Designing a Resilience Closed-Loop Shrimp Supply Chain Network Under Uncertainty: A Sustainable Mmulti-Objective Model

Arian Rezania, Mohammad Mousazadeh*

*Assistant Professor, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, College of Farabi, University of Tehran, Iran.

(Received: 22/10/2022; Accepted: 31/05/2023)

Abstract

In this paper, the problem of designing a resilience closed-loop shrimp supply chain network is studied through developing a mixed integer linear programming (MILP) model. This research considers the shrimp supply chain as a set of suppliers (fishing and aquaculture centers), shrimp processing factories, distribution centers, wholesalers, markets, shrimp waste powder factory and shrimp waste powder market. The three objective functions introduced in this mathematical model are aimed at 1) minimizing the total costs of the network, including establishment, transportation and traceability costs, 2) maximizing sustainability by improving the employment rate, and 3) maximizing the resilience of the supply chain. Finally, the model has been analyzed considering the uncertainty in the demand parameter. The model is solved using the improved version of the augmented constraint method (AUGMECON) using GAMS software and Pareto efficient solutions are found. In order to find the most suitable solution among the Pareto solutions, TOPSIS method is utilized.

Keywords: Closed Loop Supply Chain Network Design, Resilience, Traceability, Robust-Possibilistic Method, TOPSIS

* Corresponding Author E-mail: mousazadeh@ut.ac.ir

This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license.

Publisher: Imam Hussein University © Authors

نشریه علمی «مدیریت زنجیره تامین»
سال بیست و پنجم، شماره ۷۹، تابستان ۱۴۰۲؛ ص ۶۶-۴۹

علمی ـ پژوهشی

طراحی شبکه تاب‌آور زنجیره تامین حلقه بسته میگو تحت شرایط عدم قطعیت؛ ارائه یک مدل سه هدفه پایدار

آرین رضانیا[1]، محمد موسی‌زاده[2*]

۱- دانشجوی کارشناسی‌ارشد، ۲- استادیار، گروه مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی، دانشکدگان فارابی، دانشگاه تهران، ایران

(دریافت: ۱۴۰۱/۰۷/۳۰، پذیرش: ۱۴۰۲/۰۳/۱۰)

چکیده

در این پژوهش، مسئله طراحی شبکه تاب‌آور زنجیره تامین میگو از طریق توسعه مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط مورد مطالعه قرار گرفته است. این پژوهش زنجیره تأمین میگو را به عنوان مجموعه‌ای از تامین کننده‌ها (مراکز صید و آبزی‌پروری)، کارخانه‌های فرآوری میگو، مراکز توزیع، عمده فروشان، بازارها، کارخانه پودر ضایعات میگو و بازار پودر ضایعات میگو در نظر می‌گیرد. توابع هدف معرفی شده در این مدل ریاضی به دنبال به ۱) حداقل رساندن هزینه کل شامل هزینه‌های احداث، حمل و نقل و قابلیت ردیابی، ۲) بیشینه‌سازی پایداری از طریق ارتقاء میزان اشتغال ایجاد شده و ۳) به حداکثر رساندن خاصیت ارتجاعی شبکه زنجیره تأمین می‌باشد. در نهایت مدل تحت عدم قطعیت پارامترهای مربوط به تقاضا و با استفاده از نسخه بهبود یافته روش محدودیت افزوده (AUGMECON) در نرم‌افزار گمز حل شده و نقاط پارتوی کارا از میان جواب‌های مورد بررسی قرار گرفته است. به منظور انتخاب مناسب‌ترین جواب از میان نقاط پارتو یافت شده، از روش تصمیم‌گیری تاپسیس نیز بهره گرفته شده است.

واژه‌های کلیدی: طراحی شبکه زنجیره تامین حلقه بسته، تاب‌آوری، قابلیت ردیابی، روش امکانی- استوار، تاپسیس

۱- مقدمه

طراحی شبکه زنجیره تامین (SCND[1]) تصمیم‌گیری‌های استراتژیک را تسهیل می کند و نقش حیاتی در عملکرد زنجیره تامین ایفا می‌کند. امروزه نگرانی‌های اقتصادی و زیست‌محیطی ناشی از رشد تقاضا برای میگو منجر به بحث گسترده‌ای در مورد عملکرد در عرضه میگو شده‌است. طراحی و بهینه‌سازی شبکه زنجیره تأمین میگو (SSC[2])، با در نظر گرفتن مفاهیم پایداری و تاب‌آوری و همچنین قابلیت ردیابی با توجه به بحث ایمنی غذایی و فسادپذیر بودن محصول و نیز لحاظ نمودن شرایط عدم قطعیت جهت حرکت بیشتر به سمت دنیای واقعی می‌تواند به دولت‌ها، سرمایه گذاران و احزاب فعال کمک کند تا تقاضای بازار را برآورده سازند و بر موانع موجود در زنجیره تامین غلبه کنند و به طور کلی می توانند عملکرد کل زنجیره را افزایش دهند.

۱-۱- زنجیره تامین غذا

شبکه‌ای از نهادها که از طریق آن مواد و اطلاعات جریان می‌یابد را، زنجیره تامین می‌گویند؛ که می‌تواند شامل تامین‌کنندگان، حامل‌ها، سایت‌های تولیدی، مراکز توزیع، خرده فروشان و مشتریان باشد [۱]. در دنیای امروز، یکی از بخش های پیشرو در کشورهای توسعه‌یافته و در حال توسعه، صنایع غذایی است. صنعت غذا از جمله صنایعی است که همواره بشر با آن سروکار دارد و جزو صنایع حیاتی و لاینفک زندگی انسان‌ها است. زنجیره‌های تامین مواد غذایی (ASC[3]) شامل شبکه‌ای از بازیگران ناهمگن است که در فرآیندها و فعالیت-های مختلف برای ارائه محصولات و خدمات به بازار و تامین خواسته-های مشتریان با هم کار می‌کنند. بازیگران در زنجیره تامین مواد غذایی شامل سازمان‌های مختلفی از تولیدکنندگان، توزیع‌کنندگان، پردازنده‌ها و مصرف‌کنندگان هستند [۲]. زنجیره تامین غذا (FSC) شبیه به هر زنجیره تامین دیگری است، زیرا از چندین مرحله تشکیل شده‌است (تولید، کنترل و ذخیره‌سازی، پردازش و بسته‌بندی، توزیع، و مصرف) [۳]. این صنعت همواره با چالش‌های گوناگونی از جمله افزایش جمعیت و کاهش منابع طبیعی به ویژه در سال‌های اخیر مواجه بوده است و زنجیره تامین این صنعت و مدیریت آن بیش از پیش مورد توجه قرار گرفته است. با مشارکت همه شرکای همکاری از کشاورزان، غذاسازها، توزیع‌کنندگان و خرده فروشان، FSC جهانی امروز مصرف‌کنندگان نهایی با طیف گسترده‌ای از گزینه‌های غذایی که شامل محصولات تازه، گوشت و انواع زیادی از محصولات غذایی فرآوری شده را فراهم کرده است.

* رایانامه نویسنده مسئول: mousazadeh@ut.ac.ir

[1] Supply chain network design

[2] Shrimp supply chain

[3] Agri-food supply chain

* این مقاله یک مقاله با دسترسی آزاد است که تحت شرایط و ضوابط مجوز Creative Commons Attribution (CC BY) توزیع شده است.

ناشر: دانشگاه جامع امام حسین (ع)

© نویسندگان

محصولات غذایی را می‌توان در دو نوع اصلی دسته‌بندی کرد: ۱- محصولات کشاورزی "تازه" (مانند سبزیجات و میوه‌ها و ..) و ۲- محصولات غذایی "فرآوری شده" (مانند تنقلات، دسرها و کنسروها). مدیریت زنجیره‌های غذایی از این نوع (تازه و فرآوری شده) به‌طور کلی با زنجیره‌های تامین صنعتی بسیار متفاوت است زیرا محصولات غذایی دارای ویژگی‌های منحصر به فردی از جمله فسادپذیری، مقررات دقیق دولتی در مورد ایمنی غذایی، تعداد مصرف‌کنندگان بالا و همچنین تنوع در سلیقه‌ها و فرآیندها و در نتیجه محدودیت‌های عملیاتی ذخیره سازی، پردازش و توزیع آن‌ها است. FSC امروز با مسائل مختلفی در حوزه‌های اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی روبه‌روست. مواد غذایی با ماندگاری کوتاه به توزیع کارآمد به دلیل ریسک بالای زوال آن‌ها نیاز دارند. همچنین در نظر ابعادی از مسئولیت‌های اجتماعی مانند ایجاد اشتغال، بومی‌گرایی، برقراری عدالت و غیره ممکن است بر نحوه عملکرد هر FSC تاثیرگذار باشد [۴].

۱-۲- پایداری در زنجیره تامین غذا

افزایش آگاهی و نگرانی روزافزون در مورد تاثیرات زیست محیطی، اجتماعی و اقتصادی بر تولید و مصرف غذا وجود دارد. این امر موجب افزایش فشار از طرف سازمان‌های مصرف‌کننده، گروه‌های حمایت کننده زیست محیطی و اجتماعی و سازمان‌ها و سیاست‌گذاران مبتنی بر امر کشاورزی جهت توسعه زنجیره‌های تامین پایدار شده است. راه‌حل‌های پیشنهادی برای غلبه بر این چالش‌ها نه تنها باید نحوه تولید غذا را در نظر بگیرند بلکه باید پارادایم پایداری شامل ابعاد اجتماعی، محیطی و اقتصادی را نیز در نظر داشته باشند [۵]. جنبه اجتماعی در ادبیات پژوهشی کمتر مورد توجه قرار گرفته است، که این جنبه مربوط به وادار کردن سازمان‌ها به قبول مسئولیت در برابر اثرات اجتماعی اقدامات آن‌ها است. افزایش فرصت‌های شغلی و همچنین ایجاد یک توسعه اقتصادی متوازن برای جوامع محلی اهداف اصلی مسئولیت اجتماعی هستند [۶].

۱-۳- تاب‌آوری در زنجیره تامین غذا

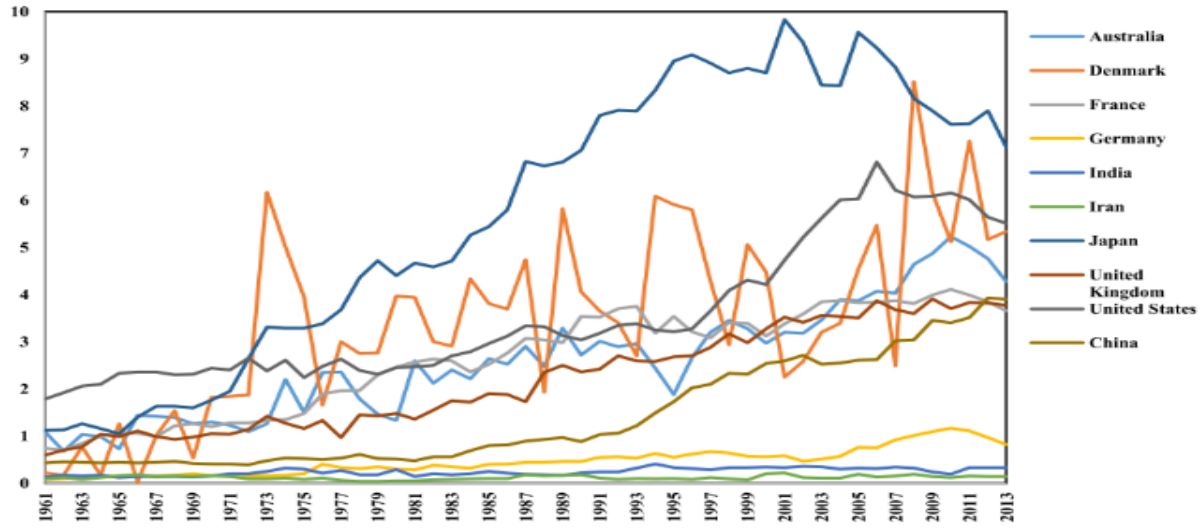
از آن‌جا که خطرات زیادی برای ایجاد اختلال وجود دارد که ممکن است زنجیره تامین را تهدید کند، تاب آوری ممکن است قادر به توسعه یک مزیت رقابتی واقعی باشد. در این زمینه شرکت‌ها تشویق به سرمایه‌گذاری برای آینده با طراحی زنجیره تامین انعطاف پذیر می‌شوند. انعطاف پذیری به منظور مقابله با نوسانات و اختلالاتی که در زنجیره پیش می‌آید باید در طراحی زنجیره تامین لحاظ شود. همچنین انتخاب منابع مناسب برای انجام عملیات زنجیره تامین بسیار مهم است [۷]. زنجیره‌های تامینی که در صنعت غذا کار می‌کنند از کشاورزان منفرد و یا تولیدکنندگان تا مصرف کنندگان نهایی، تحت پوشش فرآیند "از مزرعه تا چنگال[1]" هستند. طراحی این زنجیره‌های تامین غذا به بسیاری از مشخصات محصول و همچنین اندازه و قدرت بازار اعضای زنجیره بستگی دارد. تراکم زیاد پخش‌کننده‌های تعبیه شده و روابط بین آن‌ها به مشکلات تجزیه و تحلیل شبکه و طراحی آن می‌افزاید. همچنین بسیاری از چالش‌های مربوط به کیفیت غذا، ایمنی غذا و پایداری آن به پیچیدگی‌های مسئله اضافه می‌کند. برای زنجیره‌های تامین غذا، محققان چندین روند مرتبط با افزایش خطر و مشکلات انعطاف‌پذیری را ذکر کرده‌اند. در واکنش به بحث‌هایی از جمله دستیابی به امنیت غذا در سطح منطقه‌ای، ملی یا حتی جهانی، مدیریت زنجیره تامین مواد غذایی به طور فزاینده‌ای بر انعطاف‌پذیری تاکید کرده است. به موازات آن، صنایع غذایی همچنین شاهد اتخاذ روش‌های ناب و به موقع و کاهش سطح موجودی کالا بوده است [۷]. همچنین در کنار این موضوع، با تمام افزایش‌ها در پیچیدگی‌های زنجیره تامین، آسیب‌پذیری اختلالات به طور قابل‌توجهی افزایش‌یافته است به طوری که هر گونه توقف موقت خارج از منبع اختلال چه خارجی (به عنوان مثال، بلایای طبیعی، آتش‌سوزی، سرقت و غیره) و چه داخلی (به عنوان مثال، اعتصاب کار، سو عملکردهای فن‌آوری و غیره) منجر به ضرر قابل‌توجهی می‌شود. به منظور بهبود توانایی پاسخ سریع و موثر به چنین تغییرات غیرقابل‌پیش‌بینی، SC ها باید استراتژی‌های جدید را اتخاذ کنند و مفهوم تاب آوری را در فرآیند طراحی SC ترکیب کنند [۸].

۱-۴- زنجیره تامین غذای دریایی

زنجیره تامین غذاهای دریایی (SFSC[2]) را می توان به عنوان یک FSC خاص طبقه‌بندی کرد که به ملاحظات مهمی نیاز دارد. فواید سلامتی غذاهای دریایی برای هیچ‌کس پوشیده نیست. در واقع، دانشمندان و سازمان‌ها بر این باورند که غذاهای دریایی ارزش غذایی قابل‌توجهی دارند و امنیت غذایی را تضمین می‌کنند زیرا بیش از یک سوم جمعیت جهان از منابع پروتئینی آن بهره‌مند می‌شوند [۹]. علاوه بر این، پیش‌بینی می‌شود که با افزایش جمعیت، شیلات و آبزی‌پروری تا سال ۲۰۵۰ به عنوان منابع پروتئینی برجسته در نظر گرفته شوند [۱۰] [۱۱]. در میان غذاهای دریایی، میگوها منبع اصلی پروتئین هستند و چربی و انرژی اشباع و خطرناک کمی دارند که آن‌ها را به یک اولویت سلامتی و همچنین غذای مطلوب در سراسر جهان تبدیل می‌کند. در طول سال‌های گذشته، آمار سازمان غذا و کشاورزی (فائو[3]) نشان می‌دهد که مصرف میگو در کشورهای توسعه‌یافته مانند چین، ایالات‌متحده و بریتانیا به شدت افزایش‌یافته

[1] From farm to fork
[2] Seafood supply chain
[3] FAO

است، در حالی‌که در کشورهای در حال توسعه مانند ایران، این مقدار کم‌تر از یک کیلوگرم سرانه در سال است (شکل ۱ را ببینید). ایران پتانسیل فوق‌العاده‌ای در تولید میگو در منابع آب شیرین و دریایی خود دارد که از خط ساحلی ۱۸۰۰ کیلومتری خلیج‌فارس و خلیج عمان و همچنین شرایط مناسب ماهیگیری در این خط ساحلی بهره می‌برد [۱۲].



شکل (۱). میزان عرضه میگو در کشورهای توسعه‌یافته در برابر ایران (کیلوگرم / سرانه / سال) (ایستگاه‌های شیلات فائو

همانطور که آمار شیلات فائو نشان می دهد، در سال ۲۰۱۶، کل تولید جهانی میگو تقریبا ۳۵۸/۸۶۷۱ تن با ۵۹/۷۴ درصد تولید آبزی‌پروری و ۴۰/۲۶ درصد صید دریایی است. میگو جز مهمی از منابع شیلاتی ساحلی در ایران است و آمار فائو نشان می‌دهد که تولید میگو بین سال های ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۶ به‌طور مشخص رشد کرده و پرورش میگو از محصولات دریایی فراتر رفته‌است.

۲- مرور ادبیات

۲-۱- زنجیره تامین مواد غذایی

عمدتا، غذا را می‌توان به دو دسته اصلی تقسیم کرد: غذاهای فاسد شدنی (مانند میوه، سبزیجات، شیلات، محصولات آبزی پروری، گوشت و غیره) و غیر فاسد شدنی (مانند کنسرو، ترشی، محصولات خشک). اخیرا، چندین مطالعه زنجیره تامین مواد غذایی فاسد شدنی برای لبنیات توسط [۱۳]، میوه‌های تازه توسط [۱۴]، [۱۵] و کشاورزی توسط [۱۶] همراه با اجزای مختلف زنجیره تامین مانند موجودی، تخصیص مکان منابع، برنامه‌ریزی و زمان‌بندی، تولید و توزیع توسط [۱۷]، [۱۸]، [۱۹]، [۲۰]، [۲۱]، [۲۲] و [۲۳] انجام شده است.

یکی از اولین مطالعات در مورد زنجیره تامین مواد غذایی فاسد شدنی توسط [۲۴] انجام شد. آن‌ها از برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح برای به حداکثر رساندن سود و برای برنامه‌ریزی محصول، دام و تصمیمات نیروی کار مزرعه استفاده کردند[۲۵]. یک مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط را پیشنهاد کردند که شامل زمان بندی برداشت، تخصیص نیروی کار و تصمیمات مسیریابی در عملیات برداشت انگور با در نظر گرفتن هزینه های عملیاتی و کیفیت انگور بود. با هدف به حداکثر رساندن درآمدها تحت تصمیمات تولید و توزیع، یک مدل عملیاتی توسط [۲۶] پیشنهاد شد. [۲۷] یک مدل برنامه ریزی را برای رسیدگی به عرضه تصادفی میوه و سبزیجات سالانه از مزارع و تقاضای تصادفی خرده فروشان پیشنهاد کردند که به‌ترتیب نتایج عدم قطعیت در زمان برداشت و عدم قطعیت در تقاضای هفتگی است. یک مدل شبیه سازی برای زنجیره تامین میوه و سبزیجات فاسد شدنی توسط [۲۸] برای بررسی رفتارها و روابط زنجیره تامین و تعاملات عرضه، تقاضا و قیمت ارائه شد. در تحقیق [۲۹] با تمرکز خاص بر صنعت لبنیات، یک رویکرد حل قوی برای طراحی یک شبکه توزیع ظرفیت‌دار برای یک زنجیره تامین دو لایه درگیر در توزیع شیر در ایرلند ارائه شده است. به‌طور خاص، مدل بهینه سازی چند منظوره سبز، انتشار CO_2 را از حمل و نقل و هزینه‌های کلی در زنجیره توزیع به حداقل می‌رساند. از نظر عملکرد مدل، سه بهینه ساز جداگانه مبتنی بر GA مورد ارزیابی قرار گرفته و گزارش شده‌اند. در مورد ارائه‌شده NSGA - II عملکرد بهتری نسبت به همتایان خود MOGA - II و HYBRID داشت[۳۰]. یک مدل خطی عدد صحیح مختلط از برنامه‌ریزی وسیله نقلیه و مسیریابی در یک مرکز داکینگ متقابل برای زنجیره تامین مواد غذایی فاسد شدنی به‌منظور به حداقل رساندن زودکرد، دیرکرد، نگهداری موجودی، و هزینه حمل و نقل را مورد مطالعه قرار دادند[۳۱]. بیان می‌کنند که یکی از مهم‌ترین عوامل تاثیرگذار بر پایداری زنجیره تامین کشاورزی - غذایی، طراحی شبکه آن است. این مقاله مروری

انتقادی بر روش‌های تحقیق عملیاتی برای طراحی زنجیره تامین پایدار ارائه می‌دهد. یک روش حل ترکیبی دو مرحله‌ای جدید پیشنهاد شده‌است. [۱۴] یک مدل زنجیره تامین حلقه بسته مرکبات را برای به حداقل رساندن هزینه ها و به حداکثر رساندن پاسخگویی به تقاضای مشتریان ارائه کردند. در مواجهه با چالش‌های مربوط به تغذیه پایدار جمعیت در حال رشد جهان، صنعت غذا به طور فزاینده‌ای بر تکنیک‌های تحقیق در عملیات (OR) برای دستیابی به پایداری اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی تکیه دارد. در حالی که بررسی زنجیره تامین مواد غذایی موجود یک پایه عالی برای این فرآیند فراهم می‌کند، توجه ویژه به پایداری از دیدگاه مدل محور در ادبیات موجود وجود ندارد. [۴] تلاش کردند تا این شکاف را با مرور ۸۳ نشریه علمی مرتبط که از تکنیک‌های مدل‌سازی ریاضی برای رسیدگی به مسائل در SFSC استفاده می‌کنند، پر کنند. به این منظور آن‌ها در ابتدا ابعاد برجسته که شامل مسائل اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی در SFSC است را شناسایی کردند. سپس مدل‌ها و روش‌هایی که از این ابعاد برای حل مسائل ناشی از SFSC استفاده می‌کنند را بررسی کردند. یکی از جدیدترین مدل‌های زنجیره تامین مواد غذایی توسط [۳۲] معرفی شد. آن‌ها بر زنجیره تامین سه سطحی برای محصولات تازه فصلی شامل یک تامین کننده، ارائه دهندگان خدمات لجستیک شخص ثالث، و یک خرده‌فروش تمرکز کردند. در تحقیق [۳۳] یک مدل برنامه‌ریزی تصادفی دو مرحله‌ای چند هدفه برای تجزیه و تحلیل و ارزیابی اثرات اقتصادی و زیست‌محیطی برای در نظر گرفتن عدم قطعیت در زنجیره تامین کشاورزی ارائه شده‌است. [۳۴] عنوان کردند که خطرات FSC ها با ضایعات غذایی برای توسعه چارچوب پایدار برای کاهش ضایعات غذایی مرتبط است. تجزیه و تحلیل پارتو برای شناسایی ریسک براساس بازخورد ۱۳۰ متخصص از شرکت های غذایی توسعه یافته است. مدل پیشنهادی را می توان برای پرداختن به ریسک پایداری گسترش داد و با اینترنت اشیا برای برنامه ریزی، نظارت، کنترل و بهینه‌سازی زنجیره‌های تامین در زمان واقعی ادغام کرد. [۳۵] به مطالعه‌ای پرداختند که این مطالعه ادبیات موضوع را در مورد عوامل ایجاد کننده ضایعات غذایی در میان نهاده‌ای پایین‌دست زنجیره تامین غذایی ترکیب می‌کند. مرور ادبیات سیستماتیک با ۹۲ مقاله WoS نشان داده‌است که علل ضایعات غذایی را می توان براساس محیط سازمانی به سه دسته تقسیم کرد که عبارتند از: ۱. داخلی، ۲. میکرومحیطی، و ۳. عوامل ماکرومحیطی. [۵] با درک اهمیت زنجیره تامین کشاورزی پایدار برگرفته از داده، ۸۴ مجله علمی را از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۷ استخراج و بررسی کردند. بر اساس نتایج این بررسی، آن‌ها یک چارچوب کاربردی را برای دست اندرکاران درگیر در زنجیره تامین کشاورزی - غذایی پیشنهاد کردند که دید زنجیره تامین و منابع زنجیره تامین را به عنوان نیروی محرکه اصلی برای توسعه قابلیت تجزیه و تحلیل داده و دستیابی به عملکرد پایدار شناسایی می‌کند. [۳۶] در پژوهشی با استفاده از موارد موجود در سه شرکت، به بررسی روش‌ها، چالش‌ها و فرصت‌هایی می‌پردازد که تولیدکنندگان مواد غذایی تایلند در دیجیتالی کردن زنجیره تامین مواد غذایی خود با آن مواجه هستند. در این مقاله چارچوبی برای دیجیتالی کردن زنجیره تامین مواد غذایی پیشنهاد شده است و پیامدهای آن برای تحقیقات و اقدامات مورد بحث قرار گرفته‌است. [۳۷]، یک مدل ریاضی چند دوره‌ای تک منظوره را برای پشتیبانی از فرآیند تصمیم‌گیری در ارتباط با بهبود ظرفیت ذخیره‌سازی گندم متناسب با میزان تولید ارائه دادند. این مدل استقرار سیلو، حمل و نقل، از دست دادن دانه غذا، نگهداری موجودی، انتشار کربن و هزینه های جریمه ریسک را به حداقل می‌رساند. همچنین تاثیر عرضه، تقاضا و ظرفیت سیلوها بر روی راه حل مدل از طریق تحلیل حساسیت مورد بررسی قرار گرفت. [۳۸] با هدف توسعه ساختار زنجیره تامین غذای تازه کشاورزی سنتی هند (AFSC[1]) به انجام مطالعه‌ای پرداختند. این مقاله یک مدل ریاضی برای طراحی یک AFSC سنتی هندی برای به حداقل رساندن هزینه توزیع و زیان‌های پس از برداشت در زنجیره پیشنهاد کرد. این تحقیق شامل مفاهیمی برای طراحی مجدد یک شبکه زنجیره تامین با ترکیب یک استراتژی حمل و نقل مناسب از کشاورزان به مراکز برای به حداقل رساندن ناکارآمدی حمل و نقل و افزایش سودآوری کشاورزان است. در تحقیق [۳۳] یک مدل برنامه‌ریزی تصادفی دو مرحله ای چند هدفه برای تجزیه و تحلیل و ارزیابی اثرات اقتصادی و زیست محیطی برای در نظر گرفتن عدم قطعیت در زنجیره تامین کشاورزی ارائه شده‌است. [۳۹] در مطالعه‌ای یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی چند هدفه برای بهینه‌سازی هزینه، مصرف انرژی و تراکم ترافیک مرتبط با عملیات زنجیره تامین توسعه دادند. در این مطالعه، عدم قطعیت در طول عمر محصول به صورت یک متغیر تصادفی ویبول مدل‌سازی شد و فرض بر این بود که قابلیت مصرف مواد غذایی تحت‌تاثیر استفاده از یخچال خودرو قرار می‌گیرد که به عنوان یک متغیر تصمیم در نظر گرفته شد. علاوه بر این، انواع متعدد خودرو و انواع متعدد محصول در نظر گرفته شدند. [۴۰] به بررسی نقش منابع متعدد در ایجاد یک شبکه زنجیره تامین انعطاف‌پذیر با توسعه یک مدل MILP پرداختند. این مدل برای ادغام پایداری و تاب آوری در شبکه زنجیره تامین تایر توسعه داده شد. [۴۱] یک MILP چندمنظوره را برای یک شبکه زنجیره تامین حلقه بسته تحت پنج رده توسعه دادند. این مدل برای به حداکثر رساندن سود کل و سود کل توسعه داده شده‌است. [۴۲] یک مدل ریاضی سه هدفه را تدوین کردند که هدف آن حل اندازه انبار سرد و مقدار حمل و نقل است. این مدل برای به حداقل رساندن هزینه کل، زمان تدارک، و

[1] Agri-fresh food supply chain

ذخیره‌سازی سرد و هزینه‌های ذخیره‌سازی برای میوه‌های تازه، مانند گواوا و لیمو طراحی شده‌است.

۲-۲- زنجیره تامین غذاهای دریایی

در طول چند دهه گذشته، تنها تعداد محدودی از محققان و دانشگاهیان به شیوه‌های گوناگون به مطالعه SFSC پرداخته‌اند. در مطالعه مقدماتی مشکلات SFSC، [۴۳] به یک رویکرد برنامه ریزی خطی چند دوره‌ای برای برنامه‌ریزی تولید مزارع ماهی اشاره کرد. علاوه بر این، [۴۴] یک مدل برنامه‌ریزی خطی چند دوره‌ای را برای رشد ماهی توسعه داد که برداشت را بهینه می‌کند. [۴۵] یک مدل تولید خاویار ماهی خاویار سفید و گوشت را برای شرایط مدیریتی مختلف پیشنهاد کردند. با استفاده از رویکرد جریان - شبکه، [۴۶] یک مدل ریاضی غیر خطی از برداشت جزئی را اجرا کردند. [۴۷] یک مدل برنامه ریزی عدد صحیح برای بهبود استفاده از منابع، برنامه ریزی و ارزیابی اقتصادی مراکز رشد طراحی کردند. نتایج حاصل از اجرای این مدل در یکی از بزرگ ترین کشاورزان سالمون شیلی، کاهش ۱۸ درصدی در هزینه نگهداری خالص همراه با چندین مزیت کیفی را نشان داد. [۴۸] از برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط برای پیشنهاد دو مدل برای برنامه ریزی تولید در پرورش ماهی آزاد با دامنه محدودیت های بیولوژیکی، اقتصادی و سلامتی مرتبط استفاده کردند. [۴۹] یک مدل برنامه‌ریزی تولید تصادفی را برای غلبه بر عدم قطعیت عرضه مواد خام و قیمت بازار محصول توسعه دادند. [۵۰] یک مدل جدید و رویکرد بهینه سازی را پیشنهاد می کند که به هماهنگی زنجیره تامین ماهی پرورشی غیر تعاونی به عنوان یک مورد واقعی از زنجیره تامین مواد غذایی فاسد شدنی با فرمول‌بندی یک مدل تعادل دو سطحی نش - کورنو و نش - استکلبرگ می‌پردازد. [۵۱] یک مدل MILP را توسعه دادند که هزینه قابلیت ردیابی و هزینه انتشار کربن را برای صنعت غذای کنسرو شده ماهی در اندونزی در نظر می‌گیرد. [۹] در مطالعه‌ای، SSC را به عنوان مجموعه‌ای از مراکز توزیع، عمده فروشان، کارخانه های فرآوری میگو، بازارها، کارخانه پودر ضایعات میگو و بازار پودر ضایعات میگو در نظر می‌گیرد. در این تحقیق، یک مدل ریاضی برای SSC ارائه شده است، که هدف آن به حداقل رساندن هزینه کل از طریق زنجیره تامین است.

تجزیه و تحلیل مرور ادبیات انجام شده و مقاله پایه در نظر گرفته شده جهت انجام این تحقیق ([۹])، نشان می‌دهد که عموم تحقیقات انجام شده بیشتر بر روی اهدافی چون کمینه‌سازی هزینه در بخش‌های مختلف و کل زنجیره تامین و همچنین بیشینه‌سازی سود و درآمد کل تمرکز کرده‌اند و مواردی از قبیل طراحی شبکه زنجیره تامین پایدار میگو، در نظر گرفتن عدم قطعیت برای برخی پارامترها، در نظر گرفتن مفهوم تاب‌آوری و همچنین فسادپذیری را، به‌عنوان شکاف‌هایی که اهمیت این تحقیق را برجسته می‌کند، تعیین می‌کند.

هدف اصلی این تحقیق، طراحی شبکه زنجیره تامین پایدار میگو با قابلیت ارتجاعی تحت شرایط عدم قطعیت با در نظر گرفتن کیفیت محصول می‌باشد که یک مدل چند هدفه را ارائه می‌دهد. مدیران می‌توانند به طور گسترده از مدل ریاضی پیشنهادی و نتایج آن برای تصمیم‌گیری استراتژیک با توجه به میزان اشتغال ایجاد شده، کیفیت جریان میگو در شبکه تامین و در عین حال به حداقل رساندن هزینه کل و عدم قابلیت ارتجاعی شبکه، سود ببرند.

علاوه بر این، از آنجایی که کشورهای زیادی هنوز فن آوری تبدیل ضایعات میگو به گوشت مرغ و دام را ندارند، این مطالعه می تواند به مدیران و فرمانداران در مورد چگونگی سرمایه گذاری منابع آن‌ها برای راه‌اندازی کارخانه‌های پودر ضایعات میگو در مناطق بسیار بالقوه راهنمایی بدهد.

این مطالعه به یک مدل جدید و جامع تر از مدل‌های تحقیقات پیشین برای کمک به مدیران صنایع تولید میگو در طراحی یک شبکه زنجیره تامین بهینه پایدار و انعطاف‌پذیر برای محصولات میگو می‌پردازد. به‌طور دقیق‌تر نوآوری‌ها به شرح زیر است:

- طراحی حلقه‌بسته کارخانه های بالقوه ای را در نظر می‌گیرد که از ضایعات جمع‌آوری‌شده محصولات میگو از دو سطح اصلی شبکه یعنی عمده‌فروشان و کارخانه‌ها به عنوان ورودی برای فرآیند خود استفاده می‌کند. همچنین خروجی یا محصولات نهایی را برای بازار غذای طیور و دام و آبزی‌پروری‌ها که در ابتدای زنجیره قرار دارند ارسال می‌کند.
- در تحقیق حاضر جهت غنی‌تر کردن پارادایم پایداری، جنبه اجتماعی نیز در نظر گرفته می‌شود.
- انعطاف‌پذیر بودن زنجیره تامین به عنوان یک ظرفیت برای آن، جهت حفظ بقا و عملکرد اساسی خود در مقابله با هر گونه تغییر به خصوص در صنعت حساس غذا، به ویژه غذای فسادپذیر امری قابل توجه است. در این مطالعه مهم‌ترین معیارهای تاب‌آوری جهت توسعه تاب‌آور مدل به طوری که اثر هر گونه اختلال در عملکرد زنجیره تامین به حداقل برسد در نظر گرفته می‌شود.
- با توجه به اهمیت امنیت غذایی در غذای دریایی، قابلیت ردیابی در مدل لحاظ می‌شود.
- در تنظیمات دنیای واقعی، عدم قطعیت و ابهام برای جنبه های مختلف شبکه زنجیره تامین به ویژه تقاضای بازار رایج است. این مدل به عنوان یک مدل تصادفی تحت شرایط عدم قطعیت تقاضا فرمول‌بندی می‌شود.

- در نظر گرفتن مدل به عنوان یک شبکه چند محصولی که میگو را در دسته‌ی ریز، متوسط و سایزدرشت با تقاضای بیشتر برای میگوهای اندازه بزرگ در نظر می‌گیرد.

هنگامی که برای مساله‌ای داده‌های تاریخی وجود ندارد و یا توزیع احتمالی شناخته شده‌ای نمی‌توان برای داده‌ها برازش کرد، تصمیم‌گیرنده باید برای مجموعه‌ای از پارامترهای نامشخص به نظرات ذهنی/قضاوتی خبره‌ها تکیه کند. برنامه‌ریزی فازی روش بسیار مناسبی برای مقابله با این نوع از عدم قطعیت است. از سوی دیگر در این پژوهش تمرکز بر محصولات غذایی است و از آنجایی که امنیت غذایی اهمیت روز افزونی به خود می‌بیند، استواری جواب حاصله هم از حیث استواری بهینگی و هم استواری شدنی بودن، امری ضروری می‌نماید. لحاظ نمودن شرایط عدم قطعیت با استفاده از رویکردهای استواری جهت حرکت بیشتر به سمت دنیای واقعی می‌تواند در برآورده ساختن تقاضای غیر قطعی بازار کمک‌کننده باشد (در شرایط مختلف هم شدنی و هم به طور نسبی به جواب بهینه پایبند باشد)؛ البته که این امر باعث افزایش هزینه‌ها می‌شود. در این تحقیق با بهره‌گیری از هر دو روش فازی و بهینه‌سازی استوار و ترکیب مزایای آن دو با هم، از روش ترکیبی برنامه‌ریزی امکانی-استوار استفاده شده است.

جدول (۱). راهنمای استفاده از جدول مرور ادبیات

روش حل	عنوان لاتین	اختصار
نرم‌افزار تجاری	Commercial Solver	CS
ابتکاری	Heuristic	HE
فراابتکاری	Metaheuristic	MH
روش‌های دقیق	Exact Algorithm	EA
تئوری بازی‌ها	Games Theory	GT

۳- شرح مدل

شبکه زنجیره تامین میگو کنونی تولید کنندگان (ماهیگیران و آبزی‌پروران میگو)، مراکز توزیع، عمده فروشان، مراکز فرآوری (کارخانه‌ها)، کارخانه‌های پودر ضایعات میگو، بازار غذای ماکیان و دام، و مشتریان را در خود جای داده‌است. میگوهای صید شده و یا آبزی پروری در این شبکه از محل‌های تولید (محل‌های صید میگو و آبزی پروران) به مراکز توزیع ارسال می‌شوند. مراکز توزیع، بسته به ظرفیت خود، میگو را به عمده فروشان و کارخانه ها می فرستند. علاوه بر این، کارخانه ها، پس از پوست کندن، بسته بندی یا کنسرو کردن، و انجماد باید کالاهای تمام‌شده (آماده مصرف) را به مشتریان نهایی منتقل کنند.

در نهایت، ضایعات میگو از عمده فروشان و کارخانه‌ها جمع‌آوری می‌شوند و به کارخانه‌های پودر ضایعات میگو حمل می‌شوند. این کارخانه‌ها غذای مرغ و دام را تهیه و به بازار مواد غذایی طیور و دام ارسال می‌کنند. همچنین کارخانه‌های پودر ضایعات میگو ارسال مواد مغذی مورد نیاز برای پرورش میگو، به حوضچه‌های پرورش را نیز بر عهده دارند.

مفروضات

- مدل زنجیره تامین میگو یک مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط تک دوره‌ای می‌باشد.
- مکان های شیلات، آبزی پروران و مشتریان ثابت در نظر گرفته می‌شوند. از سوی دیگر، مراکز توزیع، عمده فروشان، کارخانه ها و بازارها به عنوان مکان‌های بالقوه در نظر گرفته می‌شوند.
- فرض بر این است که پسماند میگو وجود دارد و همچنین تقاضا برای پودر میگو و ماده مغذی وجود دارد.
- هزینه قابلیت ردیابی و هزینه حمل و نقل در هر واحد شناخته شده‌اند.
- تقاضاهای بازار باید برآورده شوند.
- احداث هر یک از مراکز توزیع و کارخانه‌ها تعداد شغل مخصوص به آن را ایجاد می‌کند.

شاخص ها، پارامترها و متغیرهای تصمیم گیری برای مدل ریاضی به صورت زیر ارائه شده‌اند:

- **اندیس‌ها**

i	مکان تولید (صید میگو یا شیلات)
ii	مکان تولید (آبزی‌پروری)
j	نقطه بالقوه مرکز توزیع
k	مکان بالقوه برای عمده فروش
l	مکان بالقوه برای کارخانه
m	شاخص مشتری
n	محل بالقوه کارخانه پودر ضایعات میگو
p	بازار غذای طیور و دام
c	نوع محصول

جدول (۲). مرور ادبیات

نویسنده-سال	نوع محصول	مدل	هدف	روش حل	عدم قطعیت	مطالعه موردی
یو و همکاران، ۲۰۰۶	میگو	خطی	برنامه‌ریزی تولید برای به حداکثر رساندن درآمد خالص تحت محدودیت‌های مختلف	CS	-	+
کومار و همکاران، ۲۰۰۶	ماهی	چندهدفه	به حداقل رساندن هزینه‌های خدمات، تحویل دیر هنگام، و تقاضاهای برآورده نشده	CS	-	-
پاتوموناکول و همکاران، ۲۰۰۹	میگو	عدد صحیح مختلط خطی	به حداقل رساندن هزینه‌های موجودی کل زنجیره	HE	-	+
جنسن و همکاران، ۲۰۱۰	ماهی	خطی	حداکثر کردن سود زنجیره تامین ماهی	CS	-	-
بلنچارد و همکاران، ۲۰۱۳	میگو	غیرخطی	تعیین زمان‌های برداشت بهینه و بخش‌های برداشت بهینه متناظر برای حداکثر سازی درآمد کل	EA	-	-
عابدی و ژو، ۲۰۱۶	ماهی	عدد صحیح مختلط خطی	خرید بهینه، تولید و توزیع مزرعه ماهی برای به حداکثر رساندن سود کل زنجیره تامین	CS	-	+
لین و وو، ۲۰۱۶	میگو سفید	مدل‌های نظری	قیمت بهینه و سطح موجودی کالا برای به حداکثر رساندن سود	GT	+	+
تبریزی و همکاران، ۲۰۱۸	ماهی آب‌گرم	غیرخطی	بیشینه کردن سود کل	MH	-	-
مصلی‌نژاد و همکاران، ۲۰۲۱	میگو	عدد صحیح مختلط خطی	به حداقل رساندن هزینه‌های زنجیره تامین	MH	-	+
جاهاری و همکاران، ۲۰۲۲	ماهی	عدد صحیح مختلط خطی	به حداقل رساندن هزینه کل	CS	-	+
این مطالعه	میگو	چندهدفه	به حداقل رساندن هزینه‌های زنجیره تامین و بیشینه سازی ایجاد اشتغال و انعطاف‌پذیری	CS	+	-

پارامترها

f_l, ff_n, fff_j به‌ترتیب از چپ به راست، هزینه ثابت تاسیس کارخانه، کارخانه پودر ضایعات میگو و مرکز توزیع

$jobj_j, jobl_l, jobn_n$ به‌ترتیب از چپ به راست، تعداد مشاغل ایجاد شده در صورت احداث مرکز توزیع در نقطه j، کارخانه در نقطه l و کارخانه پودر ضایعات میگو در نقطه n

$\partial, \partial', \partial'', \partial'''$ به‌ترتیب از چپ به راست، ضریب جریمه برای مراکز حساس توزیع، عمده فروش، کارخانه و کارخانه پودر ضایعات میگو

$\alpha, \alpha', \alpha'', \alpha'''$ به‌ترتیب از چپ به راست، ضریب جریمه برای پیچیدگی جریان بین گره‌های j و k، j و l، k و l، n و l و n

$\beta, \beta', \beta'', \beta'''$ به‌ترتیب از چپ به راست، ضریب جریمه برای پیچیدگی گره مرکز توزیع، عمده فروش، کارخانه و کارخانه پودر ضایعات میگو

$cx_{i,j,c}$ هزینه حمل و نقل به ازای هر واحد محصول (c) از صیادان میگو (i) به مرکز توزیع (j)

$cy_{ii,j,c}$ هزینه حمل و نقل به ازای هر واحد محصول (c) از آبزی-پروری (ii) به مرکز توزیع (j)

$cu_{j,k,c}$ هزینه حمل و نقل به ازای هر واحد محصول (c) از مرکز توزیع (j) به عمده فروش (k)

$ca_{j,l,c}$ هزینه حمل و نقل به ازای هر واحد محصول (c) از مرکز توزیع (j) به کارخانه (l)

$cb_{k,m,c}$ هزینه حمل و نقل به ازای هر واحد محصول (c) از عمده فروش (k) به مشتری (m)

$cd_{l,m,c}$ هزینه حمل و نقل به ازای هر واحد محصول (c) از کارخانه (l) به مشتری (m)

$cf_{k,n,c}$ هزینه حمل به ازای هر واحد ضایعات میگو حاصل شده از محصول (c) از عمده فروش (k) به کارخانه پودر ضایعات میگو (n)

$cff_{l,n,c}$ هزینه حمل به ازای هر واحد ضایعات میگو حاصل شده از محصول (c) از کارخانه (l) به کارخانه پودر ضایعات میگو (n)

$cl_{n,p}$ هزینه حمل به ازای هر واحد ضایعات میگو از کارخانه پودر ضایعات میگو (n) به بازار (p)

$ch_{n,ii}$ هزینه حمل به ازای هر واحد ماده مغذی از کارخانه پودر ضایعات میگو (n) به آبزی‌پروی (ii)

$cr_{l,c}$ هزینه ردیابی محصول (c) در کارخانه (l)

$y_{i,c}, yy_{ii,c}, yf_{l,c}$ به ترتیب از چپ به راست، ظرفیت تولید محصول (c) صیاد میگو (i)، آبزی‌پروری (ii)، کارخانه (l)

ys_n ظرفیت تولید پودر ضایعات میگو و ماده مغذی کارخانه پودر ضایعات میگو (n)

yd_j, yw_k به‌ترتیب از چپ به راست، ظرفیت نگه داری در مرکز توزیع (j) و عمده فروش (k)

$a_{k,c}$ نرخ ضایعات میگو (c) توسط عمده فروش (k)

$b_{l,c}$ نرخ تولید میگو (c) توسط کارخانه (l)

$E_{n,c}$ نرخ تولید پودر ضایعات میگو و ماده مغذی توسط کارخانه پودر ضایعات میگو (n) از ضایعات محصول(c)

$Db_{m,c}$ تقاضای محصول میگو (c) توسط مشتری (m)

Dp_p تقاضای پودر ضایعات میگو توسط بازار غذای طیور و دام (p)

Dx_{ii} تقاضای ماده مغذی توسط آبزی‌پروری (ii)

$U^{/}$ آستانه جریان

M, ε به‌ترتیب از چپ به راست، عدد بسیار بزرگ و عدد بسیار کوچک

متغیرهای تصمیم

$X_{i,j,c}, XX_{ii,j,c}$ به‌ترتیب از چپ به راست، مقدار محصول (c) حمل شده از صیاد میگو (i) و آبزی‌پروری (ii) به مرکز توزیع (j)

$U_{j,k,c}, S_{j,l,c}$ به‌ترتیب از چپ به راست، مقدار محصول (c) حمل شده از مرکز توزیع (j) به عمده فروش (k) و کارخانه (l)

$W_{k,m,c}, V_{l,m,c}$ به‌ترتیب از چپ به راست، مقدار محصول (c) حمل شده از عمده فروش (k) و کارخانه (l) به مشتری (m)

$R_{k,n,c}, G_{l,n,c}$ به‌ترتیب از چپ به راست، مقدار ضایعات میگو حاصل شده از محصول (c) که حمل می‌شود از عمده فروش (k) و کارخانه (l) به کارخانه پودر ضایعات میگو (n)

$BB_{n,p}$ مقدار پودر ضایعات میگو حمل شده از کارخانه پودر ضایعات میگو (n) به بازار (p)

$DD_{n,ii}$ مقدار ماده مغذی حمل شده از کارخانه پودر ضایعات میگو (n) به آبزی‌پروری (ii)

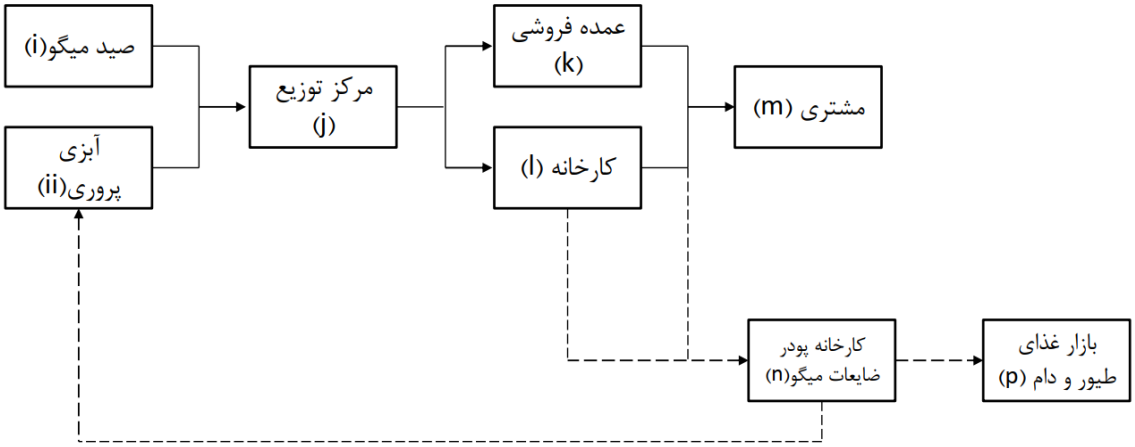
Dis_j, Wh_k, Fr_l, Wp_n به ترتیب از چپ به راست، متغیر ۰ و ۱ باز شدن مرکز توزیع (j)، عمده فروش (k)، کارخانه (l) و کارخانه پودر ضایعات میگو (n) در مکان انتخاب شده

$Dis'_j, Wh'_k, Fr'_l, Wp'_n$ به ترتیب از چپ به راست، متغیر ۰ و ۱ پیچیدگی مرکز توزیع (j)، عمده فروش (k)، کارخانه (l) و کارخانه پودر ضایعات میگو (n) در مکان انتخاب باز شده

$Z_{j,k}, Z'_{j,l}, Z''_{k,n}, Z'''_{l,n}$ به ترتیب از چپ به راست، متغیر ۰ و ۱ تخصیص گره j به k، j به l، k به n و l به n

مدل ریاضی زنجیره تامین میگو به شرح زیر است:

نمای شماتیک شبکه زنجیره تامین میگو در شکل (۱) نشان‌داده شده است. مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط پیشنهادی مساله زنجیره تامین میگو به صورت زیر فرمول‌بندی شده‌است: تابع هدف اول، به حداقل رساندن هزینه کل شامل هزینه‌های تاسیس ثابت و هزینه‌های حمل و نقل و قابلیت ردیابی است. تابع هدف دوم به حداکثر رساندن موقعیت شغلی ایجاد شده ناشی از احداث کارخانه‌ها و مراکز توزیع و تابع هدف سوم، با هدف به حداقل رساندن عدم خاصیت ارتجاعی شبکه با توجه به معیارهای حساسیت گره، پیچیدگی جریان و پیچیدگی گره (به [۵۲] مراجعه شود)، می‌باشد.



شکل (۲). نمای گرافیکی از شبکه زنجیره تامین میگو

معادلات ریاضی به شکل زیر می‌باشد:

$$Min\ Z1 = \left[\sum_{l=1}^{L} f_l \times Fr_l + \sum_{n=1}^{N} ff_n \times Wp_n + \sum_{j=1}^{J} fff_j \times Dis_j\right] + \left[\sum_{i=1}^{I}\sum_{j=1}^{J}\sum_{c=1}^{C} cx_{ijc} \times X_{ijc} + \sum_{i'=1}^{I'}\sum_{j=1}^{J}\sum_{c=1}^{C} cy_{iijc} \times XX_{iijc} + \sum_{j=1}^{J}\sum_{k=1}^{K}\sum_{c=1}^{C} cu_{jkc} \times U_{jkc} + \sum_{j=1}^{J}\sum_{l=1}^{L}\sum_{c=1}^{C} ca_{jlc} \times S_{jlc} + \sum_{k=1}^{K}\sum_{m=1}^{M}\sum_{c=1}^{C} cb_{kmc} \times W_{kmc} + \sum_{l=1}^{L}\sum_{m=1}^{M}\sum_{c=1}^{C} cd_{lmc} \times V_{lmc} + \sum_{k=1}^{K}\sum_{n=1}^{N}\sum_{c=1}^{C} cf_{knc} \times R_{knc} + \sum_{l=1}^{L}\sum_{n=1}^{N}\sum_{c=1}^{C} cff_{\mathrm{lnc}} \times G_{\mathrm{lnc}} + \sum_{n=1}^{N}\sum_{p=1}^{P} cl_{np} \times BB_{np} + \sum_{n=1}^{N}\sum_{i'=1}^{I'} ch_{n,ii} \times DD_{n,ii}\right] + \left[\sum_{c=1}^{C}\sum_{j=1}^{J}\sum_{l=1}^{L} b_{lc} \times S_{jlc} \times cr_{lc}\right] \quad (۱)$$

$$Min\ Z2 = \sum_{j}^{J} jobj_j \times Dis_j + \sum_{l}^{L} jobl_l \times Fr_l + \sum_{n}^{N} jobn_n \times Wp_n \quad (۲)$$

$$Min\ Z3 = \sum_{j}^{J} \delta \times Dis'_j + \sum_{k}^{K} \delta' \times Wh'_k + \sum_{l}^{L} \delta'' \times Fr'_l + \sum_{n}^{N} \delta''' \times Wp'_n$$

$$E_{nc} \le ys_n \times Wp_n \quad \forall n \in N$$

$$\sum_{j=1}^{J} a_{kc} \times U_{jkc} = \sum_{n=1}^{N} R_{knc} \quad \forall k \in K, \forall c \in C \qquad (۱۸)$$

$$\sum_{j=1}^{J} (1 - b_{lc}) \times S_{jlc} = \sum_{n=1}^{N} G_{lnc} \quad \forall l \in L, \forall c \in C \qquad (۱۹)$$

$$\sum_{c=1}^{C} \left(\sum_{k=1}^{K} R_{knc} + \sum_{l=1}^{L} G_{lnc}\right) \times E_{nc} = \sum_{p=1}^{P} BB_{np} + \sum_{ii=1}^{II} DD_{n,ii} \quad \forall n \in N \qquad (۲۰)$$

$$\sum_{n=1}^{N} B_{np} \ge Dp_p \quad \forall p \in P \qquad (۲۱)$$

$$\sum_{n=1}^{N} DD_{n,ii} \ge Dx_{ii} \quad \forall ii \in II \qquad (۲۲)$$

$$\sum_{c=1}^{C} U_{j,k,c} \le M \times Z_{j,k} \quad \forall j,k \qquad (۲۳)$$

$$\sum_{c=1}^{C} S_{j,l,c} \le M \times Z'_{j,l} \quad \forall j,l \qquad (۲۴)$$

$$\sum_{c=1}^{C} R_{k,n,c} \le M \times Z''_{k,n} \quad \forall k,n \qquad (۲۵)$$

$$\sum_{c=1}^{C} G_{l,n,c} \le M \times Z'''_{l,n} \quad \forall l,n \qquad (۲۶)$$

$$\sum_{c}^{C} \sum_{i}^{I} X_{i,j,c} + \sum_{c}^{C} \sum_{ii}^{II} XX_{ii,j,c} + \sum_{c}^{C} \sum_{k}^{K} U_{j,k,c} + \sum_{c}^{C} \sum_{l}^{L} S_{j,l,c} \le \mathrm{Dis}'_{j} \times M + U' \quad \forall J \qquad (۲۷)$$

$$\sum_{c}^{C} \sum_{i}^{I} X_{i,j,c} + \sum_{c}^{C} \sum_{ii}^{II} XX_{ii,j,c} + \sum_{c}^{C} \sum_{k}^{K} U_{j,k,c} + \sum_{c}^{C} \sum_{l}^{L} S_{j,l,c} > U' - \left(1 - Dis'_j\right) \times M + \varepsilon \quad \forall J \qquad (۲۸)$$

$$\sum_{c}^{C} \sum_{j}^{J} U_{j,k,c} + \sum_{c}^{C} \sum_{m}^{M} W_{k,m,c} + \sum_{c}^{C} \sum_{n}^{N} R_{k,n,c} \le Wh'_k \times M + U'' \quad \forall k \qquad (۲۹)$$

$$\sum_{c}^{C} \sum_{j}^{J} U_{j,k,c} + \sum_{c}^{C} \sum_{m}^{M} W_{k,m,c} + \sum_{c}^{C} \sum_{n}^{N} R_{k,n,c} > U'' - (1 - Wh'_k) \times M + \varepsilon \quad \forall k \qquad (۳۰)$$

$$\sum_{c}^{C} \sum_{j}^{J} S_{j,l,c} + \sum_{c}^{C} \sum_{m}^{M} V_{l,m,c} + \sum_{c}^{C} \sum_{n}^{N} G_{l,n,c} \le Fr_l' \times M + U''' \quad \forall l \qquad (۳۱)$$

$$\sum_{c}^{C} \sum_{j}^{J} S_{j,l,c} + \sum_{c}^{C} \sum_{m}^{M} V_{l,m,c} + \sum_{c}^{C} \sum_{n}^{N} G_{l,n,c} > U''' - (1 - Fr'_l) \times M + \varepsilon \quad \forall l \qquad (۳۲)$$

$$+ \sum_{j}^{J} \sum_{k}^{K} \alpha \times Z_{j,k} + \sum_{j}^{J} \sum_{l}^{L} \alpha' \times Z'_{j,k} + \sum_{k}^{K} \sum_{n}^{N} \alpha'' \times Z''_{k,n} + \sum_{l}^{L} \sum_{n}^{N} \alpha''' \times Z'''_{l,n}$$

$$+ \sum_{j}^{J} \beta \times Dis_j + \sum_{k}^{K} \beta' \times Wh_i + \sum_{l}^{L} \beta'' \times Fr_l + \sum_{n}^{N} \beta''' \times Wp_n \qquad (۳)$$

St:

$$\sum_{j=1}^{J} Dis_j \ge 1 \qquad (۴)$$

$$\sum_{j=1}^{J} X_{ijc} \le y_{ic} \quad \forall i \in I, \forall c \in C \qquad (۵)$$

$$\sum_{j=1}^{J} XX_{iijc} \le yy_{iic} \quad \forall ii \in II, \forall c \in C \qquad (۶)$$

$$\sum_{i=1}^{I} \sum_{c=1}^{C} X_{ijc} + \sum_{ii=1}^{II} \sum_{c=1}^{C} XX_{iijc} \le yd_j \times Dis_j \quad \forall j \in J \qquad (۷)$$

$$\sum_{k=1}^{K} U_{jkc} + \sum_{l=1}^{L} S_{jlc} \le \sum_{i=1}^{I} X_{ijc} + \sum_{ii=1}^{II} XX_{iijc} \quad \forall j \in J, \forall c \in C \qquad (۸)$$

$$\sum_{k=1}^{K} Wh_k \ge 1 \qquad (۹)$$

$$\sum_{l=1}^{L} Fr_l \ge 1 \qquad (۱۰)$$

$$\sum_{j=1}^{J} \sum_{c=1}^{C} U_{jkc} \le yw_k \times Wh_k \quad \forall k \in K \qquad (۱۱)$$

$$\sum_{j=1}^{J} b_{lc} \times S_{jlc} \le yf_{lc} \times Fr_l \quad \forall l \in L, \forall c \in C \qquad (۱۲)$$

$$\sum_{k=1}^{K} W_{kmc} + \sum_{l=1}^{L} V_{lmc} \ge Db_{mc} \quad \forall m \in M, \forall c \in C \qquad (۱۳)$$

$$\sum_{j=1}^{J} (1 - a_{kc}) \times U_{jkc} = \sum_{m=1}^{M} W_{kmc} \quad \forall k \in K, \forall c \in C \qquad (۱۴)$$

$$\sum_{j=1}^{J} b_{lc} \times S_{jlc} = \sum_{m=1}^{M} V_{lmc} \quad \forall l \in L, \forall c \in C \qquad (۱۵)$$

$$\sum_{n=1}^{N} Wp_n \ge 1 \qquad (۱۶)$$

$$\sum_{c=1}^{C} \left(\sum_{k=1}^{K} R_{knc} + \sum_{l=1}^{L} G_{lnc}\right) \times \qquad (۱۷)$$

$$\sum_c^C \sum_k^K R_{k,n,c} + \sum_p^P BB_{n,p} + \sum_c^C \sum_l^L G_{l,n,c} + \sum_{ii}^{II} DD_{n,ii} \leq Wp'_n \times M + U'''' \quad \forall n \tag{۳۳}$$

$$\sum_c^C \sum_k^K R_{k,n,c} + \sum_p^P BB_{n,p} + \sum_c^C \sum_l^L G_{l,n,c} + \sum_{ii}^{II} DD_{n,ii} > U'''' - (1 - Wp'_n) \times M + \varepsilon \quad \forall n \tag{۳۴}$$

$$\mathrm{Dis}_j, \mathrm{Dis}'_j, Wh_k, Wh'_k, Fr_l, Fr_l', Wp_n, Wp'_n \in \{0,1\} \quad \forall j \in J, k \in K, l \in L, n \in N \tag{۳۵}$$

$$X_{ij}, \mathrm{XX}_{iij}, U_{jk}, S_{jl}, W_{km}, V_{lm}, R_{kn}, G_{ln}, B_{np} \geq 0 \quad \forall i \in I, ii \in II, j \in J, k \in K, l \in L, m \in M, n \in N, p \in P, t \in T \tag{۳۶}$$

محدودیت (۴) بیان می کند که حداقل یک مرکز توزیع باید باز شود. محدودیت (۵) بیان می کند که مقدار محصولات حمل‌شده از ماهیگیران میگو به مراکز توزیع باید کم تر یا مساوی با ظرفیت تولید هر تولید کننده باشد. به طور مشابه، محدودیت (۶) در مورد کشاورزان میگو اعمال می‌شود. محدودیت (۷) نشان می‌دهد که مقدار محصولات حمل شده از تولید کنندگان به مراکز توزیع باید کم تر یا مساوی با ظرفیت نگهداری هر مرکز توزیع باشد، اگر باز شود. محدودیت (۸) نشان می‌دهد که مقدار محصولات حمل‌شده از مراکز توزیع به عمده فروشان و کارخانه ها نباید از مقدار محصولات حمل‌شده از تولید کنندگان به مراکز توزیع تجاوز کند. محدودیت‌های (۹) و (۱۰) تعیین می‌کنند که حداقل یک عمده‌فروش و یک کارخانه باید باز شوند. محدودیت (۱۱) نشان می دهد که مقدار محصولاتی که باید از مراکز توزیع به عمده فروش‌ها منتقل شود باید به ظرفیت نگهداری هر عمده فروش در صورت باز شدن آن احترام بگذارد. به همین ترتیب، محدودیت (۱۲) برای کارخانه اعمال می‌شود. محدودیت (۱۳) تضمین می کند که مقدار محصول حمل‌شده از عمده‌فروش و کارخانه‌ها به هر مشتری بیش‌تر یا مساوی با تقاضای طرف مشتری است. محدودیت (۱۴) تضمین می کند که محصولات حمل‌شده از مراکز توزیع به عمده فروشان منهای ضایعات میگو برابر با مقدار محصولات حمل‌شده از عمده فروشان به مشتریان است. محدودیت (۱۵) تضمین می کند که تولید میگو توسط کارخانه ها برابر با مقدار محصول منتقل‌شده از کارخانه‌ها به مشتریان است. محدودیت (۱۶) مشخص می کند که حداقل یک کارخانه پودر ضایعات میگو باید فعال شود. محدودیت (۱۷) احترام به ظرفیت کارخانه‌های پودر ضایعات میگو را تضمین می کند. محدودیت (۱۸) تضمین می کند که محصول میگو که از مراکز توزیع به عمده فروشان منتقل می شود ضرب در نرخ تولید ضایعات، برابر است با محصولات زائد که از عمده فروشان به کارخانه‌های پودر ضایعات میگو منتقل می‌شود. محدودیت (۱۹) تعادل جریان میگوها بین کارخانه‌ها و کارخانه‌های پودر ضایعات میگو را تضمین می‌کند. محدودیت (۲۰) برابری بین مقدار پودر ضایعات و ماده مغذی تولید شده با مقدار محصول منتقل شده به آبزی‌پروری‌ها و بازار غذایی ماکیان و دام را مشخص می‌کند. محدودیت (۲۱) رضایت تقاضای بازار غذای طیور و دام را تضمین می‌کند. محدودیت (۲۲) رضایت تقاضای آبزی‌پروری را تضمین می‌کند. محدودیت‌های (۲۳) - (۲۶) محدودیت‌های تخصیص هستند؛ آن‌ها تضمین می‌کنند که پیوند بین هر جفت از گره‌ها تنها زمانی ایجاد می‌شود که یک جریان در بین دو گره مربوطه وجود داشته باشد. محدودیت‌های (۲۷) و (۲۸) شرایط عدم حساسیت برای مراکز توزیع هستند. همچنین جفت محدودیت‌های (۲۹) و (۳۰)، (۳۱) و (۳۲)، (۳۳) و (۳۴) نیز به ترتیب شرایط عدم حساسیت برای عمده فروش، کارخانه و کارخانه پودر ضایعات میگو می‌باشند.

اطلاعات در این تحقیق داده‌ها هستند که با استفاده از داده‌های آورده شده در مقاله پایه (بر اساس بانک اطلاعاتی سازمان شیلات ایران) و همچنین مقالات نزدیک و مرتبط با حوزه مورد مطالعه تخمین زده شدند.

میگو در قالب سه دسته سایز درشت، متوسط و ریز در مدل لحاظ شده است. ضایعات میگو درشت کمتر از ضایعات میگو ریز است. در بحث ضایعات، میگو اگر کاملا پی‌دی (فیله) شود حدودا ۵۰ درصد وزن بدنش را از دست می‌دهد. این عدد اگر میگو درشت‌تر باشد کمتر خواهد بود و تا حدود ۴۵ درصد کاهش خواهد داشت به عبارت دیگر ۵۵ درصد گوشت خواهد داد. هرچه سایز بزرگ‌تر باشد درصد ضایعات از ۵۰ به مقادیر کمتر میل می‌کند و هرچه سایز کوچک‌تر باشد درصد ضایعات بیشتر از ۵۰ خواهد آمد حتی تا ۶۰ درصد نیز افزایش پیدا می‌کند.

در میگوهای سایز کوچک یا به اصطلاح ریز به علت کیفیت پایین‌تر، افت وزنی تنها ناشی از کندن سر و پوست نیست و از دست دادن آب بافت نیز در این دسته از میگوها در نهایت باعث حاصل شدن مقدار کمتر گوشت می‌شود. به فرض مثال میگوی ۱۰۰ گرمی، ۴۵ گرم گوشت می‌دهد، ۵۰ درصد ضایعات. ممکن است این سوال پیش بیاید که ۵ گرم باقی‌مانده چه شد؟! این ۵ گرم افت وزن رطوبتی و از دست دادن آب میانبافتی در این دسته از میگوها است.

۴ – روش حل و نتایج حاصل از حل مدل

برای حل مدل سه هدفه با پارامتر غیر قطعی تقاضا (تقاضای مشتریان، تقاضای بازار و تقاضای آبزی‌پروری) که توسط مدل RPP-I (به [۵۳] مراجعه شود) به مدل قطعی تبدیل شد در ابتدا با

استفاده از روش لکسیکوگرافی نقاط PIS و NIS تعیین شد که به شرح زیر می‌باشد:

جدول (۳). جدول لکسیکوگرافی

توابع هدف	نوع	*Obj1*	*Obj2*	*Obj3*
Obj1	*Min*	۴۹۷۰/۶۴۴	۴۲۰	۸۴۸
Obj2	*Max*	۵۵۵۹/۰۳۸	۵۹۰	۵۲۱
Obj3	*Min*	۵۷۲۱/۰۱۱	۲۵۴	۲۶۸

$$PIS = (۴۹۷۰,۶۴۴, ۵۹۰, ۲۶۸)$$

$$NIS = (۵۷۲۱,۰۱۱, ۴۲۰, ۵۲۱)$$

مدل ریاضی پیشنهادی با استفاده از نسخه بهبود یافته روش محدودیت افزوده (AUGMECON) حل شد (مراجعه شود به [۵۴]). نشان‌داده شده است که این الگوریتم برای ارائه مجموعه‌ای از جواب های بهینه پارتو در مسائل عدد صحیح مختلط چند هدفه بسیار کارآمد است.

$$\min f_1(x) + eps \times \left(\frac{s_2}{(f_{2max} + f_{2\min})} + 10^{-1} \times \frac{s_3}{(f_{3max} - f_{\min})} + \cdots + 10^{(2-p)} \times \frac{s_p}{(f_{pmax} - f_{pmin})} \right)$$

$$\text{s.t:} \quad f_k(x) + s_k = e_k$$

طبق فرمول بالا، در مسئله‌ی مورد نظر تابع هدف اول به عنوان تابع اصلی نوشته می‌شود و دو تابع هدف دیگر در محدودیت آورده می‌شوند، در نهایت با ۵ نقطه شکست گام پیشروی تعیین می‌شود. جدول(۴) نمایان‌گر مراحل حل مدل با روش محدویت اپسیلون بهبودیافته می‌باشد.

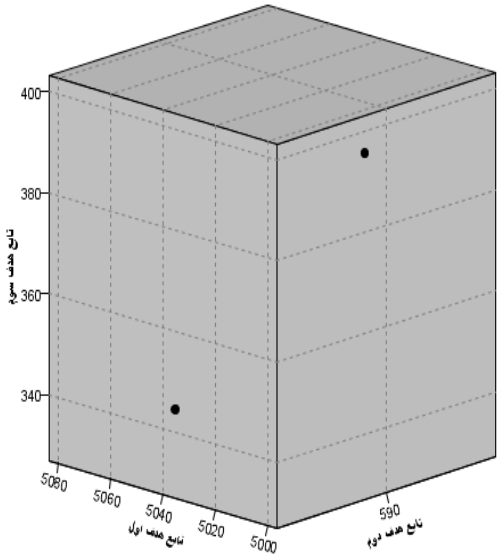
جدول (۴). مراحل انجام روش اپسیلون بهبود یافته

ردیف	بهترین نقطه	بدترین نقطه	گام پیشروی
تابع هدف دوم	۵۹۰	۴۲۰	۴۲/۵
تابع هدف سوم	۲۶۸	۵۲۱	۶۳/۲۵

پس از ۲۵ مرتبه اجرای مدل با تغییر گام‌های تابع هدف دوم و سوم در نرم افزار گمز، مشاهده گردید که تنها در دو نقطه، S2 و S3 مقادیر صفر و بسیار نزدیک به صفر را اختیار کردند، در نتیجه دو نقطه کارا بدست آمد. در جدول (۵) جواب های کارای حاصل از حل چندهدفه نمایش داده شده‌اند. همچنین در شکل (۳) مرز پارتو مربوط به هر سه تابع هدف مشخص گردیده است.

جدول (۵). جواب‌های کارا حاصل از حل مدل

ردیف	تابع هدف اول	تابع هدف دوم	تابع هدف سوم
۱	۵۰۰۴/۶۴۴	۵۹۰	۳۹۳
۲	۵۰۷۷/۰۵۸	۵۹۰	۳۳۱

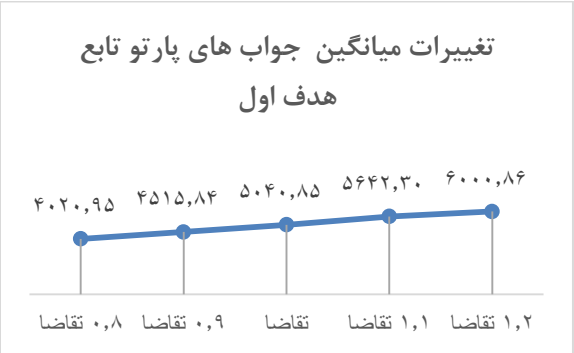


شکل (۳). مرز پارتو

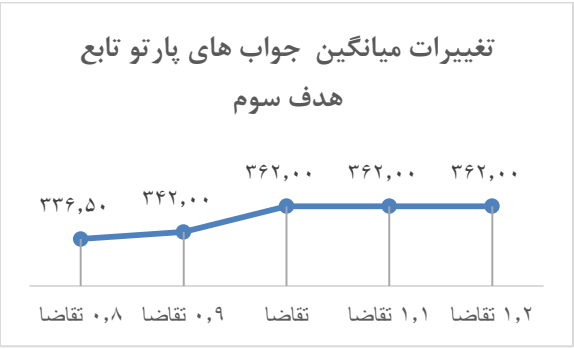
۵- تحلیل حساسیت

۵-۱- مشاهدات عددی

در این بخش اثر تقاضا بر روی هر کدام از توابع هدف بررسی می‌شود. برای این منظور ضرایب مختلفی بین ۰/۸ تا ۱/۲ در مدل گمز به تقاضاهای غیرقطعی اختصاص می‌یابد و میزان تغییرات میانگین جواب‌های پارتو برای هر کدام از توابع هدف به صورت جداگانه بر روی نمودار بررسی می‌شود. اشکال (۴) و (۵) میزان تغییرات میانگین جواب‌های پارتو برای هر کدام از توابع هدف اول و سوم را با توجه به ضرایب مختلفی از تقاضا نشان می‌دهند.



شکل (۴). تغییرات میانگین جواب‌های پارتو برای تابع هدف اول



شکل (۵). تغییرات میانگین جواب‌های پارتو برای تابع هدف اول

از نمودارهای بالا می‌توان به این نتیجه رسید که با افزایش میزان تقاضا، مقادیر تابع هدف اول و سوم به صورت صعودی افزایش پیدا می‌کنند. در واقع به بیان ساده‌تر تقاضا بر روی این دو تابع هدف اثر مستقیم دارد که با توجه به گسترده‌تر شدن زنجیره تأمین مورد نظر در اثر افزایش میزان تقاضا، این موضوع را می‌توانست پیش‌بینی نمود. نتیجه حاصل شده، نشان‌گر صحیح بودن مدل توسعه داده شده نیز می‌باشد.

به طور کلی، تحلیل حساسیت برای نشان دادن چگونگی تغییر متغیرهای خروجی براساس تغییر پارامترهای ورودی استفاده می‌شود. در اصطلاحات برنامه‌نویسی ریاضی، تحلیل حساسیت روشی برای کشف تاثیر تغییرات در مقادیر پارامترها بر تابع هدف است.

۵-۲- تعیین جواب ایده‌آل با استفاده از تاپسیس

حال با استفاده از روش تاپسیس[1] بهترین جواب پارتو را از بین دو نقطه‌ای که در جدول (۵) مشخص شده است انتخاب می‌شود. مراحل این روش به ترتیب عبارت است از، ۱) تشکیل ماتریس تصمیم، ۲) در نظر گرفتن وزن مناسب برای هر یک از توابع هدف، ۳) کمی نمودن معیارهای کیفی و نرمال‌سازی ماتریس تصمیم، ۴) تعیین ماتریس بی‌مقیاس وزن‌دار، ۵) یافتن حل ایده‌آل و ضد ایده‌آل برای هر یک از نقاط مورد نظر، ۶) محاسبه فاصله نقاط از آن‌ها و در نهایت ۷) محاسبه شاخص شباهت هر جواب و انتخاب بهترین جواب. برای به دست آوردن اطلاعات بیشتر در مورد روش تاپسیس به [۵۵] مراجعه گردد. در این پژوهش، تمامی معیارها کمی می‌باشد، از این جهت مرحله کمی نمودن معیارهای کیفی وجود نخواهد داشت. بنابراین گام‌های بعدی نرمال‌سازی ماتریس تصمیم خواهد بود. جدول شماره ۶ نشان‌گر ماتریس تصمیم برای مسئله‌ی مورد نظر می‌باشد که وزن هر تابع هدف در آن نیز مشخص گردیده است.

جدول (۶). ماتریس تصمیم‌گیری

نوع معیار	هزینه (-)	اشتغال (+)	جریمه پیچیدگی (-)
وزن معیار	۰/۵	۰/۲۵	۰/۲۵
نقطه اول	۵۰۰۴,۶۴۴	۵۹۰	۳۹۳
نقطه دوم	۵۰۷۷,۰۵۸	۵۹۰	۳۳۱

در این مرحله پس از تشکیل ماتریس تصمیم، با استفاده از فرمول‌های زیر ابتدا نرمال سازی آن با استفاده از روش نرم اقلیدسی صورت می‌گیرد و سپس مقادیر نرمال در وزن هر معیار ضرب می‌شود. پس از آن ایده‌آل مثبت و منفی تعیین و فاصله نقاط از آن‌ها محاسبه می‌شود که نتایج در جداول (۷) و (۸) قابل مشاهده است.

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{m} x_{ij}^2}}$$

$$d_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^{n} (v_{ij} - v_j^+)^2}$$

$$d_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^{n} (v_{ij} - v_j^-)^2}$$

جدول (۷). ایده‌آل مثبت و منفی برای توابع هدف

نوع معیار	هزینه (-)	اشتغال (+)	گره تاب‌آور (-)
وزن معیار	۰/۵	۰/۲۵	۰/۲۵
نقطه اول	۰/۳۵	۰/۱۷۷	۰/۱۹
نقطه دوم	۰/۳۶	۰/۱۸	۰/۱۶

[1] TOPSIS

جدول (۸). فواصل از ایده‌آل مثبت و منفی

نقطه	d_i^-	d_i^+
نقطه اول	۰/۰۱	۰/۰۳
نقطه دوم	۰/۰۳	۰/۰۱

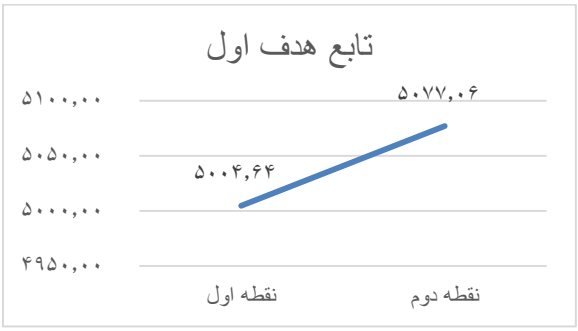
در نهایت با استفاده از معیار شاخص شباهت (فرمول زیر) گزینه‌ها رتبه‌بندی می‌شوند. همانطور که مشخص است از بین دو نقطه کارا مشخص شده در جدول (۵)، پس از بکارگیری روش تاپسیس، بر اساس نتایج ارائه شده در جدول (۸) که نشان‌دهنده بیشترین نزدیکی به نقطه ایده‌آل مثبت و بیشترین دوری از نقطه ایده‌آل منفی است، نقطه کارای دوم انتخاب می‌شود.

$$c_i = \frac{d_i^-}{d_i^- + d_i^+}$$

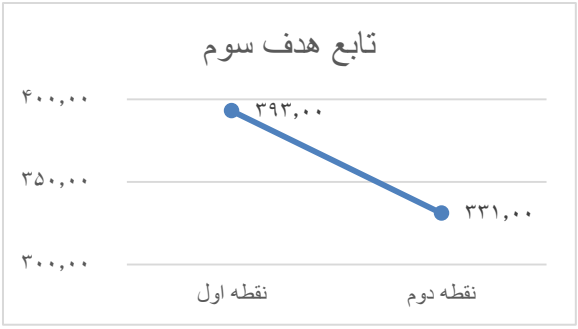
جدول (۹). امتیاز نهایی گزینه‌ها (جواب‌های کارا)

نقطه	C_i
نقطه اول	۰/۱۴۴
نقطه دوم*	۰/۸۵۶

همچنین در نمودارهای زیر قابل مشاهده است که نقطه دوم نقطه بهتری نسبت به نقطه اول است، زیرا نه تنها از نظر هزینه اختلاف اندکی با بهینه‌ترین جواب دارد، بلکه از نظر تاب‌آوری و ارضای تابع هدف سوم عدد خوبی را به خود اختصاص داده است.



شکل (۶). مقایسه هزینه‌ها



شکل (۷). مقایسه جریمه حساسیت و پیچیدگی

از آنجایی که مدیران و دست اندرکاران زنجیره‌های تأمین مایل هستند از جواب‌های بدست آمده در جهت بهینه‌سازی اهدافشان اطمینان حاصل کنند، نمودارهای مقایسه‌ای می‌توانند در جهت این پیش‌برد مؤثر واقع شوند.

۶- بینش مدیریتی

در نقاط کارا، جمع میزان مطلوبیت توابع هدف نسبت به سایر نقاط بیشتر است. در نقطه کارای دوم تابع هدف دوم بهترین مقدار خود را اختیار کرده است، مقدار تابع هدف اول به بهترین مقدار خود یا همان نقطه PIS، نزدیک است و اختلاف بسیار اندکی با مقدار این تابع هدف در نقطه اول دارد و همچنین فاصله مقدار تابع هدف سوم تا بهترین مقدار خود یا همان نقطه PIS، یک سوم فاصله‌اش تا بدترین مقدار خود یا همان نقطه NIS است که نشان از مطلوبیت مقدار این تابع هدف دارد. همچنین با توجه به تحلیل حساسیت تاب‌آوری مدل، در این نقطه تعداد اندکی از گره‌ها حساس شدند. با انتخاب این نقطه و دریافتن اینکه کدام مراکز احداث، کدام جریان‌های حمل و نقلی برقرار و کدام گره‌ها حساس شدند، می‌توان به صورت همزمان به بهترین جواب برای سه تابع هدف مدنظر رسید.

هدف از این مقاله ارائه یک شبکه زنجیره تامین برای هر دو محصول میگو تولید شده توسط دریا و آبزی‌پروری بود. قدرت این مدل شامل نوآوری در بازگرداندن ضایعات میگو توسط عمده فروشان و کارخانه‌های میگو به عنوان مواد خام به کارخانه‌های پودر ضایعات میگو و از آن‌جا به عنوان مواد مغذی و پودر ضایعات میگو به آبزی‌پروری‌ها و بازار غذای ماکیان و دام است. استفاده از شبکه زنجیره تامین پیشنهاد شده می‌تواند به طور قابل‌توجهی به مدیران صنایع غذایی دریایی و فرمانداران کمک کند تا دستورالعمل‌هایی در مورد چگونگی اتخاذ تصمیمات استراتژیک داشته باشند. ایران ظرفیت بالقوه زیادی در تولید غذاهای دریایی و آبزی‌پروری از جمله کارشناسان دانشگاهی ماهر، نیازمندی‌های صنعتی مقرون‌به‌صرفه مانند امکانات، نفت و سوخت، منابع انسانی دارد. علاوه بر این، بیش‌ترین مزیت دسترسی مستقیم به سه منطقه دریایی (خلیج‌فارس، خلیج عمان و دریای‌خزر)و توانایی بالای آن برای ایجاد پروژه‌های آبزی‌پروری در این مکان‌ها را دارد. با توجه به شواهد آماری، کشورهای در حال توسعه و به ویژه ایران هنوز به دستاوردهای رضایت‌بخش خود در صنعت غذاهای دریایی به ویژه در رابطه با محصولات میگو نزدیک نشده اند. در واقع، کشورهایی مانند ایران باید از فرصت‌ها و شایستگی‌های بزرگ خود در صنعت غذاهای دریایی استفاده کنند تا اقتصاد خود را با کسب سود قابل‌توجه و اجتناب از زیان قابلیت‌ها تقویت کنند.

در این راستا، این مدل مکان‌های بالقوه ای را برای مرکز توزیع، عمده‌فروش، کارخانه‌های میگو و کارخانه پودر ضایعات میگو در نظر

گرفته‌است. بنابراین، یافته‌های این مدل می‌تواند به سرمایه گـذاران و فرمانداران کمک کند تا بهترین مکان را برای توزیـع بهینـه و انتقـال محصولات میگو در سراسر شـبکه بـه دسـت آورنـد. عـلاوه بـر ایـن، براسـاس ایـن مطالعـه، صـنایع میگـو مـی‌تواننـد بـرای غنـی‌سـازی کسب‌وکار خود از طریق بازیافت ضایعات میگو، در صورتی کـه هنـوز چنـین فـن‌آوری را پیـاده‌سـازی نکننـد، بـا مزایـای بیشـتر بـرای محیط‌زیست، مفید واقع شوند.

مفهوم مدیریتی دیگر این مطالعه مربوط به کارخانه‌های پـرورش میگو است. مدیران این کارخانه‌ها می‌توانند این مـدل را بـرای بهبـود هزینه‌های افتتاح و حمل و نقل ثابـت خـود و مـدیریت جریـان‌هـای تولید و فعالیت‌های زنجیره تامین به کار گیرند. همچنین با توجـه بـه حلقه بسته بودن مدل و رسیدن محصول تولید شده از ضایعات میگـو تحت عنوان ماده مغذی به آبزی‌پروریان و داشتن تاثیر مفید در رشـد و پرورش میگو شـاهد کـاهش هزینـه و افـزایش بهـره‌وری در مـدل خواهیم بود. در نتیجه، طراحی شبکه زنجیره تامین بهینـه منجـر بـه پرداخت کم‌ترین هزینه و ارائه بالاترین سطح خدمات می‌شود. این دو مزیت مزایای رقابتی را نسبت به زنجیره‌های تامین مشابه به ویـژه در کشورهای اطراف خلیج‌فارس بـه ارمغـان مـی‌آورد. بـه عنـوان مثـال، مدیران مـی‌تواننـد ظرفیـت‌هـای تولیـد و تقاضـای بـازار خـود را بـا محدودیت‌های پیشنهادی در مدل تطبیق دهند. علاوه بر ایـن، آنـالیز حساسیت روی تقاضاها و سایر داده‌ها همـراه بـا پارامترهـای تنظـیم می‌توانـد بـه تصـمیم گیرنـدگان زنجیـره تـامین بیـنش ارزشـمندی می‌دهد.

داشتن قابلیت ردیـابی بـرای محصـولات نهـایی تولیـد شـده در کارخانه‌های تولید و فـرآوری میگـو و محصـولات جـانبی آن و پـودر ضایعات میگو که از این کارخانه‌ها به سـمت مشـتری و مقصـد خـود حرکت مـی‌کننـد مـی‌توانـد کیفیـت و ایمنـی غـذایی محصـولات را تضمین کند. این قابلیت با وجود اینکه هزینه را افزایش می‌دهد امـا از نیازهای مهم غذای دریایی در دنیـای امـروز اسـت کـه پـرداختن بـه زوایای آن می‌تواند بسیار ارزشمند باشد.

همچنین بکار بستن ابزار تـاب‌آوری و اعمـال معیارهـای مهـم آن در مدل به سرمایه‌گذاران و مدیران کمک می‌کند که وضعیت خـود را در مقابل اختلال و ریسک‌های احتمـالی ایـن زنجیـره بهتـر بسـنجند و اقدامات و پیش‌بینی‌های لازم را هرچه موثرتر انجام دهند.

طراحی یک شبکه زنجیره تامین مناسب برای تولیدات میگو می‌توانـد مزایای بسیاری را برای تصمیم گیرندگان، سازمان‌هـا، کارخانـه‌هـا یـا حتی بازارها به منظور بهبود عملکرد زنجیره تامین ارائه دهد. مـدیران می توانند به طور گسترده از مدل ریاضی پیشنهادی و نتایج آن بـرای تصمیم‌گیری استراتژیک با توجه به میزان اشتغال ایجاد شده، کیفیت جریان میگو در شبکه تامین و در عین حال به حداقل رساندن هزینـه کل و عدم قابلیت ارتجاعی شبکه، سود ببرند.

۷- جمع‌بندی و پیشنهادات آتی

اخیـرا، بـه دلیـل پیشـرفت پیوسـته تولیـد آبـزی‌پـروری، بازارهـای بین‌المللی، و تغییر در خواسته های مشتریان، تجارت غذاهای دریـایی به شدت توسعه یافته است. در بسیاری از کشورهای توسعه یافتـه و در حال توسعه، غذاهای دریایی مهم‌ترین بخش رژیم غذایی روزانه مـردم را تشکیل می دهند. محصولات میگو یک غـذای دریـایی مطلـوب در میان بسیاری از مـردم اسـت و نشـان‌دهنـده میـزان قابـل‌تـوجهی از مصرف غذا در جوامع مختلف است. این محصول یا از محـیط دریـایی مانند دریاها و رودخانه‌ها صید می‌شود و یا در سیسـتم‌هـای پـرورش آبزیان پرورش داده می‌شـود. بنـابراین، طراحـی یـک شـبکه زنجیـره تامین مناسب برای تولیدات میگو می‌توانـد مزایـای بسـیاری را بـرای تصمیم گیرندگان، سازمان‌ها، کارخانه‌ها یـا حتـی بازارهـا بـه منظـور بهبود عملکرد زنجیره تامین ارائه دهد.

این پژوهش زنجیره تامین میگو را به عنوان مجموعه‌ای از تـامین کننده‌ها (مراکز صید و آبزی‌پروری)، مراکـز توزیـع، عمـده فروشـان، کارخانه های فرآوری میگو، بازارها، کارخانه پودر ضایعات میگو و بـازار پودر ضایعات میگو در نظر گرفت. قابلیت این مدل بـرای اداره جریـان رو به جلو محصول میگو از صید دریایی یا تولید آبزی پروری به مراکـز توزیع و سپس به عمده فروشـان و کارخانـه‌هـای میگـو و سـپس بـه بازارها استفاده می شود. همچنین جریان معکوس محصـولات زائـد از عمده فروشان و کارخانه های میگو به کارخانه هـای پـودر میگـو و بـه بازارهای غذایی دام و طیور و آبزی‌پروری‌ها را مدیریت مـی‌کنـد. ایـن مدل به برآورده کردن تقاضای محصولات میگو در بازارهـا و تقاضـای محصولات فرعی ناشی از میگوهـا کمـک مـی کنـد در حـالی کـه بـا محدودیت ظرفیت توزیع کنندگان، کارخانه‌ها و به ویـژه تولیـد میگـو سر و کار دارد. روش تحقیق حاضـر، مـدل‌سـازی ریاضـی و حـل بـا استفاده از نرم‌افزار تجاری بود. این مدل از یک برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط (MILP[1]) برای به حداقل رساندن هزینـه کـل شـامل هزینه‌های احداث، حمل و نقل و قابلیت ردیابی و همچنـین افـزایش پایداری با ارتقاء میزان اشـتغال ایجـاد شـده و بـه حـداکثر رسـاندن خاصیت ارتجاعی با بهره بردن از مهم‌ترین معیارهای تاب‌آوری شـامل پیچیدگی جریان، پیچیدگی گره و حساسیت گره استفاده می‌کند. در نهایت مدل تحت عـدم قطعیـت پارامترهـای مربـوط بـه تقاضـا و بـا اســتفاده از نســخه بهبــود یافتــه روش محــدودیت افــزوده (AUGMECON) در نرم افزار گمز حل گردید و جـواب‌هـای کـارا از

[1] Mixed integer linear programing

مجموعه جواب استخراج گردید. سپس با استفاده از روش تاپسیس بهترین جواب تعیین شد.

به طور خلاصه می‌توان گفت هدف اصلی این تحقیق، طراحی شبکه زنجیره تامین پایدار و قابل ردیابی میگو با قابلیت ارتجاعی تحت شرایط عدم قطعیت می‌باشد که یک مدل چند هدفه را ارائه می‌دهد. مدیران می توانند به طور گسترده از مدل ریاضی پیشنهادی و نتایج آن برای تصمیم‌گیری استراتژیک با توجه به میزان اشتغال ایجاد شده، کیفیت جریان میگو در شبکه تامین و در عین حال به حداقل رساندن هزینه کل و عدم قابلیت ارتجاعی شبکه، سود ببرند.

از آنجایی که کشورهای زیادی هنوز فن‌آوری تبدیل ضایعات میگو به گوشت مرغ و دام را ندارند، این مطالعه می‌تواند به مدیران و فرمانداران در مورد چگونگی سرمایه‌گذاری منابع آن‌ها برای راه‌اندازی کارخانه های پودر ضایعات میگو در مناطق بسیار بالقوه راهنمایی بدهد.

این امکان وجود دارد که توسعه‌های متنوعی در کارهای آینده وجود داشته باشد. به عنوان مثال می‌توان توابع هدفی برای کیفیت محصول با توجه به عمر مفید محصولات و یا زمان رسیدن آن به دست مشتری و همچنین کمبود/پاسخگویی در زنجیره تامین را مثال زد. به علاوه می‌توان تنظیمات چند دوره‌ای را در مدل لحاظ کرد. علاوه بر این می‌توان ساختار شبکه را تغییر داد و مفروضات بیشتری در ارتباط با صنعت میگو در نظر گرفت که موجب بهبود در طراحی شبکه زنجیره تامین میگو گردد. همچنین پیشرفت‌های بیشتری را حتی در زمینه روش‌های حل می توان به دست آورد. به عنوان مثال، توسعه رویکردهای فرا ابتکاری و اکتشافی قوی و تصادفی که می توانند به طور موثر با ماهیت نامشخص و چند هدفه مدل سر و کار داشته باشند، می‌تواند یک موضوع قابل‌توجه باشد.

۸- مراجع

[1] R. R. Lummus and R. J. Vokurka, "Defining supply chain management: A historical perspective and practical guidelines," Ind. Manag. Data Syst., no.1, vol. 99, pp. 11-17, 1999., doi: 10.1108/02635579910243851.

[2] D. S. Utomo, B. S. Onggo, و S. Eldridge, "Applications of agent-based modelling and simulation in the agri-food supply chains," European Journal of Operational Research, no. 3, vol. 269, pp. 794-805, 2018. doi: 10.1016/j.ejor.2017.10.041.

[3] K. Govindan, M. Kadziński, and R. Sivakumar, "Application of a novel PROMETHEE-based method for construction of a group compromise ranking to prioritization of green suppliers in food supply chain," Omega (United Kingdom), vol. 71, pp. 129-145, 2017. doi: 10.1016/j.omega.2016.10.004.

[4] Z. Zhu, F. Chu, A. Dolgui, C. Chu, W. Zhou, and S. Piramuthu, "Recent advances and opportunities in sustainable food supply chain: a model-oriented review," Int. J. Prod. Res., no. 17, vol.56, pp. 5722-5700, sep. 2018. doi: 10.1080/00207543.2018.1425014.

[5] S. S. Kamble, A. Gunasekaran, و S. A. Gawankar, "Achieving sustainable performance in a data-driven agriculture supply chain: A review for research and applications," International Journal of Production Economics, vol 219. Elsevier B.V. pp 179–194, 01 2020, doi: 10.1016/j.ijpe.2019.05.022.

[6] M. Zhalechian, R. Tavakkoli-Moghaddam, B. Zahiri, و M. Mohammadi, "Sustainable design of a closed-loop location-routing-inventory supply chain network under mixed uncertainty," Transp. Res. Part E Logist. Transp. Rev., vol 89, pp 182–214, 2016, doi: 10.1016/j.tre.2016.02.011.

[7] E. Bottani, T. Murino, M. Schiavo, و R. Akkerman, "Resilient food supply chain design: Modelling framework and metaheuristic solution approach," Comput. Ind. Eng., vol 135, pp 177–198, 2019, doi: 10.1016/j.cie.2019.05.011.

[8] S. R. Cardoso, A. Paula Barbosa-Póvoa, S. Relvas, و A. Q. Novais, "Resilience metrics in the assessment of complex supply-chains performance operating under demand uncertainty," Omega (United Kingdom), vol 56, pp 53–73, 2015, doi: 10.1016/j.omega.2015.03.008.

[9] B. Mosallanezhad, M. Hajiaghaei-Keshteli, و C. Triki, "Shrimp closed-loop supply chain network design," Soft Comput., no. 11, vol 25, pp 7399–7422, 2021, doi: 10.1007/s00500-021-05698-1.

[10]T. Tabbakh و J. H. Freeland-Graves, "The home environment: A mediator of nutrition knowledge and diet quality in adolescents," Appetite, vol 105, pp 46–52, 2016, doi: 10.1016/j.appet.2016.05.002.

[11]L. Schiller, M. Bailey, J. Jacquet, و E. Sala, "High seas fisheries play a negligible role in addressing global food security," Sci. Adv., no. 8 vol 4, , 2018, doi: 10.1126/sciadv.aat8351.

[12]H. MM و F. A, "Iranian Fisheries Status: An Update (2004-2014)," Fish. Aquac. J., no. 01, vol 08, , pp 1–8, 2017, doi: 10.4172/2150-3508.1000192.

[13]C. Sel, B. Bilgen, J. M. Bloemhof-Ruwaard, و J. G. A. J. van der Vorst, "Multi-bucket optimization for integrated planning and scheduling in the perishable dairy supply chain," Comput. Chem. Eng., vol 77, pp 59–73, 2015, doi: 10.1016/j.compchemeng.2015.03.020.

[14]A. Cheraghalipour, M. M. Paydar, و M. Hajiaghaei-Keshteli, "A bi-objective optimization for citrus closed-loop supply chain using Pareto-based algorithms," Appl. Soft Comput. J., vol 69, pp 33–59, 2018, doi: 10.1016/j.asoc.2018.04.022.

[15]W. E. Soto-Silva, E. Nadal-Roig, M. C. González-Araya, و L. M. Pla-Aragones, "Operational research models applied to the fresh fruit supply chain," Eur. J. Oper. Res., no. 2, vol 251, pp 345–355, 2016, doi: 10.1016/j.ejor.2015.08.046.

[16]V. Borodin, J. Bourtembourg, F. Hnaien, و N. Labadie, "Handling uncertainty in agricultural supply chain management: A state of the art," Eur. J. Oper. Res., no. 2, vol 254, pp 348–359, 2016, doi: 10.1016/j.ejor.2016.03.057.

[17]M. M. Musavi و A. Bozorgi-Amiri, "A multi-objective sustainable hub location-scheduling problem for perishable food supply chain," Comput. Ind. Eng., vol 113, pp 766–778, 2017, doi: 10.1016/j.cie.2017.07.039.

[18]K. Govindan, A. Jafarian, R. Khodaverdi, و K. Devika, "Two-echelon multiple-vehicle location-routing problem with time windows for optimization of sustainable supply chain network of perishable food," Int. J. Prod. Econ., no. 2009, vol 152, pp 9–28, 2014, doi: 10.1016/j.ijpe.2013.12.028.

information," Appl. Math. Model., vol 67, pp 337–356, 2019, doi: 10.1016/j.apm.2018.10.028.

[33]A. Banasik, A. Kanellopoulos, J. M. Bloemhof-Ruwaard, و G. D. H. Claassen, "Accounting for uncertainty in eco-efficient agri-food supply chains: A case study for mushroom production planning," J. Clean. Prod., vol 216, pp 249–256, april 2019, doi: 10.1016/j.jclepro.2019.01.153.

[34]S. Mithun Ali, M. A. Moktadir, G. Kabir, J. Chakma, M. J. U. Rumi, و M. T. Islam, "Framework for evaluating risks in food supply chain: Implications in food wastage reduction," J. Clean. Prod., vol 228, pp 786–800, Aug 2019, doi: 10.1016/j.jclepro.2019.04.322.

[35]R. M. Yetkin Özbük و A. Coşkun, "Factors affecting food waste at the downstream entities of the supply chain: A critical review," Journal of Cleaner Production, vol 244. Elsevier Ltd, Jan 20, 2020, doi: 10.1016/j.jclepro.2019.118628.

[36]P. Kittipanya-ngam و K. H. Tan, "A framework for food supply chain digitalization: lessons from Thailand," Prod. Plan. Control, no. 2–3, vol 31, pp 158–172, Feb 2020, doi: 10.1080/09537287.2019.1631462.

[37]D. G. Mogale, S. K. Kumar, و M. K. Tiwari, "Green food supply chain design considering risk and post-harvest losses: a case study," Ann. Oper. Res., no. 1, vol 295, pp 257–284, 2020, doi: 10.1007/s10479-020-03664-y.

[38]R. Patidar و S. Agrawal, "A mathematical model formulation to design a traditional Indian agri-fresh food supply chain: a case study problem," Benchmarking, no. 8, vol 27, pp 2341–2363, 2020, doi: 10.1108/BIJ-01-2020-0013.

[39]J. Jouzdani و K. Govindan, "On the sustainable perishable food supply chain network design: A dairy products case to achieve sustainable development goals," J. Clean. Prod., vol 278, p 123060, 2021, doi: 10.1016/j.jclepro.2020.123060.

[40]Y. Z. Mehrjerdi and M. Shafiee, "A resilient and sustainable closed-loop supply chain using multiple sourcing and information sharing strategies," J. Clean. Prod., vol 289, p 125141, 2021, doi: 10.1016/j.jclepro.2020.125141.

[41]A. Goli, A. Golmohammadi, و F. Studies, "Ijsom 2022," vol xx, no. xx, 2022, doi: 10.22034/ijsom.2021.109265.2285.

[42]S. M. Jaigirdar, S. Das, A. R. Chowdhury, S. Ahmed, و R. K. Chakrabortty, "Multi-objective multi-echelon distribution planning for perishable goods supply chain: a case study," Int. J. Syst. Sci. Oper. Logist., 2022, doi: 10.1080/23302674.2021.2020367.

[43]O. I. Forsberg, "Optimal stocking and harvesting of size-structured farmed fish: A multi-period linear programming approach," Math. Comput. Simul., no. 2–3, vol 42, pp 299–305, 1996, doi: 10.1016/0378-4754(95)00132-8.

[44]O. I. Forsberg, "Optimal harvesting of farmed Atlantic salmon at two cohort management strategies and different harvest operation restrictions," Aquac. Econ. Manag., no. 2, vol 3, pp 143–158, 1999, doi: 10.1080/13657309909380241.

[45]B. J. Sanders, J. G. Fadel, و E. M. Wade, "Economic optimization modeling of white sturgeon (Acipenser transmontanus) caviar and meat production under different management conditions," Aquaculture, no. 1–4, vol 217, pp. 409–430, 2003, doi: 10.1016/S0044-8486(02)00577-X.

[46]R. Yu, P. S. Leung, و P. Bienfang, "Modeling partial harvesting in intensive shrimp culture: A network-flow approach," Eur. J. Oper. Res., no. 1, vol 193, pp 262–271, 2009, doi: 10.1016/j.ejor.2007.10.031.

[19]A. Attanasio, A. Fuduli, G. Ghiani, و C. Triki, "Integrated shipment dispatching and packing problems: A case study," J. Math. Model. Algorithms, no. 1, vol 6, pp 77–85, 2007, doi: 10.1007/s10852-006-9050-5.

[20]M. Akbari Kaasgari, D. M. Imani, و M. Mahmoodjanloo, "Optimizing a vendor managed inventory (VMI) supply chain for perishable products by considering discount: Two calibrated meta-heuristic algorithms," Comput. Ind. Eng., vol 103, no. Vmi, pp 227–241, 2017, doi: 10.1016/j.cie.2016.11.013.

[21]Z. Dai, F. Aqlan, X. Zheng, و K. Gao, "A location-inventory supply chain network model using two heuristic algorithms for perishable products with fuzzy constraints," Comput. Ind. Eng., vol 119, no. April, pp 338–352, 2018, doi: 10.1016/j.cie.2018.04.007.

[22]C. Triki, "Location-based techniques for the synergy approximation in combinatorial transportation auctions," Optim. Lett., no. 5, vol 10, pp 1125–1139, 2016, doi: 10.1007/s11590-015-0909-0.

[23]X. Wu, L. Nie, M. Xu, و F. Yan, "A perishable food supply chain problem considering demand uncertainty and time deadline constraints: Modeling and application to a high-speed railway catering service," Transp. Res. Part E Logist. Transp. Rev., vol 111, no. February 2017, pp 186–209, 2018, doi: 10.1016/j.tre.2018.01.002.

[24]A. L. Stoecker, A. Seidmann, و G. S. Lloyd, "Linear Dynamic Programming Approach To Irrigation System Management With Depleting Groundwater.," Manage. Sci., no. 4, vol 31, pp. 422–434, 1985, doi: 10.1287/mnsc.31.4.422.

[25]J. C. Ferrer, A. Mac Cawley, S. Maturana, S. Toloza, و J. Vera, "An optimization approach for scheduling wine grape harvest operations," Int. J. Prod. Econ., no. 2, vol 112, pp 985–999, 2008, doi: 10.1016/j.ijpe.2007.05.020.

[26]O. Ahumada و J. R. Villalobos, "Operational model for planning the harvest and distribution of perishable agricultural products," Int. J. Prod. Econ., no. 2, vol 133, pp 677–687, 2011, doi: 10.1016/j.ijpe.2011.05.015.

[27]B. Tan و N. Çömden, "Agricultural planning of annual plants under demand, maturation, harvest, and yield risk," Eur. J. Oper. Res., no. 2, vol 220, pp 539–549, 2012, doi: 10.1016/j.ejor.2012.02.005.

[28]E. Teimoury, H. Nedaei, S. Ansari, و M. Sabbaghi, "A multi-objective analysis for import quota policy making in a perishable fruit and vegetable supply chain: A system dynamics approach," Comput. Electron. Agric., vol 93, pp 37–45, 2013, doi: 10.1016/j.compag.2013.01.010.

[29]S. Validi, A. Bhattacharya, and P. J. Byrne, "A case analysis of a sustainable food supply chain distribution system - A multi-objective approach," Int. J. Prod. Econ., vol 152, pp 71–87, 2014, doi: 10.1016/j.ijpe.2014.02.003.

[30]D. Agustina, C. K. M. Lee, و R. Piplani, "Vehicle scheduling and routing at a cross docking center for food supply chains," Int. J. Prod. Econ., vol 152, pp 29–41, 2014, doi: 10.1016/j.ijpe.2014.01.002.

[31]H. Allaoui, Y. Guo, A. Choudhary, و J. Bloemhof, "Sustainable agro-food supply chain design using two-stage hybrid multi-objective decision-making approach," Comput. Oper. Res., vol 89, pp 369–384, jan 2018, doi: 10.1016/j.cor.2016.10.012.

[32]X. Ma, Q. Bai, S. M. Islam, S. Wang, و X. Liu, "Coordinating a three-echelon fresh agricultural products supply chain considering freshness-keeping effort with asymmetric

[47]F. Cisternas, D. D. Donne, G. Durán, C. Polgatiz, و A. Weintraub, “Optimizing salmon farm cage net management using integer programming,” J. Oper. Res. Soc., no. 5, vol 64, pp. 735–747, 2013, doi: 10.1057/jors.2012.74.

[48]F. Bravo, G. Durán, A. Lucena, J. Marenco, D. Morán, و A. Weintraub, “Mathematical models for optimizing production chain planning in salmon farming,” Int. Trans. Oper. Res., no. 5, vol 20, pp 731–766, 2013, doi: 10.1111/itor.12022.

[49]K. Bakhrankova, K. T. Midthun, و K. T. Uggen, “Stochastic optimization of operational production planning for fisheries,” Fish. Res., vol 157, pp 147–153, 2014, doi: 10.1016/j.fishres.2014.03.018.

[50]S. Tabrizi, S. H. Ghodsypour, و A. Ahmadi, “Modelling three-echelon warm-water fish supply chain: A bi-level optimization approach under Nash–Cournot equilibrium,” Appl. Soft Comput. J., vol 71, pp 1035–1053, 2018, doi: 10.1016/j.asoc.2017.10.009.

[51]D. I. Handayani, I. Masudin, A. Rusdiansyah, و J. Suharsono, “Production-Distribution Model Considering Traceability and Carbon Emission: A Case Study of the Indonesian Canned Fish Food Industry,” Logistics, no. 3, vol 5, p 59, 2021, doi: 10.3390/logistics5030059.

[52]B. Zahiri, J. Zhuang, و M. Mohammadi, “Toward an integrated sustainable-resilient supply chain: A pharmaceutical case study,” Transp. Res. Part E Logist. Transp. Rev., vol 103, no. 2017, pp 109–142, 2017, doi: 10.1016/j.tre.2017.04.009.

[53]M. S. Pishvaee, J. Razmi, و S. A. Torabi, “Robust possibilistic programming for socially responsible supply chain network design: A new approach,” Fuzzy Sets Syst., vol 206, pp 1–20, 2012, doi: 10.1016/j.fss.2012.04.010.

[54]M. Mousazadeh, S. A. Torabi, M. S. Pishvaee, و F. Abolhassani, “Accessible, stable, and equitable health service network redesign: A robust mixed possibilistic-flexible approach,” Transp. Res. Part E Logist. Transp. Rev., vol 111, no. January, pp 113–129, 2018, doi: 10.1016/j.tre.2018.01.006.

[55]L. Ren, Y. Zhang, Y. Wang, و Z. Sun, “Comparative Analysis of a Novel M-TOPSIS Method and,” vol 2007, pp 1–10, 2007, doi: 10.1093/amrx/abm005.