

# مدل تخصیص آسیب‌دیدگان در زلزله به بیمارستان‌ها با استفاده از الگوریتم‌های فراابتکاری

هادی پازوکی طرودی\*: کارشناسی ارشد مهندسی صنایع و عضو باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان دانشگاه آزاد اسلامی واحد قائمشهر، ایران، h.pazoki.ums@gmail.com

مصطفی حاجی آقایی کشتلی: استادیار، عضو هیأت علمی مهندسی صنایع، دانشگاه علم و فناوری مازندران، بهشهر، ایران  
رضاتوکلی مقدم: استاد دانشکده مهندسی صنایع، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران، تهران

تاریخ دریافت: ۹۶/۱۰/۲۴

تاریخ پذیرش: ۹۷/۱۱/۱۶

چکیده

امروزه بلایای طبیعی همواره جان انسان‌ها و اموال و دارایی‌های آن را مورد تهدید قرار می‌دهد. زنجیره‌ی تأمین امداد، چابک‌ترین و پویاترین زنجیره‌های تأمین است. در واقع، نقش محوری زنجیره‌ی تأمین امداد در واکنش به بحران‌ها و کاستن از مشقت‌های وارده به انسان‌ها مشخص شده است. در مسائل تخصیص و مکان‌یابی در امداد هدف آن است که هر فرد آسیب‌دیده با توجه به تقاضا، خدمات و کالاهای آن مراکز توزیع دریافت نماید و تأمین‌کنندگان نیز کالاهای و خدمات را به مراکز توزیع عرضه نمایند. در این مقاله، هدف ارائه‌ی مدل ریاضی برای مسئله‌ی تخصیص آسیب‌دیدگان در زلزله به بیمارستان‌های موجود و صحرایی بالقوه با بهره‌گیری از الگوریتم‌های فراابتکاری است. لذا ابتدا به طراحی مدل ریاضی و نوآوری آن با هدف کمینه نمودن هزینه‌های تأسیس بیمارستان‌های صحرایی بالقوه، ارسال آسیب‌دیدگان و ارسال خدمات و کالاهای تأمین‌کنندگان به مراکز توزیع بیمارستانی پرداخته شد. سپس با بهره‌گیری از نرم‌افزار گمز<sup>۱</sup> به اعتبارسنجی و صحت مدل ریاضی پرداخته شد و پس از آن با کدنویسی در نرم‌افزار متلب<sup>۲</sup> و بهره‌گیری از الگوریتم‌های فراابتکاری کرم شب‌تاب و بهینه‌سازی ازدحام ذرات، نتایج قابل قبولی حاصل شد. پس از محرز شدن کارآمدی و به‌منظور قیاس الگوریتم‌ها، اقدام به اخذ تست پرایلم<sup>۳</sup> از داده‌ها<sup>۳</sup> گردید و در نهایت مشخص گردید در هر دو عامل زمان اجرا و مقادیر هزینه، الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات نسبت به الگوریتم کرم شب‌تاب عملکرد و کارایی مناسب‌تری دارد.

واژه‌های کلیدی: زنجیره‌ی تأمین امداد، بیمارستان‌های صحرایی بالقوه، آسیب‌دیدگان در زلزله، الگوریتم‌های فراابتکاری

## Model of allocating earthquake-injured people to hospitals using the meta-heuristics algorithms

Hadi pazoki toroudi\*<sup>1</sup>, mostafa haji aghaee keshteli<sup>2</sup>, Reza tavakoli moghadam<sup>3</sup>

Abstract

Today, natural disaster is threatening the lives of people and their assets and properties. Relief supply chain is the most agile and dynamic supply chain. Indeed, the pivotal role of relief supply chain has been identified in responding to crises and reducing the burden on humans. In this regard, the goal of allocating and locating issues is to allow each injured person to receive the services and goods from the distribution centers according to demand, and suppliers will also provide goods and services for the distribution centers. The present study tried to provide a mathematical model for the problem of allocating earthquake victims to existing and potential hospitals using ultra-innovative algorithms. For this purpose, first, the design of its mathematical model and its innovation aimed at minimizing the costs of establishing potential hospitals, sending injured people and sending services and goods from suppliers to hospitals. Then, the validation and accuracy of the mathematical model were evaluated using Gamz software. In the next step, acceptable results were obtained with coding in MATLAB, using fire suppression algorithms and optimizing particle swarm. After the efficiency was established, the problem test was used for the data in order to compare the algorithms. Finally, it was identified that the particle swarm optimization algorithm was superior to the firewall algorithm in both runtime and cost values.

**Keywords:** earthquake, relief supply chain, potential field hospital, cost minimization, firefly algorithm.

1. Master of Industrial Engineering and Member of Young and Elite Research Club of Islamic Azad University, Qaemshahr Branch, Iran, h.pazoki.ums@gmail.com  
2. Assistant Professor, Faculty Member of Industrial Engineering, Mazandaran University of Science and Technology, Behshahr, Iran  
3. Prof., School of Industrial Engineering, College of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran

طبق تحقیقات انجام شده و آخرین نظریه‌های دانشمندان جهان، ریشه‌ی افزایش بحران‌ها و بلایای طبیعی مواردی چون تغییرات شدید اقلیمی و آب و هوایی و رشد پدیده‌هایی چون گرم شدن کره‌ی زمین، آب شدن یخ‌های قطبی، فعال شدن فعل و انفعالات گسل‌ها، انتشار گازهای گلخانه‌ای، تخریب پوشش گیاهی و مراتع و جنگل‌ها به وسیله‌ی انسان‌ها است که همگی سبب رشد صعودی بحران‌ها و بلایای طبیعی در دو سه دهه‌ی اخیر شده است. در ادامه بر اساس آمارهای موجود در سال ۲۰۱۶، تعداد حوادث و بلایای طبیعی و تعداد انسان‌های کشته شده در حوادث و بلایای مختلف در چند سال اخیر گردآوری شده است [۵].

یکی از مخرب‌ترین حوادث طبیعی، زلزله است. تجربه نشان داده است که همواره زلزله با خسارات جانی و مالی فراوانی همراه بوده است [۱]. در واقع زلزله لرزش ناگهانی پوسته‌ی جامد زمین است که هر از چند گاهی در نواحی‌ای که بر روی بند زلزله خیز قرار دارند رخ می‌دهد. این پدیده‌ی طبیعی دارای خصوصیات و ویژگی‌های منحصر به فردی است. به عبارت دیگر لرزش ناگهانی پوسته‌های جامد زمین، زلزله یا زمین لرزه نامیده می‌شود. همچنین پس از وقوع زلزله نیز امکان روی دادن حوادثی پر مخاطره‌تر از قبیل رانش زمین، بهم، آتش‌سوزی و حتی سونامی و سیل نیز بسیار فراهم می‌گردد که خود مؤید مهم بودن این حادثه است [۶]. از طرفی رشد سوانحی نظیر زلزله در سال‌های اخیر منجر به افزایش خسارات وارده به انسان‌ها و جوامع بشری شده است. به طوری که امروزه این نوع حوادث در هر سال به ده‌ها میلیون انسان خسارت وارد کرده و منجر به کشته شدن هزاران نفر شده است. از طرفی ماهیت تصادفی و غیر قابل پیش‌بینی زلزله هم خود مزیدی بر افزایش خسارات جانی و مالی در جوامع بشری است که این مسئله خود مؤید جایگاه و نقش یک زنجیره‌ی تأمین امداد رسانی در این رویداد مهم است [۷].

به طور کلی پس از روی دادن زلزله دو اقدام اساسی صورت می‌پذیرد که یکی عملیات تخلیه و امداد و نجات است و دیگری مدیریت زنجیره‌ی تأمین امداد است. به بیانی دیگر، زنجیره‌ی تأمین امداد پس از وقوع بلایا و حوادث، به افراد آسیب‌دیده، خدمات اضطراری و امداد رسانی ارائه می‌دهد، لذا برای برآورده‌سازی نیازهای مصدومان و حادثه‌دیدگان

سوانح طبیعی بخشی از بلایای زیست‌محیطی است و فراوانی بسیار زیاد حوادث و سوانح طبیعی در جهان، خود گویای این مسئله است. اما علیرغم پیشرفت علم و فناوری، انسان هنوز در مقابل عوارض سوانح و بلایای ناشی از دگرگونی‌های طبیعت مانند سیل، زلزله، طوفان و همچنین بلایای ناشی از ابزار دست ساخت خود آسیب‌پذیر است [۱]. بر اساس تحقیقات انجام شده با گذشت زمان تعداد حوادث و بحران‌های طبیعی و غیر مترقبه زمینی و اقیانوسی در هر سال در حال افزایش است. سوانح و بلایای طبیعی به منزله‌ی بخش جدایی‌ناپذیری از طبیعت همواره جوامع بشری را تحت تأثیر خود قرار داده و بروز آن‌ها موجب خسارات فراوان جانی و مالی گردیده است. تعداد انسان‌هایی که در معرض بحران‌های طبیعی قرار می‌گیرند نیز همچنان در حال افزایش است، چراکه در این حوادث، هزاران انسان در جهان در جریان وقوع بلایای طبیعی جان خود را از دست می‌دهند و صدها هزار نفر کشته و زخمی می‌شوند و تعداد کثیری نیز خانه و کاشانه‌ی خود را از دست می‌دهند [۲]. در حد فاصل سال‌های ۲۰۰۵-۲۰۱۵ میلادی در منطقه‌ی آسیا و اقیانوسیه بیش از ۱۶۲۵ مورد بلایای طبیعی گزارش شده است و حدود ۲/۲ میلیارد نفر نیز مستقیم یا غیر مستقیم تحت تأثیر خسارات ناشی از بلایای طبیعی قرار گرفتند به طوری که تنها بیش از ۵۲۳ میلیارد دلار خسارات اقتصادی این بلایای طبیعی بوده است. ضمن این‌که بیش از ۶۰ درصد مرگ‌های مرتبط با بلایای طبیعی در این مناطق جهان اتفاق افتاده است، یعنی می‌توان اذعان داشت که بیش از ۸۰ درصد از تأثیرات ناشی از بلایای طبیعی در آسیا اتفاق می‌افتد. بنا بر گزارشات سازمان‌های بین‌المللی در ۴۵ سال گذشته میزان خسارات اقتصادی ناشی از این بلایای طبیعی بیش از ۲/۸ تریلیون دلار که زلزله، سیل و سونامی مقصر بیش از ۹۱/۸ درصد کل این خسارات بوده‌اند [۳]. همچنین طبق تحقیقاتی دیگر، تعداد انسان‌های آسیب‌دیده در بین سال‌های ۲۰۰۶ الی ۲۰۱۶ میلادی نسبت به سال‌های ۱۹۹۵ الی ۲۰۰۵ میلادی سه برابر شده است. این افزایش در تعداد انسان‌های آسیب‌دیده مربوط به رشد جمعیت از یک طرف و نیز افزایش تعداد بحران‌ها از طرف دیگر در طول سال‌های نامبرده است [۴].

جدول ۱: آمار تعداد حوادث و بلایای طبیعی بر اساس نوع پدیده در جهان در سال‌های ۲۰۱۰ الی ۲۰۱۵ میلادی [۵]

ردیف	نوع حوادث و بلایای طبیعی	سال					
		۲۰۱۵	۲۰۱۴	۲۰۱۳	۲۰۱۲	۲۰۱۱	۲۰۱۰
۱	خشکسالی	۳۳	۲۲	۱۳	۳۱	۲۴	۲۷
۲	زلزله	۲۱	۲۶	۲۸	۲۹	۳۰	۲۴
۳	گرما و دماهای شدید	۱۱	۱۸	۱۷	۵۲	۱۹	۳۴
۴	سیل	۱۵۴	۱۴۰	۱۴۹	۱۴۱	۱۶۰	۱۹۰
۵	رانش زمین	۱۹	۱۵	۱۱	۱۳	۱۷	۳۲
۶	طوفان	۱۱۴	۹۹	۱۰۵	۹۰	۸۶	۹۵
۷	فعالیت‌های آتشفشانی	۱۹	۱۵	۱۱	۱۳	۱۷	۳۲
۸	آتش‌سوزی	۱۱	۴	۱۰	۷	۸	۷

جدول ۲: آمار انسان‌های کشته شده بر اساس نوع پدیده در جهان در سال‌های ۲۰۱۰ الی ۲۰۱۵ میلادی [۵]

ردیف	نوع حوادث و بلایای طبیعی	سال				
		۲۰۱۰	۲۰۱۱	۲۰۱۲	۲۰۱۳	۲۰۱۴
۱	خشکسالی	۱۰,۰۰۰	۱۰,۰۰۰	>۱۰,۰۰۰	>۱۰,۰۰۰	>۱۰,۰۰۰
۲	زلزله	۲۲۶,۷۳۳	۲۰,۹۴۶	۷۱۱	۱,۱۲۰	۷۷۳
۳	گرما و دماهای شدید	۵۷,۰۶۴	۸,۰۶	۱,۶۷۴	۱,۹۸۲	۱,۱۶۸
۴	سیل	۸,۴۸۱	۶,۱۵۱	۳,۵۷۷	۹,۸۱۹	۳,۵۷۴
۵	رانش زمین	۳,۴۲۷	۳۰۹	۵۰۱	۲۳۵	۹۴۳
۶	طوفان	۱,۵۶۴	۳,۱۰۳	۳,۱۰۵	۸,۶۰۳	۱,۴۲۴
۷	فعالیت‌های آتشفشانی	۳۲۳	۳	۱۴	۳۷	۱۰۲
۸	آتش‌سوزی	۱۶۶	۱۰	۲۲	۳۵	۱۶

جدول ۳: آمار خسارات برخی از زلزله‌های اخیر از نگاه مؤسسه‌ی USGS (سازمان زمین‌شناسی آمریکا) [۸]

نام زلزله	سال	مکان	تخمین خسارات	
			کشته	مصدوم
پروچیا	۲۰۱۶	ایتالیا	۳۶۸	۳۰۰۰
گرخا	۲۰۱۵	نیپال	۷۱۲۸	۲۳۰۰۰
فیلیپین	۲۰۱۳	فیلیپین	۵۲۳۵	۲۳۵۰۱
توهوکو	۲۰۱۱	ژاپن	۲۰۸۹۶	۲۶۹۹۲
هائیتی	۲۰۱۰	هائیتی	۳۱۶۰۰۰	۳۰۰۰۰
سیچوان	۲۰۰۸	چین	۶۹۱۹۵	۳۷۴۱۷۷
کشمیر	۲۰۰۵	پاکستان	۸۶۰۰۰	۶۹۰۰۰
بم	۲۰۰۳	ایران	۳۱۰۰۰	۳۰۰۰۰
منجیل	۱۹۹۰	ایران	>۴۰۰۰	>۶۰۰۰۰

برخی مکان‌های بالقوه به‌منزله‌ی مراکز توزیع برای تأمین تقاضای همه‌ی مشتریان به حداقل می‌رساند. برای حل مشکل، دو الگوریتم ژنتیک و الگوریتم ایمنی مصنوعی ارائه شدند. به‌منظور مقایسه‌ی الگوریتم‌های پیشنهاد شده، اندازه‌های مختلف در نظر گرفته شد و نتایج محاسباتی حاصل از الگوریتم‌ها با یکدیگر مقایسه شدند. همچنین یکی از دیگر نتایج این تحقیق نیز بیان نمود که مؤثر بودن الگوریتم‌های فرا ابتکاری به‌طور معنی‌داری وابسته به انتخاب صحیح پارامترها است [۱۱].

پازوکی طرودی و همکارانش (۲۰۱۷) در مقاله‌ای به بررسی و حل مسئله‌ی کمینه نمودن هزینه‌ی کل در برنامه‌ریزی یکپارچه‌ی تولید و توزیع در یک زنجیره‌ی تأمین پرداختند. در این پژوهش با استفاده از الگوریتم ژنتیک، مسئله حل شد. نتایج نشان می‌دهد که با افزایش ابعاد مسئله، الگوریتم ژنتیک جواب‌هایی نزدیک به جواب بهینه و در زمان حل کمتر به دست می‌دهد [۱۲].

احمدی و همکاران (۲۰۱۵) با توجه به از بین رفتن شبکه‌ی حمل و نقل پس از زلزله، با ارائه‌ی یک مدل تصادفی دو مرحله‌ای، سعی در تعیین مکان مراکز توزیع و تسهیلات دارد [۱۳].

والجو و همکاران (۲۰۱۵) یک مدل تصمیم‌گیری دو سطحه در زنجیره‌ی تأمین امداد ارائه دادند که سطح اول آن برنامه‌ی توزیع اقلام و کالاها از انبارهای تعیین شده به نقاط آسیب‌دیده بوده و سطح دوم آن برنامه‌ریزی برای دریافت اقلام و کالاهای امدادی از سایر کشورهای جهان است [۱۴].

کاربرد ویژه‌ای دارد و از طریق تأمین و توزیع به موقع منابع و کالاهای امدادی از قبیل دارو، غذا و چادر برای آسیب‌دیدگان و همچنین حمل و نقل و انتقال مصدومان و آسیب‌دیدگان به مراکز درمانی محقق می‌گردد. بنابراین قسمت اعظم مدیریت در بحران زلزله همان مدیریت زنجیره‌ی تأمین امداد است چرا که با مدیریت مناسب در زنجیره‌ی تأمین امداد می‌توان خسارات ناشی از زلزله را به مقدار زیادی کاهش داد و از هزینه‌های آن کاست [۹، ۱۰]. به عبارت دیگر زنجیره‌ی تأمین امداد مدیریت یکپارچه بر پشتیبانی، رسیدگی به امور، حمل و نقل و توزیع کالا و ارائه‌ی خدمات به آسیب‌دیدگان است. در این زنجیره هیچ عملیاتی بدون پشتیبانی نمی‌تواند به اهداف خود دست یابد، لذا پشتیبانی و تدارکات و تأمین نیازهای میدان حادثه از مهم‌ترین اهداف زنجیره‌ی تأمین امداد است که به موفقیت عملیات امداد منجر خواهد گشت [۳].

### پیشینه‌ی تحقیق

حاجی آقایی-کشتلی (۲۰۱۱) در مقاله‌ای با عنوان تخصیص مشتریان به مراکز توزیع بالقوه در شبکه‌ی زنجیره‌ی تأمین با الگوریتم ژنتیک و الگوریتم ایمنی مصنوعی، تخصیص مشتریان به مراکز توزیع را در یک شبکه‌ی زنجیره‌ی تأمین مورد بررسی قرار داد. در این تحقیق، مدل پیشنهاد شده هزینه‌ی کل را با انتخاب

لکسیکوگرافیک برای حل مسئله به کار گرفته شده است. مدل ارائه شده بر اساس طراحی یک مسئله در ابعاد واقعی پیاده‌سازی و نتایج آن به صورت کامل ارائه گردید [۲۱].

صبحی و همکارانش (۲۰۱۷) شبکه‌ای شامل مراکز توزیع اقلام امدادی و مناطق آسیب‌دیده در نظر گرفتند و یک مدل چند کالایی برای مسیریابی و زمان بندی همزمان وسایل امدادی پیشنهاد و ارائه دادند. هدف مدل پیشنهادی، کمینه‌سازی کل زمان تحویل اقلام به مناطق آسیب‌دیده با در نظر گرفتن خرابی و اختلال در مسیرها ناشی از وقوع بلایا است که این اختلال به صورت سناریویی در نظر گرفته شد. همچنین برای نزدیک‌تر شدن به دنیای واقعی، چندین مرکز توزیع اقلام امدادی، محدودیت تعداد و ظرفیت برای وسایل امدادی در نظر گرفته شده است. در ادامه برای نشان دادن کاربردپذیری مدل پیشنهادی، مثال عددی بیان شده و مدل بر روی آن اجرا و نتایج محاسباتی ارائه گردید [۲۲].

### روش تحقیق

**تعریف مسئله:** در این تحقیق، سه سطح از شبکه‌ی زنجیره‌ی تأمین، تحت عنوان تأمین‌کنندگان، مراکز توزیع (بیمارستان) و مشتریان (افراد آسیب‌دیده در زلزله) تحت مطالعه قرار گرفته است. در واقع مناطقی در یک شهر بر اساس مراکز جمعیتی تقسیم‌بندی شده که هر منطقه نیز دارای یک نرخ تقاضا است. در این مناطق نیز یکسری مراکز توزیع بالقوه به نام بیمارستان‌های صحرایی بالقوه برای خدمات‌دهی به مردم حادثه دیده در زلزله پیش‌بینی گردیده است. همچنین در شهر نیز تعدادی بیمارستان‌های فیزیکی بالفعل و موجود نیز از قبل موجود است. همچنین یکسری تقاضای امداد رسانی بعد از وقوع زلزله در یک شهر توسط مردم آسیب‌دیده وجود دارد که هر بیمارستان موجود و صحرایی موصوف می‌تواند به مردم آسیب‌دیده خدمات مورد نظر را ارائه نماید. هر کدام از این مراکز توزیع (بیمارستان‌های موجود و بیمارستان‌های صحرایی بالقوه) نیز می‌توانند نوع خدمت را به مردم آسیب‌دیده در زلزله ارائه نمایند.

از طرفی نوع هزینه‌هایی که در این مطالعه در نظر گرفته شده است شامل هزینه‌ی افتتاح (تأسیس) و دیگری هزینه‌ی انتقال (ارسال) است. در هزینه‌ی افتتاح فرض بر این شده است که این هزینه برای افتتاح مراکز توزیع (بیمارستان‌های صحرایی بالقوه) مورد بهره‌برداری قرار گیرد و هزینه‌های انتقال هم که در بر گیرنده‌ی هزینه‌های انتقال مردم آسیب‌دیده (مشتریان) از مناطق زلزله‌زده است به مراکز توزیع و ارسال کالاها و خدمات به آسیب‌دیدگان در زلزله اختصاص یابد.

به عبارت دیگر از هر مرکز توزیع به مناطقی که زلزله روی داده است طبیعتاً یک فاصله و یک هزینه برای انتقال مردم آسیب‌دیده و ارائه‌ی خدمات و کالاها امدادی و درمانی وجود دارد.

در این تحقیق هدف آن است که ابتدا مراکز توزیع بالقوه‌ای به منظور تأمین خواسته‌ها و نیازهای مردم آسیب‌دیده از زلزله تأسیس گردد و در ادامه با احتساب عرضه‌ی کالاها و خدمات از تأمین‌کنندگان و تقاضای موجود و مراکز توزیع (بیمارستان‌های

گان و همکاران (۲۰۱۵)، یک مدل تک دوره‌ای و قطعی مسیریابی و زمان‌بندی برای توزیع اقلام امدادی از مرکز امداد رسانی به نقاط حادثه‌دیده با در نظر گرفتن تابع مطلوبیت، ارائه دادند که امکان خدمت‌دهی به هر نقطه‌ی حادثه‌دیده را فقط توسط یک وسیله در نظر گرفته‌اند [۱۵].

سانگ و لی (۲۰۱۶) در پژوهشی مسئله‌ی مسیریابی و تعیین بیمارستان مقصد آسیب‌دیدگان در حوادث را به صورت همزمان مورد بررسی قرار دادند [۱۶].

ذکایی و همکاران (۲۰۱۶) برای عملیات امدادی و کمک‌های بشردوستانه که دارای شرایط غیرقطعی هستند، یک مدل زنجیره‌ی تأمین سه سطحی شامل تأمین‌کنندگان، مراکز امدادی و مناطق بحران زده در نظر گرفتند. مدل آنان در عین حداقل ساختن هزینه‌های زنجیره‌ی تأمین، به دنبال بیشینه ساختن رضایت مردم آسیب‌دیده است [۱۷].

یانگ داعه کو و همکاران (۲۰۱۶) تصمیمات مکان‌یابی، تخصیص، ظرفیت مراکز تسهیلات پزشکی اضطراری را بر منطقه‌ای مفروض با قوانین مشخصی مطالعه کردند. در این پژوهش فرض شد هر مرکز کاندیدا شده، توانایی و ظرفیت اولیه‌ی مشخصی برای انجام خدمات پزشکی دارد. همچنین تعداد بیماران و نوع بیماری آن‌ها پارامتری دانسته شده در نظر گرفته شد. در این مطالعه، برای ارزیابی عملکرد مدل از شبیه‌سازی استفاده گردید. بنابراین، پاسخ‌های قطعی برای حل مدل در شرایط تصادفی ارائه شد [۱۸]. علی بزگی امیری و همکاران (۲۰۱۶) در مدلی نشان دادند مکان‌یابی مجدد کالاها و مکان‌های امدادی به توزیع کارای امداد توسط شبکه‌ی لجستیک بحران کمک می‌کند. این پژوهش به ارائه‌ی مدل مکان‌یابی - تخصیص و برنامه‌ریزی توزیع در عین حال ارائه‌ی بهترین سیاست‌گذاری برای تجدید کالاها فسادپذیر در فاز قبل بحران پرداخته است. همچنین، برای مقابله با عدم قطعیت مسئله از روش رویاست استفاده کرده است. کارایی مدل با مطالعه‌ی موردی در ایران نشان داده شده است [۱۹].

توکلی مقدم و همکارانش (۲۰۱۶) در پژوهشی به طراحی یک شبکه‌ی زنجیره‌ی تأمین امداد منسجم و قوی با توجه به توزیع کالاها با ماهیت فاسدشدنی پرداختند. در این پژوهش کالاها فاسدشدنی از قبیل کالاهای پزشکی و غذایی از قبیل شیر دارای طول عمر مشخصی است که در شبکه‌ی زنجیره‌ی تأمین امداد برای استفاده‌ی آسیب‌دیدگان در نقاط تقاضا توزیع می‌گردد. در این پژوهش، فاجعه چنین در نظر گرفته شد که ممکن است پس از یک مدت زمان طولانی رخ دهد [۲۰].

عابد اف و داودپور (۲۰۱۷) در پژوهش خود یک مدل بهینه‌سازی چندهدفه برای لجستیک مجروحان تحت شرایط عدم قطعیت ارائه دادند، که شامل اهداف بشردوستانه و هزینه‌ای است. همچنین مسئله‌ی مسیریابی وسایل نقلیه در انتقال مجروحان و مکان‌یابی ایستگاه‌های درمانی در صورت کمبود ظرفیت بیمارستان‌ها، لحاظ شده است. برای بهینه‌سازی مسئله‌ی تحت شرایط عدم قطعیت از رویکرد بهینه‌سازی استوار استفاده شده است. با توجه به اولویت و اهمیت در اهداف روش

۱۲. توابع هدف شامل کمینه‌سازی هزینه‌های ارسال افراد آسیب‌دیده به بیمارستان‌ها، انتقال کالا و خدمات از تأمین‌کنندگان به بیمارستان‌ها و در نهایت هم هزینه‌های احداث بیمارستان‌های صحرایی بالقوه است.

### نمادها

به منظور توسعه‌ی مدل ریاضی شبکه‌ی زنجیره‌ی تأمین امداد در زلزله نمادهای زیر استفاده شده‌اند.

#### مجموعه‌ها

$I = 1, \dots, I$ : اندیس تأمین‌کنندگان  
 $J = 1, \dots, J$ : اندیس بیمارستان‌های موجود  
 $K = 1, \dots, K$ : اندیس بیمارستان‌های صحرایی بالقوه  
 $h = 1, \dots, H$ : اندیس  $H = J \cup K$  بیمارستان‌ها  
 $r = 1, \dots, R$ : اندیس افراد آسیب‌دیده در زلزله  
 $l = 1, \dots, L$ : اندیس نوع کالا و خدمات برای سرویس‌دهی به افراد آسیب‌دیده در زلزله

#### پارامترها

$f_k$ : هزینه‌ی ثابت تأسیس یا افتتاح بیمارستان صحرایی بالقوه‌ی k  
 $Q_i$ : ظرفیت عرضه‌ی کالا و خدمات توسط تأمین‌کننده‌ی i (در حالت تک خدمتی)  
 $Q_{i\#}$ : ظرفیت عرضه‌ی کالا و خدمات نوع توسط تأمین‌کننده‌ی i (در حالت چند خدمتی)  
 $q_h$ : ظرفیت هر بیمارستان  
 $d_r$ : میزان تقاضای شخص آسیب‌دیده‌ی r به کالا و خدمات (در حالت تک خدمتی)  
 $d_{r\#}$ : میزان تقاضای شخص آسیب‌دیده‌ی r به کالا و خدمات نوع (در حالت چند خدمتی)  
 $c_{h\#}$ : هزینه‌ی انتقال فرد آسیب‌دیده‌ی r به بیمارستان h  
 $c_{h\#}^i$ : هزینه‌ی ارسال کالا و خدمات از تأمین‌کننده‌ی i به بیمارستان h (در حالت تک خدمتی)  
 $c_{h\#}^l$ : هزینه‌ی ارسال کالا و خدمات نوع از تأمین‌کننده‌ی l به بیمارستان h (در حالت چند خدمتی)  
 $n$ : حداکثر تعداد بیمارستان صحرایی بالقوه‌ی k

#### متغیرهای تصمیم

$x_{ij}$ : برابر است با یک اگر شخص آسیب‌دیده‌ی r در زلزله به بیمارستان موجود j تخصیص یابد در غیر این صورت صفر.  
 $w_{k\#}$ : برابر است با یک اگر شخص آسیب‌دیده‌ی r در زلزله به بیمارستان صحرایی بالقوه‌ی k تخصیص یابد در غیر این صورت صفر.  
 $y_k$ : برابر است با یک اگر بیمارستان صحرایی بالقوه‌ی k تأسیس شود در غیر این صورت صفر.  
 $Z_{h\#}$ : میزان کالا یا خدمات ارسال شده از تأمین‌کننده‌ی i به بیمارستان h (در حالت تک خدمتی).

موجود و صحرایی بالقوه)، هزینه‌ی افتتاح و هزینه‌ی انتقال با یک نوع خدمت و چند نوع خدمتی، کمینه گردد. ضمناً در این تحقیق فرض شد که مراکز توزیع بالقوه، ظرفیت مشخص و محدودی دارند. به منظور حل مدل در این تحقیق از الگوریتم‌های فرا ابتکاری بهینه‌سازی ازدحام ذرات و کرم شب‌تاب بهره برده شده است.

### مفروضات مسئله

- به منظور توسعه‌ی مدل ریاضی زنجیره‌ی تأمین امداد در حادثه‌ی زلزله فرضیات زیر مد نظر قرار گرفته است:
- سطوح شبکه‌ی زنجیره‌ی تأمین امداد در این تحقیق به صورت سه سطحی شامل تأمین‌کنندگان، توزیع‌کنندگان و مشتریان است که همان آسیب‌دیدگان در زلزله هستند.
- شهر بر اساس مراکز جمعیتی به مناطقی تقسیم شده است و هر منطقه دارای یک نرخ تقاضا است.
- در مناطق مورد نظر در شهر هم یکسری مراکز توزیع بالقوه به نام بیمارستان‌های صحرایی بالقوه برای خدمات‌دهی به مردم حادثه دیده در زلزله پیش‌بینی شده است.
- یکسری هم تأمین‌کننده برای عرضه‌ی کالاها و خدمات به مراکز توزیع موجود است.
- در شهر مورد مطالعه هم تعدادی بیمارستان موجود با جایگاهی ثابت وجود دارد که آماده‌ی خدمات‌دهی به آسیب‌دیدگان است.
- با توجه به بروز زلزله و امکان خرابی و یا آسیب ساختمان‌های بیمارستان‌های موجود در شهر مورد مطالعه، ظرفیت سرویس‌دهی بیمارستان‌های موجود شهر موصوف برای خدمات به آسیب‌دیدگان در زلزله، ۵۰ درصد فرض شده است.
- ظرفیت سرویس‌دهی بیمارستان‌های صحرایی بالقوه هم مشخص و محدود است.
- بعد از وقوع زلزله در شهر هم یکسری تقاضای امداد رسانی توسط مردم آسیب‌دیده وجود دارد که بیمارستان‌های موجود و بالقوه‌ی صحرایی می‌توانند خدمات مورد نظر را ارائه دهند.
- هر کدام از این مراکز توزیع (بیمارستان‌های موجود و بالقوه) نیز می‌توانند نوع خدمت را به مردم آسیب‌دیده ارائه نمایند.
- دو نوع هزینه در این تحقیق وجود دارد که یکی هزینه‌ی افتتاح است که این هزینه برای افتتاح مراکز توزیع بالقوه (بیمارستان‌های صحرایی) مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرد و دیگری هزینه‌ی انتقال است که در برگیرنده‌ی هزینه‌های انتقال مردم آسیب‌دیده از مناطق زلزله‌زده به مراکز توزیع برای بهره‌مندی از خدمات و کالاها در نظر گرفته شده است.
- از هر مرکز توزیع به مناطقی که زلزله روی داده است هم طبیعتاً یک فاصله و یک هزینه برای انتقال مردم آسیب‌دیده و ارائه‌ی خدمات امدادی و درمانی وجود دارد.

که هر فرد آسیب دیده در صورتی به بیمارستان های صحرایی بالقوه تخصیص می یابد که آن بیمارستان تأسیس شده باشد. محدودیت ۵ محدودیت عرضه ی تأمین کنندگان است. محدودیت ۶ و ۷ محدودیت بالانس عرضه و تقاضای مراکز توزیع (بیمارستان ها) است. محدودیت ۸ متغیرهای تصمیم مسئله را نشان می دهد.

### یافته های تحقیق

#### الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات<sup>۵</sup>

الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات به منزله ی یک تکنیک جستجو اولین مرتبه توسط ابرهاتر<sup>۶</sup> و کندی<sup>۷</sup> و در سال ۱۹۹۵ با الهام از حرکت و رفتار اجتماعی گروهی پرندگان و ماهی ها هنگامی که دنبال غذا می گردند پیشنهاد و معرفی گردید. این الگوریتم یک الگوریتم پیوسته است و اعضای جمعیت جواب ها، به صورت مستقیم با یکدیگر در ارتباط هستند و از طریق تبادل اطلاعات، به حل مسئله می رسند [۲۳].

اساس کار آن بر این اصل استوار است که در هر لحظه هر ذره مکان خود را در فضای جستجو با توجه به بهترین مکانی که تاکنون خود در آن قرار گرفته و بهترین مکانی که در کل یافت شده است، تنظیم می کند. در PSO، ذرات در فضای جستجو جاری می شوند. تغییر مکان ذرات در فضای جستجو تحت تأثیر تجربه و دانش خودشان و همسایگان شان است. بنابراین موقعیت دیگر ذرات روی چگونگی جستجوی یک ذره اثر می گذارد. نتیجه ی مدل سازی این رفتار اجتماعی، فرایند جستجویی است که ذرات به سمت نواحی موفق حرکت می نمایند.

در این راستا، ذرات از یکدیگر می آموزند و بر مبنای دانش به دست آمده به سمت بهترین همسایگان خود حرکت می نمایند. در این تکنیک از مفهوم «جانمایی همسایگی<sup>۸</sup>» استفاده می شود. مفهوم جانمایی، یعنی هر ذره بهترین موقعیت قبلی خود و هر یک از ذرات موجود در جمعیت را به خاطر می آورد و به عبارت دیگر در هر لحظه هر ذره مکان خود را در فضای جستجو با توجه به بهترین مکانی که تاکنون در آن قرار گرفته و بهترین مکانی که در کل همسایگی اش وجود دارد، تنظیم می کند. هر راه حل که به آن یک ذره گفته می شود، یک مقدار شایستگی دارد که توسط یک تابع شایستگی محاسبه می شود. همچنین در این الگوریتم هر ذره دارای یک بردار سرعت نیز هست که هدایت حرکت ذره را بر عهده دارد. هر ذره با دنبال کردن ذرات بهینه در حالت فعلی، به حرکت خود در فضای مسئله ادامه می دهد. به عبارت دیگر گروهی از ذرات در آغاز به کار، به صورت تصادفی به وجود می آیند و با به روز کردن نسل ها سعی در یافتن راه حل بهینه می نمایند [۲۴].

#### الگوریتم کرم شب تاب<sup>۹</sup>

الگوریتم کرم شب تاب یکی از جدیدترین الگوریتم های بهینه سازی مبتنی بر هوش دسته جمعی است که اولین بار در سال ۲۰۰۸ توسط فردی به نام یانگ<sup>۱۰</sup> و بر اساس رفتار خاموش و روشن شدن کرم های شب تاب معرفی و طراحی شد. استفاده از این الگوریتم نیز روز به روز رو به افزایش است. نحوه ی عملکرد الگوریتم

$Z_h^l$ : میزان کالا یا خدمات نوع ارسال شده از تأمین کننده ی  $i$  به بیمارستان  $h$  (در حالت چند خدمتی).

### مدل ریاضی

در این مدل هدف کمینه نمودن هزینه ها مدنظر است. در واقع این مدل از حاصل جمع چهار بخش ایجاد شده است که تابع هدف این مدل به ترتیب شامل هزینه های ارسال افراد آسیب دیده به بیمارستان های موجود، ارسال افراد آسیب دیده به بیمارستان های صحرایی بالقوه، انتقال کالا و خدمات از تأمین کنندگان به بیمارستان ها و در نهایت هم هزینه ی احداث راه اندازی بیمارستان های صحرایی بالقوه است.

$$Min Z = \sum_{r=1}^R \sum_{j=1}^J c_{rj} x_{rj} + \sum_{r=1}^R \sum_{k=1}^K c_k w_k +$$

$$\sum_{l=1}^L \sum_{i=1}^I \sum_{h=1}^H c_h^l Z_h^l + \sum_{k=1}^K f_k Y_k$$

s.t.

$$\sum_{j=1}^J x_{rj} + \sum_{k=1}^K w_k = 1 \quad \forall r = 1, \dots, R \quad \text{رابطه ی ۱}$$

$$\sum_{k=1}^K Y_k \leq n \quad \text{رابطه ی ۲}$$

$$\sum_{r=1}^R x_{rj} \leq q_j \quad \forall j = 1, \dots, J \quad \text{رابطه ی ۳}$$

$$\sum_{r=1}^R w_k \leq q_k Y_k \quad \forall k = 1, \dots, K \quad \text{رابطه ی ۴}$$

$$\sum_{h=1}^H Z_h^l \leq Q_l \quad \forall i = 1, \dots, I, \quad \forall l = 1, \dots, L \quad \text{رابطه ی ۵}$$

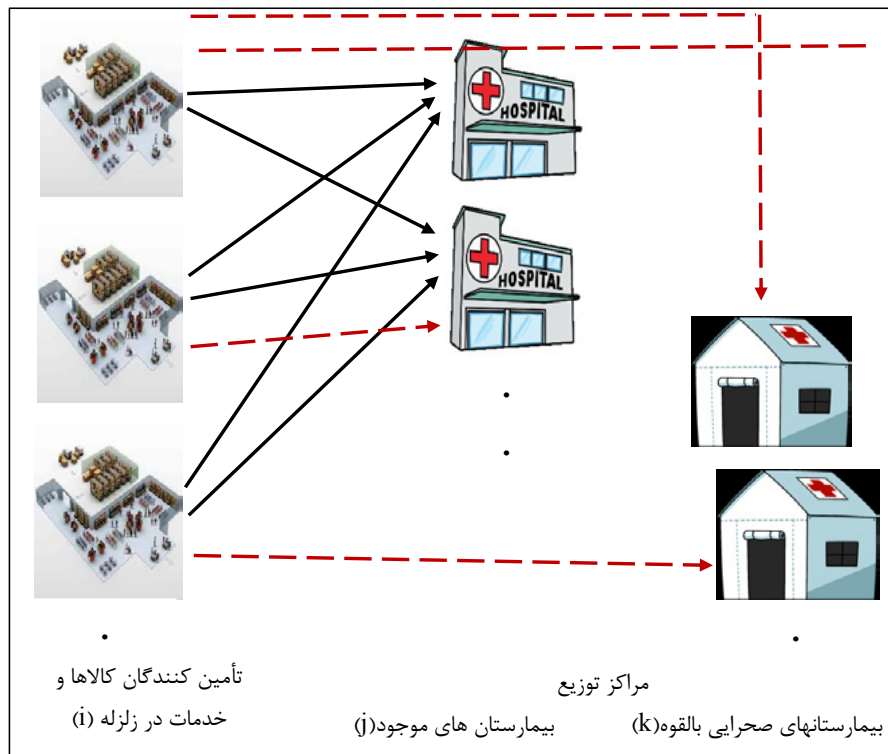
$$\sum_{i=1}^I Z_{ij}^l = \sum_{r=1}^R d_t x_{rj} \quad \forall l = 1, \dots, L, \quad \forall j = 1, \dots, J \quad \text{رابطه ی ۶}$$

$$\sum_{i=1}^I Z_{ik}^l = \sum_{r=1}^R d_t w_k \quad \forall k = 1, \dots, K \quad \text{رابطه ی ۷}$$

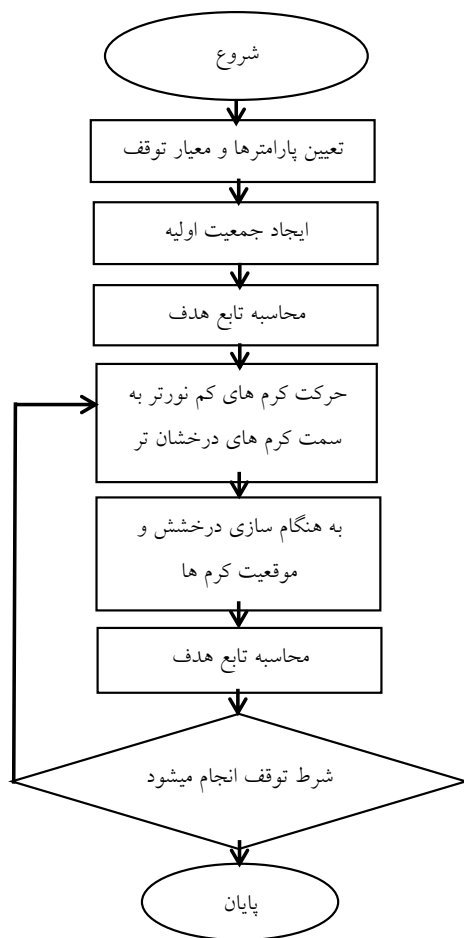
$$x_{rj}, w_k, Y_k \in \{0,1\}, Z_h^l \geq 0 \quad \text{رابطه ی ۸}$$

محدودیت ۱ بیان می دارد هر فرد آسیب دیده در زلزله را دقیقاً به یک بیمارستان موجود یا صحرایی بالقوه تخصیص می دهد. محدودیت ۲ حداکثر تعداد بیمارستان های صحرایی بالقوه را بیان می نماید.

محدودیت ۳ و ۴ محدودیت ظرفیت بیمارستان های موجود و صحرایی بالقوه است. علاوه بر آن محدودیت ۴ تضمین می نماید



تصویر ۱: نمای کلی از شبکه‌ی زنجیره‌ی تأمین امداد مورد مطالعه در تحقیق



تصویر ۲: نمودار مراحل عملیاتی الگوریتم کرم شب تاب [۲۶]

کرم شب تاب بدین صورت است که ابتدا تعدادی کرم شب تاب به طور تصادفی توزیع می‌شوند و سپس هر کرم شب تاب از خود نوری ساطع می‌کند که شدت آن متناسب با میزان بهیجگی نقطه‌ای است که آن کرم شب تاب در آن واقع شده است. سپس شدت نور هر کرم شب تاب مرتباً با شدت نور سایر کرم‌های شب تاب مقایسه شده و کرم شب تاب کم نورتر به سوی کرم‌های شب تاب پر نورتر جذب می‌شود. در عین حال پرنورترین کرم شب تاب نیز با هدف افزایش شانس یافتن جواب بهینه‌ی سراسری به طور تصادفی در دامنه‌ی مسئله حرکت می‌کند. در این الگوریتم کرم‌های شب تاب از طریق انتشار نور به تبادل اطلاعات با یکدیگر می‌پردازند. ترکیب این عملیات دسته جمعی باعث می‌شود که گرایش کلی کرم‌های شب تاب به سوی نقطه‌ی بهینه‌تر باشد [۲۵].

**تولید کروموزوم برای حل مدل توسط الگوریتم‌های مورد مطالعه**  
با توجه به مدل ارائه شده برای تولید کروموزوم و جواب‌های اولیه، به ذکر مثالی نمونه در این خصوص پرداخته می‌شود.  
**داده‌ها برای حل مثال نمونه**

در این مثال مراکز ی به منزله‌ی تأمین‌کننده که به بیمارستان‌های موجود و بیمارستان‌های صحرایی بالقوه ارائه خدمت می‌کنند و به آن‌ها کالاها و خدمات مورد نظر را ارائه و ارسال می‌کنند با عنوان I وجود دارند. همچنین تعدادی بیمارستان موجود در شهر تحت عنوان J و تعدادی هم بیمارستان‌های صحرایی بالقوه در مناطقی تعیین شده تحت عنوان K موجود است. ضمناً چندین خدمت و کالا هم برای ارسال به این بیمارستان‌ها برای مصدومین تحت عنوان L قابل تعریف است. همچنین تعدادی هم افراد آسیب‌دیده در زلزله تحت عنوان R با تقاضاهای خاص

$C2(:,3)=[3 \ 1 \ 3 \ 4 \ 2 \ 2; 1 \ 4 \ 1 \ 4 \ 4 \ 3; 5 \ 2 \ 2 \ 3 \ 4 \ 3]$

• مقدار تقاضای آسیب دیدگان در زلزله (r) برای کالاها و خدمات (i):

$d=[6 \ 4 \ 8; 5 \ 5 \ 5; 6 \ 5 \ 7; 7 \ 7 \ 4; 7 \ 4 \ 4; 5 \ 7 \ 7; 5 \ 4 \ 6; 8 \ 7 \ 6; 4 \ 6 \ 8; 8 \ 7 \ 7; 8 \ 7 \ 7; 7 \ 8 \ 8]$

### اعتبارسنجی مدل با بهره‌گیری از نرم افزار گمز

در ادامه‌ی کار برای اعتبارسنجی مدل با استفاده از داده‌ها و بهره‌گیری از نرم‌افزار گمز، کد نویسی در آن محیط انجام شد و نتایج آن به شرح تصاویر ۳ و ۴ ارائه گردیده است.

در تصویر ۳ مقادیر متغیرهای تصمیم و همچنین تخصیص آسیب دیدگان به بیمارستان‌های فعال مشخص شده است. همچنین در این تصویر بیمارستان‌های فعال نیز با توجه به ماهیت صفر و یک بودن متغیر  $Y_k$  مشخص شده است.

در تصویر ۴ نیز با توجه به تخصیص آسیب دیدگان به بیمارستان‌های فعال، میزان عرضه‌ی خدمات و کالاها از تأمین‌کنندگان به بیمارستان‌ها با احتساب سه نوع خدمت در نرم‌افزار گمز ارائه شده است.

در واقع پس از ورود داده‌ها و کدنویسی در نرم‌افزار گمز و اخذ خروجی از آن، بیمارستان‌های فعال و نحوه‌ی تخصیص ۱۲ نمونه از آسیب دیدگان در زلزله به بیمارستان‌ها مشخص گردید که در جدول ۴ نشان داده شده است. با نگاهی به جدول مذکور می‌توان پی برد که هر دو بیمارستان موجود  $j_1$  و  $j_2$  فعال هستند

وجود دارند که مقرر است به بیمارستان‌های موجود و پس از آن به بیمارستان‌های صحرایی بالقوه اعزام و ارسال گردند تا تحت مداوا و درمان قرار گیرند. در ادامه داده‌هایی به شرح ذیل برای این مدل تعیین شده است.

- تعداد مراکز تأمین‌کننده: ۳ مرکز ( $i=3$ )
- تعداد بیمارستان‌های موجود بالفعل: ۲ بیمارستان ( $j=2$ )
- تعداد بیمارستان‌های صحرایی بالقوه: ۴ بیمارستان ( $k=4$ )
- ماکزیمم بیمارستان‌های صحرایی ( $n=2$ )
- تعداد کلی بیمارستان‌ها: ۶ بیمارستان ( $h=j+k$ )
- تعداد آسیب دیدگان در زلزله: ۱۲ نفر ( $r=12$ )
- ظرفیت هر بیمارستان: (۳ ۲ ۴ ۳) ( $q=3$ )
- هزینه‌ی تاسیس یا افتتاح بیمارستان‌های صحرایی بالقوه: (۳۰ ۲۰ ۴۰ ۳۰) ( $f=30$ )
- هزینه‌ی ارسال و حمل و نقل افراد آسیب دیده در زلزله (r) به بیمارستان‌ها (h):

$C1=[5 \ 5 \ 3 \ 4 \ 1 \ 1; 2 \ 2 \ 3 \ 4 \ 5 \ 2; 5 \ 4 \ 1 \ 3 \ 1 \ 1; 2 \ 4 \ 2 \ 1 \ 4 \ 1; 1 \ 2 \ 1 \ 2 \ 5 \ 5; 2 \ 3 \ 4 \ 5 \ 5 \ 3; 4 \ 1 \ 2 \ 1 \ 1 \ 3; 3 \ 1 \ 3 \ 5 \ 2 \ 1; 2 \ 3 \ 1 \ 3 \ 2 \ 5; 5 \ 4 \ 4 \ 5 \ 5 \ 4; 3 \ 5 \ 2 \ 1 \ 3 \ 2; 3 \ 1 \ 4 \ 3 \ 5 \ 3]$

- هزینه ارسال و حمل و نقل خدمات و کالاهای درمانی و امدادی (l) از تأمین‌کننده (i) به بیمارستان‌ها (h):

$C2(:,1)=[3 \ 5 \ 2 \ 2 \ 3 \ 1; 1 \ 3 \ 3 \ 5 \ 2 \ 5; 2 \ 3 \ 1 \ 1 \ 4 \ 4]$   
 $C2(:,2)=[1 \ 2 \ 1 \ 1 \ 1 \ 3; 1 \ 5 \ 5 \ 1 \ 4 \ 3; 2 \ 2 \ 5 \ 4 \ 1 \ 3]$

110 VARIABLE X.L		110 VARIABLE W.L		
	j1	j2		
r1		1.000	r3	1.000
r2	1.000		r4	
r5	1.000		r10	1.000
r6		1.000	r11	1.000
r7		1.000	r12	1.000
r8	1.000			
r9		1.000		

تصویر ۳: نتایج خروجی متغیرهای تصمیم در نرم‌افزار گمز

110 VARIABLE Y.L  
 k1 1.000, k2 1.000

110 VARIABLE Z.L			
	11	12	13
i1.j2		18.000	29.000
i1.k1	21.000	20.000	
i1.k2	10.000	4.000	
i2.j1	20.000	16.000	15.000
i2.j2	10.000		
i2.k2		10.000	
i3.j2	10.000	3.000	
i3.k1			22.000
i3.k2	5.000		11.000

110 VARIABLE obj.L = 439.000

تصویر ۴: نتایج تخصیص تأمین‌کننده‌ها به بیمارستان‌های فعال در نرم‌افزار گمز و مقدار بهینه‌ی تابع هدف





جدول ۴: تخصیص آسیب دیدگان به بیمارستان‌ها

		بیمارستان‌های موجود و صحرایی بالقوه					
		$j_1$	$j_2$	$k_1$	$k_2$	$k_3$	$k_4$
آسیب دیدگان در زلزله	$r_1$		*				
	$r_2$	*					
	$r_3$			*			
	$r_4$				*		
	$r_5$	*					
	$r_6$		*				
	$r_7$		*				
	$r_8$	*					
	$r_9$		*				
	$r_{10}$			*			
	$r_{11}$				*		
	$r_{12}$			*			

جدول ۵: تخصیص و مقادیر نوع خدمت از تأمین‌کنندگان به بیمارستان‌ها

		نوع خدمت		
		$L_1$	$L_2$	$L_3$
تأمین‌کنندگان	$i_1 \cdot j_2$	۰	۱۸	۲۹
	$i_1 \cdot k_1$	۲۱	۲۰	۰
	$i_1 \cdot k_2$	۱۰	۴	۰
	$i_2 \cdot j_1$	۲۰	۱۶	۱۵
	$i_2 \cdot j_2$	۱۰	۰	۰
	$i_2 \cdot k_2$	۰	۱۰	۰
	$i_3 \cdot j_2$	۱۰	۳	۰
	$i_3 \cdot k_1$	۰	۰	۲۲
	$i_3 \cdot k_2$	۵	۰	۱۱

دوم و بیمارستان‌های صحرایی بالقوه اول و دوم کالا و خدمات ارسال می‌نماید.

بر اساس جدول فوق مشخص می‌گردد که از سه نوع خدمت با توجه به نوع بیمارستان هر تأمین‌کننده چه مقدار کالا و خدمات را به بیمارستان‌های فوق‌الذکر ارسال می‌نماید.

همچنین طبق جدول ۵ نیز می‌توان گفت هر بیمارستان فعال چه میزان کالاها و خدمات به تفکیک نوع خدمت از تأمین‌کننده‌ها دریافت می‌نماید.

همچنین طبق جدول ۷ میزان کالاها و خدمات عرضه‌شده از تأمین‌کنندگان به بیمارستان‌های فعال به تفکیک نوع خدمت منعکس شده است.

و بیمارستان‌های صحرایی بالقوه  $k_1$  و  $k_2$  نیز فعال و در نهایت بیمارستان‌های صحرایی بالقوه  $k_3$  و  $k_4$  غیر فعال هستند.

همچنین با توجه به سه نوع خدمت تعریف شده در مثال و با عنایت به نتایج نرم‌افزار گمز مقادیر هر کدام از این سه نوع خدمت در تعامل با تأمین‌کنندگان و بیمارستان‌های فعال در جدول ۵ منعکس شده است.

در واقع تأمین‌کننده‌ی اول فقط به بیمارستان موجود دوم و بیمارستان‌های صحرایی بالقوه‌ی اول و دوم کالاها و خدمات را ارسال می‌نماید و تأمین‌کننده‌ی دوم نیز به بیمارستان‌های موجود اول و دوم و بیمارستان صحرایی بالقوه‌ی دوم کالا و خدمات ارسال می‌نماید و در نهایت نیز تأمین‌کننده‌ی سوم به بیمارستان موجود

جدول ۶: میزان تقاضای کالاها و خدمات بیمارستان‌ها بر اساس نوع خدمت

		نوع خدمت		
		$L_1$	$L_2$	$L_3$
بیمارستان‌ها	$j_1$	۲۰	۱۶	۱۵
	$j_2$	۲۰	۲۱	۲۹
	$k_1$	۲۱	۲۰	۲۲
	$k_2$	۱۵	۱۴	۱۱

جدول ۷: میزان عرضه کالاها و خدمات از تأمین‌کنندگان به بیمارستان‌ها بر اساس نوع خدمت

		نوع خدمت		
		$L_1$	$L_2$	$L_3$
تأمین‌کنندگان	$i_1$	۳۱	۴۲	۲۹
	$i_2$	۳۰	۲۶	۱۵
	$i_3$	۱۵	۳	۳۳

جدول ۸: محاسبه‌ی مقدار هزینه‌ها به تفکیک چهار بخش مدل ریاضی تحقیق

ردیف	نوع هزینه	مقدار محاسبه شده
۱	بخش اول تابع هدف: هزینه‌ی ارسال آسیب‌دیدگان به بیمارستان‌های موجود فعال	۱۸
۲	بخش دوم تابع هدف: هزینه‌ی ارسال آسیب‌دیدگان به بیمارستان‌های صحرایی بالقوه‌ی فعال	۱۱
۳	بخش سوم تابع هدف: هزینه‌ی ارسال خدمات از تأمین‌کنندگان به بیمارستان‌های فعال	۳۶۰
۴	بخش چهارم تابع هدف: هزینه‌ی استقرار بیمارستان‌های صحرایی بالقوه (فعال)	۵۰
	جمع کل (مقدار تابع هدف محاسبه شده)	۴۳۹

تشکیل این کروموزوم این نکته رعایت شده است که حداکثر  $n$  بیمارستان صحرایی بالقوه به آسیب‌دیدگان در زلزله اختصاص می‌یابد و بیمارستانی هم از حداکثر ظرفیت تعریف‌شده‌ی خود، فرد آسیب‌دیده‌ی بیشتری پذیرش ننماید.

#### نتایج و خروجی دو الگوریتم فراابتکاری

با توجه به کدنویسی انجام شده و با در نظر گرفتن داده‌های به کار رفته در این بخش نتایج حاصل شده در دو الگوریتم فرا ابتکاری به شرح ذیل است:

- الگوریتم کرم شب‌تاب: در خروجی این الگوریتم مقدار بهینه‌ی تابع هدف عدد ۴۳۹ حاصل شد. همچنین بیمارستان‌های موجود  $z_1$  و  $z_2$  بیمارستان‌های صحرایی بالقوه‌ی  $k_1$  و  $k_2$  به منزله‌ی بیمارستان‌های فعال و  $k_3$  و  $k_4$  بیمارستان‌های صحرایی بالقوه‌ی غیر فعال مشخص گردید که ۱۲ آسیب‌دیده به این ۴ بیمارستان فعال به شکل ذیل تخصیص یافته‌اند.

با توجه به تصویر ۶ مشخص گردید در این الگوریتم کدام آسیب‌دیدگان به کدام بیمارستان‌های فعال تخصیص یافتند و هیچ محدودیت ظرفیت بیمارستانی نیز نقض نگردید.

پس از اینکه مشخص شد کدام آسیب‌دیدگان به چه بیمارستان‌های فعالی تخصیص یافتند در مرحله‌ی بعدی میزان

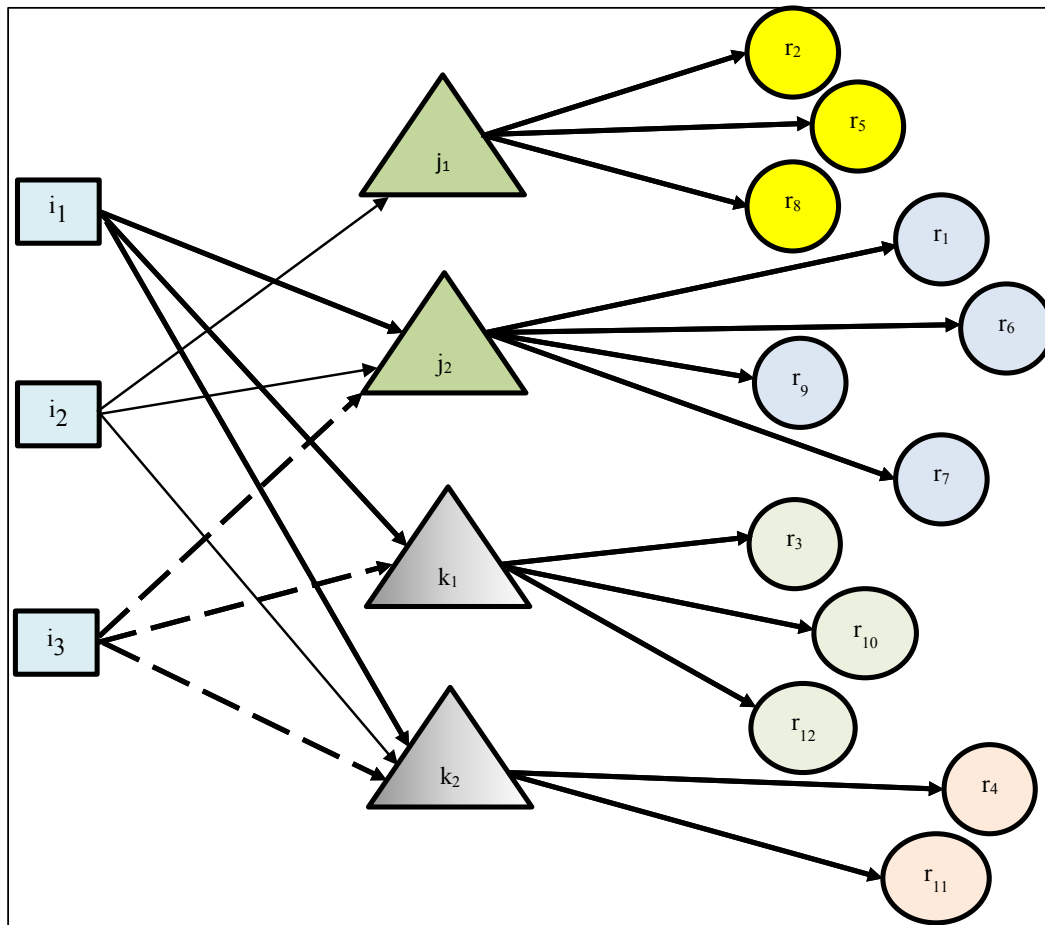
در ادامه نیز با توجه به مدل ریاضی تحقیق و مقادیر دیتاهای هزینه و با توجه به بیمارستان‌های فعال و خدمات و کالاهای ارسالی از تأمین‌کنندگان به بیمارستان‌های فعال، مقادیر هزینه‌ها به شرح جدول ذیل و به صورت دستی محاسبه شده است:

$$MinZ = \sum_{r=1}^R \sum_{j=1}^J c_{rj} x_{rj} + \sum_{r=1}^R \sum_{k=1}^K c_k w_k + \sum_{l=1}^L \sum_{i=1}^I \sum_{h=1}^H c'_{ih} z'_{ih} + \sum_{k=1}^K f_k Y_k$$

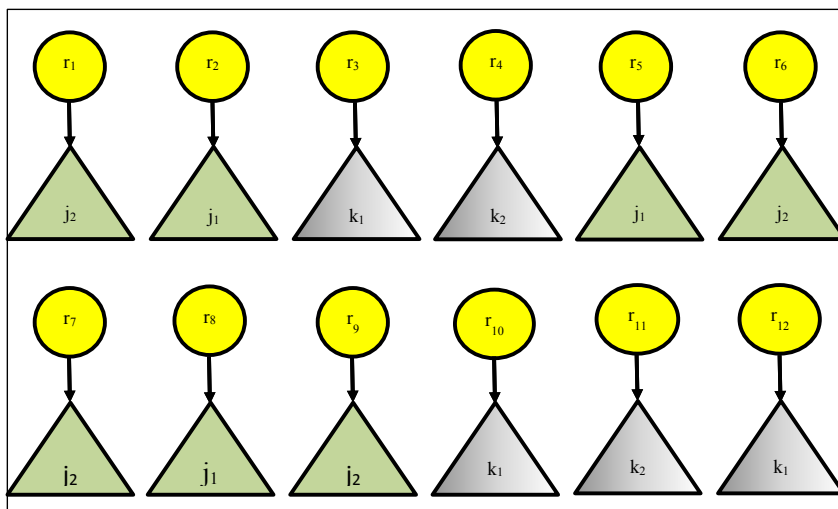
مقدار بهینه‌ی تابع هدف مدل مسئله نیز با بهره‌گیری از نرم‌افزار گمز عدد ۴۳۹ حاصل شده است که صحت و درستی مدل و فرایند انجام حل آن را تضمین می‌نماید.

#### تشکیل کروموزوم برای حل مسئله

با توجه به دیتاهای تعریف شده و مدل ریاضی تحقیق، کروموزومی به تعداد آسیب‌دیدگان در زلزله تشکیل می‌دهیم که در هر خانه (ژن) این کروموزوم یک عدد که نشان‌دهنده‌ی بیمارستان‌های موجود یا بیمارستان‌های صحرایی بالقوه هست قرار می‌گیرد. در واقع بیانگر آن است که آن فرد آسیب‌دیده به یکی از بیمارستان‌های مشخص شده اختصاص می‌یابد. در



تصویر ۵: شبکه‌ی ارتباط تأمین‌کنندگان و بیمارستان‌های فعال و آسیب‌دیدگان حاصل از خروجی نرم‌افزار گمز



تصویر ۶: نحوه‌ی تخصیص آسیب‌دیدگان به بیمارستان‌های فعال در الگوریتم کرم شب‌تاب

در مرحله‌ی بعدی یک سری نقاط تقاضا تحت عنوان بیمارستان‌های فعال و یک سری نقاط عرضه یا همان تأمین‌کنندگان داریم. در واقع این مسئله نیز به بیان ساده‌تر همان مسئله‌ی حمل و نقل است لذا برای حل این مسئله به صورت دستی ابتدا با روش راسل یک جواب شدنی (اولیه) حاصل شد سپس با بهره‌گیری از روش توزیع تعدیل شده " جواب حاصل از

تقاضای هر بیمارستان مشخص می‌گردد که این میزان تقاضا برابر مجموع تقاضاهای آسیب‌دیدگان تخصیص یافته به همان بیمارستان‌ها و به تفکیک هر خدمت است، بنابراین میزان تقاضای بیمارستان‌ها در حالت کلی و به تفکیک چهار بیمارستان فعال چنین است:  $j_1=51$  و  $j_2=70$  و  $k_1=63$  و  $k_2=40$ . اطلاعات جزئی و تفکیکی این موضوع نیز در جدول ۹ آورده شده است.

جدول ۹: وضعیت میزان تقاضای بیمارستان‌ها بر اساس نوع خدمت و آسیب‌دیدگان تخصیص یافته

آسیب‌دیدگان	نوع خدمت			نوع بیمارستان	ردیف
	$L_3$	$L_2$	$L_1$		
$r_2$	۵	۵	۵	$j_1$	۱
$r_5$	۴	۴	۷		۲
$r_8$	۶	۷	۸		۳
جمع کل تقاضا: ۵۱	۱۵	۱۶	۲۰	جمع	
$r_1$	۸	۴	۶	$j_2$	۴
$r_6$	۷	۷	۵		۵
$r_7$	۶	۴	۵		۶
$r_9$	۸	۶	۴		۷
جمع کل تقاضا: ۷۰	۲۹	۲۱	۲۰	جمع	
$r_3$	۷	۵	۶	$k_1$	۸
$r_{10}$	۷	۷	۸		۹
$r_{12}$	۸	۸	۷		۱۰
جمع کل تقاضا: ۶۳	۲۲	۲۰	۲۱	جمع	
$r_4$	۴	۷	۷	$k_2$	۱۱
$r_{11}$	۷	۷	۸		۱۲
جمع کل تقاضا: ۴۰	۱۱	۱۴	۱۵	جمع	

۱۲ آسیب‌دیده به این ۴ بیمارستان فعال مانند تصویر ۸ تخصیص یافته‌اند.

در این الگوریتم هم همانند الگوریتم کرم شب‌تاب، میزان تقاضای بیمارستان‌های فعال به شرح ذیل حاصل گردید  $j_1=51$  و  $j_2=70$  و  $k_1=63$  و  $k_2=40$ . همچنین میزان تقاضای بیمارستان‌ها و مقادیر عرضه‌ی تأمین‌کنندگان نیز در جداول ۶ و ۷ ارائه شده است و در نهایت هم مقدار بهینه‌ی تابع هدف در این الگوریتم نیز عدد ۴۳۹ حاصل گردید. همچنین محاسبات به صورت دستی و با بهره‌گیری از روش راسل و روش تعدیل ضرایب، مقدار بهینه‌ی تابع مجدداً عدد ۴۳۹ حاصل گردید.

با توجه به آنکه دو الگوریتم به جوابی منطقی و واحد دست یافتند می‌توان نتیجه گرفت هر دو الگوریتم برای حل این مدل و داده‌های مورد نظر مناسب و کارآمد است. لذا در مرحله‌ی بعدی، با توجه به آنکه اثبات شد روش حل در این تحقیق کارآمد است، باید دو الگوریتم فراابتکاری کرم شب‌تاب و بهینه‌سازی ازدحام ذرات را با هم مقایسه نمود تا بهترین روش حل (بهترین الگوریتم) برای این تحقیق مشخص شود. چرا که شرط قیاس بین دو الگوریتم اثبات کارآمدی آن‌ها است. بنابراین در مرحله‌ی بعدی ۱۲ تست پرابلم (مسئله آزمایشی) بدین منظور کد گردید که نتایج حاصل شده در این دو الگوریتم با هم مقایسه شده است.

روش راسل بهینه گردید و در نهایت با انجام محاسبات فوق هم مقدار تابع هدف عدد ۴۳۹ حاصل گردید. در ادامه و در تصویر ۷ ماتریس تقاضا و عرضه با هزینه‌های ارسال خدمات و کالاهای تأمین‌کننده‌ی  $i$  به بیمارستان‌های فعال  $h$  به تفکیک سه نوع خدمت و مقدار بهینه‌ی تابع هدف مشخص شده است.

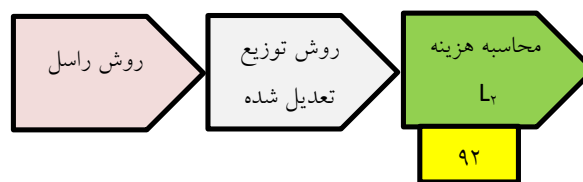
با توجه به تصویر ۷ ابتدا هر ماتریس در روش راسل به صورت دستی محاسبه و جوابی اولیه حاصل شد، در گام بعدی هم با روش تعدیل ضرایب محاسبات انجام گردید و در پایان با توجه به آنکه مقادیر  $Z_j - C_j$  متغیرهای پایه‌ای کمتر مساوی صفر گردید این نتیجه حاصل شد که تمامی سه ماتریس خدمات‌های سه گانه‌ی فوق بهینه هستند، لذا از مجموع سه هزینه‌ی هر خدمت، مقدار هزینه‌ی بهینه‌ی انتقال کالا و خدمات از تأمین‌کنندگان به بیمارستان‌ها عدد ۳۶۰ حاصل شد که در نهایت با حاصل جمع سه هزینه‌ی دیگر در تابع هدف مدل ریاضی، یعنی هزینه‌های ارسال آسیب‌دیدگان به بیمارستان‌ها و تأسیس بیمارستان‌های صحرايي بالقوه که عدد ۷۹ است، مقدار بهینه‌ی تابع هدف (با محاسبات دستی) عدد ۴۳۹ حاصل و درستی روش‌های حل انجام شده تأیید گردید.

الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات: در خروجی این الگوریتم نیز بیمارستان‌های موجود  $j_1$  و  $j_2$  و بیمارستان‌های صحرايي بالقوه‌ی  $k_1$  و  $k_2$  به‌منزله‌ی بیمارستان‌های فعال و  $k_3$  و  $k_4$  بیمارستان‌های صحرايي بالقوه‌ی غیر فعال مشخص گردید که

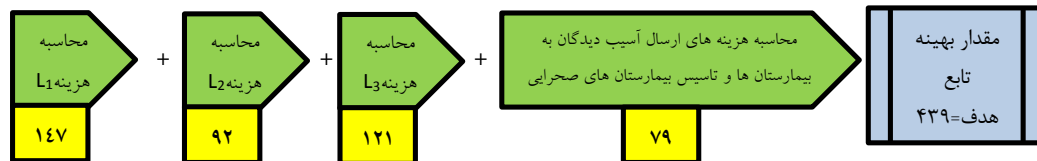
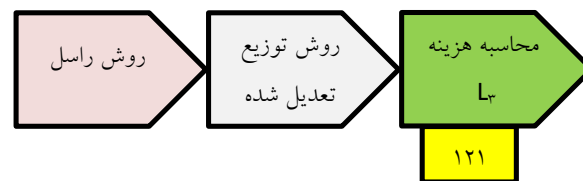
خدمت اول $L_1$				
$i_1=31$	3	5	2	2
$i_2=30$	1	3	3	5
$i_3=15$	2	3	1	1
	$j_1=20$	$j_2=20$	$k_1=21$	$k_2=15$



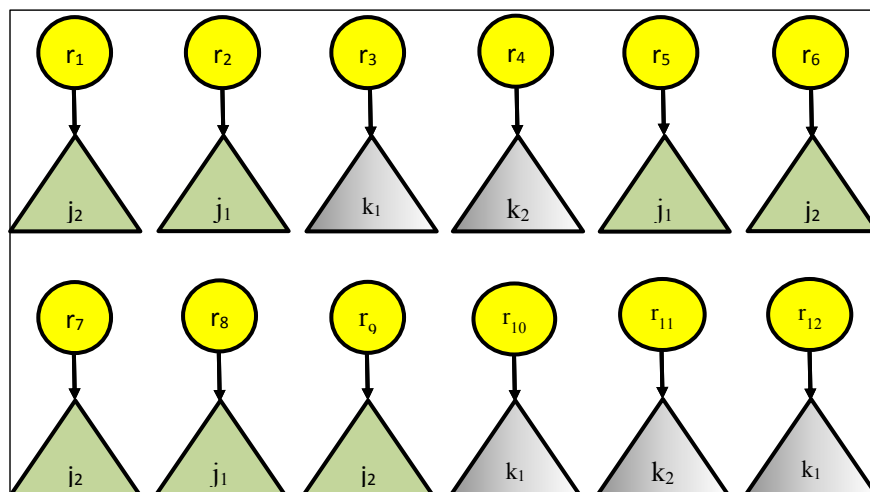
خدمت دوم $L_2$				
$i_1=42$	1	2	1	1
$i_2=26$	1	5	5	1
$i_3=3$	2	2	5	4
	$j_1=16$	$j_2=21$	$k_1=20$	$k_2=14$



خدمت سوم $L_3$				
$i_1=29$	3	1	3	4
$i_2=15$	1	4	1	4
$i_3=33$	5	2	2	3
	$j_1=15$	$j_2=29$	$k_1=22$	$k_2=11$



تصویر ۷: ماتریس اولیه و روند محاسبات مقدار بهینه‌ی تابع هدف با بهره‌گیری از روش راسل و روش توزیع تعدیل شده



تصویر ۸: نحوه‌ی تخصیص آسیب دیدگان به بیمارستان‌های فعال در الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات

شب‌تاب و بهینه‌سازی ازدحام ذرات و به منظور مقایسه‌ی عملکرد دو الگوریتم مذکور انجام گردید که نتایج آن با ۱۲ تست پرابلم و در سه تکرار و با دو عامل هزینه و زمان اجرا در جدول ۱۰ به شرح ذیل ارائه شده است.

تست (مسئله آزماینده) پرابلم داده‌ها با بهره‌گیری از الگوریتم‌های کرم شب‌تاب و بهینه‌سازی ازدحام ذرات با توجه به دیتاهای موصوف، در ادامه‌ی کار، عملیات تست پرابلم از داده‌های فوق و با بهره‌گیری از الگوریتم‌های کرم

جدول ۱۰: نتایج تست پرابلم در دو الگوریتم کرم شب‌تاب و بهینه‌سازی ذرات در سه تکرار

شماره‌ی تست	الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات		الگوریتم کرم شب‌تاب	
	زمان اجرا	هزینه	زمان اجرا	هزینه
۱	۲۱	۲۶۲	۴۶	۲۶۷
	۲۱	۲۶۲	۴۴	۲۶۲
	۱۸	۲۶۹	۴۴	۲۶۲
۲	۲۶	۶۳۶	۷۰	۶۳۱
	۲۵	۶۳۰	۷۰	۶۳۱
	۲۶	۶۳۶	۸۲	۶۲۸
۳	۳۳	۱۰۰۵	۸۹	۹۶۴
	۳۰	۹۵۹	۸۲	۹۶۷
	۲۹	۹۶۳	۸۲	۹۶۱
۴	۲۵	۶۰۵	۵۴	۵۸۶
	۱۷	۵۷۶	۵۱	۵۹۲
	۲۴	۵۹۲	۶۴	۵۹۵
۵	۶۹	۹۹۸	۱۷۲	۹۹۴
	۷۰	۱۰۰۰	۱۵۷	۱۰۰۷
	۵۰	۱۰۰۱	۱۶۶	۱۰۱۰
۶	۸۰	۱۵۸۱	۱۹۵	۱۵۹۹
	۶۶	۱۵۹۱	۱۷۴	۱۶۲۲
	۷۹	۱۵۸۲	۱۹۰	۱۶۱۵
۷	۷۰	۱۱۷۹	۱۶۴	۱۲۳۵
	۵۸	۱۱۸۶	۱۸۲	۱۲۷۳
	۶۱	۱۲۰۱	۱۴۷	۱۲۳۹
۸	۸۵	۱۸۵۴	۲۸۰	۱۹۰۸
	۱۱۴	۱۷۴۹	۲۷۰	۱۹۰۶
	۱۱۶	۱۷۵۱	۲۵۹	۱۹۴۱
۹	۱۵۸	۲۸۶۱	۴۶۳	۲۹۴۷
	۱۵۷	۲۸۷۹	۴۲۷	۲۹۴۴
	۲۲۱	۲۹۳۳	۴۵۶	۲۹۴۸
۱۰	۱۸۶	۲۵۱۳	۳۶۳	۲۶۹۸
	۱۷۷	۲۵۱۵	۳۷۹	۲۶۹۱
	۱۷۶	۲۴۹۰	۳۵۴	۲۶۶۳
۱۱	۲۷۱	۴۰۸۷	۵۱۰	۴۳۰۳
	۲۱۹	۴۲۶۱	۵۲۱	۴۳۱۵
	۲۸۷	۴۰۰۶	۴۹۱	۴۳۳۸
۱۲	۴۰۲	۵۶۶۹	۶۰۲	۶۰۴۰
	۳۵۰	۶۰۸۸	۶۴۸	۶۰۳۵
	۴۰۲	۵۶۵۷	۶۰۱	۶۰۲۱

جدول ۱۱: میانگین تست پرابلم‌ها در دو الگوریتم کرم شب‌تاب و بهینه‌سازی ازدحام ذرات

الگوریتم کرم شب‌تاب		الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات		شماره‌ی تست
هزینه	زمان اجرا	هزینه	زمان اجرا	
۲۶۳	۴۴	۲۶۴	۲۰	۱
۶۳۰	۷۴	۶۳۴	۲۵	۲
۹۶۴	۸۴	۹۷۵	۳۰	۳
۵۹۱	۵۶	۵۹۱	۲۲	۴
۱۰۰۳	۱۶۵	۹۹۹	۶۳	۵
۱۶۱۲	۱۸۶	۱۵۸۴	۷۵	۶
۱۲۴۹	۱۶۴	۱۱۸۸	۶۳	۷
۱۹۱۸	۲۶۹	۱۷۸۴	۱۰۵	۸
۲۹۴۶	۴۴۸	۲۸۹۱	۱۷۸	۹
۲۶۸۴	۳۶۵	۲۵۰۶	۱۷۹	۱۰
۴۳۱۸	۵۰۷	۴۱۱۸	۲۵۹	۱۱
۶۰۳۲	۶۱۷	۵۸۰۴	۳۸۴	۱۲

۹۷

شماره هفدهم  
بهار و تابستان  
۱۳۹۹  
دوفصلنامه  
علمی و پژوهشی



محل تخصیص آسب‌دیدگان در رزله به بیمارستان‌ها با استفاده از الگوریتم‌های فراابتکاری

پس از اخذ میانگین برای هر تست از دو الگوریتم و عوامل زمان اجرا و مقدار هزینه، در نهایت نتایج نهایی حاصل گردید و برای مقایسه‌ی دو الگوریتم، عملکرد زمان اجرای دو الگوریتم و عملکرد مقدار هزینه‌ی دو الگوریتم در نمودارهای ۲ و ۳ با هم مقایسه شده‌اند.

با توجه به تصویر ۹ می‌توان دریافت در عملکرد میزان زمان اجرا، الگوریتم PSO نسبت به الگوریتم firefly زمان کمتری را در ۱۲ تست سپری نموده است، لذا می‌توان نتیجه گرفت این الگوریتم در عملکرد زمان اجرا نسبت به الگوریتم کرم شب‌تاب عملکرد مناسب‌تری داشته است.

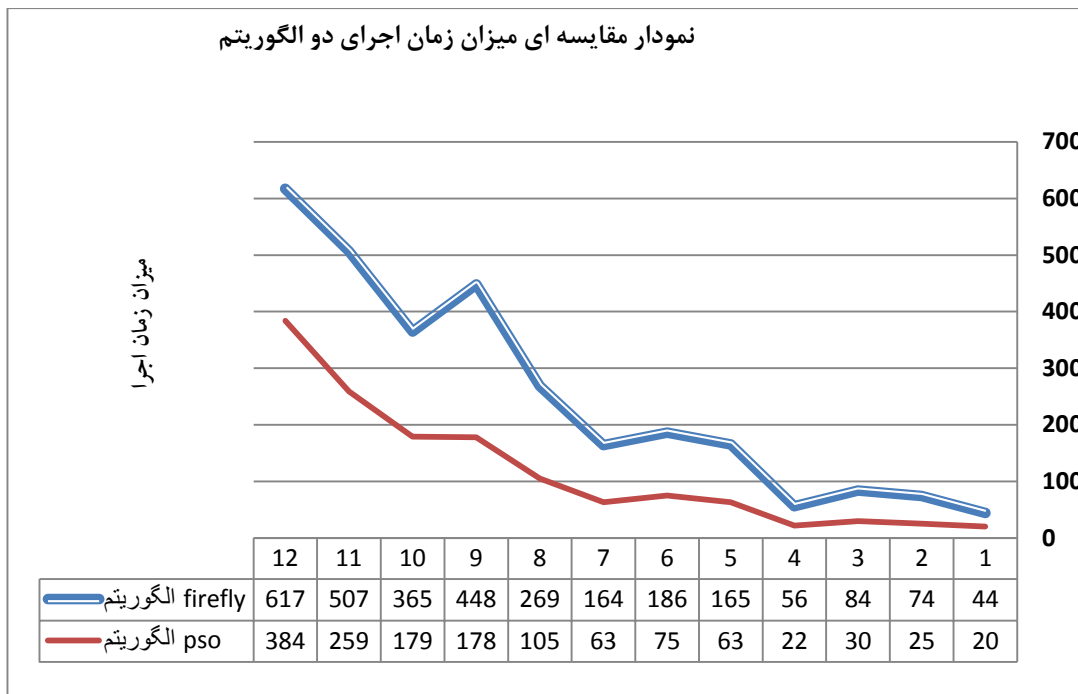
با توجه به تصویر ۱۰ می‌توان دریافت در قیاس دو الگوریتم فراابتکاری موصوف از حیث میزان هزینه، الگوریتم PSO نسبت به الگوریتم firefly مقدار هزینه‌ی کمتری را در بیشتر تست‌ها به خود اختصاص داده است لذا می‌توان نتیجه گرفت این الگوریتم عملکرد مناسب‌تری از نظر مقدار هزینه نسبت به الگوریتم کرم شب‌تاب داشته است.

همان‌طور که می‌دانیم عملکرد هر الگوریتم فراابتکاری به دو عامل هزینه و دیگری زمان اجرا بستگی دارد لذا با توجه به کدنویسی و تحلیل این دو الگوریتم فراابتکاری مورد مطالعه در محیط متلب، در این جدول در یک ستون میزان هزینه‌ی نهایی هر تست در هر الگوریتم فراابتکاری و در سه تکرار و در ستون دیگر زمانی که هر تست پرابلم برای اجرا صرف نموده است منعکس شده است.

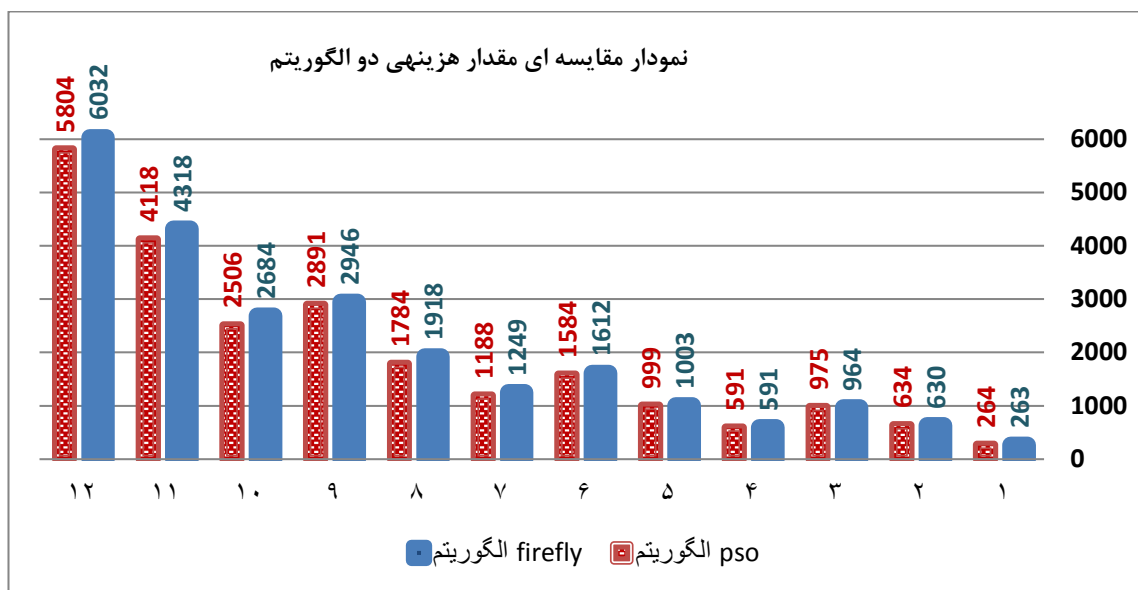
با توجه به جدول ۱۰ گفتنی است هر تست سه مرتبه اجرا شده است چرا که ماهیت الگوریتم‌های فرا ابتکاری تقریبی بودن پاسخ‌هاست. با نگاهی به نتایج تست‌ها می‌توان دریافت که با هر بار اجرا نمودن تست‌ها در دو الگوریتم مورد مطالعه پاسخ‌های متفاوتی حاصل شده است لذا به همین علت هر الگوریتم مورد مطالعه در هر تست سه مرتبه اجرا گردید و در نهایت از میان پاسخ‌ها میانگین‌گیری انجام شد که به منزله‌ی نتیجه‌ی نهایی در ادامه‌ی کار و در جدول ۱۱ نشان داده شده است.

**قیاس دو الگوریتم و انتخاب مناسب‌ترین الگوریتم**

همان‌طور که پیش‌تر گفته شد میانگین زمان اجرا و مقدار هزینه‌ی دو الگوریتم از دوازده تست پرابلم با سه تکرار گردآوری و اخذ شد که جزئیات آن در جدول ۱۱ منعکس شده است.



تصویر ۹: مقایسه‌ی عملکرد زمان اجرا در دو الگوریتم کرم شب‌تاب و بهینه‌سازی ازدحام ذرات



تصویر ۱۰: مقایسه‌ی عملکرد مقدار هزینه در دو الگوریتم کرم شب‌تاب و بهینه‌سازی ازدحام ذرات

مناسب‌تری کسب نموده است چرا که هم میزان زمان اجرای آن نسبت به الگوریتم کرم شب‌تاب کمتر بوده است و هم مقدار هزینه‌ی آن نسبت به الگوریتم کرم شب‌تاب کمتر حاصل گردیده است.

### پی‌نوشت

1. Gamz Software
2. Matlab Software
3. Test Problem
4. Data
5. Particle Swarm Optimization Algorithm

**نتیجه‌گیری**  
با توجه به نتایج حاصل شده و با بهره‌گیری از نرم‌افزار گمز و نرم‌افزار متلب در این مقاله، مثال عددی، برای نشان دادن کارایی و صحت درستی مدل و اخذ خروجی نهایی ارائه شد که برای اعتبارسنجی از نرم‌افزار گمز، نتایج خوبی حاصل گردید. در سایز متوسط و بزرگ همان‌طور که در بالا گفته شد به دلیل پیچیدگی کار از الگوریتم‌های فراابتکاری استفاده شده است که با توجه به انجام ۱۲ تست پراپلم از دو الگوریتم، به قیاس دو الگوریتم و مقایسه‌ی عملکرد زمان اجرا و مقدار هزینه‌ی آن‌ها مبادرت ورزیده شد. در نهایت نیز پس از قیاس دو الگوریتم، الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات نسبت به الگوریتم کرم شب‌تاب جواب بهتر و



planning in the earthquake response phase, Transportation Research Part E, vol 49, 217-249.

13. Ahmadi M., Seifi A., Tootooni B. (2015). A humanitarian logistics model for disaster relief operation considering network failure and standard relief time: A case study on San Francisco district, Transportation Research Part E Vol 75, 163\_145 .

14 . Camacho-Vallejo, José-Fernando. (2015). A bi-level optimization model for aid distribution after the occurrence of a disaster, Journal of Cleaner Production, Vol 105, 15\_145.

15 . Gan, X., Wang, Y., Kuang, J., Yu, Y., Niu, B. (2015). Emergency Vehicle Scheduling Problem with Time Utility in Disasters, Mathematical Problems in Engineering, Article ID 164194, 7 pages, <http://dx.doi.org/10.1155/2015/164194>.

۱۶. منصوری، الهام؛ توکلی مقدم، رضا؛ حاجی آقایی کشتلی، مصطفی (۱۳۹۴). مدل سازی شبکه لجستیک پیشرو و معکوس خدمات درمانی در شرایط بحران تحت عدم قطعیت. پایان نامه کارشناسی ارشد، گروه مهندسی صنایع دانشگاه علم و فناوری مازندران.

17. Zokaee Sh., Bozorgi-Amiri A., Sadjadi S.J. (2016). A Robust Optimization Model for Humanitarian Relief Chain Design under Uncertainty, Applied Mathematical Modelling, 43\_1 .

18. Young DaeKo, Byung DukSong , Hark Hwang. (2016). Location capacity and capability design of emergency medical centers with multiple emergency diseases, Computers & Industrial Engineering Vol 101,10-20.

19 . Bozorgi-Amiri, A.Rezaei-Malek, M., Tavakkoli-Moghaddam, R., Zahiri, B. (2016). An interactive approach for designing a robust disaster relief logistics network with perishable commodities, Computers & Industrial Engineering, Vol 94 , 201\_215.

20. Rezaei-Malek, Mohammad, Tavakkoli-Moghaddam, Reza, Zahiric, Behzad, Bozorgi-Amiri, Ali. (2016). An interactive approach for designing a robust disaster relief logistics network with perishable commodities, Computers & Industrial Engineering, Vol 94, 201\_215.

۲۱. عابداف، سجاد؛ داودپور، حمید (۲۰۱۷). ارائه‌ی مدل بهینه‌سازی استوار برای مسئله چندهدفه لجستیک امداد با در نظر گرفتن عدم قطعیت تقاضا و زمان امداد رسانی، سیزدهمین کنفرانس بین‌المللی مهندسی صنایع (IIIEC ۲۰۱۷)، دانشگاه علوم و فنون مازندران، بابلسر.

۲۲. صبوچی، فاطمه؛ جبل عاملی، محمد سعید؛ بزرگی امیری، علی (۲۰۱۷). برنامه‌ریزی ناوگان وسایل حمل و نقل برای توزیع امداد در فاز پاسخ به بحران با در نظر گرفتن اختلال در مسیر. سیزدهمین کنفرانس بین‌المللی مهندسی صنایع (IIIEC ۲۰۱۷)، دانشگاه علوم و فنون مازندران، بابلسر.

۲۳. اسمعیلی مرزونی، حامد؛ قلی پور کنعانی، یوسف (۱۳۹۵). ارائه‌ی یک مدل زمان بندی سیستم چند فرابارانداز با چندین درب در شبکه‌ی زنجیره‌ی

6. Eberhart
7. Kennedy
8. Gbest
9. Firefly Algorithm
10. Yang
11. MODI Method

## منابع

۱. اسلامی، عاطفه؛ حسنی، نعمت (۱۳۹۵). کاربرد آینده‌پژوهی در مدیریت ریسک زلزله با تقسیم دوره‌ی بازگشت به انواع آینده (مطالعه‌ی موردی: زلزله‌ی شهری). فصلنامه‌ی دانش پیشگیری و مدیریت بحران، دوره‌ی ششم، شماره‌ی اول، صفحه ۴۸-۵۷.

2. Wahlström, Margareta. (2015). Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015-2030, United Nations Special Representative of the Secretary-General for Disaster Risk Reduction, [www.unisdr.org](http://www.unisdr.org).

۳. قلاوند، کیانوش (۱۳۹۵). تأثیرات بلایای طبیعی بر توسعه‌ی پایدار و ضرورت انعطاف‌پذیری در همکاری‌های منطقه‌ای آسیا و اقیانوسیه، انجمن اقتصاد کشاورزی ایران، دانشکده اقتصاد و توسعه کشاورزی دانشگاه تهران، <http://iranianaes.ir/find.php?item=1.116.160.f>.

4. World Weather Related Natural Catastrophes By Overall And Insured Losses, 1980-2016. (2017). Available at: <http://www.iii.org/fact-statistic/catastrophes-global>, Source: ©2017 Munich Re, Geo Risks Research, NatCatSERVICE.

5. [www.ifrc.org/Global/Documents/Secretariat/201610/WDR%202016-FINAL-web.pdf](http://www.ifrc.org/Global/Documents/Secretariat/201610/WDR%202016-FINAL-web.pdf). (2016).

۶. درویش زاده، علی (۱۳۹۴). زمین‌شناسی ایران: چینه‌شناسی، تکتونیک، دگرگونی و ماگماتیسیم. تهران، مؤسسه امیرکبیر، چاپ ششم.

۷. نجفی، مهدی؛ عشقی، ساسان (۱۳۹۳). ماهنامه‌ی علمی- تخصصی لجستیک و زنجیره تأمین، مؤسسه مطالعات و پژوهش‌های بازرگانی، سال سوم، شماره ۲۶، ۸-۱۹.

8. Earthquake Lists and ststistic. (2017). Available at:<https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/browse/>.

9. Jabbarzadeh, Armin, Zokaee, Shiva. (2015). Humanitarian relief supply chain network design using interval robust optimization. *International Journal of Industrial Engineering & Production Management*, Vol 26, Number 4, 543-556.

10. Kovács, Gyöngyi, Spens, Karen M. (2012). Relief Supply Chain Management for Disasters: Humanitarian, Aid and Emergency Logistics, Published in the United States of America by Business Science Reference (an imprint of IGI Global), DOI: 10.4018/978-1-60960-824-8.

۱۱. سعیدی، بهنام؛ فخری بافقی، بی بی الهام؛ آزاده، حسن؛ احمدی توانا، بهمن؛ بختیاری، علی؛ حاج احمدی، رسول (۱۳۹۴). چارچوب سندی برای کاهش خطرپذیری سوانح ۲۰۱۵-۲۰۳۰، تهران، انتشارات کتاب پدیده، اول.

12. M. Najafi, K. Eshghi, W. Dullaert. (2013). A multi-objective robust optimization model for logistics

تأمین و حل آن، ۱۳۹۵، پایان نامه کارشناسی ارشد، گروه مهندسی صنایع دانشگاه آزاد اسلامی واحد قائمشهر.

24. Pan, Hongxia., Ma, Qingfeng., Wei, Xiuye. (2006). Research on Fault Diagnosis of Gearbox Based on Particle Swarm Optimization Algorithm., ICM 2006 IEEE 3rd International Conference on Mechatronics.
25. Yang, X.-S. (2009). Firefly algorithms for multi modal optimization, Computer Sciences, pages 169-178.
۲۶. سیف زرگر، امید؛ اسماعیلی، حمید (۲۰۱۷). طراحی اقتصادی - آماری نمودار MEWMA به وسیله الگوریتم کرم شب تاب. سیزدهمین کنفرانس بین المللی مهندسی صنایع (IIEC ۲۰۱۷)، دانشگاه علوم و فنون مازندران، بابلسر.

۱۰۰

شماره هفدهم

بهار و تابستان

۱۳۹۹

دوفصلنامه  
علمی و پژوهشی



استفاده از الگوریتم های فراابتکاری  
مدل تخصیص آسیب دیدگان در زلزله به بیمارستان ها با