Industrial Management Perspective

Print ISSN: 2251-9874, Online ISSN: 2645-4165
Volume 11, Serial Number 44, Winter 2022, Pages 9-35 (Original Article)
DOI: 10.52547/JIMP.11.4.9

A Location-Routing Model for Milk Supply Chain Network Design under Disruption Risks and Data Uncertainty

S. Ali Torabi[*], Mohammadreza Korzebor[**], Mansour Doodman[***]

Abstract

Among the decisions related to the milk supply chain, those related to the supply of raw milk from farms to the dairy factories are highly important. In this paper, a two-stage scenario-based possibilistic model is developed for designing a milk supply chain network from farms to the dairy factory in the form of location-routing problem. The milk which is collected by collection center (CC) vehicles or directly is delivered by farmers to CCs. The occurrence of disruption is considered in the form of probable scenarios. A given percentage of capacity of CCs and some of the existing routes might be unavailable under each disruption scenario. A possibilistic programming method is used to cope with epistemic uncertainty in parameters (cost, demand, and milk produced). Because of the mathematical model's high complexity in large sizes, a Lagrangian relaxation algorithm is also devised. The proposed model helps to make optimal decisions in the milk collection process from farms to factories according to existing constraints. The numerical results show the efficiency of the solution approach.

Keywords: Milk Supply Chain; Location-Routing; Disruption Risks; Two-stage Possibilistic Programming; Lagrangian Relaxation.

Received: Agu. 23, 2020; Accepted: Sep. 12, 2021.
* Professor, University of Tehran (Corresponding Author).
Email: satorabi@ut.ac.ir
** MSc, University of Tehran.
*** MSc, University of Tehran.

چشم‌انداز مدیریت صنعتی

شاپای چاپی: ۹۸۷۴-۲۲۵۱، شاپای الکترونیکی: ۴۱۶۵-۲۶۴۵

سال یازدهم، شماره ۴۴، زمستان ۱۴۰۰، ص‌ص ۹ – ۳۵ (**نوع مقاله: پژوهشی**)

DOI: 10.52547/JIMP.11.4.9

یک مدل مکان‌یابی- مسیریابی برای طراحی شبکه زنجیره تأمین شیر تحت ریسک‌های اختلال و عدم قطعیت داده‌ها

سید علی ترابی*، محمدرضا کرزه بر، منصور دودمان*****

چکیده

از میان تصمیمات مربوط به زنجیره تأمین شیر، تصمیمات مربوط به تأمین شیر خام از دامداری‌ها و حمل آن تا محل تولید محصولات لبنی بسیار حائز اهمیت است. در این پژوهش، یک مدل ریاضی مکان‌یابی ـ مسیریابی از نوع امکانی ـ دومرحله‌ای مبتنی بر سناریو به‌منظور طراحی یکپارچه شبکه زنجیره تأمین شیر از دامداری تا کارخانه ارائه شده است. شیر تولیدی دامداران یا توسط خود دامدار تحویل شده یا به‌وسیله وسایل نقلیه جمع‌آوری می‌شود. وقوع اختلال در قالب سناریوهای محتمل در نظر گرفته شده است. در صورت وقوع اختلال، درصدی از ظرفیت مراکز جمع‌آوری و تعدادی از مسیرهای موجود در شبکه از دسترس خارج می‌شوند. به‌منظور برخورد با عدم‌قطعیت‌های موجود در پارامترهای مسئله از یک روش برنامه‌ریزی امکانی ترکیبی که ترکیبی از دو روش خیمنز و همکاران (۲۰۰۷) و برنامه‌ریزی شانسی مبتنی بر اندازه‌ی اعتبار می‌باشد، استفاده شده است؛ همچنین به‌دلیل پیچیدگی بالای مدل ریاضی ارائه شده و کاهش زمان حل مدل در ابعاد بالا، از الگوریتم آزادسازی لاگرانژ بهره گرفته شده است. مدل ارائه‌شده به اخذ تصمیمات بهینه در فرآیند جمع‌آوری و تحویل شیر از دامداری‌ها به مراکز تولید با توجه به محدودیت‌های موجود کمک می‌کند. نتایج محاسباتی، کارایی روش حل را نشان می‌دهد.

کلیدواژه‌ها: زنجیره تأمین شیر؛ مکان‌یابی ـ مسیریابی؛ ریسک اختلال؛ برنامه‌ریزی امکانی دومرحله‌ای؛ آزادسازی لاگرانژ.

۱. مقدمه

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۹/۰۶/۰۲، تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۰۶/۲۱.

* استاد، دانشگاه تهران (نویسنده مسئول).

Email: satorabi@ut.ac.ir

** کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران.

*** کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران.

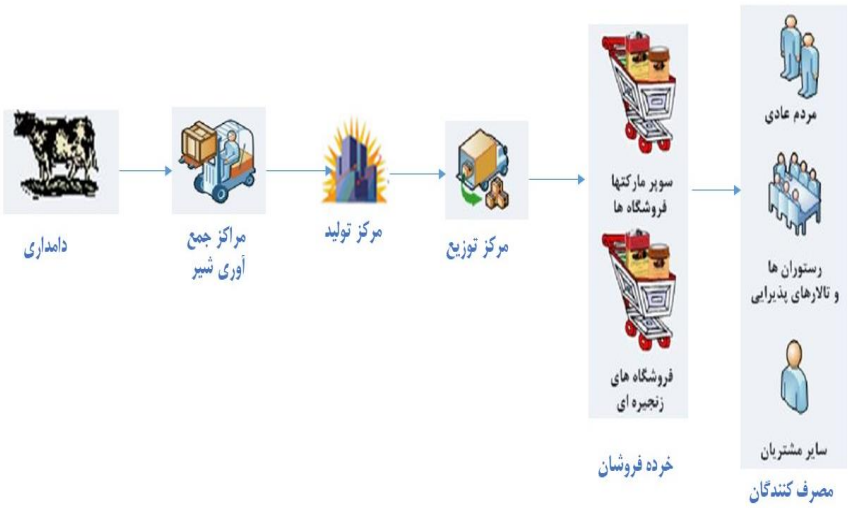
در حوزه محصولات لبنی و یکی از مهم‌ترین این مواد، یعنی شیر که به‌نوعی ماده اولیه محصولات لبنی به‌حساب می‌آید، هزینه‌های جمع‌آوری شیر تأثیر بسزایی بر هزینه کل زنجیره تأمین شیر دارد. شکل ۱، شبکه زنجیره تأمین شیر را نشان می‌دهد. زنجیره تأمین شیر از مرحله جمع‌آوری شیر از دامداران شروع شده و با عبور از مراکز جمع‌آوری، کارخانه‌های فرآوری شیر و شبکه توزیع محصولات به حلقه آخر زنجیره، یعنی فروشگاه‌ها و درنهایت به مصرف‌کننده نهایی ختم می‌شود. تصمیمات مربوط به طراحی شبکه زنجیره تأمین شیر شامل تصمیمات مرتبط با جمع‌آوری شیر از دامداران (نحوه جمع‌آوری شیر از دامداران، ترکیب شیر دامداران مختلف و احداث مراکز جمع‌آوری شیر)، تصمیمات مرتبط با تولید محصولات نهایی از شیر جمع‌آوری‌شده و توزیع شیر در بین نقاط تقاضا است [۱۸].

با بررسی ساختار و ویژگی‌های شبکه زنجیره تأمین شیر موارد زیر در ویژگی‌های شبکه قابل‌مشاهده و درک است:

ـ شیر تولیدی دامداری‌ها دارای سطوح کیفی متفاوتی است و در کارخانه نیز میزان نیاز به سطوح مختلف شیر متفاوت است؛ بنابراین در جمع‌آوری شیر این تقاضا باید موردتوجه قرار گیرد؛

ـ هزینه جمع‌آوری شیر خام قابل‌توجه است و رویکرد جمع‌آوری شیر تولیدی اغلب بهینه نیست؛

ـ شیر خام بسیار فسادپذیر است و باید در اسرع وقت به مراکز جمع‌آوری و ازآنجا به کارخانه حمل شود.



شکل ۱: ساختار کلی شبکه زنجیره شیر

با توجه به گستردگی جغرافیایی تولیدکنندگان شیر و درنظرگرفتن هزینه‌های مرتبط با

حمل‌ونقل، تصمیمات مرتبط با تعیین مراکز جمع‌آوری و نحوه جمع‌آوری شیر از دامداران بسیار حائز اهمیت است. یکی از مسائل مهم در جمع‌آوری شیر از دامداران، مسئله کیفیت متفاوت شیر دامداران و از طرف دیگر نیاز کارخانه‌های لبنی به سطوح کیفی مختلف شیر است. در این پژوهش، تصمیمات مرتبط با جمع‌آوری شیر بدین صورت در نظر گرفته شده است که بعد از تعیین مکان مراکز جمع‌آوری شیر، وسایل نقلیه از مراکز جمع‌آوری شیر شروع به حرکت کرده و پس از جمع‌آوری شیر تولیدی دامداران به این مراکز بازمی‌گردند. این نوع تصمیمات به مسئله مکان‌یابی ـ مسیریابی معروف است؛ همچنین با توجه به هزینه‌های بالای جمع‌آوری، این امکان در مسئله در نظر گرفته شده است که هر دامدار بتواند شیر تولیدی را خود به مرکز جمع‌آوری تحویل دهد؛ بنابراین شیر تولیدی در هر یک از مراکز تولیدی یا توسط وسیله نقلیه که از مراکز جمع‌آوری شروع به حرکت کرده است، جمع‌آوری می‌شود یا خود دامدار شیر را به مراکز جمع‌آوری تحویل می‌دهد. از تصمیمات دیگری که در مرحله جمع‌آوری شیر خیلی کم بررسی شده، تصمیمات مرتبط با ترکیب شیر تولیدی دامداران است. با توجه به اینکه کیفیت شیر تولیدی دامداران در مراکز تولیدی مختلف، متفاوت است و ترکیب دو نوع شیر با کیفیت‌های متفاوت به تولید شیر با یک نوع از کیفیت‌های ترکیب‌شده منجر می‌شود و همچنین با توجه به نیاز به کیفیت‌های خاصی از شیر در مراکز تولیدی محصولات لبنی، درنظرگرفتن ترکیب بهینه شیر در مرحله جمع‌آوری شیر بسیار ضروری است.

امروزه زنجیره‌های تأمین به‌دلیل عوامل پیش‌بینی نشده‌ای نظیر بحران‌های طبیعی یا انسان‌ساز می‌توانند متحمل ریسک‌ها و اختلالات غیرمنتظره‌ای شود و جریان عادی تولید و توزیع کالا در آن‌ها به تأخیر بیافتد. ریسک‌های موجود در زنجیره تأمین را می‌توان به دو دسته تقسیم کرد: ۱. ریسک‌های عملیاتی (با احتمال بروز متوسط یا زیاد و شدت اثر کم) همچون خرابی تجهیزات یا قطع برق؛ ۲. ریسک‌های اختلال (با احتمال بروز کم ولی شدت اثر بالا) که اغلب ناشی از وقوع فجایع طبیعی یا انسان‌ساز مانند سیل، زلزله و حملات تروریستی است. اختلال می‌تواند از نواحی داخلی و خارجی زنجیره تأمین شروع شود و سپس دامنه وسیعی از زنجیره را دربرگیرد. برای مثال، مشکلات مالی تأمین‌کننده، تاخیرات در تحویل و بروز بلایای طبیعی مثل سیل و زلزله می‌تواند موجب خسارات قابل‌توجه مالی و عملیاتی در زنجیره تأمین شود؛ بنابراین طراحی یک شبکه زنجیره تأمین با درنظرگرفتن ریسک‌ها و اختلالات موجود، می‌تواند هزینه‌های زنجیره را کاهش دهد و کارایی آن را بالا ببرد [۱۰]. در خصوص ضرورت درنظرگرفتن اختلالات در طراحی یک شبکه نیز ذکر این نکته ضروری است که ریسک‌های اختلال می‌توانند صدمات جبران‌ناپذیری به زنجیره وارد کنند و عدم‌پرداختن به این موضوع می‌تواند حتی به انحلال کسب‌وکار مربوطه منتهی شود. در این پژوهش سعی شده است تا در قالب یک مدل تصادفی دومرحله‌ای، احتمال رخداد اختلال در مراکز جمع‌آوری و مسیرهای موجود بین مراکز جمع‌آوری و دامداران در نظر گرفته شود. به‌این‌ترتیب که نتیجه اختلال در مراکز جمع‌آوری به‌صورت ازدست‌رفتن بخشی از ظرفیت این

مراکز و در مورد راه‌ها نیز به‌صورت بسته‌بودن راه در نظر گرفته شده است.

در این پژوهش، یک مدل ریاضی مکان‌یابی ـ مسیریابی از نوع امکانی ـ دومرحله‌ای مبتنی بر سناریو به‌منظور طراحی یکپارچه یک شبکه زنجیره تأمین شیر ارائه شده است. شبکه موردنظر شامل مراکز تولیدی شیر، نقاط کاندید برای احداث مراکز جمع‌آوری شیر و مراکز تولید محصولات لبنی است. شیر تولیدی دامداران یا به‌وسیله وسایل نقلیه جمع‌آوری می‌شوند یا دامدار خود شیر را به مراکز جمع‌آوری تحویل می‌دهد. سطوح استحکام مختلف در احداث مراکز جمع‌آوری شیر در نظر گرفته شده است؛ همچنین در صورت وقوع اختلال تحت هر سناریو، درصدی از ظرفیت مراکز جمع‌آوری و تعدادی از مسیرهای موجود بین مراکز جمع‌آوری و دامداران دردسترس نخواهد بود. به‌منظور برخورد با عدم‌قطعیت‌های موجود در پارامترهای مسئله (ضرایب هزینه، تقاضا و میزان شیر تولیدی)، یک روش برنامه‌ریزی امکانی ترکیبی که ترکیبی از دو روش خیمنز[1] و همکاران (۲۰۰۷) و برنامه‌ریزی شانسی مبتنی بر اندازه اعتبار می‌باشد، در نظر گرفته شده است؛ همچنین به‌دلیل پیچیدگی بالای حل مدل ریاضی ارائه‌شده و کاهش زمان حل مدل در ابعاد بالا، از الگوریتم آزادسازی لاگرانژ بهره گرفته شده است [۹] .

ادامه این مقاله بدین صورت سازمان‌دهی شده است که در بخش دوم، مبانی نظری و پیشینه پژوهش ارائه می‌شود. در بخش سوم، روش‌شناسی پژوهش ارائه خواهد شد. در بخش چهارم، تحلیل داده‌ها و یافته‌های پژوهش شرح داده می‌شود. در بخش پنجم به نتیجه‌گیری و پیشنهادها پرداخته خواهد شد.

۲. مبانی نظری و پیشینه پژوهش

با بررسی مبانی نظری مرتبط با زنجیره تأمین شیر و موضوعات مشابه می‌توان جریان پژوهش‌های مرتبط با این پژوهش را به سه بخش جمع‌آوری شیر از دامداران، مسیریابی ماشین‌های حمل و محدوده زنجیره تأمین درنظرگرفته‌شده تقسیم کرد. در ادامه برخی از پژوهش‌های منتشرشده درباره این موضوع مرور می‌شود.

جمع‌آوری شیر از دامداران. در بخش نخست که جمع‌آوری شیر از دامداران است، مسائل مختلفی در پژوهش‌های مختلف بررسی شده است. بسنت و همکاران[2] (۱۹۹۹)، مدلی برای زمان‌بندی و صف تانکرهای جمع‌آوری شیر ارائه کردند [۱]. آن‌ها در مدل خود فرض کردند که تانکرها پس از جمع‌آوری شیر وارد مراکز جمع‌آوری می‌شوند و برای تخلیه شیر توسط پمپ تخلیه باید درون صف قرار بگیرند. ازآنجاکه مواد اولیه تولیدشده می‌تواند سطوح کیفی متفاوتی داشته

1. Jiménez, et al.
2. Basnet, et al.

باشد و نیاز است که مواد در سطوح مختلف مخلوط نشوند؛ بنابراین در پژوهش لاهیانی و همکاران[1] (۲۰۱۵) برای جمع‌آوری روغن زیتون از مزارع از تانکرهای حمل دارای چند بخش استفاده شده است که هر کدام از این بخش‌ها به یک سطح کیفی از روغن‌ها تخصیص می‌یابد. در این پژوهش سطوح مختلف کیفی برای روغن زیتون در نظر گرفته شده است و مدل ارائه‌شده چنددوره‌ای بوده و شست‌وشوی تانکرها نیز در مدل در نظر گرفته شده است [۱۴]. در پژوهش ستانان و پیتاکاسو[2] (۲۰۱۶)، مدلی برای زمان‌بندی و حمل شیر خام ارائه شده است. در این پژوهش نیز ماشین‌های حمل شیر دارای چند تانکر مجزا برای بارگیری شیر با سطوح کیفی متفاوت بودند. در این پژوهش برنامه‌ریزی مسیریابی نیز برای ماشین‌های حمل شیر انجام شد [۲۱]. باتلر و همکاران[3] (۱۹۹۷)، مدلی دودوره‌ای برای جمع‌آوری شیر از دامداری‌ها به سمت کارخانه‌های لبنی ارائه کردند. در این مدل، ماشین‌های جمع‌آوری شیر برخی دامداری‌ها را هر دو دوره و برخی دیگر را فقط در یک دوره سرویس می‌دهند [۲]. کلاسن و هندریکس[4] (۲۰۰۷) به‌منظور ایجاد موازنه بین میزان تولید شیر و تقاضای محصولات لبنی، مدلی برای جمع‌آوری شیر ارائه کردند که در آن با استفاده از اطلاعات قبلی یک سری اصول برای جمع‌آوری شیر ایجاد شده است. در این مدل، برنامه‌ای برای جمع‌آوری شیر به‌صورت روزانه و در یک افق میان‌مدت ارائه شد [۳]. ممتاز و همکاران[5] (۲۰۱۴)، مدلی برای جمع‌آوری شیر ارائه دادند که در آن مسئله مکان‌یابی نقاط تحویل شیر و مسیریابی ماشین‌ها به‌طور هم‌زمان انجام می‌شود. در این پژوهش، محدودیت زمان برای تحویل شیر در نظر گرفته شده است [۱۶]. لاهریچی و همکاران[6] (۲۰۱۵)، حمل‌ونقل و جمع‌آوری شیر شامل تعیین بهترین مسیرها برای جمع‌آوری شیر از مزارع و تحویل آن به کارخانه‌های فرآوری را بررسی کردند. آن‌ها یک رویکرد مبتنی بر تجزیه‌وتحلیل سناریو پیشنهاد دادند که شامل تجدیدنظر در مراحل و اطلاعات مورداستفاده برای ساخت مسیرها است [۱۳].

در پژوهش پاردس-بلمار و همکاران[7] (۲۰۱۶) برای نخستین بار از جمع‌آوری سطوح کیفی مختلف شیر به‌صورت جداگانه فاصله گرفته شده و مدلی ارائه شده است که در آن بین دو عمل مخلوط‌کردن شیرها با سطوح کیفی مختلف و یا حمل شیرها به‌صورت جداگانه تصمیم‌گیری می‌شود. در این مدل فرض می‌شود که در صورت مخلوط‌شدن دو نوع شیر با سطح کیفی متفاوت، شیر خروجی دارای سطح کیفی پایین‌تر است (اگر شیر با کیفیت درجه ۱ با شیر درجه ۲ مخلوط شود، شیر حاصل دارای کیفیت درجه ۲ است) [۱۹]. پس از آن بلمار و همکاران (۲۰۱۷)، علاوه بر

1. Lahyani, et al.
2. Sethanan & Pitakaso
3. Butler, et al.
4. Claassen & Hendriks
5. Mumtaz, et al.
6. Lahrichi, et al.
7. Paredes-Belmar, et al.

درنظرگرفتن حالت مخلوط‌کردن شیر در سطوح کیفی مختلف، مکان‌یابی مراکزی برای حمل شیر برخی دامداری‌ها را نیز در نظر گرفتند [۱۸]. از میان دامدارهایی که باید شیر تولیدی آن‌ها جمع‌آوری شود، تعدادی دامداری باید خودشان شیر تولیدی خود را به مراکز جمع‌آوری شیر حمل کنند. این دامداری‌ها عمدتاً در نقاط با دسترسی دور و دشوار قرار گرفته‌اند. مراکز جمع‌آوری نیز از میان دامدارهایی انتخاب می‌شوند که ماشین‌های حمل شیر کارخانه از آن‌ها شیر دریافت می‌کنند.

مسیریابی ماشین‌های حمل. در مسئله مسیریابی ماشین‌های حمل شیر، انتخاب بهترین مسیر از دو نظر حائز اهمیت است: نخست اینکه انتخاب مسیر بهینه، هزینه‌های سیستم را کاهش می‌دهد و دوم اینکه شیر خام به‌شدت فسادپذیر است و در صورت انتخاب نادرست، احتمال فساد شیر وجود دارد. سانکاران و آبگید[1] (۱۹۹۴)، بررسی‌هایی در زمینه مسیریابی تانکرهای حمل شیر از دامداری‌ها و لزوم رعایت محدودیت‌های زمانی انجام دادند [۲۰]. باتلر و همکاران[2] (۱۹۹۷) در مدل دودوره‌ای جمع‌آوری شیر ارائه‌شده خود، مسیریابی را در قالب مدل فروشنده دوره‌گرد بررسی کردند [۲]. در این مدل گسترشی در مدل مسیریابی فروشنده دوره‌گرد ایجاد شده و مدل به این صورت اجرا شده است که برخی گره‌ها در هر دو دوره و برخی دیگر فقط در یک دوره بازدید می‌شوند. ستانان و پیتاکاسو[3] (۲۰۱۶)، مسئله مسیریابی تانکرهای حمل شیر خام را بررسی کردند. در این پژوهش، تمرکز بر روی مسیریابی تانکرها در جمع‌آوری شیر از مراکز جمع‌آوری شیر و انتقال به کارخانه‌های لبنی بود. هدف این پژوهش، کمینه‌سازی هزینه‌های کل، مصرف سوخت و شست‌وشوی تانکرها بوده است [۲۱]. لهیانی و همکاران[4] (۲۰۱۵)، مسئله حمل‌ونقل و جمع‌آوری شیر را بررسی کردند. آن‌ها تحت یک نمونه واقعی به انتخاب بهترین مسیرها برای جمع‌آوری شیر خام و انتقال آن به کارخانه برای فرآوری پرداختند [۱۴]. ماسون و همکاران[5] (۲۰۱۶) با ارائه یک روش حل دومرحله‌ای به برنامه‌ریزی حمل‌ونقل سالیانه پرداختند. در این مدل فرض شده است که تقاضا به‌صورت هفتگی تغییر می‌کند؛ اما میزان جمع‌آوری شیر طبق قرارداد ثابت است؛ در حالی مسیرها با توجه به میانگین تقاضا تنظیم می‌شوند، نشان داده شد که توجه به میانگین تقاضا صرفه‌جویی در پی خواهد داشت [۱۵]. شوکلا و جارخاریا[6] (۲۰۱۳)، یک مدل مسیریابی با وجود محدودیت پنجره زمانی برای جمع‌آوری و تحویل محصولات کشاورزی تازه به همراه روش حل ارائه دادند [۲۴]. اسوالد و استرن[7] (۲۰۰۸)، الگوریتمی برای مسیریابی کالاهای فاسدشدنی با پنجره زمانی و زمان سفر مبتنی بر

1. Sankaran & Ubgade
2. Butler, et al.
3. Sethanan & Pitakaso
4. Lahyani, et al.
5. Masson, et al.
6. Shukla & Jharkharia
7. Osvald & Stirn

اینکه سفر در چه ساعتی از روز انجام می‌شود، ارائه دادند [۱۷].

محدوده زنجیره تأمین. توئیل و همکاران[1] (۲۰۱۶)، مدلی برای زنجیره تأمین شیر ارائه کردند [۲۷]. در این مدل زنجیره تأمین سه‌سطحی در نظر گرفته شده و شامل چندین سایت تولید، چندین مرکز توزیع و چندین مشتری است. هدف این مدل، کمّینه‌ساختن هزینه و بیشینه‌ساختن سطح سرویس است [۲۴]. در پژوهش سانکاران و آبگید[2] (۱۹۹۴)، یک مدل زنجیره تأمین محصولات لبنی به همراه مکان‌یابی تسهیلات ارائه شده است. در این مدل پویا، تقاضا دارای عدم‌قطعیت بوده و تغییرات احتمالی در شبکه حمل‌ونقل در نظر گرفته شده است. گستره زنجیره تأمین در این مدل از دامداری‌ها به مراکز فرآوری شیر و سپس به سمت کارگاه‌های لبنی و بازار مصرف است [۲۰]. پاردس–بلمار و همکاران (۲۰۱۶) و پاردس–بلمار و همکاران (۲۰۱۷)، به بررسی و ارائه مدل زنجیره تأمین شیر از دامداری‌ها به کارخانه‌های لبنی پرداختند. در این دو پژوهش در صورت دردسترس–نبودن وسیله حمل، شیر تولیدی باید توسط دامدار به مراکز جمع‌آوری انتقال یابد تا از این مراکز به کارخانه حمل شود [۱۹، ۱۸]. گوارناچلی و همکاران[3] (۲۰۲۰)، مدلی برای یک زنجیره تأمین یکپارچه برای تولید و توزیع محصولات لبنی ارائه کردند. در این مدل، عدم‌قطعیت در قالب برنامه‌ریزی تصادفی در نظر گرفته شده است [۸]. جوزدانی و گویندان[4] (۲۰۲۱) یک مدل ریاضی چندهدفه به‌منظور طراحی زنجیره تأمین مواد غذایی ارائه کردند. هدف این مدل بهینه‌سازی هزینه، مصرف انرژی و ازدحام است [۱۰]. دوتا و شریواستاوا[5] (۲۰۲۰)، از برنامه‌ریزی تصادفی در شرایط عدم‌قطعیت تقاضا، عرضه و فرآیند استفاده کردند و یک مدل ریاضی غیرخطی برای طراحی زنجیره تأمین یک محصول فاسدشدنی توسعه دادند. هدف این پژوهش کمّینه‌سازی هزینه‌های زنجیره تأمین بود [۵].

کوچکی تاجانی و همکاران (۲۰۱۸) در پژوهشی در حوزه زنجیره تأمین خون، گستره وسیعی از زنجیره شامل مراحل جمع‌آوری، فرآوری و توزیع خون و محصولات خونی را در نظر گرفتند. اهداف مدل شامل حداقل‌سازی هزینه‌های زنجیره تأمین و نیز کاهش کمبود محصولات خونی بود [۱۲]. فاضلی و صیدی (۲۰۱۸)، زنجیره تأمین در سه سطح کارخانه، انبار و خرده‌فروشی را بررسی کردند [۶]. سوتو ـ سیلوا و همکاران[6] (۲۰۱۶) به مرور مدل‌های ارائه‌شده در حوزه زنجیره تأمین میوه‌های تازه پرداختند که می‌تواند به‌منظور مطالعات بیشتر در حوزه زنجیره تأمین مواد اولیه فاسدشدنی کاربردی باشد [۲۵]. شوکلا و جارخاریا[7] (۲۰۱۳) نیز پژوهش‌های انجام‌شده در زنجیره تأمین

1. Touil, et al.
2. Sankaran & Ubgade
3 Guarnaschelli, et al.
4. Jouzdani, & Govindan
5. Dutta, & Shrivastava
6. Soto-Silva, et al.
7. Shukla & Jharkharia

محصولات کشاورزی تازه را بررسی کردند که برای مطالعات بیشتر کاربرد دارد [۲۳]. دودمان و بزرگی (۲۰۲۰)، یک شبکه زنجیره تأمین یکپارچه خون تحت شرایط عدم‌قطعیت با هدف کمّینه‌سازی هزینه ارائه کردند. مطالعه این مقاله به دلیل تشابهات مسئله زنجیره تأمین شیر و خون پیشنهاد می‌شود [۴]. خلاصه مرور مبانی نظری پژوهش در جدول ۱، ارائه شده است.

بر اساس مرور مبانی نظری، شکاف‌های پژوهشی را می‌توان در محورهای زیر برشمرد:

۱. درنظرنگرفتن احتمال رخداد اختلال در عملکرد تسهیلات جمع‌آوری شیر و نیز راه‌های ارتباطی؛ ۲. عدم درنظرنگرفتن عدم‌قطعیت‌های موجود در پارامترهای مسئله، نظیر میزان شیر تولیدی توسط دامداری‌ها؛ ۳. لزوم تحویل شیر توسط برخی دامداری‌ها به علت دورافتاده‌بودن مکان آن‌ها؛ به‌طوری‌که جمع‌آوری شیر از آن‌ها توسط ماشین‌های کارخانه لبنی به‌صرفه نیست.

مطابق با شکاف‌های پژوهشی شناسایی‌شده ذکرشده، در این پژوهش مدلی ارائه می‌شود که ویژگی‌های زیر را به‌صورت هم‌زمان در نظر می‌گیرد:

ـ درنظرگرفتن عدم‌قطعیت موجود در پارامترهای میزان شیر تولیدی، هزینه و تقاضای شیر و مدل‌سازی مسئله در قالب یک مدل برنامه‌ریزی امکانی ترکیبی؛

ـ درنظرگرفتن احتمال رخداد اختلال در عملکرد مراکز جمع‌آوری شیر و مسیرهای ارتباطی در قالب برنامه‌ریزی تصادفی دومرحله‌ای؛

ـ مکان‌یابی مراکز جمع‌آوری شیر و تخصیص هر دامدار به یک مرکز؛

ـ مسیریابی ماشین‌های حمل شیر متعلق به مراکز جمع‌آوری؛

ـ تعیین دامدارهایی که خودشان باید شیر تولیدی خود را به مراکز جمع‌آوری تحویل دهند؛

ـ امکان مخلوط‌کردن شیر دامدارهای مختلف بر اساس سطوح کیفی شیرهای تولیدی و نیاز کارخانه به سطوح کیفی مختلف.

جدول ۱. خلاصه مرور مبانی نظری پژوهش

پژوهشگر/ سال	مسیریابی	مکان‌یابی	تخصیص	ترکیب	اختلال	عدم‌قطعیت	محدوده زمان	چنددوره‌ای	روش حل
باتلر و همکاران، (۱۹۹۷) [۲]	●							●	Combination of Cuts and Branch-and-Bound
بسنت و همکاران،	●		●				●		An Overall Branch and Bound

پژوهشگر/ سال	مسیریابی	مکان‌یابی	تخصیص	ترکیب	اختلال	عدم‌قطعیت	محدوده زمان	چنددوره‌ای	روش حل
[۱] (۱۹۹۹)									Approach
کلاسن و هندریکس، [۳] (۲۰۰۷)	●		●					●	Special Ordered Sets Type 1
ممتاز و همکاران، [۱۶] (۲۰۱۴)	●	●					●		RP Algorithm
لاهریچی و همکاران، [۱۳] (۲۰۱۵)	●		●				●		Tabu Search Algorithm
لهیانی و همکاران، [۱۴] (۲۰۱۵)	●						●	●	Exact Branch-and-Cut Algorithm
پاردس–بلمار و همکاران، [۱۹] (۲۰۱۶)	●	●		●					Branch-and-Cut Algorithm and a Heuristic
ماسون و همکاران، [۱۵] (۲۰۱۶)	●		●					●	A Developed Two-Stage Method
توئیل و همکاران، [۲۷] (۲۰۱۶)			●				●	●	Weighted Additive Fuzzy Goal Programming
ستانان و پیتاکاسو [۲۱] (۲۰۱۶)	●						●		DE Metaheuristic
بلمار و همکاران [۱۸] (۲۰۱۷)	●	●	●	●					Branch-and-Cut Algorithm Heuristic Procedure
پژوهش حاضر	●	●	●	●	●	●			Lagrangian Relaxation

۳. روش‌شناسی پژوهش

تعریف مسئله. شبکه زنجیره تأمین موردنظر شامل دامداران (مراکز تولید شیر خام)، مراکز جمع‌آوری شیر، کارخانه تولیدکننده محصولات لبنی و نقاط تقاضا است. در سطح اول زنجیره، تولیدکنندگان شیر خام قرار دارند. شیر تولیدی در این مراکز یا توسط خود دامدار به مراکز جمع‌آوری

شیر تحویل داده می‌شود و یا توسط وسایل نقلیه متعلق به مراکز جمع‌آوری شیر، به‌صورت روزانه از مراکز تولید شیر جمع‌آوری می‌شود. در سطح دوم، نقاط کاندید برای احداث مراکز جمع‌آوری شیر قرار دارند که شیر تولیدشده توسط دامداران در این مراکز جمع‌آوری می‌شود. در سطح سوم، یک کارخانه تولیدکننده محصولات لبنی قرار دارد که شیر تحویلی از مراکز جمع‌آوری را به محصولات لبنی تبدیل می‌کند. در این مسئله، شرایط وقوع اختلال در ظرفیت مراکز جمع‌آوری شیر و مسیرهای ارتباطی بین مراکز جمع‌آوری شیر و دامداران در نظر گرفته شده است. بدین صورت که در صورت وقوع اختلال در مراکز جمع‌آوری شیر، درصدی از ظرفیت این مراکز در-دسترس نخواهد بود؛ همچنین در صورت وقوع اختلال در مسیرهای ارتباطی، مسیر ارتباطی موردنظر دردسترس نخواهد بود. از دیگر ویژگی‌های مسئله در نظرگرفته‌شده، ترکیب شیرهای تولیدی با کیفیت‌های مختلف است. شیرهای تولیدی در ماشین‌های حمل شیر خام در زمان جمع-آوری شیر، برحسب بهینه‌بودن حمل توسط ماشین‌های حمل و نیاز به شیر با کیفیت‌های مختلف می‌توانند با هم ترکیب شوند.

به‌منظور برخورد با عدم قطعیت‌های موجود در داده‌های ورودی مسئله و لزوم تخمین آن‌ها به کمک نظرهای تصمیم‌گیران در قالب اعداد فازی به علت عدم‌وجود داده‌های کافی از گذشته، از رویکرد برنامه‌ریزی امکانی ترکیبی مبتنی بر سناریو برای مدل‌سازی ریاضی مسئله استفاده شده است. ازآنجاکه قراردادی مابین دامداری‌ها و کارخانه‌های تولید محصولات لبنی منعقد نشده است، بر اساس مشاهدات و بررسی‌های انجام‌شده در چنین شرایطی، قیمت شیر ثابت و دارای قطعیت نخواهد بود.

مدل ریاضی

اندیس‌ها

m, m': مجموعه نقاط دامدارها و نقاط کاندید برای تأسیس مراکز جمع‌آوری شیر

t: اندیس سطوح کیفی شیرهای تولیدی دامدارها

k: اندیس ماشین‌های حمل شیر

$i \in m$: اندیس دامدارها

$j \in m$: اندیس مراکز جمع‌آوری شیر

s: اندیس سناریوهای موجود

n: اندیس سطوح استحکام تسهیلات

پارامترها

M: یک مقدار بسیار بزرگ

Cap_k: ظرفیت ماشین نوع k

Cap_j: ظرفیت مرکز جمع‌آوری شیر j

$\tilde{q}_i^t$: مقدار شیر تولیدی در سطح کیفی t توسط دامدار i

$\widetilde{fcc}_j$: هزینه ثابت تأسیس مرکز جمع‌آوری شیر در نقطه j

$\widetilde{Inc}^t$: درآمد حاصل از شیر با سطح کیفی t

dis_{ij}: فاصله بین نقاط i و j

$\widetilde{tc}_k$: هزینه حمل با وسیله نقلیه k در واحد مسافت

$\widetilde{vc}_k$: هزینه ثابت تهیه وسیله نقلیه k

$\widetilde{bcs}^t$: قیمت خرید شیر t در صورتی که دامدار شیر را تا مرکز جمع‌آوری حمل کند

$\widetilde{bcm}^t$: قیمت خرید شیر t درصورتی‌که وسیله نقلیه مربوط به مرکز جمع‌آوری شیر را تا مرکز جمع‌آوری حمل کند.

Pr_s: احتمال رخداد سناریوی اختلال s

$av_{m,m',s}$: پارامتر باینری مرتبط با دردسترس‌بودن مسیر m به m' تحت سناریو s

β_{jsn}: درصدی از ظرفیت مرکز جمع‌آوری j که در سطح استحکام n تحت سناریو s باقی می‌ماند.

متغیرهای تصمیم

x_{ijks}: در صورتی که ماشین k در سناریو s قبل از ورود به j از i عبور کند، ۱ و در غیر این صورت صفر.

y_{iks}^t: در صورتی که ماشین k در سناریو s شیر با کیفیت t را از نقطه i بارگیری کند، ۱ و در غیر این صورت صفر.

g_{ijs}^t: در صورتی که در سناریو s دامدار i شیر تولیدی با کیفیت t را خودش به مرکز جمع‌آوری j تحویل دهد، ۱ و در غیر این صورت صفر.

u_{jn}: در صورتی که مرکز جمع‌آوری در سطح استحکام n در نقطه j تأسیس شود، ۱ و در غیر این صورت صفر.

z_{jks}^t: اگر وسیله k در سناریو s شیر با کیفیت t را به مرکز جمع‌آوری j تحویل دهد، ۱ و در غیر این صورت صفر.

a_{ijs}: ۱، اگر در سناریو s دامدار نقطه i به مرکز جمع‌آوری j تخصیص یابد و در غیر این صورت صفر.

v_{js}^t: حجمی از شیر با کیفیت t که از مرکز جمع‌آوری j در سناریو s به کارخانه منتقل می‌شود.

use_k: ۱، اگر ماشین k مورداستفاده قرار بگیرد و در غیر این صورت صفر.

φ_{ik}: متغیر اضافی که برای حذف زیرتور به کار برده می‌شود.

$$min \sum_{j}\sum_{n} \widetilde{fcc}_j u_{j,n} + \sum_{k} \widetilde{vc}_k use_k + \sum_{s} Pr_s \left(\sum_{i,t,k} \widetilde{bcm}^t \, q_i^t y_{iks}^t + \sum_{i\in m}\sum_{j\in m}\sum_{k} dis_{ij} \, \widetilde{tc}_k x_{ijks} + \sum_{i}\sum_{j}\sum_{t} g_{ijs}^t \widetilde{bcs}^t - \sum_{j}\sum_{t} \widetilde{Inc}^t v_{js}^t \right) \quad (۱)$$

$$\sum_{i}\sum_{t}\sum_{k} \tilde{q}_i^t \, y_{iks}^t a_{ijs} + \sum_{i}\sum_{t} \tilde{q}_i^t g_{ijs}^t \le \sum_{n} Cap_j u_{jn} \beta_{jsn} \quad \forall j, s \quad (۲)$$

$$\sum_{n} u_{jn} \le 1 \quad \forall j \quad (۳)$$

$$\sum_{k}\sum_{t} y_{iks}^t + \sum_{j}\sum_{t} g_{ijs}^t = 1 \quad \forall i, s \quad (۴)$$

$$x_{mm'ks} \le av_{mm's} \quad \forall m, m', k, s \quad (۵)$$

$$\sum_{i\in m}\sum_{j\in m} x_{ijks} \le 1 \quad \forall k \quad (۶)$$

$$\sum_{k} x_{ijks} \le 1 \quad \forall i, j \in m, s \quad (۷)$$

$$\sum_{m'} x_{mm'ks} = \sum_{m} x_{mm'ks} \quad \forall m, m', k, s \quad (۸)$$

$$\sum_{j\in m} x_{ijks} + \sum_{i\in m} x_{jiks} - a_{ijs} \le 1 \quad \forall i, j, k, s \quad (۹)$$

$$\varphi_{ik} - \varphi_{ek} + (|i| x_{ieks}) \le |i| - 1 \quad \forall i, e, k, s \quad (۱۰)$$

$$\sum_{i\in m}\sum_{j\in m} x_{ijks} \le use_k \quad \forall k, s \quad (۱۱)$$

$$\sum_{i}\sum_{t} \tilde{q}_i^t \, y_{iks}^t \le Cap_k \quad \forall k, s \quad (۱۲)$$

$$\sum_{j\in m}\sum_{k} x_{ijks} = 1 - \sum_{j}\sum_{t} g_{ijs}^{t} \quad \forall i,s \tag{۱۳}$$

$$\sum_{j}\sum_{t} g_{ijs}^{t} \le 1 \quad \forall i,s \tag{۱۴}$$

$$x_{ijks} \le \sum_{n} u_{j,n} \quad \forall i,j,k,s \tag{۱۵}$$

$$\sum_{j} a_{ijs} \le \sum_{n} u_{jn} \quad \forall i,s,j \tag{۱۶}$$

$$g_{ijs}^{t} \le a_{ijs} \quad \forall i,j,t,s \tag{۱۷}$$

$$y_{iks}^{t} \le \sum_{j\in m} x_{ijks} \quad \forall i,k,t,s \tag{۱۸}$$

$$x_{ijk} \le a_{ijs} \quad \forall i,j,k,s \tag{۱۹}$$

$$z_{jks}^{t} \le 1 - \sum_{r\in\{r\le t\}} y_{ik}^{r} \quad \forall i,j,k,t,s \tag{۲۰}$$

$$\sum_{t} g_{ijs}^{t} \le \sum_{n} u_{jn} \quad \forall i,j,s \tag{۲۱}$$

$$\sum_{j}\sum_{t} z_{jks}^{t} = 1 \quad \forall k,s \tag{۲۲}$$

$$\sum_{t} v_{js}^{t} \le Cap_{j} \quad \forall j,s \tag{۲۳}$$

$$\sum_{j} v_{js}^{t} = \sum_{i}\sum_{j} \tilde{q}_{i}^{t} g_{ijs}^{t} + \sum_{i}\sum_{k} \tilde{q}_{i}^{t} y_{iks}^{t} \quad \forall t,s \tag{۲۴}$$

$$x_{ijks}, y_{iks}^{t}, g_{ijs}^{t}, u_{jn}, z_{jks}^{t}, a_{ijs}, use_{k} \in \{0,1\} \tag{۲۵}$$

$$v_{js}^{t}, \varphi_{ik} \ge 0$$

محدودیت ۱، تابع هدف است که به دنبال کمّینه‌کردن هزینه‌ها با کسر درآمد حاصله است. قسمت اول تابع هدف، هزینه‌هایی که با سناریوهای مختلف تغییر نمی‌کنند را کمّینه کرده و قسمت

دوم آن هزینه‌ها و درآمدهایی که طی سناریوهای مختلف تغییر می‌کنند را کمّینه می‌کند؛ بنابراین قسمت دوم به‌صورت امید ریاضی در نظر گرفته شده است. محدودیت ۲، تضمین می‌کند که مقدار شیر واردشده به مرکز جمع‌آوری در هر دو حالت حمل توسط خود دامدار و حمل با ماشین مرکز جمع‌آوری از ظرفیت باقی‌مانده مرکز جمع‌آوری با توجه به سطح استحکام تسهیل در سناریوهای مختلف بیشتر نمی‌شود. محدودیت‌های ۳، تعیین می‌کنند که هر تسهیل در یک سطح استحکام تأسیس شود. محدودیت‌های ۴، تضمین می‌کنند که هر دامدار یا باید توسط ماشین‌های حمل پوشش داده شود و یا خودش شیر را به مرکز جمع‌آوری تحویل دهد. محدودیت‌های ۵، تضمین می‌کند در صورتی یک ماشین می‌تواند در مسیر بین دو نقطه جابه‌جا شود که آن مسیر در آن سناریو دردسترس باشد. محدودیت‌های ۶ تا ۱۳، مربوط به مسیریابی و ظرفیت وسیله نقلیه هستند. محدودیت ۱۴، تضمین می‌کند که هر دامدار حداکثر یک نوع شیر تولید کند و حداکثر شیر خود را به یک مرکز جمع‌آوری تحویل دهد. محدودیت‌های ۱۵، تضمین می‌کنند که یک وسیله نقلیه در صورتی می‌تواند از یک نقطه وارد مرکز جمع‌آوری در نقطه کاندید j بشود که در آن نقطه یک مرکز جمع‌آوری در یکی از سطوح استحکام تأسیس شده باشد. محدودیت‌های ۱۶، تضمین می‌کنند که تخصیص به یک نقطه در صورت تأسیس تسهیل در آن نقطه انجام بشود. محدودیت ۱۷، نشان می‌دهد که دامدار در صورتی می‌تواند شیر تولیدی خود را به مرکز جمع‌آوری j ببرد که به آن مرکز تخصیص داده شده باشد. محدودیت‌های ۱۸، تضمین می‌کنند که وسیله k در صورتی می‌تواند شیر را از دامدار i بارگیری کند که نقطه i در مسیر وسیله k قرار داشته باشد. طبق محدودیت ۱۹، در هر سناریو ماشین k در صورتی می‌تواند مسیر i به j را طی کند که i به j تخصیص یافته باشد. محدودیت۲۰، مربوط به ترکیب سطوح مختلف کیفی شیر است. به‌این‌ترتیب که وقتی چند سطح کیفی شیر با هم ترکیب می‌شوند، کیفیت شیر خروجی برابر با پایین‌ترین سطح کیفی شیرهای ترکیب شده است. بر اساس محدودیت ۲۱، هر دامدار هنگامی می‌تواند به یک مرکز جمع‌آوری مراجعه کرده و شیر تحویل دهد که آن مرکز جمع‌آوری تأسیس شده باشد. بر اساس محدودیت ۲۲، هر وسیله می‌تواند یک نوع شیر را به یک مرکز جمع‌آوری تحویل دهد. محدودیت‌های ۲۳، نشان می‌دهند که شیر منتقل‌شده از هر مرکز جمع‌آوری به کارخانه حداکثر برابر ظرفیت مرکز است. محدودیت ۲۴، نشان می‌دهد که کل شیر تحویل‌داده‌شده به کارخانه برابر با شیرهای منتقل‌شده توسط ماشین‌ها و دامدارها به مراکز جمع‌آوری است. محدودیت ۲۵، نیز مربوط به تعریف نوع متغیرها است.

تعیین مدل قطعی معادل. در این پژوهش، به‌منظور مقابله با عدم‌قطعیت‌های موجود، از رویکرد برنامه‌ریزی امکانی با محدودیت‌های شانسی استفاده شده است که در آن، حداقل سطح اطمینان در ارضای محدودیت‌های امکانی توسط تصمیم‌گیرنده تحت کنترل است. به‌طورکلی سه نوع اندازه

فازی معروف در مبانی نظری به‌منظور مقابله با محدودیت‌های شانسی از نوع امکانی وجود دارد که عبارت‌اند از: اندازه امکان، اندازه لزوم و اندازه اعتبار. مهم‌ترین مزیت این اندازه‌های فازی در مشخص‌کردن درجه وقوع هر واقعه امکانی (نظیر یک محدودیت با ضرایب امکانی) است. در این پژوهش از اندازه اعتبار به‌منظور تبدیل محدودیت‌های شانسی امکانی به شکل قطعی آن‌ها به‌دلیل نزدیک‌بودن به قطعیت و قابلیت اطمینان بیشتر آن نسبت به دو اندازه امکان و لزوم استفاده شده است [۲۶].

مدل استاندارد برنامه‌ریزی امکانی محدودیت شانسی به‌صورت زیر است که در آن ξ بردار متغیرهای فازی، g_i و f به‌ترتیب jامین محدودیت امکانی و تابع هدف امکانی را نشان می‌دهند.

$$\begin{aligned} &\min \bar{f} \\ &Cr\big(f(x,\xi) \le \bar{f}\big) \ge \alpha \\ &Cr(g_i(x,\xi) \le 0) \ge \alpha \end{aligned} \qquad (۲۶)$$

α حداقل سطح اطمینان برای ارضای تابع هدف و محدودیت‌های امکانی را نشان می‌دهد که توسط تصمیم‌گیرنده مشخص می‌شود. پارامترهای امکانی دارای عدم‌قطعیت در این مدل به‌صورت اعداد فازی مثلثی در نظر گرفته شده‌اند. به‌منظور اجرای برنامه‌ریزی شانسی موردنظر از روش رتبه‌بندی فازی ارائه‌شده توسط توفیقی و همکاران (۲۰۱۶)، بهره گرفته شده که به‌صورت زیر است [۲۶]:

فرض کنید $\tilde{a}$ و $\tilde{b}$ دو عدد فازی مثلثی به شکل زیر باشند:

$$\tilde{a} = (a_1, a_2, a_3) \quad \tilde{b} = (b_1, b_2, b_3)$$

حال درجه امکانی بزرگ‌تربودن $\tilde{b}$ از $\tilde{a}$ به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$Pos\big(\tilde{a} \le \tilde{b}\big) = \begin{cases} 0 & a_1 \ge b_3 \\ \dfrac{b_3 - a_1}{b_3 - b_2 + a_2 - a_1} & a_2 \ge b_2, a_1 \le b_3 \\ 1 & a_2 \le b_2 \end{cases} \qquad (۲۷)$$

همچنین روابط زیر بین اندازه امکان، اندازه لزوم و اندازه اعتبار برقرار است:

$$Nec\big(\tilde{a} \le \tilde{b}\big) = 1 - Pos\big(\tilde{a} \ge \tilde{b}\big) \qquad (۲۸)$$

$$Cr\big(\tilde{a} \le \tilde{b}\big) = \frac{1}{2}\Big(Pos\big(\tilde{a} \le \tilde{b}\big) + Nec\big(\tilde{a} \le \tilde{b}\big)\Big) \qquad (۲۹)$$

درنتیجه خواهیم داشت:

$$Cr(\tilde{a} \le \tilde{b}) = \begin{cases} 0 & a_1 \ge b_3 \\ \dfrac{b_3 - a_1}{2(b_3 - b_2 + a_2 - a_1)} & a_2 \ge b_2, a_1 \le b_3 \\ \dfrac{a_3 - b_1 + 2b_2 - 2a_2}{2(b_2 - b_1 + a_3 - a_2)} & a_2 \le b_2, a_3 \ge b_1 \\ 1 & a_3 \le b_1 \end{cases} \quad (۳۰)$$

بنابراین می‌توان نوشت:

$$Cr(\tilde{a} \le \tilde{b}) \ge \alpha = \begin{cases} \dfrac{b_3 - a_1}{2(b_3 - b_2 + a_2 - a_1)} \ge \alpha; & if \quad 0 \le \alpha \le 0.5 \\ \dfrac{a_3 - b_1 + 2b_2 - 2a_2}{2(b_2 - b_1 + a_3 - a_2)} \ge \alpha; & if \quad 0.5 \le \alpha \le 1 \end{cases} \quad (۳۱)$$

درنهایت برای اعداد فازی مثلثی متقارن برای معادلات فازی خواهیم داشت:

$$a^c + (2a - 1)w_a \le b^c + (1 - 2a)w_b \quad (۳۲)$$

که در آن a^c و w_a به‌ترتیب مرکز و طول عدد فازی مثلثی را نشان می‌دهند.
درنهایت مدل قطعی معادل به‌صورت زیر خواهد بود:

$$\min \sum_j \left(\frac{fcc_j^O + fcc_j^M + fcc_j^P}{3}\right) u_j + \sum_k \left(\frac{vc_k^O + vc_k^M + vc_k^P}{3}\right) use_k + \sum_s Pr_s \left(\sum_{i,t,k} \left(\frac{bcm^{tO} + bcm^{tM} + bcm^{tP}}{3}\right) \times \left(\frac{q_i^{tO} + q_i^{tM} + q_i^{tP}}{3}\right) y_{iks}^t + \sum_{i\in m, j\in m, k} dis_{ij} \left(\frac{tc_k^O + tc_k^M + tc_k^P}{3}\right) x_{ijks} + \sum_{i,j,t} g_{ijs}^t \left(\frac{bcs^{tO} + bcs^{tM} + bcs^{tP}}{3}\right) - \sum_j \sum_t \left(\frac{inc^{tO} + inc^{tM} + inc^{tP}}{3}\right) v_{js}^t \right) \quad (۳۳)$$

$$\sum_i \sum_t \sum_k q_i^{tM}(0.9 + 0.2\alpha)\, y_{iks}^t a_{ijs} + \sum_i \sum_t q_i^{tM}(0.9 + 0.2\alpha) g_{ijs}^t \leq \sum_n Cap_j u_{jn} \beta_{jsn} \quad \forall j, s \quad (۳۴)$$

$$\sum_i \sum_t \sum_k q_i^{tM}(0.9 + 0.2\alpha)\, y_{iks}^t \leq Cap_k \quad \forall k, s \quad (۳۵)$$

$$\sum_j v_{js}^t \geq \sum_i \sum_j q_i^{tM}(0.9 + 0.1\alpha) g_{ijs}^t + \sum_i \sum_k q_i^{tM}(0.9 + 0.1\alpha) y_{iks}^t \quad \forall t, s \quad (۳۶)$$

$$\sum_j v_{js}^t \leq \sum_i \sum_j q_i^{tM}(1.1 - 0.1\alpha) g_{ijs}^t + \sum_i \sum_k q_i^{tM}(1.1 - 0.1\alpha) y_{iks}^t \quad \forall t, s \quad (۳۷)$$

الگوریتم آزادسازی لاگرانژ. مدل ریاضی ارائه‌شده قابل‌حل با نرم‌افزارهای تجاری از قبیل GAMS است؛ اما زمان حل مسئله با افزایش ابعاد مسئله به‌طور نمایی افزایش می‌یابد؛ بنابراین ارائه روشی به‌منظور دستیابی به جواب‌هایی مناسب در مسائل با ابعاد بزرگ در زمان منطقی ضروری است. با توجه به کارایی الگوریتم لاگرانژ در حل مسائل مختلف مکان‌یابی تسهیلات و زنجیره تأمین، روشی به‌منظور حل مدل ریاضی ارائه شده با الگوریتم آزادسازی لاگرانژ در ادامه ارائه شده است.

نخستین مرحله در الگوریتم آزادسازی لاگرانژ، آزادکردن یک یا چند محدودیت پیچیده‌کننده حل مسئله است که در ادامه با حل مسئله آزادشده، یک حد پایین برای مقدار تابع هدف مسئله اصلی به‌دست می‌آید. با توجه به پیچیدگی محدودیت ۴، در مدل ریاضی ارائه‌شده، این محدودیت به‌منظور آزادسازی با ضریب لاگرانژ ($\pi^{is}(c,t)$) در نظر گرفته شده است.

$$\begin{aligned}\min \sum_j \left(\frac{fcc_j^O + fcc_j^M + fcc_j^P}{3}\right) u_j + \sum_k \left(\frac{vc_k^O + vc_k^M + vc_k^P}{3}\right) use_k \\ + \sum_s Pr_s \left(\sum_{i,t,k} \left(\frac{bcm^{tO} + bcm^{tM} + bcm^{tP}}{3}\right) \right. \\ \times \left(\frac{q_i^{tO} + q_i^{tM} + q_i^{tP}}{3}\right) y_{iks}^t \\ + \sum_{i\in m, j\in m, k} dis_{ij} \left(\frac{tc_k^O + tc_k^M + tc_k^P}{3}\right) x_{ijks} \\ + \sum_{i,j,t} g_{ijs}^t \left(\frac{bcs^{tO} + bcs^{tM} + bcs^{tP}}{3}\right) \\ \left. - \sum_j \sum_t \left(\frac{inc^{tO} + inc^{tM} + inc^{tP}}{3}\right) v_{js}^t \right) \\ + \sum_{i,s} \pi^{is} \left| \sum_{k,t} y_{iks}^t + \sum_{j,t} g_{ijs}^t - 1 \right|\end{aligned} \quad (۳۸)$$

در هر تکرار از روش لاگرانژ، مقدار ضریب لاگرانژ به‌روز شده و مقادیر جدید برای حد پایین محاسبه می‌شود. در این پژوهش به‌منظور به‌روزکردن مقادیر ضرایب لاگرانژ از روش ارائه‌شده توسط فیشر[1] (۲۰۰۴) به دلیل کارایی بالای آن‌ها در مسائل مختلف، استفاده شده است [۲۲]. این روش یک روش تکراری به‌منظور به‌روزکردن ضرایب لاگرانژ است که با یک مقدار اولیه برای ضریب لاگرانژ شروع می‌شود و با درنظرگرفتن یک رویکرد سیستماتیک، مقدار این ضریب به‌منظور افزایش حد پایین مسئله که از طریق حل مسئله آزادشده به دست می‌آید، بهبود می‌یابد.
مقدار ضریب لاگرانژ در هر تکرار (V) به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\pi^{v+1}(c,t) \leftarrow \pi^v(c,t) + \delta \left(\sum_w e_{wct} - 1 \right) \quad (۳۹)$$

1 Fisher, M. L.

در معادله ۳۹، δ اندازه گام در روش لاگرانژ از معادله زیر به‌دست می‌آید:

$$\delta = \frac{\beta(UB-LB^{v})}{\sum_c \sum_t (\sum_w e_{wct}-1)^2} \qquad (۴۰)$$

در معادله ۴۰، UB حد بالا برای جواب مسئله است که معادل بهترین جواب شدنی پیداشده است و LB^{v} حد پایین به‌دست‌آمده در تکرار vام است. در ابتدای حل مسئله مقدار β برابر ۲ قرار داده شده است (β=۲) و در صورتی که مقدار به‌دست‌آمده برای LB در دو تکرار متوالی هیچ بهبودی نداشته باشد، مقدار β نصف می‌شود. این رویه تا رسیدن به تعداد تکرار معین ازپیش‌تعیین‌شده ادامه می‌یابد.

۴. تحلیل داده‌ها و یافته‌های پژوهش

در این بخش به‌منظور اعتبارسنجی و تحلیل نتایج عددی مدل مکان‌یابی ـ مسیریابی زنجیره تأمین شیر، ۱۵ مثال عددی طبق جدول ۲، حل شده است. مثال‌های ارائه‌شده در جدول ۲، ابتدا با حل‌کننده نرم‌افزار گمز و بدون استفاده از روش حل لاگرانژ و سپس با استفاده از الگوریتم آزادسازی لاگرانژ حل شد. مقادیر تابع هدف، زمان حل و اختلاف بین مقادیر تابع هدف به‌دست‌آمده از حل بدون و با استفاده از الگوریتم آزادسازی لاگرانژ نمایش داده شده است. با توجه به جدول ۲، با افزایش ابعاد مسئله، زمان حل مسئله در حالت بدون استفاده از روش آزادسازی لاگرانژ افزایش زیادی یافته است؛ درحالی‌که در حالت استفاده از الگوریتم آزادسازی لاگرانژ، این زمان بسیار کوتاه بوده و نشان‌دهنده کارایی الگوریتم آزادسازی لاگرانژ در حل مدل ارائه شده در این پژوهش است. با توجه به اینکه ابعاد مثال‌های عددی ارائه‌شده نسبت به مسائل دنیای واقعی پایین‌تر است، انتظار می‌رود که حل مدل در ابعاد بالاتر بدون استفاده از الگوریتم آزادسازی لاگرانژ ممکن نباشد؛ البته توسعه الگوریتم‌های حل کاراتر (نظیر الگوریتم بندرز) نیز می‌تواند در دستور کار مطالعات آتی قرار گیرد.

جدول ۲. مشخصات مسائل نمونه و نتایج حل مسائل

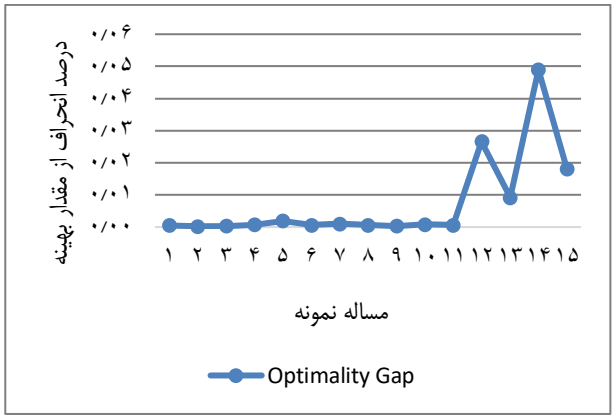
شماره مسئله	پارامترها						گمز		آزادسازی لاگرانژ		شکاف بهینه
	K	i	J	s	N	t	زمان حل	تابع هدف	زمان حل	تابع هدف	
۱	۳	۴	۳	۳	۳	۳	۱/۱۳	۵۹۲۴۸	۰/۴۳	۵۹۲۷۷	۰/۰۰۰۴۹۲۱
۲	۴	۴	۳	۳	۳	۳	۱/۳۵	۸۳۰۵۸	۰/۴۴	۸۳۰۸۰	۰/۰۰۰۲۶۷۴
۳	۵	۴	۳	۳	۳	۳	۱/۳۲	۱۰۵۱۲۳	۰/۶	۱۰۵۱۵۴	۰/۰۰۰۲۹۸۶
۴	۵	۵	۳	۳	۳	۳	۱۳/۶۳	۱۰۷۶۳۴	۰/۷۲	۱۰۷۷۱۵	۰/۰۰۰۷۵۷۱
۵	۵	۶	۳	۳	۳	۳	۱۶/۷۴	۱۲۱۹۳۶	۰/۷۵	۱۲۲۱۶	۰/۰۰۱۸۹۰۲
۶	۵	۶	۴	۳	۳	۳	۵۸/۳۵	۱۶۶۳۴۶	۰/۹۷	۱۶۶۴۵۲	۰/۰۰۰۶۳۸۹
۷	۵	۶	۵	۳	۳	۳	۱۶۶/۸۵	۲۰۳۴۸۳	۱/۱	۲۰۳۶۹۸	۰/۰۰۱۰۵۶۱
۸	۵	۶	۵	۳	۳	۳	۱۱/۷۹	۲۸۸۰۷	۰/۸۳	۲۲۸۹۵۹	۰/۰۰۰۶۶۵۱
۹	۵	۶	۵	۳	۳	۳	۲۵۹/۸۶	۲۸۴۰۳۶	۰/۷۴	۲۸۴۱۳۴	۰/۰۰۰۳۴۵۶
۱۰	۵	۶	۵	۳	۳	۳	۲۶/۱۳	۳۵۱۳۱۵	۰/۸۵	۳۵۱۶۱۶	۰/۰۰۰۸۵۵۱
۱۱	۵	۶	۵	۳	۳	۳	۱۷/۲۱	۴۸۹۸۵۷	۰/۸۵	۴۹۰۱۵۱	۰/۰۰۰۶۰۰۶
۱۲	۵	۶	۵	۳	۳	۳	۲۹۱/۵۲	۵۶۰۰۴۹	۱/۰۵	۵۷۴۹۹۰	۰/۰۲۶۶۶۰۲
۱۳	۵	۶	۵	۴	۳	۳	۴۴/۲۶	۵۳۹۰۴۱	۰/۹۹	۵۴۳۹۸۶	۰/۰۰۹۱۷۵۳
۱۴	۵	۶	۵	۵	۳	۳	۱۰۰۰/۴۱	۵۲۸۱۷۷	۱/۶۴	۵۵۴۰۳۵	۰/۰۴۸۹۵۷۱
۱۵	۷	۶	۵	۵	۳	۳	۱۰۲۰/۵۴	۵۱۱۷۶۳	۲/۱۴	۵۲۱۰۳۲	۰/۰۱۸۱۱۳۸

یادآوری این نکته ضروری است که مقادیر پارامترهای موردنیاز برای مسائل نمونه به‌صورت تصادفی و مطابق با جدول ۳، تعیین شده‌اند.

جدول ۳. مقادیر پارامترها

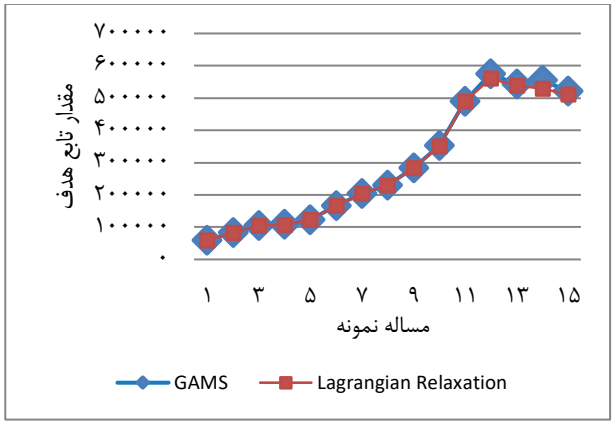
پارامتر	مقدار
q_i^t	$Uniform(80,200)$
fcc_j	$Uniform(1000,2000)$
$Inc^{\,t}$	$Uniform(40,80)$
tc_k	$Uniform(10,20)$
vc_k	$Uniform(500,600)$
bcs^t	$Uniform(10,20)$
bcm^t	$Uniform(20,25)$
β_{jsn}	$Uniform(0,0.25)$

نمودار ۱، مقادیر درصد تغییرات تابع هدف حاصل از حل مدل را با و بدون درنظرگرفتن الگوریتم آزادسازی لاگرانژ نشان می‌دهد. با توجه به نمودار می‌توان بیان کرد که در مسائل نمونه با ابعاد پائین، میزان تغییرات تابع هدف بسیار اندک است.



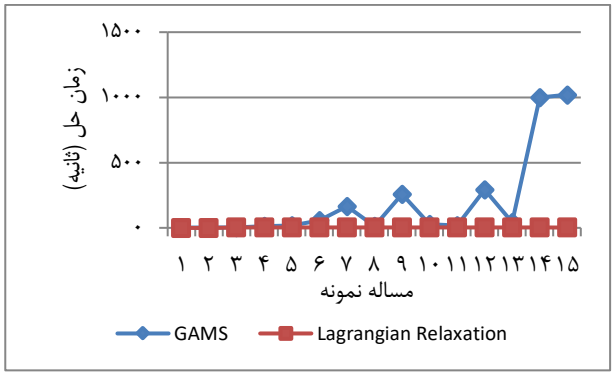
نمودار ۱. درصد تغییرات تابع هدف

نمودار ۲، مقایسه میزان تابع هدف حاصل از حل مدل ارائه‌شده با و بدون به‌کارگرفتن الگوریتم آزادسازی لاگرانژ را نشان می‌دهد. با توجه به نمودار، میزان اختلاف بین مقادیر هدف حاصل‌شده از حل مسائل نمونه مختلف با و بدون الگوریتم لاگرانژ بسیار ناچیز است.



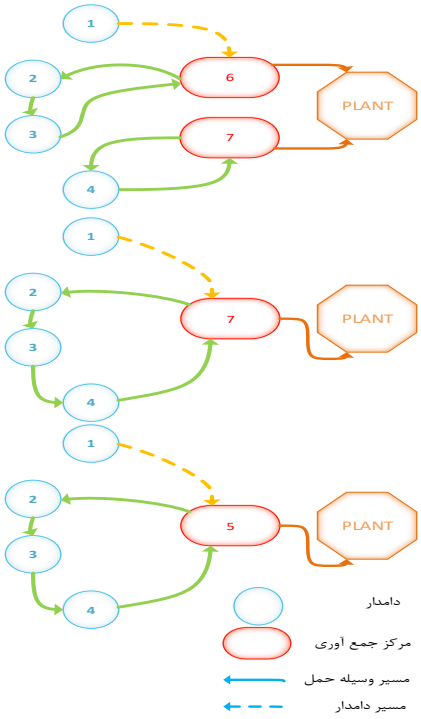
نمودار ۲. مقایسه مقادیر توابع هدف حاصل از حل مدل

نمودار ۳، زمان حل مدل با و بدون درنظرگرفتن الگوریتم آزادسازی لاگرانژ را نشان می‌دهد. با توجه به نمودار می‌توان فهمید که صرفه‌جویی زمانی حاصل از حل مدل با الگوریتم آزادسازی لاگرانژ قابل‌توجه بوده و درنتیجه الگوریتم آزادسازی لاگرانژ برای حل مدل کارا است.



نمودار ۳. مقایسه زمان حل مسئله

شکل ۲، جواب شدنی حاصل از حل مسئله نمونه شماره ۱ را نشان می‌دهد. با توجه به شکل در تمام سناریوها برای مسئله نمونه اول دامداری شماره ۱ شیر تولیدی را به‌صورت مستقیم به مراکز جمع‌آوری تحویل می‌دهد و شیر تولیدی دامدارهای ۲، ۳ و ۴ توسط وسایل نقلیه جمع‌آوری‌شده و به مرکز جمع‌آوری تحویل داده می‌شود؛ سپس شیر جمع‌آوری‌شده به مرکز تولید ارسال شده و پس از آن محصول نهایی به نقاط تقاضا فرستاده می‌شود.



شکل ۲. جواب شدنی حاصل از حل مسئله نمونه شماره ۱

جدول ۴، تغییرات هزینه را در مقابل تغییرات تعداد دامدارانی که به‌طور مستقیم شیر تولیدی را به مراکز جمع‌آوری تحویل می‌دهند، نشان می‌دهد. با افزایش هزینه حمل‌ونقل در ابتدا تعداد دامدارانی که شیر تولیدی را خود به مرکز جمع‌آوری تحویل می‌دهند، افزایش می‌یابد. در ادامه با توجه به درنظرگرفتن هزینه‌های مرتبط با حمل شیر، مدل ارائه‌شده سعی می‌کند هزینه‌های مرتبط با تحویل مستقیم و بازدید دامداری توسط وسیله نقلیه را موازنه کند و تعداد دامدارانی که شیر تولیدی را خود به مرکز جمع‌آوری تحویل می‌دهند از تعداد معینی بیشتر نمی‌شود.

جدول ۴. تحلیل تغییرات حمل توسط خود دامدار در برابر افزایش هزینه‌های حمل

هزینه‌های حمل‌ونقل	حمل‌ها توسط دامدار تحت سناریو ۱
مقادیر اولیه	مرکز ۶ ← دامدار ۱
+۱۰۰	مرکز ۶ ← دامدار ۱
+۲۰۰	مرکز ۶ ← دامدار ۱
+۳۰۰	مرکز ۶ ← دامدار ۱ مرکز ۵ ← دامدار ۴
+۴۰۰	مرکز ۶ ← دامدار ۱ مرکز ۶ ← دامدار ۳ مرکز ۵ ← دامدار ۴
+۵۰۰	مرکز ۶ ← دامدار ۱ مرکز ۶ ← دامدار ۳ مرکز ۵ ← دامدار ۴
+۶۰۰	مرکز ۶ ← دامدار ۱ مرکز ۶ ← دامدار ۳ مرکز ۵ ← دامدار ۴

۵. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

با توجه به بررسی‌های انجام‌شده، با افزایش هزینه‌های حمل‌ونقل، میزان حمل شیر توسط خود دامدارها افزایش می‌یابد؛ بنابراین مدیران و تصمیم‌گیرندگان باید در تهیه ناوگان حمل‌ونقل مناسب توجه و دقت ویژه‌ای داشته باشند؛ همچنین مسیریابی بهینه ناوگان حمل‌ونقل در طی فرآیند جمع‌آوری شیر برای حداقل‌سازی زمان و هزینه جمع‌آوری شیر از دامداران ضروری است تا از این طریق، دغدغه‌های سازمان در رابطه با تحویل شیر خام توسط دامداران به شرکت‌های رقیب و کمبود شیر خام در مراکز تولیدی به حداقل برسد.

با توجه به تأثیر قابل‌توجه سناریوهای اختلال در نظرگرفته‌شده در بخش‌های مختلف شبکه زنجیره تأمین، شامل مراکز و مسیرها، درنظرگرفتن رویکردهای مقاوم‌سازی (تاب‌آوری) شبکه و پاسخ به این اختلالات می‌تواند موجب کاهش تأثیرات این اختلالات و دستیابی به یک شبکه زنجیره تأمین بهینه و مقاوم در برابر اختلالات شود؛ بنابراین پیشنهاد می‌شود مدیران و تصمیم‌گیرندگان بخش‌های مختلف شبکه زنجیره تأمین شیر، ضمن درنظرگرفتن تأثیر هر یک از اختلالات بر کارایی شبکه زنجیره تأمین، به دنبال رویکردهایی به‌منظور مقابله با این اختلالات در زمان درست و با حداقل هزینه باشند.

عدم‌قطعیت موجود در پارامترهای مدل نیز تأثیر بسزایی در تصمیم‌گیری تصمیم‌گیرندگان دارد؛ بنابراین اکیداً توصیه می‌شود به عدم‌قطعیت موجود در پارامترها توجه شود تا کیفیت تصمیم‌گیری نهایی تا حد امکان افزایش یابد. در این مسئله، میزان شیر تولیدشده یک پارامتر مهم است که دارای عدم‌قطعیت است. بی‌توجهی به این عدم‌قطعیت به‌خودی‌خود می‌تواند بسیاری از محاسبات موجود در زنجیره را با مشکل مواجه کند. مثلاً در سناریویی که اغلب دامداران به‌دلیل بروز آب‌وهوای نامساعد یا شیوع بیماری دامی، همگی دچار کاهش تولید می‌شوند، تصمیم‌گیرندگان باید با پیش‌بینی‌های مناسب از بروز مشکل در زنجیره پیشگیری و در صورت بروز مشکل شرایطی را اتخاذ کنند که هر چه سریع‌تر زنجیره به شرایط عادی بازگردد.

در این پژوهش، یک مدل ریاضی مکان‌یابی ـ مسیریابی از نوع امکانی مبتنی بر سناریو به‌منظور طراحی یکپارچه یک زنجیره تأمین شیر از مرحله جمع‌آوری شیر از دامداران تا تحویل آن‌ها در محل کارخانه تولید محصولات لبنی ارائه شده است. شبکه موردنظر شامل مراکز تولید شیر خام، مراکز جمع‌آوری شیر و مراکز تولید محصولات لبنی است. تابع هدف شامل حداقل‌کردن کل هزینه‌های زنجیره تأمین شامل هزینه مرتبط با خرید شیر از دامداران، هزینه‌های حمل‌ونقل شیر با وسایل نقلیه و هزینه‌های توزیع با کسر درآمد حاصله است. احتمال وقوع اختلال و خرابی در ظرفیت مراکز جمع‌آوری شیر و مسیرهای ارتباطی بین مراکز جمع‌آوری شیر و مراکز تولید شیر خام در نظر گرفته شده است؛ همچنین عدم‌قطعیت در پارامترهای مرتبط با هزینه و میزان شیر خام تولیدی در مراکز تولید شیر خام در نظر گرفته شده و به‌منظور تعیین مدل قطعی معادل از یک

روش برنامه‌ریزی امکانی (ترکیب روش خیمنز[1] و همکاران (۲۰۰۷) [۹] و برنامه‌ریزی شانسی امکانی مبتنی بر اندازه‌ی اعتبار) بهره گرفته شده است. در ادامه نیز به‌دلیل پیچیدگی حل مستقیم مدل ریاضی در ابعاد بالا و کاهش زمان حل، یک الگوریتم آزادسازی لاگرانژ متناسب با مدل اجرا شده است. نتایج آزمایش‌های عددی، کارایی روش حل پیشنهادی را نشان می‌دهد. مدل ارائه‌شده می‌تواند به‌عنوان یک ابزار مدیریتی برای اتخاذ تصمیمات بهینه در زنجیره تأمین شیر مورداستفاده قرار گیرد. به‌عنوان پیشنهادها برای پژوهش‌های آتی می‌توان به اجرای مدل ارائه‌شده بر روی یک نمونه واقعی و ارائه روش‌های حل کاراتر (نظیر تجزیه بندرز) اشاره کرد. درنظرگرفتن بحث پایداری اجتماعی و زیست‌محیطی، مدل‌سازی مسئله به‌صورت چندهدفه، درنظرگرفتن امکان بازگشت شیر به دلیل مشکلات کیفیتی (بار میکروبی و یا میزان چربی) و نیز درنظرگرفتن قراردادهای مابین کارخانه‌های لبنی و دامداری‌ها و رقابت در زنجیره نیز محورهای مناسبی برای پژوهش‌های آتی به‌حساب می‌آیند.

1 Jiménez, et al.

منابع

1. Basnet, C., Foulds, L. R., & Wilson, J. M. (1999). An exact algorithm for a milk tanker scheduling and sequencing problem. *Annals of Operations Research, 86*, 559-568.
2. Butler, M., Williams, H. P., & Yarrow, L. A. (1997). The two-period travelling salesman problem applied to milk collection in Ireland. *Computational Optimization and Applications, 7(3)*, 291-306.
3. Claassen, G. D. H., & Hendriks, T. H. (2007). An application of special ordered sets to a periodic milk collection problem. *European Journal of Operational Research, 180(2)*, 754-769.
4. Doodman, M., & Bozorgi Amiri, A. (2020). Integrate Blood Supply Chain Network Design with Considering Lateral Transshipment under Uncertainty. *Journal of Industrial Management Perspective, 9(4)*, 9-40. (In Persian)
5. Dutta, P., & Shrivastava, H. (2020). The design and planning of an integrated supply chain for perishable products under uncertainties. *Journal of Modelling in Management,15(4)*, 1301-1337.
6. Fazeli, F., & Seidi, M. (2018). in Different Levels and Solving by ε-Constraint Approach. *Journal of Industrial Management Perspective, 8(3)*, 167-194. (In Persian)
7. Fisher, M. L. (2004). The Lagrangian relaxation method for solving integer programming problems. *Management science, 50(12_supplement)*, 1861-1871.
8. Guarnaschelli, A., Salomone, H. E., & Méndez, C. A. (2020). A stochastic approach for integrated production and distribution planning in dairy supply chains. *Computers & Chemical Engineering, 140*, 106966.
9. Jiménez, M., Arenas, M., Bilbao, A., & Rodrı, M. V. (2007). Linear programming with fuzzy parameters: an interactive method resolution. *European journal of operational research*, 177(3), 1599-1609.
10. Jouzdani, J., & Govindan, K. (2021). On the sustainable perishable food supply chain network design: A dairy products case to achieve sustainable development goals. *Journal of Cleaner Production, 278*, 123060.
11. Kamalahmadi, M., & Parast, M. M. (2016). A review of the literature on the principles of enterprise and supply chain resilience: Major findings and directions for future research. *International Journal of Production Economics*, *171*, 116-133.
12. Kouchaki Tajani, T., Mohtashami, A., Amiri, M., & Ehtesham Rasi, R. (2021). Presenting a Robust Optimization Model to Design a Comprehensive Blood Supply Chain under Supply and Demand Uncertainties. *Journal of Industrial Management Perspective*, 11(1, Spring 2021), 81-116. (In Persian)
13. Lahrichi, N., Gabriel Crainic, T., Gendreau, M., Rei, W., & Rousseau, L. M. (2015). Strategic analysis of the dairy transportation problem. *Journal of the Operational Research Society, 66(1)*, 44-56.
14. Lahyani, R., Coelho, L. C., Khemakhem, M., Laporte, G., & Semet, F. (2015). A multi-compartment vehicle routing problem arising in the collection of olive oil in Tunisia. *Omega*, *51*, 1-10.
15. Masson, R., Lahrichi, N., & Rousseau, L. M. (2016). A two-stage solution method for the annual dairy transportation problem. *European Journal of Operational Research, 251(1)*, 36-43.

16. Mumtaz, M. K., Jalil, M. N., & Chatha, K. A. (2014). Designing the milk collection network using integrated location routing approach. In *International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*.
17. Osvald, A., & Stirn, L. Z. (2008). A vehicle routing algorithm for the distribution of fresh vegetables and similar perishable food. *Journal of food engineering*, *85(2)*, 285-295.
18. Paredes-Belmar, G., Lüer-Villagra, A., Marianov, V., Cortés, C. E., & Bronfman, A. (2017). The milk collection problem with blending and collection points. *Computers and Electronics in Agriculture*, *134*, 109-123.
19. Paredes-Belmar, G., Marianov, V., Bronfman, A., Obreque, C., & Lüer-Villagra, A. (2016). A milk collection problem with blending. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, *94*, 26-43.
20. Sankaran, J. K., & Ubgade, R. R. (1994). Routing tankers for dairy milk pickup. *Interfaces*, *24(5)*, 59-66.
21. Sethanan, K., & Pitakaso, R. (2016). Differential evolution algorithms for scheduling raw milk transportation. *Computers and Electronics in Agriculture*, *121*, 245-259.
22. Shishebori, D., Yousefi Babadi, A., & Noormohammadzadeh, Z. (2018). A Lagrangian relaxation approach to fuzzy robust multi-objective facility location network design problem. *Scientia Iranica*, *25(3)*, 1750-1767.
23. Shukla, M., & Jharkharia, S. (2013). Agri-fresh produce supply chain management: a state-of-the-art literature review. *International Journal of Operations & Production Management*, *33(2)*, 114-158.
24. Shukla, M., & Jharkharia, S. (2013). Artificial Immune System-based algorithm for vehicle routing problem with time window constraint for the delivery of agri-fresh produce. *Journal of decision systems*, *22(3)*, 224-247.
25. Soto-Silva, W. E., Nadal-Roig, E., González-Araya, M. C., & Pla-Aragones, L. M. (2016). Operational research models applied to the fresh fruit supply chain. *European Journal of Operational Research*, 251(2), 345-355.
26. Tofighi, S., Torabi, S. A., & Mansouri, S. A. (2016). Humanitarian logistics network design under mixed uncertainty. *European Journal of Operational Research*, *250(1)*, 239-250.
27. Touil, A., Echchtabii, A., & Charkaoui, A. (2016). Possibilistic programming approach for production and distribution problem in milk supply chain. In *2016 3rd International Conference on Logistics Operations Management (GOL)* (pp. 1-8). IEEE.