نشریه پژوهش‌های مهندسی صنایع در سیستم‌های تولید
IERPS
ISSN: 2345-2269
نشریه پژوهش‌های مهندسی صنایع در سیستم‌های تولید
سال دوازدهم، شماره بیست و چهارم، بهار و تابستان ۱۴۰۳، صفحه ۱۴۷-۱۶۵
www.ier.basu.ac.ir
DOI: https://doi.org/10.22084/ier.2024.29296.2166

طراحی مدل دوهدفه شبکه زنجیره‌تأمین گوشت با درنظر گرفتن قابلیت ارتجاعی تحت شرایط عدم قطعیت

حسین دارستانی[۱]، بابک جوادی[۲*]، محمد موسی‌زاده[۳]، محمدرضا ابدالی[۴]

۱. کارشناسی ارشد، گروه مهندسی صنایع، دانشکدهٔ مهندسی، دانشکدگان فارابی، دانشگاه تهران، تهران، ایران
۲. استادیار، گروه مهندسی صنایع، دانشکدهٔ مهندسی، دانشکدگان فارابی، دانشگاه تهران، تهران، ایران
۳. استادیار، گروه مهندسی صنایع، دانشکدهٔ مهندسی، دانشکدگان فارابی، دانشگاه تهران، تهران، ایران
۴. دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی، دانشکدگان فارابی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:
دریافت ۱۴۰۳/۲/۱۵
پذیرش ۱۴۰۳/۵/۱۴
(مقاله پژوهشی)

کلمات کلیدی:
زنجیره‌تأمین گوشت
بهینه‌سازی چندهدفه
قابلیت ارتجاعی
عدم قطعیت
سطح سرویس
اپسیلون محدودیت

خلاصه

امروزه، زنجیره‌تأمین گوشت نقش اساسی در تأمین نیاز غذایی خانواده، سلامت و امنیت غذایی[۱] جامعه دارد. محیط ذاتاً پویا و غیرقطعی و ریسک‌ها و اختلالات موجود در زنجیره‌تأمین گوشت، بهینه‌سازی زنجیره‌تأمین با قابلیت ارتجاعی (تاب‌آوری) را اجتناب‌ناپذیر کرده است. به‌دلایل مختلف، تأمین‌کنندگان امکان دارد دچار اختلال و آسیب از نوع جزئی شوند و نتوانند در موعد مناسب به مشتریان خود سرویس‌دهی کنند. بدین‌منظور در این مقاله به طراحی شبکه زنجیره‌تأمین گوشت تازه به‌طور یکپارچه با درنظر گرفتن استراتژی‌های انعطاف‌پذیری از قبیل افزایش ظرفیت از طریق عقد قرارداد با تأمین‌کنندگان قابل‌اطمینان تحت شرایط عدم قطعیت تقاضا با رویکرد استوار پرداخته شده است. به حداقل رساندن کل هزینه‌های حمل‌ونقل و هزینه‌های ثابت و به حداکثر رساندن سطح سرویس زنجیره‌تأمین از اهداف این پژوهش است. انتخاب مزارع از بین مزارع موجود، تخصیص مکان به کشتارگاه‌ها، انتخاب خرده‌فروشان به‌منظور فروش محصولات گوشتی و فرآورده گوشتی، تعیین جریان مواد انتخاب شده بین امکانات در سطوح شبکه زنجیره‌تأمین پیشنهادی، تعیین ریسک‌های شبکه زنجیره‌تأمین گوشت و تعیین میزان سطح سرویس زنجیره‌تأمین از مهم‌ترین تصمیمات کلیدی شبکه زنجیره‌تأمین پیشنهادی است. مدل‌سازی این مسأله بر پایه‌ی برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط دوهدفه صورت گرفته است. در پایان از روش حل اپسیلون-محدودیت تقویت‌شده-۲[۲] به‌کار برده شده است و عملکرد و کارایی مدل در قالب مثال‌های عددی مورد بررسی و تجزیه‌وتحلیل قرارگرفته و با مدل پایه موجود در ادبیات پژوهش مقایسه شده است.

1 . Food Security
2 . Epsilon-Constraint Method (Augmented -2)

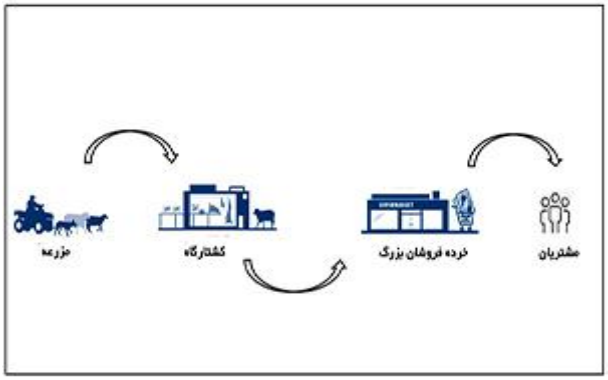
* نویسنده مسئول: بابک جوادی
تلفن: ۰۲۱-۲۲۵۹۳۹۶۶؛ پست الکترونیکی: babakjavadi@ut.ac.ir

۱. مقدمه

پیشرفت و گسترش حوزه دامداری می‌تواند به‌عنوان یک محور رشد و توسعه در خدمت امنیت غذایی، امنیت اجتماعی، اشتغال و توسعه شهر و روستا قرار بگیرد. محصولات و فرآورده‌های دامی به‌عنوان یک عنصر مؤثر در تأمین نیازهای غذایی و پروتئین موردنیاز بدن، حائز اهمیت ویژه‌ای است، به‌همین منظور دولت‌ها برای تأمین محصولات و فرآورده‌های دامی و بالا بردن سطح امنیت غذایی، نظارت و توجه جدی بر تولیدات این صنعت دارند. به‌همین جهت، زنجیره‌تأمین گوشت[1] همراه گشایش فرصت‌های شغلی متنوع، گسترش شهر و روستا و امنیت غذایی از اهمیت بخصوصی برخوردار است. همین‌طور گوشت نقش اساسی را در تأمین نیاز غذایی خانواده و سلامت و بهداشت جامعه دارد. بالغبر ۲۵٪ از کل هزینه‌های غذایی خانوارها را انواع گوشت و فرآورده‌های گوشتی به‌خود اختصاص می‌دهند [۱]. محصولات فاسدشدنی مانند محصولات کشاورزی، لبنیات، گوشت و سایر مواد غذایی، درصورتی‌که تاریخ مصرفشان بگذرد، غیرقابل استفاده شده و موجب بیماری می‌شوند. بنابراین زنجیره‌تأمین آن‌ها باید به‌گونه‌ای مدیریت شود که در زمان مناسب به مصرف برسند. همچنین، باتوجه‌به این‌که فاسد شدن آن‌ها موجب متضرر شدن تولیدکننده می‌شود باید به اندازه مناسب و به مقدار تقاضای بازار تولیدشوند [۲].

کمبود آب، فرسایش خاک، تغییرات آب‌وهوایی، کمبود منابع طبیعی و آفات و بیماری‌ها و کاهش روزافزون منابع قابل چرای دام مانند چراگاه‌ها، مراتع، کمبود علوفه، نبود زیرساخت مناسب و محدودیت‌های بنیادی و فنی برای سرمایه‌گذاری از عمده موانع و از عوامل محدودکننده تولید و عرضه گوشت و فرآورده‌های آن است، اما نقش اساسی آن در گشایش فرصت‌های شغلی و تأمین امنیت غذایی کماکان پابرجا است.

رویکردهای مختلفی در مدیریت زنجیره‌تأمین وجود دارند که به پاسخ‌گویی سریع به تغییر تقاضای مشتری می‌پردازند. ازجمله این رویکردها "قابلیت ارتجاعی[2]" است که به‌دنبال افزایش انعطاف‌پذیری و توسعه توانایی زنجیره‌تأمین است. پیشامدهایی که منتهی به بروز توقف در جریان مواد یا فعالیت‌های زنجیره‌تأمین می‌شوند، می‌توانند اختلالات وسیعی را ایجاد نمایند، که اثرات منفی این اختلالات ممکن است بهره‌وری کل زنجیره‌تأمین را پایین آورد. برای کاهش امکان وقوع این اختلالات، شبکه زنجیره‌تأمین باید به‌شیوه‌ای طراحی شود که آمادگی مواجه با هرگونه رخدادی را داشته باشد تا ضمن بازگشت به وضعیت اولیه پس‌از اختلال، توانایی فراهم نمودن پاسخی کارا و حفظ اثربخشی را داشته باشد که این همان معنای قابلیت ارتجاعی (تاب‌آوری) زنجیره‌تأمین است. به‌طور کلی، اکثر شبکه‌های زنجیره‌تأمین درخطر مواجه با اختلال قرار دارند و افزایش کیفیت، کاهش هزینه، افزایش سطح سرویس و کاهش موعد تحویل، دیگر برای حضور و رشد در بازار رقابتی کافی نیست، بلکه قابلیت مقابله با اختلالات مختلفی که می‌توانند بهره‌وری زنجیره را کاهش دهند، نیز عامل نوظهور و مهم دیگری در رقابت‌پذیری زنجیره‌های تأمین بالأخص زنجیره‌تأمین گوشت است. ازاین‌رو زنجیره‌تأمین گوشت باید تاب‌آور باشد. بدین‌جهت پژوهش حاضر بر ضرورت و اهمیت طراحی زنجیره‌تأمین گوشت تازه باقابلیت ارتجاعی (تاب‌آوری) تأکید دارد.



شکل (۱). شبکه زنجیره‌تأمین گوشت (محب علیزاده گشتی و همکاران [۳])

همان‌طور که در شکل (۱) نشان داده‌شده است نمونه‌ای از شبکه زنجیره‌تأمین گوشت، شامل چهار حلقه است که عبارت‌اند از: مزارع دام‌ها، کشتارگاه‌ها، خرده‌فروشان و مشتریان نهایی. در این شبکه، دام‌ها از مزارع خریداری می‌شوند و به کشتارگاه‌ها منتقل می‌شوند. در مرحله بعد گوشت و فراورده‌های گوشتی از کشتارگاه به خرده‌فروشان انتقال می‌یابند و درنهایت از خرده‌فروش به مشتری نهایی که می‌توانند فروشگاه‌های زنجیره‌ای یا رستوران‌ها باشند ارسال می‌شود. مسائل مختلفی در این زنجیره قابل‌طرح و تصمیم‌گیری است، ازجمله: انتخاب مزارع، جایابی و تخصیص مکان برای راه‌اندازی کشتارگاه‌ها و انتخاب خرده‌فروشان جهت فروش محصول به مشتری نهایی و تعیین مقدار بهینه جریان کالا در طول شبکه زنجیره‌تأمین گوشت با درنظر گرفتن ریسک اختلال در عرضه و عدم قطعیت در تقاضا است.

برنامه‌ریزی مسأله زنجیره‌تأمین گوشت با درنظر گرفتن ریسک اختلال و عدم قطعیت در تقاضا دارای مشخصه‌هایی است که شرایط به‌کارگیری آن را در صنعت گوشت با محدودیت‌هایی مواجه می‌کند. ازجمله این مشخصه‌ها می‌توان به فسادپذیر بودن گوشت و نقش اساسی حمل‌ونقل و تحویل به‌موقع گوشت تازه به‌دست مشتریان، اشاره کرد. در این زنجیره هدف ارائه گوشت و فرآورده‌های گوشتی تازه بدون درنظر گرفتن موجودی است، بسیار واضح است که حمل‌ونقل از بخش‌های کلیدی و هزینه‌زای زنجیره محسوب می‌شود.

در این پژوهش، چندین جنبه را در یک مدل یکپارچه مطرح می‌شود تا به‌طور هم‌زمان دو هدف متناقض را در شرایط تحت اختلال و عدم قطعیت در تقاضا، درنظر گرفته شود: به حداقل رساندن کل هزینه‌های حمل‌ونقل و هزینه‌های ثابت و به حداکثر رساندن سطح سرویس زنجیره‌تأمین. در این مدل پیشنهادی، مقدار بهینه محصولات

1. Meat Supply Chain

2. Resiliency

در هر سطح شبکه، تعداد بهینه و مکان تأمین‌کنندگان خوراک دام، مزارع، کشتارگاه‌ها، خرده‌فروشان، نحوه ارتباط سطوح با یکدیگر، درنظر گرفتن تنوع سبد محصولات شامل محصولات گوشتی و فرآورده‌های گوشتی، چندمحصولی و چنددوره‌ای بودن، به‌کارگیری استواری در مواجه با عدم قطعیت تقاضا، به‌کارگیری روش حل اپسیلون-محدودیت تقویت‌شده-۲ از نوآوری‌های این پژوهش است. ریسک‌های شبکه زنجیره‌تأمین گوشت، میزان سطح سرویس زنجیره‌تأمین و میزان تأثیر ریسک‌های زنجیره‌تأمین گوشت بر شبکه طراحی شده تعیین می‌گردد.

در این مقاله، در بخش اول مقدمه‌ای در حوزه زنجیره‌تأمین گوشت و ریسک‌های موجود درآن و در بخش دوم مرور ادبیات این حوزه‌ها بیان شده است. مدل ریاضی مسأله در بخش سوم و در بخش چهارم اعتبارسنجی مدل و مثال‌های عددی مختلفی از مسأله و تحلیل حساسیت جواب‌ها بررسی شده و در بخش انتهایی نتیجه‌گیری و پیشنهادات آتی بیان می‌شود.

۲. مرور ادبیات

۲-۱. بهینه‌سازی چندهدفه در زنجیره‌های تأمین مواد غذایی

تاکنون مطالعاتی در زمینه بهینه‌سازی چندهدفه در طراحی شبکه زنجیره‌تأمین مواد غذایی انجام شده است. این اهداف به مسائل مختلفی ازجمله بیشینه‌سازی کیفیت و ایمنی محصولات (جیمز و همکاران [۴]، سویسل و همکاران [۵]، ریچکما و همکاران [۶]) یا به حداقل رساندن هزینه کل شبکه پرداخته‌اند (موگیل و همکاران [۷]، ویلگاس و همکاران [۸]). محب علیزاده گشتی و همکاران [۳] به‌طور هم‌زمان یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط سه‌هدفه را برای بهینه‌سازی زنجیره‌تأمین گوشت ارائه کردند که اهداف آن عبارت‌اند از: به حداقل رساندن هزینه کل و انتشار دی‌اکسیدکربن آزاد شده از وسایل حمل‌ونقل و همچنین به حداکثر رساندن بهره‌وری از تمام امکانات در دسترس. به‌منظور انجام مطالعه موردی، مدل توسعه داده شده، برای طراحی شبکه زنجیره‌تأمین گوشت در شهر انتاریو جنوبی کشور کانادا مورد استفاده قرار گرفته است. پاکسوی و همکاران [۹] یک مدل برنامه‌ریزی خطی چندهدفه پیشنهاد داده‌اند تا کل هزینه‌ی حمل‌ونقل بین رده‌های مختلف شبکه زنجیره‌تأمین برای روغن‌های گیاهی را به حداقل برساند. تیموری و همکاران [۱۰] با بررسی زنجیره‌تأمین مواد غذایی و سبزی در تهران یک مدل ریاضی چندهدفه همراه با یک راه‌حل مبتنی‌بر اصول شبیه‌سازی را پیشنهاد کردند. گارسیا-فلورس [۱۱] با بررسی صنعت گوشت در شمال استرالیا یک مدل ریاضی برای به‌دست آوردن مقدار بهینه محصولات در سطوح مختلف شبکه تنظیم کردند. محمد و وانگ [۱۲] یک مدل ریاضی چندمنظوره را با اهداف بیشینه‌سازی یکپارچگی شبکه تأمین گوشت حلال، کمینه‌سازی هزینه‌های کل سرمایه‌گذاری، و بیشینه‌سازی نرخ بازگشت سرمایه[1] در یک زنجیره‌تأمین گوشت پیشنهاد کردند. آن‌ها یک مدل شبکه پتری[2] (نوعی مدل شبیه‌سازی گرافیکی) را به‌کار گرفتند تا چگونگی عمل شبکه پیشنهادی خود را نشان دهند. محمد و وانگ [۱۳] یک مدل چندهدفه را برای به حداقل رساندن هزینه کل حمل‌ونقل، تعداد وسایل نقلیه در حمل‌ونقل و زمان تحویل در شبکه زنجیره‌تأمین گوشت ارائه کردند. آن‌ها از سه رویکرد حل شامل متد چبیشهف وزنی[3]، روش اپسیلون-محدودیت و روش‌های معیار برنامه‌ریزی خطی برای حل مدل چندهدفه استفاده کردند. نتایج حاکی از آن بود که روش اپسیلون-محدودیت عملکرد بهتری نسبت‌به دو روش دیگر دارد. محمد و وانگ [۱۴] یک مدل چندمنظوره را در یک شبکه سه‌سطحی فرآورده گوشتی ایجاد کردند. این اهداف شامل: به حداقل رساندن کل هزینه‌ها، به حداکثر رساندن کیفیت محصول و به حداکثر رساندن رضایت مشتری می‌باشد. چهار روش برای حل این مدل به‌کار گرفته شد: برنامه‌ریزی آرمانی، برنامه‌ریزی سازشی، تابع مطلوبیت و چبیشهف وزنی. نتایج نشان داد که رویکرد برنامه‌ریزی سازشی عملکرد بهتری نسبت‌به سه روش دیگر دارد. سویسل و همکاران [۱۵] یک مدل برنامه‌ریزی خطی چندهدفه را با درنظر گرفتن آلایندگی وسایل حمل‌ونقل مطرح کردند. اهداف مطالعه آن‌ها به حداقل رساندن هزینه‌های تدارکات (لجستیک) کلی و کل میزان انتشار CO_2 در یک شبکه زنجیره‌تأمین گوشت است. آن‌ها از روش اپسیلون-محدودیت برای حل مدل ارائه شده خود استفاده کردند. این گروه تحقیقاتی تنها بر روی گوشت گاو متمرکز شدند. علاوه‌بر این، اثرات عدم قطعیت و مشتریان، که فاکتور مهمی است، مورد تحلیل و بررسی قرار ندادند. بابر و امین [۱۶] یک مدل دوفازی مشتمل بر گسترش عملکرد کیفیت و یک مدل چندمنظوره در صنعت نوشیدنی ایجاد کردند. هدف فاز اول انتخاب عرضه‌کننده بود، درحالی‌که فاز دوم بر تعیین مقدار سفارش با استفاده از مجموع وزنی و روش اپسیلون-محدودیت تأکید داشت. پنج هدف در فاز دوم مطالعه آن‌ها درنظر گرفته شد: به حداقل رساندن هزینه کلی، به حداقل رساندن نرخ یا میزان عیب و نقص، به حداقل رساندن انتشار کربن و در انتها به حداکثر رساندن تعداد تأمین‌کنندگان و میزان تحویل به‌موقع. بورتولینی و همکاران [۱۷] بر روی شبکه‌های زنجیره‌تأمین غذای تازه متمرکز شدند و به ایجاد یک مدل ریاضی چندهدفه با اهداف به حداقل رساندن هزینه‌های عملیاتی، انتشار CO_2 و زمان تحویل محصولات پرداختند. اگرچه، آن‌ها عدم اطمینان را در این مدل درنظر نگرفتند. پیشوایی و همکاران [۱] یک مدل ریاضی دوهدفه با درنظر گرفتن قابلیت ارتجاعی و مبتنی‌بر سناریو در صنعت گوشت ارائه دادند که اهداف آن کمینه‌سازی کل هزینه‌های حمل‌ونقل و موجودی در سطوح مختلف و کمینه‌سازی کل آلاینده‌های منتشر شده حاصل از موجودی و حمل‌ونقل در زنجیره‌تأمین می‌باشد. آن‌ها به‌منظور حل از روش‌های لکسیکوگراف چبیشهف وزنی و تقریب متوسط نمونه به‌کار بردند.

1. Return of Investments (ROI)
2. Petri-net model
3. Weighted Tchebychef

۲-۲. بهینه‌سازی تحت عدم قطعیت در زنجیره‌های تأمین

تصمیم‌گیری در دنیای واقعی در محیطی با پارامترهای غیرقطعی مانند تقاضای مشتری و هزینه خرید رخ می‌دهد. ازاین‌رو تصمیم‌گیرندگان با درنظر گرفتن اثرات عدم قطعیت در مدل‌های بهینه‌سازی می‌توانند مشکلات دنیای واقعی را حل‌وفصل کنند. مطالعات متعددی درخصوص تأثیر عدم قطعیت در شبکه‌های زنجیره‌تأمین صورت گرفته است به‌طوری‌که این مطالعات از رویکردهای مختلفی برای مقابله با عدم قطعیت استفاده کرده‌اند. این رویکردها شامل: برنامه‌ریزی فازی (غلامیان و همکاران [۱۸])، برنامه‌ریزی تصادفی (جیحونیان و همکاران [۱۹])، بهینه‌سازی استوار[1] (جبارزاده و همکاران [۲۰])، تحلیل سناریو و روش درخت تصمیم‌گیری (امین و همکاران [۲۱]) می‌باشد. در ادامه این بخش و به‌طور مختصر و شفاف، بر روی مهم‌ترین تحقیقاتی که عدم اطمینان را درنظر گرفته است، متمرکز می‌شویم. لیانگ [۲۲] یک مدل برنامه‌ریزی فازی براساس برنامه‌ریزی خطی و عدم قطعیت برای به حداقل رساندن زمان تحویل کلی و هزینه توزیع کلی غذا و نوشیدنی در تایوان ایجاد کردند. میرزاپور و همکاران [۲۳] زنجیره‌تأمین چوب و کاغذ در ایران را با تهیه یک مدل برنامه‌ریزی چندهدفه، چنددوره‌ای و عدد صحیح مختلط با اهداف بیشینه‌سازی رضایت مشتریان و کمینه‌سازی هزینه کل بود. پارامترهای تقاضا و هزینه منبع عدم اطمینان در این مدل پیشنهادی هستند. میراخورلی [۲۴] با ارائه یک مدل برنامه‌ریزی خطی چندهدفه فازی، یک شبکه لجستیکی حلقه بسته مربوط به محصول نان را در ایران بررسی کرد. تقاضا و بازده دو پارامتر اصلی نامشخص در این مطالعه هستند. هدف این بود که به‌طور هم‌زمان هزینه کل و حمل‌ونقل کل به حداقل برسد. یانگ و همکاران [۲۵] یک زنجیره‌تأمین لبنی را مطالعه کردند که یک مدل ریاضی چندمنظوره دومرحله‌ای را تنظیم می‌کرد، به‌طوری‌که تقاضا و هزینه‌های حمل‌ونقل دو منبع عدم قطعیت در مدل پیشنهادی آن‌ها بودند. آزاده و همکاران [۲۶] یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط غیرخطی را برای بررسی زنجیره‌تأمین نفت خام در ایران تحت عدم اطمینان از ظرفیت تولید، هزینه و نرخ مصرف کالاهای نفتی تولید شده از نفت خام ارائه دادند. آن‌ها سه رویکرد حل: الگوریتم تکاملی، الگوریتم ژنتیک و تکنیک ازدحام ذرات را به‌کار گرفتند. محمد و همکاران [۲۷] یک مدل چندمنظوره را برای بهینه‌سازی چهار هدف متناقض تدوین کردند: به حداقل رساندن هزینه کل، به حداکثر رساندن یکپارچگی محصولات گوشتی حلال، بیشینه‌سازی سود خالص یا بازگشت سرمایه محصولات گوشتی حلال تحت عدم قطعیت. آن‌ها از تکنیک‌های مجموع وزنی و روش اپسیلون-محدودیت برای حل مدل پیشنهادی بهره بردند. رحیمی و همکاران [۲۸] با معرفی یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط دوهدفه و چنددوره‌ای، تحت عدم قطعیت تقاضا، قیمت فروش و هزینه خرید، بین سود فعلی و آتی یک رابطه متعادل ایجاد کردند. یو و همکاران [۲۹] یک مدل بهینه‌سازی دوهدفه را برای بررسی محصول تازه کشاورزی در کشور چین را تحت عدم قطعیت اطلاعات ارائه کردند. دو هدف اصلی در مدل پیشنهادی، بیشینه‌سازی رضایت مشتریان و کمینه‌سازی کل هزینه بود. پیشوایی و همکاران [۳۰] یک بهینه‌سازی عدد صحیح مختلط چندهدفه با درنظر گرفتن عدم قطعیت ارائه نمودند. در مدل پیشنهادی آن‌ها تصمیمات شبکه‌های زنجیره‌تأمین مستقیم و معکوس هم‌زمان درنظر گرفته شده است و همچنین تصمیمات استراتژیک و تاکتیکی طراحی شبکه و جریان مواد باهم ادغام شده است. به‌منظور حل مدل بهینه‌سازی ارائه شده، آن‌ها رویکرد حل فازی را با ترکیبی از سایر رویکردهای حل توسعه‌ای ارائه کردند. هم‌چنین پیشوایی و همکاران [۳۱] یک مدل بهینه‌سازی حلقه بسته استوار را به‌منظور مقابله با عدم قطعیت در پارامترهای شبکه زنجیره‌تأمین معرفی کردند. در ابتدا، یک مدل بهینه‌سازی عدد صحیح مختلط در حالت قطعی برای شبکه زنجیره‌تأمین حلقه بسته طراحی شده و سپس حالت استواری این مدل با استفاده از توسعه‌های اخیر در رویکرد بهینه‌سازی استوار، ارائه شده است. رمضانی و همکاران [۳۲] یک مدل بهینه‌سازی استوار را برای هردو جریان مستقیم و معکوس در شبکه زنجیره‌تامین چندمحصولی و چندسطحی را با درنظر گرفتن عدم قطعیت در تقاضا و نرخ بازگشت، به‌صورت مبتنی‌بر سناریو ارائه کردند. آن‌ها برای به‌دست آوردن جواب‌های کارا از الگوریتم آزادسازی سناریو به‌کار بردند. مظلومیان و همکاران [۳۳] بهینه‌سازی استوار یک کارخانه تولیدی با در نظر گرفتن رویکرد چابکی در زنجیره‌تأمین را انجام داده‌اند. در این مقاله مدلی برای یک زنجیره‌تأمین چندکالایی، چنددوره‌ای، چندلایه‌ای باتوجه‌به تولید به هنگام سفارش در شرایط وجود عدم قطعیت ارائه شده است. درواقع یک مدل استوار برای حالت یکپارچه تدارک، تولید، توزیع برای محصولات سفارشی براساس استراتژی تولید به هنگام سفارش ارائه شده است. روش مقابله با عدم قطعیت در این مقاله استفاده از رویکرد سناریویی می‌باشد که در این حالت با تعیین سناریوهای مختلف و احتمال رخ دادن هریک از سناریوها درجه‌ای از میزان آگاهی از رخ دادن هریک از سناریوها بیان می‌شود. رمضانی و همکاران [۳۴] یک مدل بهینه‌سازی فازی را برای شبکه زنجیره‌تأمین حلقه بسته چنددوره‌ای و چندمحصولی ارائه کردند. این شبکه زنجیره‌تأمین متشکل از سه تابع هدف بیشینه‌سازی سود و کیفیت و کمینه‌سازی موعد تحویل می‌باشد. بقالیان و همکاران [۳۵] عدم قطعیت در قسمت تأمین و تقاضا را موردبررسی قرار داده‌اند، عدم قطعیت در تقاضا به‌صورت تابع توزیع احتمالی در قسمت تأمین‌کننده به‌صورت احتمال خرابی در هریک از کارخانه‌ها در نظر گرفته شد و مدل‌سازی آن براساس مجموعه برش در تئوری قابلیت اطمینان طراحی گردید.

۲-۳. طراحی زنجیره‌تأمین تحت اختلال

هدف نهایی طراحی شبکه زنجیره‌تأمین، حفظ اثربخشی و کارایی زنجیره برای برآورده کردن نیاز مشتریان و سرپا ماندن در بازار رقابتی است. برای انجام این کار، شرکت‌ها باید ریسک‌هایی را که ممکن است زنجیره‌تأمین از آن‌ها آسیب ببیند شناسایی، ارزیابی و اولویت‌بندی

1. Robust Optimization

کنند. براساس مطالعات پیشوایی و همکاران [۳۶]، در زمینه مسأله طراحی زنجیره‌تأمین دو خطر تهدیدکننده وجود دارد:

- **ریسک‌های عملیاتی:** عبارت‌اند از عدم اطمینان‌های ذاتی مانند تقاضای مشتری، تأمین و عدم قطعیت در هزینه. این ریسک‌ها غالباً در طبیعت رخ می‌دهند و احتمال وقوع آن‌ها از حدود متوسط تا بالاست که اثرات این احتمال منفی و کوتاه‌مدت است.
- **خطرات اختلال:** به اختلالات قابل‌توجهی اشاره دارد که بر زنجیره کل به‌طور قابل‌توجهی اثر می‌گذارد و ناشی از بلایای طبیعی (سیل، زلزله و طوفان)، تهدیداتی ازسوی انسان (حمله تروریستی و اعتصابات کارکنان) و تهدیدات فنی (فروپاشی تجهیزات) است. این ریسک‌ها باعث آسیب‌های اجتماعی و اقتصادی شدیدی شده و احتمال کمی دارند.

روند افزایشی تناوب بلایای طبیعی (زلزله، سیل، خشک‌سالی و طوفان و ...)و انسان‌محور و اثرات مخرب آن‌ها بر شرکت‌ها و زنجیره‌های تأمین آن‌ها، نشان‌دهنده نیاز به برنامه‌ریزی برای قابلیت ارتجاعی (تاب‌آوری) در سطح طراحی زنجیره‌تأمین است. اگرچه، طراحی زنجیره‌تأمین انعطاف‌پذیر یک روند تحقیقاتی در حال ظهور و رشد است. استراتژی‌های بازدارنده متفاوتی برای افزایش حالت ارتجاعی یک زنجیره‌تأمین در برابر خطرات اختلال وجود دارد. این بخش اقدامات مدل‌سازی مربوطه را بر طراحی زنجیره‌تأمین انعطاف‌پذیر براساس استراتژی‌های ارتجاعی دسته‌بندی می‌کند. اغلب استراتژی‌های ارتجاعی به‌شرح زیر هستند (پیشوایی و همکاران [۳۶]):

- **منابع چندگانه**: در پژوهش‌های پیشین مرتبط، این استراتژی رایج‌ترین رویکرد برای کاهش ریسک است. هرچند منبع‌یابی مفرد کم‌هزینه‌تر از چند منبع‌یابی در شرایط عادی است؛ اما منبع‌یابی تکی در زمان مواجه با اختلال می‌تواند خسارت بیشتری را به‌بار آورد.
- **عقد قرارداد با امکانات پشتیبان:** در این استراتژی، هر مشتری دارای دو گزینه خرید است: (۱) امکانات ارزان‌تر و غیرقابل اطمینان (تأسیسات اصلی) و (۲) گران‌تر اما کاملاً قابل‌اطمینان (تجهیزات پشتیبان).
- **استحکام‌سازی/حفاظت از امکانات:** اگرچه استحکام‌سازی هزینه‌بر خواهد بود، اما امکانات با سطح تقویت بالاتر، قادر خواهند بود ظرفیت تولید باقیمانده بیشتری را بعداز وقوع اختلال حفظ کند.
- **گسترش ظرفیت:** این رویکرد به‌منظور جبران ظرفیت‌های ازدست‌رفته تسهیلات در صورت بروز اختلال مورد استفاده قرار می‌گیرد.
- **پیش‌جای‌گذاری اضطراری موجودی**[1]: این استراتژی می‌تواند برای مقابله با کمبود بالقوه مواد خام و یا محصولات نهایی به‌عنوان پیامد اختلال در تأسیسات به‌کار گرفته شود.
- **توسعه برنامه‌های تداوم کسب‌وکار:** دیگر استراتژی کاهش ریسک که بسیاری از سازمان‌ها علاقه‌مند به آن هستند، استفاده از استراتژی‌های تداوم کسب‌وکار است. برنامه تداوم کسب‌وکار مجموعه‌ای هستند از اقدامات و اطلاعاتی که تدوین و نگهداری می‌شوند تا سازمان بتواند فعالیت‌های کلیدی خود را در سطح قابل قبولی که ازپیش تعیین شده، درهنگام مواجهه با اختلال ادامه دهد.
- **مدیریت پیچیدگی جریان/گره**[2]: پیچیدگی جریان، تعامل کلی بین گره‌ها را محاسبه می‌کند. همچنین، پیچیدگی گره نشان‌دهنده تعداد کل گره‌ها در شبکه است. گره بیشتر و پیچیدگی جریان تمایل به ایجاد یک شبکه با انعطاف‌پذیر کمتری دارد. شبکه‌ها با چندین جریان بین زیرساخت‌ها، ازلحاظ تعداد اتصال‌ها دارای پیچیدگی بیشتری هستند. ازاین‌رو، پیچیدگی جریان/گره به‌کار می‌رود در ارزیابی انعطاف‌پذیری زنجیره‌تأمین نقش دارند (زهیری و همکاران [۳۷]).

در میان پژوهش‌های مربوط، رضاپور و همکاران [۳۸] بر انتخاب عرضه‌کننده و تخصیص سفارش با ریسک‌های اختلال تأمین تمرکز کردند. فهیم‌نیا و جبارزاده [۳۹] یک شبکه زنجیره‌تأمین پایدار را مورد مطالعه قرار داده و مدل چندمنظوره‌ای را برای مکان‌یابی تسهیلات، انتخاب عرضه‌کننده، برنامه‌ریزی تولید، حمل‌ونقل و خرید تحت اختلال تأمین‌کنندگان ایجاد کردند. کمال احمدی و ملت‌پرست [۴۰] یک مدل تصادفی دوسطحی را برای انتخاب عرضه‌کننده و تخصیص سفارش و انتخاب کانال حمل‌ونقل تحت اختلال تدوین نمودند. علاوه‌بر این، ظرفیت انعطاف‌پذیر تأمین‌کنندگان برای جبران اثرات اختلال درنظر گرفته می‌شود. مینا و سرماه [۴۱] یک مدل غیرخطی برای انتخاب و تخصیص سفارش با تخفیف مقداری ارائه کردند. آن‌ها از استراتژی منبع‌یابی چندگانه برای مدیریت ریسک‌های اختلال منبع استفاده کردند. یک روش ترکیبی توسط جبارزاده و همکاران [۴۲] به‌منظور طراحی یک زنجیره‌تأمین پایدار و انعطاف‌پذیر تحت خطر اختلال، ارائه شده است. ساویک [۴۳] با استفاده از برآورد ارزش درمعرض ریسک شرطی، یک مدل چندمحصوله را برای انتخاب عرضه‌کننده و تخصیص سفارش توسعه داد که شامل حفاظت از تأمین‌کنندگان و پیش‌جای‌گذاری اضطراری موجودی در تأمین‌کنندگان محافظت شده برای کاهش خطرات تأمین تدارکات بود. اسکاپارا و همکاران [۴۴] مدلی را برای تعیین بهترین تسهیلات با فرض این‌که شبکه زنجیره‌تأمین منابعی دارد که باید از وقوع اختلال در آن‌ها جلوگیری شود، ارائه کردند. به ارائه و بررسی مدل مکانیابی-مسیریابی در گراف چندگانه که مسیرهای موازی دارای شرایط ترافیک مختلف و وابسته به زمان هستند، پرداخته شده است. تیکنی و همکاران [۴۵] به ارائه یک مدل پرداختند که، علاوه‌بر کاهش هزینه‌های ناشی از مکان‌یابی و لجستیک به‌دنبال کاهش آلودگی تولید شده توسط وسایل نقلیه و همچنین بیشینه سازی کیفیت مربوط به محصولات غذایی می‌باشد. لیستس و دکر [۴۶] یک مدل بهینه‌سازی احتمالی مبتنی‌بر سناریو را برای طراحی شبکه زنجیره‌تأمین با جریان مستقیم

1. Pre-Positioning Emergency Inventory

2. Flow/Node Complexity

و معکوس به‌صورت یکپارچه مطرح کردند. آن‌ها برای حل مدل در سایز بزرگ از روش حل شاخه‌وبرش استفاده کردند. زهیری و همکاران [۴۷] مطالعات خود را در حوزه حمل‌ونقل با درنظر گرفتن ریسک انقطاع و مواد خراب‌شدنی انجام دادند، آن‌ها به‌منظور مواجه با عدم قطعیت یک مدل ریاضی تصادفی چندمرحله‌ای را توسعه دادند و از دو استراتژی تاب‌آوری (قابلیت ارتجاعی) برای حل پیچیدگی شبکه استفاده کردند.

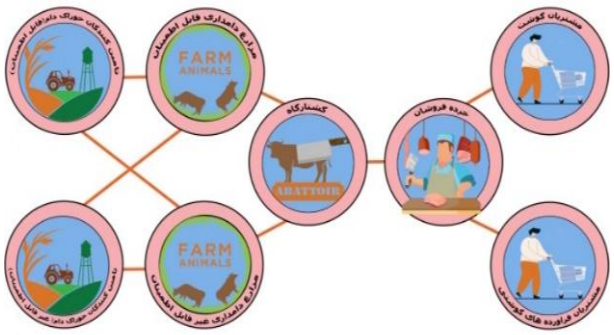
۲-۴. طراحی زنجیره‌تأمین با درنظر گرفتن سطح سرویس

سطح سرویس در زنجیره‌تأمین به‌عنوان عدم انحراف زمان‌های تحویل از موعد مشخص شده در مورد تأمین‌کنندگان، تولیدکنندگان، توزیع‌کنندگان و کاهش سطح سفارشان عقب‌افتاده در مراکز تولید تعریف می‌شود. در بهینه‌سازی چندهدفه، پژوهشگران دنبال رسیدن به مقدار بهینه چند تابع هدف به‌صورت هم‌زمان (که عموماً کمینه‌سازی هزینه و بیشینه‌سازی سود و سطح سرویس) هستند که معمولاً این اهداف همسو نیستند و باید به‌صورت پارتو بررسی شوند. صبری و بیمون [۴۸] یک مدل بهینه‌سازی احتمالی چندهدفه متشکل از تولید، تحویل و عدم قطعیت در تقاضا با اهداف کمینه‌سازی هزینه، بیشینه‌سازی سطح سرویس مشتریان و انعطاف‌پذیری معرفی کردند که با استفاده از شبکه‌های زنجیره‌تأمین کارا و بررسی شبکه‌های رقیب، توسعه داده شده است. چن و لی [۴۹] یک مدل بهینه‌سازی چندهدفه عدد صحیح مختلط غیرخطی به‌صورت چندمحصولی، چنددوره‌ای، چندمرحله‌ای و با درنظر گرفتن عدم قطعیت در قیمت و تقاضا، را با اهداف به‌حداکثر رساندن سود، سطح سرویس، موجودی اطمینان و قابلیت تصمیم‌گیری در شرایط وجود عدم قطعیت در تقاضای محصول طراحی کرده‌اند و نتایج را با یک مثال عددی نشان داده‌اند. ترابی و حسینی [۵۰] برای اولین‌بار مدل بهینه‌سازی چندهدفه تصادفی عدد صحیح مختلط خطی را برای برنامه‌ریزی تولید و توزیع با اهداف بیشینه‌سازی سطح سرویس و کمینه‌سازی هزینه‌ها و همچنین عدم قطعیت را برای پارامترهای مبهم ازجمله هزینه، تقاضا و ظرفیت، ارائه کرده‌اند.آن‌ها برای حل از رویکرد مبتنی‌بر تئوری فازی استفاده کردند و با حل مثال عددی، نتایج مدل را نشان دادند. آذرون و همکاران [۵۱] یک مدل بهینه‌سازی چندهدفه احتمالی برای شبکه زنجیره‌تأمین با درنظر گرفتن عدم قطعیت معرفی کردند. اهداف این مدل عبارت‌اند از: کمینه‌سازی مجموع کل هزینه‌های سرمایه‌گذاری، هزینه‌های کمبود و توسعه ظرفیت،هزینه حمل‌ونقل، ریسک‌های مالی یا بروز انواع هزینه‌های پیش‌بینینشده است. سانگ سانگ و پاپا گئورگیو [۵۲] یک مدل بهینه‌سازی چندهدفه عدد صحیح مختلط خطی را در سطوح تولید، توزیع و ظرفیت با درنظر گرفتن هزینه،زمان پاسخ‌گویی و سطح سرویس مشتریان به‌صورت هم‌زمان با اهداف کمینه‌سازی هزینه کل، کل فروش ازدست‌رفته و کل زمان جریان ارائه کرده‌اند. همچنین آن‌ها دو استراتژی برای افزایش ظرفیت کارخانه در مدل پیشنهادی درنظر گرفتند.

۳. مدل ریاضی پیشنهادی

در این مقاله طبق شکل (۲) یک شبکه زنجیره‌تأمین گوشت تازه چندسطحی همراه با ریسک اختلال و عدم قطعیت در تقاضا درنظر گرفته‌شده است که اهداف آن کمینه‌سازی هزینه کل زنجیره‌تأمین گوشت، بیشینه‌سازی سطح سرویس به‌وسیله کمینه کردن زمان تحویل در کل زنجیره‌تأمین است. توصیف عملیات این زنجیره‌تأمین به‌ترتیب به‌صورت زیر است:

۱) در این زنجیره ابتدا خوراک دام مورد استفاده (به‌طور مثال: علوفه، گندم، ذرت،جو و انواع کنجاله‌ها) از تأمین‌کنندگان خوراک دام خریداری می‌شوند و به مزارع می‌رسند.
۲) سپس دام‌ها از مزارع خریداری می‌شوند و برای کشتارگاه‌ها ارسال می‌شوند.
۳) کشتارگاه‌ها وظیفه ذبح و بسته‌بندی گوشت و یا فرآورده‌های گوشتی را دارند و برای خرده‌فروشان ارسال می‌کنند.
۴) خرده‌فروشان مسئول فروش و انتقال به مناطق تقاضا هستند.
۵) مشتریان در این زنجیره نقاط تقاضا هستند که باید توسط خرده‌فروشان پاسخ داده شوند.



شکل (۲). زنجیره‌تأمین گوشت تازه با درنظر گرفتن قابلیت ارتجاعی

در مدل پیشنهادی تقاضا ازسوی مشتری غیرقطعی است و به دو دسته گوشتی و فرآورده‌های گوشتی تقسیم می‌شود. فرض بر این است که تمامی پارامترهای ورودی مسأله به غیر از تقاضا ثابت هستند. گوشت و فرآورده‌های گوشتی به‌صورت چندمحصولی و چنددوره‌ای تولید می‌شوند. خوراک دام که ازسوی تأمین‌کنندگان آن وارد چرخه زنجیره‌تأمین می‌شوند، می‌توانند چندمحصولی باشند. خرده‌فروشان به دو دسته گوشتی و فرآورده‌های گوشتی تقسیم می‌شوند. بدین‌منظور خرده‌فروشان گوشت، تقاضای گوشت را ارضا می‌کنند و خرده‌فروشان فرآورده‌های گوشتی، تقاضا برای فرآورده‌های گوشتی را ارضا می‌کنند. تأمین‌کنندگان خوراک دام و مزارع به دوصورت قابل اطمینان و غیرقابل اطمینان درنظر گرفته می‌شوند. یک هزینه قرارداد پشتیبان و به‌صورت صفر و یک برای تأمین‌کنندگان خوراک دام و مزارع قابل‌اطمینان درنظر می‌گیریم.

جدول (۱). خلاصه مرور ادبیات موضوع

محققان	سال	نوع مدل	چندسطحی	چنددوره‌ای	چندمحصولی	عدم قطعیت	ریسک	استراتژی قابلیت ارتجاعی	نوع محصول	سطح سرویس	پیچیدگی گره	پیچیدگی جریان	عقد قرارداد	تأمین‌کنندگان خوراک دام	رویکرد حل
بابر و امین [۱۶]	۲۰۱۸	MILP		✓	✓	✓			نوشیدنی‌ها						مجموع وزنی، اپسیلون-محدودیت
محب علیزاده و همکاران [۳]	۲۰۲۰	MILP	✓	✓	✓	✓			گوشت						اپسیلون-محدودیت، درخت تصمیم
پیشوایی و همکاران [۱]	۲۰۲۱	MILP	✓	✓	✓	✓	✓	✓	گوشت						لکسیکو گراف، چبیشهف وزنی، SAA
کلر و همکاران [۵۳]	۲۰۲۲								گوشت و ماکیان						IOT و تحلیل داده
ارشادی خمسه و همکاران [۵۴]	۲۰۲۳	MILP	✓			✓			محصولات پروتئینی						روش استوار
نادر التیب و همکاران [۵۵]	۲۰۲۴	MILP	✓						زنجیره‌تأمین واکسن						سیپلکس و الگوریتم ابتکاری
لی و ژانگ [۵۶]	۲۰۲۴	MINLP	✓					✓	محصولات کشاورزی فسادپذیر						الگوریتم ممتیک
پژوهش حاضر	۲۰۲۴	MILP	✓	✓	✓	✓	✓	✓	گوشت	✓	✓	✓	✓	✓	سیپلکس، اپسیلون-محدودیت تقویت‌شده-۲

کلیه حمل‌ونقل بین سطوح زنجیره از کامیون‌های ۲۴ تنی استفاده می‌شود. در این زنجیره‌تأمین فرض بر ارائه گوشت تازه به‌دست مشتریان است و بنا به مقدار تقاضا گوشت تولید می‌شود بدین‌منظور در این زنجیره نگهداری موجودی نداریم. مکان کشتارگاه‌ها از بین نقاط بالقوه انتخاب می‌شوند و سپس کشتارگاه‌ها احداث می‌شوند فلذا یک هزینه احداث داریم. تأمین‌کنندگان خوراک دام، مزارع و خرده‌فروشان در سطح شهر موجود می‌باشند فقط باتوجه‌به هزینه‌های تولید، هزینه‌های قرارداد پشتیبان و مسافت‌های آن‌ها باید ازبین آن‌ها انتخاب شوند. یک هزینه ثابت جهت همکاری با خرده‌فروشان و حمایت از فروش درنظر گرفته می‌شود. کلیه حمل‌ونقل‌های بین سطوح باتوجه‌به ظرفیت کامیون‌ها به‌صورت انباشته انجام می‌شود و زمان دریافت آن محاسبه می‌شود. احتمال رخداد اختلال فقط در قسمت‌های تأمین، یعنی تأمین‌کنندگان خوراک دام و مزارع درنظر گرفته می‌شود زیرا در این قسمت‌ها از منابع خارجی خرید انجام می‌دهیم و ناتوانی در تأمین در آن‌ها مشکلات جدی برای زنجیره‌تأمین به‌وجود می‌آورد.

در این مسأله فرض بر این است که تأمین‌کننده به‌دلایل مختلف ازجمله بلایای طبیعی و یا حوادث ساخته دست انسان امکان دارد دچار اختلال و آسیب شوند و نتواند در موعد مناسب به مشتریان خود سرویس‌دهی کنند، باید توجه داشت که این نوع اختلالات جزئی بوده‌اند و فعالیت تأمین‌کننده به‌طور کل قطع نمی‌شود بلکه ظرفیت آن کاهش می‌یابد. به‌همین علت برای حل نمودن مشکلات اشاره شده، در این پژوهش با درنظر گرفتن استراتژی‌های انعطاف‌پذیری ازقبیل افزایش ظرفیت ازطریق عقد قرارداد با تأمین‌کنندگان قابل‌اطمینان، مفهوم تاب‌آوری در طراحی شبکه زنجیره‌تأمین به‌کار برده شده است. جدول (۲) اندیس‌ها و پارامترهای به‌کار رفته در ساخت مدل ریاضی در این پژوهش را نشان می‌دهد.

جدول (۲). پارامترهای مدل ریاضی

p_{kis}	هزینه خرید یک‌تن خوراک دام از نوع i ام از تأمین‌کننده خوراک دام k ام در سناریو s
P_{fjs}	هزینه خرید یک تن دام از نوع j ام از مزرعه f ام در سناریو s
$n_{k'it}$	هزینه عقد قرارداد با تأمین‌کننده قابل‌اطمینان خوراک دام k' ام از محصول i ام در دوره t
$b_{f'jt}$	هزینه عقد قرارداد با مزارع قابل‌اطمینان f' ام در محصول نوع

	j ام در دوره t
B_a	هزینه ثابت جهت احداث کشتارگاه a ام
e_r	هزینه ثابت جهت فروش از طریق خرده‌فروش r ام
se_{kf}	مسافت بین تأمین‌کننده خوراک دام k ام و مزرعه f ام
de_{fa}	مسافت بین مزرعه f ام و کشتارگاه a ام
ge_{ar}	مسافت بین کشتارگاه a ام و خرده‌فروش r ام
he_{rc}	مسافت بین خرده‌فروش r ام و مشتری c ام
sc_{kfit}	هزینه حمل‌ونقل تن/ کیلومتر خوراک دام i ام از تأمین‌کننده خوراک دام k ام به مزرعه f ام در دوره t
kc_{fajt}	هزینه حمل‌ونقل تن/ کیلومتر دام j ام از مزرعه قابل‌اطمینان f ام به کشتارگاه a ام در دوره t
lc_{arjt}	هزینه حمل‌ونقل تن/ کیلومتر گوشت j ام از کشتارگاه a ام به خرده‌فروش r ام در دوره t
mc_{rcjt}	هزینه حمل‌ونقل تن/ کیلومتر گوشت j ام از خرده‌فروش r ام به مشتری c ام در دوره t
tps_{kfit}	زمان تحویل واحد دسته خوراک دام i ام از تأمین‌کننده k ام به مزرعه f ام در دوره t
tpf_{fajt}	زمان تحویل واحد دسته دام j ام از مزرعه f ام به کشتارگاه a ام در دوره t
tpa_{arjt}	زمان تحویل واحد دسته گوشت j ام از کشتارگاه a ام به خرده‌فروش r ام در دوره t
tpr_{rcjt}	زمان تحویل واحد دسته گوشت و فرآورده‌های گوشتی j ام از خرده‌فروش r ام به مشتری c ام در دوره t
$tsmax_{kfit}$	حداکثر زمان دریافت مجاز واحد دسته خوراک دام i ام از تأمین‌کننده k ام به مزرعه f ام در دوره t
$tfmax_{fajt}$	حداکثر زمان دریافت مجاز واحد دسته دام j ام از مزرعه f ام به کشتارگاه a ام در دوره t
$tamax_{arjt}$	حداکثر زمان دریافت مجاز واحد دسته گوشت j ام از کشتارگاه a ام به خرده‌فروش r ام در دوره t
$trmax_{rcjt}$	حداکثر زمان دریافت مجاز واحد دسته گوشت و فرآورده‌های گوشتی j ام از خرده‌فروش rام به مشتری cام در دورهt
BS	اندازه دسته حمل‌ونقل شده خوراک دام، دام، گوشت و فرآورده‌های گوشتی به‌وسیله کامیون‌های ۲۴ تنی
D_{cjt}	تقاضا برای گوشت j ام از سوی مشتری c ام در دوره t ام
d_{cjt}	تقاضا برای فرآورده‌های گوشتی j ام از سوی مشتری c ام در دوره t ام
y_{ki}	بیشینه ظرفیت عرضه تأمین‌کننده خوراک دام k ام برای محصول i ام
x_{fj}	بیشینه ظرفیت عرضه مزرعه f ام برای دام j ام
o_{aj}	بیشینه ظرفیت عرضه کشتارگاه a ام برای گوشت j ام
u_{rj}	بیشینه ظرفیت عرضه خرده‌فروش r ام برای گوشت j ام
π^s	احتمال رخداد سناریو s
λ_{kt}^s	برابر ۱ است، اگر تأمین‌کننده خوراک دام k ام در دوره t تحت سناریو s مختل شود در غیر اینصورت صفر است.
γ_{ft}^s	برابر ۱ است، اگر مزرعه f ام در دوره t تحت سناریو s مختل شود در غیر اینصورت صفر است.
α_i	ضریب مصرف خوراک دام i ام
M	یک عدد صحیح مثبت بسیار بزرگ

جدول (۳). پارامترهای مدل ریاضی

W	مجموع تعداد کل گره‌ها
V	مجموع تعداد کل ارتباطات بین گره‌ها

جدول (۴). متغیرهای تصمیم مدل ریاضی

qs_{kfit}^s	مقدار خوراک دام i ام حمل‌ونقل شده از تأمین‌کننده خوراک دام k ام به مزرعه f ام در دوره t ام تحت سناریوs
qf_{fajt}^s	مقدار دام j ام حمل شده از مزرعه f ام به کشتارگاه a ام در دوره t ام تحت سناریو s
qa_{arjt}^s	مقدار گوشت j ام حمل شده از کشتارگاه a ام به خرده‌فروش r ام در دوره t ام تحت سناریو s
qr_{rcjt}^s	مقدار گوشت‌وفرآورده‌های گوشتی j ام حمل شده از خرده‌فروشr ام به مشتری c ام در دورهt ام تحت سناریوs
trs_{kfit}^s	زمان دریافت خوراک دام i ام از تأمین‌کننده k ام به مزرعه f ام در دوره t تحت سناریو s
trf_{fajt}^s	زمان دریافت دام j ام از مزرعه f ام به کشتارگاه a ام در دوره t تحت سناریو s
tra_{arjt}^s	زمان دریافت گوشت j ام از کشتارگاه a ام به خرده‌فروش r ام در دوره t تحت سناریو s
trr_{rcjt}^s	زمان دریافت گوشت و فرآورده‌های گوشتی j ام از خرده‌فروش r ام به مشتری c ام در دوره t تحت سناریو s
$l_{k'it}^s$	متغیرصفر یک، برابر یک است اگر با تأمین‌کننده خوراک دام قابل‌اطمینان k' ام برای محصول i ام در دوره t تحت سناریو s قرارداد بسته شود و در غیر اینصورت صفر است.
$ll_{k'it}^s$	متغیرصفر یک، برابر یک است، اگر حداقل تعداد قرارداد با تأمین‌کننده خوراک دام قابل‌اطمینان k' ام برای محصول i ام در دوره t تحت سناریو s بسته شود و در غیر اینصورت صفر است.
$z_{f'jt}^s$	متغیر صفر یک، برابر یک است، اگر با مزرعه قابل‌اطمینان f' ام برای محصول j ام در دوره t تحت سناریو s قرارداد بسته شود و در غیر اینصورت صفر است.
$zz_{f'jt}^s$	متغیر صفر یک، برابر یک است، اگر حداقل تعداد قرارداد با مزرعه قابل‌اطمینان f' ام برای محصول j ام در دوره t تحت سناریو s بسته شود و در غیر اینصورت صفر است.
wk_k	متغیر صفر یک، برابر یک است، اگر تأمین‌کننده خوراک دام k ام انتخاب شود و در غیر اینصورت صفر است.
wf_f	متغیر صفر یک، برابر یک است، اگر مزرعه k ام انتخاب شود و در غیر اینصورت صفر است.
h_a	متغیر صفر یک، برابر یک است، اگر کشتارگاه a ام احداث شود و در غیر اینصورت صفر است.
v_r	متغیر صفر یک، برابر یک است، اگر خرده‌فروش r ام انتخاب شود و در غیر اینصورت صفر است.
vk_{kft}	متغیر صفر یک، برابر یک است، اگر از گره k ام به گره f ام در دوره t ام ارتباطی وجود داشته باشد.
vf_{fat}	متغیر صفر یک، برابر یک است، اگر از گره f ام به گره a ام در دوره t ام ارتباطی وجود داشته باشد.
va_{art}	متغیر صفر یک، برابر یک است، اگر از گره a ام به گره r ام در دوره t ام ارتباطی وجود داشته باشد.
vr_{rct}	متغیر صفر یک، برابر یک است، اگر از گره r ام به گره c ام در دوره t ام ارتباطی وجود داشته باشد.

۳-۱. مدل ریاضی پایه

$$\begin{aligned}\text{minimize } z1 = & \sum_{k,f,i,t}(p_{kit} + sc_{kfit} * se_{kf}) * qs_{kfit} \\ & + \sum_{f,a,j,t}(P_{fjt} + kc_{fajt} * de_{fa}) \\ & * qf_{fajt} \\ & + \sum_{a,r,j,t}(lc_{arjt} * ge_{ar} * qa_{arjt}) \\ & + \sum_{r,c,j,t}(mc_{rcjt} * he_{rc} * qr_{rcjt}) \\ & + \sum_{a} B_a * h_a + \sum_{r} e_r * v_r \end{aligned} \quad (۱)$$

$$\begin{aligned}\text{maximize } z2 = & \sum_{k,f,i,t}(tsmax_{kfit} - trs_{kfit}) \\ & + \sum_{f,a,j,t}(tfmax_{fajt} - trf_{fajt}) \\ & + \sum_{a,r,j,t}(tamax_{arjt} - tra_{arjt}) \\ & + \sum_{r,c,j,t}(trmax_{rcjt} - trr_{rcjt}) \end{aligned} \quad (۲)$$

معادله (۱) بیانگر تابع هدف اول و معادله (۲) بیانگر تابع هدف دوم مسأله است که به‌ترتیب برابر با کمینه کردن کل هزینه‌ها شامل هزینه‌های حمل‌ونقل، هزینه‌های احداث کشتارگاه‌ها و هزینه‌های همکاری درفروش با خرده‌فروشان و معادله دوم برابر با بیشینه کردن سطح سرویس به‌وسیله تفاضل حداکثر زمان دریافت مجاز و زمان تحویل می‌باشند. اگرچه به‌نظر می‌رسد که این تابع می‌تواند مقدار صفر بگیرد اما باتوجه‌به این‌که محدودیت تقاضا به‌شکل مساوی وجود دارد و تقاضا باید پوشش داده شود، پس جریان باید در شبکه شکل بگیرد و زمانی‌که این مورد شکل بگیرد، انتخاب تأمین‌کننده وجود دارد و بنابرین این تابع مقدار صفر نخواهد شد.

$$s.t$$

$$\sum_{f,i} qs_{kfit} \le wk_k * \sum_{i} y_{ki} \qquad \forall k,t \quad (۳)$$

$$\sum_{a,j} qf_{fajt} \le wf_f * \sum_{j} x_{fj} \qquad \forall f,t \quad (۴)$$

$$\sum_{r,j} qa_{arjt} \le h_a * \sum_{j} o_{aj} \qquad \forall a,t \quad (۵)$$

$$\sum_{c,j} qr_{rcjt} \le v_r * \sum_{j} u_{rj} \qquad \forall r,t \quad (۶)$$

معادلات(۳)، (۴)، (۵) و (۶) بیانگر این است که میزان عرضه خوراک دام، دام و گوشت از ظرفیت آن بیشتر نباشد.

$$\sum_{k,i} \alpha_i * qs_{kfit} \ge \sum_{a} qf_{fajt} \qquad \forall f,j,t \quad (۷)$$

$$\sum_{f} qf_{fajt} \ge \sum_{r} qa_{arjt} \qquad \forall a,j,t \quad (۸)$$

$$\sum_{a} qa_{arjt} \ge \sum_{c} qr_{rcjt} \qquad \forall r,j,t \quad (۹)$$

$$\sum_{r'} qr_{r'cjt} = D_{cjt} \qquad \forall c,j,t \quad (۱۰)$$

$$\sum_{r''} qr_{r''cjt} = d_{cjt} \qquad \forall c,j,t \quad (۱۱)$$

معادله (۷) بیانگر این است که مقدار خوراک دام خریداری شده از تأمین‌کنندگان خوراک دام به‌وسیله ضریب تبدیل α_i باید بیشتر یا مساوی مقدار دام خریداری شده از مزارع باشد. معادلات (۸) و (۹) نیز اطمینان می‌دهد که تولیدات و عرضه در هر سطح بیشتر یا مساوی تقاضا در سطح بعد آن باشد که با کمبود مواجه نشود. معادلات (۱۰) و (۱۱) بیانگر این است که تقاضای مشتری برای گوشت یا فرآورده‌های گوشتی برابر مقدار عرضه شده از خرده‌فروشان آن باشد که هم تقاضا ارضا شود و هم دچار کمبود یا مازاد تولید نشود.

$$tps_{kfit} * (qs_{kfit}/BS) \le tsmax_{kfit} \qquad \forall k,f,i,t \quad (۱۲)$$

$$tpf_{fajt} * (qf_{fajt}/BS) \le tfmax_{fajt} \qquad \forall f,a,j \quad (۱۳)$$

$$tpa_{arjt} * (qa_{arjt}/BS) \le tamax_{arjt} \qquad \forall a,r,j,t \quad (۱۴)$$

$$tpr_{rcjt} * (qr_{rcjt}/\text{BS}) \le trmax_{rcjt} \qquad \forall r,c,j,t \quad (۱۵)$$

معادلات (۱۲)، (۱۳)، (۱۴) و (۱۵) بیان می‌کند که زمان تحویل کل محموله‌های حمل‌ونقل شده هرسطح از حداکثر زمان کل دریافت محموله در سطح بعد آن بیشتر نباشد.

$$tps_{kfit} * (qs_{kfit}/BS) = trs_{kfit} \qquad \forall k,f,i,t \quad (۱۶)$$

$$tpf_{fajt} * (qf_{fajt}/BS) = trf_{fajt} \qquad \forall f,a,j,t \quad (۱۷)$$

$$tpa_{arjt} * (qa_{arjt}/BS) = tra_{arjt} \qquad \forall a,r,j,t \quad (۱۸)$$

$$tpr_{rcjt} * (qr_{rcjt}/\text{BS}) = trr_{rcjt} \qquad \forall r,c,j,t \quad (۱۹)$$

معادلات (۱۶)، (۱۷)، (۱۸) و (۱۹) زمان تحویل کل محموله‌های حمل‌ونقل شده در هر سطح را برابر متغیر زمان دریافت محموله‌ها در سطح بعد آن قرار می‌دهد. در این پژوهش از استراتژی عقد قرارداد با امکانات پشتیبان و همچنین مدیریت پیچیدگی گره‌ها بهره برده شده است.

۳-۲. مدل ریاضی باقابلیت ارتجاعی(تاب‌آوری)

در این مدل توابع هدف و محدودیت‌ها به‌صورت زیر بیان می‌گردد.

$$\begin{aligned}\text{minimize } z1 = & \sum_{s} \pi^s \left(\sum_{k,f,i,t,s}(p_{kis} + sc_{kfit} * se_{kf}) \right. \\ & * qs^s_{kfit} + \sum_{f,a,j,t,s}(P_{fjs} + kc_{fajt} \\ & * de_{fa}) * qf^s_{fajt} \\ & + \sum_{a,r,j,t,s}(lc_{arjt} * ge_{ar} * qa^s_{arjt}) \\ & + \sum_{r,c,j,t,s}(mc_{rcjt} * he_{rc} * qr^s_{rcjt}) \\ & + \sum_{k'} n_{k'it} * l^s_{k'it} \\ & \left. + \sum_{f'} b_{f'jt} * z^s_{f'jt} \right) \\ & + \sum_{a} B_a * h_a + \sum_{r} e_r * v_r \end{aligned} \quad (۲۰)$$

$$\text{maximize } z2 = \sum_{s} \pi^{s} \left(\sum_{k,f,i,t} (tsmax_{kfit} - trs^{s}_{kfit}) + \sum_{f,a,j,t} \left(tfmax_{fajt} - trf^{s}_{fajt}\right) + \sum_{a,r,j,t} (tamax_{arjt} - tra^{s}_{arjt}) + \sum_{r,c,j,t} (trmax_{rcjt} - trr^{s}_{rcjt}) \right) \quad (۲۱)$$

s.t

$$\sum_{f,i} qs^{s}_{k'fit} \le ll^{s}_{k'it} * \sum_{i} y_{k'i} \qquad \forall k', t, s \quad (۲۲)$$

$$ll^{s}_{k'it} \le l^{s}_{k'i(t-1)} + l^{s}_{k'i(t-2)} \qquad \forall k', i, t, s \quad (۲۳)$$

$$\sum_{f,i} qs^{s}_{k''fit} \le \sum_{i} y_{k''i} * \left(1 - \lambda^{s}_{k''t}\right) * wk_{k''} \qquad \forall k'', t, \quad (۲۴)$$

$$\sum_{a,j} qf^{s}_{f'ajt} \le zz^{s}_{f'jt} * \sum_{j} x_{f'j} \qquad \forall f', t, s \quad (۲۵)$$

$$zz^{s}_{f'jt} \le z^{s}_{f'j(t-1)} + z^{s}_{f'j(t-2)} \qquad \forall f', j, t, s \quad (۲۶)$$

$$\sum_{a,j} qf^{s}_{f''ajt} \le \sum_{j} x_{f''j} * \left(1 - \gamma^{s}_{f''t}\right) * wf_{f''} \qquad \forall f'', t, s \quad (۲۷)$$

$$\sum_{r,j} qa^{s}_{arjt} \le h_a * \sum_{j} o_{aj} \qquad \forall a, t, s \quad (۲۸)$$

$$\sum_{c,j} qr^{s}_{rcjt} \le v_r * \sum_{j} u_{rj} \qquad \forall r, t, s \quad (۲۹)$$

$$\sum_{k,i} \alpha_i * qs^{s}_{kfit} \ge \sum_{a} qf^{s}_{fajt} \qquad \forall r, t, s \quad (۳۰)$$

$$\sum_{f} qf^{s}_{fajt} \ge \sum_{r} qa^{s}_{arjt} \qquad \forall f, j, t, s \quad (۳۱)$$

$$\sum_{a} qa^{s}_{arjt} \ge \sum_{c} qr^{s}_{rcjt} \qquad \forall r, j, t, s \quad (۳۲)$$

$$\sum_{r'} qr^{s}_{r'cjt} = D_{cjt} \qquad \forall c, j, t, s \quad (۳۳)$$

$$\sum_{r''} qr^{s}_{r''cjt} = d_{cjt} \qquad \forall c, j, t, s \quad (۳۴)$$

$$tps_{kfit} * (qs^{s}_{kfit} / BS) \le tsmax_{kfit} \qquad \forall k, f, i, t, s \quad (۳۵)$$

$$tpf_{fajt} * (qf^{s}_{fajt} / BS) \le tfmax_{fajt} \qquad \forall f, a, j, t, s \quad (۳۶)$$

$$tpa_{arjt} * (qa^{s}_{arjt} / BS) \le tamax_{arjt} \qquad \forall a, r, j, t, s \quad (۳۷)$$

$$tpr_{rcjt} * (qr^{s}_{rcjt} / BS) \le trmax_{rcjt} \qquad \forall r, c, j, t, s \quad (۳۸)$$

$$tps_{kfit} * (qs^{s}_{kfit} / BS) = trs^{s}_{kfit} \qquad \forall k, f, i, t, s \quad (۳۹)$$

$$tpf_{fajt} * (qf^{s}_{fajt} / BS) = trf^{s}_{fajt} \qquad \forall f, a, j, t, s \quad (۴۰)$$

$$tpa_{arjt} * (qa^{s}_{arjt} / BS) = tra^{s}_{arjt} \qquad \forall a, r, j, t, s \quad (۴۱)$$

$$tpr_{rcjt} * (qr^{s}_{rcjt} / BS) = trr^{s}_{rcjt} \qquad \forall r, c, j, t, s \quad (۴۲)$$

$$\sum_{k'} l^{s}_{k'it} + \sum_{f'} z^{s}_{f'jt} + \sum_{k''} wk_{k''} + \sum_{f''} wf_{f''} + \sum_{a} h_a + \sum_{r} v_r \le W \qquad \forall i, j, t, s \quad (۴۳)$$

$$\sum_{i,s} qs^{s}_{kfit} \le M * vk_{kft} \qquad \forall k, f, t \quad (۴۴)$$

$$\sum_{j,s} qf^{s}_{fajt} \le M * vf_{fat} \qquad \forall f, a, t \quad (۴۵)$$

$$\sum_{j,s} qa^{s}_{arjt} \le M * va_{art} \qquad \forall a, r, t \quad (۴۶)$$

$$\sum_{j,s} qr^{s}_{rcjt} \le M * vr_{rct} \qquad \forall r, c, t \quad (۴۷)$$

$$\sum_{k,f,t} vk_{kft} + \sum_{f,a,t} vf_{fat} + \sum_{a,r,t} va_{art} + \sum_{r,c,t} vr_{rct} \le V \quad (۴۸)$$

معادلات (۲۰) و (۲۱) توابع هدف اول و دوم می‌باشد. محدودیت‌های (۲۲) و (۲۳) بیانگر بیشینه ظرفیت برای تأمین‌کنندگان خوراک‌دام و مزارع قابل‌اطمینان می‌باشد. محدودیت‌های (۲۲) و (۲۵) بیانگر بیشینه ظرفیت برای تأمین‌کنندگان خوراک دام و مزارع غیرقابل اطمینان می‌باشد. محدودیت‌های (۲۴) و (۲۷) به‌منظور درنظر گرفتن استراتژی انعطاف‌پذیری می‌باشد که بیان می‌کند درصورتی می‌توان از تأمین‌کنندگان قابل‌اطمینان خوراک دام و مزارع تقاضا کرد که حداقل در دوره‌های ماقبل با آن‌ها قرارداد بسته باشیم و هزینه‌ای را پرداخت کرده باشیم. محدودیت‌های (۲۸) و (۲۹) بیانگر بیشینه ظرفیت برای کشتارگاه‌ها و خرده‌فروشان می‌باشد. محدودیت‌های (۳۰) و (۳۱) و (۳۲) بدین‌معنی است که جریان دام و گوشت ورودی به کشتارگاه‌ها و خرده‌فروشان بیشتر یا مساوی از جریان خروجی آن‌ها باشد که با کمبود در سطوح انتهایی زنجیره مواجه نشویم، لازم به ذکر است α_i در محدودیت (۳۰) ضریب تبدیل خوراک دام به دام می‌باشد. محدودیت‌های (۳۳) و (۳۴) تقاضا برای گوشت و فرآورده‌های گوشتی را ارضا می‌کند. محدودیت‌های (۳۵) تا (۴۲) همانند مدل پایه می‌باشد و بیانگر زمان تحویل است. محدودیت (۴۳) به‌منظور کنترل پیچیدگی گره‌ها قرار گرفته است. محدودیت‌های (۴۴) تا (۴۸) به‌منظور کنترل پیچیدگی جریانات بین گره‌ها درنظر گرفته شده است. در این پژوهش برای شباهت بیشتر به رویکرد مواجه با مسائل در دنیای واقعی از بهینه‌سازی استوار و روش برتسیماس و سیم استفاده شده است.

۳-۳. تقاضای غیرقطعی با رویکرد برتسیماس و سیم

در این مقاله از عدم قطعیت استوار برای تخمین پارامترهای تقاضا درقسمت گوشت و فرآورده‌های گوشتی استفاده شده است، بدین‌صورت که پارامترهای تقاضا به‌صورت $\widehat{D_{cjt}}$ و $\widehat{d_{cjt}}$ مفروض‌اند و مقدار آن‌ها برابر $(D_{cjt} - \widehat{D_{cjt}}\ ,\ D_{cjt} + \widehat{D_{cjt}})$ و $(d_{cjt} + \widehat{d_{cjt}}\ ,\ d_{cjt} - \widehat{d_{cjt}})$ قرار داده شده است و چون پارامترهای تقاضا درسمت بردار b_iها قرار دارند، آن‌ها را در یک متغیری ضرب می‌شود و به‌سمت

بردارهای ضرایب متغیرها انتقال داده می‌شود سپس مانند رویکرد استوارسازی بردار ضرایب، پارامترهای تقاضا استوار می‌شود. درنهایت مقدار متغیر ضرب شده در پارامتر تقاضا را برابر یک فرض می‌شود که خللی در مدل ایجاد نشود. پارامترهای Γ_{cjt} و Γ_{cjt}' را که تنظیم‌کننده سطح حفاظت هستند، مقادیری بین بازه $[0, |j|]$ می‌گیرند، چون در هر سطر فقط یک پارامتر غیرقطعی وجود دارد، مقدار $|j|$ برابر یک خواهد بود و می‌توان از قرارداد این اندیس صرف‌نظر کرد و داریم:

$$\sum_{r'} qr^{s}_{r'\,cjt} - \left(D_{cjt} * \vartheta\right) - \left(\delta_{cjt} * \Gamma_{cjt}\right) - \omega_{cjt} = 0, \quad \forall c,j,t \tag{۴۹}$$

$$\sum_{r''} qr^{s}_{r''\,cjt} - \left(d_{cjt} * \vartheta\right) - \left(\delta'_{cjt} * \Gamma_{cjt}'\right) - \omega_{cjt}' = 0, \quad \forall c,j,t \tag{۵۰}$$

$$\delta_{cjt} + \omega_{cjt} \geq \widehat{D_{cjt}} * \beta, \quad \forall c,j,t \tag{۵۱}$$

$$\delta'_{cjt} + \omega_{cjt}' \geq \widehat{d_{cjt}} * \beta, \quad \forall c,j,t \tag{۵۲}$$

$$-\beta \leq \vartheta \leq \beta \tag{۵۳}$$

$$\vartheta = 1 \tag{۵۴}$$

۳-۴. مدل روش محدودیت اپسیلون تقویت‌شده-۲

بر طبق پژوهش نادیده کاگلایان وهمکارش [۶۶] برای مسئله‌ی حداقل سازی این مدل به‌صورت زیر می‌باشد:

$$\text{Min}\left(f_1(x) - \theta\left(\frac{s_2}{r_2} + 10^{-1} * \frac{s_3}{r_3} \ldots + 10^{(2-n)} * \frac{s_n}{r_n}\right)\right) \tag{۵۵}$$

با در نظر گرفتن قیدهای زیر:

$$f_2(x) + s_2 = \varepsilon_2 \tag{۵۶}$$

$$f_3(x) + s_3 = \varepsilon_3 \tag{۵۷}$$

$$f_n(x) + s_n = \varepsilon_n \tag{۵۸}$$

$$x \in S, s_i \in R^+ \tag{۵۹}$$

جواب‌های پارتو مدل به‌وسیله پارامترهای سمت راست در محدودیت‌های اضافه‌شده (اپسیلون‌ها) به‌دست می‌آیند. r_i دامنه تغییرات تابع هدف iام است:

$$r_i = PIS_{f_i} - NIS_{f_i} \tag{۶۰}$$

که در رابطه فوق PIS_{f_i} بهترین جواب برای تابع هدف iام (ایده‌آل مثبت) و NIS_{f_i} بدترین جواب برای تابع هدف iام(ایده‌آل منفی) بدون درنظر گرفتن سایر توابع هستند. همچنین θ یک عدد بسیار کوچک (معمولاً بین 10^{-3} و10^{-6}) بوده و s_i متغیر کمکی متناظر با تابع هدف iام است. اگر r_i به l_i فاصله مساوی تقسیم شود، تعداد $l_i + 1$ نقطه به‌دست می‌آید، که مقدار هر نقطه از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\varepsilon_i = NIS_{f_i} + \left(\frac{r_i}{l_i} * \gamma_i\right) \tag{۶۱}$$

در رابطه فوق γ_i شماره نقطه است. این روش حل باید برای تمام بردارهای ε انجام شود تا بتوان از بین جواب‌های کارای تولیدی تصمیم‌گیری بهتری صورت پذیرد.

۴. نتایج حل

همان‌طور که اشاره کردیم مدل پیشنهادی این مقاله، طراحی یک زنجیره‌تأمین گوشت باقابلیت ارتجاعی (تاب‌آوری) تحت عدم قطعیت تقاضا است. به‌منظور ساده‌سازی در حل ابتدا مدل کاملاً خطی شده و سپس برای اطمینان از درستی آن در سایزهای کوچک، متوسط و بزرگ حل‌شده است. درانتها به‌منظور حل از نرم‌افزار گمز و حل‌کننده‌ی سیپلکس که با روش دقیق شاخه‌وبرش بهترین جواب را پیدا می‌کند، استفاده شده است. این پژوهش به‌وسیله یک رایانه شخصی با مشخصات، پردازنده intel core i7-8750H و با RAM 24 GB پیاده‌سازی و حل شده است.

۴-۱. داده‌ها و نتایج تحقیقاتی

این مقاله توسعه‌یافته‌ی مدل زنجیره‌تأمین گوشت است که در شهر اونتاریو کانادا پیاده‌سازی شده است. داده‌های ورودی استفاده‌شده در سایز متوسط، یک شبیه‌سازی از داده‌های ورودی پژوهش پایه که توسط محب علی گشتی و همکاران [۳] انجام شده، صورت گرفته است. سایز کوچک و بزرگ هم با میزانی تغییر در سایز متوسط بوجود آمده است. اما به‌منظور افزایش دقت تا جای ممکن از داده‌های مدل پایه استفاده‌شده است و برای مابقی داده‌های موردنیاز باتوجه‌به تجربه‌داران در این زمینه قرار داده‌شده است که در بخش پیوست قرار داده شده است. در جدول (۵) مدل ریاضی بیان شده تحت سه سناریو با احتمال رخداد یکسان حل شده است که از داده‌های پیوست استفاده گردیده است که سناریو اول حالتی است که هیچ اختلالی در زنجیره‌تأمین به‌وجود نیاید فلذا عقد قراردادی با تأمین‌کنندگان قابل‌اطمینان صورت نمی‌گیرد.

سناریو دوم حالتی است که فقط در مزارع اختلال صورت گیرد و سناریو سوم حالتی است که هم در مزارع و هم تأمین‌کنندگان خوراک دام اختلال به‌وجود آید و مشخصاً هرچه اختلال در سطوح بیشتری درنظر گرفته شود عقد قرارداد با تسهیلات مطمئن‌تر بیشتر می‌شود و هزینه کل افزایش می‌یابد.

جدول (۵). تحلیل استراتژی تاب‌آوری

	هزینه کل	سطح سرویس	مجموع کل قراردادها	احتمال هر سناریو
سناریو ۱	۱۰,۳۶۹,۲۳۱	۱۰۸,۱۷۱	۰	۰/۳۳
سناریو ۲	۱۸/۶۶۸,۷۱۵	۱۰۸,۱۵۸	۱۵	۰/۳۳
سناریو ۳	۱۸,۹۴۰,۲۹۷	۱۰۸,۱۵۸	۲۱	۰/۳۳

در جدول (۶) مدل ریاضی بیان شده طبق مقادیر پیوست برای هرکدام از توابع هدف حل و با یکدیگر مقایسه شده است. در جدول (۷) بهترین و بدترین مقدار هر دو تابع هدف با یکدیگر مقایسه شده‌اند.

جدول(۶). مقادیر مختلف توابع هدف در ابعاد مختلف

	تابع هزینه	تابع سطح سرویس
سایزکوچک	۴,۵۸۳,۸۵۱	22,749
سایزمتوسط	۱۷,۳۴۳,۴۷۳	۱۶۲،۱۰۸
سایز بزرگ	۲۵,۵۴۶,۵۷۶	۷۸۷،۲۰۹

جدول (۷). بهترین و بدترین مقدار توابع هدف در حالت چندمرحله‌ای

	Z1	Z2
Z1	۷,۳۴۳,۴۸۳۱	۱۰۸,۰۶۴
Z2	۲۱,۰۷۷,۲۷۵	۱۰۸,۱۶۲

شکل (۳) جواب‌های کارا تابع هزینه و تابع سطح سرویس را در ۱۱ نقطه مورد بررسی و مقایسه قرار می‌دهد. جدول (۱۲) تغییرات تابع هدف هزینه و تابع سطح سرویس را نسبت‌به تغییرات پیچیدگی گره‌ها بیان و جدول (۱۳) توابع هدف مسأله برای مدل پایه و مدل پیشنهادی با مقادیر یکسان باهم مقایسه شده‌اند.

شکل(۳). جواب‌های کارا

۴-۲. تحلیل حساسیت

در جدول (۸) توابع هدف مسأله برای مدل پایه و مدل پیشنهادی باهم مقایسه شدند و لازم به‌ذکر است داده‌های هردو مقدار یکسانی درنظر گرفته شده است. مشاهده می‌شود زمانی‌که به مدل پایه قابلیت ارتجاعی و عدم قطعیت اضافه می‌شود، تابع هزینه به‌مقدار ۱۴۱۲۶۶۸۰ واحد افزایش می‌یابد و تابع سطح سرویس هم به مقدار ۱۳ واحد کاهش پیدا می‌کند.

جدول (۸). مقایسه مدل پایه و مدل پیشنهادی

	مدل پایه	مدل پیشنهادی	انحراف
تابع هزینه	۳,۲۱۶,۸۰۳	۱۷,۳۴۳,۴۸۳	۱۴,۱۲۶,۶۸۰
تابع سطح سرویس	۱۰۸,۱۷۵	۱۰۸,۱۶۲	۱۳

جداول (۹) و(۱۰) تأثیر قابلیت ارتجاعی و استواری را در ابعاد مختلف بر هزینه و سطح سرویس نشان می‌دهند که مشاهده می‌شود اگر قابلیت ارتجاعی یا استواری حذف شود توابع هدف بهتر می‌شوند که طبیعی است. لازم به ذکر است در هرکدام از تغییرات با شرط ثبات سایر پارامترها اعمال شده است.

در جدول (۱۱) داده‌ها و پارامترهای ورودی در هر دو مدل یکسان است، اما به‌دلیل افزوده شدن قابلیت ارتجاعی و عدم قطعیت مسیر اندیس‌ها تغییر کرده و تعداد متغیرهای تصمیم مدل افزایش پیدا کرده است.در جداول (۱۲) و (۱۳) مقایسه مدل بین حداکثر و حداقل تعداد بهینه گره و جریان مشاهده می‌شوند و تفاوت مسیر اندیس‌ها و تعداد متغیرهای تصمیم نشان داده شده‌اند.

جدول (۹). تأثیر قابلیت ارتجاعی و استواری بر تابع هزینه

سایز	بدون قابلیت ارتجاعی	بدون استواری در تقاضا	همراه قابلیت ارتجاعی و استواری
سایزکوچک	۸۸۰,۴۰۹	۴,۳۹۵,۴۱۳	۴,۵۸۳,۸۵۱
سایزمتوسط	۳,۴۴۷,۳۷۰	۱۶,۱۷۳,۴۶۳	۱۷,۳۴۳,۴۸۳
سایز بزرگ	۴,۸۶۵,۰۴۸	۲۴,۱۹۲,۲۶۲	۲۵,۵۴۶,۵۸۶

جدول(۱۰). تأثیر قابلیت ارتجاعی و استواری بر تابع سطح سرویس

سایز	بدون قابلیت ارتجاعی	بدون استواری در تقاضا	همراه قابلیت ارتجاعی و استواری
سایزکوچک	۲۲,۷۵۳	۲۲,۷۵۰	۲۲,۷۴۹
سایزمتوسط	۱۰۸,۱۷۱	۱۰۸,۱۶۷	۱۰۸,۱۶۲
سایز بزرگ	۲۰۹,۸۵۳	۲۰۹,۷۹۰	۲۰۹,۷۸۷

جدول (۱۱). مقایسه متغیرها و اندیس‌ها در مدل پایه و مدل پیشنهادی

مدل پایه				مدل پیشنهادی			
اندیس	مقادیر	متغیر	تعداداندیس	مقادیر	متغیر	تعداد
K	(۳,۶)	qs_{kfit}	۸	(۳,۵,۶)	qs^s_{kfit}	۲۰
F	(۱,۴)	qf_{fajt}	۲۴	(۱,۳,۴)	qf^s_{fajt}	۶۴
A	(۱,۲,۳)	qa_{arjt}	۵۰	(۱,۲,۳,۵)	qa^s_{arjt}	۱۳۶
R	(۱,۲,۳,۴,۵,۶)	qr_{rcjt}	۱۱۳	(۱,۲,۳,۴,۵,۶)	qr^s_{rcjt}	۳۴۳

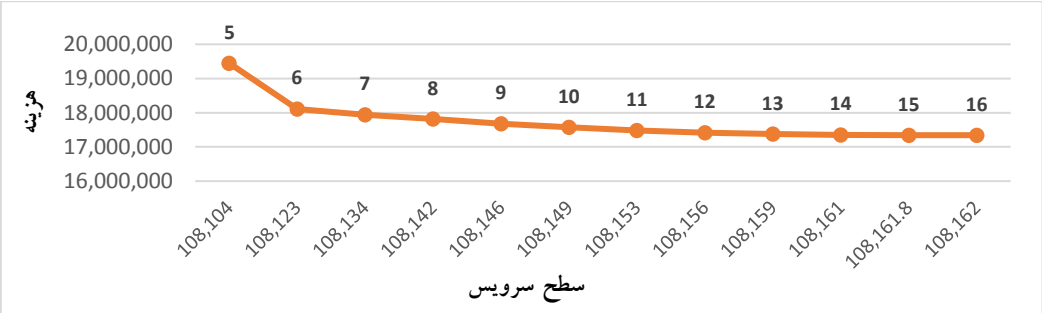
جدول (۱۲). مقایسه متغیرها و اندیس‌ها در گره‌ها

۵ گره				۱۶ گره		
اندیس	مقادیر	متغیر	تعداد	اندیس	مقادیر	متغیر	تعداد
K	(۳)	qs^s_{kfit}	۱۲	K	(۳,۵,۶)	qs^s_{kfit}	۲۰
F	(۳)	qf^s_{fajt}	۲۴	F	(۱,۳,۴)	qf^s_{fajt}	۶۴
A	(۵)	qa^s_{arjt}	۴۸	A	(۱,۲,۳,۵)	qa^s_{arjt}	۱۳۶
R	(۲,۴)	qr^s_{rcjt}	۳۳۶	R	(۱,۲,۳,۴,۵,۶)	qr^s_{rcjt}	۳۴۳

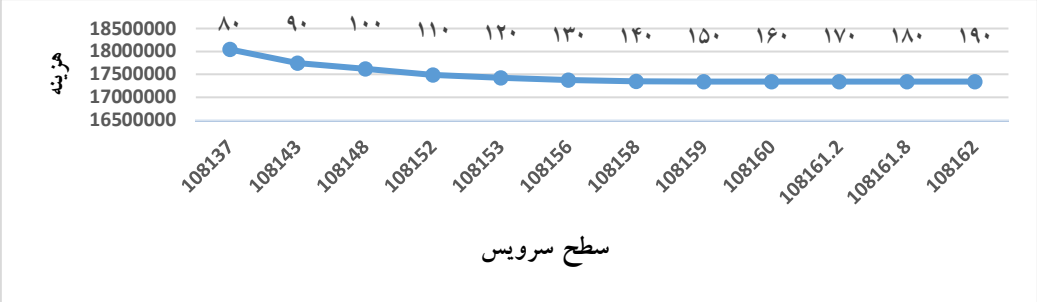
جدول (۱۳). مقایسه متغیرها و اندیس‌ها در جریان‌ها

۸۰ جریان				۱۹۰ جریان		
اندیس	مقادیر	متغیر	تعداد	اندیس	مقادیر	متغیر	تعداد
K	(۳,۴)	qs^s_{kfit}	۱۲	K	(۳,۵,۶)	qs^s_{kfit}	۲۰
F	(۳,۵)	qf^s_{fajt}	۲۴	F	(۱,۳,۴)	qf^s_{fajt}	۶۴
A	(۵)	qa^s_{arjt}	۴۸	A	(۱,۲,۳,۵)	qa^s_{arjt}	۱۳۶
R	(۲,۴)	qr^s_{rcjt}	۳۳۶	R	(۱,۲,۳,۴,۵,۶)	qr^s_{rcjt}	۳۴۳

براساس شکل‌های (۴) و (۵) می‌توان تفسیر نمود که هرچه گره و جریان یک مدل افزایش یابد هردو تابع هدف بهتر می‌شوند زیرا اگر آن‌ها از یک حدی کمتر باشند مدل جواب‌های خوب را ازدست می‌دهد اما باید درنظر داشت تعداد گره‌ها و جریان‌ها تا یک حدی می‌تواند جواب را بهبود بدهد اگر بیش‌از اندازه درنظر بگیریم فقط پیچیدگی مدل بالا می‌رود.



شکل (۴). تحلیل حساسیت بر پیچیدگی گره‌ها



شکل (۵). تحلیل حساسیت بر پیچیدگی جریان‌ها

۴-۳. اعتبارسنجی

در این مقاله برای اعتبار سنجی مدل ارائه شده از شاخص EVPI[1] به‌منظور درستی سناریوهای تاب‌آوری استفاده شده است. در شاخص EVPI ارزش دراختیار داشتن اطلاعات را نشان می‌دهد، براساس جدول (۱۴) این موضوع مشهود است که اگر از قبل بدانیم چه سناریویی در هر دوره اتفاق می‌افتد نسبت حالتی‌که سناریوها احتمالی درنظر گرفته شود، مقدار ۱۳۴۹۷۷۷ از هزینه کاهش می‌یابد.

$$EVPI = Z_{MS} - Z_{AVG}$$

جدول (۱۴). شاخص EVPI

	هزینه کل
سناریو ۱	۱۰,۳۶۹,۲۳۱
سناریو ۲	۱۸,۶۶۸,۷۱۵
سناریو ۳	۱۸,۹۴۰,۲۹۷
مجموع	۴۷,۹۷۸,۲۴۳
میانگین	۱۵,۹۹۲,۷۴۷/۸
چند سطحی	۱۷,۳۴۳,۴۸۳
EVPI	۱,۳۴۹,۷۷۷

مدل براساس داده‌های کوچک، متوسط و بزرگ به تعداد دفعات زیادی اجرا شده و نتایج به‌دست آمده منطقی بوده است. طراحی به‌گونه‌ای انجام شده که تابع هدف دوم که مربوط به زمان است، به‌طور مستقیم با داده‌های ورودی و خروجی زمان تعامل داشته باشد. در این مدل، تابع هدف اول و دوم با استفاده از چندین متغیر داخلی به یکدیگر متصل شده‌اند. هدف از تابع هدف دوم کاهش زمان تحویل تا حد امکان است که این ویژگی در مقالات و مسائل مختلف نیز مشاهده می‌شود. برای اعتبارسنجی این پژوهش، از مطالعه موردی در منطقه اونتاریو استفاده شده است؛ با این‌حال، در مورد متغیرهای زمانی، به‌دلیل نبود مطالعه موردی، از داده‌های تجربی بهره گرفته شده است. نوآوری اصلی این پژوهش بر بهبود سطح سرویس متمرکز است، چراکه زمان تحویل در تابع هدف به‌عنوان یک عامل واقعی‌تر درنظر گرفته شده، به‌ویژه باتوجه‌به این‌که این مدل براساس شرایط خاص ایران طراحی شده است.

۵. نتیجه‌گیری و پیشنهادهای آتی

مدیریت زنجیره‌تأمین به‌معنای یک راهکار علمی و دقیق برای هماهنگی بهتر کلیه اعضای زنجیره‌تأمین در راستای یک هدف مشخص و پرهیز از مدیریت جزیره‌ای است. در این مطالعه ابتدا به‌مرور ادبیات پژوهش‌های گذشته در حوزه زنجیره‌تأمین گوشت پرداخته شد در این تحقیق ابتدا با بررسی آخرین و قابل‌اعتمادترین ادبیات موضوع، کلیه خلأهای موجود در این زمینه شناسایی شد و باتوجه‌به امکانات

1. Expected Value of Perfect Information

اجرایی، مفروضات مسأله همراه با سناریو ایجاد گشت. در ادامه با استفاده از این مفروضات، مدل طراحی شد. در این مقاله بر روی بخش حمل‌ونقل بسیار تأکید شده است و بخش اعظمی از هزینه‌ها را به‌خود اختصاص داده است که طبیعی است زیرا هدف این زنجیره ارائه گوشت یا فرآورده گوشتی تازه به‌دست مشتری است.

براساس مشاهدات ما، هدف اولیه، کمک به زنجیره‌تأمین گوشت تازه در تصمیم‌گیری در مورد انتخاب مراکز تأمین‌کننده خوراک دام، مزارع و خرده‌فروشان ازبین گزینه‌های موجود جهت همکاری و مکان‌یابی جهت بازگشایی کشتارگاه‌ها است. در مدل بیان شده تأمین‌کنندگان خوراک دام و امکان اختلال در آن‌ها و تأثیر آن بر کل زنجیره‌تأمین از دیگر مباحثی است که تابه‌حال دیده نشده است. استفاده از تأمین‌کنندگان قابل‌اطمینان برای مقابله با اختلال از دیگر عناوین دیده نشده در این حوزه است که با صرف هزینه‌ای به‌منظور عقد قرارداد از انقطاع زنجیره در شرایط سخت جلوگیری شد و سطح سرویس زنجیره پایدار ماند.

۵-۱. پیشنهادهای مدیریتی

براساس تجربیات کسب‌شده از انجام این مقاله نظرات و پیشنهادهای مدیریتی در صورت بهره‌وری از این پژوهش بیان می‌شود که عبارت‌اند از:

- از مدیریت جزیره‌ای زنجیره‌تأمین گوشت پرهیز می‌شود.
- باعث افزایش سلامت دام‌ها و رسیدن گوشت تازه به مقدار کافی و به‌موقع به‌دست مشتری می‌شود که خود سلامت جامعه را افزایش می‌دهد.
- مدیران می‌توانند ریسک‌های موجود در داخل زنجیره‌تأمین گوشت را شناسایی کنند و قبل از وقوع اختلال برای مقابله با آن‌ها برنامه‌ریزی مناسب داشته باشند.
- مدیران می‌توانند برنامه‌ریزی مناسب‌تری در کنترل حمل‌ونقل و مدیریت هزینه‌های داخل شبکه باتوجه‌به پویایی تقاضا ازطرف مصرف‌کنندگان داشته باشند.

۵-۲. پیشنهادهای آتی

دامنه طراحی و مدل‌سازی شبکه‌های زنجیره‌تأمین بسیار گسترده است و رویکردهای حل متفاوتی می‌توان برای آن‌ها درنظر گرفت، همچنین با درنظر داشتن مفروضات جدید می‌توان مدل‌های قبلی را گونه‌ای تغییر داد که نتایج حل دقیق‌تر و سریع‌تر داشته باشند. ما درنهایت برای سایر محققان جهت توسعه بیشتر و بهتر باتوجه‌به تجربیات کسب‌شده درنظر گرفتن موجودی در همه‌ی سطوح زنجیره، درنظر گرفتن هزینه‌های پس‌افت، موجودی و تقاضای ازدست‌رفته و تأثیر آن بر سطح سرویس، درنظر گرفتن زمان انقضای گوشت و تأثیر آن بر موجودی و حمل‌ونقل، درنظر گرفتن امکان اختلال در سطوح گشتارگاه‌ها و خرده‌فروشان، درنظر گرفتن چرخه بازگشت ضایعات کشتارگاه‌ها برای تأمین‌کنندگان خوراک دام و یا مزارع، درنظر گرفتن تابع هدف سبز در کنار توابع هدف ارائه شده، استفاده از رویکردهای جدیدتر استوار در مقابله با عدم قطعیت، استفاده از الگوریتم‌های فراابتکاری جهت حل مدل، استفاده از روش‌های بهبود جواب براساس ساختار همسایگی پیشنهاد می‌کنیم.

پیوست

در این بخش کلیه داده‌های ورودی که در فصل ۴ جهت حل و تحلیل حساسیت مدل ریاضی از آن‌ها استفاده گردید طی جداول (۱۵) تا (۲۳) ارائه می‌گردد.

جدول (۱۵). مقادیر اندیس‌ها

مسأله	شاخص														
	S	T	C	r''	r'	R	A	f''	f'	F	k''	k'	K	J	I
سایزکوچک	۳	۲	۴	۲	۲	۴	۳	۲	۲	۴	۲	۲	۴	۲	۲
سایزمتوسط	۳	۴	۷	۳	۳	۶	۵	۳	۳	۶	۳	۳	۶	۲	۲
سایز بزرگ	۳	۴	۱۰	۴	۴	۸	۷	۴	۴	۸	۴	۴	۸	۲	۲

جدول (۱۶). پارامتر هزینه خرید خوراک دام (p_{kis})

	سناریو ۱	سناریو ۲	سناریو ۳		سناریو ۱	سناریو ۲	سناریو ۳
K1.i1	۲۰۰۰	۲۰۰۰	۲۵۰۰	K4.i1	۱۲۰۰	۱۲۰۰	۲۰۰۰
K1.i2	۲۲۰۰	۲۲۰۰	۳۰۰۰	K4.i2	۱۰۰۰	۱۰۰۰	۱۵۰۰
K2.i1	۲۰۰۰	۲۰۰۰	۲۵۰۰	K5.i1	۱۲۰۰	۱۲۰۰	۲۰۰۰
K2.i2	۲۲۰۰	۲۲۰۰	۳۰۰۰	K5.i2	۱۰۰۰	۱۰۰۰	۱۵۰۰
K3.i1	۲۰۰۰	۲۰۰۰	۲۵۰۰	K6.i1	۱۲۰۰	۱۲۰۰	۲۰۰۰
K3.i2	۲۲۰۰	۲۲۰۰	۳۰۰۰	K6.i2	۱۲۰۰	۱۲۰۰	۲۰۰۰

جدول (۱۷). پارامتر هزینه خرید دام (p_{fjs})

	سناریو ۱	سناریو ۲	سناریو ۳		سناریو ۱	سناریو ۲	سناریو ۳
F1.j1	۳۰۰۰	۴۰۰۰	۵۰۰۰	F4.j1	۲۰۰۰	۳۰۰۰	۴۰۰۰
F1.j2	۳۵۰۰	۴۵۰۰	۵۵۰۰	F4.j2	۲۵۰۰	۳۵۰۰	۴۵۰۰
F2.j1	۳۰۰۰	۴۰۰۰	۵۰۰۰	F5.j1	۲۰۰۰	۳۰۰۰	۴۰۰۰
F2.j2	۳۵۰۰	۴۵۰۰	۵۵۰۰	F5.j2	۲۵۰۰	۳۵۰۰	۴۵۰۰
F3.j1	۳۰۰۰	۴۰۰۰	۵۰۰۰	F6.j1	۲۰۰۰	۳۰۰۰	۴۰۰۰
F3.j2	۳۵۰۰	۴۵۰۰	۵۵۰۰	F6.j2	۲۵۰۰	۳۵۰۰	۴۵۰۰

جدول (۱۸). پارامتر (λ^{s}_{kt})

	سناریو ۱	سناریو ۲	سناریو ۳		سناریو ۱	سناریو ۲	سناریو ۳
K1.j1	۰	۰	۱	K4.j1	۰	۰	۱
K1.j2	۰	۰	۱	K4.j2	۰	۰	۱
K1.j3	۰	۰	۱	K4.j3	۰	۰	۱
K1.j4	۰	۰	۱	K4.j4	۰	۰	۱
K2.j1	۰	۰	۱	K5.j1	۰	۰	۱
K2.j2	۰	۰	۱	K5.j2	۰	۰	۱
K2.j3	۰	۰	۱	K5.j3	۰	۰	۱
K2.j4	۰	۰	۱	K5.j4	۰	۰	۱
K3.j1	۰	۰	۱	K6.j1	۰	۰	۱
K3.j2	۰	۰	۱	K6.j2	۰	۰	۱
K3.j3	۰	۰	۱	K6.j3	۰	۰	۱
K3.j4	۰	۰	۱	K6.j4	۰	۰	۱

جدول (۱۹). پارامتر (γ_{ft}^{s})

	سناریو ۱	سناریو ۲	سناریو ۳		سناریو ۱	سناریو ۲	سناریو ۳
F1.t1	۰	۱	۱	F4.t1	۰	۱	۱
F1.t2	۰	۱	۱	F4.t2	۰	۱	۱
F1.t3	۰	۱	۱	F4.t3	۰	۱	۱
F1.t4	۰	۱	۱	F4.t4	۰	۱	۱
F2.t1	۰	۱	۱	F5.t1	۰	۱	۱
F2.t2	۰	۱	۱	F5.t2	۰	۱	۱
F2.t3	۰	۱	۱	F5.t3	۰	۱	۱
F2.t4	۰	۱	۱	F5.t4	۰	۱	۱
F3.t1	۰	۱	۱	F6.t1	۰	۱	۱
F3.t2	۰	۱	۱	F6.t2	۰	۱	۱
F3.t3	۰	۱	۱	F6.t3	۰	۱	۱
F3.t4	۰	۱	۱	F6.t4	۰	۱	۱

جدول (۲۰). ضریب تبدیل خوراک دام

(i)	۱	۲
a(i)	۵	۱۰

جدول (۲۱). پارامترهای ورودی

پارامتر	مقدار	پارامتر	مقدار
$n_{k'it}$	Uniform(۵۰،۱۰۰)	$tsmax_{kfit}$	Uniform(۱،۲۰۰)
$b_{f'jt}$	Uniform(۵۰،۱۰۰)	$tfmax_{fajt}$	Uniform(۱،۲۰۰)
B_a	1000	$tamax_{arjt}$	Uniform(۱،۲۰۰)
e_r	1000	$trmax_{rcjt}$	Uniform(۱،۲۰۰)
se_{kf}	Uniform(۱۰،۲۰۰)	BS	۲۴
de_{fa}	Uniform(۱۰،۲۰۰)	D_{cjt}	Uniform(۰,۲,۲۷,۳)
ge_{ar}	Uniform(۱۰،۳۰۰)	d_{cjt}	Uniform(۱،۱۵)
he_{rc}	Uniform(۵،۲۶۰)	y_{ki}	۲۰۰
sc_{kfit}	۶(k′,f′)= ۳/(k′′,f′′)	x_{fj}	۲۰۰
kc_{fajt}	۶(k′,f′)= ۳/(k′′,f′′)	o_{aj}	۲۰۰
lc_{arjt}	3	u_{rj}	۲۰۰
mc_{rcjt}	3	M	عدد مثبت بسیار بزرگ
tps_{kfit}	Uniform(۰،۲)	Γ_{cjt}	Uniform(۰،۱)
tpf_{fajt}	Uniform(۰،۲)	Γ_{cjt}'	Uniform(۰،۱)
tpa_{arjt}	Uniform(۰،۲)	$\widehat{D_{cjt}}$	Uniform(۱،۵)
tpr_{rcjt}	Uniform(۰،۲)	$\widehat{d_{cjt}}$	Uniform(۱،۵)

مراجع

[1] Gholami-Zanjani, S. M., Jabalameli, M. S. & Pishvaee, M. S., (2021). "A resilient-green model for multi-echelon meat supply chain planning". Computers & Industrial Engineering, vol. 152, p. 107018, https://doi.org/10.1016/j.cie.2020.107018.

[۲] کوچک زاده، ز.، غلامی، س.و رحمانی، د.، (۱۴۰۱). «ارائه مدل بهینه‌سازی استوار برای طراحی شبکه زنجیره‌تأمین حلقه بسته سبز کالاهای فاسدشدنی». نشریه پژوهش‌های مهندسی صنایع در سیستم‌های تولید، دوره ۱۰ شماره ۲۰، ۱۳۱-۱۱۳ https://doi.org/10.22084/ier.2023.26822.2095.

[3] Mohebalizadehgashti, F., Zolfagharinia, H. & Amin, S. H., (2020). "Designing a green meat supply chain network: A multi-objective approach". International Journal of Production Economics, vol. 219, https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.07.007.

[4] James, S. J., James, C. & Evans, J. A., (2006). "Modelling of food transportation systems - a review". International Journal of Refrigeration, vol. 29, no. 6, pp. 947–957, https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2006.03.017.

[5] Soysal, M., (2012). "A Review on Quantitative Models for Sustainable Food Logistics Management". International Journal on Food System Dynamics, vol. 3, no. 2, pp. 136–155, https://doi.org/10.18461/ijfsd.v3i2.324.

[6] Rijpkema, W. A., Hendrix, E. M. T. Rossi, R. & van der Vorst, J. G. A. J., (2016). "Application of stochastic programming to reduce uncertainty in quality-based supply planning of slaughterhouses". Annals of Operations Research, vol. 239, no. 2, pp. 613–624, https://doi.org/10.1007/s10479-013-1460-y.

[7] Mogale, D. G., Kumar, M., Kumar, S. K. & Tiwari, M. K., (2018). "Grain silo location-allocation problem with dwell time for optimization of food grain supply chain network". Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, vol. 111, no. January, pp. 40–69, https://doi.org/10.1016/j.tre.2018.01.004.

[8] Villegas, J. G., Palacios, F. & Medaglia, A. L., (2006). "Solution methods for the bi-objective (cost-coverage) unconstrained facility location problem with an illustrative example". Annals of Operations Research, vol. 147, no. 1, pp. 109–141, https://doi.org/10.1007/s10479-006-0061-4.

[9] Paksoy, T., Pehlivan, N. Y. & Özceylan, E., (2012). "Application of fuzzy optimization to a supply chain network design: A case study of an edible vegetable oils manufacturer". Applied Mathematical Modelling, vol. 36, no. 6, pp. 2762–2776, https://doi.org/10.1016/j.apm.2011.09.060.

[10] Teimoury, E., Nedaei, H., Ansari, S. & Sabbaghi, M., (2013). "A multi-objective analysis for import quota policy making in a perishable fruit and vegetable supply chain: A system dynamics approach". Computers and Electronics in Agriculture, vol. 93, pp. 37–45, https://doi.org/10.1016/j.compag.2013.01.010.

[11] García-Flores, R., Higgins, A., Prestwidge, D. & McFallan, S., (2014). "Optimal location of spelling yards for the northern Australian beef supply chain". Computers and Electronics in Agriculture, vol. 102, pp. 134–145, https://doi.org/10.1016/j.compag.2014.01.015.

[12] Mohammed, A. & Wang, Q., (2015). "Integrity of an RFID-enabled HMSC Network". 2015.

[13] Mohammed, A. & Wang, Q., (2017). "Developing a meat supply chain network design using a multi-objective possibilistic programming approach". British Food Journal, vol. 119, no. 3, pp. 690–706, https://doi.org/10.1108/BFJ-10-2016-0475.

[14] Mohammed, A. & Wang, Q., (2017). "Multi-criteria optimization for a cost-effective design of an RFID-based meat supply chain". British Food Journal, vol. 119, no. 3, pp. 676–689, https://doi.org/10.1108/BFJ-03-2016-0122.

[15] Soysal, M., Bloemhof-Ruwaard, J. M. & van der Vorst, J. G. A. J., (2014). "Modelling food logistics networks with emission considerations: The case of an international beef supply chain". International Journal of Production Economics, vol. 152, pp. 57–70, https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2013.12.012.

[16] Babbar, C. & Amin, S. H., (2018). "A multi-objective mathematical model integrating environmental concerns for supplier selection and order allocation based on fuzzy QFD in beverages industry". Expert Systems with Applications, vol. 92, pp. 27–38,

supply chain network design with fuzzy information". Journal of Intelligent Manufacturing, vol. 29, no. 2, pp. 389–403, 2018, https://doi.org/10.1007/s10845-015-1115-8.

[30] Pishvaee, M. S. & Torabi, S. A., (2010). "A possibilistic programming approach for closed-loop supply chain network design under uncertainty". Fuzzy Sets and Systems, vol. 161, no. 20, pp. 2668–2683, https://doi.org/10.1016/j.fss.2010.04.010.

[31] Pishvaee, M. S., Rabbani, M. & Torabi, S. A., (2011). "A robust optimization approach to closed-loop supply chain network design under uncertainty". Applied Mathematical Modelling, vol. 35, no. 2, pp. 637–649, https://doi.org/10.1016/j.apm.2010.07.013.

[32] Ramezani, M., Bashiri, M. & Tavakkoli-Moghaddam, R., (2013). "A robust design for a closed-loop supply chain network under an uncertain environment". International Journal of Advanced Manufacturing Technology, vol. 66, no. 5–8, pp. 825–843, https://doi.org/10.1007/s00170-012-4369-8.

[33] Lalmazloumian, M., Wong, K. Y., Govindan, K. & Kannan, D., (2016). "A robust optimization model for agile and build-to-order supply chain planning under uncertainties". Annals of Operations Research, vol. 240, no. 2, pp. 435–470, https://doi.org/10.1007/s10479-013-1421-5.

[34] Ramezani, M., Kimiagari, A. M., Karimi, B. & Hejazi, T. H., (2014). "Closed-loop supply chain network design under a fuzzy environment". Knowledge-Based Systems, vol. 59, pp. 108–120, https://doi.org/10.1016/j.knosys.2014.01.016.

[35] Baghalian, A., Rezapour, S. & Farahani, R. Z., (2013). "Robust supply chain network design with service level against disruptions and demand uncertainties: A real-life case". European Journal of Operational Research, vol. 227, no. 1, pp. 199–215, https://doi.org/10.1016/j.ejor.2012.12.017.

[36] Sabouhi, F., Pishvaee, M. S. & Jabalameli, M. S., (2018). "Resilient supply chain design under operational and disruption risks considering quantity discount: A case study of pharmaceutical supply chain". Computers & Industrial Engineering, vol. 126, pp. 657–672, https://doi.org/10.1016/j.cie.2018.10.001.

[37] Zahiri, B., Zhuang, J. & Mohammadi, M., (2017). "Toward an integrated sustainable-resilient supply chain: A pharmaceutical case study". Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, vol. 103, no. 2017, pp. 109–142, https://doi.org/10.1016/j.tre.2017.04.009.

[38] Rezapour, S., Farahani, R. Z. & Pourakbar, M., (2017). "Resilient supply chain network design under competition: A case study". European Journal of Operational Research, vol. 259, no. 3, pp. 1017–1035, https://doi.org/10.1016/j.ejor.2016.11.041.

[39] Jabbarzadeh, A., Fahimnia, B., Sheu, J. B. & Moghadam, H. S., (2016). "Designing a supply chain resilient to major disruptions and supply/demand interruptions". Transportation Research Part B: Methodological, vol. 94, pp. 121–149, https://doi.org/10.1016/j.trb.2016.09.004.

[40] Kamalahmadi, M. & Mellat-Parast, M., (2016). "Developing a resilient supply chain through supplier flexibility and reliability assessment". International Journal of Production Research, vol. 54, no. 1, pp. 302–321, https://doi.org/10.1080/00207543.2015.1088971.

[41] Meena, P. L. & Sarmah, S. P., (2013). "Multiple sourcing under supplier failure risk and quantity discount: A genetic algorithm approach". Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, vol. 50, no. 1, pp. 84–97, https://doi.org/10.1016/j.tre.2012.10.001.

https://doi.org/10.1016/j.eswa.2017.09.041

[17] Bortolini, M., Faccio, M., Ferrari, E., Gamberi, M. & Pilati, F., (2016). "Fresh food sustainable distribution: cost, delivery time and carbon footprint three-objective optimization". Journal of Food Engineering, vol. 174, pp. 56–67, https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2015.11.014.

[18] Gholamian, N., Mahdavi, I., Tavakkoli-Moghaddam, R. & Mahdavi-Amiri, N., (2015). "Comprehensive fuzzy multi-objective multi-product multi-site aggregate production planning decisions in a supply chain under uncertainty". Applied Soft Computing, vol. 37, pp. 585–607, https://doi.org/10.1016/j.asoc.2015.08.041.

[19] Jeihoonian, M., Kazemi Zanjani, M. & Gendreau, M., (2017). "Closed-loop supply chain network design under uncertain quality status: Case of durable products". International Journal of Production Economics, vol. 183, pp. 470–486, https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2016.07.023.

[20] 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, vol. 70, pp. 225–244, https://doi.org/10.1016/j.tre.2014.06.003.

[21] Amin, S. H., Zhang, G. & Akhtar, P., (2017). "Effects of uncertainty on a tire closed-loop supply chain network". Expert Systems with Applications, vol. 73, pp. 82–91, https://doi.org/10.1016/j.eswa.2016.12.024.

[22] Liang, T.-F., (2006). "Distribution planning decisions using interactive fuzzy multi-objective linear programming". Fuzzy Sets and Systems, vol. 157, no. 10, pp. 1303–1316, https://doi.org/10.1016/j.fss.2006.01.014.

[23] Mirzapour Al-e-hashem, S. M. J., Malekly, H. & Aryanezhad, M. B., (2011). "A multi-objective robust optimization model for multi-product multi-site aggregate production planning in a supply chain under uncertainty". International Journal of Production Economics, vol. 134, no. 1, pp. 28–42, https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2011.01.027.

[24] Mirakhorli, A., (2014). "Fuzzy multi-objective optimization for closed loop logistics network design in bread-producing industries". International Journal of Advanced Manufacturing Technology, vol. 70, no. 1–4, pp. 349–362, https://doi.org/10.1007/s00170-013-5264-7.

[25] Yang, G. Q., Liu, Y. K. & Yang, K., (2015). "Multi-objective biogeography-based optimization for supply chain network design under uncertainty". Computers and Industrial Engineering, vol. 85, pp. 145–156, https://doi.org/10.1016/j.cie.2015.03.008.

[26] Azadeh, A., Shafiee, F., Yazdanparast, R., Heydari, J. & Fathabad, A. M., (2017). "Evolutionary multi-objective optimization of environmental indicators of integrated crude oil supply chain under uncertainty". Journal of Cleaner Production, vol. 152, pp. 295–311, https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.03.105.

[27] Mohammed, A., Wang, Q. & Li, X., (2017). "A cost-effective decision-making algorithm for an RFID-enabled HMSC network design A multi-objective approach". Industrial Management and Data Systems, vol. 117, no. 9, pp. 1782–1799, https://doi.org/10.1108/IMDS-02-2016-0074.

[28] Rahimi, E., Paydar, M. M., Mahdavi, I., Jouzdani, J. & Arabsheybani, A., (2018). "A robust optimization model for multi-objective multi-period supply chain planning under uncertainty considering quantity discounts". Journal of Industrial and Production Engineering, vol. 35, no. 4, pp. 214–228, https://doi.org/10.1080/21681015.2018.1441195.

[29] Yu, J., Gan, M., Ni, S., & Chen, D., (2018). "Multi-objective models and real case study for dual-channel FAP

https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2003.09.014.
[50] Torabi, S. A. & Hassini, E., (2008). "An interactive possibilistic programming approach for multiple objective supply chain master planning". Fuzzy Sets and Systems, vol. 159, no. 2, pp. 193–214, https://doi.org/10.1016/j.fss.2007.08.010.
[51] Azaron, A., Brown, K. N., Tarim, S. A. & Modarres, M., (2008). "A multi-objective stochastic programming approach for supply chain design considering risk". International Journal of Production Economics, vol. 116, no. 1, pp. 129–138, https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2008.08.002.
[52] Liu, S. & Papageorgiou, L. G., (2013). "Multiobjective optimisation of production, distribution and capacity planning of global supply chains in the process industry". Omega, vol. 41, no. 2, pp. 369–382, https://doi.org/10.1016/j.omega.2012.03.007.
[53] Kler, R. et al., (2022). "Optimization of Meat and Poultry Farm Inventory Stock Using Data Analytics for Green Supply Chain Network". Discrete Dynamics in Nature and Society, vol. 2022, https://doi.org/10.1155/2022/8970549.
[54] Arabsheybani, A., Arshadi Khamseh, A. & Pishvaee, M. S., (2023). "Optimizing green supply chain for perishable products considering nano-silver packaging under uncertain demand". Environment, Development and Sustainability, https://doi.org/10.1007/s10668-023-03057-8.
[55] Al Theeb, N., Abu-Aleqa, M. & Diabat, A., (2024). "Multi-objective optimization of two-echelon vehicle routing problem: Vaccines distribution as a case study". Computers and Industrial Engineering, vol. 187, https://doi.org/10.1016/j.cie.2023.109590.
[56] Li, Z. & Zhang, C., (2024). "Designing a two-stage model for the resilient agri-food supply chain network under dynamic competition". British Food Journal, vol. 126, no. 2, https://doi.org/10.1108/BFJ-12-2022-1135.
[57] Caglayan, N. & Satoglu, S. I., (2021). "Multi-objective two-stage stochastic programming model for a proposed casualty transportation system in large-scale disasters: A case study". Mathematics, vol. 9, no. 4, pp. 1–22, https://doi.org/10.3390/math9040316.
[42] Jabbarzadeh, A., Fahimnia, B. & Sabouhi, F., (2018). "Resilient and sustainable supply chain design: sustainability analysis under disruption risks". International Journal of Production Research, vol. 56, no. 17, pp. 5945–5968, https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1461950.
[43] Sawik, T., (2013). "Selection of resilient supply portfolio under disruption risks". Omega (United Kingdom), vol. 41, no. 2, pp. 259–269, https://doi.org/10.1016/j.omega.2012.05.003.
[44] Church, R. & Scaparra, M. P., (2007). "Analysis of Facility Systems' Reliability When Subject to Attack or a Natural Disaster". in Critical Infrastructure: Reliability and Vulnerability, A. T. Murray and T. H. Grubesic, Eds. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, pp. 221–241. https://doi.org/10.1007/978-3-540-68056-7_11.
[۴۵] تیکنی، ح.، ستاک، م.، شاکری، ز.، (۱۳۹۹). «مدل‌سازی و حل مسأله مکان‌یابی- مسیریابی برای محصولات فسادپذیر در گراف چندگانه با درنظر گرفتن آلودگی وسایل نقلیه و اختلال انبارها». نشریه پژوهش‌های مهندسی صنایع در سیستم‌های تولید، دوره ۸، شماره ۱۶، ۱۷۱-۱۸۳. https://doi.org/10.22084/ier.2020.21281.1953
[46] Listeş, O. & Dekker, R., (2005). "A stochastic approach to a case study for product recovery network design". European Journal of Operational Research, vol. 160, no. 1, pp. 268–287, https://doi.org/10.1016/j.ejor.2001.12.001.
[47] Zahiri, B., Suresh, N. C. & de Jong, J., (2020). "Resilient hazardous-materials network design under uncertainty and perishability". Computers & Industrial Engineering, vol. 143, p. 106401, https://doi.org/10.1016/j.cie.2020.106401.
[48] Sabri, E. H. & Beamon, B. M., (2000). "A multi-objective approach to simultaneous strategic and operational planning in supply chain design". Omega, vol. 28, no. 5, pp. 581–598, https://doi.org/10.1016/S0305-0483(99)00080-8.
[49] Chen, C.-L. & Lee, W.-C., (2004). "Multi-objective optimization of multi-echelon supply chain networks with uncertain product demands and prices". Computers & Chemical Engineering, vol. 28, no. 6, pp. 1131–1144,

IERPS Journal of Industrial Engineering Research in Production Systems

ISSN: 2345-2269

Journal of Industrial Engineering Research in Production Systems

Spring and Summer 2024, Volume 12., No. 24., pp. 147-165
www.ier.basu.ac.ir

DOI: https://doi.org/10.22084/ier.2024.29296.2166

Designing a Bi-objective Meat Supply Chain Network Model with Resilience under Uncertainty

Hosein Darestani[1], Babak Javadi[2*], Mohammad Mousazadeh[3], Mohammad Reza Abdali [4]

[1] MSc, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, College of Farabi, University of Tehran, Tehran, Iran
[2] Assistant professor, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, College of Farabi, University of Tehran, Tehran, Iran
[3] Assistant professor, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, College of Farabi, University of Tehran, Tehran, Iran
[4] MSc, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, College of Farabi, University of Tehran, Tehran, Iran

ARTICLE INFO

***Article history*:**

Received 4 May 2024
Accepted 4 August 2024

***Keywords*:**

Meat Supply Chain
Two Objective Optimization
Resiliency
Uncertainty
Service Level
Epsilon Constraint Augmented-2

ABSTRACT

The meat supply chain is crucial in meeting household nutritional needs, public health, and food security. The meat supply chain's inherent dynamic and uncertain nature, along with existing risks and disruptions, has made optimizing the supply chain for resilience unavoidable. For various reasons, suppliers may experience partial disruptions and be unable to service their customers promptly. In this paper, we propose an integrated design of a fresh meat supply chain network that considers resilience strategies such as capacity expansion through contracts with reliable suppliers under demand uncertainty using a robust approach. The objectives of this research are to minimize total transportation costs and fixed costs and maximize the service level of the supply chain. Key decisions in the proposed supply chain network include selecting farms from available farms, allocating locations to slaughterhouses, selecting retailers for selling meat products and processed meat products, determining the flow of selected materials between facilities at different levels of the proposed supply chain network, identifying meat supply chain network risks, and determining the level of supply chain service. The problem is modeled based on a bi-objective mixed-integer programming approach. Finally, the augmented ε-constraint method is used to solve the problem, and the performance and efficiency of the model are evaluated and analyzed using numerical examples and compared to the base model in the research literature.

[*] Corresponding author. B. Javadi
Tel.:021-22593966; E-mail address: babakjavadi@ut.ac.ir