه زنجیره تأمین می‌باشد و به‌منظور حل مدل نیز از تکنیک‌های فراابتکاری استفاده شده است. علی‌رغم جامعیت مدل در حوزه زنجیره تأمین دارو، نرخ فسادپذیری در حمل و نگه‌داری یکسان و همچنین هزینه فاسدشدگی در تابع هزینه مدنظر قرار نگرفته است. محمدموسوی و بزرگی امیری (۲۰۱۷) مدلی برای مکان‌یابی هاب‌ها و زمان‌بندی وسایط نقلیه در حوزه توزیع کالاهای فاسد شدنی ارائه داده‌اند. مدل آنها فسادپذیری کالاها در توزیع و همچنین میزان دی‌اکسیدکربن تولیدی توسط شبکه هاب را به‌منظور توجه به فاکتور پایداری مدنظر قرار داده و با در نظر گرفتن دوره عمر محصول و همچنین نقطه کاهش کیفیت هدفی برای حداکثرسازی احتمال خرید در مدل خود در نظر گرفته است اما همچنان هزینه فسادپذیری کالا را در توابع هدف خود منظور نکرده‌اند. سوادکوهی و همکاران[3] (۲۰۱۸) مدلی چنددوره‌ای با رویکرد برنامه‌ریزی فازی جهت طراحی زنجیره تأمین دارو ارائه داده‌اند. آنها در پژوهش خود به مکان‌یابی مراکز توزیع دارو، جریان محصولات میان سطوح مختلف و تعیین سیاست‌های موجودی در یک زنجیره تأمین سه سطحی پرداخته‌اند. آنها با توجه به ویژگی‌های ماهوی صنعت دارو، تنها هزینه کالای منقضی شده را به‌عنوان هزینه فسادپذیری در تابع هدف خود منظور نموده‌اند و از تفاوت نرخ فسادپذیری محصول در تسهیلات مختلف از جمله تسهیلات حمل و انبارش صرف‌نظر کرده‌اند. همچنین علی‌رغم اهمیت زمان در طراحی زنجیره تأمین محصولات فاسدشدنی، آنها تنها حداقل‌سازی هزینه کل زنجیره را به‌عنوان تابع هدف مدنظر قرار داده‌اند. یاوری و ذاکر[4] (۲۰۱۹) نیز در تحقیقی به طراحی زنجیره تأمین سبز جهت کالاهای فاسدشدنی با لحاظ ریسک اختلال در شبکه برق پرداخته‌اند. آنها علی‌رغم در نظر گرفتن مفاهیم فسادپذیری و دوره عمر محصول، نرخ فسادپذیری متفاوت در تسهیلات انبارش و حمل، اهمیت زمان گردش

1. Fuzzy possibilistic-stochastic
2. Non-resiliency
3. Savadkoohi et al
4. Yavari & Zaker

کالا و همچنین هزینه فاسدپذیری را مدنظر قرار نداده‌اند. یاوری و گرائیلی[1] (۲۰۱۹) در پژوهشی به بررسی مسئله طراحی زنجیره تأمین بسته جهت کالاهای فاسدشدنی در صنعت لبنیات پرداخته‌اند. آنها دو هدف حداقل‌سازی هزینه کل زنجیره و همچنین حداقل‌سازی آلودگی محیطی در شرایط عدم اطمینان در تقاضا، نرخ بازگشت کالا و هزینه را دنبال نموده و در عین حال آنها نیز فاکتورهای مهمی نظیر هزینه فاسدشدن کالا، نرخ متفاوت فاسدشدگی در تسهیلات، روش‌های مختلف حمل کالا و همچنین اهمیت زمان گردش کالا در زنجیره را در نظر نگرفته‌اند. منوچهری و همکاران[2] (۲۰۲۰) مدلی ریاضی و تک هدفه در حالت قطعی با در نظر گرفتن مسیر تولید برای کالاهای فاسدشدنی ارائه کرده‌اند و طی آن به‌طور خاص امکان‌پذیری کاهش هزینه‌های مرتبط با موجودی را مورد بررسی قرار داده‌اند. آنها ضمن اشاره به هزینه‌های بالای نگه‌داری موجودی در زنجیره تأمین کالاهای فاسدشدنی، تعیین بهینه سطوح موجودی در زنجیره تأمین این گروه از کالاها را در کاهش هزینه زنجیره تأمین مهم ارزیابی می‌کنند. جوزدانی و گویندان[3] (۲۰۲۰) نیز در پژوهشی به مدل‌سازی زنجیره تأمین کالاهای فاسدشدنی با سه هدف حداقل‌سازی هزینه، انرژی مصرفی شبکه حمل و نقل و همچنین تاثیرات اجتماعی زنجیره پرداخته‌اند و علی‌رغم در نظر گرفتن روش‌های حمل متنوع، نرخ فاسدشدگی متغیر در تسهیلات، هزینه فساد کالا و همچنین زمان حمل کالا در شبکه زنجیره تأمین را مدنظر قرار نداده‌اند.

مرور تحقیقات انجام شده در حوزه زنجیره تأمین کالاهای فاسدشدنی نشان می‌دهد بسیاری از نویسندگان با استفاده از مفروضاتی از قبیل در نظر گرفتن نرخ ثابتی برای ضایع شدن محصولات در هر دوره یا در نظر گرفتن فسادپذیری تنها در محصول یا زنجیره تأمین خاص و صرفنظر کردن از جزئیات فسادپذیری به ساده‌سازی مسئله پرداخته‌اند.[4] اما باید توجه داشت که میزان ضایعات محصولات فسادپذیر در فرایند انبارش کالا به شرایط نگه‌داری از جمله دما، نور، رطوبت و ...[5] و در فرایند حمل کالا به نوع وسیله حمل و نقل و کیفیت آن بستگی دارد. از این‌رو می‌توان گفت نرخ فسادپذیری کالا در انبارهای مختلف و با استفاده

1. Yavari & Geraeli
2. Manouchehri et al
3. Jouzdani & Govindan
4. Zahiri et al, (2017)
5. Castro et al, (2017)

از روش‌های مختلف حمل یکسان نخواهد بود و این موضوعی است که در تحقیقات گذشته در طراحی شبکه زنجیره تأمین کالاهای فاسدشدنی لحاظ نشده است. در جدول شماره (۱) مهم‌ترین مقالات مورد بررسی از جنبه‌های مختلف با پژوهش حاضر مقایسه شده است.

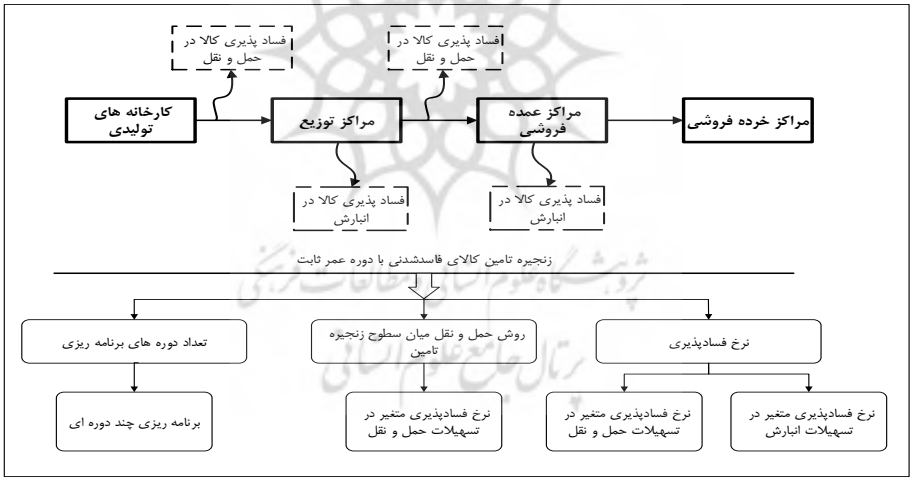
جدول ۱- مقایسه مهم‌ترین مقالات مورد بررسی با پژوهش حاضر

نویسندگان	تعداد سطوح زنجیره تأمین	هزینه فساد کالا در تابع هدف	هزینه حمل میان تسهیلات به طرق مختلف	مدل‌سازی چند دوره ای	روش حمل چند حالته	نرخ فسادپذیری متفاوت در تسهیلات حمل	نرخ فسادپذیری متفاوت در تسهیلات انبارش
اورجلاکاسترو و همکاران (۲۰۱۷)	۴	✔					
رمضانیان و بهبودی (۲۰۱۷)	۳			✔			
محمدموسوی و بزرگی امیری (۲۰۱۷)	۲		✔				
یو و ناگرنی (۲۰۱۳)						✔	
وندروست و همکاران (۲۰۰۹)	۴						
زهیری و همکاران (۲۰۱۷)	۴		✔	✔			
درزنر و اسکات (۲۰۱۳)	۲		✔				
دی و همکاران (۲۰۱۱)	۲	✔	✔				
خلیلی دامغانی و همکاران (۲۰۱۵)	۲		✔		✔		
اعتمادنیا و همکاران (۲۰۱۵)	۲		✔				
هیاست و همکاران (۲۰۱۷)	۲			✔			
قضاوتی و همکاران (۲۰۱۵)	۳			✔			
دیکایزر و همکاران (۲۰۱۷)	۳						
حسنی و همکاران (۲۰۱۲)	۴			✔			
گووینداں و همکاران (۲۰۱۳)	۲		✔	✔	✔		
فیروزی و همکاران (۲۰۱۳)	۳		✔				
سوادکوهی و همکاران (۲۰۱۸)	۳	✔		✔			
یاوری و گرائیلی (۲۰۱۹)	۴			✔			
پژوهش حاضر	۴	✔	✔	✔	✔	✔	✔

پژوهش حاضر تلاش می‌کند مدلی برای طراحی زنجیره تأمین کالاهای فاسدشدنی با دوره عمر معین ارائه نماید و در قالب آن به تعیین تعداد، ظرفیت و مکان تسهیلات و روش‌های حمل با در نظر گرفتن نرخ متفاوت فساد کالا در تسهیلات انبارش مختلف و همچنین نرخ متفاوت فساد کالا در روش‌های مختلف حمل، در یک زنجیره تأمین چهار سطحی بپردازد. همچنین تلاش می‌شود با توجه به دوره عمر محدود کالا، زمان سفر کالا از کارخانه تا بازار مصرف، با توجه به روش‌های مختلف حمل و نقل، به کمترین میزان ممکن کاهش یابد.

۲. روش‌شناسی پژوهش

پژوهش حاضر از حیث اهداف مطالعه رویکردی کمی داشته و به لحاظ مبانی فلسفی، رویکردی اثبات‌گرایی و از نظر جهت‌گیری پژوهشی، کاربردی-توسعه‌ای محسوب می‌شود. مدل مفهومی پژوهش در قالب نمودار شماره یک ارائه می‌شود.



نمودار۱- الگوی مفهومی مدل‌سازی ریاضی (محقق ساخته)

در این مطالعه همانگونه که در نمودار (۱) نمایش داده شده است، یک زنجیره تأمین چهار سطحی شامل کارخانجات تولیدی، مراکز توزیع کالا، عمده‌فروشان محصول و در نهایت خرده‌فروشان مورد بررسی قرار گرفته است. کارخانجات تولیدی و همچنین خرده‌فروشان به‌عنوان بازار هدف دارای مکان معین هستند اما مراکز توزیع و عمده‌فروشان از میان مکان‌های

بالقوه انتخاب خواهند شد. محصولات از کارخانجات تولیدی به مراکز توزیع ارسال و پس از انبارش به مراکز عمده‌فروشی منتخب ارسال خواهند شد. ضمن اینکه فرض می‌شود هیچ یک از مراکز محصول معیوب را بازگیری و ارسال نمی‌کنند. عمر محصول معین و قطعی بوده و با توجه به ماهیت فاسدشدنی آن، شرایط محیطی و همچنین نوسانات تقاضا، در هر یک از مراکز نگه‌داری، درصدی از محصولات فاقد ارزش خواهند شد و به‌عنوان ضایعات امحا خواهند شد. از سوی دیگر در حمل و نقل محصول میان سطوح مختلف زنجیره تأمین نیز به‌دلیل شرایط حمل و حساسیت محصولات بخشی از محصولات ضایع خواهند شد ضمن اینکه اعضای زنجیره تأمین از روش‌های حمل و نقل ترکیبی بین دو سطح استفاده نمی‌کنند. مدل‌سازی انجام شده در این پژوهش، تک محصولی، چند دوره‌ای است و نرخ فاسدشدن کالا در مراکز مختلف توزیع و عمده‌فروشی به صورت مستقل و متفاوت در نظر گرفته خواهد شد. همچنین روش‌های مختلف جهت حمل و نقل کالا میان تسهیلات در سطوح مختلف زنجیره تأمین در نظر گرفته شده که در هر یک از روش‌های حمل و نقل کالا میان سطوح، نرخ فاسد شدن کالا متفاوت خواهد بود. پژوهش حاضر تلاش می‌کند تا در سطح تصمیم‌گیری راهبردی و راه‌کنش[1] یک زنجیره تأمین چهار سطحی را در نظر گیرد و با استفاده از مدل‌سازی ریاضی و موارد ذکر شده در جهت نیل به اهداف پژوهش گام بردارد و مقادیر پارامترها در شرایط قطعی تعیین می‌شوند.

۳. مدل ریاضی

هر یک از عوامل اشاره شده شامل متغیرها و پارامترهایی می‌باشند که در راستای بهینه نمودن هدف مسئله در قالب مدل ریاضی، در جدول (۲) آمده است.

جدول ۲- پارامترها و متغیرهای مدل‌سازی ریاضی

مجموعه‌ها		
i	مجموعه کارخانجات تولیدی	i =1,…,I
L	مجموعه نقاط بالقوه برای ایجاد مراکز توزیع	l=1,…,L

1. Tactical

:r	مجموعه نقاط بالقوه برای ایجاد مراکز عمده فروشی	r =1,…,R
:k	مجموعه نقاط تقاضا	k =1,…,k
:t	مجموعه دوره‌های تولیدی	k =1,…,k
:n	مجموعه روش‌های حمل و نقل	t =1,…,N
پارامترهای فسادپذیری		
∂iln	درصد فسادپذیری محصول در حمل و نقل از کارخانه به مرکز توزیع به روش حمل	
α_{lrn}	درصد فسادپذیری محصول در حمل و نقل از مرکز توزیع به مرکز عمده فروشی به روش حمل	
β_{rkn}	درصد فسادپذیری محصول در حمل از مرکز عمده‌فروشی به مرکز خرده‌فروشی به روش حمل	
θ_{lt}	درصد فسادپذیری محصول در مرکز توزیع در دوره	
γ_{rt}	درصد فسادپذیری محصول در مرکز عمده‌فروشی در دوره	
φ_{kt}	درصد فسادپذیری محصول در مرکز خرده‌فروشی در دوره	
پارامترها		
D_{kt}	میزان تقاضای مشتریان ناحیه در دوره	
F_i	هزینه تولید کارخانه	
M_{it}	ظرفیت تولید کارخانه در دوره	
S_{lt}	ظرفیت مرکز توزیع در دوره	
O_{rt}	ظرفیت عمده فروش در دوره	
PT_{iln}	زمان حمل و نقل واحد محصول از کارخانه به مرکز توزیع به روش حمل	
DT_{lrn}	زمان حمل نقل واحد محصول از مرکز توزیع به عمده فروش به روش حمل	
WT_{rkn}	زمان حمل نقل واحد محصول از عمده فروش به خرده‌فروش به روش حمل	
PC_{iln}	هزینه حمل و نقل واحد محصول از کارخانه به مرکز توزیع به روش	
DC_{lrn}	هزینه حمل نقل واحد محصول از مرکز توزیع به عمده فروش به روش	
WC_{rkn}	هزینه حمل نقل واحد محصول از عمده فروش به خرده‌فروش به روش	
A_l	هزینه ایجاد و راه اندازی مرکز توزیع	
B_r	هزینه ایجاد و راه اندازی مرکز عمده فروشی	
HD_l	هزینه نگه داری واحد محصول در مرکز توزیع	
HW_r	هزینه نگه داری واحد محصول در مرکز عمده فروشی	
HR_k	هزینه نگه داری واحد محصول در مرکز خرده‌فروشی	
PPC_{iln}	هزینه فاسد شدن واحد کالا در حمل و نقل از کارخانه به مرکز توزیع به روش حمل	
DPC_{lrn}	هزینه فاسد شدن واحد کالا در حمل و نقل از مرکز توزیع به مرکز عمده فروشی به روش حمل	

WPC_{rkn}	هزینه فاسد شدن واحد کالا در حمل از مرکز عمده‌فروشی به مرکز خرده‌فروشی به روش حمل
E_l	هزینه فاسد شدن واحد کالا در مرکز توزیع
F_r	هزینه فاسد شدن واحد کالا در مرکز عمده‌فروشی
G_k	هزینه فاسد شدن واحد کالا در مرکز خرده‌فروشی
متغیرهای تصمیم	
X_l	اگر مرکز توزیع فعال باشد برابر یک و در غیر اینصورت برابر صفر خواهد بود.
Y_r	اگر مرکز عمده فروشی فعال باشد برابر یک و در غیر اینصورت برابر صفر خواهد بود.
W_{lt}	سطح موجودی در مرکز توزیع در دوره
Z_{rt}	سطح موجودی در مرکز عمده‌فروشی در دوره
J_{kt}	سطح موجودی در مرکز خرده‌فروشی در دوره
Q_{iltn}	میزان جریان محصول از کارخانه به مرکز توزیع در دوره
U_{lrtn}	میزان جریان محصول از مرکز توزیع به مرکز عمده فروشی در دوره
G_{rktn}	میزان جریان محصول از مرکز عمده فروشی به مرکز خرده‌فروشی در دوره
L_{kt}	میزان کمبود خرده‌فروشی در دوره در سناریوی

۳-۱. محدودیت‌های مدل

با توجه به ابعاد مسئله و ساختار زنجیره تأمین، محدودیت‌ها در دو بخش ارائه خواهد شد. ابتدا محدودیت‌ها با توجه به جریان کالا از کارخانه‌ها به مراکز توزیع و از مراکز توزیع به مراکز عمده‌فروشی و سپس محدودیت‌ها با توجه به جریان کالا از مراکز توزیع به مراکز عمده‌فروشی و از مراکز عمده‌فروشی به مراکز خرده‌فروشی ارائه می‌گردد:

$$\sum_{l}\sum_{n} Q_{iltn} \le M_{it} \qquad \forall i,t$$ رابطه (۱)

$$\sum_{i}\sum_{n} Q_{iltn} \le X_l S_{lt} \qquad \forall l,t$$ رابطه (۲)

$$\sum_{l}\sum_{n} U_{lrtn} \le Y_r O_{rt} \qquad \forall r,t$$ رابطه (۳)

$$\sum_{i}\sum_{n} Q_{iltn}\,(1-\partial_{iln}) \ge \sum_{r}\sum_{n} U_{lrtn} \qquad \forall l,t$$ رابطه (۴)

$$\sum_{r}\sum_{n} U_{lrtn} \le W_{lt} \qquad \forall l,t$$ رابطه (۵)

$$W_{lt} = W_{l,t-1}(1-\theta_{lt}) + \sum_{i,n} Q_{iltn} - \sum_{r,n} U_{lrtn} \qquad \forall l, t \ge 2$$ رابطه (۶)

رابطه شماره (۱) تضمین می‌نماید مجموع محصول تولیدی در هر یک از کارخانجات تولیدی که به کلیه مراکز توزیع در هر دوره ارسال می‌گردد بیشتر ظرفیت آن واحد تولیدی در دوره مورد نظر نخواهد بود. رابطه (۲) تضمین می‌نماید حداکثر کالای حمل شده از کلیه کارخانجات تولیدی به هر یک از مراکز توزیع فعال در هر دوره تولید بیشتر از ظرفیت آن مرکز توزیع در همان دوره نخواهد بود. رابطه شماره (۳) نیز این تضمین را ایجاد می‌کند که مجموع محصولی که از هر یک از مراکز توزیع به یک مرکز عمده‌فروشی در هر دوره تولید ارسال می‌شود از حداکثر ظرفیت آن مرکز عمده‌فروشی بیشتر نخواهد بود. با هدف پیشگیری از کمبود موجودی در مراکز توزیع، رابطه (۴) میزان کل کالای سالم دریافتی از تمام کارخانه‌ها در هر مرکز توزیع را بیشتر یا مساوی میزان کالای ارسالی از همان مرکز به تمامی عمده‌فروشان حفظ می‌کند. مطابق رابطه (۵) میزان کالای ارسالی از هر مرکز توزیع به تمامی خرده‌فروشان کمتر از میزان موجودی آن مرکز توزیع خواهد بود و در نهایت مطابق رابطه (۶) سطح موجودی در هر مرکز توزیع در هر دوره برابر خواهد بود با مجموع موجودی سالم باقیمانده از دوره قبل و موجودی ارسال شده از هر یک از کارخانجات تولیدی به آن مرکز توزیع که میزان کالای ارسال شده از آن مرکز توزیع به کلیه مراکز عمده‌فروشی از آن کسر شده باشد. لازم به ذکر است همان‌گونه که در بخش فرضیات بیان شد میزان موجودی کلیه مراکز در دوره اول برابر صفر منظور شده است. در ادامه محدودیت‌های مدل با توجه به جریان کالا از مراکز توزیع به مراکز عمده‌فروشی و از مراکز عمده‌فروشی به مراکز خرده‌فروشی ارائه می‌گردد:

$$\sum_{k}\sum_{n} G_{rktn} \le Z_{rt} \qquad \forall r,t \qquad \text{رابطه (۷)}$$

$$\sum_{l}\sum_{n} U_{lrtn}\,(1-\alpha_{lrn}) \ge \sum_{k}\sum_{n} G_{rktn} \qquad \forall r,t \qquad \text{رابطه (۸)}$$

$$Z_{rt} = Z_{r,t-1}(1-\gamma_{rt}) + \sum_{l,n} U_{lrtn} - \sum_{k,n} G_{rktn} \qquad \forall r,t \qquad \text{رابطه (۹)}$$

$$\sum_{r}\sum_{n} G_{rktn} \le N_{kt} \qquad \forall k,t \qquad \text{رابطه (۱۰)}$$

$$J_{kt} - L_{kt} = J_{k,t-1}(1-\varphi_{kt}) + \sum_{r}\sum_{n} G_{rktn}\,(1-\beta_{rkn}) - D_{kt} \qquad \forall k,t \qquad \text{رابطه (۱۱)}$$

رابطه (۷) میزان کالای ارسالی از هر عمده‌فروش به تمامی خرده‌فروشان را کمتر از میزان موجودی در دوره جاری حفظ می‌کند. میزان کالای سالم دریافتی از تمامی مراکز توزیع مطابق

رابطه (۸) بیشتر از میزان کالای ارسالی از به تمامی خرده‌فروشان در هر دوره توسط هر یک از مراکز عمده‌فروشی خواهد بود. از طرفی میزان کالای ارسالی توسط تمامی عمده‌فروشان به هر خرده‌فروش باید کمتر از ظرفیت آن خرده‌فروش در آن دوره باشد که رابطه (۱۰) این مهم را برقرار می‌سازد. مطابق رابطه (۱۱) تفاضل موجودی و میزان کمبود هر خرده‌فروش در هر دوره برابر است با مقدار موجودی فاسدنشده باقیمانده از دوره قبل به اضافه مقدار کالای سالم دریافتی از عمده‌فروشان که میزان تقاضا از آن کسر شده است. با توجه رابطه (۱۱) قدرمطلق اختلاف میان موجودی هر خرده‌فروش در هر دوره با دوره قبل از ظرفیت خرده‌فروش در آن دوره کمتر خواهد بود (رابطه (۱۲)).

$$\left|j_{kt} - J_{k,t-1}\right| \leq N_{kt} \qquad \forall k,t$$

۳-۲. توابع هدف

مدل ارائه شده به دنبال دستیابی به دو هدف مهم می‌باشد. هدف اول حداقل‌سازی مجموع هزینه‌ها شامل هزینه تولید، هزینه ایجاد و راه‌اندازی مراکز توزیع و مراکز عمده‌فروشی، هزینه حمل، هزینه نگه‌داری محصول و به‌طور خاص هزینه فاسدشدگی کالا در حمل و نقل میان سطوح مختلف زنجیره و مراکز انبارش می‌باشد. جزء اول تابع هدف (TPC) مجموع هزینه‌های تولید محصولات را در کلیه کارخانجات تولیدی محاسبه می‌کند. هزینه ایجاد مراکز توزیع و مراکز عمده‌فروشی در جزء دوم (TEC) بیان شده است و جزء سوم (TRC)، مجموع هزینه حمل محصول میان سطوح مختلف زنجیره تأمین را محاسبه می‌کند. هزینه نگه‌داری محصول در مراکز انبارش محصول، یعنی مراکز توزیع و مراکز عمده‌فروشی در جزء چهارم (THC) محاسبه شده است و نهایتا مجموع هزینه فاسدشدگی محصول در حین حمل میان سطوح مختلف زنجیره تأمین و همچنین هزینه فاسدشدگی ناشی از انبارش کالا، در قسمت پنجم تابع هدف (TPeC)، محاسبه و ارائه شده است. روابط (۱۳)تا (۱۹) این مهم را نشان می‌دهد.

$$\underset{y \in \Omega}{\text{Min}} \left(f_1(y), f_2(\text{y})\right) \qquad \text{رابطه (۱۳)}$$

$$f_1 = TPC + TEC + TRC + THC + TPeC \qquad \text{رابطه (۱۴)}$$

$$TPC = \sum_{i,l,t} Q_{iltn} F_i \qquad \text{رابطه (۱۵)}$$

$$TEC = \sum_{l} A_l X_l + \sum_{r} B_r Y_r \qquad \text{رابطه (۱۶)}$$

$$TRC = \sum_{i,l,t,n} Q_{iltn} PC_{iln} + \sum_{l,r,t,n} U_{lrtn} DC_{lrn} + \sum_{r,k,t,n} G_{rktn} WC_{rkn} \qquad \text{رابطه (۱۷)}$$

$$THC = \sum_{l,t} W_{lt} HD_l + \sum_{r,t} Z_{rt} HW_r + \sum_{k,t} J_{kt} HR_k \qquad \text{رابطه (۱۸)}$$

$$TPeC = \sum_{i,l,t,n} Q_{iltn} \partial_{iln} PPC_{iln} + \sum_{i,r,t,n} U_{lrtn} \propto_{lrn} DPC_{lrn} + \sum_{r,k,t,n} G_{rktn} \beta_{rkn} WPC_{rkn} + \sum_{l,t} W_{lt} \theta_{lt} E_l + \sum_{r,t} Z_{rt} \gamma_{rt} F_r + \sum_{k,t} J_{kt} \varphi_{rt} G_k \qquad \text{رابطه (۱۹)}$$

هدف دوم حداقل‌سازی زمان سفر کالا در سطوح مختلف زنجیره تأمین را دنبال می‌نماید. رابطه (۲۰) این مهم را نشان می‌دهد.

$$f_2 = \sum_{i,l,t,n} Q_{iltn} PT_{iln} + \sum_{i,r,t,n} U_{lrtn} DT_{lrn} + \sum_{r,k,t,n} G_{rktn} WT_{rkn} \qquad \text{رابطه (۲۰)}$$

مدل‌سازی این پژوهش به صورت برنامه‌ریزی خطی انجام و جهت مدل‌سازی و حل از نرم‌افزار GAMS ۲۴ و حل‌کننده MIP از CPLEX استفاده شده است.

۳-۳. روش حل: روش محدوده میان‌بخشی نرمال[1]

مسائل بهینه‌سازی چندهدفه شامل بهینه‌سازی هم‌زمان چندین هدف متناقض و بعضاً رقیب است که در مواردی که اطلاعاتی در خصوص اولویت اهداف موجود نباشد، به جای یک راه‌حل، مجموعه‌ای از راه‌حل‌های بهینه که آنها را راه‌حل‌های بهینه پارتو می‌نامند تولید می‌شود. در این نوع مسائل، سطح پارتو[2] سطحی است که جواب‌های بهینه نمی‌توانند بهبودی در یک هدف بدون بدتر کردن سایر اهداف ایجاد کنند.[3] مسئله حداقل‌سازی دو هدفه مورد

1. Improved Normal Boundary Intersection (NBI)
2. Pareto surface
3. Collette & Siarry, (2003).

نظر را می‌توان به صورت زیر بیان نمود:

$$Min\ F(Y) = [f_1(y), f_2(y)] \quad y \in \Omega \qquad (۲۱)$$

بطوریکه:

$$(۱) - (۸) \qquad (۲۲)$$

با توجه به محدودیت‌های مساوی و نامساوی، فضای موجه شکل گرفته و هر جواب در این فضا یک جواب موجه می‌باشد. روش جمع وزن‌دار[1] یکی از پذیرفته‌شده‌ترین روش‌ها در ایجاد سطح پارتو می‌باشد اما در این روش در صورتی که مجموعه پارتو غیرمحدب باشد، نقاط پارتو در نقاط غیرمحدب در محاسبات مدنظر قرار نگرفته و راه‌حل‌های بهینه در سطح پارتو به صورت یکنواخت توزیع نمی‌گردند.[2] روش NBI این نقصان را برطرف می‌نماید[3،4]. در این روش ابتدا ماتریس نتیجه[5] که آنرا ماتریس فی می‌نامیم، با دو سطر و دو ستون، به صورت زیر تشکیل می‌گردد: بهینه فردی برای تابع هدف iام را با استفاده از برنامه بهینه‌سازی موجود به‌دست می‌آوریم و در درایه (i,i) از ماتریس نتیجه قرار می‌دهیم و بقیه درایه‌های سطر iام را بر اساس بردار تصمیم‌گیری به‌دست آمده از حداقل‌سازی تابع هدف iام محاسبه و در درایه مربوطه قرار می‌دهیم و نهایتاً ماتریس نتیجه با استفاده از رابطه (۲۳) به دست می‌آید:

$$\Phi = \begin{pmatrix} \phi_{11} & \phi_{12} \\ \phi_{21} & \phi_{22} \end{pmatrix} \qquad (۲۳)$$

نقاط ϕ_{11} و ϕ_{22} نقاط ایده‌ال[6] نامیده می‌شوند که در آن همه توابع هدف در نقطه بهینه خود هستند. نقاط ϕ_{12} و ϕ_{21} نقاط غیرایده‌ال[7] هستند که معمولاً نقطه‌ای خارج از فضای موجه می‌باشد که در آن همه توابع هدف در بدترین وضعیت خود هستند. با توجه به متفاوت بودن

1. Weighted sum
2. Roman & Rosehart, (2006).
3. Siddiqui et al.
4. Aghaie et al.
5. Payoff table
6. Utopia point
7. Nadir point

مقیاس توابع هدف، ابتدا توابع هدف با استفاده از نقاط ایده‌ال و غیرایده‌ال و استفاده از رابطه (۲۴) نرمال می‌شوند:

$$\bar{f}_o(y) = \frac{f_i(y) - \phi_{oo}}{\phi_{oo'} - \phi_{oo}} \qquad o, o' \epsilon \{1,2\}, \qquad o \neq o' \tag{۲۴}$$

رابطه (۲۴) با نرمال‌سازی، دامنه ابتدایی توابع هدف را بر بازه [۰،۱] تصویر می‌کند و مسئله بهینه‌سازی چندهدفه در یک فضای بدون مقیاس حل می‌شود. مقادیر نرمال‌شده برای تشکیل ماتریس نتیجه نرمال ($\bar{\Phi}$) به کمک رابطه (۲۵) استفاده می‌شود.

$$\bar{\Phi} = \begin{pmatrix} \bar{\phi}_{11} & \bar{\phi}_{12} \\ \bar{\phi}_{21} & \bar{\phi}_{22} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix} \tag{۲۵}$$

در فضای نرمال‌شده همان‌گونه که در نمودار (۲) مشاهده می‌شود، هر نقطه(p(β_1,β_2 روی خطی که تحت عنوان CHIM[1] شناخته می‌شود و دو نقطه($\bar{\phi}_{11}$,$\bar{\phi}_{21}$)=$\bar{\phi}_1$ و ($\bar{\phi}_{12}$,$\bar{\phi}_{22}$)=$\bar{\phi}_2$ را به هم متصل می‌کند به صورت رابطه (۲۶) تعریف می‌شود:

$$p(\beta_1, \beta_2) = \begin{pmatrix} \beta_1 \\ \beta_2 \end{pmatrix} \tag{۲۶}$$

که $\sum_{o=1}^{2} \beta_o = 1$ و $0 \leq \beta_o \leq 1$. فاصله میان خط CHIM و سطح پارتو را می‌توان با استفاده از رابطه (۲۷) محاسبه نمود:

$$D\begin{pmatrix} \hat{n}_1 \\ \hat{n}_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \beta_1 - \bar{f}_1(x) \\ \beta_2 - \bar{f}_2(x) \end{pmatrix} \tag{۲۷}$$

که $\hat{\mathbf{n}} = [\hat{n}_1, \hat{n}_2]^{\mathrm{T}}$ بردار واحد نرمال می‌باشد. در نهایت می‌توان گفت تابع هدف (۲۱) با یافتن راه‌حل‌های مجموعه‌ای از توابع هدف (۲۸) که در آن فاصله D^k میان خط CHIM و سطح پارتو در هر ترکیب β_1^k و β_2^k که $(k = 1,2, \dots, k)$ حداکثر گردد، بهینه می‌شود:

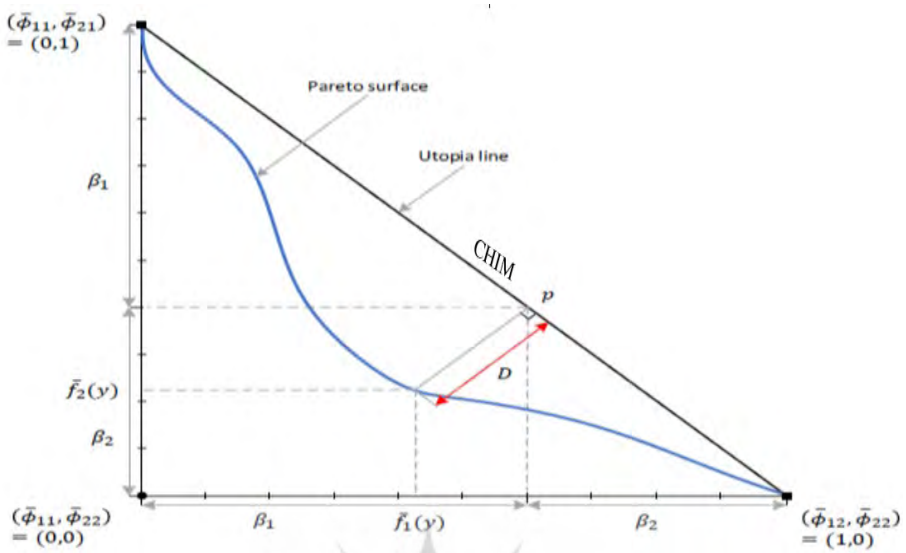
$$Max \quad D^k \tag{۲۸}$$

به‌طوریکه

$$D^k - \beta_o^k = \bar{f}_o(y) \ , o \in \{1,2\} \tag{۲۹}$$

(۱) – (۸)

1. Convex Hull Individual Minima



نمودار ۲- تکنیک محدوده میان‌بخشی نرمال

در مرحله بعد بهترین جواب از بین جواب‌های به‌دست آمده می‌بایست انتخاب شود. به‌این منظور، یک تابع عضویت خطی μ_i برای هر یک از توابع هدف f_i با استفاده از رابطه (۳۰) تعریف می‌گردد:

$$\mu_i = \begin{cases} 1 & f_i \le f_i^{min} \\ \dfrac{f_i^{max} - f_i}{f_i^{max} - f_i^{min}} & f_i^{min} \le f_i \le f_i^{max} \\ 0, & f_i \ge f_i^{max} \end{cases} \qquad (۳۰)$$

که مقادیر و به ترتیب بهترین و بدترین مقادیر تابع هدف ام برای تصمیم‌گیران می‌باشد. طبیعی است تابع عضویت فوق، میزان تحقق هر یک از اهداف را نشان می‌دهد. در گام بعد میزان عضویت نرمال برای هر یک از جواب‌های غیرغالب[1] به کمک رابطه (۳۱) محاسبه می‌شود:

$$\mu[k] = \frac{\sum_{i=1}^{n} \mu_i[k]}{\sum_{k=1}^{m} \sum_{i=1}^{n} \mu_i[k]} \qquad (۳۱)$$

1. Nondominated

رابطه (۳۱) که در آن m نمایانگر تعداد جواب غیرغالب و n تعداد تابع هدف است تابع هدف را بر بازه [۰،۱] تصویر می‌کند به‌طوریکه $\mu_i[k]=1$ تحقق کامل و $\mu_i[k]=0$ بدترین حالت تابع هدف را نشان می‌دهد. در حقیقت این تابع عضویت نوعی شاخص تصمیم‌گیری انطباق‌پذیر است که با توجه به گزینه‌های تصمیم‌گیری تغییر می‌کند. در صورت وجود وزن‌های متفاوت برای توابع هدف، رابطه (۳۱) با رابطه (۳۲) که یک تابع نرمال وزن‌دار است جایگزین می‌شود:

$$\mu[k] = \frac{\sum_{i=1}^{n} \lambda_i \mu_i[k]}{\sum_{k=1}^{m} \sum_{i=1}^{n} \lambda_i \mu_i[k]} \qquad (۳۲)$$

که λ_i وزن تابع هدف ام می‌باشد. به این صورت می‌توان راه‌حل‌ها را بر اساس مقدار ضریب تابع عضویت کل مرتب نمود. هر کدام از راه‌حل‌ها که بیشترین مقدار ضریب عضویت کل را داشتند به‌عنوان بهترین گزینه یا مؤثرترین جواب انتخاب می‌شود.

۴. یافته‌های پژوهش

به‌منظور آزمون مدل از داده‌های یک شرکت بزرگ فعال در صنعت لبنیات که یازده گروه محصول را تولید می‌کند استفاده شده است. شرکت مورد نظر دارای سه سایت بزرگ تولیدی در سه منطقه متفاوت، بیش از شانزده مرکز توزیع و بیست عمده‌فروش می‌باشد. با توجه به گستردگی حوزه فعالیت و گستردگی جغرافیایی، داده‌های مسئله جهت گروه محصولات لبنی و دسرها در منطقه جنوب غرب کشور مدنظر قرار گرفته است. به‌این ترتیب، در این پژوهش تعداد سه کارخانه تولیدی (i۱، i۲، i۳)، چهار مکان بالقوه برای مراکز توزیع (l۴, l۳, l۲, l۱)، پنج مکان بالقوه برای ایجاد مراکز عمده‌فروشی (r۱، r۲، r۳، r۴، r۵) و هشت خرده‌فروش (k۱، k۲، k۳، k۴، k۵، k۶، k۷، k۸) همراه با سه روش حمل و نقل (n۱، n۲، n۳) در دو دوره زمانی یک ماهه مدنظر قرار گرفته و تعداد موجودی کالای ابتدای دوره در هر یک از مراکز انبارش صفر فرض شده است. سایر داده‌های مسئله در قالب جدول‌های شماره سه تا هشت ارائه شده است.

بر اساس اطلاعات فوق، مسئله با استفاده از روش NBI در قالب نرم‌افزار GAMS حل شده است. در مسئله ارائه شده، وزن دو تابع هدف شامل هزینه کل زنجیره تأمین و زمان سفر کالا یکسان فرض شده و تعداد نه راه‌حل به دست آمده که اطلاعات مربوط به تابع عضویت نرمال شده هر یک از توابع هدف و تابع عضویت کل در جدول (۱۰) ارائه شده است.

جدول ۳- تقاضای خرده‌فروشان

خرده‌فروشان	دوره‌های تولیدی	
	t_1	t_2
k_1	۱۵۰۰	۱۵۰۰
k_2	۲۳۰۰	۲۳۰۰
k_3	۱۹۰۰	۱۹۰۰
k_4	۴۲۰۰	۴۲۰۰
k_5	۳۱۰۰	۳۱۰۰
k_6	۱۸۰۰	۱۸۰۰
k_7	۱۵۵۰	۱۵۵۰
K_8	۳۱۵۰	۳۱۵۰

جدول ۴- داده‌های مربوط به کارخانجات تولیدی

پارامتر	دوره	کارخانه تولیدی		
		i_1	i_2	i_3
هزینه تولید	t_1	۳۷۰۰۰	۳۸۵۰۰	۳۹۰۰۰
	t_2	۳۷۰۰۰	۳۸۵۰۰	۳۹۰۰۰
ظرفیت تولید	t_1	۱۲۰۰۰	۱۰۰۰۰	۱۱۰۰۰
	t_2	۱۵۰۰۰	۶۰۰۰	۱۸۰۰۰

جدول ۵- داده‌های مربوط به مراکز توزیع

هزینه واحد فساد کالا		درصد فسادپذیری کالا		هزینه نگه‌داری (ریال)		ظرفیت		هزینه راه‌اندازی (۰۵. ریال)	مراکز توزیع
t_2	t_1	t_2	t_1	t_2	t_1	t_2	t_1		
۴۸۲۳۷	۴۸۲۳۷	۰/۰۸	۰/۰۸	۲۸۰۰	۲۸۰۰	۱۵۰۰۰	۱۵۰۰۰	۱۵×۱۰۶	l_1
۴۹۰۵۹	۴۹۰۵۹	۰/۰۶	۰/۰۶	۲۳۰۰	۲۳۰۰	۲۳۰۰۰	۲۳۰۰۰	۱۷×۱۰۶	l_2
۵۰۶۵۵	۵۰۶۵۵	۰/۰۷	۰/۰۷	۲۳۰۰	۲۳۰۰	۱۷۰۰۰	۱۷۰۰۰	۱۴/۸×۱۰۶	l_3
۵۴۸۱۳	۵۴۸۱۳	۰/۰۹	۰/۰۹	۲۷۰۰	۲۷۰۰	۸۰۰۰	۸۰۰۰	۲۱×۱۰۶	l_4

جدول ۶- داده‌های مربوط به مراکز عمده‌فروشی

هزینه واحد فساد کالا (ریال)		درصد فسادپذیری کالا		هزینه نگه‌داری (ریال)		ظرفیت		هزینه راه‌اندازی (۰۵. ریال)	عمده‌فروشان
t_2	t_1	t_2	t_1	t_2	t_1	t_2	t_1		
۵۸۸۳۵	۵۸۸۳۵	۰/۰۶	۰/۰۶	۲۲۰۰	۲۲۰۰	۶۰۰۰	۶۰۰۰	۱×۱۰۶	r_1
۵۸۳۱۴	۵۸۳۱۴	۰/۰۶	۰/۰۶	۲۵۰۰	۲۵۰۰	۴۵۰۰	۴۵۰۰	۸×۱۰۶	r_2
۶۴۲۵۷	۶۴۲۵۷	۰/۰۷	۰/۰۷	۲۰۰۰	۲۰۰۰	۶۰۰۰	۶۰۰۰	۱۱×۱۰۶	r_3
۶۰۷۷۸	۶۰۷۷۸	۰/۰۷	۰/۰۷	۲۶۰۰	۲۶۰۰	۷۵۰۰	۷۵۰۰	۶/۸×۱۰۶	r_4
۵۶۶۷۲	۵۶۶۷۲	۰/۰۴	۰/۰۴	۱۸۰۰	۱۸۰۰	۷۵۰۰	۷۵۰۰	۹×۱۰۶	r_5

جدول ۷- داده‌های مربوط به مراکز خرده‌فروشی

هزینه واحد فساد کالا (ریال)		درصد فسادپذیری کالا		هزینه نگه‌داری (ریال)		ظرفیت		خرده‌فروشان
t_2	t_1	t_2	t_1	t_2	t_1	t_2	t_1	
۶۷۰۸۸	۶۷۰۸۸	۰/۰۷	۰/۰۷	۲۴۲۰	۲۴۲۰	۳۵۰	۳۵۰	r_1
۶۸۳۱۱	۶۸۳۱۱	۰/۰۷	۰/۰۷	۲۷۵۰	۲۷۵۰	۳۰۰	۳۰۰	r_2
۷۳۷۴۰	۷۳۷۴۰	۰/۰۸	۰/۰۸	۲۲۰۰	۲۲۰۰	۴۰۰	۴۰۰	r_3
۶۹۳۷۲	۶۹۳۷۲	۰/۰۸	۰/۰۸	۲۸۶۰	۲۸۶۰	۲۰۰	۲۰۰	r_4
۶۹۳۷۲	۶۹۳۷۲	۰/۰۴	۰/۰۴	۱۹۸۰	۱۹۸۰	۲۵۰	۲۵۰	r_5
۶۶۰۲۹	۶۶۰۲۹	۰/۰۸	۰/۰۸	۲۰۹۰	۲۰۹۰	۲۰۰	۲۰۰	r_6
۶۶۰۱۵	۶۶۰۱۵	۰/۰۸	۰/۰۸	۲۳۶۵	۲۳۶۵	۳۵۰	۳۵۰	r_7
۶۶۰۴۳	۶۶۰۴۳	۰/۰۴	۰/۰۴	۲۵۳۰	۲۵۳۰	۳۰۰	۳۰۰	r_8

جدول ۸- زمان حمل واحد از مراکز تولید به مراکز توزیع (ساعت)

زمان حمل و نقل واحد از کارخانه تولیدی به مرکز توزیع	l_1	l_2	l_3	l_4
n۱				
i_1	۱۶	۱۸	۱۹	۲۴
i_2	۱۱	۱۳	۱۴	۱۹
i_3	۸	۸	۱۱	۱۶
n۲				
i_1	۲۰	۲۲	۲۳	۲۹
i_2	۱۳	۱۵	۱۷	۲۳
i_3	۱۰	۱۰	۱۳	۱۹
n۳				
i_1	۸	۹	۱۰	۱۲
i_2	۶	۶	۷	۱۰
i_3	۴	۴	۶	۸

جدول ۹- زمان حمل واحد از مرکز توزیع ام به مراکز عمده‌فروشی ام به روش حمل ام (ساعت)

زمان حمل واحد از کارخانه به مرکز توزیع	r_1	r_2	r_3	r_4	r_5
n_1					
l_1	۸	۱۴	۲۶	۰	۹
l_2	۵	۶	۱۸	۹	۱
l_3	۱۴	۱۲	۸	۲۰	۱۰
l_4	۱۲	۴	۱۲	۱۹	۱۰
n_2					
l_1	۹	۱۷	۳۲	۵۰۰	۱۰
l_2	۶	۷	۲۱	۱۰	۵۰۰
l_3	۱۷	۱۴	۱۰	۲۴	۱۱

زمان حمل واحد از کارخانه به مرکز توزیع	r_1	r_2	r_3	r_4	r_5
l_4	۱۲	۴	۱۲	۱۹	۱۰
n_3					
l_1	۴	۵۰۰	۱۳	۵۰۰	۴
l_2	۵۰۰	۳	۹	۴	۵۰۰
l_3	۷	۵۰۰	۴	۱۰	۵
l_4	۶	۲	۶	۱۰	۵

جدول ۱۰- نتایج حل با استفاده از تکنیک محدوده میان‌بخشی نرمال

f_1	f_2	μ_1	μ_2	μ_{total}	β_1	β_2
۱/۰۲۳E۱۱+	۸۱۳۳۶/۷۹	۰	۱	۰/۵	۰	۰
۱/۰۲۲۶E۱۱+	۸۱۲۵۹/۳۲	۰/۰۰۲	۱	۰/۴۵	۰	۰/۲۵
۱/۰۲۲۳E۱۱+	۸۱۲۳۳/۴۷	۰/۰۰۵	۱	۰/۴	۰	۰/۵
۱/۰۲۱۹E۱۱+	۸۱۲۰۷/۶۲	۰/۰۰۷	۱	۰/۳۵	۰	۰/۷۵
۱/۰۲۱۵E۱۱+	۸۱۱۸۱/۷۷	۰/۰۰۹	۱	۰/۳	۰	۱
۸/۶۲۲۱E۱۱+	۷۳۳۶۳۳/۳	۰/۹۹۸	۰/۷۵	۰/۹۲	۰/۵	۰
۸/۶۲۲۱E۱۱+	۷۳۶۵۷۰/۶	۰/۹۹۸	۰/۷۴۹	۰/۸۷	۰/۵	۰/۲۵
۸/۶۲۲۰E۱۱+	۷۳۹۵۳۸/۶	۰/۹۹۸	۰/۷۴۸	۰/۸۲	۰/۵	۰/۵
۸/۶۱۴۸E۱۱+	۲۶۹۰۸۰۳	۱	۰	۰/۵	۰/۱	۰

همان‌گونه که در جدول (۱۰) مشاهده می‌گردد ستون‌های f_1 و f_2 به ترتیب مقادیر توابع هدف اول و دوم را نمایش می‌دهد و ستون μ_{total} مقدار تابع عضویت کل نرمال را برای هر یک از راه‌حل‌ها نشان می‌دهد. همان‌گونه که ملاحظه می‌گردد یکی از راه‌حل‌ها با مقدار تابع عضویت کل نرمال ۰/۹۲ به‌عنوان راه‌حل برتر شناسایی می‌گردد. این موضوع در صورتی اعتبار دارد که وزن دو تابع هدف یکسان فرض گردد و در غیر این صورت با توجه به میزان اهمیت هر یک از اهداف، راه‌حل منتخب تغییر خواهد کرد. مهم‌ترین خروجی‌های راه‌حل منتخب در مورد شرکت تحت بررسی نشان می‌دهد این شرکت به‌منظور تحقق اهداف خود یعنی کاهش هزینه کل از یک سو و افزایش سرعت و چابکی زنجیره تأمین خود از سوی دیگر لازم است

در انتخاب مکان مراکز توزیع خود تجدید نظر کرده و تعداد آنها را کاهش دهد. همچنین شیوه‌های حمل و نقل فعلی بهینه نبوده و لازم است از روش‌های حمل ترکیبی با توجه به الزامات هزینه‌ای و سرعت در زنجیره استفاده گردد.

نکته قابل تامل در خصوص تکنیک محدوده میان‌بخشی نرمال (NBI) آن است که این تکنیک حل با ارائه مجموعه‌ای از جواب‌های قابل قبول عملاً پاسخ مسئله را به شکل یک مسئله تصمیم‌گیری ارائه می‌نماید. این موضوع از آن جهت حائز اهمیت است که به تصمیم‌گیرنده این امکان را می‌دهد تا با توجه اولویت اهداف نسبت به یکدیگر، بهترین راه‌حل را انتخاب نماید و حتی در صورت تغییر اولویت‌ها در گذر زمان، تغییر حساب‌شده ساختار شبکه زنجیره تأمین خود را در دستور کار قرار دهد. موارد فوق به خوبی برتری این تکنیک حل را در مقایسه با روش‌هایی نظیر برنامه‌ریزی آرمانی که در مطالعات مشابه قبلی به‌کار گرفته شده است نشان می‌دهد. در نمودار (۳) میزان تغییرات توابع هدف در مقایسه با یکدیگر در نه راه‌حل به دست آمده نشان داده شده است. در قالب این نمودار به خوبی می‌توان موازنه[1] برقرار شده میان توابع هدف را مشاهده کرد.

نمودار۳- میزان تغییرات توابع هدف در مقایسه با یکدیگر

به‌منظور بررسی میزان تاثیر تغییرات پارامترهای مهمی نظیر نقاضا و همچنین درصد فسادپذیری محصول در تسهیلات حمل و انبارش که تغییرپذیری بیشتری دارند، تحلیل حساسیت انجام و میزان تغییرات در قالب جدول (۱۰) ارائه شده است.

1. Trade off

جدول ۱۰- تحلیل حساسیت پارامترهای پژوهش

پارامتر	درصد تغییرات	درصد تغییر هدف اول	درصد تغییر هدف دوم	درصد تغییر در مقدار تابع عضویت کل نرمال
تقاضا	-۱۰	-۱۱/۲۹	-۹/۷۴	۰/۳۹
	۵	۳/۴۷	۱/۱۸	۰
	۱۰	۱۶/۴۷	۳۴/۶۱	۱۱/۹۴
درصد فسادپذیری محصول	-۱۰	-۰/۴۲	۰	۰
	۵	۰	۰/۲۱	۰
	۱۰	۰/۴۲	۰	۰

همان‌گونه که ملاحظه می‌گردد تغییرات تقاضا تاثیرات غیر منتظره‌ای بر مقادیر تابع هدف ندارد و از سوی دیگر تغییرات در درصد فسادپذیری محصول نیز به مراتب تاثیر کمتری بر مقادیر توابع هدف و همچنین تابع عضویت کل نرمال دارد و در نتیجه به‌طور کلی این تغییرات نمایانگر پایداری مدل در برابر نوسانات پارامترهای مهم می‌باشد.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

انتخاب مکان تسهیلات، میزان جریان کالا و سطح موجودی در سطوح مختلف و انتخاب نوع وسیله حمل و نقل با توجه به اهداف زنجیره تأمین مهم‌ترین تصمیماتی هستند که شرکت‌ها در سطوح راهبردی و راه‌کنش زنجیره تأمین با آنها مواجه هستند. این موضوع به‌خصوص در مورد کالاهای فاسدشدنی نظیر صنایع لبنی اهمیت دوچندانی پیدا کرده و می‌تواند عامل موفقیت یا عدم موفقیت کسب و کار تلقی گردد. به همین جهت این مطالعه با تاکید بر اهمیت در نظر گرفتن نوع محصول در طراحی زنجیره تأمین و توجه به خلاء‌های تحقیقاتی در این حوزه، به طراحی یک زنجیره تأمین چهار سطحی با تمرکز بر کالاهای فاسدشدنی با دوره عمر ثابت پرداخته است. مدل ارائه شده به شرکت‌ها کمک می‌کند تا در فرایند طراحی یا بازطراحی زنجیره تأمین خود ضمن در نظر گرفتن نرخ متفاوت فساد کالا در تسهیلات مختلف انبارش و حمل و نقل کالا، به اتخاذ مهم‌ترین تصمیمات در سطوح راهبردی و راه‌کنش زنجیره تأمین از جمله تعیین تعداد، اندازه و مکان مراکز توزیع و عمده‌فروشان، تعیین میزان جریان کالا

میان تسهیلات مختلف در سطوح زنجیره تأمین، محاسبه میزان موجودی کالا در مراکز انبارش و همچنین انتخاب وسیله حمل و نقل کالا میان سطوح زنجیره تأمین پرداخته و علاوه بر توجه به فاکتورهای هزینه، زمان گردش کالا را نیز که در حوزه کالاهای فاسدشدنی اهمیت دوچندانی دارد را تا سرحد ممکن کاهش دهند. از دیگر سو توجه به تفاوت نرخ فاسدشدگی کالا در تسهیلات مختلف انبارش و حمل و نقل کالا می‌تواند باعث تغییر رویکرد مدیران در اتخاذ سیاست‌های کلان در این حوزه گردد و مدیران شرکت‌ها را به سمت بهره‌گیری از تسهیلات دارای تکنولوژی بالاتر سوق دهد که یکی از نتایج این موضوع علاوه بر کاهش هزینه فاسدشدگی کالا، افزایش بهره‌وری کل زنجیره تأمین خواهد بود. همچنین بهره‌گیری از روش حل متفاوت، از دیگر تمایزهای این پژوهش با پژوهش‌های قبلی می‌باشد. در این راستا به‌منظور حل مدل، با بهره‌گیری از روش محدوده میان بخشی نرمال (NBI)، جواب مدل بهینه‌سازی به نوعی مدل تصمیم‌گیری تبدیل شده است تا به‌این ترتیب تصمیم‌گیرنده انعطاف کافی به‌منظور اولویت‌بندی و برقراری تعادل میان اهداف مختلف را داشته باشد. در حقیقت تکنیک محدوده میان‌بخشی نرمال این امکان را فراهم می‌نماید که مدیران در دنیای پویای کسب و کار امروزه، همگام با تغییر در پارامترهای مهم زنجیره تأمین و یا حتی تغییر سیاست‌های کلان، امکان برنامه‌ریزی مجدد و افزایش قابلیت تاکتیکی زنجیره تأمین را داشته باشند. چهارسطحی بودن زنجیره تأمین مورد مطالعه، انتخاب مراکز توزیع و عمده‌فروشان از بین نقاط بالقوه، متنوع در نظر گرفتن روش‌های حمل کالا و تفاوت در نرخ فاسدشدگی کالا باعث می‌گردد مدل توسعه داده شده با اندک تغییراتی قابلیت کاربرد در طراحی زنجیره تأمین سایر کالاها را نیز داشته باشد. تکنیک حل بکارگرفته شده نیز باعث می‌گردد مجموعه نتایج به‌دست آمده با تغییر اولویت‌های توابع هدف که ناشی از تغییر در شرایط محیط رقابتی می‌باشد، روایی و اعتبار خود را حفظ نمایند. تحلیل حساسیت انجام شده نیز حاکی از پایداری و قوت مدل‌سازی انجام شده می‌باشد. پژوهش حاضر به مدیران فعال در حوزه زنجیره تأمین کالاهای فاسدشدنی کمک می‌کند تا به طراحی و بازطراحی زنجیره تأمین خود پرداخته و در عین حال بهترین تصمیم را با توجه به اهمیت اهداف مختلف اتخاذ نمایند. با توجه به حساسیت‌شرکت‌ها در ارائه اطلاعات، می‌توان گفت دستیابی به داده‌های مورد نیاز به‌خصوص اطلاعات مالی و عملیاتی و همچنین کمبود منابع مالی مورد نیاز، پراکنده بودن اطلاعات و فاصله جغرافیایی تسهیلات از مهم‌ترین محدودیت در این پژوهش بوده

است. در نظر گرفتن عدم قطعیت در مدل، مدل‌سازی در حالت چندمحصولی، مدنظر قراردادن قابلیت اطمینان شرکای زنجیره در سطوح مختلف، در نظر گرفتن روش‌های حمل و نقل ترکیبی و همچنین مقایسه قابلیت‌های تکنیک‌های حل مختلف می‌توانند به‌عنوان پیشنهادات جهت تحقیقات آتی لحاظ شوند.

منابع

آذر، عادل؛ عابه‌اینی نایینی، مهدی؛ افسر، امیر؛ ثابت مطلق، محمد (۱۳۹۵). طراحی مدل ترکیبی منبع یابی در زنجیره تأمین با به‌کارگیری فرایند تحلیل شبکه ای، ویکور و مدل چندهدفه در محیط فازی مطالعه موردی: شرکت کابل البرز. مطالعات مدیریت صنعتی، ۱۴(۴۲)، ۱-۳۰.

فیضی، کامران؛ الفت، لعیا؛ تقوی‌فرد، محمدتقی؛ مرادی باستانی، محسن (۱۳۹۱). مدل رابطه همکاری میان سازمانی برای بهبود عملکرد زنجیره تأمین در صنعت فرش ماشینی ایران. فصلنامه علوم مدیریت ایران، ۶(۲۲)، ۱-۲۷.

غلامی، منا؛ هنرور، محبوبه (۱۳۹۴). ارائهٔ مدلی ریاضی با رویکرد مدیریت موجودی توسط فروشنده برای اقلام بهبودپذیر و فسادپذیر در طول یک زنجیرهٔ تأمین سه‌سطحی. نشریه مهندسی صنایع، ۴۹(۲)، ۲۳۷-۲۵۶.

Aghaei, J., Baharvandi, A., Akbari, M.A., Muttaqi, K.M., Asban, M.R., Heidari, A., (2015). Multi-objective Phasor Measurement Unit Placement in Electric Power Networks: Integer Linear Programming Formulation, Electric Power Components and Systems, 43:17, 1902-1911, DOI: 10.1080/15325008.2015.1068886

Amorim, P., Meyr, H., Almeder, C., & Almada-Lobo, B. (2011). Managing Perishability in Production-Distribution Planning: A Discussion and Review. Flexible Services and Manufacturing Journal, 20, 1-25.

Azar, A.; Abedini Naeini M.; Afsar A.; Sabet Motlagh, M. (2016). Designing a Hybrid Sourcing Model in the Supply Chain by using ANP, VIKOR and Multi-Objective Model in Fuzzy Environment of The Case: Alborz Cable Company. Journal of Industrial Studies, 42(14), 1-30. (In persian)

Boudahri, F., Sari, Z., Maliki, F., & Bennekrouf, M. (2011). Design and Optimization of the Supply Chain of Agri-Foods: Application Distribution Network of Chicken Meat. 2011 International Conference on Communications, Computing and Control Applications, CCCA. 2011.

Collette Y, Siarry P. (2003). Multiobjective Optimization: Principles and Case Studies. Berlin: Springer.

De keizer, M., Akkerman, R., Grunow, M., Bloemhof-Ruwaard, J., Haijema, R., Van der Vorst, J. (2017). Logistics Network Design for Perishable Products with Heterogeneous

Quality Decay. European Journal of Operational Research. 262, 535-549.

Diatha, K., Karumanchi, R., & Garg, S. (2012). Mobile Enabled Operations Management using Multi-Objective Based Logistics Planning for Perishable Products. Computers and Industrial Engineering, 42, 133-142.

Di, W., Wang, J., Li, B., & Wang, M. (2011). A Location-Inventory Model for Perishable Agricultural Product Distribution Centers. 2011 2nd International Conference on Artificial Intelligence, Management Science and Electronic Commerce, AIMSEC 2011 - Proceedings (pp. 919-922).

Drezner, Z., & Scott, C. H. (2013). Location of a Distribution Center for a Perishable Product. Mathematical Methods of Operational Research, 78(3), 301-314.

Etemadnia, H., Goetz, S. J., Canning, P., & Tavallali, M. S. (2015). Optimal wholesale Facilities Location Within the Fruit and Vegetables Supply Chain with Bimodal Transportation Options: An LP-MIP Heuristic Approach. European Journal of Operational Research, 648-661.

Federgruen, A., Prastacos, G., & Zipkin, P. H. (1986). An Allocation and Distribution Model for Perishable Products. Operations Research, 34(1), 75-82.

Feizi, K., Olfat, L., Taghavifard, M., Moradi Bastani, M. (2012). Collaborative Inter-organizational Relationship Model to Improve Supply Chain Performance in Iranian Machine-Woven Carpet Industry. Iranian Journal of Management Sciences (IAMS). 6(22), 1-27. (In persian)

Ferguson M, Ketzenberg ME. (2006). Information Sharing to Improve Retail Product Freshness of Perishables. Production and Operations Management, 15(1): 57-73.

Firoozi, Z., Ismail, N., Ariafar, S., Tang, S. H., Ariffin, M. K. M. A., & Memariani, A. (2014). Effects of Integration on the Cost Reduction in Distribution Network Design for Perishable Products. Mathematical Problems in Engineering, 1-10.

Firoozi, Z., Ismail, N., Ariafar, S., Tang, S. H., Ariffin, M. K. M. A., & Memariani, A., (2013). Distribution Network Design for Fixed Lifetime Perishable Products: A Model and Solution Approach, Journal of Applied Mathematics, 1-13

Ghezavati, V. R., Hooshyar, S., & Tavakkoli-Moghaddam, R. (2017). A Benders' Decomposition Algorithm for Optimizing Distribution of Perishable Products Considering Postharvest Biological Behavior in Agri-Food Supply Chain: A Case Study of Tomato. Central European Journal of Operations Research, 1-26.

Gholami, M., & Honarvar, M. (2015). Developing a Mathematical Model for Vendor Managed Inventory Considering Deterioration and Amelioration Items in a Three-Level Supply Chain. Journal of Industrial Engineering, 49(2), 237-256. (In persian)

Govindan, K., Jafarian, A., Khodaverdi, R., & Devika, K. (2014). Two-Echelon Multiplevehicle Location-Routing Problem with Time Windows for Optimization of Sustainable Supply Chain Network of Perishable Food. International Journal of Production Economics, 9-28.

Hasani, A., Zegordi, S. H., & Nikbakhsh, E. (2012). Robust Closed-Loop Supply Chain Network Design for Perishable Goods in Agile Manufacturing Under Uncertainty. International Journal of Production Research, 50 (16), 4649-4669.

Hiassat, A., Diabat, A., Rahwan, A., A Genetic Algorithm Approach for Location-Inventory-Routing Problem with Perishable Products, Journal of Manufacturing Systems, Volume 42, 2017, Pages 93-103.

Hiassat A, Diabat A., A Location-Inventory-Routing Problem with Perishable Products. Proceedings of the 41st International Conference on Computers and Industrial Engineering 2011.

Jabbarzadeh, A., Fahimnia, B., & Seuring, S. (2014). Dynamic Supply Chain Network Design for the Supply of Blood in Disasters: a Robust Model with Real World Application. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 70, 225-244.

Javier Arturo Orjuela-Castro, Lizeth Andrea Sanabria-Coronado, Andrés Mauricio Peralta-Lozano, (2014). Coupling Facility Location Models in the Supply Chain of Perishable Fruits, Research in Transportation Business & Management, Volume 24, 73-80.

Jouzdani J, Govindan K, (2020), On the Sustainable Perishable Food Supply Chain Network Design: a Dairy Products Case to Achieve Sustainable Development Goals, Journal of Cleaner Production, https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123060.

Jouzdani, J., Sadjadi, S. J., & Fathian, M. (2013). Dynamic Dairy Facility Location and Supply Chain Planning under Traffic Congestion and Demand Uncertainty: A Case Study of Tehran. Applied Mathematical Modelling, 8467-8483.

Khalili-Damghani, K., Abtahi, A.-R., & Ghasemi, A. (2015). A New Bi-Objective Location Routing Problem for Distribution of Perishable Products: Evolutionary Computation Approach. Journal of Mathematical Modelling and Algorithms in Operations Research, 14, 287-312

Khalili-Damghani, K., Shahrokh, A., Pakgohar, A., (2017). Stochastic Multi-Period Multi-Product Multi-Objective Aggregate Production Planning Model in Multi-Echelon Supply Chain, International Journal of Production Management and Engineering, 5(2), 85-106

Krishnamoorthy, N. R. D. A. M. (2016). Facility Location and Routing Decisions for a Food Delivery Network. IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management, Bali.

Manouchehri, F., Nookabadi, A.S., Kadivar, M., 2020. Production Routing in Perishable and Quality Degradable Supply Chains. Heliyon 6(2), e03376

Melo, M., Nickel, S., & Saldanha da Gama, F. (2006). Dynamic Multi-Commodity Capacitated Facility Location: A Mathematical Modeling Framework for Strategic Supply Chain Planning. Computers & Operations Research, 181-208.

Meng, Q., Huang, Y., & Cheu, R. L. (2009). Competitive Facility Location on Decentralized

Supply Chains. European, Journal of Operational Research, 487-499.

Mohammad Musavi, M., Bozorgi-Amiri, A., (2017). A Multi-Objective Sustainable Hub Location Scheduling Problem for Perishable Food Supply Chain, Computers & Industrial Engineering, 113, 766-778.

Nemati, Y., Madhoshi, M., & Ghadikolaei, A. S. (2017). The Effect of Sales and Operations Planning (S&OP) on Supply Chain's Total Performance: A Case Study in an Iranian Dairy Company. Computers & Chemical Engineering, 104, 323-338.

Ramezanian, R., Behboodi, Z., (2017). Blood Supply Chain Network Design under Uncertainties in Supply and Demand Considering Social Aspects, Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 104, Pages 69-82.

Roman C, Rosehart W., (2006). Evenly Distributed Pareto Points in Multiobjective Optimal Power Flow. IEEE Trans Power Syst., 21, 1011-1012.

Savadkoohi, E, Mousazadeh M, Torabi S A. (2018). A Possibilistic Location-Inventory Model for Multi-Period Perishable Pharmaceutical Supply Chain Network Design. Chemical Engineering Research & Design, 138: 490-505.

Shishebori D, Jabalameli MS, Jabbarzadeh A. (2013). Facility Location-Network Design Problem: Reliability and Investment Budget Constraint. J Plan Dev, 140:04014005.

Siddiqui, S., Azarm, S. & Gabriel, S.A. (2012). On Improving Normal Boundary Intersection Method for Generation of Pareto frontier. Struct Multidisc Optim 46, 839-852 https://doi.org/10.1007/s00158-012-0797-1

Tong, D., Ren, F., & Mack, J. (2012). Locating Farmers' Markets with an Incorporation of Spatio-Temporal Variation. Socio-Economic Planning Sciences, 46, 149-156.

Van der Vorst, J. G., Tromp, S.O., & Zee, D. J. v. d. (2009). Simulation Modelling for Food Supply Chain Redesign; Integrated Decision Making on Product Quality, Sustainability and Logistics. International Journal of Production Research, 47 (23), 6611 6631.

Who, Global Database on Blood Safety, Summary Report 2011, World Health Organization, 2011, http://www.who.int/blood-safety/global database/GDBS Summary Report 2011. pdf.

Xiaohui, Q., & Wen, Y. (2009). Studies on Spatio-Temporal Collaboration Model for Location Analysis of Vegetable & Fruit Logistics. 6th International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery, FSKD 2009 (pp. 619-626).

Yang, K., Liu, Y., & Yang, G. (2012). An Improved Hybrid Particle Swarm Optimization Algorithm for Fuzzy P-hub Center Problem. Computers & Industrial Engineering, 64(1), 133-142.

Yavari, M., Geraeli, M. (2019). Heuristic Method for Robust Optimization Model for Green Closed-Loop Supply Chain Network Design of Perishable Goods. Journal of Cleaner Production, 226, 282-305.

Yavari, M., Zaker, H. (2019). An Integrated Two-Layer Network Model for Designing a

Resilient Green-Closed Loop Supply Chain of Perishable Products under Disruption. Journal of Cleaner Production, 230, 198-218.

Yu, M., & Nagurney, A. (2013). Competitive Food Supply Chain Networks with Application to Fresh Produce. European Journal of Operational Research, 224(2), 273-282.

Zahiri B., P. Jula, R. Tavakkoli-Moghaddam, (2017). Design of a Pharmaceutical Supply Chain Network under Uncertainty Considering Perishability and Substitutability of Products, Information Sciences, 423, 257-283.

Zahiri B., S. Torabi, M. Mousazadeh, and S. Mansouri, (2015). Blood Collection Management: Methodology and Application, Applied Mathematical Modelling, 39, 7680-7696.

Zhao, X., & Lv, Q. (2011). Optimal Design of Agri-Food Chain Network: An Improved Particle Swarm Optimization Approach. International Conference on Management and Service Science, (8), 1-5.

Zhi-lin, S. Z.-L. S., & Dong, W. D. W. (2007). Location Model of Agricultural Product Distribution Center. 2007 International Conference on Management Science and Engineering (pp. 117-120).

Zokaee S, Jabbarzadeh A, Fahimnia B, Sadjadi SJ, (2014). Robust Supply Chain Network Design: an Optimization Model with Real World Application. Annals of Operations Research, 257, 15-44.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی