Journal of Quality Engineering and Management

www.pqprc.ir

J. Qual. Eng. Manag. Vol. 15, No. 2 (2025) 180–203.

Paper Type: Original Article

A Multi-Objective Mathematical Model for Designing the Fruit Supply Chain based on the Quality and Sustainable Development Goals

Naeme Zarrinpoor*

Department of Industrial Engineering, Shiraz University of Technology, Shiraz, Iran; zarrinpoor@sutech.ac.ir.

Citation:

Received: 16 May 2025 *Revised: 08 July 2025* *Accepted: 11 August 2025*	Zarrinpoor, N. (2025). A multi-objective mathematical model for designing the fruit supply chain based on the quality and sustainable development goals. *Journal of Quality Engineering and Management, 15*(2), 180-203.

Abstract

Purpose: In this paper, a multi-objective mathematical programming model is presented for designing a multi-level, multi-period fruit supply chain, while accounting for sustainable development goals encompassing cost minimization, greenhouse gas emission minimization, and social dimension maximization. In the proposed model, product quality plays a fundamental role in supply chain design, and fruits are graded in distribution centers based on quality and distributed to fruit markets, compost factories, juice factories, concentrate factories, and drug factories.

Methodology: The proposed multi-objective model is solved using fuzzy goal programming. The weights of the objective functions as well as the weights of social dimensions are calculated using the fuzzy best-worst approach.

Findings: In this research, a case study of Fars province, the third-largest apple-producing province in the country, is used to evaluate the performance of the proposed model. The results of the proposed model were compared with three models from economic, environmental, and social perspectives. The research findings show that system sustainability cannot be achieved by separately optimizing models with economic, environmental, and social perspectives. The proposed model achieves an efficient optimal solution across all three dimensions of sustainability, with significant improvements in the environmental and social dimensions and a negligible increase in system costs. In addition, by establishing a proper balance across all three sustainability dimensions, the proposed model leads to a supply chain with a different network structure and a different number of deployed facilities compared to the other three models.

Originality/Value: The added value of this research is to provide a comprehensive model that considers sustainability and quality as the main factors in grading and distributing products across different levels of the supply chain. The findings of this research can help policymakers and operational managers in the fruit industry make strategic and operational decisions in fruit production, processing, and supply-to-sale markets based on sustainability dimensions.

Keywords: Sustainable development goals, Fruit supply chain, Quality, Optimization, Fuzzy goal programming, Fuzzy best-worst approach.

Corresponding Author: zarrinpoor@sutech.ac.ir

10.48313/jqem.2025.531259.1558

Licensee System Analytics. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0).

مهندسی و مدیریت کیفیت

www.pqprc.ir

دوره ۱۵، شماره (۲)، (۱۴۰۴)، ۲۰۳-۱۸۰

نوع مقاله: پژوهشی

یک مدل ریاضی چندهدفه برای طراحی زنجیره‌تامین میوه مبتنی بر کیفیت و اهداف توسعه پایدار

ناعمه زرین‌پور*

دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی شیراز، شیراز، ایران.

چکیده

هدف: در این مقاله یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی چندهدفه برای طراحی زنجیره‌تامین میوه چندسطحی و چنددوره‌ای با در نظر گرفتن اهداف توسعه پایدار شامل کمینه‌سازی هزینه‌ها، کمینه‌سازی انتشار گازهای گلخانه‌ای و بیشینه‌سازی ابعاد اجتماعی ارایه می‌شود. در مدل پیشنهادی کیفیت محصولات نقش اساسی در طراحی زنجیره‌تامین ایفا می‌کند و میوه‌ها در مراکز توزیع بر اساس کیفیت درجه‌بندی و سپس بین بازارهای میوه، مراکز تولید کمپوست، کارخانه‌های تولید آبمیوه، کارخانه‌های تولید کنسانتره و کارخانه‌های تولید دارو توزیع می‌شوند.

روش‌شناسی پژوهش: مدل چندهدفه پیشنهادی با استفاده از یک رویکرد برنامه‌ریزی آرمانی فازی حل شده است. وزن توابع هدف و همچنین وزن ابعاد اجتماعی با استفاده از رویکرد بهترین-بدترین فازی محاسبه شده است.

یافته‌ها: در این پژوهش، برای ارزیابی عملکرد مدل پیشنهادی از یک مطالعه موردی مبتنی بر استان فارس که سومین استان سرآمد در زمینه تولید سیب در کشور است، استفاده شد. نتایج حاصل از مدل پیشنهادی با سه مدل با دیدگاه‌های اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی مقایسه شد. یافته‌های پژوهش نشان می‌دهد که پایداری سیستم با استفاده از بهینه‌سازی جداگانه مدل‌های با دیدگاه‌های اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی میسر نمی‌شود و مدل پیشنهادی موجب دستیابی به جواب بهینه کارآمد در هر سه بعد پایداری به‌طور همزمان با بهبود قابل‌ملاحظه در ابعاد زیست‌محیطی و اجتماعی و افزایش ناچیز در هزینه‌های سیستم می‌شود. افزون بر این، مدل پیشنهادی با برقراری یک تعادل مناسب بین هر سه بعد پایداری منجر به ایجاد یک زنجیره‌تامین با ساختار شبکه و تعداد تسهیلات استقراریافته متفاوت نسبت به سه مدل دیگر خواهد شد.

اصالت/ارزش‌افزوده علمی: ارزش‌افزوده این پژوهش، ارایه یک مدل جامع با دیدگاه‌های پایداری و در نظر گرفتن کیفیت به‌عنوان یک عامل اصلی در درجه‌بندی و توزیع محصولات بین سطوح مختلف زنجیره‌تامین است. یافته‌های این پژوهش می‌تواند به سیاست‌گذاران و مدیران عملیاتی در صنعت میوه جهت اتخاذ تصمیمات استراتژیک و عملیاتی در زمینه تولید میوه، فرآوری آن و عرضه به بازارهای فروش با تکیه بر ابعاد پایداری یاری رساند.

کلیدواژه‌ها: اهداف توسعه پایدار، زنجیره‌تامین میوه، کیفیت، بهینه‌سازی، برنامه‌ریزی آرمانی فازی، رویکرد بهترین-بدترین فازی.

۱- مقدمه

امروزه سازمان‌ها برای کاهش هزینه‌ها، افزایش رضایت مشتریان، پاسخ سریع به تغییرات بازار، بهبود عملکرد کسب‌وکار، پایداری و ارتقای موقعیت رقابتی نیاز به مدیریت و بهینه‌سازی زنجیره‌تامین دارند. مدیریت زنجیره‌تامین با برنامه‌ریزی، کنترل و اجرای طیف وسیعی از فعالیت‌ها شامل تامین

مواد اولیه، تولید، توزیع و تحویل محصولات نهایی به مشتریان یکی از ارکان اصلی اقتصاد و جوامع را شکل داده است که با بهینه‌سازی فعالیت‌های فیزیکی و هم‌افزایی ارتباطات و جریان اطلاعات بهبود روابط تجاری و ارتقای موقعیت رقابتی کشورها را در پی خواهد داشت. یکی از صنایعی که مدیریت لجستیک و زنجیره‌تامین در آن اهمیت قابل‌ملاحظه‌ای دارد، صنعت کشاورزی است که با کاشت و پرورش انواع گیاهان، سبزی‌ها، صیفی‌جات و دانه‌های روغنی به تامین اساسی‌ترین نیاز انسان می‌پردازد. نظر به این‌که بشر برای بقا و ادامه حیات به تغذیه مناسب و با ارزش احتیاج دارد، افزایش قابلیت دسترسی محصولات صنعت کشاورزی نیازمند مدیریت دقیق و موثر زنجیره‌تامین است. افزون بر این، عدم وجود فقر و گرسنگی از اهداف هفده‌گانه برنامه ۲۰۳۰ سازمان ملل برای توسعه پایدار است و یکی از راه‌های دستیابی به این اهداف توجه ویژه به صنعت کشاورزی است [1]. صنعت کشاورزی در سال ۲۰۱۷، میزان ۲۸/۵% از اشتغال جهانی و ۴/۱% از تولید ناخالص داخلی را به خود اختصاص داده است [2]. با این وجود، صنعت کشاورزی یکی از عوامل اصلی تغییرات زیست‌محیطی در جهان به شمار می‌رود. صنعت کشاورزی مسئول ۸۰% از جنگل‌زدایی جهانی، ۲۹% از انتشار گازهای گلخانه‌ای و ۷۰% از مصرف آب شیرین جهان است [3]؛ بنابراین، طراحی زنجیره‌تامین پایدار محصولات کشاورزی ضروری به نظر می‌رسد. در حال حاضر با توجه به افزایش جمعیت جهانی و افزایش فعالیت‌های صنعتی، پایداری به یکی از موضوعات بسیار مهم برای سازمان‌ها، دولت‌ها و دوستداران محیط‌زیست تبدیل شده است. کمیسیون جهانی محیط‌زیست و توسعه، توسعه پایدار را به‌صورت برآورده نمودن نیازهای نسل حاضر بدون به خطر انداختن توانایی نسل‌های آینده برای تامین نیازهای خود تعریف می‌کند [4]. به‌منظور ایجاد پایداری باید عوامل پایداری اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی به‌طور هماهنگ و متوازن با هم در جریان باشند و نمی‌توان با بهبود جداگانه این سه عامل به پایداری دست یافت. طراحی زنجیره‌تامین پایدار کلیه فعالیت‌های زنجیره‌تامین را با در نظر گرفتن سه بعد اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی مدیریت می‌کند. با لحاظ کردن پایداری در زنجیره‌تامین می‌توان علاوه‌بر در نظرگرفتن سودآوری‌های اقتصادی، آثار مخرب زیست‌محیطی را کمینه و مسئولیت‌های اجتماعی زنجیره‌تامین را بیشینه نمود [5]. برای اندازه‌گیری و سنجش ابعاد اجتماعی زنجیره‌تامین باید مسئولیت‌های اجتماعی با تکیه بر مسائل حقوق بشر، فعالیت‌های کارکنان، راهکارهای عملیاتی منصفانه، مسائل مربوط به مشتریان و توسعه جامعه در نظر گرفته شود [6].

کشور ایران با دارا بودن تنوع اقلیمی، وجود آفتاب فراوان و اراضی وسیع از کشورهای سرآمد در زمینه تولید محصولات کشاورزی و محصولات باغبانی است. در سال ۲۰۱۸، ایران با تنوع میوه‌های تولیدشده به‌عنوان یکی از ۱۰ کشور برتر تولیدکننده میوه در جهان بوده است [7]؛ بنابراین، کشور ایران پتانسیل بالایی در تامین نیازهای داخل کشور و همین‌طور صادرات محصولات کشاورزی به‌ویژه به کشورهای حاشیه خلیج‌فارس را دارد. با توجه به این‌که بسیاری از محصولات تازه کشاورزی به‌منظور مصرف در حالت تازه تولید می‌شوند و سایر بخش‌های گیاه به‌عنوان زباله دور ریخته می‌شوند، طراحی یک سیستم مدیریت پسماند برای زنجیره‌تامین محصولات کشاورزی با این حجم زیاد از تولیدات ضروری به نظر می‌رسد. شایان ذکر است که نرخ ضایعات میوه‌ها و سبزی‌ها نسبت به سایر انواع غذاها بسیار بالا است، به‌طوری‌که ضایعات آن‌ها ۴۰% تا ۵۰% از کل تولید را شامل می‌شود. بخش قابل‌توجهی از این ضایعات در مراحل تولید، نگهداری پس از برداشت محصولات و انبار نمودن آن‌ها رخ می‌دهد [8]. با مدیریت صحیح ضایعات کشاورزی و تبدیل آن‌ها به مواد با ارزش نظیر بایوگاز، کمپوست، سوخت‌های زیستی و الکتریسیته، نه‌تنها آلودگی‌های زیست‌محیطی ناشی از دور ریختن ضایعات کاهش می‌یابد بلکه مواد با ارزش تولیدشده می‌تواند منجر به بهبود وضعیت اقتصادی و توسعه منطقه شود.

هدف این مقاله طراحی یک زنجیره‌تامین میوه چنددوره‌ای، چندمحصولی و چندسطحی مبتنی بر کیفیت است. زنجیره‌تامین پیشنهادی شامل تولیدکنندگان میوه، مراکز توزیع، کارخانه‌های تولید آبمیوه، کارخانه‌های تولید کنسانتره، کارخانه‌های تولید دارو، کارخانه‌های تولید کمپوست، بازارهای میوه، بازارهای آبمیوه و بازارهای کمپوست است. در مراکز توزیع میوه‌ها بر اساس سطح کیفیت به بازارهای میوه، کارخانه‌های تولید آبمیوه، کنسانتره، دارو و کمپوست توزیع می‌شوند. بعد اقتصادی پایداری زنجیره‌تامین پیشنهادی شامل کمینه‌سازی هزینه‌های ثابت استقرار، خرید، سفارش‌دهی، حمل‌ونقل، ارایه امکانات رفاهی و هزینه‌های عملیاتی تولید و پردازش است. بعد زیست‌محیطی شامل کمینه‌سازی گازهای گلخانه‌ای ناشی از عملیات تولیدی و حمل‌ونقل است. در بعد اجتماعی پایداری نیز فرصت‌های شغلی، روزهای از دست رفته کاری، سطح توسعه منطقه و رضایت کارکنان در اثر ارایه خدمات رفاهی در نظر گرفته شده است. برای حل مدل از رویکرد برنامه‌ریزی آرمانی فازی و برای تعیین اهمیت وزن توابع هدف و معیارهای اجتماعی از رویکرد بهترین-بدترین فازی استفاده می‌شود. ادامه ساختار مقاله به این ترتیب است که مرور ادبیات در بخش دوم و توصیف و مدل‌سازی مساله در بخش سوم ارایه شده است. روش حل در بخش چهارم ارایه می‌شود که شامل رویکرد برنامه‌ریزی آرمانی فازی و رویکرد بهترین-بدترین فازی است. در بخش پنجم نتایج عددی و در بخش ششم نتایج و پیشنهادهای آتی ارایه می‌شود.

۲- پیشینه تحقیق

در این بخش، پژوهش‌های انجام‌شده در سال‌های اخیر در زمینه زنجیره‌تامین محصولات کشاورزی بر اساس مدل‌سازی ریاضی بررسی می‌شود. چراغعلی‌پور و همکاران [9]، یک مدل بهینه‌سازی دوهدفه برای طراحی زنجیره‌تامین حلقه بسته مرکبات طراحی کردند که در آن تولیدکنندگان، مراکز توزیع، مشتریان و مراکز تولید کمپوست در نظر گرفته شده است. این مدل کمینه‌سازی هزینه‌های سیستم شامل هزینه ثابت استقرار، حمل‌ونقل، نگهداری، تولید و توزیع و بیشینه‌سازی سطح پاسخگویی شبکه حلقه بسته روبه‌جلو و معکوس را میسر می‌سازد. مدل پیشنهادی با استفاده از الگوریتم فرا ابتکاری چندهدفه کشتل حل شده است و کارایی آن با استفاده از چندین الگوریتم فرا ابتکاری چندهدفه مقایسه شده است. چراغعلی‌پور و همکاران [10]، یک مدل بهینه‌سازی چندسطحی برای طراحی زنجیره‌تامین برنج متشکل از تولیدکنندگان، مراکز توزیع، کارخانه‌های برنج، کارخانه‌های شامپو و مشتریان طراحی کردند. این مدل در سطح بالای زنجیره‌تامین، کمینه‌سازی هزینه‌های سیستم شامل هزینه استقرار تسهیلات، هزینه حمل‌ونقل، هزینه تولید و هزینه نگهداری موجودی را در نظر می‌گیرد. تابع هدف سطح پایین زنجیره‌تامین نیز شامل کمینه‌سازی هزینه حمل‌ونقل محصولات از کارخانه‌های برنج به مشتریان و هزینه حمل‌ونقل محصولات از کارخانه‌های برنج به کارخانه‌های شامپو است.

متولی طاهر و همکاران [11]، یک زنجیره‌تامین برای گندم با تقاضای پیش‌بینی‌شده و با استفاده از شبیه‌سازی طراحی کردند. در مدل آن‌ها، واردات گندم، مزارع گندم، سیلوها، کارخانه‌های آرد و مشتریان در نظر گرفته شده است. اهداف مدل کمینه‌سازی هزینه‌های سیستم، کمینه‌سازی میزان آب مصرفی و بیشینه‌سازی فرصت‌های شغلی است. مدل با استفاده از شبیه‌سازی، برنامه‌ریزی آرمانی و داده‌های استان مازندران حل شده است. صالحی‌امیری و همکاران [12]، یک شبکه زنجیره‌تامین برای گردو متشکل از مزارع، مراکز خرید، مراکز جداسازی، مراکز جمع‌آوری و بازیابی و مشتریان با هدف کمینه‌سازی هزینه‌های سیستم شامل هزینه خرید، عملیاتی، استقرار تسهیلات، نگهداری موجودی و حمل‌ونقل طراحی کردند. برای حل مدل نیز از الگوریتم‌های فرا ابتکاری کشتل، بهینه‌ساز مهندسی اجتماعی، شبیه‌سازی تبرید و الگوریتم‌های ترکیبی مبتنی بر این سه الگوریتم استفاده شده است. چوهان و همکاران [13]، یک مدل ریاضی برای طراحی زنجیره‌تامین نیشکر با در نظر گرفتن تولیدکنندگان، کارخانه‌های تولید نیشکر و مراکز تولید کمپوست طراحی کردند. در مدل ریاضی، کمینه‌سازی هزینه‌های کل سیستم شامل هزینه ثابت استقرار تسهیلات، هزینه حمل‌ونقل، هزینه عملیاتی و مالیات کربن در نظر گرفته شده است. مدل با استفاده از الگوریتم‌های فرا ابتکاری مبتنی بر الگوریتم ژنتیک، شبیه‌سازی تبرید و بهینه‌ساز مهندسی اجتماعی حل شده است. صالحی‌امیری و همکاران [14]، یک شبکه زنجیره‌تامین برای آووکادو متشکل از مزارع، مراکز درجه‌بندی و دسته‌بندی، مراکز توزیع و بسته‌بندی، کارخانه‌های روغن، دانه، برگ، مراکز جمع‌آوری و بازیابی و مشتریان طراحی کردند. اهداف مدل شامل کمینه‌سازی هزینه‌های سیستم و بیشینه‌سازی فرصت‌های شغلی است و با استفاده از روش معیار جامع حل شده است. سیدآنلو و همکاران [15]، یک زنجیره‌تامین حلقه بسته برای زیتون متشکل از تولیدکنندگان، مراکز توزیع، کارخانه‌های زیتون، کارخانه‌های لوازم‌آرایشی و کارخانه‌های تولید کمپوست طراحی کردند. مدل با اهداف کمینه‌سازی هزینه‌ها، کمینه‌سازی میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای و بیشینه‌سازی فرصت‌های شغلی ثابت و متغیر به‌عنوان تابع هدف اجتماعی ارایه شده است و برای حل آن از الگوریتم‌های فرا ابتکاری استفاده شده است.

رجبی کفشگر و همکاران [16]، یک زنجیره‌تامین برای پسته با در نظر گرفتن تولیدکنندگان، مراکز پردازش، کارخانه‌های پسته، کارخانه‌های روغن‌گیری و مراکز تقاضا طراحی کردند. هدف مدل پیشنهادی کمینه نمودن هزینه‌های سیستم شامل هزینه ثابت استقرار، تولید و حمل‌ونقل است و این مدل با استفاده از الگوریتم‌های فرا ابتکاری حل شده است. قلیان جویباری و همکاران [17]، یک شبکه زنجیره‌تامین حلقه بسته برای محصولات کشاورزی غذایی با در نظر گرفتن سویا طراحی کردند. در مدل آن‌ها بیشینه‌سازی سود حاصل از فروش محصولات به بازار عمومی، صنایع، مشتریان غذای حیوانات و مراکز تامین در نظر گرفته شده است. افزون بر این، اهداف کمینه‌سازی میزان انتشار دی‌اکسیدکربن و بیشینه‌سازی سطح برآورده‌سازی تقاضای مشتریان به‌عنوان توابع هدف دوم و سوم مدل در نظر گرفته شده است و برای حل مدل از الگوریتم‌های فرا ابتکاری استفاده شده است. گودرزیان و همکاران [18]، یک مدل ریاضی چندهدفه برای زنجیره‌تامین پایدار مرکبات جهت بهینه‌سازی تصمیمات تولید، توزیع، نگهداری موجودی، بازیابی و مکان‌یابی ارایه نمودند و برای حل مدل از الگوریتم‌های مبتنی بر جبهه بهینه پارتو استفاده کردند. کمینه نمودن هزینه‌های سیستم، کمینه نمودن میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای و بیشینه نمودن احداث مراکز توزیع و بازیابی در مکان‌های با جمعیت کم‌تر از اهداف مدل پیشنهادی است. شایان ذکر است که تابع هدف سوم به‌عنوان یک تابع هدف اجتماعی در نظر گرفته شده است و بر اساس آن جمعیت کم‌تری در معرض آلودگی‌های ناشی از استقرار مراکز توزیع و بازیابی قرار می‌گیرند. قلیان جویباری و همکاران [19]، یک مدل بهینه‌سازی تصادفی

برای طراحی شبکه زنجیره‌تامین زعفران با در نظر گرفتن فعالیت‌های بازاریابی و عدم‌قطعیت ارایه نمودند. در مدل آن‌ها زمین‌های زعفران، کارخانه‌های زعفران، مراکز توزیع و مراکز تقاضا شامل بازارهای عمومی، کارخانه‌های لوازم‌آرایشی، کارخانه‌های داروسازی و کارخانه‌های رنگرزی در نظر گرفته شده است. بیشینه‌سازی سود حاصل از فروش محصولات، بیشینه‌سازی برآورده نمودن تقاضای مشتریان، بیشینه‌سازی سطح ظرفیت تولید کارخانه‌های زعفران و کمینه‌سازی میزان آب موردنیاز برای برآوردن تقاضا به‌عنوان اهداف مدل پیشنهادی در نظر گرفته شده است و برای حل مدل از الگوریتم‌های فرا ابتکاری استفاده شده است. کلانتری خلیل‌آباد و همکاران [20]، یک مدل ریاضی برای زنجیره‌تامین انار با در نظر گرفتن اهداف کمینه‌سازی هزینه‌ها و کمینه‌سازی میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای بر اساس میزان مصرف سوخت وسایل حمل‌ونقل در نظر گرفتند. در مدل ریاضی آن‌ها، از مراکز تبدیل ترموشیمیایی برای مدیریت ضایعات کشاورزی استفاده شده است که بیوچار، روغن زیستی و گاز ترکیبی تولید می‌کند. قلیان جویباری و همکاران [21]، یک شبکه زنجیره‌تامین حلقه بسته برای نارگیل با در نظر گرفتن اهداف کمینه‌سازی هزینه‌ها، کمینه‌سازی میزان انتشار دی‌اکسیدکربن و بیشینه‌سازی تعداد فرصت‌های شغلی ارایه دادند و برای حل مدل از الگوریتم‌های فرا ابتکاری استفاده نمودند. جوانمردان و همکاران [22]، یک زنجیره‌تامین میوه با در نظر گرفتن اجزای باغ‌های میوه، مراکز توزیع، بازار میوه، مغازه‌ها، مراکز تولید سرکه و مراکز تولید کمپوست طراحی کردند. اهداف مدل شامل کمینه‌سازی هزینه، کمینه‌سازی میزان انتشار و بیشینه‌سازی سطح پاسخ بازارهای میوه، کمپوست و سرکه است. مدل چندهدفه پیشنهادی با استفاده از روش معیار جامع حل شده است و برای اعتبارسنجی مدل از یک مطالعه موردی در شهر سنندج استفاده شده است. لطافت و همکاران [23]، یک زنجیره‌تامین برای محصولات کشاورزی فسادپذیر با در نظر گرفتن اجزای تامین‌کنندگان بذر و نشا، کشاورزان، بازارهای مصرف، کارخانه‌های فرآوری و مصرف‌کنندگان طراحی کردند که در آن ریسک اختلالات آفات و بیماری‌های گیاهان در نظر گرفته شده است. اهداف مدل شامل بیشینه‌سازی سود و کمینه‌سازی زمان حمل محصولات از بازارهای مصرف به مشتریان است و مدل با استفاده از یک مطالعه موردی مربوط به گوجه‌فرنگی اعتبارسنجی شده است. کیانی‌پور و همکاران [24]، یک زنجیره‌تامین برای ضایعات خرما با در نظر گرفتن نخلستان‌ها، بازارهای صنایع‌دستی، کارخانه‌های تولید *MDF*، مراکز انهدام، انبارها و مشتریان داخلی و خارجی با هدف کمینه‌سازی هزینه‌ها طراحی کردند و برای سنجش اعتبار مدل از یک مطالعه موردی در ایران استفاده نمودند.

جدول ۱ خلاصه‌ای از ویژگی‌های مدل‌های ریاضی در پژوهش‌های پیشین را نشان می‌دهد. در این جدول، *M* و *E* به ترتیب روش‌های فرا ابتکاری و دقیق را نشان می‌دهد. بر اساس **جدول ۱** مشخص می‌شود که اگرچه اهداف کمینه‌سازی هزینه‌ها یا بیشینه‌سازی سود و همچنین کمینه‌سازی انتشار گازهای گلخانه‌ای در طراحی زنجیره‌تامین محصولات کشاورزی بررسی شده است، اما اهداف اجتماعی کم‌تر موردتوجه قرار گرفته است. از بین اهداف اجتماعی در ادبیات موضوع، بیش‌تر بیشینه‌سازی سطح برآورده‌سازی تقاضای مشتریان و بیشینه‌سازی فرصت‌های شغلی ایجاد شده بررسی شده است و در یک پژوهش نیز ریسک آلودگی ساکنین منطقه به‌عنوان تابع هدف اجتماعی استفاده شده است و سایر ابعاد اهداف اجتماعی طراحی زنجیره‌تامین محصولات کشاورزی موردتوجه محققان قرار نگرفته است. بر اساس استاندارد ابتکار گزارش‌دهی جهانی [25]، که برای گزارش‌دهی پایداری و مسئولیت‌های اجتماعی در سازمان‌ها طراحی شده است، طیف وسیعی از ابعاد اجتماعی شامل فرصت‌های شغلی، کاهش تعداد روزهای کاری از دست رفته، افزایش سطح توسعه منطقه، تعداد ساعات آموزش کارکنان، تعداد افراد تحت پوشش بیمه، افزایش رضایت شغلی کارکنان از طریق ارایه خدمات رفاهی به کارکنان و غیره باید موردتوجه قرار گیرد. از سوی دیگر با توجه به فسادپذیری اکثر محصولات کشاورزی، مدیریت صحیح محصولات کشاورزی و تخصیص آن‌ها به نقاط تقاضا با توجه به شعاع پوشش لازم و ضروری است. همچنین در مسائل دنیای واقعی بودجه جهت استقرار تسهیلات پردازش و فرآوری محصولات کشاورزی محدود است. با این وجود، در هیچ یک از تحقیقات شعاع پوشش و محدودیت بودجه موردتوجه قرار نگرفته است. اگرچه، زنجیره‌تامین محصولات کشاورزی باید بر اساس جواب بهینه و دقیق طراحی شود تا در آینده قابل اتکا باشد، اما در تعداد زیادی از پژوهش‌های پیشین از الگوریتم‌های فرا ابتکاری استفاده شده است که با توجه به ابعاد مساله در برخی از موارد تنها دستیابی به جواب نزدیک بهینه را میسر می‌سازند. با توجه به موارد گفته‌شده در این پژوهش یک مدل ریاضی برای طراحی زنجیره‌تامین میوه مبتنی بر کیفیت ارایه می‌شود که در آن مدیریت پسماندهای لایه‌های مختلف زنجیره‌تامین با تکیه بر تولید کمپوست میسر می‌شود. مدل پیشنهادی با اهداف توسعه پایدار شامل کمینه‌سازی هزینه‌ها، کمینه‌سازی میزان انتشار و بیشینه‌سازی مسئولیت اجتماعی شبکه زنجیره‌تامین طراحی شده است. در بعد اجتماعی نیز افزایش فرصت‌های شغلی، کاهش تعداد روزهای کاری از دست رفته، افزایش سطح توسعه منطقه و افزایش رضایت شغلی کارکنان از طریق ارایه خدمات رفاهی موردتوجه قرار گرفته است. برای حل مساله از یک روش حل مبتنی بر رویکرد برنامه‌ریزی آرمانی فازی استفاده شده است که دستیابی به جواب بهینه را میسر می‌سازد. از رویکرد بهترین-بدترین فازی نیز برای تعیین اوزان توابع هدف و ابعاد تابع هدف اجتماعی استفاده شده است.

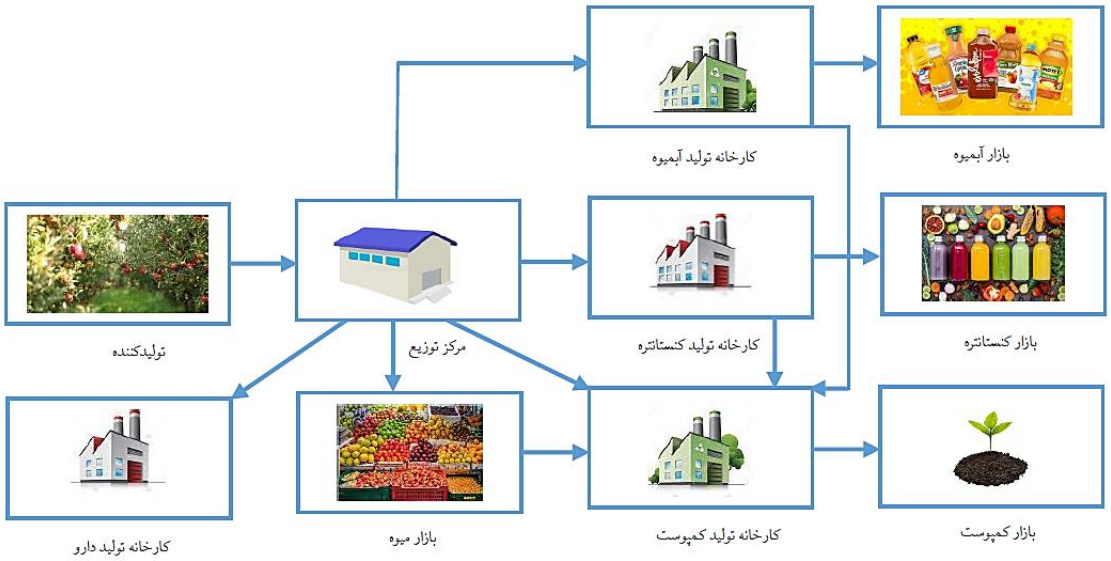
جدول ۱- خلاصه مرور ادبیات.

Table 1- The summary of literature review.

رفرنس	پایداری												جنبه‌های مدل			محصول	روش حل
	اقتصادی		زیست‌محیطی		اجتماعی												
	هزینه	سود	انتشار گازهای گلخانه‌ای	مصرف آب	سطح پاسخ	فرصت‌های شغلی	روزهای از دست رفته کاری	سطح توسعه منطقه	رضایت شغلی کارکنان	ریسک آلودگی ساکنین منطقه	شعاع پوشش	محدودیت بودجه	مدیریت ضایعات				
[9]	✓				✓								✓			مرکبات	M
[10]	✓															برنج	M
[11]	✓			✓		✓										گندم	E
[12]	✓												✓			گردو	M
[13]	✓		✓										✓			نیشکر	M
[14]	✓					✓							✓			آووکادو	E
[15]	✓		✓			✓							✓			زیتون	M
[16]	✓												✓			پسته	M
[17]		✓	✓		✓								✓			سویا	M
[18]	✓		✓							✓			✓			مرکبات	M
[19]		✓		✓	✓											زعفران	M
[20]	✓		✓										✓			انار	E
[21]	✓		✓			✓							✓			نارگیل	M
[22]	✓		✓		✓								✓			میوه	E
[23]		✓														گوجه	E
[24]	✓												✓			خرما	E
پژوهش حاضر	✓		✓			✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓			سیب	E

۳- تعریف مساله و مدل‌سازی ریاضی

در این مقاله یک مدل ریاضی چنددوره‌ای، چندمحصولی و چندهدفه برای طراحی زنجیره‌تامین میوه مبتنی بر کیفیت ارایه می‌شود. شبکه زنجیره‌تامین پیشنهادی در **شکل ۱** نشان داده شده است که شامل تولیدکنندگان، مراکز توزیع، بازارهای میوه، کارخانه تولید آبمیوه، کارخانه کنستانتره، کارخانه تولید دارو، کارخانه تولید کمپوست، بازار آبمیوه، بازار کنستانتره و بازار کمپوست است. میوه‌های خریداری شده از مراکز تولید به مراکز توزیع منتقل می‌شود و در آنجا بر اساس سطح کیفیت، میوه‌ها بین سطوح مختلف زنجیره‌تامین توزیع می‌شوند. میوه‌های با کیفیت بالا به بازارهای میوه، میوه‌های با کیفیت متوسط نیز به کارخانه‌های تولید آبمیوه، دارو و کنستانتره و میوه‌های فاسدشده نیز به کارخانه‌های تولید کمپوست انتقال می‌یابند. برای مدیریت ضایعات در کلیه حلقه‌های زنجیره‌تامین، ضایعات تولیدشده در بازارهای میوه، کارخانه‌های تولید آبمیوه و کنستانتره نیز به مراکز تولید کمپوست انتقال می‌یابند. مدل پیشنهادی با در نظر گرفتن اهداف توسعه پایدار شامل کمینه‌سازی هزینه‌ها، کمینه‌سازی میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای و بیشینه‌سازی ابعاد اجتماعی فرموله شده است. همچنین محدودیت‌های دنیای واقعی نظیر ظرفیت، تولید، تعادل در سطوح مختلف زنجیره‌تامین، برآورده نمودن تقاضا، بودجه استقرار تسهیلات، بودجه ارایه خدمات رفاهی و شعاع پوشش در نظر گرفته شده است. محدودیت شعاع پوشش برای کلیه تسهیلات در نظر گرفته شده است، اما برای تخصیص ضایعات به کارخانه‌های تولید کمپوست این محدودیت لحاظ نشده است. چون بر اساس میزان ضایعات میوه در سطوح مختلف زنجیره‌تامین ممکن است تعداد کارخانه‌های تولید کمپوست در شبکه کم باشد و محدودیت شعاع پوشش نیز مانع از تخصیص ضایعات به کارخانه‌های تولید کمپوست شود. بر اساس مدل تصمیمات استراتژیک و تاکتیکی شامل ۱- استقرار تسهیلات، ۲- ارایه خدمات رفاهی، ۳- میزان میوه خریداری‌شده از تولیدکنندگان، ۴- جریان مواد و محصولات بین سطوح مختلف زنجیره‌تامین، ۵- مقدار آبمیوه تولیدشده، ۶- مقدار کنستانتره تولیدشده و ۷- مقدار کمپوست تولیدشده اتخاذ می‌شود.



شکل ۱- شکل شماتیک زنجیره‌تامین میوه پیشنهادی.

Figure 1- The schematic view of the suggested fruit supply chain.

در ادامه نوشتار، ابتدا مجموعه‌ها، پارامترها و متغیرهای تصمیم تعریف شده است. سپس، مدل ریاضی مساله ارایه می‌شود.

مجموعه‌ها

I	مجموعه تولیدکنندگان
P	مجموعه مکان‌های بالقوه برای استقرار مراکز توزیع
J	مجموعه مکان‌های بالقوه برای استقرار کارخانه‌های تولید آبمیوه
N	مجموعه مکان‌های بالقوه برای استقرار کارخانه‌های تولید کنستانتره
U	مجموعه مکان‌های بالقوه برای استقرار کارخانه‌های تولید کمپوست

K	مجموعه بازارهای میوه
B	مجموعه کارخانه‌های تولید دارو
R	مجموعه بازارهای آبمیوه
F	مجموعه بازارهای کنستانتره
H	مجموعه بازارهای کمپوست
T	مجموعه دوره‌های زمانی
E	مجموعه امکانات رفاهی
A	مجموعه گره‌های شروع
S	مجموعه گره‌های پایان

پارامترها

fa_p	هزینه ثابت استقرار مرکز توزیع p
fb_j	هزینه ثابت استقرار کارخانه تولید آبمیوه j
fc_n	هزینه ثابت استقرار کارخانه تولید کنستانتره n
fd_u	هزینه ثابت استقرار کارخانه تولید کمپوست u
cm_{it}	هزینه خرید میوه از تولیدکننده i در دوره t
sm_{it}	هزینه ثابت سفارش‌دهی میوه از تولیدکننده i در دوره t
ca_{pt}	هزینه عملیاتی به ازای هر واحد میوه در مرکز توزیع p در دوره t
cb_{jt}	هزینه عملیاتی به ازای هر واحد آبمیوه در کارخانه تولید آبمیوه j در دوره t
cc_{nt}	هزینه عملیاتی به ازای هر واحد کنستانتره در کارخانه تولید کنستانتره n در دوره t
cd_{ut}	هزینه عملیاتی به ازای هر واحد کمپوست در کارخانه تولید کمپوست u در دوره t
tcm_t	هزینه حمل‌ونقل میوه به ازای هر واحد مسافت در دوره t
tcb_t	هزینه حمل‌ونقل آبمیوه به ازای هر واحد مسافت در دوره t
tcc_t	هزینه حمل‌ونقل کنستانتره به ازای هر واحد مسافت در دوره t
tch_t	هزینه حمل‌ونقل کمپوست به ازای هر واحد مسافت در دوره t
tcd_t	هزینه حمل‌ونقل ضایعات به ازای هر واحد مسافت در دوره t
ra_{ept}	هزینه فراهم نمودن خدمت رفاهی نوع e در مرکز توزیع p در دوره t
rb_{ejt}	هزینه فراهم نمودن خدمت رفاهی نوع e در کارخانه تولید آبمیوه j در دوره t
rc_{ent}	هزینه فراهم نمودن خدمت رفاهی نوع e در کارخانه تولید کنستانتره n در دوره t
rd_{eut}	هزینه فراهم نمودن خدمت رفاهی نوع e در کارخانه تولید کمپوست u در دوره t
BT	بودجه در دسترس برای ایجاد تسهیلات
BR	بودجه در دسترس برای فراهم نمودن امکانات رفاهی
caa_p	ظرفیت مرکز توزیع p
cab_j	ظرفیت کارخانه تولید آبمیوه j
cac_n	ظرفیت کارخانه تولید کنستانتره n
cad_u	ظرفیت کارخانه تولید کمپوست u

dc_{as}	فاصله بین نقطه شروع a و نقطه پایان s
Da_{kt}	تقاضای بازار میوه k در دوره t
Db_{rt}	تقاضای بازار آبمیوه r در دوره t
Dc_{ft}	تقاضای بازار کنستانتره f در دوره t
Dd_{ht}	تقاضای بازار کمپوست h در دوره t
Df_{bt}	تقاضای کارخانه تولید دارو b در دوره t
λ_{it}	ظرفیت تولیدکننده i در دوره t
α	ضریب تبدیل میوه به آبمیوه
φ	ضریب تبدیل میوه به کنستانتره
ϑ	ضریب تبدیل ضایعات میوه به کمپوست
θ_p	نرخ ضایعات در مرکز توزیع p
γ_j	نرخ ضایعات در کارخانه تولید آبمیوه j
β_n	نرخ ضایعات در کارخانه تولید کنستانتره n
μ_k	نرخ ضایعات محصولات در بازار میوه k
τa_p	درصد میوه‌های با کیفیت بالا در مرکز توزیع p
τb_p	درصد میوه‌های با کیفیت متوسط مخصوص آبمیوه در مرکز توزیع p
τc_p	درصد میوه‌های با کیفیت متوسط مخصوص کنستانتره در مرکز توزیع p
τd_p	درصد میوه‌های با کیفیت متوسط مخصوص تولید دارو در مرکز توزیع p
Etm	مقدار انتشار دی‌اکسید کربن ناشی از حمل‌ونقل هر واحد میوه به ازای هر واحد مسافت
Eta	مقدار انتشار دی‌اکسید کربن ناشی از حمل‌ونقل هر واحد آبمیوه به ازای هر واحد مسافت
Etb	مقدار انتشار دی‌اکسید کربن ناشی از حمل‌ونقل هر واحد کنستانتره به ازای هر واحد مسافت
Eth	مقدار انتشار دی‌اکسید کربن ناشی از حمل‌ونقل هر واحد کمپوست به ازای هر واحد مسافت
Etc	مقدار انتشار دی‌اکسید کربن ناشی از حمل‌ونقل هر واحد ضایعات به ازای هر واحد مسافت
Ea_j	مقدار انتشار دی‌اکسید کربن ناشی از تولید هر واحد آبمیوه در کارخانه تولید آبمیوه j
Eb_n	مقدار انتشار دی‌اکسید کربن ناشی از تولید هر واحد کنستانتره در کارخانه تولید کنستانتره n
Ed_u	مقدار انتشار دی‌اکسید کربن ناشی از تولید هر واحد کمپوست در کارخانه تولید کمپوست u
Fia_p	تعداد فرصت‌های شغلی ایجادشده در مرکز توزیع p
Fib_j	تعداد فرصت‌های شغلی ایجادشده در کارخانه تولید آبمیوه j
Fic_n	تعداد فرصت‌های شغلی ایجادشده در کارخانه تولید کنستانتره n
Fid_u	تعداد فرصت‌های شغلی ایجادشده در کارخانه تولید کمپوست u

Eeb_j	ارزش اقتصادی تاسیس کارخانه تولید آبمیوه j
Rjb_j	سطح توسعه محلی در مکان j
Eec_n	ارزش اقتصادی تاسیس کارخانه تولید کنستانتره n
Rjc_n	سطح توسعه محلی در مکان n
Eed_u	ارزش اقتصادی تاسیس کارخانه تولید کمپوست u
Rjd_u	سطح توسعه محلی در مکان u
Loa_p	تعداد روزهای کاری ازدست‌رفته در مرکز توزیع p
Lob_j	تعداد روزهای کاری ازدست‌رفته در کارخانه تولید آبمیوه j
Loc_n	تعداد روزهای کاری ازدست‌رفته در کارخانه تولید کنستانتره n
Lod_u	تعداد روزهای کاری ازدست‌رفته در کارخانه تولید کمپوست u
Saa_{ep}	میزان رضایت شغلی کارکنان با خدمت رفاهی نوع e در مرکز توزیع p
Sab_{ej}	میزان رضایت شغلی کارکنان با خدمت رفاهی نوع e در کارخانه تولید آبمیوه j
Sac_{en}	میزان رضایت شغلی کارکنان با خدمت رفاهی نوع e در کارخانه تولید کنستانتره n
Sad_{eu}	میزان رضایت شغلی کارکنان با خدمت رفاهی نوع e در کارخانه تولید کمپوست u
Ca_p	شعاع پوشش مرکز توزیع p
Cb_j	شعاع پوشش کارخانه تولید آبمیوه j
Cc_n	شعاع پوشش کارخانه تولید کنستانتره n
Cd_u	شعاع پوشش کارخانه تولید کمپوست u
WS_1	وزن تعداد فرصت‌های شغلی
WS_2	وزن روزهای از دست رفته کاری
WS_3	وزن سطح توسعه منطقه
WS_4	وزن رضایت شغلی کارکنان
M	یک عدد بزرگ

متغیرهای تصمیم

Xa_p	"۱ در صورتی که یک مرکز توزیع در مکان p احداث شود، ۰ در غیر این‌صورت"
Xb_j	"۱ در صورتی که یک کارخانه تولید آبمیوه در مکان j احداث شود، ۰ در غیر این‌صورت"
Xc_n	"۱ در صورتی که یک کارخانه تولید کنستانتره در مکان n احداث شود، ۰ در غیر این‌صورت"
Xd_u	"۱ در صورتی که یک کارخانه تولید کمپوست در مکان u احداث شود، ۰ در غیر این‌صورت"
Rea_{ept}	"۱ در صورتی که خدمت رفاهی نوع e به کارکنان مرکز توزیع p در دوره t تخصیص یابد، ۰ در غیر این‌صورت"
Reb_{ejt}	"۱ در صورتی که خدمت رفاهی نوع e به کارکنان کارخانه تولید آبمیوه j در دوره t تخصیص یابد، ۰ در غیر این‌صورت"
Rec_{ent}	"۱ در صورتی که خدمت رفاهی نوع e به کارکنان کارخانه تولید کنستانتره n در دوره t تخصیص یابد، ۰ در غیر این‌صورت"

Red_{eut}	"۱ در صورتی که خدمت رفاهی نوع e به کارکنان کارخانه تولید کمپوست u در دوره t تخصیص یابد، ۰ در غیر این‌صورت"
Xe_{ipt}	"۱ در صورتی که میوه تولیدکننده i به مرکز توزیع p در دوره t تخصیص یابد، ۰ در غیر این‌صورت"
Ka_{pkt}	"۱ در صورتی که مرکز توزیع p به بازار میوه k در دوره t محصول ارسال نماید، ۰ در غیر این‌صورت"
Kb_{pjt}	"۱ در صورتی که مرکز توزیع p به کارخانه تولید آبمیوهj در دوره t محصول ارسال نماید، ۰ در غیر این‌صورت"
Kc_{pnt}	"۱ در صورتی که مرکز توزیع p به کارخانه تولید کنستانتره n در دوره t محصول ارسال نماید، ۰ در غیر این‌صورت"
Kd_{pbt}	"۱ در صورتی که مرکز توزیع p به کارخانه تولید دارو b در دوره t محصول ارسال نماید، ۰ در غیر این‌صورت"
Kab_{jrt}	"۱ در صورتی که کارخانه تولید آبمیوهj به بازار آبمیوه r در دوره t محصول ارسال نماید، ۰ در غیر این‌صورت"
Kac_{nft}	"۱ در صورتی که کارخانه کنستانتره n به بازار کنستانتره f در دوره t محصول ارسال نماید، ۰ در غیر این‌صورت"
Kad_{uht}	"۱ در صورتی که کارخانه تولید کمپوست u به بازار کمپوست h در دوره t محصول ارسال نماید، ۰ در غیر این‌صورت"
V_{it}	مقدار میوه خریداری شده از تولیدکننده i در دوره t
W_{ipt}	مقدار میوه که از تولیدکننده i به مرکز توزیع p در دوره t انتقال می‌یابد
Ia_{pt}	مقدار میوه با کیفیت در مرکز توزیع p در دوره t
Ya_{pkt}	مقدار میوه با کیفیت بالا که از مرکز توزیع p به بازار میوه k در دوره t انتقال می‌یابد.
Yb_{pjt}	مقدار میوه با کیفیت متوسط که از مرکز توزیع p به کارخانه تولید آبمیوه j در دوره t انتقال می‌یابد.
Yc_{pnt}	مقدار میوه با کیفیت متوسط که از مرکز توزیع p به کارخانه کنستانتره n در دوره t انتقال می‌یابد.
Yd_{pbt}	مقدار میوه با کیفیت متوسط که از مرکز توزیع p به کارخانه تولید دارو b در دوره t انتقال می‌یابد.
Qa_{put}	مقدار ضایعات میوه که از مرکز توزیع p به کارخانه تولید کمپوست u در دوره t انتقال می‌یابد.
Qb_{jut}	مقدار ضایعات میوه که از کارخانه تولید آبمیوه j به کارخانه تولید کمپوست u در دوره t انتقال می‌یابد.
Qc_{nut}	مقدار ضایعات میوه که از کارخانه تولید کنستانتره n به کارخانه تولید کمپوست u در دوره t انتقال می‌یابد.
Qf_{kut}	مقدار ضایعات میوه که از بازار میوه k به کارخانه تولید کمپوست u در دوره t انتقال می‌یابد.
Pb_{jrt}	مقدار آبمیوه که از کارخانه تولید آبمیوه j به بازار آبمیوه r در دوره t انتقال می‌یابد.
Pc_{nft}	مقدار کنستانتره که از کارخانه تولید کنستانتره n به بازار کنستانتره f در دوره t انتقال می‌یابد.
Pd_{uht}	مقدار کمپوست که از کارخانه تولید کمپوست u به بازار کمپوست h در دوره t انتقال می‌یابد.

تابع هدف اقتصادی

تابع هدف اقتصادی در **معادله (۱)** به کمینه نمودن هزینه‌های سیستم شامل هزینه استقرار تسهیلات (HC)، هزینه خرید و سفارش‌دهی میوه از تولیدکنندگان میوه (BC)، هزینه عملیاتی مراکز توزیع، کارخانه‌های تولید آبمیوه، کنستانتره و کمپوست (OC)، هزینه حمل‌ونقل (TC) و هزینه ارایه خدمات رفاهی کارکنان (SC) می‌پردازد. اجزای هزینه در **معادله (۲)** تا **معادله (۶)** تعریف شده است.

$$Min\ Z_1 = HC + BC + OC + TC + SC, \qquad (۱)$$

$$HC = \sum_{p} fa_p Xa_p + \sum_{j} fb_j Xb_j + \sum_{n} fc_n Xc_n + \sum_{u} fd_u Xd_{u,} \qquad (۲)$$

$$BC = \sum_{i}\sum_{t} cm_{it} V_{it} + \sum_{i}\sum_{p}\sum_{t} sm_{it}\, Xe_{ipt}, \qquad (۳)$$

$$OC = \sum_{i}\sum_{p}\sum_{t} ca_{pt}\, W_{ipt} + \sum_{j}\sum_{r}\sum_{t} cb_{jt}\, Pb_{jrt} + \sum_{n}\sum_{f}\sum_{t} cc_{nt}\, Pc_{nft} + \sum_{u}\sum_{h}\sum_{t} cd_{ut} Pd_{uht}, \qquad (۴)$$

$$TC = \sum_i \sum_p \sum_t tcm_t\, dc_{ip} W_{ipt} + \sum_p \sum_k \sum_t tcm_t\, dc_{pk} Ya_{pkt} + \sum_p \sum_j \sum_t tcm_t\, dc_{pj} Yb_{pjt} + \sum_p \sum_n \sum_t tcm_t dc_{pn} Yc_{pnt} + \sum_p \sum_b \sum_t tcm_t dc_{pb} Yd_{pbt} + \sum_j \sum_r \sum_t tcb_t\, dc_{jr} Pb_{jrt} + \sum_n \sum_f \sum_t tcc_t\, dc_{nf} Pc_{nft} + \sum_u \sum_h \sum_t tch_t\, dc_{uh} Pd_{uht} + \sum_p \sum_u \sum_t tcd_t dc_{pu} Qa_{put} + \sum_j \sum_u \sum_t tcd_t\, dc_{ju} Qb_{jut} + \sum_n \sum_u \sum_t tcd_t\, dc_{nu} Qc_{nut} + \sum_k \sum_u \sum_t tcd_t dc_{ku} Qf_{kut}, \quad (۵)$$

$$SC = \sum_e \sum_p \sum_t ra_{ept} Rea_{ept} + \sum_e \sum_j \sum_t rb_{ejt} Reb_{ejt} + \sum_e \sum_n \sum_t rc_{ent} Rec_{ent} + \sum_e \sum_u \sum_t rd_{eut} Red_{eut}\,. \quad (۶)$$

تابع هدف زیست‌محیطی

تابع هدف زیست‌محیطی در **معادله (۷)** به کمینه نمودن میزان انتشار ناشی از فعالیت‌های حمل‌ونقل (*EET*) و میزان انتشار ناشی از عملیات پردازش و تولید در زنجیره‌تامین میوه (*EEO*) می‌پردازد. **معادله (۸)** میزان انتشار ناشی از حمل‌ونقل میوه از تولیدکنندگان به مراکز توزیع، حمل‌ونقل میوه از مراکز توزیع به بازارهای میوه، کارخانه‌های تولید آبمیوه، کارخانه‌های تولید کنسانتره و کارخانه‌های تولید دارو، حمل‌ونقل آبمیوه از کارخانه‌های تولید آبمیوه به بازارهای آبمیوه، حمل‌ونقل کنسانتره از کارخانه‌های تولید کنسانتره به بازارهای کنسانتره، حمل‌ونقل کمپوست از کارخانه‌های تولید کمپوست به بازارهای کمپوست، حمل‌ونقل ضایعات از مراکز توزیع، بازارهای میوه، کارخانه‌های تولید آبمیوه و کارخانه‌های تولید کنسانتره به کارخانه‌های تولید کمپوست را نشان می‌دهد. **معادله (۹)**، میزان انتشار ناشی از تولید آبمیوه، تولید کنسانتره و تولید کمپوست را نشان می‌دهد.

$$Min\ Z_2 = EET + EEO, \quad (۷)$$

$$EET = \sum_i \sum_p \sum_t Etm\, dc_{ip} W_{ipt} + \sum_p \sum_k \sum_t Etm\, dc_{pk} Ya_{pkt} + \sum_p \sum_j \sum_t Etm\, dc_{pj} Yb_{pjt} + \sum_p \sum_b \sum_t Etm\, dc_{pb} Yd_{pbt} + \sum_p \sum_n \sum_t Etm\, dc_{pn} Yc_{pnt} + \sum_j \sum_r \sum_t Eta\, dc_{jr} Pb_{jrt} + \sum_n \sum_f \sum_t Etb\, dc_{nf} Pc_{nft} + \sum_u \sum_h \sum_t Eth\, dc_{uh} Pd_{uht} + \sum_p \sum_u \sum_t Etc\, dc_{pu} Qa_{put} + \sum_j \sum_u \sum_t Etc\, dc_{ju} Qb_{jut} + \sum_n \sum_u \sum_t Etc\, dc_{nu} Qc_{nut} + \sum_k \sum_u \sum_t Etc\, dc_{ku} Qf_{kut}, \quad (۸)$$

$$EEO = \sum_j \sum_r \sum_t Ea_j\, Pb_{jrt} + + \sum_n \sum_f \sum_t Eb_n\, Pc_{nft} + \sum_u \sum_h \sum_t Ed_u Pd_{uht}. \quad (۹)$$

تابع هدف اجتماعی

تابع هدف اجتماعی در **معادله (۱۰)** به بیشینه نمودن مسئولیت‌های اجتماعی زنجیره‌تامین طراحی شده می‌پردازد. در تابع هدف اجتماعی اجزای تعداد فرصت‌های شغلی (FJO)، روزهای ازدست‌رفته کاری(LDO)، سطح توسعه منطقه‌ای (RJD) و رضایت شغلی کارکنان (WSR) در نظر گرفته شده است که در **معادله (۱۱)** تا **معادله (۱۴)** به‌صورت ریاضی نشان داده شده است.

$$Max\ Z_3 = WS_1FJO - WS_2LDO + WS_3RJD + WS_4WSR), \quad (۱۰)$$

$$FJO = \sum_p Fia_pXa_p + \sum_j Fib_jXb_j + \sum_n Fic_nXc_n + \sum_u Fid_uXd_u, \quad (۱۱)$$

$$LDO = \sum_p Loa_pXa_p + \sum_j Lob_jXb_j + \sum_n Loc_nXc_n + \sum_u Lod_uXd_u, \quad (۱۲)$$

$$RJD = \sum_j Eeb_j(1 - Rjb_j)Xb_j + \sum_n Eec_n(1 - Rjc_n)Xc_n + \sum_u Eed_u(1 - Rjd_u)Xd_u, \quad (۱۳)$$

$$WSR = \sum_e\sum_p\sum_t Saa_{ep}Rea_{ept} + \sum_e\sum_j\sum_t Sab_{ej}Reb_{ejt} + \sum_e\sum_n\sum_t Sac_{en}Rec_{ent} + \sum_e\sum_u\sum_t Sad_{eu}Red_{eut}. \quad (۱۴)$$

محدودیت‌های تعادل برای تولیدکنندگان میوه

معادله (۱۵) نشان می‌دهد که کل میوه‌های خریداری‌شده از تولیدکنندگان با میوه‌های انتقال‌یافته به توزیع‌کنندگان برابر است.

$$\sum_i\sum_t V_{it} = \sum_i\sum_p\sum_t W_{ipt}. \quad (۱۵)$$

محدودیت‌های تعادل برای مراکز توزیع

معادله (۱۶) مشخص می‌کند که ضایعات میوه در هر مرکز توزیع و در هر دوره زمانی به کارخانه‌های تولید کمپوست انتقال می‌یابد. میزان میوه‌های سالم در هر مرکز توزیع و در هر دوره زمانی با استفاده از **معادله (۱۷)** مشخص شده است. میزان میوه‌های با کیفیت بالا در هر مرکز توزیع و در هر دوره زمانی که به بازارهای میوه انتقال می‌یابد، با استفاده از **معادله (۱۸)** نشان داده شده است. بر اساس **معادله (۱۹)** تا **معادله (۲۱)**، میزان میوه‌های با کیفیت متوسط که به کارخانه‌های تولید آبمیوه، کارخانه‌های تولید کنسانتره و کارخانه‌های تولید دارو انتقال می‌یابد، مشخص می‌شود.

$$\sum_u Qa_{put} = \sum_i \theta_p W_{ipt}, \quad for\ all\ p,t, \quad (۱۶)$$

$$\sum_i (1 - \theta_p)\, W_{ipt} = Ia_{pt}, \quad for\ all\ p,t, \quad (۱۷)$$

$$\sum_k Ya_{pkt} = \tau a_p Ia_{pt}, \quad for\ all\ p,t, \quad (۱۸)$$

$$\sum_j Yb_{pjt} = \tau b_p Ia_{pt}, \quad for\ all\ p,t, \quad (۱۹)$$

$$\sum_n Yc_{pnt} = \tau c_p Ia_{pt}, \quad for\ all\ p,t, \quad (۲۰)$$

$$\sum_b Yd_{pbt} = \tau d_p Ia_{pt}, \quad for\ all\ p,t. \quad (۲۱)$$

محدودیت تعادل برای بازارهای میوه

معادله (۲۲) میزان ضایعات انتقال‌یافته از بازارهای میوه به کارخانه‌های تولید کمپوست را نشان می‌دهد.

$$\sum_{u} Qf_{kut} = \sum_{p} Ya_{pkt}\,\mu_k\,, \qquad for\ all\ k,t. \tag{۲۲}$$

محدودیت‌های تعادل برای کارخانه‌های تولید آبمیوه

معادله (۲۳) میزان ضایعات انتقال‌یافته از کارخانه‌های تولید آبمیوه به کارخانه‌های تولید کمپوست را نشان می‌دهد. **معادله (۲۴)** میزان تولید آبمیوه از میوه‌های سالم با توجه به ضریب تبدیل میوه به آبمیوه را نشان می‌دهد.

$$\sum_{u} Qb_{jut} = \sum_{p} Yb_{pjt}\,\gamma_j\,, \qquad for\ all\ j,t, \tag{۲۳}$$

$$\sum_{r} Pb_{jrt} = \sum_{p} Yb_{pjt}\,(1-\gamma_j)\alpha\,, \qquad for\ all\ j,t. \tag{۲۴}$$

محدودیت تعادل برای کارخانه‌های تولید کنسانتره

معادله (۲۵) میزان ضایعات انتقال‌یافته از کارخانه‌های تولید کنسانتره به کارخانه‌های تولید کمپوست را نشان می‌دهد. **معادله (۲۶)** میزان تولید کنسانتره از میوه‌های سالم با توجه به ضریب تبدیل میوه به کنسانتره را نشان می‌دهد.

$$\sum_{u} Qc_{nut} = \sum_{p} Yc_{pnt}\,\beta_n\,, \qquad for\ all\ n,t, \tag{۲۵}$$

$$\sum_{f} Pc_{nft} = \sum_{p} Yc_{pnt}\,(1-\beta_n)\varphi, \qquad for\ all\ n,t\,. \tag{۲۶}$$

محدودیت تعادل برای کارخانه‌های تولید کمپوست

معادله (۲۷) میزان کمپوست تولیدشده در کارخانه‌های تولید کمپوست و انتقال یافته به بازارهای کمپوست را بر اساس نرخ تبدیل ضایعات به کمپوست نشان می‌دهد.

$$\sum_{h} Pd_{uht} = \sum_{p} Qa_{put}\,\vartheta + \sum_{k} Qf_{kut}\,\vartheta + \sum_{j} Qb_{jut}\,\vartheta + \sum_{n} Qc_{nut}\,\vartheta\,, \quad for\ all\ u,t. \tag{۲۷}$$

محدودیت‌های ظرفیت

محدودیت (۲۸) تا **محدودیت (۳۲)** به ترتیب محدودیت ظرفیت تامین تولیدکننده، محدودیت ظرفیت مرکز توزیع، محدودیت ظرفیت کارخانه تولید آبمیوه، محدودیت ظرفیت کارخانه تولید کنسانتره و محدودیت ظرفیت کارخانه تولید کمپوست را نشان می‌دهد.

$$V_{it} \le \lambda_{it} Xe_{ipt}, \qquad for\ all\ i,p,t, \tag{۲۸}$$

$$\sum_{i} W_{ipt} \le caa_p\,Xa_p, \qquad for\ all\ p,t, \tag{۲۹}$$

$$\sum_{p} Yb_{pjt} \le cab_j\,Xb_j, \qquad for\ all\ j,t\,, \tag{۳۰}$$

$$\sum_{p} Yc_{pnt} \le cac_n\,Xc_n, \qquad for\ all\ n,t, \tag{۳۱}$$

$$\sum_{p} Qa_{put} + \sum_{j} Qb_{jut} + \sum_{n} Qc_{nut} + \sum_{k} Qf_{kut} \le cad_u Xd_{u,}\ for\ all\ u,t. \tag{۳۲}$$

محدودیت تخصیص

محدودیت (۳۳) مشخص می‌کند که تا زمانی که سفارش خرید مرکز توزیع به تولیدکننده تخصیص نیافته باشد، میوه‌ها از تولیدکننده به مرکز توزیع انتقال نمی‌یابد. **محدودیت (۳۴)** تا **محدودیت (۳۷)** مشخص می‌کنند که تنها در صورت تخصیص یک مرکز توزیع به یک بازار میوه، کارخانه تولید دارو، کارخانه آبمیوه و کارخانه کنسانتره، ارسال میوه از مرکز توزیع به این مراکز امکان‌پذیر است. **محدودیت (۳۸)** تا **محدودیت (۴۰)** نیز تعیین می‌کنند که تا زمانی که تخصیص مراکز تولید آبمیوه، کنسانتره و کمپوست به مراکز تقاضا صورت نپذیرد، امکان ارسال محصولات به مراکز تقاضا میسر نیست.

$$W_{ipt} \le MXe_{ipt}, \quad for\ all\ i,p,t, \tag{۳۳}$$

$$Ya_{pkt} \le MKa_{pkt}, \quad for\ all\ p,k,t, \tag{۳۴}$$

$$Yd_{pbt} \le MKd_{pbt}, \quad for\ all\ p,b,t, \tag{۳۵}$$

$$Yb_{pjt} \le MKb_{pjt}, \quad for\ all\ p,j,t, \tag{۳۶}$$

$$Yc_{pnt} \le MKc_{pnt}, \quad for\ all\ p,n,t, \tag{۳۷}$$

$$Pb_{jrt} \le MKab_{jrt}, \quad for\ all\ j,r,t, \tag{۳۸}$$

$$Pc_{nft} \le MKac_{nft}, \quad for\ all\ n,f,t, \tag{۳۹}$$

$$Pd_{uht} \le MKad_{uht}, \quad for\ all\ u,h,t. \tag{۴۰}$$

محدودیت‌های تقاضا

بر اساس **محدودیت (۴۱)**، میزان میوه‌های انتقال‌یافته از مراکز توزیع به بازارهای میوه باید بزرگ‌تر یا مساوی تقاضای بازار میوه باشد. الزام برآورده نمودن تقاضای کارخانه‌های تولید دارو، بازار آبمیوه، بازار کنسانتره و بازار کمپوست توسط محصولات انتقال‌یافته از کارخانه‌های تولیدی بر اساس **محدودیت (۴۲)** تا **محدودیت (۴۵)** مشخص شده است.

$$\sum_{p} Ya_{pkt} \ge Da_{kt}, \quad for\ all\ k,t, \tag{۴۱}$$

$$\sum_{p} Yd_{pbt} \ge Df_{bt}, \quad for\ all\ b,t, \tag{۴۲}$$

$$\sum_{j} Pb_{jrt} \ge Db_{rt}, \quad for\ all\ r,t, \tag{۴۳}$$

$$\sum_{n} Pc_{nft} \ge Dc_{ft}, \quad for\ all\ f,t, \tag{۴۴}$$

$$\sum_{u} Pd_{uht} \ge Dd_{ht}, \quad for\ all\ h,t. \tag{۴۵}$$

محدودیت بودجه استقرار تسهیلات

بر اساس **محدودیت (۴۶)**، هزینه ثابت استقرار تسهیلات شامل مراکز توزیع، کارخانه‌های تولید آبمیوه، کارخانه‌های تولید کنسانتره و کارخانه‌های تولید کمپوست باید کمتر یا مساوی بودجه از قبل تعیین شده باشد.

$$\sum_{p} fa_p Xa_p + \sum_{j} fb_j Xb_j + \sum_{n} fc_n Xc_n + \sum_{u} fd_u Xd_u \le BT. \tag{۴۶}$$

محدودیت بودجه ارایه امکانات رفاهی

محدودیت (۴۷) نشان می‌دهد که ارایه امکانات رفاهی به کارکنان تنها بر اساس بودجه از قبل تعیین شده امکان‌پذیر است.

$$\sum_{e}\sum_{p}\sum_{t} ra_{ept}Rea_{ept} + \sum_{e}\sum_{j}\sum_{t} rb_{ejt}Reb_{ejt} + \sum_{e}\sum_{n}\sum_{t} rc_{ent}Rec_{ent} + \sum_{e}\sum_{u}\sum_{t} rd_{eut}Red_{eut} \leq BR. \quad (۴۷)$$

محدودیت‌های شعاع پوشش

بر اساس **محدودیت (۴۸)** تا **محدودیت (۵۴)** شعاع پوشش مراکز توزیع، کارخانه‌های تولید آبمیوه، کنستانتره و کمپوست مشخص می‌شود که بر اساس آن‌ها در صورتی که فاصله یک نقطه تقاضا از تسهیل کم‌تر از شعاع پوشش آن تسهیل باشد، تقاضا پوشش داده می‌شود.

$$Ka_{pkt}dc_{pk} \leq Ca_pXa_p, \quad for\ all\ p,k,t, \quad (۴۸)$$

$$Kd_{pbt}dc_{pb} \leq Ca_pXa_p, \quad for\ all\ p,b,t, \quad (۴۹)$$

$$Kb_{pjt}dc_{pj} \leq Ca_pXa_{p,} \quad for\ all\ p,j,t, \quad (۵۰)$$

$$Kc_{pnt}dc_{pn} \leq Ca_pXa_p, \quad for\ all\ p,n,t, \quad (۵۱)$$

$$Kab_{jrt}dc_{jr} \leq Cb_jXb_j, \quad for\ all\ j,r,t, \quad (۵۲)$$

$$Kac_{nft}dc_{nf} \leq Cc_nXc_n, \quad for\ all\ n,f,t, \quad (۵۳)$$

$$Kad_{uht}dc_{uh} \leq Cd_uXd_u, \quad for\ all\ u,h,t. \quad (۵۴)$$

محدودیت‌های حدود متغیرهای تصمیم مساله

بر اساس **محدودیت (۵۵)** و **محدودیت (۵۶)**، متغیرهای تصمیم باینری و متغیرهای بزرگ‌تر مساوی صفر مشخص می‌شوند.

$$Xa_p, Xb_j, Xc_n, Xd_u, Rea_{ept}, Reb_{ejt}, Rec_{ent}, Red_{eut}, Xe_{ipt}, Ka_{pkt}, Kd_{pbt}, Kb_{pjt}, Kc_{pnt}, Kab_{jrt}, Kac_{nft}, Kad_{uht} \in \{0,1\}, \quad for\ all\ i,p,j,n,u,e,k,b,r,f,h,t, \quad (۵۵)$$

$$V_{it}, W_{ipt}, Ia_{pt}, Ya_{pkt}, Yb_{pjt}, Yc_{pnt}, Yd_{pbt}, Qa_{put}, Qb_{jut}, Qc_{nut}, Qf_{kut}, Pb_{jrt}, Pc_{nft}, Pd_{uht} \geq 0, \quad for\ all\ i,p,k,j,u,n,b,f,r,h,t. \quad (۵۶)$$

۴- روش حل

مدل پیشنهادی در بخش قبل، یک مدل بهینه‌سازی چندهدفه عدد صحیح ترکیبی است. این مدل در زمره مدل‌های مکان‌یابی تسهیلات ظرفیت‌دار قرار می‌گیرد که از مسایل *NP-Hard* تلقی می‌شوند [26]. با توجه به اینکه توابع هدف اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی به‌طور همزمان بررسی شده است، برای یافتن جواب بهینه مساله نیاز به روش حل مسائل چندهدفه است. برای حل مسائل چندهدفه روش‌های زیادی نظیر روش جمع وزنی، روش لکزیکوگرافی، روش معیار جامع و روش محدودیت اپسیلون وجود دارد. در سال‌های اخیر روش‌های فازی به واسطه توانایی در یافتن جواب‌های بهینه برای حل مسائل چندهدفه بر اساس درجه عضویت توابع هدف با اقبال پژوهشگران متعددی روبرو شده است. در این پژوهش از رویکرد برنامه‌ریزی آرمانی فازی پیشنهاد شده توسط لین [26] استفاده شده است. برای تعیین درجه اهمیت توابع هدف در رویکرد برنامه‌ریزی آرمانی فازی و همچنین درجه اهمیت عوامل اجتماعی نیز از رویکرد بهترین-بدترین فازی استفاده شده است.

۴-۱- رویکرد برنامه‌ریزی آرمانی فازی

رویکرد برنامه‌ریزی آرمانی فازی پیشنهاد شده توسط لین [26]، روش حداکثر-حداقل فازی زیمرمن [27] را با در نظر گرفتن وزن توابع هدف توسعه می‌دهد و تصمیم‌گیرندگان را قادر می‌سازد تا با در نظر گرفتن میزان اهمیت تابع هدف و درجه عضویت، بهترین مقدار را برای توابع هدف مشخص کنند. گام‌های این روش به قرار زیر است:

گام ۱- یافتن جواب ایده‌آل مثبت (PIS) و جواب ایده‌آل منفی (NIS) برای هر یک از توابع هدف بر اساس **رابطه (۵۷)** تا **رابطه (۵۹)**

$$Z_1^{PIS} = Min\ Z_1, \quad Z_1^{NIS} = Max\ Z_1, \tag{۵۷}$$

$$Z_2^{PIS} = Min\ Z_2, \quad Z_2^{NIS} = Max\ Z_2, \tag{۵۸}$$

$$Z_3^{PIS} = Max\ Z_3, \quad Z_3^{NIS} = Min\ Z_3. \tag{۵۹}$$

گام ۲- محاسبه درجه عضویت هر یک از توابع هدف بر اساس **رابطه (۶۰)** تا **رابطه (۶۲)**

$$\mu_1(Z_1) = \begin{cases} 1, & if\ Z_1 < Z_1^{PIS}, \\ \dfrac{Z_1^{NIS} - Z_1}{Z_1^{NIS} - Z_1^{PIS}}, & if\ Z_1^{PIS} \le Z_1 \le Z_1^{NIS}, \\ 0, & if\ Z_1 > Z_1^{NIS}. \end{cases} \tag{۶۰}$$

$$\mu_2(Z_2) = \begin{cases} 1, & if\ Z_2 < Z_2^{PIS}, \\ \dfrac{Z_2^{NIS} - Z_2}{Z_2^{NIS} - Z_2^{PIS}}, & if\ Z_2^{PIS} \le Z_2 \le Z_2^{NIS}, \\ 0, & if\ Z_2 > Z_2^{NIS}. \end{cases} \tag{۶۱}$$

$$\mu_3(Z_3) = \begin{cases} 1, & if\ Z_3 > Z_3^{PIS}, \\ \dfrac{Z_3 - Z_3^{NIS}}{Z_3^{PIS} - Z_3^{NIS}}, & if\ Z_3^{NIS} \le Z_3 \le Z_3^{PIS}, \\ 0, & if\ Z_3 < Z_3^{NIS}. \end{cases} \tag{۶۲}$$

گام ۳- حل مساله برنامه‌ریزی خطی زیر برای یافتن مقدار بهینه درجه عضویت توابع هدف

$$Max\ \lambda, \tag{۶۳}$$

$$w_n\lambda \le \mu_n(X), \quad for\ all\ n, \tag{۶۴}$$

$$X \in F(x), \tag{۶۵}$$

$$\lambda \in \{0,1\}. \tag{۶۶}$$

۴-۲- رویکرد بهترین-بدترین فازی

برای تعیین وزن توابع هدف در رویکرد برنامه‌ریزی آرمانی فازی و همچنین درجه اهمیت معیارهای اجتماعی از رویکرد بهترین-بدترین فازی استفاده شده است. رضایی [28]، روش بهترین-بدترین را که یکی از جدیدترین تکنیک‌های وزن‌دهی است، معرفی کرد. این روش نسبت به روش‌های وزن‌دهی پیشین نظیر روش تحلیل سلسله مراتبی از مقایسات زوجی کمتری استفاده می‌کند و نرخ پایداری بالاتری دارد. روش بهترین-بدترین فازی پیشنهاد شده توسط گوئو و ژائو[29]، برای بررسی عدم‌قطعیت شرایط عینی و ابهام نظرات کیفی معرفی شد. این روش به تصمیم‌گیرنده اجازه می‌دهد تا به نتایج سازگارتری با شرایط دنیای واقعی دست یابد. در این روش برای بیان ارجحیت از اعداد فازی مثلثی مطابق با **جدول ۲** استفاده می‌شود.

جدول ۲- عبارات زبانی برای بیان ارجحیت [29].
Table 2- The linquistic terms for determining preference[29].

مفهوم زبانی	عدد فازی مثلثی
اهمیت برابر	(1,1,1)
اهمیت ضعیف	(2.3,1,1.5)
نسبتا مهم	(1.5,2,2.5)
خیلی مهم	(2.5,3,3.5)
مطلقا مهم	(3.5,4,4.5)

مراحل رویکرد بهترین-بدترین فازی پیشنهاد شده توسط گوئو و ژائو [29] به قرار زیر است:

گام ۱- تعیین مجموعه‌ای از معیارهای مهم برای مساله تصمیم‌گیری

گام ۲- تعیین بهترین و بدترین معیار توسط تصمیم‌گیرنده

گام ۳- تشکیل بردار فازی ارجحیت بهترین معیار نسبت به سایر معیارها با استفاده از **رابطه (۶۷)**

$$\tilde{A}_B = (\tilde{a}_{B1}, \tilde{a}_{B2}, \dots, \tilde{a}_{Bn}). \quad (۶۷)$$

در رابطه بالا $\tilde{a}_{Bj}$ نشان‌دهنده اولویت فازی بهترین معیار (B) نسبت به معیار j و n تعداد معیارها است.

گام ۴- تشکیل بردار فازی ارجحیت دیگر معیارها نسبت به بدترین معیار(W) با استفاده از **رابطه (۶۸)**

$$\tilde{A}_W = (\tilde{a}_{1W}, \tilde{a}_{2W}, \dots, \tilde{a}_{nW}). \quad (۶۸)$$

گام ۵- تعیین وزن فازی بهینه برای هر معیار با استفاده از مدل زیر

$$min\ \tilde{\xi}, \quad (۶۹)$$

$$\left|\frac{\tilde{w}_B}{\tilde{w}_j} - \tilde{a}_{Bj}\right| \le \tilde{\xi}, \quad for\ all\ j, \quad (۷۰)$$

$$\left|\frac{\tilde{w}_j}{\tilde{w}_W} - \tilde{a}_{jw}\right| \le \tilde{\xi}, \quad for\ all\ j, \quad (۷۱)$$

$$\sum_j R(\tilde{w}_j) = 1, \quad (۷۲)$$

$$l_j^w \le m_j^w \le u_j^w, \quad for\ all\ j, \quad (۷۳)$$

$$l_j^w \ge 0, \quad for\ all\ j. \quad (۷۴)$$

که در آن $\tilde{\xi} = (l^{\xi}, m^{\xi}, u^{\xi})$ یک عدد فازی مثلثی است. با در نظر گرفتن $\tilde{\xi}^* = (\theta^*, \theta^*, \theta^*)$ و $\theta^* \le l^{\tilde{\xi}}$ مدل بالا به‌صورت زیر در می‌آید:

$$\min \tilde{\xi}^* \quad (۷۵)$$

$$s.t.\ (72) - (74)$$

$$\left|\frac{(l_B^w, m_B^w, u_B^w)}{(l_j^w, m_j^w, u_j^w)} - (l_{Bj}, m_{Bj}, u_{Bj})\right| \le (\theta^*, \theta^*, \theta^*), \quad for\ all\ j, \quad (۷۶)$$

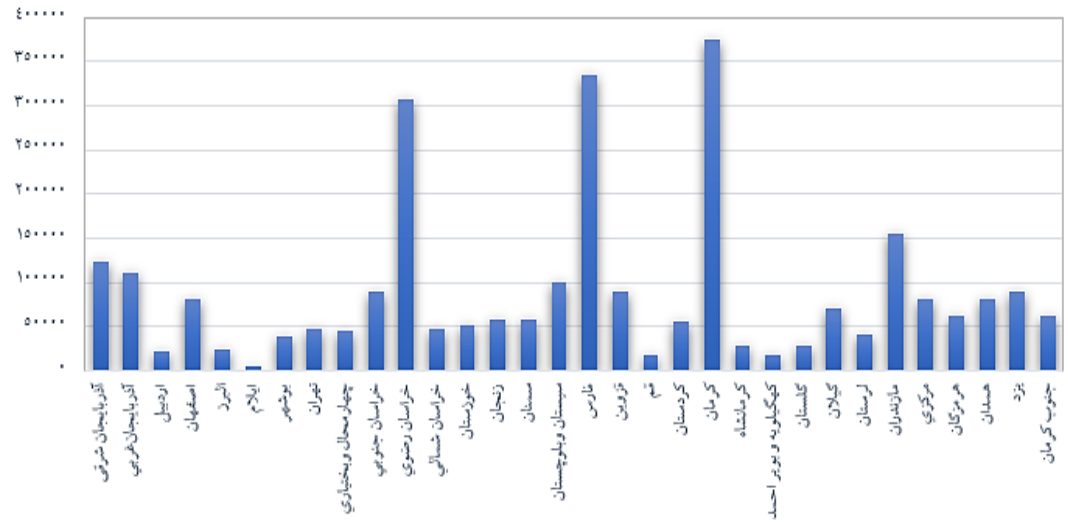
$$\left|\frac{(l_j^w, m_j^w, u_j^w)}{(l_W^w, m_W^w, u_W^w)} - (l_{jW}, m_{jW}, u_{jW})\right| \le (\theta^*, \theta^*, \theta^*), \quad for\ all\ j. \quad (۷۷)$$

$R(\widetilde{w}_j)$ نیز به‌صورت زیر تعیین می‌شود:

$$R(\widetilde{w}_j) = \frac{l_j^w + 4m_j^w + u_j^w}{6}. \quad (۷۸)$$

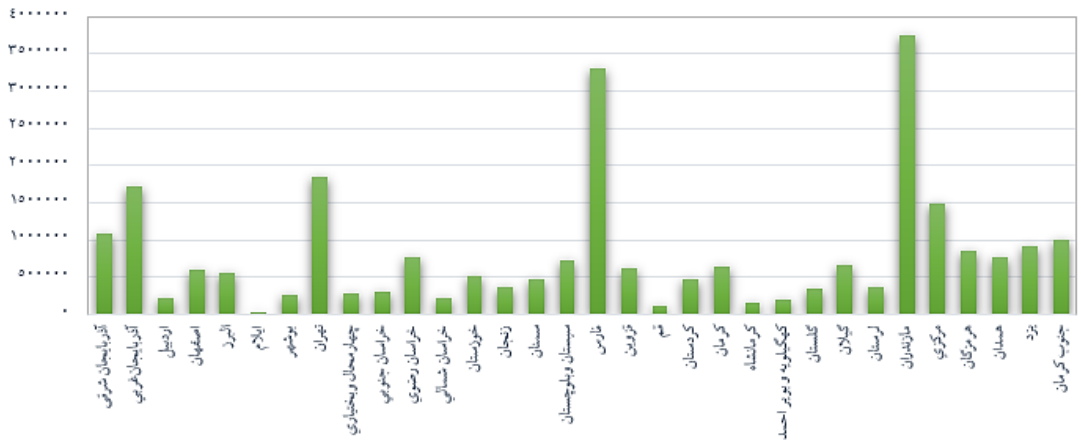
۵- نتایج عددی

در این بخش یک مطالعه موردی بر اساس داده‌های استان فارس برای اعتبارسنجی و بررسی کارایی مدل پیشنهادی ارایه می‌شود. استان فارس یکی از استان‌های سرآمد در زمینه تولید محصولات کشاورزی زراعی و باغی است. **شکل‌های ۲** و **۳**، به ترتیب میزان سطح بارور و میزان تولید محصولات باغی، قارچ و محصولات گلخانه‌ای در استان‌های مختلف کشور را بر اساس آمارنامه کشاورزی مربوط به محصولات باغی در سال ۱۴۰۲ نشان می‌دهد. شایان ذکر است که این آمارنامه در سال ۱۴۰۳ منتشر نشده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود استان فارس هم در زمینه تولیدات باغی و هم در زمینه سطح بارور رتبه دوم در بین استان‌های کشور را دارا است. **شکل ۴**، پنج محصول باغی با بیشترین میزان تولید در کشور را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود میوه سیب با میزان تولید ۴۰۱۳۶۹۵ تن بیشترین میزان تولید را به خود اختصاص داده است. برای بررسی مدل پیشنهادی میوه سیب انتخاب شده است که در سال ۱۴۰۲ جز پنج محصول باغی با بیشترین میزان تولید در کشور بوده است. **شکل ۵**، مهم‌ترین استان‌های تولیدکننده سیب را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود استان فارس رتبه سوم در تولید سیب کشور را دارا است. در سال ۱۴۰۲ در استان فارس به میزان ۳۵۶۴۵۵ تن سیب تولید شده است و سطح بارور آن نیز ۱۹۸۱۵ هکتار بوده است.



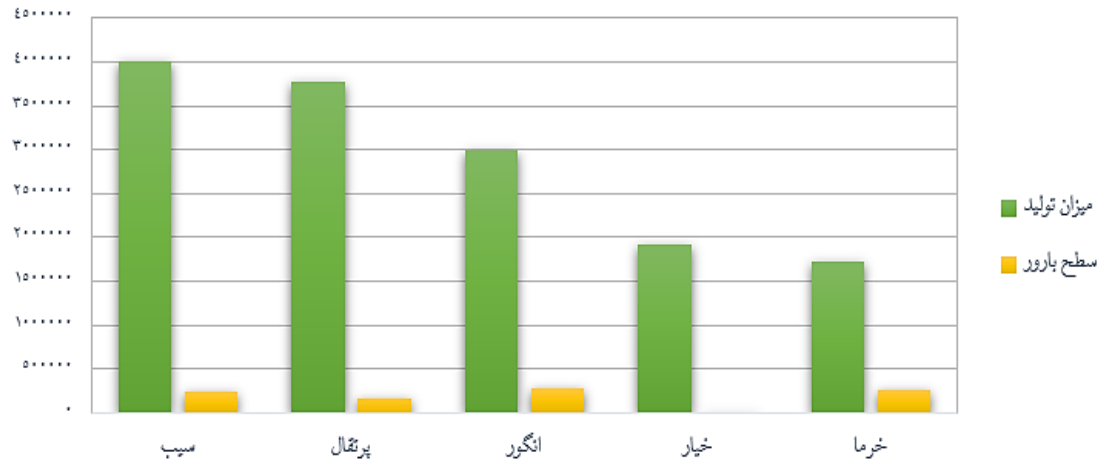
شکل ۲- توزیع سطح بارور محصولات باغی، قارچ و گلخانه‌ای کشور به تفکیک استان‌ها.

Figure 2- Distribution of the country's fertile land for horticultural, mushroom, and greenhouse cropes by province.



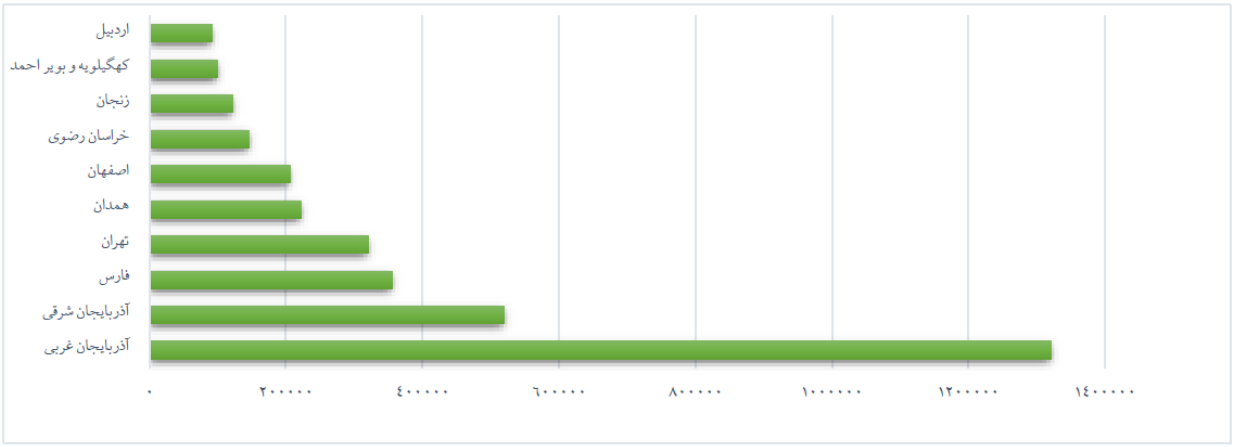
شکل ۳- توزیع میزان تولید محصولات باغی کشور به تفکیک استان‌ها.

Figure 3- Distribution of horticultural, mushroom, and greenhouse production across the provinces of the country.



شکل ۴- سطح بارور و میزان تولید محصولات باغی با بیش‌ترین میزان تولید.

Figure 4- The fertility level and production quantity of horticultural products with the highest production level.



شکل ۵- استان‌های با بیش‌ترین میزان تولید سیب.

Figure 5- The provinces with the highest production level of apple.

در استان فارس، شهرستان‌های اقلید، سپیدان، آباده، شیراز، مرودشت و بوانات از مهم‌ترین شهرستان‌های تولیدکننده سیب به شمار می‌روند. کمبود صنایع تبدیلی و همچنین کمبود سردخانه برای ذخیره میوه از مهم‌ترین مشکلات باغداران است که این امر سبب فروش سیب‌های تولیدی به قیمت پایین در زمان برداشت می‌شود؛ بنابراین طراحی یک زنجیره‌تامین کارا برای عرضه و فرآوری سیب ضروری به نظر می‌رسد. برای بررسی مدل پیشنهادی یک افق برنامه‌ریزی ۴ ساله در نظر گرفته شده است. **جدول ۳**، ابعاد مدل پیشنهادی را نشان می‌دهد. برای حل مدل پیشنهادی، ابتدا وزن توابع هدف و عوامل اجتماعی با استفاده از روش بهترین-بدترین فازی در نرم‌افزار گمز محاسبه شده است. **جدول‌های ۴** و **۵** به ترتیب وزن بهینه توابع هدف و عوامل اجتماعی را نشان می‌دهند.

جدول ۳- ابعاد مدل در مطالعه موردی.

Table 3-The model dimensions in the case study.

مجموعه	اندازه	مجموعه	اندازه
|I|	6	|B|	3
|P|	6	|R|	10
|J|	5	|H|	10
|N|	5	|F|	10
|U|	5	|T|	4
|K|	10	|E|	4
تعداد متغیرهای تصمیم	1653	تعداد محدودیت‌ها	3537

جدول ۴- وزن توابع هدف.
Table 4- The weight of objective functions.

تابع هدف	وزن فازی	وزن قطعی
اقتصادی	(0.4355,0.5056,0.5632)	0.5035
زیست‌محیطی	(0.2852,0.3488,0.4439)	0.3541
اجتماعی	(0.1402,0.1424,0.1446)	0.1424

جدول ۵- وزن ابعاد تابع هدف اجتماعی.
Table 5- The weight of elements of social objective function.

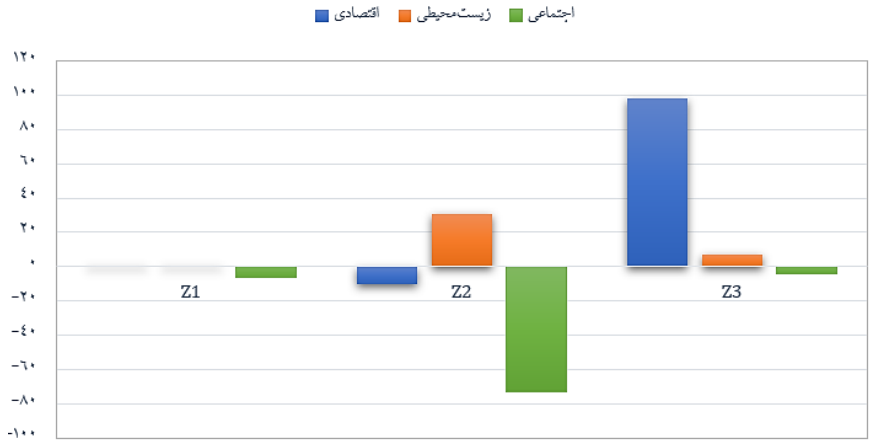
بعد	وزن فازی	وزن قطعی
فرصت‌های شغلی	(0.2400,0.2846,0.3589)	0.2896
روزهای ازدست‌رفته کاری	(0.1062,0.1088,0.1157)	0.1095
سطح توسعه منطقه	(0.4154,0.4564,0.4978)	0.4565
رضایت شغلی کارکنان	(0.1268,0.1417,0.1729)	0.1444

نتایج حاصل از حل مدل در **جدول ۶** نشان داده شده است. در این جدول، نتایج حل مدل ریاضی با استفاده از چهار دیدگاه اقتصادی، زیست‌محیطی، اجتماعی و پیشنهادی با در نظر گرفتن همه ابعاد اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی آورده شده است. میزان تغییرات مدل‌های با دیدگاه اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی درصورتی‌که به مدل پیشنهادی با ابعاد سه‌گانه پایداری تبدیل شوند، در **شکل ۶** نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود تغییرات تابع هدف اقتصادی در سه مدل با دیدگاه‌های اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی ناچیز است. دلیل این امر این است که در مدل بودجه استقرار تسهیلات محدود است و بخش زیادی از مقدار تابع هدف اقتصادی متاثر از هزینه استقرار تسهیلات است، به همین دلیل اگر سه مدل اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی به مدل پیشنهادی شیفت پیدا کنند، تغییر زیادی در تابع هدف اقتصادی رخ نمی‌دهد.

در صورتی که مدل با دیدگاه‌های اقتصادی و اجتماعی به مدل پیشنهادی شیفت پیدا کنند، تابع هدف زیست‌محیطی به میزان ۱۰/۱۹% و ۷۲/۹۷% کاهش می‌یابد. این در حالی است که با شیفت مدل زیست‌محیطی به مدل پیشنهادی، تابع هدف زیست‌محیطی به میزان ۳۱/۰۹% بدتر خواهد شد. با شیفت مدل با دیدگاه‌های اقتصادی و زیست‌محیطی به مدل پیشنهادی، تابع هدف اجتماعی به میزان ۹۸/۱۹% و ۷/۱۲% بهبود می‌یابد و تابع هدف مدل با دیدگاه اجتماعی نیز ۳/۹۵% بدتر می‌شود. بر این اساس مشخص می‌شود که مدلی که تنها بر اساس دیدگاه اقتصادی، زیست‌محیطی و یا اجتماعی تشکیل شود، در سایر ابعاد پایداری خوب عمل نمی‌کند و مدل پیشنهادی دستیابی به یک جواب بهینه کارآمد در همه ابعاد پایداری را میسر می‌سازد.

جدول ۶- نتایج عددی حاصل از حل مدل با دیدگاه‌های مختلف پایداری.
Table 6- The numerical results of solving model with different sustainability perspectives.

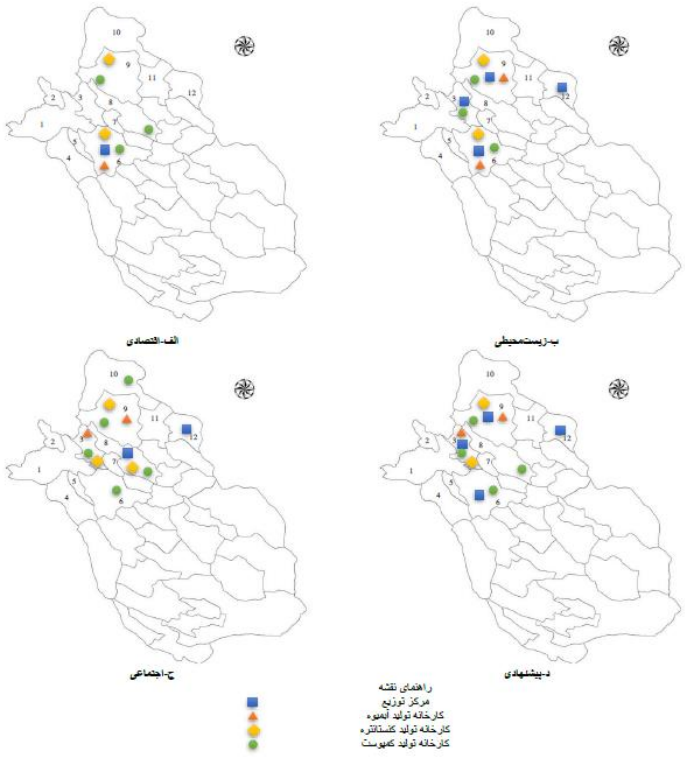
مدل	Z_1	Z_2	Z_3
اقتصادی	1.43687E+13	2.665250E+7	43.598
زیست‌محیطی	1.44337E+13	1.826050E+7	80.665
اجتماعی	1.54958E+13	8.854280E+7	89.959
پیشنهادی	1.44776E+13	2.393697E+7	86.407



شکل ۶- درصد تغییرات مدل‌های مختلف بعد از شیفت کردن به مدل پیشنهادی.

Figure 6- The percentage changes of different models after converting to the suggested model.

شکل ۷ محل استقرار تسهیلات با استفاده از چهار دیدگاه اقتصادی، زیست‌محیطی، اجتماعی و پیشنهادی را نشان می‌دهد. **جدول ۷** نیز شهرستان‌های موردبررسی در مطالعه موردی را نشان می‌دهد. در این مقاله بیش‌تر شهرستان‌های استقرار یافته در نیمه شمالی بررسی شده است که اکثر آن‌ها از لحاظ تولید سیب از شهرستان‌های سرآمد استان فارس هستند. برخی از شهرستان‌ها نیز به‌عنوان مراکز تقاضا در نظر گرفته شده‌اند. همان‌طور که مشاهده می‌شود، شکل شبکه در هر ۴ دیدگاه متفاوت است. در مدل با دیدگاه اقتصادی، کم‌ترین تعداد تسهیلات مستقر شده است تا شبکه کمترین هزینه را داشته باشد. در مدل با دیدگاه زیست‌محیطی تسهیلات بیش‌تری نسبت به مدل با دیدگاه اقتصادی استقرار یافته است تا میزان حمل‌ونقل در شبکه به کمترین حد خود برسد و به دنبال آن کمینه‌سازی میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای میسر شود. در مدل با دیدگاه اجتماعی نیز بیش‌ترین تعداد تسهیلات استقرار یافته است، چون افزایش ابعاد اجتماعی نظیر فرصت‌های شغلی و سطح توسعه منطقه با افزایش تعداد تسهیلات استقرار یافته امکان‌پذیر است. در مدل پیشنهادی نیز برای اینکه هر سه دیدگاه اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی به‌طور همزمان بهینه شود، تعداد تسهیلات نسبت به مدل با دیدگاه‌های اقتصادی و زیست‌محیطی افزایش یافته است.



شکل ۷- محل استقرار تسهیلات در مدل‌های با دیدگاه‌های مختلف پایداری.

Figure 7- The location of facilities in models with different sustainability perspectives.

جدول ۷- معرفی شهرستان‌های مطالعه موردی.
Table 7- The introduction of counties in the case study.

نام شهرستان	شماره	نام شهرستان	شماره
زرقان	7	ممسنی	1
مرودشت	8	رستم	2
اقلید	9	سپیدان	3
آباده	10	کازرون	4
خرمبید	11	کوه‌چنار	5
بوانات	12	شیراز	6

۶- نتیجه‌گیری

در این مقاله یک مدل ریاضی چندسطحی و چنددوره‌ای برای بهینه‌سازی زنجیره تامین میوه با در نظر گرفتن تولیدکنندگان میوه، مراکز توزیع، بازارهای میوه، کارخانه‌های تولید آبمیوه، کنسانتره، کمپوست و دارو و بازارهای تقاضا برای آبمیوه، کنسانتره و کمپوست ارایه شد. در مدل پیشنهادی میوه‌ها بر اساس کیفیت در مراکز توزیع درجه‌بندی می‌شوند و میوه‌های با کیفیت بالا به بازارهای میوه و میوه‌های با کیفیت متوسط به کارخانه‌های تولید آبمیوه، کنسانتره و دارو انتقال می‌یابند. میوه‌های بدون کیفیت یا ضایعات نیز از مراکز توزیع به کارخانه‌های تولید کمپوست منتقل می‌شوند. افزون بر این، میوه‌های فاسد شده در اثر حمل‌ونقل طولانی از مراکز توزیع به بازارهای میوه و کارخانه‌های تولید آبمیوه و کنسانتره و نیز ضایعات میوه حین تولید در کارخانه‌های تولید آبمیوه و کنسانتره به کارخانه‌های تولید کمپوست انتقال می‌یابند. در مدل پیشنهادی ابعاد توسعه پایدار شامل بعد اقتصادی برای کمینه‌سازی هزینه‌های سیستم، بعد زیست‌محیطی برای کمینه‌سازی میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از حمل‌ونقل و تولید و بعد اجتماعی برای بیشینه‌سازی تعداد فرصت‌های شغلی، سطح توسعه منطقه و افزایش سطح رفاه کارکنان و همچنین کمینه نمودن روزهای ازدست‌رفته کاری در نظر گرفته شد. محدودیت‌های دنیای واقعی نظیر محدودیت بودجه جهت استقرار تسهیلات، محدودیت بودجه جهت ارایه خدمات رفاهی به کارکنان، تعادل، شعاع پوشش و ظرفیت تسهیلات نیز در نظر گرفته شده است. برای حل مدل از یک رویکرد برنامه‌ریزی آرمانی فازی استفاده شد و وزن توابع اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی نیز با استفاده از رویکرد بهترین-بدترین فازی تعیین شد. علاوه بر این از رویکرد بهترین-بدترین فازی نیز در تعیین وزن ابعاد مختلف تابع هدف اجتماعی استفاده شد.

برای بررسی کارایی مدل پیشنهادی از یک مطالعه موردی در استان فارس که سومین استان سرآمد در تولید سیب کشور است، استفاده شد. نظر به اینکه سیب یک میوه سردسیری است و بیشتر در نیمه شمالی استان فارس کاشت می‌شود، شهرستان‌های واقع در نیمه شمالی به‌عنوان مکان‌های داوطلب برای استقرار تسهیلات در نظر گرفته شد. نتایج حاصل از حل مدل نشان می‌دهد که جواب‌های مدل با دیدگاه‌های اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی در ابعاد دیگر به‌خوبی عمل نمی‌کنند و پایداری سیستم با استفاده از بهینه‌سازی جداگانه هر یک از ابعاد میسر نمی‌شود. با این وجود، مدل پیشنهادی موجب دستیابی به جواب بهینه با در نظر گرفتن هر سه بعد اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی به‌طور همزمان می‌شود و در هر سه بعد عملکرد مناسبی دارد. شکل شبکه و تعداد تسهیلات استقراریافته نیز در هر یک از ابعاد پایداری متفاوت است و در مدل با دیدگاه اقتصادی کم‌ترین تعداد تسهیل و در مدل با دیدگاه اجتماعی بیش‌ترین تعداد تسهیل استقرار خواهد یافت. تعداد تسهیلات استقراریافته در مدل پیشنهادی با هر سه دیدگاه پایداری نیز از تعداد تسهیلات در مدل با دیدگاه‌های اقتصادی و زیست‌محیطی بیش‌تر است و این مدل یک تعادل مناسب بین هر سه بعد پایداری ایجاد می‌کند. برای تحقیقات آتی، بررسی عملکرد مدل پیشنهادی برای سایر استان‌ها بر اساس میوه‌های بومی این استان‌ها پیشنهاد می‌شود. اگرچه در این مقاله مدل پیشنهادی با استفاده از رویکرد برنامه‌ریزی آرمانی فازی در زمان مناسب حل شده است، استفاده از روش‌های فرا ابتکاری نظیر الگوریتم چندهدفه ژنتیک مرتب‌سازی نامغلوب برای حل مدل با ابعاد بسیار بزرگ پیشنهاد می‌شود. بررسی صادرات میوه با در نظر گرفتن نرخ برابری ارزهای داخلی و خارجی، هزینه‌های گمرک و مجوزها، مراکز بسته‌بندی جهت صادرات میوه و هزینه‌های آن از دیگر جهت‌های تحقیقات آتی است. تبدیل ضایعات میوه به بیوگاز و انرژی برق از طریق تسهیلاتی نظیر هاضم بی‌هوازی و کارخانه‌های بیوگاز نیز می‌تواند از جهت‌های جالب تحقیقاتی باشد.

مشارکت نویسنده

تمامی مراحل انجام پژوهش شامل تعریف مساله، مدل‌سازی، جمع‌آوری داده‌ها، کدنویسی مساله با استفاده از نرم‌افزار، نتایج عددی و نگارش مقاله به‌صورت کامل توسط نویسنده مقاله انجام شده است.

تشکر و قدردانی

نویسنده از حمایت‌های علمی و پژوهشی دانشگاه صنعتی شیراز، تشکر و قدردانی می‌نماید.

منابع مالی

این مقاله از حمایت مالی هیچ نهاد یا موسسه سرمایه‌گذار در بخش عمومی یا خصوصی برخوردار نبوده است.

تعارض با منافع

نویسنده اعلام می‌کند که هیچ تضادی در منافع در مورد انتشار این مقاله وجود ندارد.

منابع

[1] Brundtland, G. H. (1987). *Our common future world commission on environment and developement*. Oxford University Press. https://B2n.ir/yy8992

[2] FAOSTAT. (2018). *The state of food security and nutrition in the world 2025*. https://www.fao.org/faostat/en/#home

[3] Adams, D., Donovan, J., & Topple, C. (2021). Achieving sustainability in food manufacturing operations and their supply chains: Key insights from a systematic literature review. *Sustainable production and consumption*, *28*, 1491–1499. https://doi.org/10.1016/j.spc.2021.08.019

[4] Riahi, K., McCollum, D., & Wiberg, D. (2014). *Prototype global sustainable development report*. Policy analysis branch of the division for sustainable development, un department for economic and social affairs (DESA), New York, USA. https://pure.iiasa.ac.at/id/eprint/11145/

[5] Zarrinpoor, N. (2024). Bioenergy production from agro-livestock waste under uncertainty: A sustainable network design. *Biomass conversion and biorefinery*, *14*(1), 1149–1172. https://doi.org/10.1007/s13399-023-03814-9

[6] Bazyar, A., Zarrinpoor, N., & Safavian, A. (2021). Optimal design of a sustainable natural gas supply chain network under uncertainty. *Chemical engineering research and design*, *176*, 60–88. https://doi.org/10.1016/j.cherd.2021.09.006

[7] Nguyen, T. D., Nguyen-Quang, T., Venkatadri, U., Diallo, C., & Adams, M. (2021). Mathematical programming models for fresh fruit supply chain optimization: a review of the literature and emerging trends. *AgriEngineering*, *3*(3), 519–541. https://doi.org/10.3390/agriengineering3030034

[8] Santos, S. F., Cardoso, R., Borges, Í., Almeida, A., Andrade, E., Ferreira, I., & Ramos, L. (2019). Post-harvest losses of fruits and vegetables in supply centers in Salvador, Brazil: Analysis of determinants, volumes and reduction strategies. *Waste management*, *101*, 161–170. http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2019.10.007

[9] Cheraghalipour, A., Paydar, M. M., & Hajiaghaei-Keshteli, M. (2018). A bi-objective optimization for citrus closed-loop supply chain using Pareto-based algorithms. *Applied soft computing*, *69*, 33–59. https://doi.org/10.1016/j.asoc.2018.04.022

[10] Cheraghalipour, A., Paydar, M. M., & Hajiaghaei-Keshteli, M. (2019). Designing and solving a bi-level model for rice supply chain using the evolutionary algorithms. *Computers and electronics in agriculture*, *162*, 651–668. https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.04.041

[11] Motevalli-Taher, F., Paydar, M. M., & Emami, S. (2020). Wheat sustainable supply chain network design with forecasted demand by simulation. *Computers and electronics in agriculture*, *178*, 105763. https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105763

[12] Salehi-Amiri, A., Zahedi, A., Akbapour, N., & Hajiaghaei-Keshteli, M. (2021). Designing a sustainable closed-loop supply chain network for walnut industry. *Renewable and sustainable energy reviews*, *141*, 110821. https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.110821

[13] Chouhan, V. K., Khan, S. H., & Hajiaghaei-Keshteli, M. (2022). Sustainable planning and decision-making model for sugarcane mills considering environmental issues. *Journal of environmental management*, *303*, 114252. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.114252

[14] Salehi-Amiri, A., Zahedi, A., Gholian-Jouybari, F., Calvo, E. Z. R., & Hajiaghaei-Keshteli, M. (2022). Designing a closed-loop supply chain network considering social factors; A case study on avocado industry. *Applied mathematical modelling*, *101*, 600–631. https://doi.org/10.1016/j.apm.2021.08.035

[15] Seydanlou, P., Jolai, F., Tavakkoli-Moghaddam, R., & Fathollahi-Fard, A. M. (2022). A multi-objective optimization framework for a sustainable closed-loop supply chain network in the olive industry: Hybrid meta-heuristic algorithms. *Expert systems with applications*, *203*, 117566. https://doi.org/10.1016/j.eswa.2022.117566
[16] Rajabi-Kafshgar, A., Gholian-Jouybari, F., Seyedi, I., & Hajiaghaei-Keshteli, M. (2023). Utilizing hybrid metaheuristic approach to design an agricultural closed-loop supply chain network. *Expert systems with applications*, *217*, 119504. https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.119504
[17] Gholian-Jouybari, F., Hajiaghaei-Keshteli, M., Bavar, A., Bavar, A., & Mosallanezhad, B. (2023). A design of a circular closed-loop agri-food supply chain network—A case study of the soybean industry. *Journal of industrial information integration*, *36*, 100530. https://doi.org/10.1016/j.jii.2023.100530
[18] Goodarzian, F., Ghasemi, P., Santibanez Gonzalez, E. D. R., & Tirkolaee, E. B. (2023). A sustainable-circular citrus closed-loop supply chain configuration: Pareto-based algorithms. *Journal of environmental management*, *328*, 116892. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.116892
[19] Gholian-Jouybari, F., Hashemi-Amiri, O., Mosallanezhad, B., & Hajiaghaei-Keshteli, M. (2023). Metaheuristic algorithms for a sustainable agri-food supply chain considering marketing practices under uncertainty. *Expert systems with applications*, *213*, 118880. https://doi.org/10.1016/j.eswa.2022.118880
[20] Kalantari Khalil Abad, A. R., Barzinpour, F., & Pishvaee, M. S. (2023). Toward circular economy for pomegranate fruit supply chain under dynamic uncertainty: A case study. *Computers & chemical engineering*, *178*, 108362. https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2023.108362
[21] Gholian-Jouybari, F., Hajiaghaei-Keshteli, M., Smith, N. R., Calvo, E. Z. R., Mejía-Argueta, C., & Mosallanezhad, B. (2024). An in-depth metaheuristic approach to design a sustainable closed-loop agri-food supply chain network. *Applied soft computing*, *150*, 111017. https://doi.org/10.1016/j.asoc.2023.111017
[22] Javanmardan, A., Golpîra, H., & Baradaran, V. (2024). A socio-economic and quality-oriented optimal fruit supply chain network design in a multi-market and multi-product environment: A real case study. *Socio-economic planning sciences*, *94*, 101910. https://doi.org/10.1016/j.seps.2024.101910
[23] Letafat, F., Gholamian, M. R., & Arabi, M. (2024). A reliable supply chain network design for perishable crops with disruption risk consideration (case study: tomato supply chain). *Journal of decisions and operations research*, *9*(3), 666-689. (**In Persian**). https://doi.org/10.22105/dmor.2024.419272.1797
[24] Kianypor, H., Husseinzadeh Kashan, A., & Nikbakhsh, E. (2024). Designing a supply chain network for agricultural waste from the country's palm groves. *Journal of quality engineering and management*, *14*(1), 31-45. (**In Persian**). https://doi.org/10.48313/jqem.2024.210884
[25] GRI. (2020). *Consolidated set of GRI sustainability reporting standards*. https://www.globalreporting.org/standards/
[26] Lin, C.-C. (2004). A weighted max–min model for fuzzy goal programming. *Fuzzy sets and systems*, *142*(3), 407–420. https://doi.org/10.1016/S0165-0114(03)00092-7
[27] Zimmermann, H.-J. (2011). *Fuzzy set theory—and its applications*. Springer Science & Business Media.
[28] Rezaei, J. (2015). Best-worst multi-criteria decision-making method. *Omega*, *53*, 49–57. https://doi.org/10.1016/j.omega.2014.11.009
[29] Guo, S., & Zhao, H. (2017). Fuzzy best-worst multi-criteria decision-making method and its applications. *Knowledge-based systems*, *121*, 23–31. https://doi.org/10.1016/j.knosys.2017.01.010