



## مساله مکان‌یابی پوششی مراکز امدادی در رفتار مدیریت لجستیک بشردوستانه با عملیات

### نجات مبتنی بر پهپاد در شرایط عدم قطعیت

امین فروغی<sup>۱</sup>

بابک فرهنگ‌مقدم<sup>۲</sup>

محمدحسن بهزادی<sup>۳</sup>

فرزاد موحدی‌سبحانی<sup>۴</sup>

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۱۱/۱۶ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۱۲/۲۴

#### چکیده

بلاای طبیعی به دلیل ماهیت غیرمنتظره بودن و وسعت وقایع، تنوع و مقدار تدارکات و خدمات مورد نیاز قربانیان، نیازمند بسیج فوری و اقدام ذینفعان متعدد است. تمرکز عملیات‌های امداد بحران بر طراحی حمل و نقل مواد کمک‌های اولیه، غذا، تجهیزات و پرسنل نجات از نقاط عرضه به تعداد زیادی از گره‌های مقصد که در سراسر ناحیه بحران از نظر جغرافیایی پراکنده شده‌اند و تخلیه و انتقال سریع افراد آسیب دیده از بحران به مراکز پزشکی و پناهگاه‌های امن می‌باشد. لذا از مسائل مهم و کارآمد در حمل و نقل بشردوستانه، مساله مسیریابی وسیله نقلیه امدادی است. در این مقاله، مساله مکان‌یابی تسهیلات فازی متراکم با ظرفیت چند سطحی در عملیات نجات مبتنی بر پهپاد مورد مطالعه قرار می‌گیرد. هدف این مساله تعیین بهترین مکان‌ها برای راه‌اندازی و سوخت‌گیری جایگاه‌ها به‌گونه‌ای است که زمان انتظار حادثه دیدگان برای دریافت امداد مورد نیاز از یک آستانه مشخص فراتر نرود. به دلیل ماهیت غیر قطعی بحران در مدل پیشنهادی تقاضا فازی در نظر گرفته شده است سپس این مدل فازی با استفاده از روش خیمنز به مدل قطعی تبدیل شده است. در نهایت مدل ریاضی پیشنهادی با استفاده از الگوریتم NSGA-II حل و نتایج ارائه گردید.

#### کلمات کلیدی

مکان‌یابی پوششی، مدیریت لجستیک بشردوستانه، تسهیلات فازی متراکم، عملیات نجات مبتنی بر

پهپاد، شرایط عدم قطعیت، الگوریتم NSGA-II

۱- دانشجوی دکتری، گروه مهندسی صنایع، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. amin.foroghi@gmail.com

۲- دانشیار موسسه عالی آموزش و پژوهش مدیریت و برنامه‌ریزی، تهران، ایران. (نویسنده مسئول) farhang@imps.ac.ir

۳- دانشیار، گروه آمار، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. behzadi.stat@gmail.com

۴- استادیار، گروه مهندسی صنایع، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. fmovahedi@iau.ac.ir

بلاای طبیعی همچون سیل زلزله و غیره شبکه های حمل و نقل را در معرض آسیب های جدی قرار می دهند و ارائه یک رویکرد علمی مناسب برای مدیریت لجستیک بحران، امری ضروری در جهت کاهش صدمات جانی و خسارات مالی است. در زمان بروز حوادث و بلاای طبیعی اساسی ترین نیاز حادثه دیده گان امدادسانی به موقع است لجستیک باعث هماهنگی بیشتر برای تحویل کالاهای امدادی و افزایش سرعت تحویل و کاهش زمان پاسخگویی می شود. (غریب زانوس و همکاران، ۱۳۹۹).

هدف یک مسأله مسیریابی وسایل نقلیه پیدا کردن مجموعه ای از مسیرها برای چندین وسیله نقلیه از یک (تک انبار) یا چندانبار (چند انبار) به تعدادی مشتری و برگشتن به انبار، بدون این که محدودیت ظرفیت هر وسیله نقلیه نقض شود، با حداقل هزینه است. (عادل زاده و همکاران، ۲۰۱۴).

ازسویی دیگر بکارگیری وسایل نقلیه یکسان واز یک نوع بخصوص (وسيله نقلیه همگن) می تواند قابلیت اجرایی عملیات توزیع و سرعت پاسخگویی به حادثه دیدگان را کاهش دهد از این رو، در نظر گرفتن وسایل نقلیه ای که متفاوت در ظرفیت، سرعت، مصرف سوخت و غیره (وسایل نقلیه ناهمگن) تا حد زیادی این مشکل را برطرف خواهد کرد. بدیهی است وقتی بحران در سطح بالایی رخ دهد، تصمیم گیرنده برای مدیریت صحیح و سریعتر بحران و بالابردن قابلیت انجام عملیات توزیع کالا (حتی در صورت خرابی جاده یا شرایط بدجوی)، ترجیح میدهد از وسیله نقلیه زمینی و هوایی و دریایی و ریلی (چند حالتی) بطور همزمان استفاده کند. (کانون و همکاران، ۱۹۸۶).

در این مقاله، مساله مکان یابی تسهیلات فازی متراکم با ظرفیت چند سطحی در عملیات نجات مبتنی بر پهپاد مورد مطالعه قرار می گیرد. هدف این مساله تعیین بهترین مکان ها برای راه اندازی و سوخت گیری جایگاه ها به گونه ای است که زمان انتظار حادثه دیدگان برای دریافت امداد مورد نیاز از یک آستانه مشخص فراتر نرود. از آنجایی که در این مساله عملیات امداد از طریق پهپادهای متحرک انجام می شود، از یک چارچوب صف  $M/G/K$  برای محاسبه زمان انتظار حادثه دیدگان در سیستمی که دارای  $K$  سرور یا پهپاد است استفاده می شود. در این سیستم صف، تقاضا از توزیع پواسون تبعیت می کند و زمان سرویس که معادل زمان پرواز برای رسیدن به حادثه دیدگان است، دارای توزیع کلی می باشد. نرخ تولید تقاضای هر گره شبکه، هزینه ایجاد تسهیلات، قیمت پهپادها و ظرفیت فاصله پهپادها را به عنوان متغیرهای نامشخص در نظر گرفته می شود. حداکثر مسافتی که هر پهپاد در یک شیفت امدادی می تواند طی کند، تابعی از سرعت و استقامت پهپاد است. تابع هدف در این مساله به حداقل رساندن کل هزینه از جمله هزینه ایجاد تسهیلات، هزینه های خرید پهپادها و هزینه استفاده از پهپادها است که تابعی از کل مسافت طی شده

## مساله مکان یابی پوششی مراکز امدادی در رفتار.../فروغی، فرهنگ مقدم، بهزادی و موحدی سبحانی

توسط یک پهپاد در افق برنامه ریزی است. در این مساله یک نوع تاسیسات وجود دارد که ایستگاه های پرتاب نامیده می شود.

برای فازی سازی مدل پیشنهادی، رویکرد برنامه ریزی احتمالی به کار گرفته می شود. به طور کلی، هنگام برخورد با عدم قطعیت، نیاز به ساخت مدل هایی وجود دارد که نسبت به عدم قطعیت در داده ها مصون و غیر حساس باشند. برای انجام این کار، سویستر (۱۹۷۳) یک رویکرد بهینه سازی خطی پیشنهاد کرد. همچنین برتسیماس و سیم (۲۰۰۴) روش بهینه سازی قوی ای ارائه دادند که خطی بودن مسئله را حفظ می کند، اما تعداد متغیرهای تصمیم گیری و محدودیت ها را افزایش می دهد. رویکرد احتمالی، همانطور که توسط Jiménez (۱۹۹۶) پیشنهاد شد، ابتدا اعداد فازی را به فواصل معادل تبدیل می کند. در این رویکرد، سطح امکان سنجی روابط توسط تصمیم گیرنده تعریف می شود که سطح قابلیت اطمینان و محافظه کاری را با استفاده از ضریبی به نام  $\alpha$  کنترل می کند. هر چه مقدار  $\alpha$  بالاتر باشد، مدل محافظه کارتر است. با در نظر گرفتن  $\alpha=1$ ، مدل ارائه شده توسط رویکرد احتمالی مشابه با روش سویستر خواهد بود.

### مفروضات مدل پیشنهادی

- ❑ کسری در مراکز تدارکاتی مجاز نیست
- ❑ ظرفیت پهپادهای حمل و نقل مشخص هستند.
- ❑ مدل ریاضی در حالت غیر قطعی است.
- ❑ ظرفیت مراکز امدادی محدود می باشد.
- ❑ مسیرهای انتخابی برای حمل و نقل دارای ریسک های مربوط به خود هستند که این ریسک ها مشخص و معین می باشند.
- ❑ تعداد و مکان انبارهای اصلی مشخص و قطعی هستند.
- ❑ تعداد و مکان نقاط آسیب دیده پس از رخداد حادثه مشخص هستند.
- ❑ نقاط عرضه یا انبارها ظرفیت مشخصی برای دریافت و ارسال کالاها دارند.
- ❑ مسیرهای شبکه، راه های ارتباط دهنده از نقاط عرضه به نقاط آسیب دیده هستند.
- ❑ حجم و وزن کالاها مشخص هستند.
- ❑ هر پهپاد ظرفیت خاص و مشخصی برای حمل بار دارد.
- ❑ تقاضای نقاط آسیب دیده به صورت پارامتر عدم قطعیت در نظر گرفته می شوند.

اندیس‌ها / مجموعه‌ها

$V$ : مجموعه گره‌های شبکه ( $v, v' \in V$ )

$J$ : مجموعه گره‌های مراکز کاندید شده ( $j, j' \in J, J \subseteq V$ )

$M$ : یک عدد مثبت بزرگ

پارامترهای مدل

$\bar{c}_r$ : هزینه افتتاح مرکز در محل کاندید  $r$

$\bar{c}_d$ : قیمت هر پهپاد

$c_g$ : هزینه استفاده از وسایل نقلیه بدون سرنشین در واحد مسافت

$t_{zj}$ : فاصله اقلیدسی بین تأسیسات  $z$  و تأسیسات  $j$

$t_{zv}$ : فاصله اقلیدسی بین تسهیلات  $z$  و گره  $v$

$\bar{\lambda}_v$ : تقاضای واقع در گره  $v$

$\bar{v}$ : سرعت هر پهپاد

$\bar{p}$ : ظرفیت فاصله هر پهپاد در طول دوره برنامه‌ریزی

$E$ : استقامت هر پهپاد

$M_t$ : داکتر طول مجاز مسیر از نقطه تقاضا تا ایستگاه پرتاب اختصاص داده شده آن

متغیرهای تصمیم

$y_j$ : ۱، اگر تأسیساتی در مکان  $j$  ایجاد شده باشد. در غیر این صورت، ۰

$x_{zv}$ : ۱، اگر گره  $v$  به تسهیلات  $z$  اختصاص داده شود. در غیر این صورت، ۰

$n_j$ : تعداد کل پهپادهای مورد نیاز در تأسیسات  $j$

$n_d$ : تعداد کل پهپادهای مورد نیاز

$\bar{n}_g$ : استفاده کلی از پهپادها

$\bar{r}_j$ : درخواست خدمات در مرکز  $j$

مدل ریاضی مساله

توابع هدف و محدودیت‌های در نظر گرفته شده برای مدل ریاضی پیشنهادی در این مطالعه، به

مساله مکان یابی پوششی مراکز امدادی در رفتار.../فروغی، فرهنگ مقدم، بهزادی و موحدی سبحانی

صورت زیر می باشند.

تابع هدف:

$$\text{Min} \sum_j \bar{c}_j y_j + n_d \bar{c}_d + \bar{n}_g c_g$$

تابع هدف مدل، معادله (۱)، کل هزینه های سیستم را به حداقل می رساند.

محدودیت ها:

این مدل با مجموعه ای از محدودیت ها مطابق معادلات داده شده (۲) تا (۹) محدود می شود.

$$\sum_j x_{jv} = 1 \quad \forall v \in V$$

محدودیت (۲): این معادله هر گره تقاضا را تنها به یکی از تسهیلات باز شده اختصاص می دهد.

$$x_{jv} \leq y_j \quad \forall j \in J, v \in V$$

محدودیت (۳): این محدودیت تضمین می کند که تقاضا فقط به تاسیسات باز شده اختصاص می یابد.

$$\sum_{j' \in J} t_{j'v} x_{j'v} \leq t_{jv} + M(1 - y_j) \quad \forall j \in J, v \in V$$

محدودیت (۴): این محدودیت تضمین می کند که تخصیص تقاضاها به نزدیکترین تسهیلات باز شده

انجام شود.

$$n_j \geq \sum_v \bar{\lambda}_v t_{jv} x_{jv} / \bar{\rho} \quad \forall j \in J$$

محدودیت (۵): این معادله حداقل تعداد پهپادهای مورد نیاز برای هر تاسیسات را تعیین می کند.

$$n_g = \sum_j \sum_v \bar{\lambda}_v t_{jv} x_{jv}$$

محدودیت (۶): میزان استفاده از هواپیماهای بدون سرنشین با استفاده از این محدودیت مورد محاسبه

قرار می گیرد.

$$n_d = \sum_j n_j$$

محدودیت (۷): با استفاده از این معادله، تعداد کل پهپادها قابل محاسبه می باشد.

$$y_j, x_{jv} \in \{0,1\} \quad \forall j \in J, v \in V$$

$$n_j, n_g, n_d \geq 0 \quad \forall j \in J, v \in V$$

محدودیت های (۸) و (۹) نوع متغیرهای تصمیم مساله اعم از باینری و مثبت را تعیین می کنند.

فازی سازی مدل ریاضی مساله

تعریف ۱. فرض کنید  $\tilde{\ell} = (\ell^1, \ell^2, \ell^3, \ell^4)$  یک عدد فازی دوزنقه‌ای با تابع عضویت زیر باشد:

$$\mu_{\tilde{\ell}}(x) = \begin{cases} \frac{x - \ell^1}{\ell^2 - \ell^1} & \ell^1 \leq x \leq \ell^2 \\ 1 & \ell^2 \leq x \leq \ell^3 \\ \frac{\ell^4 - x}{\ell^4 - \ell^3} & \ell^3 \leq x \leq \ell^4 \\ 0 & \text{Otherwise} \end{cases}$$

بازه مورد انتظار و مقدار مورد انتظار که به ترتیب با EI و EV نمایش داده می‌شوند، برای عدد فازی دوزنقه‌ای به شکل  $\tilde{\ell} = (\ell^1, \ell^2, \ell^3, \ell^4)$  به شرح زیر تعریف می‌شوند (خیمنز، ۲۰۰۷):

$$EI(\tilde{\ell}) = [E_1^\ell, E_2^\ell] = \left[ \frac{\ell^1 + \ell^2}{2}, \frac{\ell^3 + \ell^4}{2} \right]$$

$$V(\tilde{\ell}) = \frac{E_1^\ell + E_2^\ell}{2} = \frac{\ell^1 + \ell^2 + \ell^3 + \ell^4}{4}$$

تعریف ۲. طبق نظر خیمنز (۱۹۹۶)، برای هر جفت از اعداد فازی  $\ell$  و  $\gamma$ ، درجه‌ای که  $\ell$  بزرگتر از  $\gamma$  است به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\mu_M(\tilde{\ell}, \tilde{\gamma}) = \begin{cases} 0 & E_2^\ell - E_1^\gamma < 0 \\ \frac{E_2^\ell - E_1^\gamma}{E_2^\ell - E_1^\gamma - (E_1^\ell - E_2^\gamma)} & 0 \in [E_1^\ell - E_2^\gamma, E_2^\ell - E_1^\gamma] \\ 1 & E_1^\ell - E_2^\gamma > 0 \end{cases}$$

برای مواردی که در آنها نامعادله  $\mu_M(\tilde{\ell}, \tilde{\gamma}) \geq \alpha$  برقرار است، گفته می‌شود که  $\tilde{\ell}$  حداقل با درجه  $\alpha$  بزرگتر یا مساوی  $\tilde{\gamma}$  است. این رابطه با نامعادله  $\tilde{\ell} \geq_\alpha \tilde{\gamma}$  نمایش داده می‌شود.

تعریف ۳. برای یک جفت اعداد فازی مانند  $\ell$  و  $\gamma$ ، اعداد با درجه  $\alpha$  (سطح امکان سنجی که توسط تصمیم گیرنده تعیین می‌شود) برابر هستند اگر رابطه زیر برقرار باشد (پارا و همکاران، ۲۰۰۵):

$$\frac{\alpha}{2} \leq \mu_M(\tilde{\ell}, \tilde{\gamma}) \leq 1 - \frac{\alpha}{2}$$

تعریف ۴. اگر  $\ell$  به عنوان ترکیب خطی  $\tilde{\gamma}^1$  و  $\tilde{\gamma}^2$  تعریف شود، رابطه  $EV(\ell) = EV(\tilde{\gamma}^1, \tilde{\gamma}^2)$  از نظر ریاضی درست می‌باشد.

برای نشان دادن اینکه چگونه روش احتمالی یک مدل فازی را به معادل قطعی خود تبدیل می‌کند، فرمول ریاضی کلی زیر را می‌توان در نظر گرفت:

$$\text{Min } \tilde{c}^T x$$



مسئله مکان یابی پوششی مراکز امدادی در رفتار.../فروغی، فرهنگ مقدم، بهزادی و موحدی سبحانی

$$\begin{aligned} \tilde{a}_i x &\geq \tilde{b}_i & i = 1, 2, \dots, l \\ \tilde{a}_i x &= \tilde{b}_i & i = l + 1, \dots, m \\ \ell &= p_1 \sum \tilde{Y}^1 / \tilde{Y}^2 \\ x &\geq 0 \end{aligned}$$

طبق نظر خیمنز (۱۹۹۶)، اگر معادله  $\{\mu_M(a_i \tilde{x}, b_i) = \alpha, i = 1, \dots, m\}$  برقرار باشد، بردار  $x \in \mathbb{R}^n$  با درجه  $\alpha$  قابل اجرا خواهد بود. از این رو،  $\alpha$  به عنوان درجه امکان سنجی برای مدل در نظر گرفته می شود که توسط تصمیم گیرنده (DM) تعیین می شود. مقادیر بیشتر  $\alpha$  مربوط به فضای حل شدنی کوچکتر می باشد که و در نتیجه، راه حل بهینه محافظه کارانه تر می شود.

بر اساس (۱۰) و (۱۱)، رابطه  $a_i \tilde{x} = b_i$  و  $a_i \tilde{x} \geq b_i$  را می توان به صورت زیر بیان کرد:

$$\frac{E_2^{a_i x} - E_1^{b_i}}{E_2^{a_i x} - E_1^{b_i} - (E_1^{a_i x} - E_2^{b_i})} \geq \alpha \quad i = 1, 2, \dots, l$$

$$\frac{\alpha}{2} \leq \frac{E_2^{a_i x} - E_1^{b_i}}{E_2^{a_i x} - E_1^{b_i} - (E_1^{a_i x} - E_2^{b_i})} \leq 1 - \frac{\alpha}{2} \quad i = l + 1, \dots, m$$

جابجینی معادلات معادل در مدل اصلی مستلزم روابط کلیدی زیر است:

$$\text{Min } [EV(c^{-T})]$$

$$((1 - \alpha)E_2^{a_i} + \alpha E_1^{a_i})x \geq \alpha E_2^{b_i} + (1 - \alpha)E_1^{b_i} \quad i = 1, 2, \dots, l$$

$$\left( (1 - \frac{\alpha}{2})E_2^{a_i} + \frac{\alpha}{2}E_1^{a_i} \right) x \geq \frac{\alpha}{2}E_2^{b_i} + (1 - \frac{\alpha}{2})E_1^{b_i} \quad i = l + 1, \dots, m$$

$$\left( \frac{\alpha}{2}E_2^{a_i} + (1 - \frac{\alpha}{2})E_1^{a_i} \right) x \leq (1 - \frac{\alpha}{2})\alpha E_2^{b_i} + (\frac{\alpha}{2})E_1^{b_i} \quad i = l + 1, \dots, m$$

$$EV(\ell) = EV(p_1 \sum \tilde{Y}^1 / \tilde{Y}^2)$$

$$x \geq 0$$

با استفاده از فرمول های ذکر شده می توان معادله قطعی تابع هدف فازی را به صورت زیر نوشت:

$$\text{Min } \sum_j \left( \frac{cl_j^1 + cl_j^2 + cl_j^3 + c_j^4}{4} y_j \right) + \frac{c_d^1 + c_d^2 + c_d^3 + c_d^4}{4} n_d + \frac{n_g^1 + n_g^2 + n_g^3 + n_g^4}{4} c_g$$

محدودیت های ۱۲ و ۱۳ می توانند به صورت زیر نوشته شوند:

$$n_j \geq \sum_{(v)} \left( \alpha \left( \frac{\lambda_{vv'}^3 + \lambda_{vv'}^4}{2} \right) + (1 - \alpha) \left( \frac{\lambda_{vv'}^1 + \lambda_{vv'}^2}{2} \right) \right) t_{jv} x_{jv} / \left( \alpha \left( \frac{\rho^3 + \rho^4}{2} \right) + (1 - \alpha) \left( \frac{\rho^1 + \rho^2}{2} \right) \right)$$

$$n_g \geq \sum_j \sum_{(v)} \left( \alpha \left( \frac{\lambda_{vv}^3 + \lambda_{vv}^4}{2} \right) + (1 - \alpha) \left( \frac{\lambda_{vv}^1 + \lambda_{vv}^2}{2} \right) \right) t_{jv} x_{jv}$$



$$n_g \leq \sum_j \sum_{(v)} \left( \alpha \left( \frac{\lambda_{vv'}^1 + \lambda_{vv'}^2}{2} \right) + (1 - \alpha) \left( \frac{\lambda_{vv'}^3 + \lambda_{vv'}^4}{2} \right) \right) t_{jv} x_{jv}$$

### روش حل پیشنهادی

برای حل مدل ارائه شده، از الگوریتم ژنتیک (GA) در این مقاله استفاده می‌شود. هلند (۱۹۷۳) برای اولین بار این روش را با الهام از تکامل گونه‌ها در طبیعت معرفی کرد و تاکنون، تحقیقات زیادی با استفاده از این به خصوص برای حل مسائل Np-hard در زمینه‌های مختلف استفاده شده است. فرآیند انتخاب طبیعی با انتخاب شایسته‌ترین افراد از یک جمعیت شروع می‌شود. آنها فرزندان تولید می‌کنند که ویژگی‌های والدین را به ارث می‌برند و به نسل بعدی منتقل می‌کنند. اگر والدین تناسب بهتری داشته باشند، فرزندان آنها بهتر از والدین خواهند بود و شانس بیشتری برای زنده ماندن خواهند داشت. این روند تکرار می‌شود و در پایان، نسلی با شایسته‌ترین افراد ایجاد می‌شوند. در این عملیات، الگوریتم در صورتی خاتمه می‌یابد که جمعیت به گونه‌ای همگرا شوند که تولید فرزندان که به طور قابل توجهی متفاوت از نسل قبلی هستند امکان پذیر نباشد (ایبن، ۲۰۱۵). مراحل GA پیشنهادی در این مطالعه را می‌توان به صورت زیر خلاصه کرد:

مرحله ۱: مقداردهی اولیه

پارامترهای GA شامل اندازه جمعیت اولیه، احتمال تقاطع، احتمال جهش، و تعداد تکرارهایی است که در این مرحله مقدار اولیه می‌گیرند.

مرحله ۲: جمعیت اولیه

GA با جمعیتی از راه‌حل‌های تولید شده به طور تصادفی شروع می‌شود. هر جواب یک کروموزوم و هر قسمت از کروموزوم یک ژن نامیده می‌شود. طول کروموزوم در این مطالعه برابر با تعداد مکان‌های کاندید تعیین شده است. ژن مربوط به هر مکان نامزد یک مقدار باینری تصادفی تولید شده است. مقادیر صفر نشان می‌دهند که مکان نامزد مربوطه برای ایجاد تسهیلات انتخاب نشده‌اند.

مرحله ۳: ارزیابی تابع هدف

به منظور محاسبه مقدار تابع هدف، کل تقاضای تخصیص یافته به هر تسهیلات بر اساس قانون مجاورت ذکر شده در مدل ریاضی محاسبه می‌شود. هنگامی که تقاضای کل هر تسهیلات مشخص شد، مجموع طول تورهای پروازی مورد نیاز برای پوشش همه مشتریان تعیین می‌شود و به عنوان مبنایی برای محاسبه تعداد پهپادهای اختصاص داده شده به هر مکان استفاده می‌شود.



## مسئله مکان‌یابی پوششی مراکز امدادی در رفتار... / فروغی، فرهنگ‌مقدم، بهزادی و موحدی سبحانی

مرحله ۴: عمل تقاطع

در این مرحله یک استراتژی تقاطع یک نقطه‌ای برای جفت‌گیری تصادفی والدین انتخاب شده که باعث ایجاد دو کروموزوم فرزند می‌شود. نقطه تقاطع، به طور تصادفی در طول کروموزوم‌های والدین انتخاب می‌شود. سپس با تغییر قسمت دوم هر یک از والدین، دو کروموزوم فرزند تولید می‌شوند.

مرحله ۵: عملیات جهش

در این مرحله تعدادی از ژن‌ها بطور تصادفی انتخاب شده و وضعیت مربوط به آنها تغییر می‌کند به طوری که یک مرکز باز شده به بسته تبدیل می‌شود و بالعکس.

مرحله ۶: به روزرسانی جمعیت

پس از افزودن فرزندان تولیدشده، جمعیت اولیه بر اساس مقدار تابع هدف هر فرزند طبقه‌بندی می‌شود. سپس با حفظ بهترین راه حل‌ها و کنار گذاشتن بقیه، اندازه جمعیت در مقدار اولیه خود حفظ می‌شود.

مرحله ۷: اتمام الگوریتم

الگوریتم تا رسیدن به تعداد تکرارهای از پیش تعیین شده ادامه می‌یابد.

الگوریتم GA اعمال شده در شکل (۱) نشان داده شده است.

```
1 Initialize GA parameters (population size:  $N_{pop}$ , crossover probability:  $P_c$ , mutation
  probability:  $P_m$ , number of iterations:  $MaxIt$ )
2  $t \leftarrow 0$ 
3  $P(t) \leftarrow$  Randomly generated individuals
4  $Eval[P(t)]$ : Evaluate the fitness value of the individuals
5  $Best \leftarrow$  Best individual
6 while  $t < MaxIt$  do
7    $S \leftarrow$  Select individuals  $\in [P(t)]$ 
8    $Q \leftarrow$  Crossover( $S$ )  $\cup$  Mutation ( $S$ )
9    $P(t) \leftarrow [P(t) + Q]$ 
10   $Eval[P(t)]$ 
11  Update  $Best$ 
12   $P(t+1) \leftarrow$  Select best individuals  $\in [P(t)]$ 
13 return  $Best$ 
```

شکل (۱): کد GA اعمال شده

### الگوریتم کلی روش NSGA-II

روش کار و الگوریتم کلی NSGA-II به شرح زیر است (کوئلو و همکاران، ۲۰۰۷):

۱- ایجاد جمعیت اولیه

۲- محاسبه معیارهای برازندگی

## فصلنامه مطالعات رفتاری در مدیریت، شماره ۳۴، دوره ۱۴، تابستان ۱۴۰۲

۳- مرتب کردن جمعیت براساس شرطهای غلبه کردن

۳- محاسبه فاصله ازدحامی

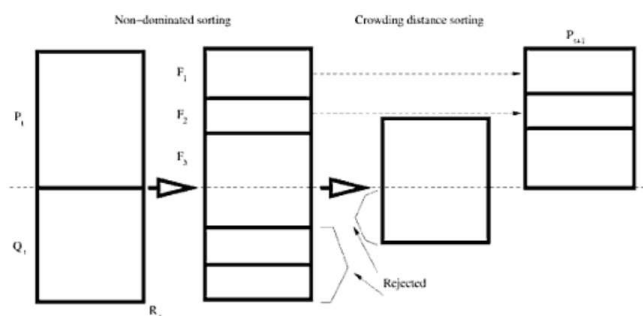
۴- انتخاب: به محض اینکه جمعیت اولیه براساس شرطهای غلبه کردن مرتب شد، مقدار فاصله ازدحامی در آن محاسبه خواهد شد و انتخاب از میان جمعیت اولیه آغاز می‌شود. این انتخاب براساس دو المان صورت می‌پذیرد:

(۱) رتبه جمعیت: جمعیت‌ها در رتبه‌های پایین‌تر انتخاب می‌شوند و

(۲) محاسبه فاصله: با فرض اینکه  $p$  و  $q$  دو عضو از یک رتبه باشند، عضوی انتخاب می‌شود که فاصله ازدحامی بیشتری دارد. لازم به ذکر است که اولویت انتخاب ابتدا بارتبه و سپس براساس فاصله ازدحامی است. ۵- انجام تقاطع<sup>۱</sup> و جهش<sup>۲</sup> برای تولید فرزندان جدید. این کار با استفاده از روش انتخاب دودویی انجام می‌گیرد.

۶- تلفیق جمعیت اولیه و جمعیت بدست آمده از تقاطع و جهش.

۷- جایگزین کردن جمعیت والدین با بهترین اعضای جمعیت تلفیق شده در مراحل قبل. در مرحله اول، اعضای رتبه‌های پایین‌تر جایگزین والدهای قبلی می‌شوند و سپس براساس فاصله ازدحامی مرتب می‌شوند. این فرآیند به صورت خلاصه در شکل (۲) نشان داده شده است. همان طور که شکل (۲) نشان می‌دهد، جمعیت اولیه و جمعیت ناشی از تقاطع و جهش، ابتدا برحسب رتبه دسته بندی می‌شوند و قسمتی از آنها که دارای رتبه پایین‌تری هستند، حذف می‌گردند. در مرحله بعد، جمعیت باقیمانده براساس فاصله ازدحامی مرتب می‌شوند. در اینجا مرتب سازی داخل یک جبهه انجام می‌شود و ۸- تمامی مراحل تا نسل (و یا شرایط بهینگی) مورد نظر تکرار می‌شوند.



شکل (۲): نحوه مرتب کردن جمعیت در الگوریتم NSGA-II که در آن جمعیت اولیه  $Q$  و جمعیت ناشی از تقاطع و جهش است و  $F_i$  نشان دهنده جبهه است.

### نتایج محاسباتی

ابتدا الگوریتم با جمعیتی مساوی با ۱۵۰۰۰، در یک تکرار انجام شد تا مکان‌های موجود که در شرایط تعریف شده می‌گنجند، برحسب اولویت طبقه بندی شوند. نتایج در این مسئله در تکرار اول به ۱۴ جبهه تقسیم بندی شده‌اند. در اولویت جبهه‌ها، مکان‌های مناسب اختصاص یافته است، به گونه‌ای که جبهه اول مشخص کننده مکان‌ها با اولویت اول و جبهه ۱۴ مکان‌های دارای آخرین رتبه را نشان می‌دهد. با افزایش تعداد تکرار الگوریتم، بسته به شرط پایان تکرار، جواب‌ها به سمت بهینه شدن سوق می‌یابند. در عمل، الگوریتم با تعریف شرایط بهینگی و محقق شدن آن متوقف می‌شود. در این مقاله تعداد تکرارهای ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰، ۲۰۰، برای بررسی نتایج، مورد استفاده قرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهد که در تکرار ۲۰۰ شرایط بهینگی محقق گردیده است. نتایج حاصل از تکرار ۲۰۰ ام با جمعیت اولیه ۱۰۰۰ در نظر گرفته می‌شود.

### تست تکرارپذیری الگوریتم

از آنجا که در الگوریتم‌های تکاملی و فراابتکاری، جمعیت اولیه به صورت تصادفی انتخاب می‌شود، نتایج کار با اجراهای مختلف، متفاوت خواهد بود. بنابراین لازم است الگوریتم به دفعات مختلف با پارامترهای یکسان اجرا شود تا تغییرات در نتایج ملاحظه شود.

در این مقاله، الگوریتم ۵ بار، با جمعیت اولیه ۱۰۰۰ و تعداد تکرار ۲۰۰ بار اجرا شده است. جدول (۱) تعداد جواب‌ها را در هر جبهه نشان می‌دهد. بیشتر جواب‌ها از نظر مختصاتی با یکدیگر پوشش دارند و نواحی انتخاب شده یکسان هستند، به همین دلیل الگوریتم از نظر تکرارپذیری ثبات دارد.

جدول (۱): تست تکرارپذیری الگوریتم

شماره ردیف	جمعیت اولیه	تعداد تکرارها	تعداد جواب‌ها در جبهه جواب اول
۱	۱۰۰۰	۲۰۰	۲۹
۲	۱۰۰۰	۲۰۰	۲۷
۳	۱۰۰۰	۲۰۰	۳۳
۴	۱۰۰۰	۲۰۰	۳۲
۵	۱۰۰۰	۲۰۰	۳۰
۶	۱۰۰۰	۲۰۰	۲۸

فصلنامه مطالعات رفتاری در مدیریت، شماره ۳۴، دوره ۱۴، تابستان ۱۴۰۲

**بررسی همگرایی نتایج و تاثیر تکرارها بر روی آن**

در این مقاله تعداد تکرارهای ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰، ۲۰۰، برای بررسی تاثیر تعداد تکرار بر روی نتایج، مورد استفاده قرار گرفت. نتایج نشان داد که در تکرار ۲۰۰ شرایط بهینگی محقق شده است. بنابراین الگوریتم در تکرار ۲۰۰ به همگرایی لازم رسیده است. جدول (۲) نتایج حاصل از این تکرارها را نشان می دهد.

جدول (۲): تعداد جواب ها در تکرارهای مختلف با جمعیت اولیه ۱۰۰۰

شماره ردیف	جمعیت اولیه	تعداد تکرارها	تعداد جواب ها در جبهه جواب اول
۱	۱۰۰۰۰	۵۰	۳۷
۲	۱۰۰۰	۱۰۰	۲۷
۳	۱۰۰۰	۱۵۰	۲۹
۴	۱۰۰۰	۲۰۰	۳۰

از آنجا که پارامترهایی همچون تعداد تکرار و تعداد جمعیت اولیه نقشی اساسی در خروجی الگوریتم دارند، لازم است با تغییر این المان ها تغییر جواب نهایی بررسی شود. این دو المان در الگوریتم های فراابتکاری، تابع ارزیابی نام دارند. در جدول (۳)، نتایج حاصل از اجرای الگوریتم با پارامترهای متفاوت برای حالتی که تابع هدف کمینه است، آورده شده است.

جدول (۳): مقدار تابع هدف حاصله در روش الگوریتم NSGA-II

زمان لازم برای اجرای برنامه	تعداد تکرار	جمعیت اولیه	مقدار تابع هدف مساله
۳	۵۰	۱۰۰۰	۱۵۸۹۲
۵	۱۰۰	۱۰۰۰	۱۴۳۶۹
۸	۱۵۰	۱۰۰۰	۱۳۸۷۵
۱۰	۲۰۰	۱۰۰۰	۱۱۲۹۸

منابع

- 1) N. Sahebjamnia, S. A. Torabi, and S. A. Mansouri, "A hybrid decision support system for managing humanitarian relief chains," *Decis. Support Syst.*, 2016.
- 2) N. Gormez, M. Koksalan, and F. Salman, "Locating disaster response facilities in Istanbul," *J. Oper. Res. Soc.*, vol. 62, pp. 1239–1252, 2011.
- 3) A. Doyen, N. Aras, and G. Barbarosoglu, "A two-echelon stochastic facility location model for humanitarian relief logistics," *Optim. Lett.*, vol. 6, pp. 1123–1145, 2012.
- 4) J. Rezaei, "Best-worst multi-criteria decision-making method," *Omega*, vol. 53, pp. 49–57, 2015.
- 5) A. Cheraghali pour and S. Farsad, "A bi-objective sustainable supplier selection and order allocation considering quantity discounts under disruption risks: A case study in plastic industry," *Comput. Ind. Eng.*, vol. 118, pp. 237–250, Apr. 2018.
- 6) A. Cheraghali pour, M. M. Paydar, and M. Hajiaghaci-keshteli, "Applying a hybrid BWM-VIKOR approach to supplier selection: a case study in the Iranian agricultural implements industry," *Int. J. Appl. Decis. Sci.*, vol. 11, no. 3, pp. 274–301, 2018.
- 7) J. Rezaei, J. Wang, and L. Tavasszy, "Linking supplier development to supplier segmentation using Best Worst Method," *Expert Syst. Appl.*, vol. 42, no. 23, pp. 9152–9164, 2015.
- 8) Z. Michalewicz, G. Vignaux, and M. Hobbs, "A non-standard genetic algorithm for the non-linear transportation problem.," *ORSA J. Comput.*, vol. 3, pp. 307–316, 1991.
- 9) M. Gen, F. Altiparmak, and L. Lin, "A genetic algorithm for two-stage transportation problem using priority-based encoding," *OR Spectr.*, vol. 28, no. 3, pp. 337–354, 2006.
- 10) R. Eberhart and J. Kennedy, "A new optimizer using particle swarm theory," *MHS'95. Proc. Sixth Int. Symp. Micro Mach. Hum. Sci.*, pp. 39–43, 1995.
- 11) H. Maghsoudlou, M. R. Kahag, S. T. A. Niaki, and H. Pourvaziri, "Bi-objective optimization of a three-echelon multi-server supply-chain problem in congested systems: Modeling and solution," *Comput. Ind. Eng.*, vol. 99, pp. 41–62, 2016.
- 12) K. Deb, A. Pratap, S. Agarwal, and T. Meyarivan, "A fast and elitist multiobjective genetic algorithm: NSGA-II," *IEEE Trans. Evol. Comput.*, vol. 6, no. 2, pp. 182–197, 2002.
- 13) O. Al Jadaan, C. R. Rao, and L. Rajamani, "Non-dominated ranked genetic Algorithm for solving multi-objective optimization problems: NRGAs.," *J. Theor. Appl. Inf. Technol.*, vol. 4, no. 1, pp. 60–67, 2008.

- 14) A. Cheraghalipour, M. M. Paydar, and M. Hajiaghaei-Keshteli, "A Bi-objective Optimization for Citrus Closed-Loop Supply Chain Using Pareto-Based Algorithms," *Appl. Soft Comput.*, vol. 69, pp. 33–59, Apr. 2018.
- 15) K. Sarrafha, S. H. A. Rahmati, S. T. A. Niaki, and A. Zaretalab, "A bi-objective integrated procurement, production, and distribution problem of a multi-echelon supply chain network design: A new tuned MOEA," *Comput. Oper. Res.*, vol. 54, pp. 35–51, 2015.
- 16) M. Ramezani, M. Bashiri, and R. Tavakkoli-Moghaddam, "A new multi-objective stochastic model for a forward/reverse logistic network design with responsiveness and quality level," *Appl. Math. Model.*, vol. 37, no. 1–2, pp. 328–344, Jan. 2013.
- 17) G. Taguchi, *Introduction to quality engineering: designing quality into products and processes*, Illustrate. White Plains: The Organization, 1986.
- 18) S. H. A. Rahmati, V. Hajipour, and S. T. A. Niaki, "A soft-computing Pareto-based meta-heuristic algorithm for a multi-objective multi-server facility location problem," *Appl. Soft Comput. J.*, vol. 13, no. 4, pp. 1728–1740, 2013.
- 19) G. O. I. Statistical Center, "Statistical Centre, Government of Iran.," See "General Charact. Ostans Accord. to their Adm. Div. end 1383 (2005 CE).", 2005.
- 20) Nezhadrosan, A. M., Fathollahi-Fard, A. M., & Hajiaghaei-Keshteli, M., (2020). A scenario-based possibilistic-stochastic programming approach to address the resilient humanitarian logistics considering travel time and resilience levels of facilities. *International Journal of Systems Science: Operations & Logistics*, 1-27, <https://doi.org/10.1080/23302674.2020.1769766>
- 21) Liu, X., Tian, G., Fathollahi-Fard, A. M., & Mojtahedi, M., (2020). Evaluation of ship's green degree using a novel hybrid approach combining group fuzzy entropy and cloud technique for the order of preference by similarity to the ideal solution theory, *Clean Technologies and Environmental Policy*. 22, 493-512. <https://doi.org/10.1007/s10098-019-01798-7>.
- 22) Eftekhari, M., Akrami, M., Gheibi, M., Azizi-Toupkanloo, H., Fathollahi-Fard, A. M., & Tian, G. (2020). Cadmium and copper heavy metal treatment from water resources by high-performance folic acid-graphene oxide nanocomposite adsorbent and evaluation of adsorptive mechanism using computational intelligence, isotherm, kinetic, and thermodynamic analyses. *Environmental Science and Pollution Research*, <https://doi.org/10.1007/s11356-020-10175-7>
- 23) Fathollahi-Fard, A. M., Hajiaghaei-Keshteli, M. & Tavakkoli-Moghaddam, R., (2018). The social engineering optimizer (SEO). *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 72, 267-293. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2018.04.009>

- 24) Fathollahi-Fard, A. M., Hajiaghaei-Keshteli, M. & Tavakkoli-Moghaddam, R., (2020). Red deer algorithm (RDA): a new nature-inspired meta-heuristic, *Soft Computing*, 10.1007/s00500-020-04812-z.
- 25) Mohamadi, A., Yaghoubi, S., & Derikvand, H. (2015). A credibility-based chance-constrained transfer point location model for the relief logistics design (Case Study: earthquake disaster on region 1 of Tehran city). *International Journal of Supply and Operations Management*, 1(4), 466-488.
- 26) Budak, A., Kaya, İ., Karışan, A., & Erdoğan, M. (2020). Real-time location systems selection by using a fuzzy MCDM approach: An application in humanitarian relief logistics. *Applied Soft Computing*, 92, 106322.
- 27) Mohamadi, A., Yaghoubi, S., & Pishvaei, M. S. (2019). Fuzzy multi-objective stochastic programming model for disaster relief logistics considering telecommunication infrastructures: a case study. *Operational Research*, 19(1), 59-99.
- 28) Ahmadi, G., Tavakkoli-Moghaddam, R., Baboli, A., & Najafi, M. (2020). A decision support model for robust allocation and routing of search and rescue resources after earthquake: a case study. *Operational Research*, 1-43.
- 29) Wattanasaeng, N., & Ransikarbum, K. (2021). Model and Analysis of Economic- and Risk-Based Objective Optimization Problem for Plant Location within Industrial Estates Using Epsilon-Constraint Algorithms. *Computation*, 9(4), 46.

یادداشت ها :

---

1 Cross Over  
2 Mutation

---

## The Problem of Covering location of Aid Centers in the Behavior of Humanitarian logistics Management with UAV-Based Rescue Operations in Conditions of Uncertainty

Amin Froughi<sup>1</sup>

Babak Farhang Moghadam<sup>2</sup>

Mohammad Hassan Behzadi<sup>3</sup>

Farzad Movahedi Sobhani<sup>4</sup>

### Abstract

Due to the nature of the unexpected and the magnitude of the events, the variety and the amount of supplies and services needed by the victims, natural disasters require immediate mobilization and action of multiple stakeholders. Crisis relief operations focus on planning the transportation of first aid materials, food, equipment and rescue personnel from supply points to a large number of destination nodes that are geographically dispersed throughout the crisis area and the rapid evacuation and transfer of people affected by the crisis to centers. Medicine and safe shelters. Therefore, one of the most important and efficient issues in humanitarian transportation is the issue of routing the relief vehicle. In this article, the location problem of dense fuzzy facilities with multi-level capacity in UAV-based rescue operations is studied. The purpose of this problem is to determine the best places to set up and refuel the stations so that the waiting time of the victims to receive the needed assistance does not exceed a certain threshold. Due to the non-deterministic nature of the crisis, fuzzy demand is considered in the proposed model, then this fuzzy model is converted into a deterministic model using the Jimenez method. Finally, the proposed mathematical model was solved using NSGA-II algorithm and the results were presented.

### Keywords

Cover positioning, humanitarian logistics, dense fuzzy facility, UAV-based rescue operations, uncertainty conditions, NSGA-II algorithm

1- PhD student, Department of Industrial Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran. amin.foroghi@gmail.com

2-Institute for Management and Planning Studies (IMPS), Tehran, Iran. (Corresponding Author) farhang@imps.ac.ir

3- Associate Professor, Department of Statistics, Science and Research Unit, Islamic Azad University, Tehran, Iran. behzadi.stat@gmail.com

4- Assistant Professor, Department of Industrial Engineering, Science and Research Unit, Islamic Azad University, Tehran, Iran. fmovahedi@iau.ac.ir