

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.

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 - مسیریابی از نوع امکانی - دومرحله‌ای مبتنی بر سناریو به منظور طراحی یکپارچه شبکه زنجیره تأمین شیر از دامداری تا کارخانه ارائه شده است. شیر تولیدی دامداران یا توسط خود دامدار تحویل شده یا به وسیله 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. به منظور برخورد با عدم قطعیت‌های موجود در پارامترهای مسئله از یک روش برنامه‌ریزی امکانی ترکیبی که ترکیبی از دو روش خیمنز و همکاران (۲۰۰۷) و برنامه‌ریزی شانس مبتنی بر اندازه‌ی اعتبار می‌باشد، استفاده شده است؛ همچنین به دلیل پیچیدگی بالای مدل ریاضی ارائه شده و کاهش زمان حل مدل در ابعاد بالا، از الگوریتم آزادسازی لاگرانژ بهره گرفته شده است. مدل ارائه شده 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 - 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

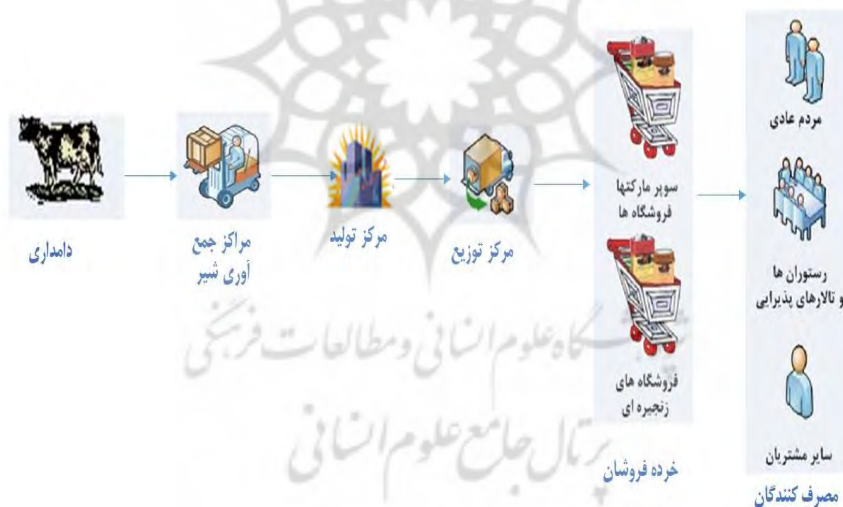
** کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران.

*** کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران.

در حوزه محصولات لبنی و یکی از مهم‌ترین این مواد، یعنی شیر که به‌نوعی ماده اولیه محصولات لبنی به حساب 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 در نهایت 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 جمع‌آوری شده و توزیع شیر در بین نقاط تقاضا است [۱۸].

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

- 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 مورد توجه قرار گیرد؛
- هزینه جمع‌آوری شیر خام قابل توجه است و رویکرد جمع‌آوری شیر تولیدی اغلب بهینه نیست؛
- شیر خام بسیار فسادپذیر است و باید در اسرع وقت به مراکز جمع‌آوری و از آنجا به کارخانه حمل شود.



شکل ۱: ساختار کلی شبکه زنجیره شیر

با توجه به گستردگی جغرافیایی تولیدکنندگان شیر و در نظر گرفتن هزینه‌های مرتبط با

حمل و نقل، 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 - 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 ترکیب شده منجر می‌شود و همچنین با توجه به نیاز به کیفیت‌های خاصی از شیر در مراکز تولیدی محصولات لبنی، در نظر گرفتن ترکیب بهینه شیر در مرحله جمع‌آوری شیر بسیار ضروری است.

امروزه زنجیره‌های تأمین به دلیل 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 قابل توجه مالی و عملیاتی در زنجیره تأمین شود؛ بنابراین طراحی یک شبکه زنجیره تأمین با در نظر گرفتن ریسک‌ها و اختلالات موجود، می‌تواند هزینه‌های زنجیره را کاهش دهد و کارایی آن را بالا ببرد [۱۰]. در خصوص ضرورت در نظر گرفتن اختلالات در طراحی یک شبکه نیز ذکر این نکته ضروری است که ریسک‌های اختلال می‌توانند صدمات جبران‌ناپذیری به زنجیره وارد کنند و عدم پرداختن به این موضوع می‌تواند حتی به انحلال کسب‌وکار مربوطه منتهی شود. در این پژوهش سعی شده است تا در قالب یک مدل تصادفی دومارحله‌ای، احتمال رخداد اختلال در مراکز جمع‌آوری و مسیرهای موجود بین مراکز جمع‌آوری و دامداران در نظر گرفته شود. به این ترتیب که نتیجه اختلال در مراکز جمع‌آوری به صورت 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 - مسیریابی از نوع امکانی - 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 در دسترس نخواهد بود. به‌منظور برخورد با عدم قطعیت‌های موجود در پارامترهای مسئله (ضرایب هزینه، تقاضا و میزان شیر تولیدی)، یک روش برنامه‌ریزی امکانی ترکیبی که ترکیبی از دو روش خیمنز^۱ و همکاران (۲۰۰۷) و برنامه‌ریزی شانس 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 در نظر گرفته‌شده 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^۲ (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. از آنجاکه 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^۱ (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^۲ (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^۳ (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^۴ (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^۵ (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^۶ (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 تجزیه و تحلیل سناریو پیشنهاد دادند که شامل تجدیدنظر در مراحل و اطلاعات مورد استفاده برای ساخت مسیرها است [۱۳].

در پژوهش پاردس-بلمار و همکاران^۷ (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 مخلوط کردن شیرها با سطوح کیفی مختلف و یا حمل شیرها به‌صورت جداگانه تصمیم‌گیری می‌شود. در این مدل فرض می‌شود که در صورت مخلوط شدن 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.

در نظر گرفتن حالت مخلوط کردن شیر در سطوح کیفی مختلف، مکان‌یابی مراکزی برای حمل شیر برخی دامداری‌ها را نیز در نظر گرفتند [۱۸]. از میان دامداری‌هایی 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 دامداری‌هایی 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 به شدت فسادپذیر است و در صورت انتخاب نادرست، احتمال فساد شیر وجود دارد. سانکاران و آبگید^۱ (۱۹۹۴)، بررسی‌هایی در زمینه مسیریابی تانکرهای حمل شیر از دامداری‌ها و لزوم رعایت محدودیت‌های زمانی انجام دادند [۲۰]. باتلر و همکاران^۲ (۱۹۹۷) در مدل دودوره‌ای جمع‌آوری شیر ارائه شده 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^۳ (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]. لاهیانی و همکاران^۴ (۲۰۱۵)، مسئله حمل و نقل 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^۵ (۲۰۱۶) با ارائه یک روش حل دومرحله‌ای به برنامه‌ریزی حمل و نقل سالیانه پرداختند. در این مدل فرض شده است که تقاضا به صورت 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^۶ (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^۷ (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^۱ (۲۰۱۶)، مدلی برای زنجیره تأمین شیر ارائه کردند [۲۷]. در این مدل زنجیره تأمین سه سطحی در نظر گرفته شده و شامل چندین سایت تولید، چندین مرکز توزیع و چندین مشتری است. هدف این مدل، کمینه‌سازی هزینه و بیشینه‌سازی سطح سرویس است [۲۴]. در پژوهش سانکاران و آبگید^۲ (۱۹۹۴)، یک مدل زنجیره تأمین محصولات لبنی به همراه مکان‌یابی تسهیلات ارائه شده است. در این مدل پویا، تقاضا دارای عدم قطعیت 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 در دسترس نبودن وسیله حمل، شیر تولیدی باید توسط دامدار به مراکز جمع‌آوری انتقال یابد تا از این مراکز به کارخانه حمل شود [۱۸، ۱۹]. گوارناچلی و همکاران^۳ (۲۰۲۰)، مدلی برای یک زنجیره تأمین یکپارچه برای تولید و توزیع محصولات لبنی ارائه کردند. در این مدل، عدم قطعیت در قالب برنامه‌ریزی تصادفی در نظر گرفته شده است [۸]. جوزدانی و گویندان^۴ (۲۰۲۱) یک مدل ریاضی چندهدفه به منظور طراحی زنجیره تأمین مواد غذایی ارائه کردند. هدف این مدل بهینه‌سازی هزینه، مصرف انرژی و ازدحام است [۱۰]. دوتا و شریواستاوا^۵ (۲۰۲۰)، از برنامه‌ریزی تصادفی در شرایط عدم قطعیت تقاضا، عرضه و فرآیند استفاده کردند و یک مدل ریاضی غیرخطی برای طراحی زنجیره تأمین یک محصول فاسدشدنی توسعه دادند. هدف این پژوهش کمینه‌سازی 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 - سیلوا و همکاران^۶ (۲۰۱۶) به مرور مدل‌های ارائه‌شده در حوزه زنجیره تأمین میوه‌های تازه پرداختند که می‌تواند به منظور مطالعات بیشتر در حوزه زنجیره تأمین مواد اولیه فاسدشدنی کاربردی باشد [۲۵]. شوکلا و جارخاریا^۷ (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 عدم قطعیت با هدف کمینه‌سازی هزینه ارائه کردند. مطالعه این مقاله به دلیل تشابهات مسئله زنجیره تأمین شیر و خون پیشنهاد می‌شود [۴]. خلاصه مرور مبنای نظری پژوهش در جدول ۱، ارائه شده است.

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

۱. در نظر گرفتن احتمال رخداد اختلال در عملکرد تسهیلات جمع‌آوری شیر و نیز راه‌های ارتباطی؛
۲. عدم در نظر گرفتن عدم قطعیت‌های موجود در پارامترهای مسئله، نظیر میزان شیر تولیدی توسط دامداران؛
۳. لزوم تحویل شیر توسط برخی دامداران به علت دورافتاده بودن مکان آن‌ها؛ به طوری که جمع‌آوری شیر از آن‌ها توسط ماشین‌های کارخانه لبنی به صرفه نیست.

مطابق با شکاف‌های پژوهشی شناسایی شده ذکر شده، در این پژوهش مدلی ارائه می‌شود که ویژگی‌های زیر را به صورت هم‌زمان در نظر می‌گیرد:

- در نظر گرفتن عدم قطعیت موجود در پارامترهای میزان شیر تولیدی، هزینه و تقاضای شیر و مدل‌سازی مسئله در قالب یک مدل برنامه‌ریزی امکانی ترکیبی؛
- در نظر گرفتن احتمال رخداد اختلال در عملکرد مراکز جمع‌آوری شیر و مسیرهای ارتباطی در قالب برنامه‌ریزی تصادفی دو مرحله‌ای؛
- مکان‌یابی مراکز جمع‌آوری شیر و تخصیص هر دامدار به یک مرکز؛
- مسیریابی ماشین‌های حمل شیر متعلق به مراکز جمع‌آوری؛
- تعیین دامدارهایی که خودشان باید شیر تولیدی خود را به مراکز جمع‌آوری تحویل دهند؛
- امکان مخلوط کردن شیر دامدارهای مختلف بر اساس سطوح کیفی شیرهای تولیدی و نیاز کارخانه به سطوح کیفی مختلف.

جدول ۱. خلاصه مرور مبنای نظری پژوهش

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

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

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 در دسترس نخواهد بود. از دیگر ویژگی‌های مسئله در نظر گرفته شده، ترکیب شیرهای تولیدی با کیفیت‌های مختلف است. شیرهای تولیدی در ماشین‌های حمل شیر خام در زمان جمع‌آوری 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 عدم وجود داده‌های کافی از گذشته، از رویکرد برنامه‌ریزی امکانی ترکیبی مبتنی بر سناریو برای مدل‌سازی ریاضی مسئله استفاده شده است. از آنجاکه 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

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

\bar{f}_{cc}^j : هزینه ثابت تأسیس مرکز جمع‌آوری شیر در نقطه j

\bar{inc}^t : درآمد حاصل از شیر با سطح کیفی t

dis_{ij} : فاصله بین نقاط i و j

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

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

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

\bar{bcm}^t : قیمت خرید شیر t در صورتی که 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 در دسترس بودن 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.

v_{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 مورد استفاده قرار بگیرد و در غیر این صورت صفر.

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

$$\begin{aligned} \min \sum_j \sum_n \widetilde{f}cc_j u_{j,n} + \sum_k \widetilde{v}c_k use_k \\ + \sum_s Pr_s \left(\sum_{i,t,k} \widetilde{bcm}^t q_i^t y_{iks}^t + \sum_{i \in m} \sum_{j \in m} \sum_k dis_{ij} \widetilde{tc}_k x_{ijks} \right. \\ \left. + \sum_i \sum_j \sum_t g_{ijs}^t \widetilde{bcs}^t - \sum_j \sum_t \widetilde{inc}^t v_{js}^t \right) \end{aligned} \quad (۱)$$

$$\sum_i \sum_t \sum_k \widetilde{q}_i^t y_{iks}^t a_{ijs} + \sum_i \sum_t \widetilde{q}_i^t g_{ijs}^t \leq \sum_n Cap_j u_{j,n} \beta_{jsn} \quad \forall j, s \quad (۲)$$

$$\sum_n u_{j,n} \leq 1 \quad \forall j \quad (۳)$$

$$\sum_k \sum_t y_{iks}^t + \sum_j \sum_t g_{ijs}^t = 1 \quad \forall i, s \quad (۴)$$

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

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

$$\sum_k x_{ijks} \leq 1 \quad \forall i, j \in m, s \quad (۷)$$

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

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

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

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

$$\sum_i \sum_t \widetilde{q}_i^t y_{iks}^t \leq Cap_k \quad \forall k, s \quad (۱۲)$$

$$\sum_{j \in m} \sum_k x_{ijks} = 1 - \sum_j \sum_t g_{ijs}^t \quad \forall i, s \quad (13)$$

$$\sum_j \sum_t g_{ijs}^t \leq 1 \quad \forall i, s \quad (14)$$

$$x_{ijks} \leq \sum_n u_{jn} \quad \forall i, j, k, s \quad (15)$$

$$\sum_j a_{ijs} \leq \sum_n u_{jn} \quad \forall i, s, j \quad (16)$$

$$g_{ijs}^t \leq a_{ijs} \quad \forall i, j, t, s \quad (17)$$

$$y_{iks}^t \leq \sum_{j \in m} x_{ijks} \quad \forall i, k, t, s \quad (18)$$

$$x_{ijk} \leq a_{ijs} \quad \forall i, j, k, s \quad (19)$$

$$z_{jks}^t \leq 1 - \sum_{r \in \{r \leq t\}} y_{ikr}^r \quad \forall i, j, k, t, s \quad (20)$$

$$\sum_t g_{ijs}^t \leq \sum_n u_{jn} \quad \forall i, j, s \quad (21)$$

$$\sum_j \sum_t z_{jks}^t = 1 \quad \forall k, s \quad (22)$$

$$\sum_t v_{js}^t \leq Cap_j \quad \forall j, s \quad (23)$$

$$\sum_j v_{js}^t = \sum_i \sum_j \tilde{q}_i^t g_{ijs}^t + \sum_i \sum_k \tilde{q}_i^t y_{iks}^t \quad \forall t, s \quad (24)$$

$$x_{ijks}, y_{iks}^t, g_{ijs}^t, u_{jn}, z_{jks}^t, a_{ijs}, use_k \in \{0, 1\} \quad (25)$$

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

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

دوم آن هزینه‌ها و درآمدهایی که طی سناریوهای مختلف تغییر می‌کنند را کمیته می‌کند؛ بنابراین قسمت دوم به صورت امید ریاضی در نظر گرفته شده است. محدودیت ۲، تضمین می‌کند که مقدار شیر وارد شده 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 در دسترس 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 Z 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 Z 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 Z را طی کند که i به Z تخصیص یافته باشد. محدودیت ۲۰، مربوط به ترکیب سطوح مختلف کیفی شیر است. به این ترتیب 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 منتقل شده از هر مرکز جمع‌آوری به کارخانه حداکثر برابر ظرفیت مرکز است. محدودیت ۲۴، نشان می‌دهد که کل شیر تحویل داده شده به کارخانه برابر با شیرهای منتقل شده توسط ماشین‌ها و دامدارها به مراکز جمع‌آوری است. محدودیت ۲۵، نیز مربوط به تعریف نوع متغیرها است.

تعیین مدل قطعی معادل. در این پژوهش، به منظور مقابله با عدم قطعیت‌های 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. به طور کلی سه نوع اندازه

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

مدل استاندارد برنامه‌ریزی امکانی محدودیت شانس به صورت زیر است که در آن ξ بردار متغیرهای فازی، g_i و f به ترتیب ژامین محدودیت امکانی و تابع هدف امکانی را نشان می‌دهند.

$$\begin{aligned} \min \bar{f} \\ Cr(f(x, \xi) \leq \bar{f}) \geq \alpha \\ Cr(g_i(x, \xi) \leq 0) \geq \alpha \end{aligned} \quad (26)$$

α حداقل سطح اطمینان برای ارضای تابع هدف و محدودیت‌های امکانی را نشان می‌دهد که توسط تصمیم‌گیرنده مشخص می‌شود. پارامترهای امکانی دارای عدم قطعیت در این مدل به صورت اعداد فازی مثلثی در نظر گرفته شده‌اند. به منظور اجرای برنامه‌ریزی شانس مورد نظر از روش رتبه‌بندی فازی ارائه شده توسط توفیقی و همکاران (۲۰۱۶)، بهره گرفته شده که به صورت 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 بزرگ‌تر بودن \tilde{b} از \tilde{a} به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$Pos(\tilde{a} \leq \tilde{b}) = \begin{cases} 0 & a_1 \geq b_3 \\ \frac{b_3 - a_1}{b_3 - b_2 + a_2 - a_1} & a_2 \geq b_2, a_1 \leq b_3 \\ 1 & a_2 \leq b_2 \end{cases} \quad (27)$$

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

$$Nec(\tilde{a} \leq \tilde{b}) = 1 - Pos(\tilde{a} \geq \tilde{b}) \quad (28)$$

$$Cr(\tilde{a} \leq \tilde{b}) = \frac{1}{2} (Pos(\tilde{a} \leq \tilde{b}) + Nec(\tilde{a} \leq \tilde{b})) \quad (29)$$

در نتیجه خواهیم داشت:

$$Cr(\tilde{a} \leq \tilde{b}) = \begin{cases} 0 & a_1 \geq b_3 \\ \frac{b_3 - a_1}{2(b_3 - b_2 + a_2 - a_1)} & a_2 \geq b_2, a_1 \leq b_3 \\ \frac{a_3 - b_1 + 2b_2 - 2a_2}{2(b_2 - b_1 + a_3 - a_2)} & a_2 \leq b_2, a_3 \geq b_1 \\ 1 & a_3 \leq b_1 \end{cases} \quad (30)$$

بنابراین می‌توان نوشت:

$$Cr(\tilde{a} \leq \tilde{b}) \geq \alpha = \begin{cases} \frac{b_3 - a_1}{2(b_3 - b_2 + a_2 - a_1)} \geq \alpha; & \text{if } 0 \leq \alpha \leq 0.5 \\ \frac{a_3 - b_1 + 2b_2 - 2a_2}{2(b_2 - b_1 + a_3 - a_2)} \geq \alpha; & \text{if } 0.5 \leq \alpha \leq 1 \end{cases} \quad (31)$$

در نهایت برای اعداد فازی مثلثی متقارن برای معادلات فازی خواهیم داشت:

$$a^c + (2a - 1)w_a \leq b^c + (1 - 2a)w_b \quad (32)$$

که در آن w_a و a^c به ترتیب مرکز و طول عدد فازی مثلثی را نشان می‌دهند. در نهایت مدل قطعی معادل به صورت زیر خواهد بود:

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

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

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

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

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

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

الگوریتم آزادسازی لاگرانژ. مدل ریاضی ارائه شده قابل حل با نرم افزارهای تجاری از قبیل GAMS است؛ اما زمان حل مسئله با افزایش ابعاد مسئله به طور نمایی افزایش می‌یابد؛ بنابراین ارائه روشی به منظور 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 به منظور 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 به دست می‌آید. با توجه به پیچیدگی محدودیت ۴، در مدل ریاضی ارائه‌شده، این محدودیت به منظور آزادسازی با ضریب لاگرانژ $(\pi^{is}(c,t))$ در نظر گرفته شده است.

$$\begin{aligned} \min \sum_j \left(\frac{fcc_j^O + fcc_j^M + fcc_j^P}{3} \right) u_j + \sum_k \left(\frac{vc_k^O + vc_k^M + vc_k^P}{3} \right) use_k \\ + \sum_s Pr_s \left(\sum_{i,t,k} \left(\frac{bcm^{tO} + bcm^{tM} + bcm^{tP}}{3} \right) \right. \\ \times \left. \left(\frac{q_i^{tO} + q_i^{tM} + q_i^{tP}}{3} \right) y_{iks}^t \right. \\ + \sum_{i \in m, j \in m, k} dis_{ij} \left(\frac{tc_k^O + tc_k^M + tc_k^P}{3} \right) x_{ijks} \\ + \sum_{i,j,t} g_{ijs}^t \left(\frac{bcs^{tO} + bcs^{tM} + bcs^{tP}}{3} \right) \\ - \sum_j \sum_t \left(\frac{inc^{tO} + inc^{tM} + inc^{tP}}{3} \right) v_{js}^t \\ \left. + \sum_{i,s} \pi^{is} \left| \sum_{k,t} y_{iks}^t + \sum_{j,t} g_{ijs}^t - 1 \right| \right) \end{aligned} \quad (38)$$

در هر تکرار از روش لاگرانژ، مقدار ضریب لاگرانژ به‌روز شده و مقادیر جدید برای حد پایین محاسبه می‌شود. در این پژوهش به منظور به‌روز کردن مقادیر ضرایب لاگرانژ از روش ارائه‌شده توسط فیشر^۱ (۲۰۰۴) به دلیل کارایی بالای آن‌ها در مسائل مختلف، استفاده شده است [۲۲]. این روش یک تکراری به منظور به‌روز کردن ضرایب لاگرانژ است که با یک مقدار اولیه برای ضریب لاگرانژ شروع می‌شود و با در نظر گرفتن یک رویکرد سیستماتیک، مقدار این ضریب به منظور افزایش حد پایین مسئله که از طریق حل مسئله آزادشده به دست می‌آید، بهبود می‌یابد. مقدار ضریب لاگرانژ در هر تکرار (v) به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\pi^{v+1}(c, t) \leftarrow \pi^v(c, t) + \delta \left(\sum_w e_{wct} - 1 \right) \quad (39)$$

1 Fisher, M. L.

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

$$\delta = \frac{\beta(UB-LB^v)}{\sum_c \sum_t (\sum_w e_{wct} - 1)^2} \quad (40)$$

در معادله ۴۰، UB حد بالا برای جواب مسئله است که معادل بهترین جواب شدنی پیدا شده است و LB^v حد پایین به دست آمده در تکرار v ام است. در ابتدای حل مسئله مقدار β برابر ۲ قرار داده شده است ($\beta=2$) و در صورتی که مقدار به دست آمده برای LB در دو تکرار متوالی هیچ بهبودی نداشته باشد، مقدار β نصف می‌شود. این رویه تا رسیدن به تعداد تکرار معین از پیش تعیین شده ادامه می‌یابد.

۴. تحلیل داده‌ها و یافته‌های پژوهش

در این بخش به منظور اعتبارسنجی و تحلیل نتایج عددی مدل مکان‌یابی - مسیریابی زنجیره تأمین شیر، ۱۵ مثال عددی طبق جدول ۲، حل شده است. مثال‌های ارائه شده در جدول ۲، ابتدا با حل کننده 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 به دست آمده 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؛ درحالی که در حالت استفاده از الگوریتم آزادسازی لاگرانژ، این زمان بسیار کوتاه بوده و نشان دهنده کارایی الگوریتم آزادسازی لاگرانژ در حل مدل ارائه شده در این پژوهش است. با توجه به اینکه ابعاد مثال‌های عددی ارائه شده نسبت به مسائل دنیای واقعی پایین تر 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.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

جدول ۲. مشخصات مسائل نمونه و نتایج حل مسائل

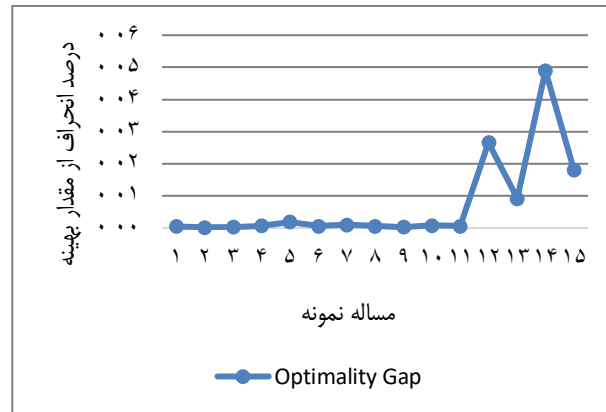
شماره مسئله	پارامترها					گمز		آزادسازی لاگرانژ		شکاف بهینه	
	K	i	J	s	N	t	زمان حل	تابع هدف	زمان حل		تابع هدف
۱	۳	۴	۳	۳	۳	۳	۱/۱۳	۵۹۲۴۸	۰/۴۳	۵۹۲۷۷	۰/۰۰۰۴۹۲۱
۲	۴	۴	۳	۳	۳	۳	۱/۳۵	۸۳۰۵۸	۰/۴۴	۸۳۰۸۰	۰/۰۰۰۲۶۷۴
۳	۵	۴	۳	۳	۳	۳	۱/۳۲	۱۰۵۱۲۳	۰/۶	۱۰۵۱۵۴	۰/۰۰۰۲۹۸۶
۴	۵	۵	۳	۳	۳	۳	۱۳/۶۳	۱۰۷۶۳۴	۰/۷۲	۱۰۷۷۱۵	۰/۰۰۰۷۵۷۱
۵	۵	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 به صورت تصادفی و مطابق با جدول ۳، تعیین شده‌اند.

جدول ۳. مقادیر پارامترها

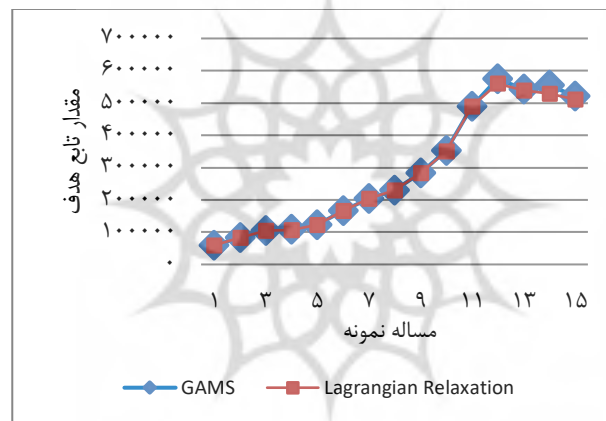
مقدار	پارامتر
$Uniform(80,200)$	q_i^t
$Uniform(1000,2000)$	$f c c_j$
$Uniform(40,80)$	Inc^t
$Uniform(10,20)$	$t c_k$
$Uniform(500,600)$	$v c_k$
$Uniform(10,20)$	$b c s^t$
$Uniform(20,25)$	$b c m^t$
$Uniform(0,0.25)$	$\beta_{j s n}$

نمودار ۱، مقادیر درصد تغییرات تابع هدف حاصل از حل مدل را با و بدون در نظر گرفتن 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.



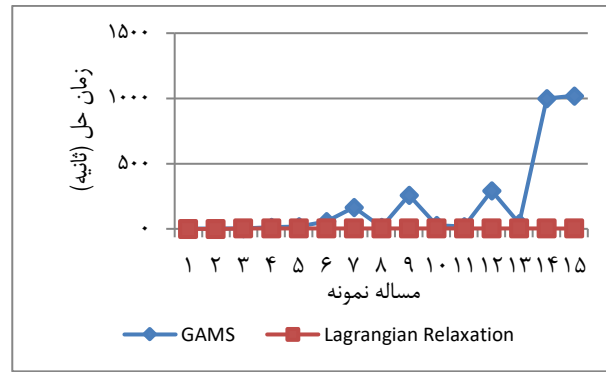
نمودار ۱. درصد تغییرات تابع هدف

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



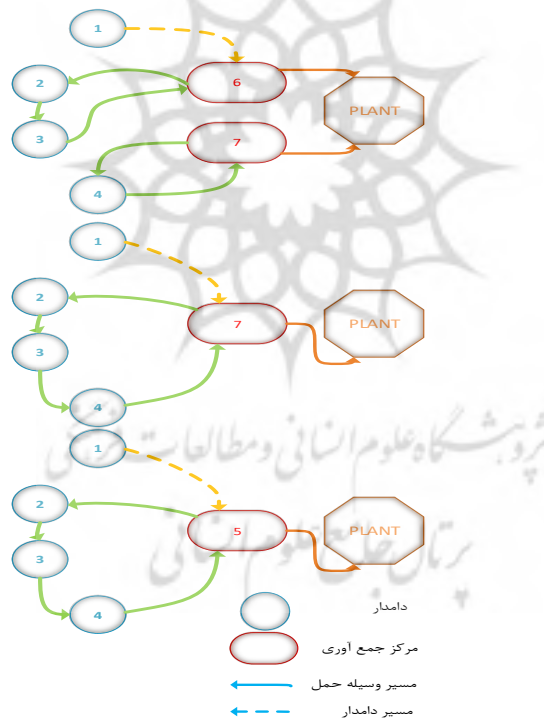
نمودار ۲. مقایسه مقادیر توابع هدف حاصل از حل مدل

نمودار ۳، زمان حل مدل با و بدون در نظر گرفتن الگوریتم آزادسازی لاگرانژ را نشان می‌دهد. با توجه به نمودار می‌توان فهمید که صرفه‌جویی زمانی حاصل از حل مدل با الگوریتم آزادسازی لاگرانژ قابل توجه بوده و در نتیجه 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 به صورت مستقیم به مراکز جمع‌آوری تحویل می‌دهد و شیر تولیدی دامداری‌های ۲، ۳ و ۴ توسط وسایل نقلیه جمع‌آوری شده و به مرکز جمع‌آوری تحویل داده می‌شود؛ سپس شیر جمع‌آوری شده به مرکز تولید ارسال شده و پس از آن محصول نهایی به نقاط تقاضا فرستاده می‌شود.



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 در نظر گرفتن هزینه‌های مرتبط با حمل شیر، مدل ارائه شده 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 حمل و نقل	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 قابل توجه سناریوهای اختلال در نظر گرفته‌شده در بخش‌های مختلف شبکه زنجیره تأمین، شامل مراکز و مسیرها، در نظر گرفتن 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 در نظر گرفتن 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.

عدم قطعیت موجود در پارامترهای مدل نیز تأثیر بسزایی در تصمیم‌گیری تصمیم‌گیرندگان دارد؛ بنابراین اکیداً توصیه می‌شود به عدم قطعیت 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 عدم قطعیت است. بی‌توجهی به این عدم قطعیت به‌خودی‌خود می‌تواند بسیاری از محاسبات موجود در زنجیره را با مشکل مواجه کند. مثلاً در سناریویی که اغلب دامداران به دلیل 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 - 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 حداقل کردن 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 عدم قطعیت 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^۱ و همکاران (۲۰۰۷) [۹] و برنامه‌ریزی شانس‌ی امکانی مبتنی بر اندازه‌ی اعتبار) بهره گرفته شده است. در ادامه نیز به دلیل 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 ارائه شده می‌تواند به عنوان یک ابزار مدیریتی برای اتخاذ تصمیمات بهینه در زنجیره تأمین شیر مورد استفاده قرار گیرد. به عنوان پیشنهادها برای پژوهش‌های آتی می‌توان به اجرای مدل ارائه شده بر روی یک نمونه واقعی و ارائه روش‌های حل کارا تر (نظیر تجزیه بندرز) اشاره کرد. در نظر گرفتن بحث پایداری اجتماعی و زیست‌محیطی، مدل‌سازی مسئله به صورت چندهدفه، در نظر گرفتن امکان بازگشت شیر به دلیل مشکلات کیفیتی (بار میکروبی و یا میزان چربی) و نیز در نظر گرفتن قراردادهای مابین کارخانه‌های لبنی و دامداری‌ها و رقابت در زنجیره نیز محورهای مناسبی برای پژوهش‌های آتی به حساب 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. (2021). Solving 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., Aenas, M., Iba, A., & Ruiz, 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., Echchtahii, 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.