طراحی شبکه توزیع پایدار کالاهای اضطراری در لجستیک امداد بلایا با درنظرگرفتن هزینه محرومیت با رویکرد عدم قطعیت

مطالعه موردی: سیل ۱۳۹۷ شهرستان ساری

مهدی مدیری*: استاد تمام دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران، Email: m_modiri@mut.ac.ir
سمیرا حسن‌زاده: دانشجوی دکتری مدیریت بحران دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران.
محمد اسکندری: استادیار ،دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۲/۲۶
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۴/۲۶

چکیده

سوانح طبیعی در مقیاس بزرگ بارها رخ‌داده و منجر به پیامدهای اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی شده است. به عبارتی سوانح طبیعی تهدیدی جدی برای توسعه پایدار محسوب می‌شوند. اخیراً مدل‌سازی پایدار لجستیک امداد بلایا توجه فزاینده‌ای را به خود جلب کرده است. درنظرگرفتن جنبه‌های اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی پایداری برای کاهش اثرات منفی فاجعه در مسئله لجستیک امداد بلایا ضروری است. هدف اصلی این پژوهش ارائه یک مدل ریاضی چندهدفه به‌منظور طراحی شبکه توزیع پایدار کالاهای اضطراری در لجستیک امداد بلایاست. ویژگی اصلی این مدل این است که جنبه‌های اقتصادی، اجتماعی (هزینه محرومیت) و زیست‌محیطی پایداری را در تابع هدف در نظر می‌گیرد. با توجه به اینکه عدم قطعیت در ماهیت این مسئله وجود دارد، به‌منظور مقابله با عدم قطعیت از رویکرد بهینه‌سازی استوار فازی و برای حل مدل چندهدفه از روش برنامه‌ریزی آرمانی چندگزینه‌ای استفاده شده است. به‌منظور بررسی کارایی مدل یک مطالعه موردی بر اساس داده‌های واقعی (سیل شهرستان ساری) انجام شده است. در این پژوهش تعداد بهینه مراکز توزیع و مکان هر مرکز توزیع به‌گونه‌ای تعیین می‌شوند که هزینه‌های اقتصادی، اجتماعی و میزان آلایندگی‌های زیست‌محیطی به حداقل برسد و هر مرکز توزیع با توجه به ظرفیت ویژه خود به مجموعه‌ای از نقاط تقاضا با انواع متفاوتی از کالاها خدمت‌رسانی کند. با استفاده از مدل پیشنهادی ما تصمیم‌گیرندگان و مدیران قادر به تصمیم‌گیری‌های استراتژیکی و تاکتیکی با کمترین هزینه و زمان می‌شوند و در برنامه‌ریزی‌های امداد می‌توانند ساختار شبکه توزیع را بهبود بخشیده و نارضایتی آسیب‌دیدگان را کاهش دهند.

کلیدواژه: *شبکه توزیع پایدار، کالاهای اضطراری، لجستیک امداد بلایا، هزینه محرومیت، عدم قطعیت.*

Sustainable Emergency Goods Distribution Network Design in Disaster Relief Logistic Considering the Deprivation Cost under Uncertainty

Case Study: 2019 flood in Sari city

Mahdi Modiri*[1], Samira Hasanzadeh[2], Mohammad Eskandari[3]

Abstract

Large-scale natural disasters have occurred many times and led to social, economic and environmental consequences. In other words, natural disasters are a serious threat to sustainable development. Recently, sustainable modeling of disaster relief logistics has increasingly attracted attention. It is vital to take the economic, social, and environmental aspects into account in the disaster relief logistic problem to reduce the harmful effects of a disaster. The present study aims to develop a multi-objective mathematical programming model for designing a sustainable distribution network of emergency goods in disaster relief logistics. The key feature of this formulation being the fact that it explicitly considers the economic, social (deprivation cost) and environmental aspects of sustainability in the objective function. Considering the inherent uncertainty in this issue a robust fuzzy optimization approach is utilized to deal with the uncertainty. Further, multi-choice goal programming is used to solve the multi-objective model. Finally, a case study was conducted on Sari city, Mazandaran Province, to verify the model performance. In this investigation, the optimal number and location of distribution centers are determined such that the economic, social costs and the environmental pollution level are minimized, and each distribution center provides services concerning its particular capacity to a set of demand points with different types of commodities. Using the proposed model, decision-makers and managers are able to make strategic and tactical decisions with the least cost and time, and in relief planning can enhance the structure of distribution networks and inventory and reduce victims' dissatisfaction.

Keywords: Sustainable distribution network, Emergency goods, Disaster relief logistics, Deprivation cost, Uncertainty.

1-Full professor at Malek Ashtar University of technology, Tehran, Iran, Email: m_modiri@mut.ac.ir
2-Ph.D student in Crisis Management, Malek Ashtar University of technology, Tehran, Iran
3-Assistant professor, faculty memeber of Malek Ashtar University of Technology, Tehran, Iran

۱- مقدمه

علی‌رغم پیشرفت علم و فناوری انسان هنوز در مقابل عوارض سوانح ناشی از دگرگونی‌های طبیعت مانند (سیل، زلزله، آتشفشان و ...) آسیب‌پذیر است. به‌طور کلی بیش از ۴۰ نوع سوانح طبیعی با زیرمجموعه‌های متعدد شناسایی شده که از این تعداد حدود ۳۱ نوع سوانح طبیعی سرزمین ایران را تهدید می‌کند [۱]. طبق آمارهای سازمان ملل متحد در سال ۲۰۰۱ ایران بعد از چین، هند و بنگلادش چهارمین کشور حادثه‌خیز در آسیا محسوب می‌شود [۲]. سوانح طبیعی در مقیاس بزرگ چندین بار رخ داده و منجر به پیامدهای اجتماعی و اقتصادی مانند مرگ‌ومیر، از دست دادن دارایی‌ها و اختلالات زیست‌محیطی هم در داخل کشور آسیب‌دیده و هم در سراسر جهان شده است. به عبارتی سوانح طبیعی تهدیدی جدی برای توسعه پایدار محسوب می‌شوند [۳،۴]. در زمان وقوع بحران مسئله اساسی تصمیم‌گیری در مورد مکان مناسب مراکز توزیع در منطقه سانحه دیده است تا به‌عنوان نقاط توزیع کالاهای امدادی عمل کند. مراکز توزیع پیوند کلیدی بین مراکز تأمین و نقاط تقاضا هستند و باید به‌طور استراتژیک بلافاصله بعد وقوع سانحه ایجاد و قادر به پاسخ کافی باشند [۵]. تصمیم‌گیری برای استقرار استراتژیک و تخصیص موجودی به مراکز توزیع اغلب بعد از وقوع فاجعه صورت می‌گیرد. تا این زمان بازماندگان به دلیل عدم دسترسی به منابع حیاتی دچار آسیب و رنج می‌شوند؛ بنابراین مکان‌های انتخاب‌شده برای قرارگیری مراکز توزیع به‌طور مستقیم بر زمان پاسخ دادن به ارائه کالاهای حیاتی به نقاط تقاضا تأثیر می‌گذارد [۶]. توزیع به‌موقع به‌طور مستقیم بر هزینه‌های محرومیت متحمل‌شده توسط کسانی که در طول زمان رنج می‌برند، تأثیر می‌گذارد؛ زیرا آن‌ها منتظر تحویل منابع حیاتی هستند. هر زمان که منابع حیاتی به جمعیتی تحویل داده می‌شود، هزینه-فرصت ازدست‌رفته‌ای برای جمعیت سایر نقاط که در آن زمان کالاهای حیاتی را دریافت نمی‌کنند، وجود دارد [۷].

برای محاسبه این هزینه‌ها در برابر هزینه‌های عملیاتی فاز پاسخ مدل‌های لجستیک امداد بلایا باید یک مؤلفه زمانی را برای ثبت زمانی که هر جمعیت دسترسی به کالاهای حیاتی را از دست می‌دهد و درنتیجه از آن رنج می‌برد، استفاده کرد. این مؤلفه زمانی می‌تواند برای محاسبه هزینه محرومیت در هر نقطه تقاضا استفاده شود. هزینه‌های محرومیت می‌تواند در تابع هدف مدل‌های کاهش هزینه به همان روش هزینه‌های حمل‌ونقل و عملیات مورد استفاده قرار گیرد؛ بنابراین استفاده از یک تابع هدف که هزینه‌های اجتماعی را کاهش می‌دهد، بسیار مناسب است. به‌طوری که هم هزینه‌های پاسخ‌دهندگان و هم هزینه‌های متحمل‌شده توسط بازماندگان را در نظر بگیرد [۵]. فرض بر این است که افراد در فاز پاسخ (داوطلبان، سازمان‌های دولتی، سازمان‌های غیردولتی) و افراد ذی‌نفع (بازماندگان) در گروه‌های مجزا هستند. باید معیاری برای نشان دادن رنج بازماندگان ناشی از عدم دسترسی به کالاهای حیاتی در طی زمان معرفی شود. این معیار به‌عنوان هزینه محرومیت شناخته می‌شود و آن هزینه‌های اقتصادی که در طی زمان توسط بازماندگان متحمل می‌شود را کمی‌سازی می‌کند؛ زیرا آن‌ها به دلیل عدم دسترسی به منابع حیاتی رنج می‌برند [۸]. این پژوهش از اهمیت گنجاندن اصول رفاه اقتصادی در مدل‌های لجستیک امداد بلایا جهت امدادرسانی بعد از فاجعه استفاده می‌کند تا مبنایی برای تصمیم‌گیری در مورد استراتژی‌های تحویل و اطمینان از بهترین تخصیص کالاهای اضطراری به جمعیت آسیب‌دیده فراهم کند. با این کار مدلی استراتژیک برای پیش‌بینی منابع تهیه می‌شود؛ به‌گونه‌ای که رنج قربانیان را با توجه به هزینه‌های اجتماعی به حداقل می‌رساند. مدلی که به‌طور شفاف هزینه‌های عملیاتی و محرومیت را در تابع هدف خود در نظر می‌گیرد. در این پژوهش برای ارزیابی هزینه محرومیت ناشی از زمان صرف‌شده برای تحویل کالاهای اضطراری از رویکرد انتخاب گسسته کانتیلو و همکاران [۹] استفاده شد که به‌عنوان تغییرات در رفاه مردمی که تحت تأثیر بلایای طبیعی قرار گرفته‌اند، تعریف شده است. اهداف لجستیک امداد بلایا تضمین تحویل به‌موقع منابع به افراد آسیب‌دیده از فاجعه در مرحله پاسخ و کاهش رنج‌های انسانی و به‌حداقل‌رساندن تلفات است. در این راستا طراحی مدل‌های مناسب برای به‌حداقل‌رساندن هزینه‌های اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی عملیات پاسخ و توزیع کالاهای اضطراری به جمعیت آسیب‌دیده ضروری است.

این پژوهش یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی عدد صحیح مختلط چندهدفه به‌منظور طراحی شبکه توزیع پایدار کالاهای اضطراری در لجستیک امداد بلایا تحت عدم قطعیت و با درنظرگرفتن هزینه محرومیت ارائه می دهد. در این تحقیق ما به‌صورت یکپارچه هر ۳ جنبه پایداری را با ترکیب هزینه های امداد(بعد اقتصادی)، هزینه محرومیت(بعد اجتماعی) و انتشار کربن(بعد زیست‌محیطی) در نظر گرفتیم. تابع هدف اول میزان هزینه‌های کل شبکه را کمینه می‌کند. تابع هدف دوم میزان آلایندگی تولیدشده توسط شبکه را کمینه می‌کند. این مدل برای تعیین مقدار هر نوع محصولی که برای خدمت به مناطقی که تحت تأثیر سوانح طبیعی در طول واکنش اولیه قرار دارند، مفید است و به آن دسته از مداخلات کمک اشاره دارد که باید فوراً انجام شود. مابقی مقاله به شرح زیر سازمان‌دهی شده است: در بخش دوم مقالات مرتبط با مدل‌های استراتژیک مورد استفاده در لجستیک امداد بلایا و ارزیابی هزینه محرومیت ارائه می‌شود. در بخش سوم تعریف مسئله بیان می‌شود. در بخش چهارم روش تحقیق شامل مدل ریاضی عدد صحیح مختلط چندهدفه به‌منظور طراحی شبکه توزیع پایدار کالاهای اضطراری در لجستیک امداد بلایا و مدل‌سازی عدم قطعیت و روش حل تشریح می‌شود. در بخش پنجم کاربرد مدل در سیل سال ۱۳۹۷ شهرستان ساری بررسی و نتایج ارائه می‌شود و تحلیل حساسیت روی پارامترهای مهم مسئله انجام می‌شود. درنهایت بخش ششم نتیجه‌گیری و پیشنهادها جهت تحقیقات آینده را بیان می‌کند.

مرور ادبیات

در این پژوهش تحقیقات مرتبط با طراحی شبکه توزیع پایدار کالاهای اضطراری با درنظرگرفتن اهداف تحقیق مورد مطالعه و

بررسی بیشتر قرار گرفته است. آکیهال[۱۰] به ارائه مدلی جهت مکان‌یابی مراکز مدیریت بحران جهت مدیریت کالاهای امدادی پرداخته است. تزنگ و همکاران[۱۱] یک مدل قطعی چند معیاره برای توزیع کالاهای اضطراری به مناطق آسیب‌دیده با درنظرگرفتن هزینه، زمان پاسخ و رضایتمندی مشتریان ارائه داده و آن را به کمک روش برنامه‌ریزی چندهدفه فازی حل کردند. لین و همکاران[۱۲] به ارائه یک مدل لجستیکی چند دوره‌ای، چند کالایی و چند وسیله نقلیه‌ای برای برنامه‌ریزی لجستیکی کالاهای مهم و اولویت‌دار در فاز پاسخ به فاجعه پرداخته‌اند. مدل یادشده دارای ۲ تابع هدف بوده که اولین آن به کمینه کردن تقاضاهای پاسخ‌داده‌نشده پرداخته و تابع هدف دوم به حداقل کردن زمان سفر پرداخته است. برکونه و همکاران[۱۳] هم به ارائه مدلی ریاضی برای برنامه‌ریزی حمل‌ونقل کالاها در فاز پاسخ پرداخته که در آن به کمینه‌سازی زمان سفر وسایل نقلیه حامل کالاها می‌پردازد. هاتفی و جولایی[۱۴] مدلی استوار و قابل اطمینان برای طراحی شبکه لجستیکی با جریان روبه‌جلو و بازگشت ارائه می‌دهند که به‌طور هم‌زمان پارامترهای نامشخص و اختلالات تسهیلات را در نظر می‌گیرند. مدل پیشنهادی بر اساس رویکرد بهینه‌سازی استوار برای حفظ امنیت شبکه در برابر عدم قطعیت صورت پذیرفته است. لیو و همکاران[۱۵] یک مدل مکان‌یابی تسهیلات قابل اطمینان تحت عدم قطعیت ارائه کرده‌اند که در آن اختلال تسهیلات تصادفی با توزیع مشترک وابسته فرض شده است. ژانگ و همکاران[۱۶] یک مدل مکان‌یابی قابل اطمینان با درنظرگرفتن ریسک تحت اختلال در زنجیره پیشنهاد داده‌اند. در پژوهش آن‌ها احتمال خرابی تسهیلات در نظر گرفته شده و در صورت خرابی تسهیل اختصاص‌یافته به نقطه‌ای در یک سطح تسهیل دیگری در سطح بعدی به آن اختصاص می‌یابد و اگر تمام تسهیلات تخصیص‌یافته به یک نقطه دچار آسیب شوند، هزینه جریمه برای آن در نظر گرفته می‌شود. ریورا و همکاران[۱۷] یک مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط برای تخمین نمایی ماهیت هزینه محرومیت پیشنهاد کردند. یک تابع محرومیت خطی وابسته به تعداد دوره‌های زمانی برای درنظرگرفتن زمان محرومیت استفاده می‌شود. این تقریب می‌تواند با کاهش دوره‌های برنامه‌ریزی بهبود یابد؛ اما فرض بر این است که تقاضا تنها یک‌بار در آغاز افق زمانی افزایش می‌یابد. این اغلب یک فرض غیرواقعی است؛ با این فرض که نیازهای قربانیان معمولاً در هر لحظه در طول زمان فاجعه رخ می‌دهد. حقی و همکاران[۱۸] یک مدل برنامه‌ریزی چندهدفه برای مکان‌یابی مراکز توزیع کالاهای امدادی و مراکز بهداشتی به‌منظور توزیع کالاهای امدادی و انتقال مجروحان به مراکز بهداشتی با فرض محدودیت بودجه‌ای پیش و پس از بحران توسعه دادند. برای نزدیک شدن مدل با واقعیت، عدم قطعیت در تقاضا، تأمین و پارامترهای هزینه‌ای در نظر گرفته شده است. مدل پیشنهادی میزان پاسخ به نیازهای پزشکی افراد آسیب‌دیده را حداکثر می‌بخشد؛ در حالی که هدف قرار دادن توزیع صحیح کالاهای امدادی و به‌حداقل‌رساندن هزینه‌های کل مرحله آمادگی و واکنش است. کانتیلو و همکاران[۹] در پژوهشی از نظریه رویکرد انتخاب گسسته برای ارزیابی هزینه‌های محرومیت ناشی از زمان صرف‌شده برای تحویل سبد مواد اولیه که به‌عنوان تغییرات رفاه مردمی تحت تأثیر بلایا قرار گرفته‌اند، استفاده می‌کند. کاالو و همکاران[۱۹] یک مدل ریاضی چندهدفه برای پایداری زنجیره تأمین بلایا به‌منظور به‌حداکثررساندن رضایت قربانیان و به‌حداقل‌رساندن بیشترین انحراف در رضایت قربانیان برای تمام نقاط تقاضا ارائه داده‌اند و برای حل این مدل ریاضی الگوریتم ژنتیک را پیشنهاد داده‌اند. همچنین برای اعتبارسنجی مطالعه موردی از زلزله ونچوان نشان داده شده است. لوری و آروس[۵] یک مدل ریاضی برای تعیین مکان توزیع و تخصیص موجودی لجستیک بشردوستانه پس از فاجعه ارائه دادند که این مدل هزینه محرومیت، لجستیک و تسهیلات را به حداقل می‌رساند و به نقاط تقاضا اجازه می‌دهد تا از چندین نقاط توزیع استفاده کنند. نکته قابل توجه اینکه یک مرکز توزیع ممکن است موجودی را برای خدمت به تمام نقاط تقاضا که به آن اختصاص داده شده، نداشته باشد. رحمانی و همکاران[۲۰] مدلی قابل اطمینان و استوار برای زنجیره تأمین امداد بشردوستانه برای مقابله با اختلال در تسهیلات بعد از زلزله ارائه داده‌اند. لئو و همکاران[۲۱] یک مدل توزیع چند کالایی و چند دوره‌ای ارائه دادند که هم کالاهای امدادی و هم افراد آسیب‌دیده را برای به‌حداقل‌رساندن کل تقاضای برآورده‌نشده در نظر می‌گیرد و به‌منظور کاربرد مدل و چارچوب پیشنهادی از داده‌های زلزله ونچوان استفاده کردند. کوتس و کانتیلو [۲۲] مدل مکان‌یابی تسهیلات را برای پیش‌بینی منابع در فاز آمادگی در بحران توسعه می‌دهند.

به دلیل افزایش الزامات زیست‌محیطی و اجتماعی، پایداری در حال حاضر نگرانی اجتماعی برای توسعه شده است. در این زمینه طراحی یک شبکه لجستیک اضطراری پایدار چالشی برای تصمیم‌گیرندگان است. برای پاسخ به این چالش‌ها پایداری شبکه لجستیک اضطراری نه تنها باید جنبه‌های اقتصادی بلکه جنبه‌های اجتماعی و زیست‌محیطی را هم باید در نظر بگیرد. در سال‌های اخیر طراحی سیستم‌های شبکه لجستیک اضطراری توجه بسیاری از محققان را به خود جلب کرده است. در مجموع مرور متون نشان می‌دهد که تحولی اساسی درروند مدل‌سازی مورد استفاده در لجستیک امداد بلایا وجود دارد. محققان نیاز به بررسی هزینه‌های محرومیت و هزینه‌های لجستیک را تشخیص می‌دهند. مسئله مهمی که به‌ندرت مورد توجه پژوهش‌های قبلی قرار گرفته، این است که در زمان وقوع یک فاجعه مراکز توزیع ممکن است دچار اختلال شده و قادر به ارائه خدمات نباشند که این مراکز به‌عنوان مراکز توزیع غیرقابل اطمینان نامیده می‌شود. با درنظرگرفتن شکاف‌های تحقیقاتی نوآوری پژوهش حاضر بدین شرح است: در این پژوهش به‌منظور کاهش ریسک و کاهش تقاضای برآورده‌نشده مراکز توزیع قابل اطمینان در نظر گرفته می‌شود تا در صورت عدم توانایی مراکز توزیع نامطمئن کالاهای امدادی را به نقاط تقاضا ارسال کند. طبیعت غیرقابل‌پیش‌بینی شرایط اضطراری ممکن است منجر به تصمیمات واقعی شود که معمولاً در حالت عدم قطعیت هستند. به‌منظور سازگاری بیشتر با

دنیای واقعی در این پژوهش عدم قطعیت پارامترها مانند (تقاضای مناطق آسیب‌دیده و هزینه‌های لجستیکی) مورد توجه قرار گرفته است. در مقالات موجود در حوزه طراحی شبکه توزیع در لجستیک امداد بلایا، قابلیت اطمینان، عدم قطعیت، هزینه محرومیت و احتمال اختلالات به‌صورت پراکنده وجود داشته و هیچ مدلی نبوده که به‌صورت یکپارچه همه این موارد را با هم داشته باشد. همچنین تحقیقات زیادی با موضوع پایداری در زنجیره تأمین تجاری انجام شده؛ اما موضوع پایداری هنوز در تحقیقات لجستیک امداد بلایا بسیار محدود است و در حال حاضر هیچ پژوهشی مرتبط با مدیریت توزیع کالاهای اضطراری در لجستیک امداد بلایا از منظر پایداری در چارچوب نظریه عدم قطعیت به‌طوری که تمامی معیارهای بالا را در برداشته باشد، صورت نگرفته است. در این پژوهش ما به‌صورت یکپارچه پایداری را با ترکیب هزینه‌های امدادی (بعد اقتصادی)، هزینه محرومیت (بعد اجتماعی) و انتشار کربن (بعد زیست‌محیطی) در نظر گرفتیم. در مطالعات صورت گرفته برای مقابله با انواع عدم قطعیت در مسئله لجستیک امداد بلایا روش‌های مختلفی وجود دارد؛ اما رویکردی که تاکنون در هیچ‌یک از این‌گونه تحقیقات صورت نگرفته، رویکرد چندهدفه استوار-فازی است که در این پژوهش برای مقابله با نوع عدم قطعیت به‌کار گرفته خواهد شد؛ بنابراین با توجه به تحقیقات صورت‌گرفته یک مدل چندهدفه با درنظرگرفتن هزینه محرومیت، عدم قطعیت، قابلیت اطمینان، احتمال خطرها و اختلالات با تمرکز بر پایداری برای مسئله لجستیک امداد بلایا پیشنهاد می‌شود. در این پژوهش انواع کالاها از طریق حالت‌های مختلف حمل‌ونقل بین مراکز توزیع، تأمین و نقاط تقاضا منتقل می‌شود. هر یک از وسایل نقلیه مقدار متفاوتی از گاز CO_2 را مطابق با مسافت پیموده‌شده منتشر می‌کنند. در این پژوهش مدل ارائه‌شده تلاش می‌کند تا علاوه بر کاهش هزینه‌های اجتماعی آلایندگی‌های زیست‌محیطی را کاهش دهد. برای حل مدل چندهدفه از روش برنامه‌ریزی آرمانی چندگزینه‌ای استفاده شده است. درنهایت به‌منظور بررسی کارایی مدل مطالعه‌ای موردی بر روی استان مازندران (سیل سال ۱۳۹۷ شهرستان ساری) انجام شده است.

۱،۲. پیشینه نظری هزینه محرومیت

در حوزه اقتصاد کمی کردن هزینه‌های محرومیت از اهمیت زیادی برخوردار است. به‌هرحال محاسبه ارزش رنج انسان از زمان محرومیت کالاهای ضروری وقتی‌که فاجعه رخ می‌دهد، بسیار دشوار است. برای اقتصاددانان این موضوع یک مسئله جدی نیست؛ زیرا تخصیص ارزش پولی به کالاها و خدمات غیربازاری کاری رایج و به‌طور یکنواخت کاری ضروری است؛ زیرا معاملات اقتصادی اغلب هزینه‌ها و سودهایی را ایجاد می‌کنند که با قیمت تعادلی بین عرضه و تقاضا به‌دست نمی‌آیند[۲۳]. مزایا برای تحویل به‌موقع کالا با مفهوم محرومیت مرتبط است و به‌عنوان عدم دسترسی به کالاها و خدمات تعریف می‌شود[۲۴]. به‌عنوان مثال برون[۲۵] محرومیت را از دیدگاه اقتصادی موردمطالعه قرار داده و نتیجه می‌گیرد محرومیت مفهوم نسبی است؛ چرا که مقایسه‌ای شخصی بین موقعیت واقعی آن‌ها و وضعیت بقیه جامعه است. در اصل هرگونه اثر محرومیت با چند درجه از رنج برای شخصی که آن را تجربه می‌کند، در ارتباط است. برای مثال ارزش ذهنی زمان به‌وسیله بایس و همکاران[۲۶] به‌عنوان اندازه‌گیری غیرمستقیم رنج در نظر گرفته شده است؛ بنابراین وقتی شخصی تصور می‌کند که زمان ذهنی حتی طولانی‌تر از زمان تقویمی است، این نشان‌دهنده سطح بالایی از رنج است. وقتی شخصی زمان ذهنی را طبق معمول و یا کوتاه‌مدت تصور می‌کند، برخلاف حالت قبل بیانگر رفاه است. نویسندگان دیگر پیشرفت‌ها و توسعه‌های خود را بر روی تمایل برای پرداخت کالاهای ضروری (مانند آب و غذا) قرار دادند تا احتمال مرگ را کاهش دهند. تمایل به پرداخت نشانگر بزرگی رنج بیان شده که می‌تواند به‌آسانی از طریق طراحی و پیاده‌سازی نظرسنجی‌های ارزش‌گذاری مشروط مورد خطاب واقع شود؛ به‌گونه‌ای که افراد در موقعیت‌های گزینه فرضی قرار داده می‌شوند و ارزیابی بهتری از دامنه هزینه‌های آن‌ها به وجود می‌آید. به این شکل هولگوین و همکاران[۲۷] یک آزمایش ارزش‌گذاری مشروط را توسعه دادند تا عملکردهای هزینه‌های محرومیت را تخمین بزنند. این آزمایش از مردم درخواست می‌کند تا تمایل خود را به‌طور مستقیم برای پرداخت گزارش دهند تا مقداری از آب آشامیدنی را بعد از یک زمان خاص محرومیت به‌دست آورند. استفاده از تکنیک‌های ترجیحات بیان‌شده و مدل‌های انتخاب گزینشی جایگزینی باقدرت اقتصاد خرد بالا است تا مزایا را برای تحویل زمان‌بندی‌شده کالاهای امدادی ضروری در عملیات امدادی بشردوستانه را تخمین می‌زند. یکی از رویکردها برای تخمین زدن تمایل به پرداخت معیارهای سنتی تغییر در مازاد مصرف‌کننده را در نظر می‌گیرد. این معیارها می‌توانند برای برجسته کردن تغییرات غیر حاشیه‌ای در ویژگی‌هایی که شامل تغییرات در احتمالات گزینه هستند، مورد استفاده واقع شوند؛ بنابراین مدلی وجود دارد که به‌وسیله کانتیلو و دیگران[۹] توسعه داده شده که تغییر رفاه شخص را برای تقاضای برآورده‌نشده و دیر برآورده‌شده با درنظرگرفتن آب به‌عنوان ماده‌ای حیاتی در زندگی تخمین می‌زند. در تمامی موارد تابع مطلوبیت سیستماتیک V_{nj} (n نشان‌دهنده فرد و j جایگزین) شامل اثرات ویژگی‌های مرتبط با رفاه فرد آسیب‌دیده در زمان محرومیت بوده است. وقتی تمایل به پرداخت برای دسترسی به کالایی اساسی (آب و غذا) بیشتر یا برابر با قیمت فعلی آن است، فرد آن را خواهد خرید. این تفاوت بین تمایل به پرداخت و قیمت بازار کالا به‌عنوان مازاد مصرفی شناخته می‌شود؛ چرا که رفاه را به شخص اضافه می‌کند. مازاد مصرفی به‌عنوان تغییر در رفاه فردی بعد از تبدیل شرایط پولی که شخص در موقعیت انتخابی آن را دریافت می‌کند، تعریف می‌شود.

معادله‌ای که مازاد مصرفی مورد انتظار را هنگامی‌که از مدل نوع لاجیت استفاده می‌شود، در قسمت زیر ارائه شده و با log sum مرتبط است؛ یعنی لگاریتم مخرج احتمال انتخاب لاجیت تقسیم بر مطلوبیت نهایی درآمد به‌اضافه ثابت دلخواه.

(۱)

$$E(CS_n)=\frac{1}{a_n}E\left[\max_j(V_{nj}+e_{nj})\right]=\frac{1}{a_n}\ln\left(\sum_{Aj\in A(n)}e^{(Vnj)}\right)+C$$

که در آن a_n مطلوبیت نهایی درآمد (منهای مطلوبیت نهایی متغیر هزینه یا قیمت) است که مطلوبیت را به واحدهای پولی تغییر می‌دهد؛ چون $a_n=\partial V_n/\partial I_n$ با I_n درآمد فرد است [۲۸]. علاوه بر این تغییر در مازاد مصرف‌کننده که نتیجه تغییر در ویژگی‌های انتخاب است، می‌تواند به‌راحتی به‌عنوان تفاوت بین مازاد مصرف‌کننده پیش از ۰ و بعد از ۱ به شرح زیر محاسبه شود [۲۹].

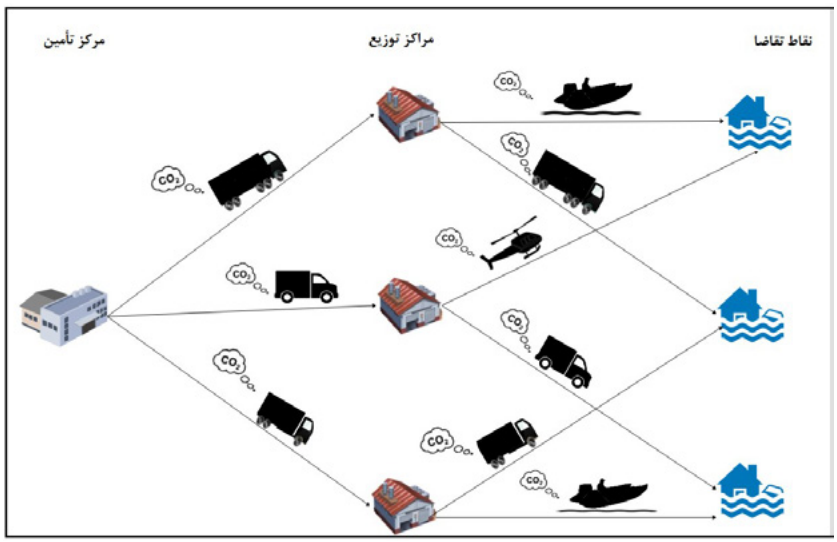
(۲)

$$\Delta E(CS_n)=\frac{1}{a_n}\left[\ln\left(\sum_{j=1}^{J^1}e^{V1_{nj}}\right)-\ln\left(\sum_{j=1}^{J^0}e^{V0_{nj}}\right)\right]$$

این معادله عدم وجود اثر درآمدی را در نظر می‌گیرد که حاکی از آن است که مطلوبیت نهایی درآمد قبل و بعد از تغییر ثابت است. در اصل این تغییر در مازاد مصرف‌کننده به‌عنوان معیار تغییر رفاه امکان ارزیابی اثرات اقتصادی تأمین منابع مورد نیاز کمک‌های بشردوستانه را فراهم می‌کند؛ بنابراین ساختار و ماهیت تابع هزینه محرومیت باید به‌عنوان تابعی از رفاه در نظر گرفته شود و احتمال دارد به‌عنوان تابعی از زمان محرومیت و ویژگی‌های اجتماعی-اقتصادی فرد (سن و جنسیت در بین بقیه) باشد. انتظار می‌رود این تابع به‌طور یکنواخت افزایش یابد و غیرخطی باشد. برای مثال اگر موقعیت آغازین (۰) زمانی باشد که فاجعه به‌تازگی رخ‌داده و شرایط متعاقب آن (۱) پس از زمان خاص محرومیت (t) باشد، واضح است که نشان می‌دهد رفاه فرد بدتر شده است. درنتیجه سودمندی در ۱ کمتر از سودمندی در ۰ است. این تغییر در رفاه ازلحاظ اقتصادی هزینه محرومیت است که برای مطالعه بیشتر در این زمینه باید به مقاله کانتیلو و همکاران [۹] رجوع شود.

۳. تعریف مسئله

با توجه به اینکه در شرایط بحران معمولاً اطلاعات دقیق از پارامترها (مانند میزان تقاضای کالاهای ضروری) در دست نیست، عدم قطعیت در ماهیت مسئله تحقیق وجود دارد؛ از این‌رو در این پژوهش مسئله تحقیق تحت عدم قطعیت بررسی شده است. به‌منظور شباهت بیشتر مسئله به دنیای واقعی در این پژوهش اختلالاتی مانند عدم توزیع به‌موقع یا امکان تخریب برخی انبارها در مراکز توزیع در نظر گرفته شده و به‌منظور مقابله با اختلالات قابلیت اطمینان در مسئله لحاظ شده است؛ به این‌صورت که مراکز توزیع ما به ۲ بخش مطمئن و نامطمئن تقسیم شده‌اند که هرکدام هزینه و ظرفیت‌های خاص خودش را دارد. مطمئن‌ها هزینه بیشتری دارند و در عوض مطمئن هستیم که مشکلی اتفاق نمی‌افتد و با اختلالات می‌توانیم مقابله کنیم. غیرمطمئن‌ها هزینه خیلی کمتری دارند؛ اما امکان دارد دچار تخریب یا اختلالات ظرفیت در توزیع شوند. در این پژوهش به‌منظور کاهش ریسک و کاهش تقاضای برآورده‌نشده مراکز توزیع قابل اطمینان در نظر گرفته می‌شود تا در صورت عدم توانایی مراکز توزیع نامطمئن کالاهای امدادی را به نقاط تقاضا ارسال کند. در این پژوهش ما شبکه لجستیکی امداد بلایا را همان‌طور که در شکل ۱ نشان داده شده، در نظر می‌گیریم. این شبکه شامل یک منبع اصلی تأمین کالا به‌عنوان مرکز تأمین، چندین موقعیت پیشنهادی به‌عنوان مراکز توزیع و چندین نقطه آسیب‌دیده به‌عنوان نقاط تقاضا است. این پژوهش یک مدل مکان‌یابی مراکز توزیع برای آماده‌سازی در برابر بلایا را پیشنهاد می‌کند. این مدل‌سازی همچنین مقدار هر نوع محصول را برای خدمت به مناطقی که تحت تأثیر یک فاجعه در طول واکنش اولیه قرار گرفته‌اند، تعیین می‌کند. در این پژوهش تعداد بهینه مراکز توزیع و مکان هر مرکز توزیع به‌گونه‌ای تعیین می‌شود که هزینه‌های اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی به حداقل برسد و هر مرکز توزیع با توجه به ظرفیت مخصوص خود به مجموعه‌ای از نقاط تقاضا با انواع متفاوتی از کالاها خدمت‌رسانی کند.



شکل ۱: شبکه لجستیک امداد بلایا

در ادامه فرضیات مسئله ارائه می‌شود و عناصر مدل ریاضی معرفی می‌شود و سپس به ارائه و تشریح مدل پرداخته می‌شود.

۳-۱ فرضیات مسئله

- شبکه لجستیک امداد بلایا ۳ سطحی، شامل مرکز تأمین، مرکز توزیع و نقاط آسیب‌دیده در نظر گرفته شده است.
- نقاط تقاضا و مکان مراکز تأمین مشخص است.
- نقاط بالقوه برای تأسیس مراکز توزیع مطمئن و نامطمئن در نظر گرفته شده است.
- احتمال خرابی برای مراکز توزیع نامطمئن فرض شده است.
- هر مرکز توزیع دارای ظرفیت مختلفی است.
- برای مدل ارائه شده چند نوع کالای امدادی در نظر گرفته شده است.
- مقدار تقاضا برای کالای امدادی با عدم قطعیت همراه است.
- علاوه بر هزینه‌های خصوصی شبکه لجستیک امداد بلایا شامل (هزینه‌های حمل‌ونقل، هزینه ذخیره‌سازی برای هر نوع کالا و هزینه ثابت مراکز توزیع مطمئن و نامطمئن) هزینه محرومیت هم در نظر گرفته شده است.
- حداکثر زمان محرومیت از کالاها در مدل در نظر گرفته شده است.
- فاصله بین مناطق آسیب‌دیده، مراکز توزیع و مراکز تأمین مشخص است.
- علاوه بر حمل‌ونقل جاده‌ای حالت‌های دیگر حمل‌ونقل ازجمله حمل کالاهای امدادی با قایق موتوری و بالگرد امدادی هم در نظر گرفته شده است؛ زیرا با توجه به شرایط توپوگرافی منطقه آسیب‌دیده در پژوهش حاضر (سیل شهرستان ساری)، به‌منظور ارسال کالاها از مراکز توزیع به نقاط تقاضا مکان‌های آسیب‌دیده از طریق بزرگراه‌ها یا جاده‌های اصلی قابل‌دسترسی نیستند و افراد آسیب‌دیده نمی‌توانند کالاهای امدادی را از طریق کامیون‌ها و تریلرهای با ظرفیت بالای مراکز توزیع دریافت کنند.
- میزان انتشار CO_2 توسط هر وسیله نقلیه در نظر گرفته شده است.
- هر وسیله نقلیه برای حمل کالاهای امدادی ظرفیت مختلفی دارد.

۴. روش تحقیق

این بخش شامل ۳ زیر بخش اصلی است: فرموله کردن مسئله، مدل‌سازی عدم قطعیت و روش حل. اطلاعات دقیق هر یک به شرح زیر است:

فرموله کردن مسئله

یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی عدد صحیح مختلط چندهدفه به‌منظور طراحی شبکه توزیع پایدار کالاهای اضطراری در لجستیک امداد بلایا فرموله شده است. اندیس‌ها، پارامترها و متغیرهای تصمیم‌گیری به شرح زیر است:

اندیس‌ها

I	اندیس مراکز تأمین کالا (I ,...,۱:i)
J	اندیس مراکز توزیع کالا (J ,...,۱:j)
K	اندیس نقاط تقاضا (آسیب‌دیده) (K ,...,۱:k)
M	اندیس کالاهای اضطراری (M ,...,۱:m)
L	اندیس وسایل نقلیه (L ,...,۱ :l)

پارامترها

C_{ijk}^{ml}	هزینه حمل‌ونقل برای نوع کالای m از مرکز تأمین i به نقاط تقاضای k از طریق مرکز توزیع j توسط وسیله نقلیه l
C_{jk}^{ml}	هزینه حمل‌ونقل برای نوع کالای m از مرکز توزیع j به نقاط تقاضای k توسط وسیله نقلیه l
Q_K	جمعیت در نقاط تقاضای k
γ	تابع هزینه محرومیت که به زمان محرومیت در نقاط تقاضای k بستگی دارد.
$T_{\max}$	حداکثر زمان محرومیت به‌گونه‌ای که تلفات انسانی به همراه نداشته باشد.
t_{ijk}^{l}	زمان سفر از مرکز تأمین i به نقاط تقاضای k با عبور از مرکز توزیع j توسط وسیله نقلیه l
t_{jk}^{l}	زمان سفر از مرکز توزیع j به نقاط تقاضای k توسط وسیله نقلیه l
W_{km}	تقاضا برای هر نوع کالای m در هر نقاط تقاضای k
e_l	انتشار CO۲ در هر کیلومتر از وسیله نقلیه l
DI_{ij}	فاصله بین مرکز تأمین i به مرکز توزیع j
DI_{jk}	فاصله بین مرکز توزیع j به نقاط تقاضای k
$capl_l$	ظرفیت حمل‌ونقل نوع l
H_m	حداقل مقدار نوع کالای m که در یک مرکز ذخیره می‌شود.
S_m	هزینه ذخیره‌سازی برای هر نوع کالای m
Fr_j	هزینه ثابت مراکز توزیع j مطمئن
Fu_j	هزینه ثابت مراکز توزیع j نامطمئن
qu_j	ظرفیت مراکز توزیع j
a	نرخ اختلال در ظرفیت

متغیرهای تصمیم

P_{jk}^{ml} نسبت تقاضا در هر نوع کالای m که از مرکز توزیع j به نقاط تقاضای k توسط وسیله نقلیه l منتقل می‌شود.

P_{ijk}^{ml} نسبت تقاضا در هر نوع کالای m که از مرکز تأمین i به نقاط تقاضای k با عبور از مرکز توزیع j توسط وسیله نقلیه l منتقل می‌شود.

A_j^m مقدار کالای m که در مرکز توزیع j ذخیره می‌شود.

Yr_j برابر یک است؛ اگر مرکز توزیع مطمئن در j احداث شود و در غیر این‌صورت برابر صفر است.

Yu_j برابر یک است؛ اگر مرکز توزیع نامطمئن در j احداث شود و در غیر این‌صورت برابر صفر است.

X_{ijk} برابر یک است؛ اگر نقاط تقاضای k کالاها را از مرکز تأمین i از طریق مرکز توزیع j دریافت کند و در غیر این صوت برابر صفر است.

X_{jk} برابر یک است؛ اگر نقاط تقاضای k کالاها را از مرکز توزیع j دریافت کند و در غیر این‌صورت برابر صفر است.

TM_{ijk}^{ml} اگر نوع وسیله نقلیه l انتخاب شود، برای جابه‌جایی هر نوع کالای m از مرکز تأمین i به نقاط تقاضای k از طریق مرکز توزیع j برابر یک است و در غیر این‌صورت صفر است.

TM_{jk}^{ml} اگر نوع وسیله نقلیه l انتخاب شود، برای جابه‌جایی هر نوع کالای m از مرکز توزیع j به نقاط تقاضای k برابر یک است و در غیر این‌صورت صفر است.

$BigM$ عدد مثبت بزرگ

۱،۱،۴. مدل ریاضی

$$Min\ Z_1 = \sum_{m=1}^{M}\sum_{k=1}^{K}\sum_{j=1}^{J}\sum_{l=1}^{L} C_{jk}^{ml} W_{km} . P_{jk}^{ml} + \sum_{m=1}^{M}\sum_{k=1}^{K}\sum_{j=1}^{J}\sum_{i=1}^{I}\sum_{l=1}^{L} C_{ijk}^{ml} W_{km} . P_{ijk}^{ml} + \sum_{j=1}^{J} Fr_j Yu_j + \sum_{j=1}^{J} Fu_j Yr_j + \sum_{m=1}^{M}\sum_{j=1}^{J} S_m . A_j^m + \sum_{m=1}^{M}\sum_{k=1}^{K}\sum_{j=1}^{J}\sum_{l=1}^{L} \gamma(t_{jk}^{l}) . Q_K . P_{jk}^{ml} + \sum_{m=1}^{M}\sum_{k=1}^{K}\sum_{j=1}^{J}\sum_{l=1}^{L} \gamma(t_{ijk}^{l}) . Q_K . P_{ijk}^{ml} \quad (۳)$$

$$Min\ Z_2 = \sum\sum\sum\sum\sum\sum DI_{ij} . e_l . P_{ijk}^{ml} \quad (۴)$$

Subject to:

$$\sum_{j=1}^{J} X_{jk} = 1 \qquad \forall k \in K \quad (۵)$$

$$P_{jk}^{ml} \le X_{jk} \qquad \forall j \in J, k \in K, m \in M, l \in L \quad (۶)$$

$$P_{ijk}^{ml} \le X_{ijk} \qquad \forall i \in I, j \in J, k \in K, m \in M, l \in L \quad (۷)$$

$$\sum_{i=1}^{I}\sum_{j=1}^{J} P_{jk}^{ml} + \sum_{l=1}^{L}\sum_{j=1}^{J}\sum_{i=1}^{I} P_{ijk}^{ml} = 1 \qquad \forall k \in K, m \in M \quad (۸)$$

$$\sum_{l=1}^{L}\sum_{m=1}^{M}\sum_{k=1}^{K} W_{km} . P_{jk}^{ml} \le \left(qu_j . yr_j + a . qu_j . yu_j\right) \qquad \forall j \in J \quad (۹)$$

$$A_j^m \ge H_m . (Yr_j + Yu_j) \qquad \forall j \in J, m \in M \quad (۱۰)$$

$$X_{jk} \le (Yr_j + Yu_j) \quad \forall j \in J, k \in K \quad (۱۱)$$

$$X_{ijk} \le (Yr_j + Yu_j) \qquad \forall i \in I, j \in J, k \in K \quad (۱۲)$$

$$t_{jk}^{l} . X_{ijk} \le T_{\max} \quad \forall j \in J, k \in K, l \in L \quad (۱۳)$$

$$t_{ijk}^{l} . X_{ijk} \le T_{\max} \quad \forall i \in I, j \in J, k \in K \quad (۱۴)$$

$$TM_{jk}^{ml} \le X_{jk} \qquad \forall j \in J, k \in K, m \in M, l \in L \quad (۱۵)$$

$$TM_{ijk}^{ml} \le X_{jk} \qquad \forall i \in I, j \in J, k \in K, l \in L, m \in M \quad (۱۶)$$

$$P_{ijk}^{ml} \le capl_l . TM_{ijk}^{ml} \qquad \forall i \in I, j \in J, k \in K, l \in L, m \in M \quad (۱۷)$$

$$p_{jk}^{ml} \le capl_l . TM_{jk}^{ml} \qquad \forall j \in J, k \in K, l \in L, m \in M \quad (۱۸)$$

$$TM_{ijk}^{ml} \le (Yr_j + Yu_j) \qquad \forall i \in I, j \in J, k \in K, l \in L, m \in M \quad (۱۹)$$

$$TM_{jk}^{ml} \le (Yr_j + Yu_j) \qquad \forall j \in J, k \in K, l \in L, m \in M \qquad (۲۰)$$

$$\sum_{l=1}^{L}\sum_{k=1}^{K} W_{km}.P_{jk}^{ml} - A_j^m = 0 \qquad \forall j \in J, m \in M \qquad (۲۱)$$

$$A_j^m \le BigM.(Yr_j + Yu_j) \qquad \forall j \in J, m \in M \qquad (۲۲)$$

$$Yr_j, Yu_j, X_{ijk}, X_{ij}, \in \{0,1\} \qquad \forall i \in I, j \in J, k \in K \qquad (۲۳)$$

$$0 \le P_{jk}^{ml} \le 1 \qquad \forall j \in J, k \in K, m \in M, l \in L \qquad (۲۴)$$

$$0 \le P_{ijk}^{ml} \le 1 \qquad \forall i \in I, j \in J, k \in K, m \in M \qquad (۲۵)$$

$$A_j^m \ge 0 \qquad \forall j \in J, m \in M \qquad (۲۶)$$

رابطه (۳) تابع هدف را نشان می‌دهد که کل هزینه‌های متحمل‌شده در طول واکنش اضطراری را کمینه می‌کند؛ بنابراین فرمول ریاضی ارائه‌شده دربرگیرنده هزینه‌های خصوصی لجستیک امداد شامل (هزینه‌های حمل‌ونقل از مرکز تأمین به مراکز توزیع و از مرکز توزیع به نقاط تقاضا، هزینه‌های ثابت مرتبط با مکان‌یابی مراکز توزیع و همچنین هزینه‌های موجودی از پیش تعیین‌شده) و همچنین هزینه‌های محرومیت(ناشی از فقدان دسترسی به اقلام پایدار زندگی) است. در این فرمول‌بندی متغیرهای تصمیم‌گیری مانند نسبت‌های تقاضا قرار دارند؛ زیرا آن‌ها با ۲ هزینه متفاوت در تابع هدف مرتبط هستند. هزینه‌های حمل‌ونقل که مربوط به تقاضا برای هر نوع محصول است و هزینه‌های محرومیت که به جمعیت (تعداد افراد) و همچنین زمان سفر تهیه کالا بستگی دارد و مرتبط با زمان محرومیت است. رابطه (۴) تابع هدف دوم را نشان می‌دهد که میزان آلایندگی تولیدشده توسط شبکه را کمینه می‌کند. مجموعه محدودیت‌های (۵) تضمین می‌کند که هر مرکز توزیع به هر نقاط تقاضا خدمت‌رسانی می‌کند. محدودیت (۶) تضمین می‌کند که اگر یک مرکز توزیع به‌طور ویژه به نقاط تقاضا خدمت‌رسانی نکند، هیچ باری به آن اختصاص نمی‌یابد. محدودیت (۷) تضمین می‌کند، اگر یک مرکز تأمین به مرکز توزیع خدمت نکند، هیچ محموله‌ای از مرکز تأمین به سمت مرکز توزیع ارسال نمی‌شود. محدودیت‌های (۸) نشان می‌دهد که مجموع نسبت‌های تقاضا برای هر نوع کالایی که به نقاط تقاضای K ارسال می‌شود و یا از یک مرکز تأمین حاصل می‌شود، برابر با یک است. محدودیت (۹) به ظرفیت مرکز توزیع اشاره دارد و تضمین می‌کند اگر کسی در سایت j مستقر نباشد، نمی‌تواند هیچ محموله‌ای را ارسال کند. محدودیت (۱۰) بیان می‌کند که اگر مرکز توزیع مستقر باشد، باید حداقل مقدار نوع محصول m را ذخیره کند؛ به‌طوری که ارزش باز کردن تسهیلات را داشته باشد. محدودیت (۱۱) و (۱۲) بیان می‌کند X زمانی می‌تواند مقدار بگیرد که Y مقدار گرفته باشد. به عبارتی تا زمانی که مکانی را احداث نکنیم (Y یک نشود)، نمی‌توانیم منطقه‌ای را به مرکز توزیعی تخصیص بدهیم. محدودیت (۱۳) و (۱۴) تضمین می‌کند که زمان سفر از مرکز تأمین یا مرکز توزیع کمتر یا حداکثر برابر است با حداکثر زمان محرومیت، به‌طوری که تلفات انسانی وجود نداشته باشد. محدودیت (۱۵) و (۱۶) تا زمانی که X یک نشود، مقدار نگیرد، TM نمی‌تواند مقدار بگیرد؛ یعنی تا زمانی که تخصیص نداده باشیم، از نوع حمل‌ونقل هم نمی‌توانیم استفاده کنیم. محدودیت (۱۷) و (۱۸) بیان‌کننده محدودیت ظرفیت وسایل نقلیه است. محدودیت (۱۹) و (۲۰) تا زمانی که مرکزی احداث نشده باشد و Y یک نشده باشد، نمی‌توان در آنجا نوع حمل‌ونقل داشته باشیم. محدودیت (۲۱) امکان حفظ جریان محصولات را فراهم می‌کند. محدودیت (۲۲) نشان می‌دهد اگر ما مرکزی را احداث نکرده باشیم، اصلاً نمی‌توانیم کالایی در آن ذخیره کرده باشیم. محدودیت (۲۳) متغیرها را به یک عدد صحیح تبدیل می‌کند. مجموعه محدودیت‌های (۲۴) و (۲۵) تضمین می‌کند که مقدار متغیرها بین صفر و یک، متغیر است. محدودیت (۲۶) یک محدودیت مثبت است.

۲،۴. مدل‌سازی عدم قطعیت

۱،۲،۴. مدل برنامه‌ریزی فازی محدودیت شانس

برخی از مدل‌های فازی برای مقابله با عدم قطعیت در توابع هدف و محدودیت‌ها توسعه یافته‌اند که از میان آن‌ها می‌توان از برنامه‌ریزی فازی محدودیت شانس[۱] (CCFP) برای ساخت مدل پایه استفاده کرد؛ زیرا رویکردی بنیادی است که به مفاهیم عمیق ریاضی مانند ارزش مورد انتظار عدد فازی و معیارهایی مانند احتمال[۲] و ضرورت[۳] متکی است و تصمیم‌گیرنده را قادر می‌سازد، به‌منظور رفع محدودیت‌ها سطح محافظه‌کاری را کنترل کند. همچنین از اشکال مختلف اعداد فازی مانند مثلثی و ذوزنقه‌ای پشتیبانی می‌کند [۳۰]. برای معرفی بیشتر ابتدا برای ساده‌سازی فرم فشرده (بدون درنظرگرفتن دیگر توابع هدف) مدل پیشنهادی به شرح زیر ارائه شده است:

$$Min\ Z = fy + cx \qquad (۲۷)$$

$$s.t.$$

$$Ax \ge d$$

$$Bx = 0$$

$$Sx \le Ny$$

$$y \in \{0,1\},\ x \ge 0$$

فرض کنید بردار f (هزینه‌های ثابت) یک پارامتر قطعی و بردارهای c (هزینه‌های متغیر) و d (تقاضای بازار) و ماتریس ضرایب N (ظرفیت تسهیلات) پارامترهای غیرقطعی مسئله

هستند. برای ساخت مدل پایه CCFP از عملگر ارزش انتظاری برای مدل‌سازی پارامترهای غیرقطعی توابع هدف و معیار ضرورت (Nec) برای مدل‌سازی محدودیت‌های شانسی استفاده می‌کنیم. معیار Nec را می‌توان مستقیماً برای تبدیل محدودیت‌های شانسی فازی به معادل قطعی آن‌ها استفاده کرد. از آنجا که استفاده از Nec برای رفع محدودیت‌های شانسی معنادارتر است [۳۰]، در این پژوهش هم همان کار استفاده شده و از توزیع فازی ذوزنقه‌ای برای مدل‌سازی استفاده شده است؛ زیرا می‌تواند با ۴ نقطه حساس تعریف شود. (مانند $\tilde{\theta} = \tilde{\theta}_{(1)}, \tilde{\theta}_{(2)}, \tilde{\theta}_{(3)}, \tilde{\theta}_{(4)}$) (شکل ۲).

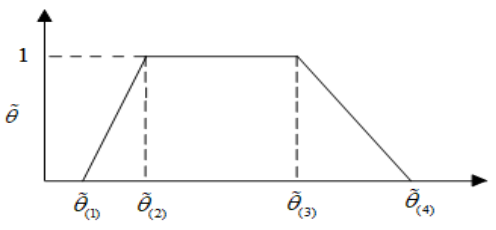
بنابراین مدل پایه CCFP می‌تواند به شرح زیر فرموله شود:

$$
\begin{aligned}
&Min\ E[Z] = E[f]y + E[\tilde{c}]x \\
&s.t. \\
&Nec\left\{Ax \geq \tilde{d}\right\} \geq \alpha_m \qquad \forall m \in M \qquad (۲۸) \\
&Bx = 0 \\
&Nec\left\{Sx \leq \tilde{N}y\right\} \geq \alpha_m \qquad \forall m \in M \\
&y \in \{0,1\} \qquad x \geq 0
\end{aligned}
$$

تابع هدف و محدودیت‌های اول و سوم (که دارای پارامترهای غیرقطعی هستند) با توزیع‌های فازی در نظر گرفته شده‌اند. با دانستن اینکه محدودیت‌ها با پارامترهای غیرقطعی باید با سطح رضایت حداقل α_i ایجاد شوند، مدل قطعی می‌تواند به شرح زیر تعریف شود [۳۱]:

$$
\begin{aligned}
&Min\ E[z] = fy + \left(\frac{c_{(1)} + c_{(2)} + c_{(3)} + c_{(4)}}{4}\right)x \\
&s.t. \\
&Ax \geq (1-\alpha_m)\, d_{(3)} + \alpha_m d_{(4)} \quad \forall m \in M \qquad (۲۹) \\
&Bx = 0 \\
&Sx \leq \left[(1-\alpha_m)N_{(2)} + \alpha_m N_{(1)}\right] y \quad \forall m \in M \\
&y \in \{0,1\} \qquad x \geq 0 \qquad ,
\end{aligned}
$$

مدل ارائه‌شده در (۲۹) به مدل معادل قطعی آن به شرح زیر تبدیل می‌شود.



شکل ۲: پارامتر فازی $\tilde{\theta}$

(۳۰)

$$
\begin{aligned}
&Min\ \mathrm{E}[Z_1] = \sum_{m=1}^{M}\sum_{k=1}^{K}\sum_{j=1}^{J}\sum_{l=1}^{L}\left(\frac{C^{ml}_{jk(1)} + C^{ml}_{jk(2)} + C^{ml}_{jk(3)} + C^{ml}_{jk(4)}}{4}\right). \\
&\left(\frac{W_{km(1)} + W_{km(2)} + W_{km(3)} + W_{km(4)}}{4}\right).P^{ml}_{jk} + \\
&\sum_{m=1}^{M}\sum_{k=1}^{K}\sum_{j=1}^{J}\sum_{l=1}^{L}\sum_{i=1}^{I}\left(\frac{C^{ml}_{ijk(1)} + C^{ml}_{ijk(2)} + C^{ml}_{ijk(3)} + C^{ml}_{ijk(4)}}{4}\right). \\
&\left(\frac{W_{km(1)} + W_{km(2)} + W_{km(3)} + W_{km(4)}}{4}\right).P^{ml}_{ijk} \\
&+\sum_{j=1}^{J1} Fr_j Yu_j + \sum_{j=j1+1}^{J2} Fu_j Yr_j + \sum_{m=1}^{M}\sum_{j=1}^{J} S_m . A^m_j + \sum_{m=1}^{M}\sum_{k=1}^{K}\sum_{j=1}^{J}\sum_{l=1}^{L}\gamma(t^l_{jk}) Q_K . P^{ml}_{jk} \\
&+\sum_{m=1}^{M}\sum_{k=1}^{K}\sum_{j=1}^{J}\sum_{l=1}^{L}\gamma(t^l_{ijk}) Q_K . P^{ml}_{ijk} \\
&s.t. \\
&\sum_{m=1}^{M}\sum_{k=1}^{K}\left[(1-\alpha_1).W_{km(3)} + \alpha_1 . W_{km(4)}\right].P^{ml}_{jk} \leq \\
&\left(qu_j . yr_j + qu_j . yu_j\right) \qquad \forall j \in J \\
&0.5 \leq \alpha_m \leq 1 \qquad \forall m \in M
\end{aligned}
$$

Equations (5-8) and (10-26)

۲،۲،۴. برنامه‌ریزی استوار فازی

علاوه برداشتن خصوصیات یک مدل بهینه‌سازی استوار و برخلاف مدل‌های برنامه‌ریزی استوار رایج که در آن برخی از محدوده‌ها برای ملاحظات غیرقطعی فراهم شده است، برنامه‌ریزی استوار فازی می‌تواند فرضیات نظریه فازی را هم در نظر بگیرد؛ طلایی و همکاران [۳۱]. برنامه‌ریزی استوار فازی مدل پیشنهادی به شرح زیر است:

$$
\begin{aligned}
&Min\ \mathrm{E}[Z_1] + \eta\left(Z_{\max} - E[Z]\right) \qquad (۳۱) \\
&+\varphi\left[\sum_{j=1}^{J}\sum_{k=1}^{K}\sum_{m=1}^{M}\sum_{l=1}^{L}\left(W_{km(4)} - (1-\alpha_1).W_{km(3)} - \alpha_1 . W_{km(4)}\right).P^{ml}_{jk}\right] \\
&s.t. \\
&\sum_{m=1}^{M}\sum_{k=1}^{K}\sum_{l=1}^{l}\left[(1-\alpha_1)W_{km(3)} + \alpha_1 W_{km(4)}\right] \qquad (۳۲) \\
&.P^{ml}_{jk} \leq \left(qu_j . yr_j + qu_j . yu_j\right) \qquad \forall j \in J \\
&0.5 \leq \alpha_m \leq 1 \qquad \forall m \in M \qquad (۳۳)
\end{aligned}
$$

Equations (5-8) and (10-26)

$Z_{\max}$ در رابطه بالا به شرح زیر است:

$$Z_{\max} = \sum_{m=1}^{M}\sum_{k=1}^{K}\sum_{j=1}^{J}\sum_{l=1}^{L} C^{ml}_{jk(4)} W_{km(4)} . P^{ml}_{jk} \qquad (۳۴)$$
$$+\sum_{m=1}^{M}\sum_{k=1}^{K}\sum_{j=1}^{J}\sum_{i=1}^{I} C^{ml}_{ijk(4)} W_{km(4)} . P^{ml}_{ijk}$$
$$+\sum_{j=1}^{J} Fr_j Y_j + \sum_{j=1}^{J} Fu_j Y_j + \sum_{m=1}^{M}\sum_{j=1}^{J} S_m . A^m_j$$
$$+\sum_{m=1}^{M}\sum_{k=1}^{K}\sum_{j=1}^{J}\sum_{l=1}^{L} \gamma(t^l_{jk}) Q_K . P^{ml}_{jk}$$
$$+\sum_{m=1}^{M}\sum_{k=1}^{K}\sum_{j=1}^{J}\sum_{l=1}^{L} \gamma(t^l_{ijk}) Q_K . P^{ml}_{ijk}$$

اولین عبارت در معادله (۳۱) مانند مدل اصلی CCFP مقدار ارزش انتظاری تابع هدف را به حداقل می‌رساند. عبارت دوم اختلاف بین مقادیر بدبینانه و انتظاری را در تابع هدف به حداقل می‌رساند. η وزن یا اهمیت این عبارت در مقابل دیگران را در تابع هدف نشان می‌دهد و در واقع استواری بهینه بودن بردار حل را کنترل می‌کند. عبارت سوم سطح محافظه‌کاری را برای هر محدودیت شانسی تعیین می‌کند. φها جریمه واحد برای انحرافات احتمالی از هر محدودیت تصادفی با پارامترهای غیرقطعی هستند و ضرایب آن‌ها تفاوت‌های بین بدبینانه‌ترین مقادیر پارامترهای غیرقطعی و آن‌هایی است که در این محدودیت‌ها استفاده می‌شوند. در حقیقت این عبارت استواری قابلیت بردار حل را کنترل می‌کند.

۳،۲،۴. خطی سازی محدودیت‌ها و توابع غیرخطی

در استفاده از رویکرد بالا نکته گفتنی این است که زمانی که ضرایب فنی غیرقطعی فرض می‌شوند، خطی بودن محدودیت‌های شانسی و تابع هدف مدل پیشنهادی از بین می‌رود؛ بنابراین می‌توان گفت هنگامی که ضرایب فنی با عدم قطعیت مواجه می‌شوند، مدل به یک برنامه‌ریزی غیرخطی تبدیل می‌شود. در چنین مواردی عبارت غیرخطی با اضافه کردن برخی محدودیت‌ها و تعریف کردن متغیرهای جدید به مدل به یک جمله خطی تغییر می‌کند؛ بنابراین برای جلوگیری از پیچیدگی یک مدل غیرخطی متغیرهای جدید به شرح زیر تعریف می‌شوند:

$$LP^{ml}_{jk} \le \alpha_1 \qquad \forall j \in J, k \in K, m \in M, l \in L$$
$$LP^{ml}_{jk} \le Bigm . P^{ml}_{jk} \qquad \forall j \in J, k \in K, m \in M, l \in L$$
$$LP^{ml}_{jk} \ge \alpha_1 - Bigm(1 - P^{ml}_{jk}) \qquad (۳۵)$$
$$\forall j \in J, k \in K, m \in M, l \in L$$
$$LP^{ml}_{jk} = P^{ml}_{jk} . \alpha_1 \qquad \forall j \in J, k \in K, m \in M, l \in L$$
$$LP^{ml}_{jk} \ge 0 \qquad \forall j \in J, k \in K, m \in M, l \in L$$

تابع هدف و محدودیت غیرخطی در مدل پیشنهادی به شرح زیر تغییر می‌کند:

$$Min\ \mathrm{E}[Z_1] + \eta\left(Z_{\max} - E[Z]\right) \qquad (۳۶)$$
$$+\varphi\left[\sum_{j=1}^{J}\sum_{k=1}^{K}\sum_{m=1}^{M}\sum_{l=1}^{L}\left(W_{km(4)} . P^{ml}_{jk} - W_{km(3)} . P^{ml}_{jk} + W_{km(3)} . LP^{ml}_{jk} - W_{km(4)} . LP^{ml}_{jk}\right)\right]$$

$$\sum_{m=1}^{M}\sum_{k=1}^{K}\sum_{l=1}^{l} W_{km(3)} . P^{ml}_{jk} - W_{km(3)} . LP^{ml}_{jk} \qquad (۳۷)$$

$$W_{km(4)} . LP^{ml}_{jk} \le \left(qu_j . yr_j + qu_j . yu_j\right) \qquad \forall j \in J$$

۳،۴. برنامه‌ریزی آرمانی چندگزینه‌ای با در نظرگرفتن تابع مطلوبیت

چانگ در سال ۲۰۱۱ [۳۲] در پژوهشی بیان کرد که برنامه‌ریزی آرمانی چندگزینه‌ای اصلاح‌شده[۴] میزان ارجحیت تصمیم‌گیرندگان را در نظر نمی‌گیرد. از این‌رو با هدف بیشینه کردن مطلوبیت مورد انتظار تصمیم‌گیرندگان تابع مطلوبیت را به مدل قبل اضافه کرد که مدل تازه او به‌صورت زیر است:

$$Min \sum_k \left[\beta^d_k (d^+_k + d^-_k) + \beta^\delta_k \delta^-_k\right]$$

S.T.

$$\lambda \le \frac{U_{k,\max} - y_k}{U_{k,\max} - U_{k,\min}} \qquad \forall_k$$

$$f_k(X) + d^-_k - d^+_k = y_k \qquad \forall_k \qquad (۳۸)$$
$$\lambda_k + \delta^-_k = 1 \qquad \forall_k$$
$$U_{k,\min \le y_k} \le U_{k,\max} \qquad \forall_k$$
$$d^-_k . d^+_k = 0 \qquad \forall_k$$
$$d^-_k, d^+_k, \delta^-_k, \lambda_k \ge 0 \qquad \forall_k$$

محدودیت‌های سیستم

که δ^-_k نشان‌دهنده میزان انحراف نرمالیزه‌شده y_k از $U_{k,\min}$ است. β^δ_k اهمیت(وزن) δ^-_k بوده و λ_k ارزش مطلوبیت است.

۱،۳،۴. پیاده‌سازی RMCGP با تابع مطلوبیت روی مسئله تحقیق

از آنجایی که آخرین مدل برنامه‌ریزی آرمانی ارائه‌شده توسط چانگ [۳۲] علاوه بر مزیت‌های مدل‌های قبلی ارجحیت تصمیم‌گیرندگان را هم لحاظ می‌کند، در این پژوهش از این روش استفاده شده است. با توجه به تعاریف و مفاهیم مطرح‌شده مدل آرمانی چندگزینه‌ای با درنظرگرفتن تابع مطلوبیت برای مسئله طراحی شبکه توزیع پایدار کالاهای اضطراری در لجستیک امداد بلایا با درنظرگرفتن قابلیت اطمینان و هزینه محرومیت به شرح زیر است:

$$Min\beta_1^d(d_1^+ + d_1^-) + \beta_2^d(d_2^+ + d_2^-) + \beta_1^\delta\delta_1^- + \beta_2^\delta\delta_2^- \quad (۳۹)$$

$$S.T.$$

$$\lambda_1 \le \frac{U_{1,\max} - y_1}{U_{1,\max} - U_{1,\min}} \quad (۴۰)$$

$$\lambda_2 \le \frac{U_{2,\max} - y_2}{U_{2,\max} - U_{2,\min}} \quad (۴۱)$$

$$Z_1 + d_1^- - d_1^+ = y_1 \quad (۴۲)$$

$$Z_2 + d_2^- - d_2^+ = y_2 \quad (۴۳)$$

$$\lambda_1 + \delta_1^- = 1 \quad (۴۴)$$

$$\lambda_2 + \delta_2^- = 1 \quad (۴۵)$$

$$U_{1,\min} \le y_1 \le U_{1,\max} \quad (۴۶)$$

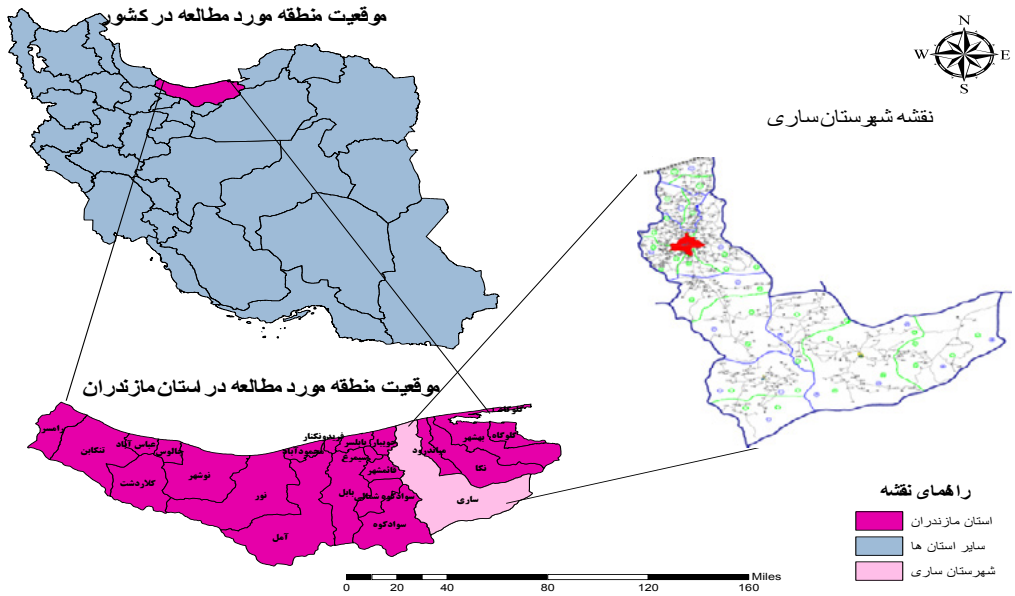
$$U_{2,\min} \le y_2 \le U_{2,\max} \quad (۴۷)$$

محدودیت‌های مدل (۴۸)

۵. مطالعه موردی

شهرستان ساری با مساحتی برابر با ۳ هزار و ۲۴۸/۴ کیلومتر مربع بزرگ‌ترین شهرستان استان مازندران و مرکز این شهرستان شهر ساری است. جمعیت شهرستان یادشده در سال ۱۳۹۵ بالغ بر ۵۰۴ هزار و ۲۹۸ نفر بوده که از این تعداد ۳۴۷ هزار و ۴۰۳ نفر در شهر ساری ساکن هستند. این شهرستان از پرجمعیت‌ترین شهرستان‌های شمال کشور بوده که حدود جغرافیایی آن ۳۶/۳۳۵۹۷۴° عرض شمالی و ۵۳/۰۳۱۹۸۱ ° طول شرقی است. شهرستان ساری از شمال به دریای مازندران، از شرق به شهرستان‌های میانرود و نکا، از مغرب به شهرستان‌های قائم‌شهر و سوادکوه و از شمال غربی به جویبار محدود می‌شود. نقشه زیر موقعیت شهرستان ساری را در کل کشور و استان مازندران نشان می‌دهد (شکل ۳).

با مشاهده مشکلات در امر امدادرسانی سیل اسفندماه ۹۷ شهرستان ساری و به‌منظور اثبات کارایی مدل در این پژوهش به مدل‌سازی مدیریت توزیع کالاهای اضطراری در لجستیک امداد بلایا در مواجهه با سیل شهرستان ساری می‌پردازیم تا در زمان مواجهه با سوانح طبیعی مانند سیل بتوانیم تصمیمات عملیاتی و استراتژیکی مناسبی را اتخاذ کنیم. در این پژوهش ۱۲ روستای خسارت‌دیده (شیخ‌علی محله و آکند از بخش رودپی جنوبی، کردخیل، آبمال، پنبه چوله، اسفندان، حسن‌آباد، موزی باغ، حمیدآباد، سوته، طاهرآباد و شریف‌آباد از بخش رودپی شمالی) به‌عنوان نقاط تقاضا در نظر گرفته شده است.



شکل ۳: موقعیت شهرستان ساری در کشور و استان مازندران

۵ نقطه بالقوه در شهرستان ساری به‌عنوان نقاط کاندید برای احداث مراکز توزیع مطمئن و نامطمئن کالاهای امدادی در نظر گرفته شده است. این مراکز ظرفیت‌ها و هزینه‌های مخصوص خود را دارند. ملاک‌هایی که جهت تعیین این مراکز در نظر گرفته شده، شامل مواردی مانند راه دسترسی به مناطق آسیب‌دیده، دوری از رودخانه‌ها و آب‌بندان‌ها و نزدیکی به مناطق بحران‌زده شهرستان ساری بوده است. در سیل سال ۹۷ شهرستان ساری شاهد آن بوده‌ایم، تمامی کمک‌های مردمی و کالاهای امدادی در انبار هلال‌احمر استان مازندران در شهر ساری ذخیره و جمع‌آوری شد و ازآنجا به مراکز توزیع منتقل و سپس به مناطق آسیب‌دیده ارسال شده است. به همین دلیل در این پژوهش انبار هلال‌احمر شهر ساری به‌عنوان مرکز تأمین انتخاب می‌شود.

بر اساس اطلاعاتی که از جمعیت هلال‌احمر استان مازندران اتخاذ شده، کالاهای مورد نیاز افراد آسیب‌دیده شهرستان ساری در سیل سال ۹۷ به تفکیک روستاها شامل بسته غذایی ۷۲ ساعته، پتو، موکت، کیسه برنج، روغن، چادر و پودر رخت‌شویی است. استاندارد تعیین‌شده برای ذخیره‌سازی کالای امدادی برای ۲ درصد جمعیت تهیه و اقلام ضروری مورد نیاز برای زمان‌های بحرانی ذخیره می‌شود. هزینه ذخیره‌سازی برای هر کالا تقریباً برابر با ۲۵ درصد قیمت خرید است.

پس از مشورت با کارشناس‌های جمعیت هلال‌احمر مشخص شد با توجه به شرایط توپوگرافی منطقه به‌منظور توزیع کالاهای امدادی در شرایط بحرانی (سیل شهرستان ساری) از ۳ نوع شیوه حمل‌ونقل (جاده‌ای، هوایی و دریایی) استفاده شده است. جدول ۱ انواع و ظرفیت هر نوع وسیله نقلیه و میزان انتشار CO_2 هر نوع را ارائه می‌دهد.

فاصله بین مرکز تأمین i و مراکز توزیع j و فاصله بین مراکز توزیع j و نقاط تقاضا k توسط Google Maps برآورد شده است.

به‌منظور تسهیل در امر امدادرسانی به سیل‌زدگان چند فروند قایق موتوری از سازمان امداد و نجات کشور تحویل جمعیت هلال‌احمر استان شد. این قایق‌های موتوری از نوع قایق‌های سبک بادی عملیاتی (جیمینی) هستند که ویژه عملیات امداد و نجات در شرایط سیلابی به شمار می‌روند. این قایق با موتور قایق بنزینی ۱۵ اسب بخار سرعتی برابر با ۴۵ کیلومتر بر ساعت را داراست. ظرفیت هر مرکز توزیع با درنظرگرفتن ابعاد هر کالاهای امدادی به میزان ۰/۳۸۲۹ مترمکعب محاسبه شده است. اطلاعات مربوط به ظرفیت، هزینه ثابت و متراژ هر مرکز توزیع به شرح جدول ۲ است.

۵- تخمین تابع هزینه محرومیت

در شکل کاربردی تابع هزینه محرومیت[5] در تابع هدف (معادله ۳)، t^l_{jk} نشان‌دهنده زمان سفر بین مرکز توزیع j و نقاط تقاضا k است. در عوض t^l_{ijk} بیانگر زمان سفر از مرکز تأمین i به نقاط تقاضای k است. این زمان از مجموع زمان سفر بین مرکز تأمین، مرکز توزیع و زمان سفر بین مرکز توزیع به نقاط تقاضا به‌علاوه زمان اضافی t_0 ناشی از زمان انتظار قبل از ورود کمک‌های امدادی به مرکز تأمین است.

$$T:\begin{cases} t_{jk} \\ t_{jk}+t_{ijk}+t_0 \end{cases} \quad (۴۹)$$

برای این پژوهش هدف دقیقاً تخمین تابع هزینه محرومیت نیست، بلکه فرموله کردن یک مدل لجستیک امداد بلایاست که از هزینه‌های اجتماعی به‌عنوان تابع هدف ترجیحی استفاده می‌کند که رفاه اجتماعی را به حداکثر می‌رساند. مدل اقتصاد خرد که برای گنجاندن میزان رنج در نظر گرفته می‌شود، یک مدل الهام گرفته‌شده توسط کانتیلو و همکاران [۹] است. از

جدول ۱: انواع حمل‌ونقل، ظرفیت و میزان انتشار CO_2 هر نوع وسیله نقلیه

شیوه حمل‌ونقل	نوع وسیله حمل‌ونقل	ظرفیت	انتشار CO_2 (کیلوگرم/تن-کیلومتر)	منبع
جاده‌ای	۱- ماشین سبک مانند وانت نیسان	۲ تن	۰/۰۴۸	[۳۳]
	۲- ماشین نیمه‌سنگین مانند کامیونت	۱۰ تن	۰/۰۲۵۲	[۳۳]
	۳- ماشین سنگین مانند تریلی	۲۲ تن	۰/۲۹۷	[۳۳]
هوایی	۴- بالگرد	۴ تن	۰/۴۴۷	[۳۴]
دریایی	۵- قایق	۵۶۶ کیلوگرم	۰/۰۰۳۲	[۳۵]

جدول ۲: اطلاعات مراکز توزیع

شماره مرکز توزیع	متراژ (مترمربع)	ظرفیت (تعداد کالای امدادی)	هزینه ثابت (ریال)
۱	۲۰۰	۵۲۲	۳۶۰……
۲	۳۵۰	۹۱۴	۶۳۰……
۳	۵۰۰	۱۳۰۵	۹۰……
۴	۷۵۰	۱۹۵۸	۱۳۵……
۵	۹۰۰	۲۳۵۰	۱۶۲……

مدل‌های اقتصادسنجی تخمین‌زده‌شده برای ارزیابی هزینه‌های محرومیت می‌توان معیارهای رفاه را تعیین کرد. تا آنجایی که با افزایش زمان محرومیت رفاه کاهش می‌یابد. این کار با استفاده از اطلاعات جمع‌آوری‌شده از روش انتخاب بیان‌شده[۶] تهیه شده است. همان‌طور که می‌دانیم مجموعه‌ای از کالاهای امدادی در اختیار افراد آسیب‌دیده قرار می‌گیرد(مثلاً آب، دارو، غذا، کمک‌های اولیه، لباس و ...). با این حال برای این پژوهش و تحلیل آن یک کیت غذایی پایه(ازجمله آب) در نظر گرفته شد؛ زیرا یک کالای رایج در فرایندهای لجستیکی است. علاوه بر این تمام افراد آسیب‌دیده به این نوع کالاهای امدادی نیاز دارند تا زنده بمانند. اگر افراد آسیب‌دیده از آب و غذا برای دوره‌ای طولانی محروم باشند، می‌تواند منجر به آسیب دائمی آن‌ها و یا حتی مرگ شود [۲۷]. علاوه بر این تجربه‌های قبلی فاجعه نشان می‌دهد که آب و غذا ملزومات ضروری در روزهای اولیه واکنش هستند؛ بنابراین آزمایش بیان‌شده برای پاسخ‌دهندگان به ما اجازه داد تا اولویت‌های خود را در مورد سناریوهای انتخاب فرضی برای بازماندگان فاجعه جمع‌آوری کنیم که ۲ گزینه برای کنترل منابع امدادی وجود داشت؛ خرید یک کیت غذایی اصلی با توجه به محدودیت بودجه یا صبر کردن طولانی‌تر برای رسیدن کمک‌های بشردوستانه یعنی به تعویق انداختن مصرف. وضعیت فرضی زیر برای پاسخ‌دهندگان ارائه شد:

فرض کنید فاجعه‌ای در شهری که شما زندگی می‌کنید، رخ داده و خانه شما ویران‌شده است. سوپر مارکت ها، فروشگاه‌ها و هر مکانی که شما می‌توانستید خرید کنید، ویران شده و کمبود شدید مواد غذایی وجود دارد. خانواده شما جان سالم به در برده و آن‌ها چندین ساعت بدون صرف غذا، نوشیدن و آشامیدن از زمان وقوع حادثه گذرانده‌اند. با این حال مقدار مشخصی از پول در جیب شما وجود دارد. ما ۹ سناریوی انتخاب را به شما نشان خواهیم داد که در هر مورد شما بین خرید یک سبد از منابع اصلی با غذای کافی برای تغذیه یک فرد برای یک روز و یا صبر کردن طولانی‌تر تا زمانی که کمک امدادی با همان ملزومات برسد، انتخاب خواهید کرد. اگر گزینه دوم را انتخاب کنید، قادر به نگه‌داشتن پول برای نیازهای دیگر خواهید بود. توصیف زمینه انتخاب با عکس‌هایی از سوانحی که قبلاً در این حوزه رخ داده بود، همراه بود تا درک بهتری از سناریوی مطرح‌شده به‌دست آید. با توجه به وضعیت فرضی ارائه‌شده ۵ ویژگی مورد بررسی قرار گرفتند: ۱- زمان محرومیت فعلی که زمان بدون دسترسی به کیت غذایی از زمان وقوع حادثه است (t_1). ۲- زمان انتظار که زمان محرومیت اضافی است که انتظار دریافت کمک‌های امدادی رایگان(کیت غذایی رایگان) را دارد (t_2). ۳- بودجه کلی برای خرید، ۴- قیمت بسته غذایی و ۵- بودجه موجود برای خرید سایر منابع. از آنجا که غذا و آب تنها ضروریات پس از وقوع سانحه طبیعی نیستند، مردم آسیب‌دیده تلاش می‌کنند تا سودمندی خود را برای محدودیت‌های بودجه به حداکثر برسانند. اگر پاسخگویان تصمیم بگیرند که جعبه غذای اصلی را خریداری کنند تا نیازهای خود را برای آب و غذا پوشش دهند، با توجه به یک‌زمان محرومیت خاص بودجه آن‌ها کاهش خواهد یافت و این می‌تواند مانع برآورده کردن نیازهای اساسی دیگر شود(مانند پزشکی، حمل‌ونقل و ارتباطات). با این حال اگر پاسخ‌دهندگان بخواهند بودجه را حفظ کنند و نیازهای خود را برای غذا و آب حفظ کنند، آنگاه یک‌زمان انتظار اضافی لازم است تا زمانی که کمک‌های امدادی وارد شود و غذای رایگان و آب را توزیع کند. در این زمینه گزینه مربوط به زمان محرومیت است و گزینه انتظار مربوط به زمان محرومیت مورد انتظار تا زمان رسیدن کمک‌های امدادی است. از طرفی دیگر استفاده از بودجه به‌عنوان یک متغیر آزمایشی به حذف اثر درآمدی از پاسخ‌ها کمک می‌کند؛ زیرا سناریو مشخص می‌سازد که تنها پول موجود برای پاسخ‌دهندگان بودجه مشخص‌شده است. افراد باید بر اساس سناریوهای داده‌شده و نه براساس شرایط اجتماعی اقتصادی خود واکنش نشان دهند. تمام ویژگی‌های یادشده با ۴ سطح تغییر همان‌طور که در جدول ۳ نشان داده شده، مشخص شدند.

این ویژگی‌ها و ارزش‌های آن‌ها از طریق تمرکز بر گروه‌هایی شامل افرادی هستند که تحت تأثیر سوانح طبیعی قرار گرفته‌اند. هرچه زمان محرومیت طولانی‌تر باشد، تصور حقایق سناریوها برای پاسخ‌دهندگان دشوارتر است و پاسخ‌ها کمتر قابل اطمینان هستند. دامنه مقادیر مورد استفاده برای ویژگی‌ها عبارت بودند از: قیمت از ۷۰۰ هزار تا یک میلیون و بودجه از ۰ تا ۹۰۰ هزار ریال. از آنجا که طرح کامل فاکتوریل برای ۴ ویژگی هرکدام با ۴ سطح تغییر به تعداد زیادی از سناریوهای انتخاب نیاز دارند($4^4 = 256$)[۳۶]، از طرح فاکتوریل جزئی استفاده کردیم که برای پاسخ‌دهندگان امکان‌پذیرتر است؛ زیرا آن‌ها می‌توانند با توجه بیشتر با موقعیت‌های انتخابی کمتری مواجه شوند [۳۷] و هر پاسخ‌دهنده با ۹ موقعیت انتخاب روبرو شدند. هر پاسخ‌دهنده به‌طور تصادفی به یکی از این بلوک‌ها اختصاص داده شد. این طراحی تعادل سطح ویژگی‌ها را در هر یک از بلوک‌ها تضمین می‌کند [۳۸]. نظرسنجی ترجیحات بیان‌شده برای ۳۸۳ نفر از پاسخ‌دهندگان که به‌طور تصادفی انتخاب شده بودند، به‌کار گرفته شد. داده‌ها شامل افرادی است که قبلاً تحت تأثیر فاجعه‌ای (۶۴ درصد) بودند و افرادی که تحت تأثیر فاجعه (۳۶ درصد) نبودند. مصاحبه‌ها

جدول ۳: ویژگی‌های طراحی آزمایشی

ویژگی‌ها	سطوح مقادیر
DT: زمان محرومیت (ساعت)	۴،۸،۱۲،۱۶
WT: زمان انتظار (ساعت)	۴،۸،۱۲،۱۶
P: قیمت کل خرید بسته غذایی اصلی (ریال)	۷۰۰۰۰۰،۸۰۰۰۰۰،۹۰۰۰۰۰،۱۰۰۰۰۰۰
AB: بودجه در دسترس (ریال)	۰،۷۰۰۰۰۰،۸۰۰۰۰۰،۹۰۰۰۰۰

به‌صورت رودررو انجام شد و داده‌های به‌دست‌آمده از انتخاب بیان‌شده برای تخمین مدل با استفاده از روش حداکثر درست نمایی شبیه‌سازی‌شده مورد استفاده قرار گرفت. بر این اساس تابع مطلوبیت برای هر جایگزین توسط معادله زیر ارائه می‌شود.

$$V_{buy} = ASC + \beta_{AB} AB + \beta_C C + \beta_{t1} \exp(\beta_{t2} t_1) \quad (۵۰)$$

$$V_{wait} = \beta_{t1} \exp(\beta_{t2} t_2)$$

ویژگی‌های مورد استفاده در مشخصات تابع مطلوبیت به شرح زیر است:

ASC یک ثابت خاص است

β_{AB} پارامتر مرتبط با بودجه در دسترس

β_C پارامتر مربوط به قیمت هر واحد کیت

β_{t1}، β_{t2} پارامترهای مرتبط با زمان محرومیت (ساعت) هستند.

فرایند تخمینی مبتنی بر ۳ هزار و ۴۴۷ مشاهده از ۳۸۳ نفر است و جدول ۵ نتایج مدل لاجیت چند جمله‌ای را نشان می‌دهد. همان‌طور که توضیح داده شد، کاهش رفاه افراد به دلیل عدم دسترسی به اقلام حیاتی با درنظرگرفتن معیارهای رفاهی مانند تغییر در مازاد مصرف‌کننده $\Delta E(CS_n)$ ارزیابی شد؛ درست همان‌طور که در معادله ۲ تعریف شد. تغییرات در رفاه از طریق تغییرات در ویژگی زمان ارزیابی شدند که در آن شرایط اولیه (۰) مازاد مصرف‌کننده را بدون هیچ محرومیت تثبیت می‌کند ($t_0 = 0$)؛ درست زمانی که فاجعه روی داده و وضعیت نهایی (۱) ناشی از افزایش زمان محرومیت همراه با تأخیر در توزیع است که یک متغیر مستقل با روند فزاینده روبه‌رشد است.

جدول ۵: نتایج حاصل از لاجیت چندجمله‌ای

پارامتر	Value (t-test)
ASC ثابت	-۲،۵۹(-۱۵،۹۸)
β_{AB} بودجه در دسترس	۰،۰۶۴۷(۱۶،۱۲)
β_C قیمت	-۰،۰۱۷۴(-۴،۶۴)
β_{t1} زمان	-۱،۸۲(-۵،۳۹)
β_{t2} زمان نمایی	۰،۰۶۲۸(۱۱،۸۰)
تعداد مشاهدات	۳۴۴۷
Final log-likelihood	-۲۲۱۹،۷
Rho-square	۰،۲۴۹

نشانه‌های منفی مرتبط با پارامترهای زمان و قیمت بیانگر آن است که افزایش در هر یک از این متغیرها نشان‌دهنده کاهش در سودمندی فرد است و افزایش در زمان محرومیت غذایی و آب در یک سانحه رفاه آن‌ها را کاهش خواهد داد. همچنین علامت مثبت در پارامتر زمان نمایی (β_{T1}) نشان می‌دهد که از رابطه به‌شدت در حال افزایش و محدب بین هزینه محرومیت و زمان محرومیت پشتیبانی می‌کند. شکل ۴ نتیجه اعمال ضرایب برآورده‌شده برای مدل با فرمول LOGSUM (معادله ۲) است و یک رابطه افزایشی، غیرخطی و محدب را بر زمان محرومیت نشان می‌دهد؛ مانند آنچه توسط هولگوین و همکاران پیشنهاد شده است [۲۴]. نتایج حاصل از این تحقیق تا ۷۲ ساعت نشان داده شد. به‌منظور تسهیل کاربرد عملی آن‌ها با توجه به پیچیدگی LOGSUM منحنی حاصل با استفاده از مدل رگرسیون چندجمله‌ای برازش شده است.

مقادیر R۹۹ در تمامی حالات نشان‌دهنده تناسب عالی برای منحنی‌هاست که می‌تواند در مدل‌های لجستیک انسان‌دوستانه استفاده شود. ارزش بسته غذایی در حدود ۷۰۰ هزار ریال به‌عنوان مرجع در نظر گرفته می‌شود. بعد از ۴۸ ساعت هزینه محرومیت از ۵۰ میلیون ریال تجاوز می‌کند و در ۷۲ ساعت به‌سرعت ۳۰ میلیون ریال شد. بنابراین باگذشت زمان هزینه‌های محرومیت با تغییرات جزئی در زمان به‌شدت رشد می‌کند. این برآوردها نشان می‌دهند که وزن بالای محرومیت از هزینه‌های اجتماعی فراتر از هزینه‌های لجستیکی خصوصی است. تابع هزینه محرومیت به‌دست‌آمده هزینه‌های اجتماعی محرومیت را آشکار می‌کنند که می‌توانند در مدل‌های لجستیکی جامع بشردوستانه گنجانده شوند تا بتوانند تجزیه‌وتحلیل ریسک را برای ارزیابی عملکردهای بشردوستانه ازنظر اقتصادی انجام دهند. واضح است محرومیت در طول زمان بسیار گران‌تر و حساس می‌شود؛ بنابراین مراقبت به‌موقع در ساعات اولیه حیاتی است.

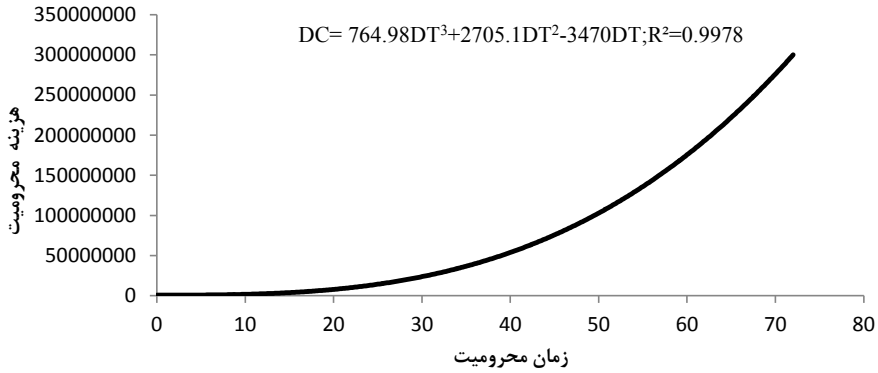
۲،۵. نتایج محاسباتی

در این بخش نتایج به‌دست‌آمده از حل داده‌های مطالعه موردی با روش برنامه‌ریزی آرمانی چندگزینه‌ای بیان می‌شود. همه محاسبات در نرم‌افزار GAMS بر روی رایانه شخصی پردازشگر ۲/۴۰ گیگاهرتز با ۴ گیگابایت حافظه داخلی در ویندوز ۸ اجرا شده که نتایج به‌دست‌آمده از حد بالا و پایین سطوح آرمانی در جدول ۶ نشان داده می‌شود.

در ادامه نتایج حاصل از حل مدل با روش برنامه‌ریزی آرمانی چندگزینه‌ای آورده شده است. جدول شماره ۷ مقدار بهینه تابع هدف اول (Z_1)، مقدار بهینه تابع هدف دوم (Z_2) و همچنین مقدار بهینه تابع هدف آرمانی (Z) و انحرافات را نشان می‌دهد.

نتایج حاصل‌شده از جدول ۷ نشان می‌دهد، تابع هدف اول و دوم به‌طور کامل رضایتمندی را ایجاد می‌کنند، زیرا انحراف‌های (d_1^+ و d_1^-)، (d_2^+ و d_2^-) آن‌ها صفر هستند. پس از اجرای مدل متغیرهای تصمیم به شرح جدول‌های ۸ و ۹ به‌دست آمده‌اند.

همان‌طور که در جدول‌های بالا مشاهده می‌شود، مرکز توزیع j_3 برای احداث مرکز توزیع مطمئن و مرکز توزیع j_4 برای احداث مرکز توزیع نامطمئن انتخاب‌شده‌اند. مقدار پیش‌موجودی کالاهای امدادی که باید در مرکز توزیع ذخیره شود، به شرح جدول ۱۰ است.



شکل ۴: منحنی تابع هزینه محرومیت

جدول ۶: حد بالا/ پایین سطوح آرمانی

$(U_{1,\min})$	$(U_{1,\max})$	$(U_{2,\min})$	$(U_{2,\max})$
۸+۷,۲۲۲۲۰۱E	۱۱+۷,۵۰۰۰۶E	۱,۰۱۹	۹۴۹,۸۰۴

جدول ۷: نتایج به‌دست‌آمده از روش برنامه‌ریزی آرمانی چندگزینه‌ای

Z	۰,۰۰۳
Z_1	۹+۴,۶۱۷۳۵۶E
Z_2	۱,۴۶۸
y_1	۹+۴,۶۱۷۳۵۶E
y_2	۱,۴۶۸
d_1^+	۰,۰۰۰
d_1^-	۰,۰۰۰
d_2^+	۰,۰۰۰
d_2^-	۰,۰۰۰
δ_1^-	۰,۰۰۵
δ_2^-	۴-۴,۷۲۵۰۴۷E

جدول ۸: نقاط انتخابی جهت احداث مرکز توزیع مطمئن

j	۱	۲	۳	۴	۵
Yr	۰	۰	۱	۰	۰

جدول ۹: نقاط انتخابی جهت احداث مرکز توزیع نامطمئن

j	۱	۲	۳	۴	۵
Yu	۰	۰	۰	۱	۰

جدول ۱۰: مقادیر پیش موجودی کالاهای امدادی در مراکز توزیع مطمئن و نامطمئن

$a(m,j)$	j_3	j_4
m_1	۲۲۰,۰۰۰	۳۴۲,۰۰۰
m_2	۶۸,۰۰۰	۱۵۲,۰۰۰
m_3	۲۶۷,۰۰۱	۱۵۷,۰۰۰
m_4	۴۰۷,۹۹۹	۵۳۰,۰۰۰
m_5	۱۰۰,۰۰۰	۳۷۱,۰۰۰
m_6	۵۵,۰۰۰	۱۴۳,۰۰۰
m_7	۱۸۷,۰۰۰	۲۴۸,۰۰۰

جدول ۱۱ نشان می‌دهد هر نقاط تقاضای k کالاهای امدادی را از کدام مراکز توزیع احداث‌شده j دریافت کنند.

شکل ۵ نشان می‌دهد جریان تخصیص درنتیجه اجرای مدل چگونه خواهد بود.

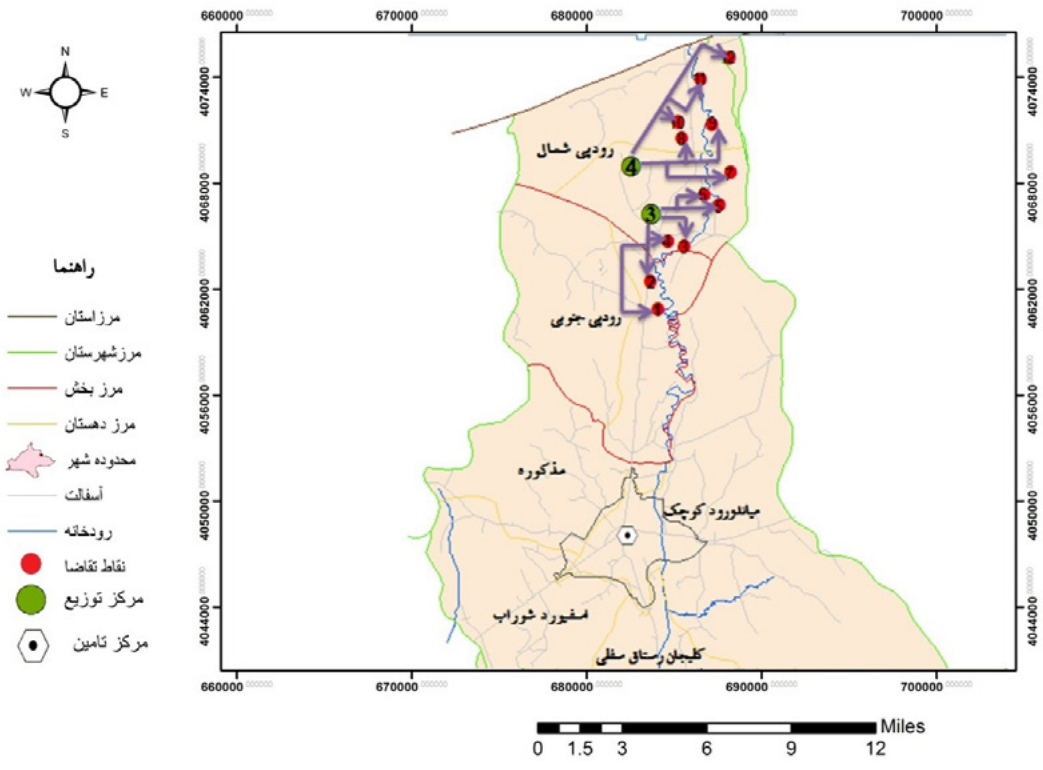
۳،۵. آنالیز حساسیت

آنالیز حساسیت به مطالعه تأثیرپذیری متغیرهای خروجی از متغیرهای ورودی یک مدل آماری گفته می‌شود. به عبارت دیگر روشی برای تغییر دادن در ورودی‌های مدل آماری به‌صورت سازمان‌یافته (سیستماتیک) است که بتوان تأثیرات این تغییرها را در خروجی مدل پیش‌بینی کرد.

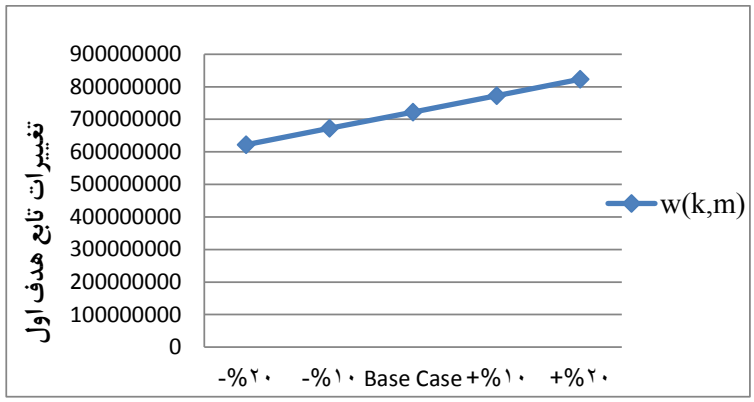
در این بخش، در تابع هدف اول حساسیت مدل به پارامترهایی نظیر هزینه حمل‌ونقل و میزان تقاضا بررسی می‌شود که به ترتیب در شکل‌های ۶ و ۷ قابل مشاهده است. در نمودارهای حاصل از این تحلیل نشان داده می‌شود، درصورتی‌که مقدار پارامترها تغییر یابند، هر یک از توابع هدف چگونه تغییر خواهد کرد. برای تحلیل حساسیت از ضرایب ۰/۸، ۰/۹، ۱/۱ و ۱/۲ استفاده شده است.

جدول ۱۱: تخصیص نقاط تقاضا به مراکز توزیع جهت دریافت کالاهای امدادی

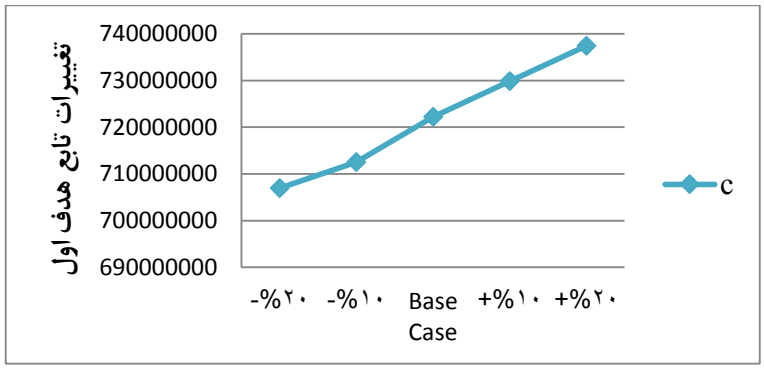
$x(j,k)$	k_1	k_2	k_3	k_4	k_5	k_6	k_7	k_8	k_9	k_{10}	k_{11}	k_{12}
j_3	۱	۱	۱	۱	۱	۱						
j_4							۱	۱	۱	۱	۱	۱



شکل ۵: وضعیت شبکه پس از مدل‌سازی



شکل ۶: آنالیز حساسیت تابع هدف اول بر تقاضا



شکل ۷: آنالیز حساسیت تابع هدف اول بر هزینه‌های حمل‌ونقل

مطابق شکل ۶ افزایش تقاضای نقاط آسیب‌دیده به افزایش تابع هدف اول و کاهش تقاضای نقاط آسیب‌دیده به کاهش تابع هدف اول منجر می‌شود. به‌عنوان مثال در وضعیت پایه[۷] مقدار تابع هدف ۷۲۲ میلیون و ۲۲۰ هزار و ۱۰۰ ریال است. کاهش ۲۰ درصدی تقاضا منجر به کاهش تابع هدف به مقدار ۶۲۱ میلیون و ۶۰۶ هزار و ۱۰۰ ریال و ۲۰ درصد افزایش تقاضا منجر به افزایش تابع هدف به میزان ۸۲۲ میلیون و ۸۳۴ هزار و ۲۰۰ ریال خواهد شد. همچنین کاهش و افزایش ۱۰ درصدی به‌ترتیب منجر به تغییر تابع هدف به میزان ۶۷۱ میلیون و ۹۱۳ هزار و ۱۰۰ریال و ۷۷۲ میلیون و ۵۲۷ هزار و ۱۰۰ریال شده است.

همان‌طور که در شکل ۷ مشاهده می‌شود، کاهش هزینه حمل‌ونقل منجر به کاهش ارزش تابع هدف اول می‌شود و با افزایش آن ارزش تابع هدف افزایش می‌یابد. با کاهش ۱۰ و ۲۰ درصدی هزینه حمل‌ونقل تابع هدف به‌ترتیب به مقدار ۷۱۲ میلیون و ۵۶۲ هزار و ۹۰۰ و ۷۰۶ میلیون و ۹۸۷ هزار ریال کاهش می‌یابد و با افزایش ۱۰ و ۲۰ درصدی در نتیجه منجر به افزایش تابع هدف به مقدار ۷۲۹ میلیون و ۸۳۶ هزار و ۷۰۰ و ۷۳۷ میلیون و ۴۵۳ هزار و ۳۰۰ ریال می‌شود.

۶. نتیجه‌گیری و پیشنهادات

آمادگی در برابر سوانح طبیعی فرصتی برای برنامه‌ریزی مؤثر، کاهش تلاش‌های مورد نیاز و افزایش اثربخشی اقدامات پاسخگویی نهادهای درگیر در سوانح طبیعی است. هدف از برنامه‌ریزی کمک به کاهش خطر برای نجات جان بسیاری از زندگی افراد تا حد ممکن و تضمین بالاترین سود و رفاه جمعیت آسیب‌دیده است؛ بنابراین توجه به هزینه‌های اجتماعی(هزینه محرومیت) ضروری است. اختصاص ارزش پولی به درد و رنج انسان موضوعی بحث‌برانگیز است. استراتژی توزیع پس از یک فاجعه بر رفاه ذی‌نفعان تأثیر می‌گذارد. در این پژوهش این تغییرات در رفاه را با استفاده از تکنیک‌های ارزش‌گذاری اقتصادی مناسب کمی کردیم و آن را در فرمول تحلیلی گنجاندیم. تحقیقات زیادی با موضوع پایداری در زنجیره تأمین تجاری انجام شده؛ اما موضوع پایداری هنوز در تحقیقات لجستیک امداد بلایا بسیار محدود است. در این تحقیق ما به‌صورت یکپارچه جنبه‌های اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی را با ترکیب هزینه‌های امداد(بعد اقتصادی)، هزینه محرومیت(بعد اجتماعی) و انتشار کربن(بعد زیست‌محیطی) در نظر گرفتیم. مدل پیشنهادی می‌تواند جایگاه بهینه مراکز توزیع را به‌گونه‌ای تعیین کند که تأثیر اقتصادی و اجتماعی واکنش اضطراری و میزان آلایندگی‌های زیست‌محیطی به حداقل برسد. این پژوهش یک مدل مکان‌یابی تسهیلات برای پیش‌بینی کالاهای اضطراری مورد نیاز برای آماده‌سازی در برابر بلایا را پیشنهاد می‌کند که در طی اولین ساعات پس از وقوع یک وضعیت اضطراری پیشنهاد می‌شود. این مدل‌سازی مقدار هر نوع محصول را برای خدمت به مناطقی که تحت تأثیر یک فاجعه در طول واکنش اولیه قرار گرفته‌اند، تعیین می‌کند. به‌منظور مقابله با عدم قطعیت رویکرد بهینه‌سازی استوار فازی و مدل هم‌ارز استوار ارائه

شد. همچنین برای حل مدل چندهدفه روش برنامه‌ریزی آرمانی چندگزینه‌ای با تابع مطلوبیت برای آن ارائه شده است. علاوه بر این مدل با موفقیت در شهرستان ساری که در اسفندماه ۱۳۹۷ تحت تأثیر سیل قرار گرفت، اعمال شد. در ادامه‌ی این پژوهش آنالیز حساسیت بر روی برخی پارامترهای مدل نسبت به تابع هدف انجام شد و تغییرات تابع هدف نسبت به تغییرات هر یک از پارامترها ارائه شده است. نتایج تجربی به‌دست‌آمده در این پژوهش نقش حیاتی زمان‌های محرومیت در لجستیک امداد بلایا را تأیید می‌کند. مدل پیشنهادی اهمیت هزینه‌های عملیاتی را تشخیص می‌دهد؛ اما بیان می‌کند که مدل‌هایی که منحصراً مبتنی بر آن‌ها هستند، نمایش کاملی از مسئله پیچیده چگونگی تخصیص منابع محدود در میان افراد آسیب‌دیده را ارائه نمی‌دهند. هدف این پژوهش ارائه یک تحلیل جامع‌تر از هزینه‌های متحمل‌شده در لجستیک امداد بلایا با ترکیب هزینه‌های اجتماعی(هزینه محرومیت) است. نتیجه این مطالعه برنامه‌ریزان را قادر می‌سازد، برنامه‌های آمادگی و عملیات پاسخگویی خود را بهبود بخشند و بهترین مکان‌ها را برای توزیع کالاهای اضطراری در نظر بگیرند؛ زیرا تعداد و مکان مراکز توزیع به‌طور مستقیم بر روی زمان پاسخ و هزینه‌های که در طول لجستیک امداد بلایا رخ می‌دهد، تأثیرگذار است. همچنین نتایج نشان می‌دهد، هر نقاط تقاضا کالاهای امدادی را از کدام مراکز توزیع دریافت کنند و پیش موجودی کالاهای امدادی در مراکز توزیع چه مقدار باشد؛ بنابراین با استفاده از مدل پیشنهادی ما، تصمیم‌گیرندگان در برنامه‌ریزی امداد می‌توانند ساختار شبکه توزیع را بهبود بخشیده و نارضایتی آسیب‌دیدگان را کاهش دهند. اگرچه این پژوهش چندین شکاف قابل توجه بین ادبیات را مورد بررسی قرار می‌دهد، توسعه آتی باید پیشرفت‌های دیگری را مورد بررسی قرار دهد.

مدل پیشنهادی می‌تواند متغیرها و محدودیت‌های دیگر را برای سازگاری بیشتر با واقعیت تعیین کند؛ ولی مدل ما فقط اختلال در تسهیلات را در نظر گرفته بود. در رحالی که قطع ارتباطات شبکه نظیر مسیرها و جاده‌ها را می‌توان بررسی کرد. علاوه بر حمل کالاهای اضطراری به نواحی آسیب‌دیده، تخلیه اضطراری افراد آسیب‌دیده از این نواحی و انتقال آن‌ها به واحدهای اضطراری مانند اورژانس می‌تواند در این مدل در نظر گرفته شود. برای تحقیقات آتی عدم قطعیت تسهیلات و نوع حمل‌ونقل می‌تواند برای طراحی شبکه لجستیک چند محصولی در نظر گرفته شود. استفاده از الگوریتم‌های فراابتکاری برای حل مسائل بزرگ‌تر از دیگر راه‌های توسعه مدل است. مدل کنونی را می‌توان به یک مدل چند دوره‌ای برای مسئله تخصیص کالاهای اضطراری بسط داد.

پی‌نوشت

1. Chance Constraint Fuzzy Programming
2. Possibility
3. Necessity
4. Revised multi-choice goal programming(RMCGP)
5. Deprivation Cost Function
6. Stated Choice Method
7. Base Case

منابع

1. Arab-Kheradmand, J., Ahmadi, S., Baniasadi, A., & Khankeh, H. (2016). Historical Research on Disaster Management Legislation in Iran before Islamic Revolution. *Health in Emergencies and Disasters*, *1*(4), 209-214.

2. Rashidi Jahan, H., Ebrahimnia, M., Roshani, M., & Hadian, M. (2015). Crisis Preparedness among Clinical Staff: A Brief Survey in an Iranian Context. *International Journal of Hospital Research*, *4*(4), 189-193.

3. Papadopoulos, T., Gunasekaran, A., Dubey, R., Altay, N., Childe, S. J., & Fosso-Wamba, S. (2017). The role of Big Data in explaining disaster resilience in supply chains for sustainability. *Journal of Cleaner Production*, *142*, 1108-1118.

4. Anaya-Arenas, A. M., Renaud, J., & Ruiz, A. (2014). Relief distribution networks: a systematic review. *Annals of Operations Research*, *223*(1), 53-79.

5. Loree, N., & Aros-Vera, F. (2018). Points of distribution location and inventory management model for Post-Disaster Humanitarian Logistics. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, *116*, 1-24.

6. Khayal, D., Pradhananga, R., Pokharel, S., & Mutlu, F. (2015). A model for planning locations of temporary distribution facilities for emergency response. *Socio-Economic Planning Sciences*, *52*, 22-30.

7. Van Wassenhove, L. N., & Pedraza Martinez, A. J. (2012). Using OR to adapt supply chain management best practices to humanitarian logistics. *International Transactions in Operational Research*, *19*(1-2), 307-322.

8. Holguín-Veras, J., Pérez, N., Jaller, M., Van Wassenhove, L. N., & Aros-Vera, F. (2013). On the appropriate objective function for post-disaster humanitarian logistics models. *Journal of Operations Management*, *31*(5), 262-280.

9. Cantillo, V., Serrano, I., Macea, L. F., & Holguín-Veras, J. (2017). Discrete choice approach for assessing deprivation cost in humanitarian relief operations. *Socio-Economic Planning Sciences*, 63, 33-46.

10. Akkihal, A. R. (2006). Inventory pre-positioning for humanitarian operations *(Doctoral dissertation, Massachusetts Institute of Technology)*.

11. Tzeng, G. H., Cheng, H. J., & Huang, T. D. (2007). Multi-objective optimal planning for designing relief delivery systems. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, *43*(6), 673-686.

12. Lin, Y. H., Batta, R., Rogerson, P. A., Blatt, A., & Flanigan, M. (2011). A logistics model for emergency supply of critical items in the aftermath of a disaster. *Socio-Economic Planning Sciences,* 45(4), 132-145.

13. Berkoune, D., Renaud, J., Rekik, M., & Ruiz, A. (2012). Transportation in disaster response operations. *Socio-*

Wassenhove, L. N., Aros-Vera, F., & Jaller, M. (2016). Econometric estimation of deprivation cost functions: A contingent valuation experiment. *Journal of Operations Management*, *45*, 44-56.

28. Williams, H. C. (1977). On the formation of travel demand models and economic evaluation measures of user benefit. *Environment and planning A*, 9(3), 285-344.

29. Train, K. E. (2009). Discrete choice methods with simulation. Cambridge university press.

30. Inuiguchi, M., & Ramık, J. (2000). Possibilistic linear programming: a brief review of fuzzy mathematical programming and a comparison with stochastic programming in portfolio selection problem. *Fuzzy sets and systems*, *111*(1), 3-2.

31. Talaei, M., Moghaddam, B. F., Pishvaee, M. S., Bozorgi-Amiri, A., & Gholamnejad, S. (2016). A robust fuzzy optimization model for carbon-efficient closed-loop supply chain network design problem: a numerical illustration in electronics industry. Journal of Cleaner Production, 113, 662-673.

32. Chang, C. T. (2011). Multi-choice goal programming with utility functions. *European Journal of Operational Research*, *215*(2), 439-445.

33. Mohammed, F., Selim, S. Z., Hassan, A., & Syed, M. N. (2017). Multi-period planning of closed-loop supply chain with carbon policies under uncertainty. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, *51*, 146-172.

34. Columbia, B. (2012). 2012 BC Best Practices Methodology for Quantifying Greenhouse Gas Emissions Including Guidance for Public Sector Organizations, Local Governments and Community Emissions. Ministry of Environment.

35. Jun, P., Gillenwater, M., & Barbour, W. (2002). CO2, CH4, and N2 O emissions from transportation-water-borne-navigation [Background paper]. *Good practice guidance and uncertainty management in national greenhouse gas inventories*, 71-92.

1. Hicks, C. R. (1973). Fundamental Concepts in the Design of Experiments Holt. *Rinehart and Winston, New York.*

2. Ortúzar, J. D. D., & Willumsen, L. G. (2011). Simplified Transport Demand Models. *Modelling Transport, 4th ed.; John Wiley & Sons, Ltd.: Chichester, UK.*

3. Louviere, J. J., Hensher, D. A., & Swait, J. D. (2000). *Stated choice methods: analysis and applications*. Cambridge university press.

Economic Planning Sciences, 46(1), 23-32.

14. Hatefi, S. M., & Jolai, F. (2014). Robust and reliable forward–reverse logistics network design under demand uncertainty and facility disruptions. *Applied Mathematical Modelling*, 38(9-10), 2630-2647.

15. Lu, M., Ran, L., & Shen, Z. J. M. (2015). Reliable facility location design under uncertain correlated disruptions. *Manufacturing & Service Operations Management*, 17(4), 445-455.

16. Zhang, Y., Snyder, L. V., Qi, M., & Miao, L. (2016). A heterogeneous reliable location model with risk pooling under supply disruptions. *Transportation Research Part B: Methodological*, 83, 151-178.

17. Rivera-Royero, D., Galindo, G., & Yie-Pinedo, R. (2016). A dynamic model for disaster response considering prioritized demand points. *Socio-economic planning sciences*, 55, 59-75.

18. Haghi, M., Ghomi, S. M. T. F., & Jolai, F. (2017). Developing a robust multi-objective model for pre/post disaster times under uncertainty in demand and resource. *Journal of Cleaner Production*, 154, 188-202.

19. Cao, C., Li, C., Yang, Q., Liu, Y., & Qu, T. (2018). A novel multi-objective programming model of relief distribution for sustainable disaster supply chain in large-scale natural disasters. *Journal of Cleaner Production*, *174*, 1422-1435.

20. Rahmani, D., Zandi, A., Peyghaleh, E., & Siamakmanesh, N. (2018). A robust model for a humanitarian relief network with backup covering under disruptions: a real world application. *International journal of disaster risk reduction*, 28, 56-68.

21. Liu, Y., Lei, H., Wu, Z., & Zhang, D. (2019). A robust model predictive control approach for post-disaster relief distribution. *Computers & Industrial Engineering*, 135, 1253-1270.

22. Cotes, N., & Cantillo, V. (2019). Including deprivation costs in facility location models for humanitarian relief logistics. *Socio-Economic Planning Sciences*, *65*, 89-100.

23. Rodriguez, N. P. (2011). Inventory allocation models for post-disaster humanitarian logistics with explicit consideration of deprivation costs. *Rensselaer Polytechnic Institute*.

24. Holguín-Veras, J., Pérez, N., Jaller, M., Van Wassenhove, L. N., & Aros-Vera, F. (2013). On the appropriate objective function for post-disaster humanitarian logistics models. *Journal of Operations Management*, 31(5), 262-280.

25. Brown, R. G. (1967). WG Runciman, Relative Deprivation and Social Justice (Book Review). *International Journal of Comparative Sociology*, 8, 124.

26. Bayés, R., Limonero, J. T., Barreto, P., & Comas, M. D. (1997). A way to screen for suffering in palliative care. *Journal of Palliative care*, *13*(2), 22-26.

27. Holguín-Veras, J., Amaya-Leal, J., Cantillo, V., Van