

# توسعه یک روش ابتکاری برای بهینه‌سازی مسئله مکان‌یابی و تخصیص در عملیات امدادرسانی به مصدومان زلزله

حسین آقامحمدی<sup>۱\*</sup>، محمد سعدی مسگری<sup>۲</sup>، دامون مولایی<sup>۳</sup>، وحید کریمی<sup>۴</sup>

- ۱- دانشجوی دکتری GIS، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران
- ۲- دانشیار گروه مهندسی GIS، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران
- ۳- کارشناس ارشد GIS، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران
- ۴- کارشناس ارشد فتوگرامتری، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران

دریافت: ۹۰/۸/۷ پذیرش: ۹۱/۶/۳۱

## چکیده

بیشتر راه‌حل‌های مطرح‌شده برای مسائل مکان‌یابی و تخصیص - که در آن متقاضیان خدمات و مراکز خدماتی دارای ظرفیت مشخصی باشند - از لحاظ محاسباتی پیچیده‌اند. برای حل این مشکل، روش‌های ابتکاری متناسب با شرایط مسئله توسعه یافته‌اند. مکان‌یابی مراکز و تخصیص مصدومان زلزله به این مراکز درمانی یکی از مسائل مهم در مدیریت بحران زلزله است؛ زیرا توسعه روشی مناسب برای بهینه‌سازی تخصیص مصدومان به مراکز درمانی می‌تواند در کاهش زمان امدادرسانی و در نتیجه کاهش آسیب‌های جانی اثر مهمی داشته باشد. در این مقاله، توسعه روشی ابتکاری بر پایه یک الگوریتم ژنتیک تودرتو برای بهینه‌سازی مکان‌یابی مراکز درمانی و تخصیص مصدومان زلزله به این مراکز، با استفاده از قابلیت‌های علم سیستم اطلاعات مکانی توضیح داده می‌شود. با توجه به اینکه مکان‌یابی و تخصیص منابع دو مسئله جدا از هم نیستند و بر هم تأثیر مستقیم دارند، در روش پیشنهادی، این دو مسئله به صورت هم‌زمان حل می‌شوند. با بررسی داده‌های تحقیق و با توجه به نتایج آن می‌توان گفت ساختار طراحی شده توانایی لازم جهت حل این نوع مسائل را با انتخاب میزان جمعیت اولیه مناسب داراست.

واژه‌های کلیدی: بهینه‌سازی، تخصیص، ژنتیک، مراکز درمانی، مکان‌یابی.



## ۱- مقدمه

زمان عاملی حیاتی در کاهش میزان تلفات پس از زلزله است؛ به‌گونه‌ای که ۲۴ ساعت اولیه پس از وقوع زلزله، فرصتی طلایی برای کمک به حادثه‌دیدگان است؛ زیرا در این ساعت‌ها بیشترین احتمال زنده ماندن قربانیان حادثه وجود دارد (Godschalk, 1999). پس، توسعه روش مناسبی برای تعیین مکان مراکز درمانی با توجه به بهینه‌سازی تخصیص مصدومان به مراکز درمانی می‌تواند به کاهش آسیب‌های جانی زلزله کمک کند.

معمولاً در مسائل مکان‌یابی و تخصیص، هدف بهینه‌سازی یک تابع موسوم به تابع هدف است که متناسب با شرایط مسئله و پارامترهای مؤثر در تصمیم‌گیری تعریف می‌شود. اکثر راه‌حل‌های مطرح‌شده برای این نوع مسائل از لحاظ محاسباتی پیچیده‌اند. در مواردی که از الگوریتم‌های قطعی چندجمله‌ای برای حل این مسائل استفاده می‌شود، درجه چندجمله‌ای برای مسائل با اندک منابع خدماتی و متقاضیان به‌اندازه‌ای بزرگ بوده که زمان حل مسئله بسیار زیاد شده است و در بیشتر موارد عملاً نمی‌توان از این روش‌ها استفاده کرد. برای حل این مشکل، روش‌های ابتکاری متناسب با شرایط مسئله به‌وجود آمده و گسترش یافته است (Hansen et al., 1997).

با اینکه قبل از پیدایش علم سیستم اطلاعات مکانی، در علوم دیگر مطالعات زیادی درباره آنالیزهای مکان‌یابی و تخصیص انجام شده بود و در حال حاضر هم این تحقیقات ادامه دارد؛ با توجه به اینکه در بیشتر کاربردها و مسائل مربوط به تخصیص، بخش مهمی از اطلاعات تحلیل‌های مورد نیاز جنبه مکانی دارد، می‌توان با استفاده از قابلیت‌های علم سیستم اطلاعات مکانی، در کنار روش‌های بهینه‌سازی و شبیه‌سازی موجود و الگوریتم‌های مختلف انجام آنالیزهای تخصیص در جهت حل بهتر این مسائل گام برداشت (Hoard, 2005).

در این مقاله، نحوه طراحی و اجرای یک روش ابتکاری بر پایه الگوریتم ژنتیک تودرتو برای تعیین مکان مراکز درمانی با توجه به بهینه‌سازی تخصیص مصدومان به این مراکز، با استفاده از قابلیت‌های علم و فناوری سیستم اطلاعات مکانی تشریح می‌شود. در روش پیشنهادی، یک الگوریتم ژنتیک برای مکان‌یابی و الگوریتم ژنتیک دیگر برای تخصیص منابع به‌کار گرفته شده است. با توجه به اینکه مکان‌یابی و تخصیص منابع دو مسئله جدا از هم نیستند و برهم تأثیر مستقیم دارند، در روش پیشنهادی مقاله این دو مسئله به‌صورت هم‌زمان حل می‌شوند. به این ترتیب، با ترکیب دو الگوریتم ژنتیک و رسیدن به الگوریتم واحد- به‌طوری که خروجی یک الگوریتم ورودی دیگری باشد- می‌توان دو مسئله مکان‌یابی و تخصیص منابع را با هم حل کرد.

## ۲- پیشینه تحقیق

از زمان پیدایش مسائل مکان‌یابی و تخصیص تا کنون، روش‌های زیادی (دقیق-ابتکاری) برای حل آن‌ها مطرح شده است. کوپر<sup>۱</sup> (1963) روش تست کردن همه تخصیص‌ها را مطرح کرد. کوئن و سولاند<sup>۲</sup> (1972) الگوریتم تحدید و انشعاب را مطرح کردند. لاول<sup>۳</sup> و همکارانش (1988) روش کاهش مجموعه و الگوریتم P-median را برای حل این مسائل طراحی کردند. همان‌طور که پیشتر اشاره شد، استفاده از الگوریتم‌های دقیق برای حل مسائل بزرگ به علت زمان‌های اجرای طولانی اصلاً جواب‌گو نیست؛ به همین دلیل درباره روش‌های ابتکاری برای حل این مسائل مطالعات زیادی صورت گرفته است. اولین روش ابتکاری را کوپر (1964) به نام الگوریتم تکرار مکان‌یابی و تخصیص معرفی کرد. تاکنون برای حل مسائل مکان‌یابی و تخصیص، از روش‌های زیاد دیگری مثل روش بازپخت (SA)، جست و جوی ممنوع (TS)، ژنتیک و انواع مختلف جست و جوی همسایگی، به‌تنهایی یا در کنار هم - که به‌عنوان روش‌های ترکیبی شناخته می‌شوند - استفاده شده است. بریمبرگ<sup>۴</sup> و همکارانش (2000) از روش جست و جوی ممنوع (TS) برای حل این نوع مسائل استفاده کردند. از مطالعات دیگر در این زمینه، می‌توان به پژوهش گانگ<sup>۵</sup> و همکارانش (1997) اشاره کرد که روشی ابتکاری براساس ترکیب الگوریتم ژنتیک و توابع لاگرانژ ارائه کردند. مسائل مکان‌یابی و تخصیص حالتی که در آن مراکز خدماتی دارای ظرفیت خاصی بوده و خدمت‌رسانی براساس ظرفیت صورت بگیرد، با عنوان مسئله چندمرکزی ظرفیت‌دار وبر (CMSWP)<sup>۶</sup> شناخته می‌شوند. ارس<sup>۷</sup> و همکارانش (2007 و 2008) چند روش ابتکاری غیرقطعی را براساس الگوریتم ژنتیک و روش بازپخت برای حل انواع مسائل CMSWP پیشنهاد کرده‌اند.

متأسفانه، در زمینه توسعه مدل‌های مناسب برای تخصیص منابع در مدیریت بحران مطالعات اندکی انجام شده و بیشتر موارد درباره تخصیص بودجه و زمان‌بندی بوده است؛ از

- 
1. Cooper
  2. Kuene & Soland
  3. Love
  4. Brimberg
  5. Gong
  6. capacitated multi Weber problem
  7. Aras



پژوهش‌های این حوزه می‌توان تحقیق دادو<sup>۱</sup> و همکارانش (2005) را نام برد که از روش برنامه‌ریزی خطی به منظور تخصیص منابع مالی برای انجام فعالیت‌های فاز کاهش آثار استفاده کرده‌اند.

در ایران نیز می‌توان به مطالعه وزیری<sup>۲</sup> و همکارانش (2009) اشاره کرد که کاری شبیه به پژوهش دادو و همکارانش را برای شهر تهران انجام داده‌اند. از محدود مطالعات خوب انجام شده در زمینه تخصیص منابع در مدیریت بحران زلزله، می‌توان به تحقیق فریدریش<sup>۳</sup> و همکارانش (2000) اشاره کرد که یک مدل بهینه‌سازی پویا برای عملیات جست‌وجو و نجات انسان‌های زیر آوار مانده طراحی کردند و برای حل مدل خود روش‌های بازپخت و جست‌وجوی ممنوع را به کار گرفتند.

### ۳- طرح مسئله

در مسئله مکان‌یابی و تخصیص مصدومان زلزله به مراکز درمانی، نقاط تقاضا بلوک‌های ساختمانی است که در هریک از آن‌ها تعدادی مصدوم قرار دارد. پارامتر تأثیرگذار دیگر، شبکه معابر است که اطلاعات مربوط به انسداد این معابر و زمان لازم برای پیمودن قسمت‌های مختلف این خطوط ارتباطی برای تعیین زمان مورد نیاز برای پیمودن کوتاه‌ترین مسیر انتقال مصدومان به مراکز درمانی لازم است. در این مسئله فرض می‌شود که  $J$  مرکز درمانی موجود ظرفیت لازم برای پذیرش تمام مصدومان را ندارد و لازم است  $N$  مرکز درمانی جدید ایجاد شود و برای ایجاد این مراکز درمانی جدید،  $K$  مکان مستعد موجود است. با توجه به آنچه بیان شد، تابع هدف بهینه‌سازی را می‌توان به شکل زیر تعریف کرد:

$$x_k = \begin{cases} 1 & \text{اگر مرکز درمانی در مکان مستعد وجود داشته باشد} \\ 0 & \text{اگر مرکز درمانی در مکان مستعد وجود نداشته باشد} \end{cases}$$

$$\min Z(x) = \sum_i \left( \sum_j \alpha_{ij} P_i t_{ij} + \sum_j \alpha_{ik} x_k P_i t_{ik} \right) \quad (1)$$

1. Dodo
2. Vaziri
3. Friedrich

$$C_j + C_k \geq \sum_i \left( \sum_j P_{ij} + \sum_k P_{ik} \right) \quad (۲)$$

$$P_i = \sum_j P_{ij} + \sum_k P_{ik} \quad (۳)$$

$$\sum_k x_k = N \quad (۴)$$

$Z(x)$ : کل زمان لازم برای رساندن مصدومان به مراکز درمانی

$p_i$ : تعداد مصدومان موجود در نقطه  $i$

$\alpha_{ij}$ : نسبتی از مصدومان موجود در نقطه  $i$  که در مرکز درمانی  $j$  پذیرش می‌شوند.

$\alpha_{ik}$ : نسبتی از مصدومان موجود در نقطه  $i$  که در مرکز درمانی  $k$  باید ایجاد شود

پذیرش می‌شوند.

$t_{ij}$ : زمان رسیدن از نقطه  $i$  به مرکز درمانی  $j$

$t_{ik}$ : زمان رسیدن از نقطه  $i$  به مرکز درمانی  $k$  که باید ایجاد شود.

$C_j$ : ظرفیت خدمات‌رسانی مرکز درمانی  $j$

$C_k$ : ظرفیت خدمات‌رسانی مرکز درمانی  $k$  که باید ایجاد شود.

$p_{ij}$ : تعدادی از مصدومان نقطه  $i$  که در مرکز درمانی  $j$  پذیرش می‌شوند.

$p_{ik}$ : تعدادی از مصدومان نقطه  $i$  که در مرکز درمانی  $k$  که باید ایجاد شود پذیرش

می‌شوند.

$N$ : تعداد مراکز درمانی که باید ایجاد شود.

معادلات شماره ۲ و ۳ بیانگر قیود لازم در حل این مسئله است. معادله شماره ۲ به‌منظور

این است که هر بیمارستان بیش از ظرفیت خود پذیرش نکند و معادله ۳ به‌منظور این است که

مجموع مصدومان نقطه  $i$  که در مراکز درمانی مختلف پذیرش می‌شوند، برابر با کل مصدومان

موجود در آن نقطه باشند و تمام آن‌ها باید مورد پذیرش قرار گیرند.



#### ۴- روش‌شناسی تحقیق

با بررسی معادلات نوشته‌شده برای حل تابع هدف، می‌توان در حل بهینه این توابع سه مسئله اساسی را تعریف کرد:

اولین مسئله به‌دست آوردن کمترین هزینه براساس پارامتر زمان برای رساندن مصدومان از نقاط مختلف به مراکز درمانی است که این همان عبارت  $f_{ij}$  و  $f_{ik}$  موجود در تابع هدف است. با پیدا کردن بهترین مسیر و با در نظر گرفتن پارامتر کمترین زمان این مشکل حل می‌شود.

دومین مسئله به‌دست آوردن نسبتی از مصدومان در نقاط مختلف است که در مراکز درمانی موجود و تازه تأسیس پذیرش می‌شوند؛ به‌گونه‌ای که تابع هدف طراحی‌شده بهینه شود و قیود مطرح‌شده در معادلات شماره ۲ و ۳ رعایت شود.

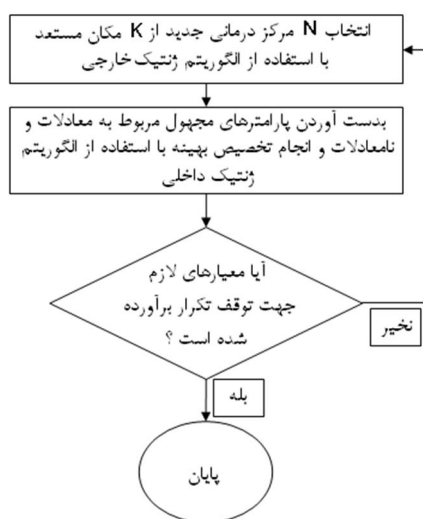
سومین مسئله پیدا کردن ابزاری مناسب برای انجام یک روال تکراری جهت جایگذاری مناسب  $N$  مرکز جدید و نیز در هر مرحله ارزیابی میزان مناسب بودن ترکیب و تخصیص مجموع مراکز موجود و جدید.

آنالیز O-D COST یکی از آنالیزهای شبکه موجود در نرم‌افزار ARCGIS9.3 است که می‌تواند براساس امیدانس طراحی‌شده برای شبکه، میزان کمترین هزینه را بر مبنای پارامترهای مختلفی مثل طول مسیر، زمان مسافرت بین مبادی حرکت و مقصد به‌طور دقیق محاسبه کند. برای اولین مسئله، استفاده از این آنالیز روش مناسبی است.

برای حل مسئله دوم لازم است یک ساختار ریاضی مناسب به‌شکل معادله و نامعادله برای مسئله طراحی شود. برای تشکیل این معادلات و نامعادلات و حل هم‌زمان، روشی ابتکاری به این شرح مطرح شد: اگر  $i$  تعداد نقاط قرارگیری مصدومان باشد،  $p_1$  تا  $p_i$  تعداد مصدومان در هر یک از این نقاط باشد،  $j$  تعداد مراکز درمانی موجود باشد،  $k$  مراکز درمانی‌ای که باید ایجاد شود و  $C_1$  تا  $C_{j+k}$  میزان ظرفیت پذیرش مصدومان مراکز درمانی  $H_1$  تا  $H_{j+k}$  باشد؛ می‌توان یک ماتریس با ابعاد  $(j+k) \times i$  را فرض کرد که آرایه‌های آن باید به‌نحوی پر شود که جمع هر یک از ستون‌های آن به‌ترتیب برابر با تعداد مصدومان در هر یک از نقاط ۱ تا  $i$  باشد و جمع سطرها آن به‌ترتیب کوچک‌تر و مساوی ظرفیت مراکز درمانی باشد.

به عبارتی، با مسئله‌ای روبه‌رویم که نیازمند حل  $i$  معادله و  $j+k$  نامعادله به‌طور هم‌زمان است که در مجموع، باید به تعداد  $i \times (j + k)$  مجهول محاسبه شود.

برای بهینه‌سازی تابع هدف و به‌دست آوردن مجهولات - یعنی حل مسئله دوم و سوم - یک روش ابتکاری براساس الگوریتم ژنتیک تودرتو در نظر گرفته شد. ساختار کلی این روش در شکل شماره یک آمده است. وظیفه الگوریتم داخلی، تخصیص بهینه است که همان به‌دست آوردن نسبتی از مصدومان در نقاط مختلف است که در مراکز درمانی موجود و ایجادشده پذیرش می‌شوند. الگوریتم ژنتیک خارجی برای انتخاب بهترین مکان  $N$  مرکز خدماتی از بین  $R$  مکان مستعد مراکز درمانی به‌کار می‌رود که مقدار بهینه به‌دست‌آمده برای الگوریتم ژنتیک داخلی، به‌عنوان تابع هدف برای الگوریتم خارجی در نظر گرفته می‌شود. در هر تکرار الگوریتم، خروجی الگوریتم خارجی - که مکان مراکز جدید است - با اطلاعات موجود - که مکان مراکز موجود است - ترکیب می‌شود و سپس به‌عنوان پارامترهای ورودی الگوریتم داخلی برای تعیین بهترین تخصیص به‌کار می‌رود. همچنین، خروجی تابع هدف الگوریتم ژنتیک داخلی برای ارزیابی میزان مناسب بودن مکان‌یابی انجام گرفته توسط الگوریتم خارجی به‌کار می‌رود. این فرایند مکان‌یابی و تخصیص هم‌زمان تا رسیدن به بهترین مکان‌یابی با بهترین تخصیص متناسب با تابع هدف معرفی شده ادامه می‌یابد.



شکل ۱ ساختار کلی الگوریتم ژنتیک تودرتو



به‌طور کلی، الگوریتم‌های ژنتیک با توجه به شرایط مسئله ممکن است به‌شیوه‌های متفاوتی طراحی و اجرا شوند. از آنجایی که عملگرهای ژنتیک دارای پارامترهای مختلف و روش‌های اجرای گوناگون هستند، در ادامه تعدادی از پارامترهای مهم ژنتیک و نحوه به‌کارگیری آن‌ها را در حل مسئله تخصیص ظرفیت‌دار ارائه‌شده مرور خواهیم کرد.

تابع هزینه: تابع هزینه همان معیاری است که عمل بهینه‌سازی بر مبنای آن صورت می‌گیرد. تابع هدف (هزینه) تعریف‌شده برای حل مسئله تخصیص ارائه‌شده و قیود لازم آن مطابق با روابط ۱، ۲، ۳ و ۴ است.

جمعیت اولیه: جمعیت اولیه پاره‌ای از جواب‌های مسئله است که به‌صورت اولیه وارد الگوریتم شده و یا می‌تواند به‌شکل تصادفی ایجاد شود. تعداد جمعیت اولیه به پیچیدگی و نوع مسئله بستگی دارد. در این مقاله، تغییر این پارامتر در حل بهینه مسئله و زمان حل بررسی می‌شود.

کروموزوم: کروموزوم‌ها از تعدادی ژن تشکیل شده‌اند. تعداد ژن‌های کروموزوم به نوع مسئله بستگی دارد و در هر مرحله پاره‌ای از جواب مسئله را شامل می‌شود. برای حل مسئله تخصیص طرح‌شده (الگوریتم ژنتیک داخلی) از یک کروموزوم ماتریسی استفاده می‌کنیم. تعداد ژن‌های این کروموزوم درآیه‌های ماتریسی با ابعاد  $i \times (j + k)$  است که در همان ضرایب معادلات و نامعادلات هستند که قبلاً توضیح دادیم. الگوریتم ژنتیک خارجی برای انتخاب بهترین مکان  $N$  مرکز خدماتی از بین  $R$  مکان مستعد مراکز درمانی به‌کار می‌رود. هر سری از مختصات  $N$  مرکز انتخابی در هر مرحله به‌صورت یک کروموزوم تعریف می‌شود. هر کروموزوم از  $2N$  ژن تشکیل شده و هر ژن دربرگیرنده مختصات  $x$  و  $y$  نقاط انتخاب‌شده از بین  $R$  مکان مستعد برای احداث مراکز درمانی است. روش کدگذاری: الگوریتم‌های ژنتیک با پاره‌ای متغیرهای کدشده کار می‌کنند. روش کدگذاری به نوع ژن‌های کروموزوم بستگی دارد و تابع نوع داده هر ژن است. برای مثال، می‌توان همه ژن‌های یک کروموزوم را به‌صورت باینری، یا به‌صورت اعداد صحیح و یا متناسب با دامنه تعریف مقادیر ژن کدگذاری کرد. در این پژوهش به‌علت ساختار مسئله



که مجهولات به شکل اعداد صحیح هستند، کدگذاری به صورت اعداد صحیح انجام می‌شود.

تولید مثل: تولید مثل معمولاً اولین کاری است که روی جمعیت اعمال می‌شود. در این روش، پاره‌ای کروموزوم از میان جمعیت به‌عنوان والد انتخاب می‌شود و در نهایت با عمل ادغام به تولید فرزندان می‌انجامد. براساس نظریه تکامل، باید بهترین موارد انتخاب شود تا نسل جدید بهتری را تولید کند. به همین دلیل، به عملگر تولید مثل عملگر انتخاب نیز گفته می‌شود. روش‌های مختلفی برای انتخاب کروموزوم‌ها در ژنتیک وجود دارد؛ از جمله روش‌های تصادفی، باقی‌مانده، چرخ رولت و تورنمنت. از آنجایی که روش‌های تصادفی و باقی‌مانده تقریباً ساختاری غیرقطعی دارند و در روش چرخ رولت هم گاهی با مشکلاتی از قبیل کندی و همگرایی ناگهانی به دلیل کوچک شدن فضای جست‌وجو مواجه می‌شویم، در این مطالعه روش تورنمنت چهارتایی را به‌عنوان عملگر انتخاب در نظر گرفته‌ایم.

عملگرهای انتخاب مجموعه‌ای از بهترین‌ها را انتخاب می‌کند و با عملگر ادغام، کروموزوم‌های جدید به‌وجود می‌آید. روش‌های مختلفی برای انجام ادغام وجود دارد؛ روش‌های ادغام تک‌نقطه‌ای، دونقطه‌ای و اکتشافی را می‌توان جزء این عملگرها نام برد. براساس نظر دب<sup>۱</sup> (2001)، نمی‌توان گفت کدام یک از این روش‌ها بهتر است. بنابراین، انتخاب روش ادغام مناسب با توجه به سلیقه و شرایط مسئله، به دلخواه صورت می‌گیرد. در این مطالعه، ادغام تک‌نقطه‌ای به‌عنوان عملگر ادغام در نظر گرفته شده است. در اینجا لازم است به مفهوم دیگری با عنوان «نرخ ادغام» اشاره شود. این مفهوم بیانگر احتمال ادغام است که آن را با  $p_c$  نشان می‌دهند و مقدار آن بین صفر و یک است. گروهی از محققان پس از پژوهش‌های گسترده‌ای درباره پارامترهای الگوریتم ژنتیک، مقدار بهینه را برای عملگر ادغام بین ۰.۱۵ تا ۰.۷۵ توصیه می‌کنند (Melanie, 1998). در این مطالعه، ۰.۷ به‌عنوان نرخ احتمال ادغام در نظر گرفته شده است.

---

1. Deb



پس از عمل ادغام، نوبت به عمل جهش می‌رسد. عمل جهش ژن شامل تبدیل عدد صفر به یک و برعکس است که براساس یک احتمال کوچک به‌عنوان نرخ احتمال جهش، به‌صورت بیت‌به‌بیت صورت می‌گیرد. گروهی از محققان که درباره پارامترهای ژنتیک مطالعه کرده‌اند، نرخ عملگر جهش را بین ۰.۰۱ تا ۰.۰۵ می‌دانند (Ibid). در این مطالعه، عدد ۰.۰۴ به‌عنوان نرخ احتمال جهش در نظر گرفته شده است.

## ۵- داده‌های پژوهش

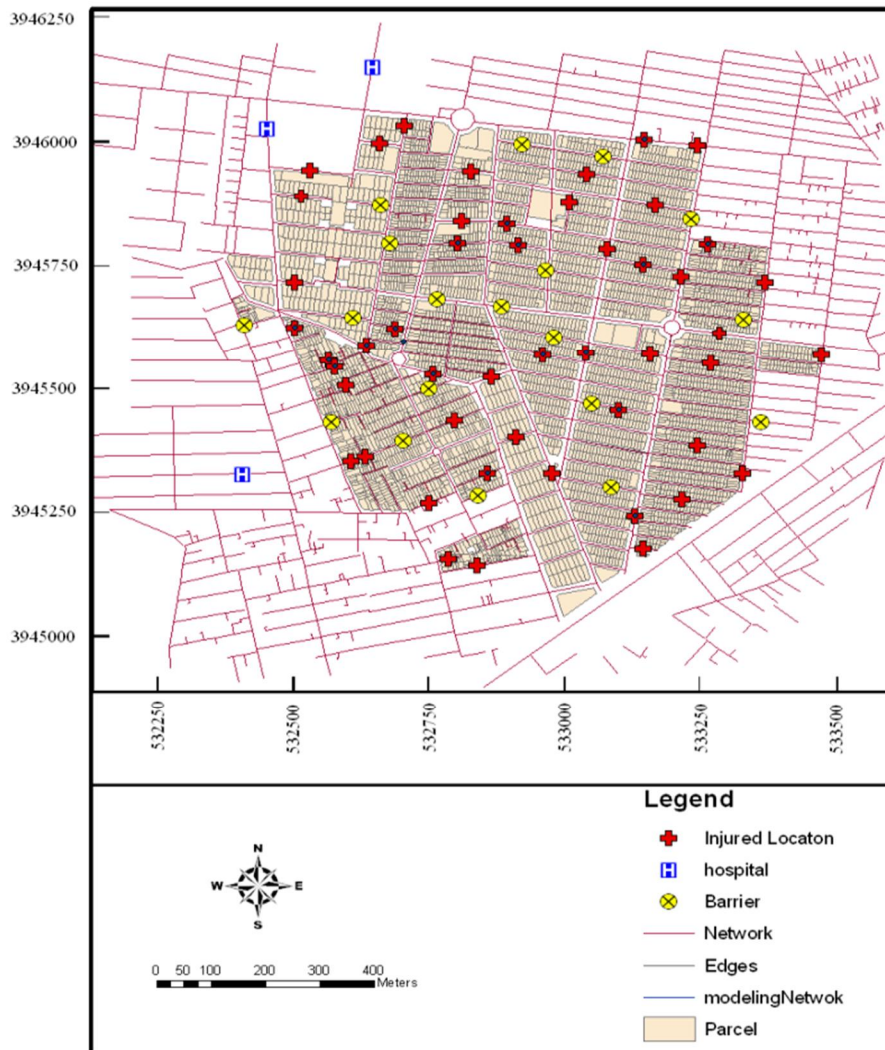
برای الگوریتم طراحی شده بخش مرکزی منطقه ۱۷ تهران به‌عنوان منطقه نمونه آزمایشی انتخاب شد. برای بررسی کارایی و توانایی روش توسعه داده‌شده در حل مسائل مکان‌یابی و تخصیص، سناریوهای مختلفی راجع به محل قرارگیری مصدومان و تعداد آنها و محل مراکز درمانی موجود و مکان‌های مستعد و ظرفیت پذیرش آنها در نظر گرفته شد. نتایج نشان می‌دهد روش توسعه داده‌شده توانایی حل هریک از این حالت‌ها را با انتخاب جمعیت اولیه مناسب دارد. در ادامه، نتایج اجرای یکی از این سناریوها در محدوده مورد مطالعه بیان می‌شود.

در این محدوده مطالعاتی، سناریویی به این شرح فرض شد: برای دریافت اطلاعات مربوط به نحوه کارایی این شبکه مثل سرعت در بخش‌های مختلف مسیر، سطح دسترسی و انسداد، از اطلاعات شبیه‌سازی استفاده شد. در این قسمت ۱۸ معبر مسدود و ۳ مرکز درمانی در اطراف این محدوده مطالعاتی به ترتیب با ظرفیت پذیرش ۱۵۰، ۱۰۰ و ۵۰ مصدوم در نظر گرفته شد. همچنین، ۵۰ نقطه به‌عنوان محل‌های قرارگیری مصدومان با تعداد کل ۵۳۶ فرض شد. محدوده مطالعاتی و نحوه پراکندگی مکانی مصدومان در سناریوی تعریف‌شده در شکل شماره دو نشان داده شده است. این داده‌ها به فرمت geodatabase درآمده و یک مجموعه داده شبکه‌ای<sup>۱</sup> با توجه به اطلاعات معابر ایجاد شده و خطاهای توپولوژیکی آنها حذف شده است تا بتوان آنالیزهای شبکه را روی آنها انجام داد.

---

1. network dataset

از سناریوی تعریف‌شده می‌توان فهمید که مراکز درمانی موجود توان خدمات‌رسانی به همهٔ مصدومان را ندارند؛ پس برای خدمات‌دهی کامل نیاز به احداث ۲ مرکز درمانی جدید با ظرفیت پذیرش ۲۵۰ بیمار هستیم.



شکل ۲ نحوهٔ پراکندگی مکانی مصدومان در ۵۰ نقطهٔ آسیب‌دیده



برای ایجاد این دو مرکز، نُه محل مستعد در منطقه مورد مطالعه انتخاب شد که در شکل شماره شش محل قرارگیری آن‌ها را می‌توانید ببینید.

## ۶- اجرای سناریو و نتایج

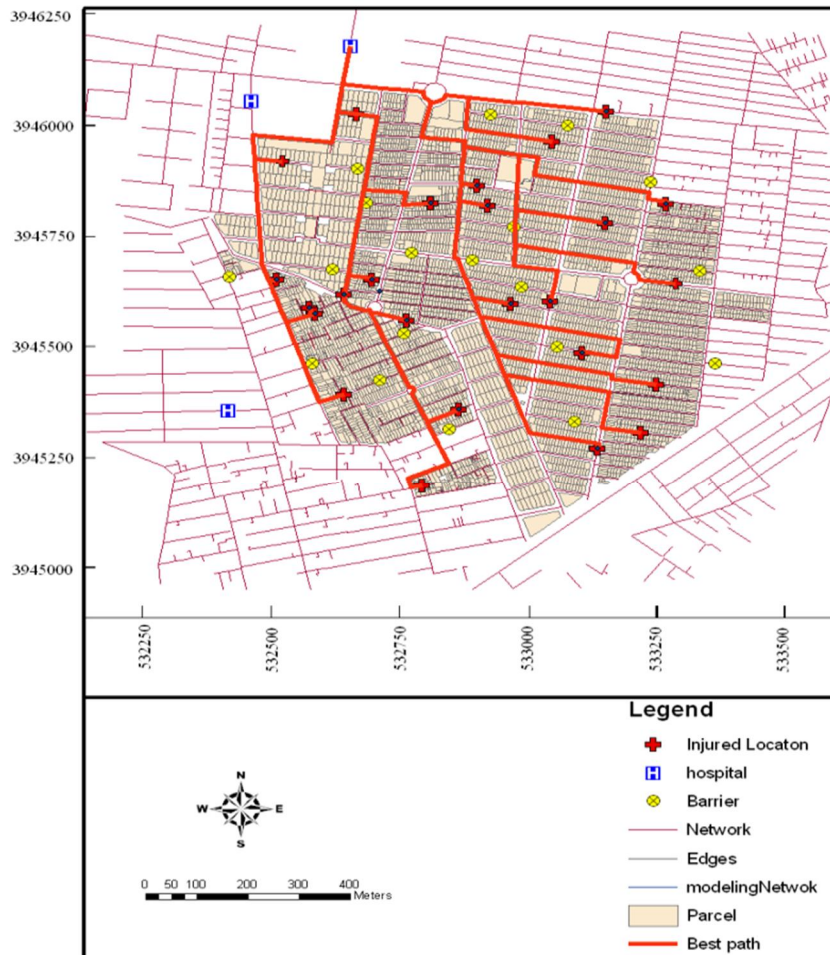
آن‌گونه که پیشتر گفته شد، به‌منظور بررسی توانایی الگوریتم طراحی‌شده، اجرای آن با توجه به سناریوی تعریف‌شده برای تعداد و نحوه پراکندگی مکانی مصدومان انجام می‌شود. همچنین، یکی از معیارهای مطرح‌شده برای توقف الگوریتم - که می‌تواند درمورد کارایی این روش توسعه داده‌شده کمک کند - این است که میزان قیود حل‌نشده در مسئله به صفر برسد. به عبارتی دیگر، در این مسئله با  $i \times (j + k)$  مجهول روبه‌رویم که این ضرایب تشکیل‌دهنده درآیه‌های یک ماتریس با ابعاد  $i \times (j + k)$  است که در قسمت روش‌شناسی توضیح داده شد. حال اگر این مجهولات به‌نحوی محاسبه شود که جمع هریک از ستون‌ها برابر تعداد مصدومان در هریک از نقاط ۱ تا  $i$  باشد، یعنی تمام این مجهولات محاسبه شده و تعداد این قیود رعایت نشده، به عدد صفر می‌رسد؛ در نتیجه این قیود در حل بهینه مسئله در نظر گرفته شده‌اند.

ذکر این نکته لازم است که اجرای این مسئله در رایانه‌ای با مشخصات زیر انجام شده است:

Intel(R) Core(TM) 2 Duo CPU, E 8400 @300 GHZ, 2 GB OF RAM

## ۶-۱- اجرای سناریوی تعریف‌شده

بخش اول اجرا مربوط به مسئله به‌دست آوردن کمترین هزینه براساس پارامتر زمان برای رساندن مصدومان از نقاط مختلف به مراکز درمانی است که در واقع، همان عبارت  $t_{ij}$  و  $t_{ik}$  موجود در تابع هدف است. با پیدا کردن بهترین مسیر و با در نظر گرفتن پارامتر کمترین زمان، این مشکل حل می‌شود. این مورد با استفاده از آنالیز O-D COST موجود در بخش آنالیزهای شبکه نرم‌افزار ARCGIS9.3 حل شد. نتیجه به‌دست‌آمده برای تعیین بهترین مسیر از نظر زمان طی‌شده بین نقاط مصدوم و یکی از مراکز درمانی در شکل شماره سه ارائه شده است.

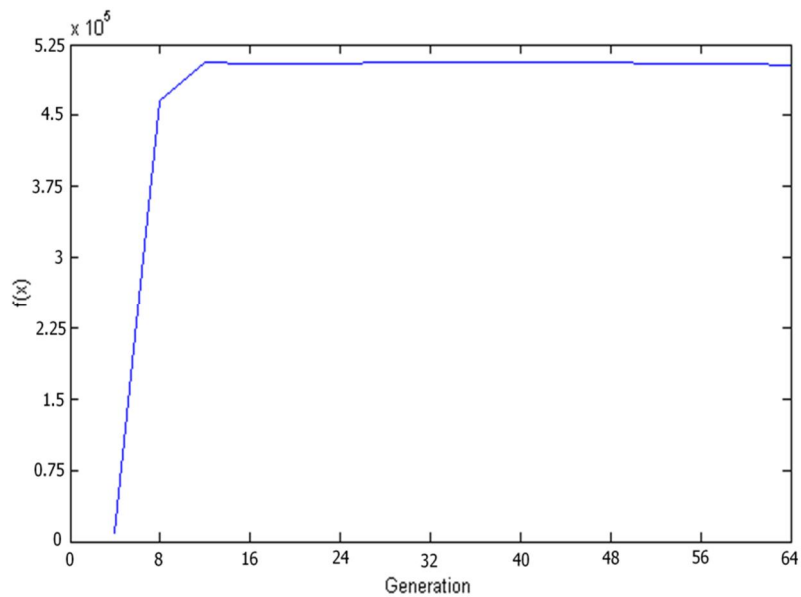


شکل ۳ بهترین مسیر از نظر زمان طی شده بین نقاط آسیب‌دیده و مرکز درمانی

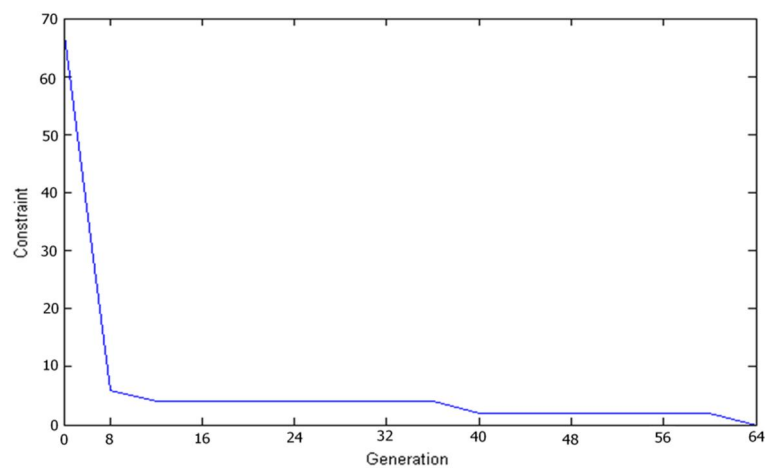
برای حل بخش دوم و سوم مسئله که همان بهینه‌سازی کل تابع هدف و به‌دست آوردن مجهولات و انتخاب مکان دو مرکز درمانی از بین نُه محل مستعد بود، یک الگوریتم ژنتیک تودرتو مطابق با پارامترهای توضیح داده‌شده در بخش روش‌شناسی، طراحی و اجرا شد. جمعیت اولیه برابر ۵۰۰ و تعداد نسل برابر ۳۰۰ در نظر گرفته شد. حل مسئله پس از ۱۷ دقیقه و ۹ ثانیه درحالی که تعداد نسل ۶۴ بود، میزان قیود حل‌نشده به صفر رسید و برنامه

حسین آقامحمدی و همکاران ..... توسعه یک روش ابتکاری برای بهینه‌سازی ...

متوقف شد. نتایج به دست آمده برای مقدار بهینه تابع هدف و مقدار قیود با توجه به نسل‌های مختلف در شکل‌های شماره چهار و پنج آمده است.

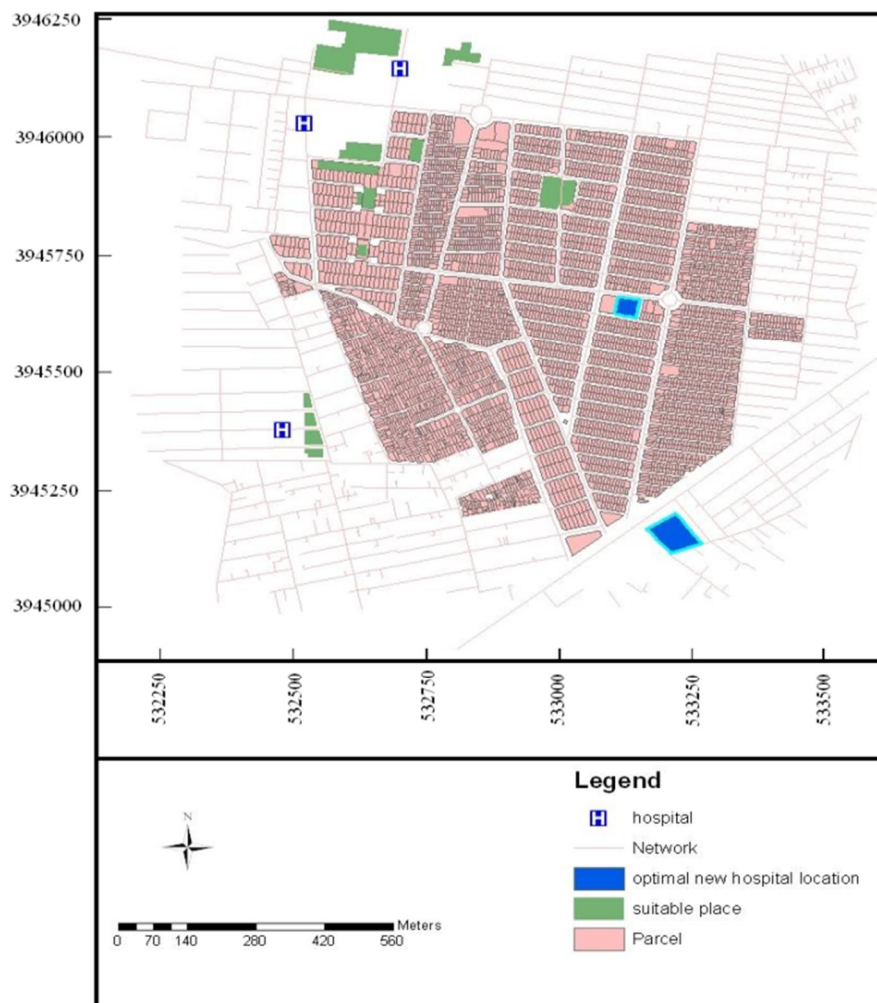


شکل ۴ مقادیر بهینه تابع هدف در نسل‌های مختلف با جمعیت اولیه برابر ۵۰۰ برای سناریوی ۵۰ نقطه آسیب‌دیده



شکل ۵ میزان قیود حل نشده در نسل‌های مختلف با جمعیت اولیه برابر ۵۰۰ برای سناریوی ۵۰ نقطه آسیب‌دیده

از آنجایی که تعداد قیود رعایت‌نشده به عدد صفر رسیده است، می‌توان گفت ساختار طراحی‌شده توانایی لازم را برای حل مسئله در یک محدوده زمانی مناسب داشته است. یکی از خروجی‌های نهایی این روش، انتخاب مکان دو مرکز درمانی از بین ۹ محل مستعد بود؛ نتیجه به‌دست‌آمده در شکل شماره شش مشاهده می‌شود.



شکل ۶ موقعیت مکانی ۲ مرکز درمانی انتخاب‌شده از ۹ مکان مستعد برای ایجاد مراکز درمانی



خروجی مرحله دوم شماری از مصدومان در هر نقطه است که توسط مراکز درمانی موجود و مراکز انتخاب شده باید پذیرش شوند. در جدول شماره یک، تعداد مصدومان بعضی از نقاط تقاضا را که توسط مراکز درمانی موجود و جدید، با توجه به خروجی اجرای سناریوی تعریف شده مورد پذیرش قرار می‌گیرند، مشاهده می‌کنید.

جدول ۱ تعداد مصدومان در شماری از نقاط که توسط مراکز درمانی مختلف موجود و جدید برای سناریوی تعریف شده باید مورد پذیرش قرار بگیرند

شماره نقاط مصدومان	مرکز درمانی جدید ۲	مرکز درمانی جدید ۱	مرکز درمانی موجود ۳	مرکز درمانی موجود ۲	مرکز درمانی موجود ۱
۱	۰	۱	۰	۰	۰
۴	۲	۰	۰	۰	۰
۱۴	۰	۰	۰	۴	۲
۲۰	۲	۰	۱۰	۰	۴
۲۳	۰	۴	۲	۰	۱۲

چنان‌که پیشتر توضیح داده شد، برای بررسی کارایی و ارزیابی اعتبار روش توسعه داده شده سناریوهای مختلفی تعریف، و اجرای آن با توجه به تغییر میزان جمعیت اولیه انجام شد. در جدول شماره دو می‌توانید تعدادی از این حالت‌های اجرا شده را از نظر توانایی حل و زمان حل با توجه به میزان جمعیت اولیه مشاهده و مقایسه کنید.

جدول ۲ بررسی تعدادی از حالات اجرا شده از نظر توانایی حل و زمان حل با توجه به میزان جمعیت اولیه

تعداد مصدومان	تعداد نقاط قرارگیری مصدومان	تعداد نسل	میزان جمعیت اولیه	توانایی حل بهینه	زمان حل
۴۲۲	۳۵	۲۰۰	۲۰۰	نداشت	---
۴۲۲	۳۵	۲۰۰	۳۰۰	داشت	۹ دقیقه و ۴۰ ثانیه
۵۳۶	۵۰	۳۰۰	۴۰۰	نداشت	---
۵۳۶	۵۰	۳۰۰	۵۰۰	داشت	۱۷ دقیقه و ۹ ثانیه
۶۵۵	۷۵	۴۰۰	۵۰۰	نداشت	---
۶۵۵	۷۵	۴۰۰	۶۰۰	داشت	۲۹ دقیقه و ۱۸ ثانیه



## ۶- نتیجه‌گیری

مکان‌یابی و تخصیص از نوع مسائل NP-HARD است که در اغلب موارد نمی‌توان از روش‌های جست‌وجوی مستقیم و قطعی برای حل این مسائل استفاده کرد؛ بلکه بسته به نوع موضوع و ساختارشان، برای حل بهینه آن‌ها باید روش‌های ابتکاری را به کار گرفت. در این مقاله، نحوه طراحی و اجرای یک روش ابتکاری بر پایه الگوریتم ژنتیک تودرتو برای بهینه‌سازی عملیات تخصیص مصدومان زلزله به مراکز درمانی، با استفاده از قابلیت‌های علم و فناوری سیستم اطلاعات مکانی تشریح شده است. به منظور بررسی کارایی الگوریتم طراحی شده، اجرای آن با توجه به سناریوهای مختلف طرح شده برای تعداد و پراکندگی مکانی مصدومان انجام شده است. نتایج نشان می‌دهد ساختار طراحی شده توانایی لازم را برای حل این نوع مسائل در حالت‌های مختلف و در یک محدوده زمانی مناسب دارد. نکته دیگری که در اجرا به آن توجه شده، تأثیر میزان جمعیت اولیه در نحوه حل بهینه مسئله و زمان حل است؛ نتایج نشان می‌دهد با افزایش پیچیدگی مسئله، نیازمند افزایش اندازه جمعیت اولیه برای حل بهینه هستیم. از خروجی‌های نهایی این روش توسعه داده شده می‌توان به تعیین موقعیت مکانی مراکز درمانی جدید اشاره کرد. همچنین، نتایج گویای این است که برای رسیدن به تخصیص بهینه، در هر نقطه از تقاضا به چه تعدادی از مصدومان باید در مراکز درمانی موجود و جدید خدمات عرضه شود.

## ۷- منابع

- Aras, N., M. Orbay & I. K. Altinel, "Efficient Heuristics for the Rectilinear Distance Capacitated Multi-facility Weber Problem", *Journal of the Operational Research Society*, No. 59. Pp. 64-79. 2008.
- Aras, N., S. Yumusak & I. K. Altinel, "Solving the Capacitated Multi-facility Weber Problem by Simulated Annealing Threshold Accepting and Genetic Algorithms", *Operations Research, Computer Science Interface Series*, No. 39, Pp. 91-112, 2007.

- Brimberg, J., P. Hansen & N. Mladenovi, "Improvements and Comparison of Heuristics for Solving the Uncapacitated Multisource Weber Problem", *Operations Research*, No. 48. Pp. 444-460, 2000.
- Cooper, L., "Location- Allocation Problems", *Operations Research*, No. 11. Pp. 331-343, 1963.
- \_\_\_\_\_ "Heuristic Methods for Location- Allocation Problem", *Operation Research*, No. 48. Pp. 444-460, 1946.
- \_\_\_\_\_ "The Transportation- Location Problem", *Operations Research*, No. 20. Pp.94-108, 1972.
- Deb, K., *Multi-Objective Optimization Using Evolutionary Algorithms*, Wiley, Chichester, 2001.
- Dodo, A., N. Xu, R. Davidson & L. Nozick, "Optimizing Regional Earthquake Mitigation Investment Strategies", *Earthquake Spectra*, No. 21(2), Pp. 305-327, 2005.
- Dr'eo, J., A. Petrowski & E. Taillard, *Metaheuristic for Hard Optimization*, Springer-Verlag, Berlin, Germany, 2006.
- Friedrich, F. et al., "Optimized Resource Allocation for Allocation Emergency Response after Earthquake Disaster", *Safety Science*, No. 35, Pp. 41-57, 2000.
- Gong, D., M. Gen, G. Yamazaki & W. Xu, "Hybrid Evolutionary Method for Capacitated Location-Allocation Problem", *Computers and Industrial Engineering*, No. 33, P. 577-80, 1997.
- Godschalk, D. R., *Natural Hazard Mitigation*, Island Press, 1999.
- Hansen, P., N. Mladenic & E. Taillard, "Heuristic Solution of the Multisource Weber Problem as a p-median Problem", *Operation Research Letters*, No. 22, Pp. 55-62, 1997.

- Hansen, P., D. Peeters & J. Thisse, "An Algorithm for a Constrained Weber Problem", *Management Science*, No. 28, Pp. 1285-95, 1982.
- Hoard, M., "System Modeling in Support Evidence- based Disaster Planning for Rural Areas", *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, No. 203(1-2), Pp. 117-125, 2005.
- Kuenne, R. E. & R. M. Solland, "Exact and Approximate Solution to the Multisource Weber Problem", *Mathematical Programming*, No. 3, Pp. 193-209, 1972.
- Love, R. F., J. G. Morris & G. O. Wesolowsky, *Facilities Layout and Location: Models and Methods*, New York: North-Holland, 1988.
- Melaine, M., *An Introduction to Genetics Algorithms*, The MIT Press, 1998.
- Vaziri, P. et al., "Resource Allocation for Regional Earthquake Risk Mitigation: A Case Study of Tehran, Iran", *Natural Hazards*, No. 53(3), Pp. 527-546, 2009.



