

# مدل چندسطحی مکان‌یابی برای تخلیه ساکنین شهرهای ساحلی در هنگام وقوع سیل

مقاله علمی - پژوهشی

سجاد امیری دوماری\*، دانش آموخته کارشناسی ارشد، مربی، دانشکده ریاضی و علوم، دانشگاه صنعتی سیرجان، سیرجان، ایران

\*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: amiri@sirjantech.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۱/۱۰/۰۵ - پذیرش: ۱۴۰۲/۰۴/۲۸

صفحه ۳۲۷-۳۴۲

## چکیده

مهم‌ترین هدف مدیریت بحران، کاهش خسارات و رنج و آزار شخصی و بهبود شرایط است. مقاله حاضر به بررسی برنامه‌ریزی تخلیه شهرهای ساحلی قبل از وقوع سیل و طراحی مکان‌های مطلوب به‌عنوان پناهگاه می‌پردازد. مسئله موردبررسی، شامل برنامه دهنده است که تعیین‌کننده مکان‌های پناهگاه برای حداقل سازی زمان تخلیه است و همچنین مسافران که قادر به انتخاب مقصد و پناهگاه و مسیر منتهی به آن هستند مدل پیشنهادی، به‌عنوان یک مسئله برنامه‌ریزی دوسطحی با استفاده از الگوریتم ژنتیک فرمول‌بندی می‌شود که مسئله سطح بالایی، انتخاب پناهگاه‌های با حداقل زمان تخلیه و مسئله سطح پایینی، ترکیبی از مسائل توزیع و انتساب است. به منظور حل مسئله برنامه دوسطحی، روش حل مسئله‌ای مبتنی بر الگوریتم ژنتیک طراحی شده است. نوآوری این راهکار این است که در طی پروسه تکمیل الگوریتم ژنتیک، سه اپراتور با نام‌های تکثیر، ادغام و جهش لحاظ شده‌اند. نتایج نشان داد که برنامه‌ریزی، یکی از مهم‌ترین ابزارهای مورداستفاده در مدیریت بحران است. انتخاب مکان مناسب و اثرات ناشی از محدوده ظرفیت در طرح تخلیه، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است و هرچقدر ظرفیت پناهگاه موردنظر بیشتر باشد، تعداد پناهگاه‌های انتخابی و زمان کلی تخلیه کاهش خواهد یافت؛ همچنین هرگونه افزایش اشغال وسیله نقلیه، منجر به کاهش کل زمان تخلیه خواهد شد.

واژه‌های کلیدی: الگوریتم ژنتیک، برنامه‌ریزی دوسطحی، طرح تخلیه، مدل تخصیص مکان

## ۱- مقدمه

اضطراری و ارایه چهارچوبی برای کمک به مردم آسیب‌دیده و اجتناب از هرگونه اثرات ناشی از بلا (Oloruntoba et al., 2018). هدف اصلی مدیریت بحران، کاهش خسارات (مثل خسارات وارده به انسان‌ها، شرایط فیزیکی و خسارات اقتصادی) و حداقل سازی رنج و آزار شخصی و بهبود شرایط تا حد امکان است. برنامه‌ریزی، یکی از ابزار مورداستفاده در مدیریت بحران برای دستیابی به اهداف مزبور است (Raikes et al., 2019). مقاله حاضر به بررسی برنامه‌ریزی تخلیه قبل از وقوع سیل می‌پردازد. در ابتدا، لازم است که برخی تعاریف برای ارزیابی و تشخیص موارد نیاز، ذکر شود. منطقه آبیگری، به معنی حوزه پر از آب است (Ridwansyah et al.,

بلاها را می‌توان به دو گروه دسته‌بندی نمود: بلایای حاصل دست انسان و بلایای طبیعی. اجتناب از بلایای انسانی مثل حملات تروریستی، به دلیل غیرقابل پیش‌بینی بودن آن تا حدی دشوار است. بلاهای طبیعی مانند طوفان یا سیل نیز غیرقابل اجتناب‌اند؛ حتی اگر فن‌آوری پیشرفته‌ای هم در حوزه هواشناسی در اختیار باشد. این قبیل بلاها را می‌توان با چند درجه اطمینان ولی نه صد در صد پیش‌بینی نمود. بزرگ‌ترین سیل در ایالات متحده در تاریخ ۳۱ مه ۱۸۸۹ به وقوع پیوست که طی آن ۲۲۰ نفر کشته شدند (Kongsomsaksakul et al., 2005). مدیریت بحران به این عنوان تعریف می‌شود: طیفی از فعالیت‌های تعیین‌شده برای کنترل بلا و شرایط

شد. پیاکورل و دامالا (Pyakurel & Nath Dhamala, 2017) مدلی را برای تخصیص مجدد ظرفیت موجود برای حفظ مسیر در بخش‌هایی از جاده و هنگام رخداد بلا برای دستیابی به ظرفیت بهتر شبکه، طبق الگوی تقاضای غیرمعمول ارایه نمودند. مدل مزبور، همان افزایش شرایط پویای ترافیک با استفاده از مدل انتقال سلولی و دستیابی به پویای ترافیک در شبکه است. این مدل، قادر به افزایش ظرفیت و در نظر گرفتن هم‌زمانی شرایط است. حق پناه و فروغی (Haghpanah & Foroughi, 2018) مبحث طرح تخلیه برای طوفان و سیل را با بررسی صریح تأثیر مکان پناهگاه بر زمان تخلیه، مورد مطالعه قراردادند. مدل تخصیص مکان برای انتخاب مجموعه‌ای از سرپناه‌ها از میان پناهگاه‌های بالقوه و پیشنهاد طرح تخلیه‌ای که باعث کاهش کل زمان تخلیه می‌گردد، نیز مطرح شد. مسئله اصلی، به صورت برنامه‌ریزی عدد صحیح ترکیبی و غیرخطی، فرمول‌بندی می‌شود. نیکو و همکاران (Nikoo et al., 2018) به مطالعه هردو مقوله مدیریت بحران بلا یا قبل و بعد از وقوع پرداخت. در تحقیقات آن‌ها، طرح تخلیه بلا یا با توزیع سفرها و مسئله مأموریت درهم‌آمیخته شد. مسئله تخلیه، همان تخلیه متأثر از جمعیت بلا دیده در پناهگاه‌ها (توزیع) در طول شبکه (مأموریت ترافیک) است که در نهایت زمان کل تخلیه باید به حداقل برسد. مدل مزبور، ظرفیت محدود پناهگاه را در نظر می‌گیرد؛ اما ازدحام لحاظ نمی‌شود (به عنوان مثال، زمان سفر، یک فاکتور مستقل و در جریان است). با مدیریت بحران بلا یا بعد از وقوع، به عنوان شرایطی خاص در مسئله طراحی شبکه چند دوره‌ای برخورد می‌شود. لی و همکاران (Li et al., 2018) رفتار خانوارها را در مدل‌سازی تخلیه مدنظر قراردادند. رفتار خانوارها در این مسئله، به معنای نقطه ملاقات و مکانی است که اعضای خانواده یکدیگر را می‌بینند و به عنوان یک واحد، از نقطه بلا دیده خارج می‌شوند. برنامه‌ریزی‌هایی بر پایه عدد صحیح دوخطی، برای رفتار خانواده پیشنهاد شده است؛ مانند مکان ملاقات و انتخاب مسیر و انتخاب نظم و ترتیب. مصطفوی و همکاران (Mostafazi et al., 2019)، نشان دادند که انتخاب مکان‌های VES به طور مستقیم بر نسبت افرادی که تخلیه می‌شوند تأثیر می‌گذارد. همچنین، درصد افرادی که به طور تصاعدی، تخلیه می‌شوند با دورتر شدن پناهگاه از مرکز مرکز جمعیت کاهش می‌یابد. علاوه بر آن،

(2020). بافر در ۵۰۰۰ فوتی خارج از حوزه طغیان روز تعبیه می‌شود و برنامه‌ریزی اضطراری برای منطقه‌ای است که شامل بافر و حوزه آبخیزی است (David & Pyne, 2017). اگر سیل به وقوع بپیوندد، مردم باید قبل از اینکه مسیر تعیین شده به وسیله سیل بسته شود، بلافاصله به سمت پناهگاه‌های تعبیه شده در خارج از منطقه اضطراری بروند. یکی از وظایف حیاتی در طراحی مدل تخلیه گاه سیل، تعیین مکانی است که مسافران باید برای ایمن ماندن از سیل، به آنجا منتقل شوند. مدل تخصیص مکان برای اجرای طرح تخلیه سیل در مقاله حاضر، قادر است مکان پناهگاه‌ها را با محدودیت ظرفیت، مشخص سازد. مدل پیشنهادی که با مدل‌های تخصیص مکان سنتی، از نظر فرضیه مکانی متفاوت است، به عنوان یک مسئله برنامه‌ریزی دوسطحی فرمول‌بندی می‌شود. مسئله اصلی، به صورت یک نوع بازی استکلبرگ عرضه می‌شود. دو بازیکن در این بازی وجود دارند که عبارتند از: برنامه دهنده و برنامه‌پذیر. برنامه دهنده، تعداد و مکان پناهگاه‌ها را باهدف حداقل سازی کل زمان تخلیه شبکه، تعیین می‌کند. برنامه‌پذیر نیز هم‌زمان در مورد اینکه به کدام پناهگاه رفته و بر اساس ظرفیت پناهگاه، از کدام مسیر برود، تصمیم‌گیری خواهد کرد. در این مقاله، پس از مقدمه و پیشینه تحقیق، مدل تخصیص مکان دوسطحی برای تخلیه به هنگام سیل با ظرفیت محدود پناهگاه، ارائه خواهد شد. در قسمت بعد، الگوریتم ژنتیک مدل مزبور برای حل مسئله برنامه‌ریزی دوسطحی نشان داده می‌شود. بخش بعد، شبکه جهان واقعی در یک شهر فرضی، برای تعیین کاربرد مدل پیشنهادی و روش حل مسئله را به کار گرفته است. نتایج و تحقیقات آتی نیز در بخش نهایی به طور خلاصه ارایه می‌گردد.

## ۲- پیشینه تحقیق

موضوعات متعددی در حوزه تحقیق برای طرح تخلیه برای سیل، انجام شده است؛ به طور مثال، کنستانتینیدو و همکاران (Konstantinidou et al., 2015) به مطالعه استراتژی‌های مختلف ترافیک در حوزه زمین‌لرزه و طی دوره‌های قبل از وقوع پرداختند. مدل‌های مختلفی برای حداکثر سازی حجم ترافیک افرادی که به محوطه کنترل شده وارد می‌شوند و نیز کاهش زمان نجات در حوزه آسیب‌دیده، پیشنهاد

نتایج شبیه سازی شده، نشان می‌دهد که توجه به ظرفیت مکان-های تخلیه و انتخاب مسیر برای تخلیه موفقیت آمیز، به ویژه برای یک منطقه ساحلی که تعداد افراد تخلیه شده می‌تواند بیش از ظرفیت کل ساختمان‌های تخلیه آن باشد، مهم است. جیونگ و همکاران (Jeong et al., 2020)، ایجاد یک شبکه زیرساختی سبز با تلفیق مسیرهای احتمالی تخلیه و فضای سبز در یک شهر ساحلی را مورد بررسی قرار دادند. منطقه ای در کره جنوبی به عنوان محل مطالعه انتخاب شد. با استفاده از تحلیل فضا و تجزیه و تحلیل شبکه GIS، یک شبکه زیرساختی سبز ایجاد شد. نتایج این مطالعه نشان داد که ابتدا با ایجاد شبکه‌های مسیر تخلیه و شبکه‌های اکولوژیکی شهری، یک شبکه زیرساخت سبز یکپارچه ایجاد شود. در وهله دوم، عملکرد تخلیه و خطر سیل، ارزیابی شد. در نهایت، برنامه ریزی شبکه زیربنای سبز برای حوادث ساحلی، پیشنهاد شد.

محل پناهگاه به طور قابل توجهی بر میزان کل مرگ و میر تأثیر می‌گذارد. پیشرفت در تحرک مهاجران، مانند سرعت پیاده‌روی سریع‌تر یا زمان کمتر، میزان مرگ و میر را به طور قابل توجهی کاهش می‌دهد و منطقه انتخاب را برای مکان های VES گسترش می‌دهد و هنگامی که افراد بیشتری تخلیه عمودی را انتخاب می‌کنند، میزان مرگ و میر کل به طور قابل توجهی کاهش می‌یابد. تاکاباتاکا و همکاران (Takabatake et al., 2020)، یک مدل تخلیه سونامی مبتنی بر عامل را ایجاد کردند که رفتار عابران پیاده و تخلیه ماشین را در نظر می‌گیرد، که می‌تواند برای تدوین برنامه‌های تخلیه، موثر و مهم باشد. مدل توسعه یافته از طریق مقایسه با ترافیک واقعی مشاهده شده در شهر توکیو ژاپن در طی سونامی زلزله ۲۰۱۱ تأیید شد. سپس این مدل به یک شهر ساحلی دیگر در ژاپن، برای بررسی اثربخشی یک طرح تخلیه که استفاده از وسیله نقلیه را برای تخلیه در سونامی زلزله آینده در نظر می‌گیرد، استفاده شد.

### ۳- فرمول‌بندی برنامه دوسطحی

فروغی (Haghpahanah & Foroughi, 2018) و نیکو و همکاران (Nikoo et al., 2018) متفاوت است؛ زیرا در این پژوهش‌ها، رهبران فقط نقش نیروی کنترل‌کننده پناهگاه و گزینه‌های مسیر برای مسافران را داشتند. در مدل تخصیص مکان دوسطحی مطرح شده در این مقاله، رهبر، توانایی کنترل رفتار مسافران را ندارد؛ ولی می‌تواند با انتخاب تعداد و مکان پناهگاه‌ها بر رفتار آن‌ها تأثیر بگذارد. وو و همکاران (Wu et al., 2018) به رابطه موجود بین بازی استکلبرگ و مسائل طراحی شبکه، اشاره نموده و فرمول‌بندی ذیل را برای برنامه‌ریزی دوسطحی ارائه می‌کند.

در این بخش، به ارائه فرمول‌بندی برنامه دوسطحی برای مدل‌سازی طرح تخلیه سیل، بر اساس ظرفیت محدود پناهگاه می‌پردازیم. مدل موردنظر، تعیین‌کننده تعداد مکان‌ها در میان مجموعه‌ای از مکان‌های بالقوه و تخصیص مسافران به پناهگاه‌های موردنظر بر اساس مدل است. مدل تخصیص مکان دوسطحی را می‌توان به‌عنوان بازی استکلبرگ با دو بازیکن، یعنی یک رهبر و پیروان (مسافران) در نظر گرفت. در طول بازی، طراح، تعیین‌کننده تعداد و مکان پناهگاه است؛ درحالی‌که مسافران، بهترین پناهگاه و مسیر منتهی به آن را برمی‌گزینند. این گفته با مطالعات قبلی توسط حق پناه و

$$\text{Min } F(u, v(u)) \quad G(u, v(u)) \leq 0, \quad (1)$$

$$\text{Min } f(u, v) \quad g(u, v) \leq 0, \quad (2)$$

در معادله بالا:

$F$ ، برابر با تابع هدف در سطح بالایی؛  $u$ ، بردار تصمیم در سطح بالایی؛  $G$ ، مجموعه محدوده سطح بالایی؛  $f$ ، تابع هدفمند سطح پایینی؛  $v$ ، بردار تصمیم در سطح پایینی و  $g$ ، مجموعه محدوده مسئله در سطح پایین است.

مسئله مطرح شده، در سطح بالایی به مدل سازی تصمیم رهبر در بازی می پردازد؛ درحالی که در سطح پایین، تصمیم پیروان را نشان می دهد. مسئله تخصیص مکان، دارای ساختاری مشابه با بازی استکلبرگ است و در اینجا، به شکل مسئله برنامه ریزی دو سطحی فرمول بندی می شود. پیش از ارایه مدل، مفهوم نمادها و فرضیه ها به صورت زیر بیان می شود.

### ۳-۱- نمادها و فرضیه ها

جدول نمادها به صورت زیر است:

جدول ۱. نمادهای مسئله

نماد	توضیحات
$a$	شاخص ارتباطات، $a \in A$
$i$	شاخص مبدأ، $i \in I$
$j$	شاخص پناهگاه های بالقوه، $j \in J$
$\bar{j}$	شاخص پناهگاه های منتخب، $\bar{j} \in \bar{J}, \bar{J} \subseteq J$
$r$	شاخص مسیرها، $r \in R_{ij}$
$\beta$	پارامتر امپدانس در مدل CDA
$\delta_{ar}^{\bar{j}}$	شاخص ارتباط یا مسیر، اگر کمان $a$ روی مسیر $r$ و بین مبدأ $i$ و پناهگاه $\bar{j}$ باشد، مقدار آن برابر با یک و در غیر این صورت صفر خواهد بود.
$f_r^{\bar{j}}$	جریان ترافیک روی مسیر $r$ بین مبدأ $i$ و پناهگاه $\bar{j}$
$P_a$	حداکثر درجه قابل قبول اشباع برای کمان $a$
$q_{ij}$	تقاضا بین مبدأ $i$ و پناهگاه $j$
$q_{i\bar{j}}$	تقاضا برای مبدأ $i$ و پناهگاه $\bar{j}$
$v_a$	جریان ترافیک روی کمان $a$
$a(v_a)$	زمان سفر روی کمان $a$ که همان تابع $v_a$ است
$C_a$	ظرفیت کمان $a$
$K_j$	ظرفیت پناهگاه $j$
$O_i$	ایجاد سفر از منطقه $i$
$R_{\bar{j}}$	مسیر تعیین شده از مبدأ $i$ و پناهگاه $\bar{j}$
$X_j$	در صورت انتخاب پناهگاه $\bar{j}$ ، برابر با یک و در غیر این صورت صفر خواهد بود.

فرض های این مسئله، عبارت اند از:

۱. مکان تمام پناهگاه های بالقوه و ظرفیت های آن، در اختیار است.
۲. تعداد سفرها به سمت پناهگاه ها از هر مبدأ، در اختیار است.
۳. فقط یک نوع وسیله نقلیه (اتومبیل مسافر) در شبکه وجود دارد.
۴. شبکه ترافیک (نقشه برداری، ظرفیت کمان، تابع هزینه کمان و غیره) در اختیار است.

### ۴- الگوریتم حل مسئله

حل کردن مسائل برنامه ریزی دو سطحی تا حدی دشوار است؛ زیرا ارزیابی ارزش هدفمند در مسئله سطح بالایی، نیاز به حل مسئله در سطح پایین دارد (Dudek & Stadtler, 2007)؛ همچنین، اگر مسئله سطح پایین به عنوان

در ادامه، نحوه اجرای مفصل الگوریتم ژنتیک تشریح شده است.

فرمول سطح بالا، نشان‌دهنده تصمیم برنامه‌دهنده (رهبر) است. در این مسئله، طراح تخلیه، با انتخاب تعداد و مکان پناهگاه طبق معادله (۱)، تمایل به حداقل سازی کل زمان تخلیه (مثلاً کل زمان سفر برای مسافران به سمت سرپناه) در شبکه دارد. معادله (۲) اشاره به این دارد که متغیرهای مکان پناهگاه همگی به صورت باینری‌اند؛ یعنی اگر پناهگاه  $j$  انتخاب شود، مقدار یک و در غیر این صورت صفر جایگزین می‌شود. محدودیت (۳) نیز به معنای محدودیت ظرفیت پناهگاه است. کل تقاضا از همه مبدأهای  $i$  که مناسب پناهگاه  $j$ ‌اند، نباید بیشتر از ظرفیت پناهگاه باشد. محدودیت (۴)، محدودیت ظرفیت کمان است. جریان ارتباط نباید بیشتر از حداکثر درجه قابل قبول اشباع کمان باشد. مؤلفه‌های  $\mathbf{v}_a$  و  $\mathbf{q}_{ij}$  از روی فرمول سطح پایین برای مجموعه داده‌شده از متغیرهای تصمیم  $X$ ، تعیین می‌شوند.

می‌توان  $\bar{J} = \{j | X_j = 1\}$  را به‌عنوان مجموعه پناهگاه‌های انتخاب‌شده در سطح بالایی و برای پناهگاه‌هایی  $j \in \bar{J}$  تعریف کرد که هرگز انتخاب نشده‌اند؛ به‌عنوان مثال،  $\mathbf{q}_{ij} = \mathbf{0}$  (یعنی نباید تقاضایی برای پناهگاه  $j$  وجود داشته باشد).

محدودیت‌های غیرخطی تلقی شوند، مسئله برنامه‌ریزی دوسطحی را می‌توان به‌عنوان مسئله‌ای غیر محدب در نظر گرفت که حل آن‌ها با روش‌های بهینه‌سازی استاندارد تا حدی مشکل خواهد بود (Rossi et al., 2019). بسیاری از الگوریتم‌های هیوریستیک در حوزه حمل‌ونقل، به‌منظور حل مسئله برنامه‌ریزی دوسطحی طراحی شده‌اند. زیلیونن و همکاران (Žilionienė et al., 2019) خلاصه‌ای از الگوریتم‌های لازم برای حل مسئله طراحی مداوم شبکه را ارائه نموده‌اند. لایمیم و همکاران (Ait Laamim et al., 2019) عقیده دارد که برای مسئله طراحی مداوم شبکه، طراحی دوسطحی را می‌توان با استفاده از روش الگوریتم ژنتیک حل نمود. نیو و ژانگ (Niu & Zhang, 2013)، روش الگوریتم ژنتیک الگوریتم ژنتیک مبتنی بر شبیه‌سازی را برای حل مسئله طراحی شبکه ساخت و اجرا و انتقال طراحی نمودند. طبق بررسی‌های انجام‌شده، الگوریتم ژنتیک، برای حل مسئله برنامه‌ریزی دوسطحی در حوزه حمل‌ونقل، موفق عمل کرده است. متغیرهای تصمیم در الگوریتم ژنتیک را می‌توان به‌صورت باینری، عدد صحیح یا شرح وقایع، کدهی کرد. در مورد مسئله این مقاله، متغیرهای تصمیم در مسئله سطح بالایی، از نوع باینری‌اند که بهتر است همواره از این نوع مؤلفه‌ها استفاده شود. در طی پروسه تکمیل الگوریتم ژنتیک، سه اپراتور با نام‌های تکثیر، ادغام و جهش لحاظ شده‌اند.

فرمول سطح بالا

$$\text{Min}_x \sum_a v_a(X) t_a(v_a(X)) \quad (3)$$

$$X_j = \begin{cases} 1 & \text{if shelter } j \text{ is selected} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}, \forall j \in J \quad (4)$$

$$\sum_{i \in I} q_{ij} \leq K_j X_j, \forall j \in J, \quad (5)$$

$$v_a(X) \leq p_a C_a, \forall a \in A, \quad (6)$$

۴-۱- فرمول سطح پایین

$$\text{Min}_{v, q} \sum_w \int_0^v t = (w) dw + \frac{1}{\beta} \sum_{i \in I} \sum_{j \in I} q_{ij} - (\ln q_{ij} - 1) \quad (7)$$

$$\sum_{r \in R_{ij}} \int_r^{ij} q = q_{ij}, \forall i \in I, j \in \bar{J}, \quad (8)$$

$$\sum_{j \in \bar{J}} q_{ij} = O_i, \forall i \in I, \quad (9)$$

$$\int_r^{ij} \geq 0, \forall i \in I, j \in \bar{J}, r \in R_{ij}, \quad (10)$$

$$q_{ij} \geq 0, \forall i \in I, j \in \bar{J}, r \in R_{ij} \quad (11)$$

$$v_z = \sum_{i \in I} \sum_{j \in \bar{J}} \sum_{r \in R_{ij}} \int_r^{ij} \delta_{ar}^{ij}, \forall a \in A \quad (12)$$

در تمام پناهگاه‌های  $\bar{J}$  تا مبدأ  $i$  برابر با طرح سفر مبدأ  $i$  است. معادلات (۸) و (۹) به ترتیب، محدودیت‌های غیرمنفی جریان مسیر و تقاضای OD را محاسبه می‌کنند. معادله (۱۰) محدودیت تعریف‌شده رابطه میان کمان و جریان‌ات مسیر را بیان می‌کند. می‌توان ثابت کرد که انتخاب مسیر طبق اصل اول واردروپ و انتخاب مقصد طبق مدل انتخاب لاجیت است. نکته مهم، این است که از فرمول پیشنهادی باهدف طراحی و نه اجرا استفاده شده است. در حال، بهتر است که رفتار مسافران را به‌عنوان تعادل کاربر و رفتار استاتیکی تصور نماییم.

رفتار مسافران در طرح تخلیه سیل، به‌صورت یک برنامه مدل‌سازی شده است. مسافران در تلاش برای رسیدن به پناهگاه امن با حداقل زمان سفرند که به‌صورت تابع هدفمند در معادله (۵) نشان داده شده است. با در اختیار داشتن پناهگاه‌های تعیین شده در سطح بالایی، مسافران قادر به انتخاب هم‌زمان مسیر و مقصد (پناهگاه) خواهند بود. معادله (۶)، محدودیت حفظ جریان را نشان می‌دهد. جمع کل جریان‌های مسیر بین مبدأ  $i$  و پناهگاه  $j$  باید معادل تقاضای O-D باشد. معادله (۷)، نشان‌دهنده محدودیت تولید است. جمع کل تقاضا

## ۵- راهکار پیشنهادی

شکل (۱)، نشان‌دهنده نمودار جریان الگوریتم ژنتیک مبتنی بر روش مذکور است. این روش را می‌توان به شرح ادامه خلاصه نمود. **مرحله ۱- مقداردهی اولیه:** پارامترهای الگوریتم ژنتیک مثل نرخ جهش، نرخ ادغام، اندازه جمعیت ( $P$ ) و حداکثر تعداد نسل‌ها ( $Nm$ ) از قبل تعیین شده است. جمعیت اولیه هم در نظر گرفته شده است. برای تشکیل جمعیت اولیه، انتخاب به صورت تصادفی انجام می‌شود. متغیر  $n$  و  $p$  با عدد یک مقداردهی می‌شود.

**مرحله ۲- ارزیابی:** مسئله سطح پایین تر را با استفاده از الگوریتم دومرحله‌ای، محاسبه کرده و تناسب راه‌حل  $p$ ، ارزیابی می‌شود.

**مرحله ۳- افزایش  $p = p + 1$ :** مرحله ۲ آن قدر تکرار می‌شود تا به اندازه جمعیت برسید.

- مرحله ۴- ارزیابی الگوریتم ژنتیک: با استفاده از اپراتورهای الگوریتم ژنتیک، همه راه‌حل‌ها ارتقا می‌یابد.  
 مرحله ۵- افزایش  $n = n+1$  مراحل ۲، ۳ و ۴ آن‌قدر تکرار می‌شود تا حداکثر عدد نسل‌ها حاصل شود.  
 مرحله ۶- بازده: نتایج حاصل از راهکار پیشنهادی ارائه می‌شود.

### ۱-۵- اپراتور تکثیر

یا یک به دست می‌آید. اگر  $R$  بزرگ‌تر از نرخ ادغام باشد، مقدار آن برابر با صفر و در غیر این صورت، یک خواهد بود.

جمعیت، به دو گروه و به صورت صعودی بر اساس قد و اندام تقسیم شده‌اند و به روشی که در بخش بعد، توضیح داده خواهد شد، شمارش می‌شوند. نیمه بالایی نجات خواهند یافت و در نسل‌های بعدی، تکرار خواهند شد. (مؤلفه الگوریتم ژنتیک برای حداقل سازی ارزش هدف طراحی می‌شود). از روش انتخاب چرخ رولت برای ایجاد کروموزوم‌های والد برای ادغام و جهش استفاده می‌شود. اپراتورهای ادغام و جهش، باعث ایجاد نیمه دیگر کروموزوم‌هایی می‌شوند که به نسل بعد منتقل خواهند شد.

### ۳-۵- اپراتور جهش

کروموزوم در الگوریتم ژنتیک، ساختاری باینری دارد. اپراتور جهش، باعث تغییر ارزش الل از یک به صفر و بالعکس، در هر نقطه جهش می‌شود. اپراتور جهش، در مورد الل هر کروموزوم و اینکه کار جهش را انجام دهد یا طبق نرخ جهش نباشد، تصمیم‌گیری می‌کند. شماره  $R$  برای هر الل با مقدار صفر یا یک ایجاد می‌شود. اگر  $R$  بزرگ‌تر از نرخ جهش باشد، جهش انجام نمی‌گیرد؛ در غیر این صورت، حتماً این کار صورت می‌پذیرد.

### ۲-۵- اپراتور ادغام

اپراتور ادغام در این مسئله، اپراتور ادغام چندنقطه‌ای است. برای هر زوج کروموزوم، یک ماسک باینری ایجاد می‌شود. اگر ارزش ماسک برابر با یک باشد، نسبت به تبادل ارزش الل در دو کروموزوم اقدام می‌شود؛ در غیر این صورت نباید این کار انجام شود. برای هر یک از الل‌ها در ماسک، عدد تصادفی صفر

### ۴-۵- تابع جریمه

برای راهبری محدودیت‌ها در الگوریتم ژنتیک، از تابع جریمه استفاده می‌شود. برای هر کروموزوم  $P$  تابع موردنظر به شرح ذیل تعریف می‌شود:

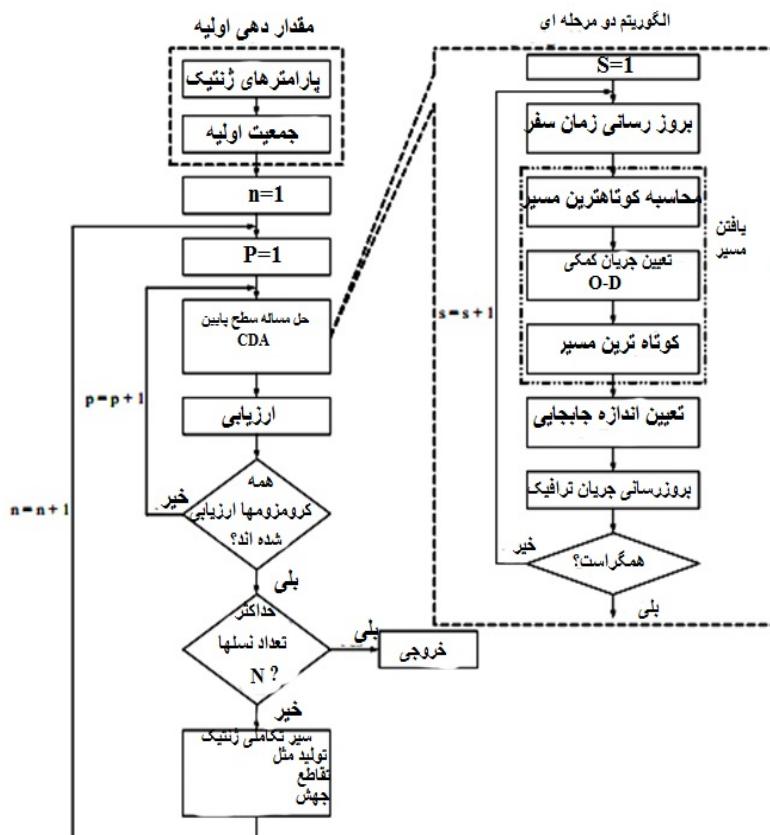
$$h_p = \sum_{a \in A} v_a(X) t_a(v(X)) + \eta \sum_{j \in J} \max \left( \sum_{i \in I} q_{ij} - K_j X_j, 0 \right) \quad (13)$$

$$+ \lambda \sum_{a \in A} \max (v_a(X) - p_a c_a, 0)$$

$$h_p = \sum_{a \in A} v_a(X) t_a(x(X)) + \eta \sum_{j \in J} \max \left( \sum_{i \in I} q_{ij} - K_j X_j, 0 \right) \quad (14)$$

$$+ \lambda \sum_{a \in A} \max (v_a(X) - p_a c_a, 0)$$

در معادله بالا،  $\eta$ ، پارامتر جریمه مرتبط با محدودیت (۳) و  $\lambda$ ، پارامتر جریمه مرتبط با محدودیت (۴) است. در اینجا عددی بزرگ برای پارامتر جریمه در نظر گرفته می‌شود.



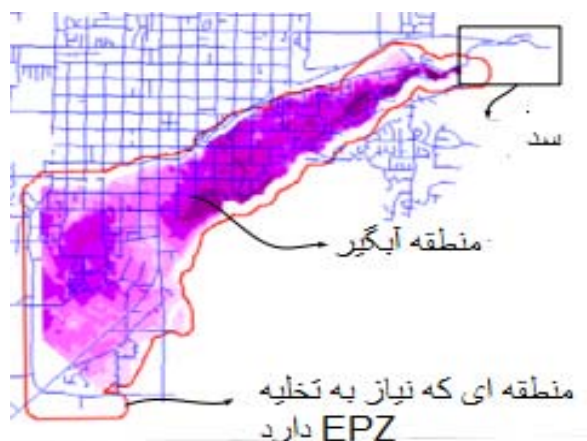
شکل ۱. فلوجارت به دست آوردن راه حل مبتنی بر الگوریتم ژنتیک

### ۵-۵- نمونه فرضی

در این بخش، از شبکه یک شهر فرضی نشان داده شده در شکل (۲)، برای توضیح عددی مسئله استفاده می‌شود. سد و مخزن آب در سمت شرق شهر قرار گرفته‌اند. حوزه طغیان روز با استفاده از نرم‌افزار Mike21 و با مدل هیدرودینامیک دوبعدی با موتور تفاضل محدود برای تعیین منطقه طغیان روز، به دست می‌آید. مؤلفه EPZ، به کمک فاصله بافر ۵۰۰ فوتی از منطقه طغیان تعیین می‌شود. جمعیت در شهر فرضی، معادل ۴۲،۶۷۰ نفر در نظر گرفته می‌شود که حدود ۲۱٪ از آن، در درون محوطه EPZ زندگی می‌کنند. شکل (۲)، نشان‌دهنده شبکه یک شهر فرضی، مکان سد و مخزن آب، محوطه طغیان رود و EPZ است.

برای ارزیابی ارزش هر کروموزوم، مسئله سطح پایین تر برای محاسبه کل زمان سفر، تقاضای OD و جریان کمان حل می‌شود. برای حل فرمول CDA، به شکل (۱) توجه شود که در آن از الگوریتم دو مرحله‌ای استفاده شده است؛ سپس، جریان‌های کمکی OD بر اساس مدل توزیع لاجیت، تعیین و مشخص می‌شوند. پس از آن، موارد لازم برای محاسبه حداقل زمان سفر بین مبادی و مقاصد بکار گرفته می‌شوند. مابقی مراحل مشابه با روش ترکیب محذب است. جریان کمان، از مرحله قبل به دست می‌آید. پس از آن، اندازه سفر تعیین می‌شود. جریان‌های کمان و جریان‌های OD بر اساس اندازه سفر از مرحله قبل، به‌روز می‌شوند. مرحله نهایی، آزمون همگرایی است و الگوریتم زمانی پایان می‌یابد که مقیاس همگرایی، مطلوب باشد؛ در غیر این صورت، تکرار می‌شود.





شکل ۲. شبکه جاده‌ای یک شهر فرضی و مکان سد

ترافیکی تقسیم می‌شود. فرض می‌شود که ضریب اشغال وسیله نقلیه، برابر با  $1/30$  نفر در هر وسیله نقلیه باشد. تعداد افراد در هر نقطه ترافیکی، به نرخ  $VOC$  تقسیم می‌شود تا میزان تقاضای ترافیک، حاصل شود. جدول (۲)، نشان‌دهنده تعداد سفر در هر منطقه ترافیکی، با تقاضای کل  $6900$  نفر سفر در ساعت است.

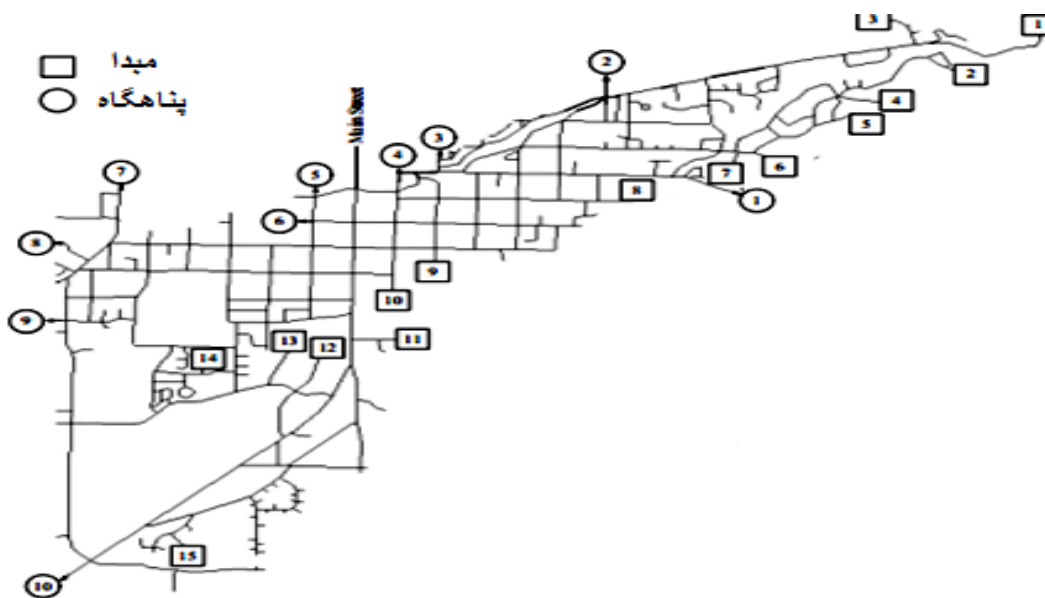
مکان‌های بالقوه پناهگاه، از قبل تعریف شده‌اند و شامل هفت مسجد، دو انبار و یک مؤسسه آموزشی‌اند. تمام این مکان‌ها، خارج از منطقه طغیان روز قرار دارند. مکان‌های مبدأ و مقصد (پناهگاه بالقوه) در شکل (۳) نشان داده شده است.

با استفاده از پایگاه داده مکانی، شبکه جاده‌ای یک شهر فرضی برای تجزیه و تحلیل عددی، کدبندی شد. حوزه مطالعاتی، در جنوب شرقی یک شهر فرضی واقع شده است. حوزه طغیان روز، تقریباً  $5$  مایل مربع بوده و بر اساس داده‌های به دست آمده برای طراحی، به  $15$  مبدأ تقسیم می‌شود. شبکه مزبور، در شکل (۳) به تصویر کشیده شده است که متشکل از  $15$  مبدأ،  $10$  پناهگاه بالقوه،  $126$  گره و  $360$  کمان است. تابع استاندارد جاده عمومی مطابق با تابع زمان سفر در  $CDA$ ، به صورت ذیل است. در تابع بالا،  $t_a^0$  زمان سفر جریان آزاد روی کمان  $a$  است که بر اساس طول کمان و محدوده سرعت آن محاسبه می‌شود. حوزه  $EPZ$  به  $15$  منطقه تجزیه و تحلیل

$$t_a(v_a) = t_a^0 \left[ 1.0 + 0.15 \left( \frac{v_a}{C_a} \right)^4 \right] \quad (15)$$

جدول ۲. تعداد سفر در هر ساعت در هر یک از مناطق ترافیکی

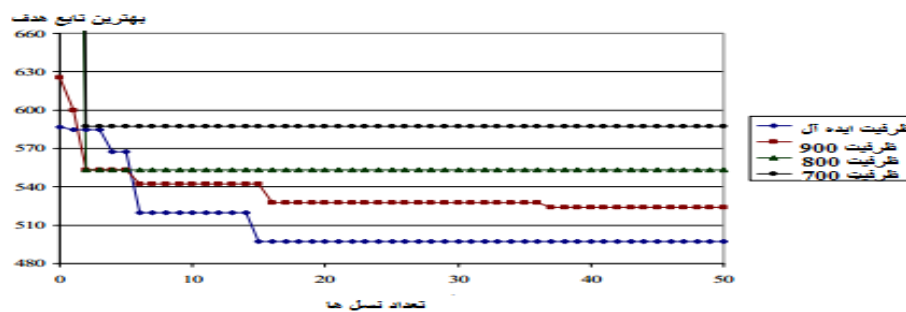
منطقه	تعداد سفر در ساعت	منطقه	تعداد سفر در ساعت	منطقه	تعداد سفر در ساعت
۱	۴۰۰	۶	۶۰۰	۱۱	۵۰۰
۲	۴۰۰	۷	۶۰۰	۱۲	۱۰۰
۳	۵۰۰	۸	۶۰۰	۱۳	۳۰۰
۴	۷۰۰	۹	۶۵۰	۱۴	۴۰۰
۵	۵۰۰	۱۰	۴۵۰	۱۵	۲۰۰



شکل ۳. منطقه مورد مطالعه و مکان‌های مربوط به میدانی و پناهگاه‌ها

زمان تخلیه ممکن صورت می‌گیرد. در نمونه عددی مزبور، از پارامترهای ذیل استفاده می‌شود:  
اندازه جمعیت، ۱۶ کروموزوم است.  
حداکثر تعداد نسل‌ها، ۵۰ است.  
احتمال جهش، معادل ۰/۲۰ است.  
حداکثر درجه قابل قبول اشباع روی کمان  $a$  و  $p_a$  برای همه کمان‌های شبکه، برابر ۰/۹ است.  
پارامتر امیدانس، معادل ۰/۱۰ است.  
شکل (۴)، نشان‌دهنده منحنی‌های همگرایی الگوریتم ژنتیک، بر اساس ظرفیت‌های مختلف پناهگاه‌ها است. همان‌طور که می‌توان مشاهده نمود، اکثر نتایج بعد از نسل بیستم، همگرا شده‌اند.

فرضیات ذیل، برای مطالعه موردی حاضر، ارائه شده‌اند:  
اغلب جاده‌ها در حوزه مطالعاتی، خیابان‌های محلی، با محدوده سرعت ۲۵ متر در ساعت‌اند. محدوده سرعت در خیابان اصلی بین ۳۵ متر در ساعت و ۴۵ متر در ساعت است و جاده موردنظر، خارج از منطقه جنوبی شهر واقع شده است.  
همه وسایل نقلیه، از نوع اتومبیل‌های حمل مسافر هستند. اکثر خیابان‌های محلی، یک‌طرفه و با ظرفیت ۱۲۰۰ سفر در ساعت‌اند و برخی از خیابان‌ها، دوطرفه و با ظرفیت ۳۰۰۰ سفر در ساعت در هر مسیر هستند.  
طرح تخلیه پیشنهادی در مقاله حاضر، برای تخلیه مردم از مناطق EPZ به یکی از پناهگاه‌هایی است که در خارج از منطقه طغیان روز قرار گرفته‌اند. این کار با استفاده از حداقل



شکل ۴. روش همگرایی الگوریتم ژنتیک با ظرفیت‌های متفاوت پناهگاه

## ۵- اثرات محدوده، بدون تأثیر ظرفیت

رسیدن به پناهگاه دارد، معادل ۱۰/۱۹ دقیقه است. حداقل زمان سفر OD و متوسط زمان سفر OD نیز به ترتیب برابر با ۱/۵۲ و ۴/۴۵ دقیقه است. فهرست پناهگاه‌های انتخابی و تعداد سفرهای مربوط به هر یک، در جدول (۳) ارائه شده است.

- \*پناهگاه، انتخاب نشده است.

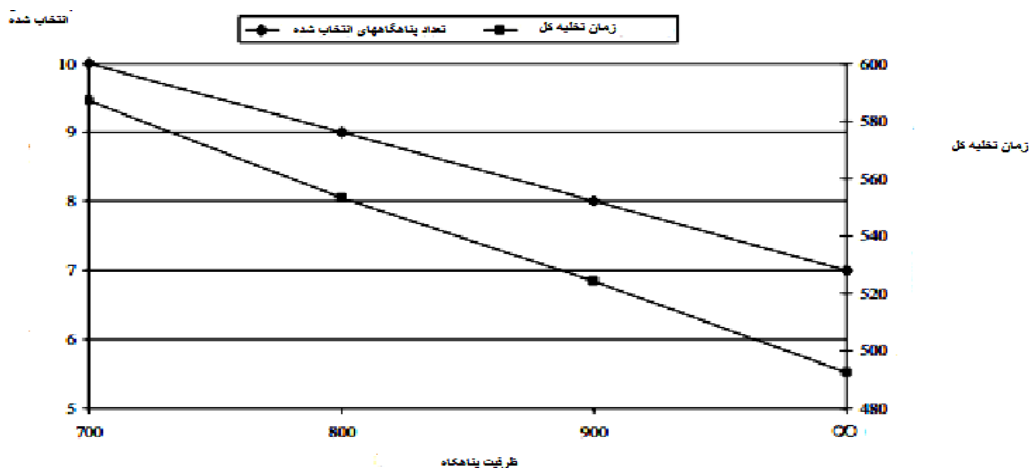
- منظور از  $TET^+$ ، زمان کلی تخلیه است.

ساعت، حدود ۷۶۸ وسیله نقلیه به پناهگاه‌های ۱، ۲، ۳ و ۴ و حدود ۷۶۷ وسیله نقلیه به پناهگاه‌های ۵ و ۶ و نیز ۷۶۴ وسیله نقلیه به پناهگاه ۷ و در نهایت ۷۶۵ وسیله نقلیه به پناهگاه‌های ۸ و ۹ خواهند رفت و پناهگاه ۱۰ که به‌طور کلی، انتخاب نشد. در مورد ظرفیت پناهگاه ۹۰۰ سفر در ساعت، حدود ۸۶۴ وسیله نقلیه به پناهگاه‌های ۱، ۲، ۳ و ۴، حدود ۸۶۳ وسیله نقلیه به پناهگاه ۵ و ۶ و در آخر، ۸۵۹ وسیله نقلیه نیز به پناهگاه‌های ۸ و ۹ وارد خواهند شد. پناهگاه‌های ۷ و ۱۰ نیز اصلاً انتخاب نشدند. کاملاً مشخص و مبرهن است که هرچقدر ظرفیت پناهگاه، کمتر باشد، تعداد پناهگاه‌های بیشتری مورد نیاز خواهد بود. معرفی گرافیکی اثرات محدودیت ظرفیت با ظرفیت‌های مختلف، در شکل (۵) نشان داده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، تناسب بین ظرفیت پناهگاه و تعداد پناهگاه‌های انتخابی ترسیم شده است. هرچقدر ظرفیت پناهگاه کمتر باشد، باید پناهگاه‌های بیشتری انتخاب گردد و این کار، باعث افزایش زمان کلی تخلیه خواهد شد.

ابتدا شرایط ایده آل در نظر گرفته می‌شود؛ که در آن، محدوده ظرفیت، بر روی بیشترین ارزش، تنظیم شده است. مسافران قادر به انتخاب هر یک از پناهگاه‌ها، بدون نیاز به بررسی محدوده ظرفیت هستند. در این صورت، هفت پناهگاه بر اساس کل زمان تخلیه یعنی ۴۹۲/۴۲ vah-hr/hr انتخاب می‌شود. حداکثر زمان سفر OD در میان تمام زوج‌های OD که اشاره به مدت‌زمان لازم برای تمام مسافران برای برای مطالعه در مورد تأثیر مکان پناهگاه بر عملکرد طرح تخلیه، به مقایسه شرایط ایده آل با هشت پناهگاه دیگر پرداخته شد. فرض شد که پناهگاه‌های ۱ و ۳ انتخاب نشده‌اند. زمان کلی تخلیه تا سقف ۶۳۵/۱۱ vah-hr/hr و حداقل و حداکثر و متوسط زمان سفر OD نیز به ترتیب تا سقف ۱۱/۸۰، ۱/۶۱ و ۵/۴۴ دقیقه افزایش می‌یافت. نتیجه مزبور، اشاره به اهمیت انتخاب مکان پناهگاه در طرح تخلیه دارد.

### اثرات ناشی از ایجاد محدودیت در ظرفیت و ذخیره سازی

اکنون می‌توان گفت که ظرفیت پناهگاه، برابر با ۷۰۰ سفر در ساعت، برای همه پناهگاه‌ها است. همه ده پناهگاه انتخاب خواهند شد. فهرست نتایج در جدول (۳) ارائه شده است. واضح است که هرچقدر پناهگاه‌های بیشتری انتخاب شود، زمان کلی تخلیه نیز افزایش خواهد یافت. در شرایط ایده آل، تمام سفرها به هر یک از پناهگاه‌ها کمتر از ۱۰۰۰ سفر در ساعت بود. به دلیل حساسیت بررسی، دو ظرفیت مختلف (۸۰۰ و ۹۰۰ سفر در ساعت) برای پناهگاه‌ها انتخاب شد. جدول (۲)، نشان‌دهنده نتایج مربوط به این بررسی است. به‌طور مثال، در زمینه ظرفیت پناهگاهی معادل ۸۰۰ سفر در



شکل ۵. تعداد پناهگاه‌های انتخاب‌شده در مقایسه با ظرفیت هر پناهگاه

جدول ۳. جذب پناهگاه برای ظرفیت‌های مختلف

پناهگاه	$K_j=\infty$	$K_j=900$	$K_j=800$	$K_j=700$
1	987	864	768	692
2	987	864	768	692
3	987	864	768	692
4	987	864	768	692
5	985	863	767	691
6	985	863	767	691
7	•	•	764	688
8	•	859	765	688
9	982	859	765	688
10	•	•	•	686
تعداد پناهگاه‌های انتخاب شده	7	8	9	10
TET <sup>+</sup> (veh-hr/hr)	492.42	524.13	553.21	587.04
بیشترین زمان OD (دقیقه)	10.19	10.20	10.36	11.64
کمترین زمان OD (دقیقه)	1.52	1.51	1.51	1.50
میانگین زمان OD (دقیقه)	4.45	4.68	4.89	5.13

جدول ۴. ایجاد سفر در هر یک از مناطق ترافیکی با ظرفیت اشغال وسیله نقلیه توسط ۲ نفر

منطقه	سطح تولید	منطقه	سطح تولید	منطقه	سطح تولید
۱	۲۶۰	۶	۳۹۰	۱۱	۳۲۵
۲	۲۶۰	۷	۳۹۰	۱۲	۶۵
۳	۳۳۰	۸	۳۹۰	۱۳	۱۹۵
۴	۴۶۰	۹	۴۲۵	۱۴	۲۶۰
۵	۳۲۵	۱۰	۲۹۵	۱۵	۱۳۰

#### تأثیر میزان اشغال وسیله نقلیه

حداکثر، حداقل و میانگین زمان سفر OD به ترتیب تا حدود ۱۷، ۸۳ و ۵۳ درصد کاهش می‌یابد. طبق نتایج ارائه شده در جدول (۴)، هرگونه افزایش در میزان اشغال شدن وسیله نقلیه، منجر به کاهش کل زمان تخلیه خواهد شد. این نکته اشاره دارد که مسافران، شانس بیشتری برای رساندن ایمن خود به پناهگاه خواهند داشت. یکی از راه‌هایی که در زمینه طراحی تخلیه، مؤثرتر است، افزایش نرخ اشغال وسیله نقلیه در طول دوره تخلیه است.

به منظور تحقیق و تفحص در مورد اثرات ناشی از طراحی تخلیه، نرخ اشغال وسیله نقلیه، ۲ نفر در هر وسیله نقلیه فرض می‌شود. ایجاد سفر و جذابیت پناهگاه با میزان اشغال شدن وسیله نقلیه، به ترتیب در جداول (۳) و (۴) نشان داده شده است. تعداد کل پناهگاه‌های انتخاب شده معادل TET<sup>+</sup> و حداکثر زمان سفر OD نیز در مقایسه با 1.30 VOC کمتر است و دلیل آن، ظرفیت اشغال بیشتر در هر وسیله نقلیه است. به طور متوسط، مقدار TET<sup>+</sup>، ۴۵ درصد کاهش می‌یابد.

جدول ۵. جذابیت پناهگاه برای ظرفیت‌های مختلف و نرخ اشغال وسیله نقلیه توسط ۲ نفر

پناهگاه	$K_j=\infty$	$K_j=900$	$K_j=800$	$K_j=700$
1	900	900	750	644
2	900	900	750	644
3	900	900	750	643
4	900	900	750	643
5	•	•	750	643
6	900	900	750	643
7	•	•	•	•
8	•	•	•	•
9	•	•	•	640
10	•	•	•	•
تعداد پناهگاه‌های انتخاب شده	5	5	6	7
TET <sup>+</sup> (veh-hr/hr)	282.31	282.31	287.84	315.48
بیشترین زمان OD (دقیقه)	8.44	8.44	8.42	10.04
کمترین زمان OD (دقیقه)	1.46	1.46	1.45	1.45
میانگین زمان OD (دقیقه)	4.06	4.06	4.09	4.38

#### ارزیابی و مقایسه

تجزیه و تحلیل و در دسترس بودن داده‌های مکانی مربوطه، بستگی دارند؛ بنابراین اگر داده‌های بهتری در دسترس باشد می‌توان کار را بهبود بخشید. به عنوان مثال، یک پایگاه داده شبکه جاده ای با وضوح بالا، شناسایی زمان لازم برای تخلیه هر منطقه خطرناک را میسر می‌کند. مناسب بودن پناهگاه‌های موجود در چادر، هم می‌تواند با استفاده از یک مدل ارتفاع دیجیتال با وضوح بالا، مکان تأسیسات حیاتی، و یک مدل دقیق هیدرولوژیکی و غیره مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرد. پناهگاه‌ها برای به حداقل رساندن خطر از آینده در اثر تغییرات آب و هوایی، باید بررسی شوند. این مطالعه و تحقیقاتی شبیه به آن، می‌تواند اطلاعاتی را در اختیار برنامه‌ریزان شهری و مدیران اورژانس در شرایطی قرار دهد که رشد بدون کنترل شهری، شاهد استقرار هزاران نفر در مکان‌های خطرناک است. همچنین می‌تواند به عنوان یک خط پایه برای ایجاد سیاست‌های سازگاری استفاده شود زیرا انتظار می‌رود که بازندگی‌های شدید ناشی از گرم شدن کره زمین، عواقب بیشتری داشته باشد. چنین استراتژی‌های سازگاری نسبت به کارهای کنترل گسترده بیشتر، مقرون به صرفه خواهد بود.

توزیع فضایی پناهگاه‌های بالقوه و محل استقرارهای آسیب پذیر به صورت جداگانه با نقشه ریسک، به دست می‌آید. با استفاده از ابزارهای مدل سازی فضایی موجود در ArcGIS، می‌توان دسترسی به پناهگاه‌ها را تخمین زد. تجزیه و تحلیل‌ها نشان می‌دهد که حدود ۱۹/۳ درصد از واحدهای مسکونی، شامل ۲۴/۸ درصد از جمعیت منطقه مورد مطالعه، آسیب پذیر بودند. هنگامی که توزیع فضایی پناهگاه‌های بالقوه برای هر یک از حوضه‌های آبریز مورد بررسی قرار گرفت، مشخص شد که تعدادی از پناهگاه‌های بالقوه در منطقه مورد مطالعه نه در مکان بهینه قرار گرفته‌اند و نه به طور یکنواخت توزیع شده‌اند تا حداکثر تعداد واحدهای مسکونی آسیب پذیر را تامین کنند. به عنوان مثال، تعدادی از پناهگاه‌ها در فاصله بیش از یک کیلومتری از نزدیکترین واحدهای مسکونی آسیب پذیر واقع شده است. علاوه بر این، تعدادی از آنها، به صورت بالقوه ظرفیت کافی برای خدمات رسانی به مردم محلی در شرایط اضطراری را ندارند. این اطلاعات برای مدیران اورژانس، ارزشمند خواهد بود تا تلفات جانی و مالی عواقب آینده را به حداقل برسانند. توجه به این نکته نیز مهم است که مدل‌های مکانی مربوط به تخلیه جمعیت نیز به منطقه جغرافیایی مورد

## ۵- نتیجه گیری

به عنوان اصل توازن اتفاقی کاربر، فرمول‌بندی نمود. پارامتر مؤثر بر رفتار مسافران تحت شرایط وقوع بلا، امیدانس است که با داشتن مقادیر متفاوت، رفتار مسافران نیز متفاوت خواهد بود. هرچه مقدار پارامتر امیدانس بالاتر باشد، مسافران به نزدیک‌ترین پناهگاه، دسترسی خواهند داشت. پویایی منطقه سیل‌زده و همچنین پویایی ترافیک در شبکه جاده‌ای را می‌توان با استفاده از روش مدل‌سازی شبکه ترافیک پویا به دست آورد. از تحقیقاتی که می‌توان در زمینه تخلیه مکان‌های مسکونی برای کاهش آسیب سیل زدگی انجام داد، افزایش ظرفیت گذردهی رودخانه‌های سیل‌خیز است که می‌توان با انجام مطالعات تکمیلی در این زمینه، به آن دست یافت. همچنین می‌توان با بهبود الگوریتم‌های دیگر به مثابه الگوریتم ژنتیک، به راهکارهای مفیدی برای بهبود تخلیه مکان‌ها در هنگام وقوع سیل رسید. مسئله سرعت در هنگام تخلیه مکانها، اهمیت زیادی دارد و بهتر است در پژوهش‌های آینده، این موضوع با جدیت و با در نظر گرفتن همه جوانب بررسی شود. در اغلب مدل‌هایی که در زمینه تخلیه برای سیل پیشنهاد شده است، پارامتر خاصی به صورت برجسته، اهمیت دارد که برای نیل به یک مدل همه جانبه و جامع، لزوم ترکیب این مدل‌ها و تعریف یک تابع هیبریدی احساس می‌شود تا با حل مسائل چندهدفه، بهبود کلی حاصل شود.

در این پژوهش، مدل تخصیص مکان دوسطحی برای تخلیه سیل و با محدودیت ظرفیت پناهگاه پیشنهاد شد. مدل تخصیص مکان دوسطحی، باعث ارزیابی روشی واقعی‌تر برای مدل‌سازی مسیر مسافران و گزینه‌های مقصد است که یکی از اهداف مقاله حاضر بشمار می‌رود. روش حل مسئله‌ای مبتنی بر الگوریتم ژنتیک، برای حل مسئله برنامه دوسطحی، طراحی شد. همچنین برای بهبود عملکرد الگوریتم ژنتیک، سه اپراتور با نام‌های تکثیر، ادغام و جهش مورد بررسی قرار گرفت. نتایج، نشان داد که انتخاب مکان پناهگاه و اثرات ناشی از محدودیت ظرفیت در طرح تخلیه، دارای اهمیت است. همچنین، رابطه مستقیمی بین ظرفیت پناهگاه موجود و تعداد پناهگاه‌های انتخابی وجود دارد؛ هرچه قدر ظرفیت بیشتر باشد، تعداد پناهگاه‌های انتخابی و زمان کلی تخلیه، کاهش خواهد یافت. محدودیت الگوریتم ژنتیک، اندازه مسئله است که تأثیری به سزا در کل زمان محاسبه این الگوریتم خواهد داشت. هرچه شبکه بزرگ‌تر باشد، زمان محاسبه نیز طولانی‌تر خواهد شد. باین وجود، الگوریتم ژنتیک برای حل شبکه‌هایی در اندازه کوچک تا متوسط، مناسب است.

انتخاب مسیر مسافران، به عنوان تابعی از اصل اول واردروپ با عنوان توازن کاربر است؛ اما در شرایط وقوع هرگونه اتفاق غیرمترقبه، ممکن است مسافران، اطلاعات دقیقی از شرایط ترافیک نداشته باشند. انتخاب مسیر از سوی مسافران را می‌توان

## ۶- مراجع

evacuation with uncertainties: A scenario-based approach", In arXiv.  
-Jeong, D., Kim, M., Song, K., & Lee, J., (2020), "Planning a Green Infrastructure Network to Integrate Potential Evacuation Routes and the Urban Green Space in a Coastal City: The Case Study of Haeundae District, Busan, South Korea. Science of the Total Environment", Doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143179.  
-Kongsomsaksakul, S., Yang, C., & Chen, A., (2005), "Shelter location-allocation model for flood evacuation planning", Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies.  
-Konstantinidou, M. A., Kepaptoglou, K. L., Karlaftis, M. G., & Stathopoulos, A., (2015),

-Ait Laamim, M., Makrizi, A., & Essoufi, E. H., (2019), "Application of Genetic Algorithm for Solving Bilevel Linear Programming Problems", In Studies in Computational Intelligence. Doi.org/10.1007/978-3-319-95104-1\_8.  
-David, R., & Pyne, G., (2017), "Groundwater Recharge and Wells", In Groundwater Recharge and Wells. Doi.org/10.1201/9780203719718.  
-Dudek, G., & Stadtler, H., (2007), "Negotiation-based collaborative planning in divergent two-tier supply chains", International Journal of Production Research. Doi.org/10.1080/00207540600584821.  
-Haghpanah, F., & Foroughi, H., (2018), "Optimal shelter location-allocation during

- Doi.org/10.3934/jimo.2016028.
- Raikes, J., Smith, T. F., Jacobson, C., & Baldwin, C., (2019), "Pre-disaster planning and preparedness for floods and droughts: A systematic review", In *International Journal of Disaster Risk Reduction*.  
Doi.org/10.1016/j.ijdr.2019.101207.
- Ridwansyah, I., Yulianti, M., Apip, Onodera, S. ichi, Shimizu, Y., Wibowo, H., & Fakhrudin, M., (2020), "The impact of land use and climate change on surface runoff and groundwater in Cimanuk watershed, Indonesia", *Limnology*.  
Doi.org/10.1007/s10201-020-00629-9.
- Rossi, E., Bruschetta, M., Carli, R., Chen, Y., & Farina, M., (2019), "Online nonlinear model predictive control for tethered uavs to perform a safe and constrained maneuver", 2019 18th European Control Conference, ECC 2019. Doi.org/10.23919/ECC.2019.8796032.
- Takabatake, T., Fujisawa, K., Esteban, M., & Shibayama, T., (2020), "Simulated effectiveness of a car evacuation from a tsunami", *International Journal of Disaster Risk Reduction*.  
Doi.org/10.1016/j.ijdr.2020.101532.
- Wu, W., Liang, Z., Luo, Q., & Ma, F., (2018), "Game Theory Modelling for Vehicle U-Turn Behavior and Simulation Based on Cellular Automata", *Discrete Dynamics in Nature and Society*. Doi.org/10.1155/2018/5972495.
- Žilionienė, D., D'Acerno, L., Botte, M., & Gallo, M., (2019), "A general methodology for reducing computing times of road network design algorithms", *International Journal of Supply and Operations Management*. Doi.org/10.22034/2019.2.3.
- "Joint evacuation and emergency traffic management model with consideration of emergency response needs", *Transportation Research Record*. Doi.org/10.3141/2532-13.
- Li, M., Xu, J., Liu, X., Sun, C., & Duan, Z., (2018), "Use of shared-mobility services to accomplish emergency evacuation in urban areas via reduction in intermediate trips-Case study in Xi'an, China", *Sustainability (Switzerland)*. Doi.org/10.3390/su10124862.
- Mostafizi, A., Wang, H., Cox, D., & Dong, S., (2019), "An agent-based vertical evacuation model for a near-field tsunami: Choice behavior, logical shelter locations, and life safety", *International Journal of Disaster Risk Reduction*.  
Doi.org/10.1016/j.ijdr.2018.12.018.
- Nikoo, N., Babaei, M., & Mohaymany, A. S., (2018), "Emergency transportation network design problem: Identification and evaluation of disaster response routes", *International Journal of Disaster Risk Reduction*. Doi.org/10.1016/j.ijdr.2017.07.003
- Niu, B., & Zhang, J., (2013), "Price, capacity and concession period decisions of Pareto-efficient BOT contracts with demand uncertainty", *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*. Doi.org/10.1016/j.tre.2013.01.012.
- Oloruntoba, R., Sridharan, R., & Davison, G., (2018), "A proposed framework of key activities and processes in the preparedness and recovery phases of disaster management", *Disasters*. Doi.org/10.1111/disa.12268.
- Pyakurel, U., & Nath Dhamala, T., (2017), "Evacuation planning by earliest arrival contraflow", *Journal of Industrial & Management Optimization*.

# Shelter Allocation and Location Model for Evacuation Plan of Coastal Cities during Floods (multi-level model)

*Sajjad Amiri Doumari, M.Sc., Grad., Instructor, Math and Science Department,  
Sirjan University of Technology, Sirjan, Iran.*

*E-mail: amiri@sirjantech.ac.ir*

Received: March 2023- Accepted: August 2023

## **ABSTRACT**

Disasters are classified into two groups: man-made disasters and natural disasters. One of the main goals of crisis management is to reduce the damage and minimize personal suffering and improve the situation as much as possible. This study examines the evacuation planning before a flood occurs and the design of suitable shelter locations for flood evacuation. The issue involves the leadership (authorities) determining the locations of the shelter to minimize evacuation time and a few followers (migrants) who are able to choose the destination (shelter) and the route leading to it. In this study, in order to investigate the evacuation planning before the flood disaster, a location allocation model for the implementation of the flood evacuation plan is proposed. The proposed model is formulated as a two-tier programming problem using a genetic algorithm. The high-level problem is the selection of shelters with minimum evacuation time and the low-level problem is a combination of distribution and allocation (CDA) problems. In order to solve the two-level program problem, GA-based problem solving method is designed. The results showed that planning is one of the most important tools used in crisis and disaster management. The choice of shelter location and the effects of capacity range on the evacuation plan have the particular importance. As the capacity of the existing shelter increases, the number of selected shelters and the total evacuation time will decrease. Also, any increase in the occupancy rate of the vehicle will lead to a reduction in the total unloading time.

**Keywords:** Genetic Algorithm, Two-level Planning, Evacuation Plan, Location Allocation Model