

توسعه مدل ریاضی چندهدفه برای مسأله مسیریابی وسایل نقلیه جهت حمل مواد سوختی با در نظر گرفتن پنجره زمانی و عوامل زیست محیطی

الهام جلیلی بال، دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران جنوب، تهران، ایران

رضا توکلی مقدم (نویسنده مسئول)، استاد، دانشکده مهندسی صنایع، پردیس دانشکده فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

حسن جوانشیر، استادیار، دانشکده مهندسی صنایع، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

E-mail: tavakoli@ut.ac.ir

دریافت: ۱۳۹۴/۰۵/۲۷ پذیرش: ۱۳۹۴/۱۲/۱۲

چکیده

در این مقاله، مسأله مسیریابی وسایل حمل‌ونقل مواد سوختی با در نظر گرفتن محدودیت پنجره زمانی و عوامل زیست محیطی مورد بررسی قرار می‌گیرد. این مدل علاوه بر کمینه کردن هزینه‌ها و کاهش ریسک، برقراری تعادل در مسیر پیمایشی هر وسیله نقلیه را با در نظر گرفتن پیامدهای زیست محیطی مد نظر قرار داده تا ضمن اینکه ایمن‌ترین مسیرها در عین اقتصادی بودن یافت شود. مسیریابی انتخابی برای وسایل نقلیه به گونه‌ای انتخاب شود که انتشار آلودگی‌های زیست محیطی از یک مقدار مشخص تجاوز نکند. چنانچه در مطالعات صورت گرفته پیشین، در خصوص مسیریابی وسایل نقلیه جهت حمل مواد سوختی، این توابع هدف چندگانه به صورت یکپارچه با در نظر گرفتن پیامدهای زیست محیطی دیده نشده است. با توجه به NP -Hard بودن مسأله برای حل آن در ابعاد بزرگ، از الگوریتم‌های فراابتکاری $NSGA-II$ و $MOVDO$ بهره گرفته که با روش طراحی آزمایش‌های تاگوشی تنظیم پارامتر می‌شوند. همچنین از پنج شاخص برای مقایسه عملکرد الگوریتم‌ها استفاده می‌شود. در انتها به منظور بررسی کاربردی بودن مدل ارائه شده، ۱۵ مسأله در اندازه‌های مختلف در نظر گرفته می‌شود و سپس به تشریح نتایج معیارهای به دست آمده برای هر یک از الگوریتم‌ها پرداخته می‌شود. نتایج به دست آمده از حل مسائل نمونه با اندازه‌های مختلف نشان می‌دهد که هر دو الگوریتم کارایی و اثربخشی مناسبی در حل مسائل مختلف بخصوص با اندازه‌های بزرگ را در زمان کوتاه دارند.

واژه‌های کلیدی: بهینه‌سازی میرایی ارتعاشات، مسیریابی وسایل نقلیه، مواد خطرناک، عوامل زیست محیطی.

۱. مقدمه

به دلایل نگرانی‌های مذکور فوق، در تابع هدف مسأله مسیریابی وسایل نقلیه^۲ مواد خطرناک علاوه بر کمینه کردن هزینه ها، کاهش ریسک حمل و نقل این مواد نیز در نظر گرفته می‌شود [List, et al. 1991]. طراحی مسیر بهینه به عنوان یک مسأله چند هدفه با اهداف متناقض در نظر گرفته می‌شود، زیرا کاهش احتمال ریسک مسیره‌ها به افزایش در هزینه حمل و نقل منجر می‌شود [McCord and Leu, 1995]. مسیرهای مجاز برای حمل و نقل مواد خطرناک با توجه به معیارهای متعددی از جمله ایمنی مسیر، شرایط زیست محیطی، جمعیت اطراف راه‌های مورد استفاده تعیین می‌شود و الزاماً تعیین کوتاه‌ترین مسیر نیست. بنابراین تصمیمات مربوط به مسیریابی وسایل نقلیه این گونه مواد می‌تواند در کاهش ریسک در ناحیه حمل و نقل مواد خطرناک کارا و مؤثر باشد.

جوی و همکاران اولین بار از الگوریتم کلاسیک کوتاه‌ترین مسیر برای حل مسأله زمانبندی وسایل حمل و نقل مواد خطرناک استفاده کردند [Joy et al., 1981]. باتا و چپو ریسک حمل و نقل را در مطالعه خودشان در نظر گرفتند و دو مدل مسیریابی تک هدفه که در آن تعداد افراد در معرض خطر به عنوان مقدار ریسک مد نظر قرار داده شده بود را طراحی کردند [Batta and Chiu, 1988]. ریسک حمل و نقل متغیر با زمان برای اولین بار توسط نوزیک و همکاران در نظر گرفته شد [Nozick et al. 1997]. آنها مدل چند هدفه مسیریابی وسایل نقلیه مواد خطرناک را بر اساس پارامترهای متغیر با زمان با هدف کمینه کردن طول مسیر، احتمال کل تصادف و کل جمعیتی که در طول مسیر در معرض خطر قرار دارند ارائه کردند. توکلی مقدم و همکاران در سال ۲۰۱۲ یک مدل مسیریابی وسایل نقلیه چندهدفه شامل کمینه‌سازی هزینه حمل و نقل و ریسک وقوع حوادث در جابه جایی مواد خطرناک را ارائه کردند [Tavakkoli-Moghaddam et al. 2012]. همچنین در سال ۲۰۱۳ توکلی مقدم و همکاران مدل ریاضی دو معیاره با رویکرد مد نظر قرار دادن ریسک و هزینه برای جابه جایی مواد خطرناک با هدف تعیین بهترین مسیر برای انتقال مواد سوختی از انبار توزیه به هر یک از نقاط تقاضا بر اساس دو معیار ریسک و هزینه ارائه کردند [Tavakkoli-Moghaddam et al. 2013].

مدت زمان زیادی است که مدیریت لجستیک در حوزه صنعت و آکادمی مورد توجه واقع شده است. از سوی دیگر، حمل و نقل مواد خطرناک^۱ همانند مواد منفجره، قابل اشتعال، سمی و اکسید کننده به عنوان مواد اولیه یا محصول استراتژیک در صنایع مختلف، نقش بسیار مهمی در توسعه صنعتی کشور ایفا می‌کند. بر اساس آمار سازمان ملل، حدود نیمی از بارهایی که حمل می‌شوند، در گروه مواد خطرناک است. مواد خطرناک بر اساس کنوانسیون حمل و نقل جاده‌ای کالا و محصولات خطرناک^۲ (ADR)، به ۹ طبقه مجزا تقسیم شده‌اند. طبقات مورد نظر کنوانسیون فوق به ترتیب مواد منفجره، گازها، مایعات قابل اشتعال، جامدات قابل اشتعال، مواد اکسید کننده، مواد سمی و عفونی، مواد رادیواکتیو، مواد خورنده و در نهایت ضایعات هستند. وابستگی کشورهای صنعتی به مواد خطرناک یک حقیقت است به گونه ای که میزان جابه‌جایی سالانه محمولات خطرناک معادل چهار میلیارد تن در دنیا برآورد شده است [Zografos and Androutopoulos, 2004].

با توجه به ماهیت و طبیعت خطرآفرین این گونه مواد، جابجایی آنها همواره با درجاتی از ریسک همراه است. تحقیقات نشان داده است از هر ۲۰ حادثه حمل محمولات خطرناک یکی منجر به آتش‌سوزی شده و از هر ۴/۵ حادثه منجر به آتش‌سوزی نیز یکی به انفجار انجامیده است. در موارد حوادث مرتبط با حمل گازها از هر هفت حادثه نیز یکی منجر به پخش گاز در محیط شده است. اهمیت برنامه‌ریزی و نگرانی‌های مربوط به حمل و نقل مواد خطرناک عمدتاً به مسایل و تبعات ناشی از حوادث احتمالی آنها مرتبط می‌شود و این موضوع بحث‌های متفاوت در این زمینه را به مسایل جدید در حمل و نقل تبدیل نموده است. بنابراین علاوه بر جنبه‌های اقتصادی حمل و نقل مواد خطرناک، شاخص‌های انسانی و زیست محیطی نیز می‌بایست به منظور حمل و نقل این نوع مواد در نظر گرفته شود. اگر چه احتمال وقوع حوادث در حمل و نقل این گونه مواد بسیار کم است، ولی در صورت وقوع هر نوع حادثه ای خسارت‌های غیرقابل جبرانی به محیط زیست و انسان‌ها وارد می‌شود [Zografos and Androutopoulos, 2004].

واقعی بودن مدل نیز بسیار مهم است. در این مقاله یک مدل دو هدفه برای مسیریابی پایانه‌های راه آهن چند وجهی با در نظر گرفتن هزینه و ریسک به عنوان توابع هدف ارائه شده است. علاوه بر این، یک مفهوم فازی در مدل ارائه شده، در نظر گرفته شده است. مدل برای یک مثال عددی توسط نرم افزار رایج و با استفاده از یک حل کننده معتبر تأیید شده است.

در این مقاله، مسأله مسیریابی مواد خطرناک با در نظر گرفتن پنجره زمانی و عوامل زیست محیطی به صورت یک مسأله چندهدفه ارائه شد که کمینه کردن هزینه سفر و هزینه ناشی از تأخیر وسایل نقلیه را در تابع هدف اول دنبال می‌کنیم، در تابع هدف دوم به دنبال این هستیم تا تمام وسایل نقلیه مسیر متعادلی را طی کنند به این معنا که تمامی وسایل نقلیه مسافت یکسانی را طی کنند و در سومین تابع هدف کمینه کردن ریسک مسیر مد نظر قرار داده شده است. مسأله مسیریابی وسایل نقلیه جزء مسائل NP-Hard است، [Lenstra and Rinnoy Kan, 1981]، در نتیجه حل این مسائل دارای پیچیدگی‌های بسیار زیادی به‌ویژه در ابعاد بزرگ است. به همین دلیل از الگوریتم‌های فراابتکاری نظیر NSGA-II^۴ و MOVDO^۵ در حل این مدل استفاده خواهد شد.

در ادامه، ابتدا به تعریف مسأله پرداخته شده و سپس در بخش بعد مدل پیشنهادی ارائه می‌گردد. سپس به منظور حل مدل، روش حل پیشنهادی ارائه می‌شود. در خاتمه، به منظور بررسی کارایی الگوریتم پیشنهادی نمونه مسائل سالومون حل و نتایج حاصل بررسی و مقایسه می‌شوند.

۲. تعریف مسأله

در این بخش، ابتدا به شرح مسأله پرداخته و سپس مدل ریاضی پیشنهادی ارائه می‌گردد. مسأله مورد نظر به صورت یک شبکه‌ی توزیع سوخت است که شامل دیو (تأمین کننده) و جایگاه‌های عرضه سوخت بنزین (مشتریان) با در نظر گرفتن پنجره زمانی نرم و عوامل زیست محیطی است. برای این مسأله سه تابع تعریف می‌شود، در تابع هدف اول کمینه کردن هزینه سفر و هزینه ناشی از تأخیر وسایل نقلیه دنبال می‌شود و در تابع هدف دوم به دنبال این هستیم تا تمام وسایل نقلیه مسیر متعادلی را

محمودآبادی و سید حسینی در مقاله خود رویه‌ای تکراری را بر اساس تئوری آشوب مبتنی بر تعریف ریسک دینامیکی برای تعیین بهترین مسیر حمل و نقل مواد خطرناک ارائه کردند [Mahmoudabadi and Seyedhosseini, 2013]. هدف اصلی این مقاله بهبود همزمان زمان سفر و ریسک به گونه‌ای است که برای مقامات محلی و ملی در شبکه حمل و نقل رضایت‌بخش باشد. بر اساس رویه پیشنهادی آنها چهار مؤلفه مهم ریسک شامل اطلاعات تصادف، جمعیت، محیط زیست و جنبه های زیرساختی آن تحت متغیرهای کلامی ارائه شده است که با استفاده از روش تبدیل متغیرهای کلامی به اعداد کمی، کمی‌سازی شده‌اند. بکارگیری مدل ارائه شده نشان می‌دهد که در حالی که متغیرهای بی‌نظم به شرایط اولیه وابسته هستند، پرتکرارترین مسیر، مستقل باقی خواهد ماند. پرادانانگا و همکاران در مقاله خود تجزیه و تحلیل زیست محیطی از جواب‌های بهینه پارتو دو هدفه مسأله زمانبندی و مسیریابی وسایل نقلیه مواد خطرناک با محدودیت پنجره زمانی ارائه دادند [Pradhananga et al. 2014]. از آنجایی که تمام جواب‌های مسیریابی پارتو جواب‌های موازنه‌ای از منظر هزینه و ریسک است، مقایسه اثرات زیست محیطی می‌تواند اطلاعات بیشتری را برای تصمیم‌گیرندگان فراهم کند تا در فرآیند تصمیم‌گیری به آنها کمک کند. ترمهای هزینه و زمان ارائه شده در این مدل بر اساس ترمهای زمان سفر و جمعیت در معرض خطر است. بنابراین با در نظر گرفتن ویژگی‌های تصادفی و پویا بودن زمان سفر و جمعیت در معرض خطر مدل ارائه شده دارای حوزه‌ی قابل ارتقاء به مسأله مسیریابی چندهدفه پویا و واقعی در حمل مواد خطرناک هستند. زاهدیان و توکلی مقدم مطالعه‌ای در خصوص یک مدل ریاضی دوهدفه برای حمل و نقل که سازگار با محیط زیست باشد، انجام دادند [Zahedian and Tavakkoli-Moghaddam, 2015].

امروزه، حمل و نقل مواد خطرناک به دلیل خطرات ناشی از این نوع حمل و نقل، یک مسأله بسیار مهم برای محققان است که می‌بایست برای توسعه صنایع و صنعت حمل و نقل در نظر گرفته شود. بنابراین باید مدلی در نظر گرفته شود که ریسک و خطرات زیست محیطی ناشی از حمل و نقل این گونه مواد در آن لحاظ شده باشد. با توجه به هزینه‌های مربوطه، کاربردی و

الهام جلیلی بال، رضا توکلی مقدم، حسن جوائشیر

- طی کنند، در سومین تابع هدف کمینه کردن ریسک مسیر مد
 نظر قرار داده می‌شود.
۳. به تمام مشتریان سرویس می‌دهیم.
۴. در یک مرتبه بازدید مشتری تمام تقاضایش برآورده می‌شود.

۱-۲ مفروضات

۱. وسایل حمل و نقل ناهمگن هستند.
۲. وسایل نقلیه مسیر متعادلی را طی می‌کنند که کمترین ریسک و هزینه را داشته باشد.
۵. پنجره زمانی برای هر مشتری در نظر گرفته شده است، به گونه‌ای که اگر تقاضای هر مشتری در پنجره زمانی از پیش تعیین شده‌ای تأمین نگردد جریمه تأخیر باید پرداخته شود.

۲-۲ اندیس‌ها، پارامترها و متغیرها

$I = \{1, \dots, m, m+1, \dots, m+n\}$	مجموعه نقاط تقاضا و دپو	I
$i, j = \{1, \dots, m, m+1, \dots, m+n\}$	اندیس مربوط به گره‌های مشتری و دپو که در آن از ۱ تا m دپو و از $m+1$ تا $m+n$ گره‌های مشتری را نشان می‌دهد	i, j
$k = 1, \dots, K$	اندیس وسیله نقلیه	k
$r = 1, \dots, R$	اندیس مسیر	r
Cap_k	ظرفیت حمل وسیله نقلیه k	Cap_k
d_j	تقاضای گره j	d_j
t_{ijr}	زمان سفر بین نقاط i و j در مسیر r	t_{ijr}
ta_i	مدت زمان تخلیه بار گره i	ta_i
tb_j	مدت زمان بارگیری مشتری j در هر دپو	tb_j
a_i	حداقل زمان رسیدن به گره i	a_i
b_i	حداکثر زمان رسیدن به گره i	b_i
D_{ik}^e	میزان تأخیر وسیله نقلیه k در گره i	D_{ik}^e
cc	میزان جریمه حمل‌کننده به ازای هر واحد دیرکرد	cc
R_{ijkr}	میزان ریسک مربوط به مسیر $i-j$ که وسیله نقلیه k از مسیر r آن را طی می‌کند	R_{ijkr}
tc_{ijr}	هزینه واحد حمل و نقل بین گره i و j در مسیر r	tc_{ijr}
dis_{ijr}	فاصله مکانی بین گره‌های i و j در مسیر r	dis_{ijr}
$b = \{1, \dots, B\}$	مجموعه اثرات زیست محیطی برای مسیر i به j	$b = \{1, \dots, B\}$
e_{ijr}^{bk}	میزان اثر زیست محیطی b در صورت بکارگیری ماشین k از نود i به نود j از مسیر r به ازای حمل هر واحد جریان	e_{ijr}^{bk}
θ_b	حداکثر اثر زیست محیطی نوع b قابل انتشار	θ_b

متغیرها :

$$\left. \begin{array}{l} 1 \text{ اگر وسیله نقلیه } k \text{ از گره } i \text{ به گره } j \text{ در مسیر } r \text{ سفر کند} \\ 0 \text{ در غیر این صورت} \end{array} \right\} X_{ijkr}$$

توسعه مدل ریاضی چندهدفه برای مسأله مسیریابی وسایل نقلیه جهت حمل مواد سوختی با در نظر گرفتن پنجره...

AT_i^k : زمان رسیدن وسیله نقلیه k ام به گره i ام

Y_{ir} : متغیر کمکی برای حذف زیرتورهای مسیر r

۳. مدل ریاضی پیشنهادی مسأله

توابع هدف و محدودیت های مسأله به قرار زیر است:

$$\text{Min} \sum_{i=1}^{M+N} \sum_{j=1}^{M+N} \sum_{k=1}^K \sum_{r=1}^R tc_{ijr} x_{ijrk} + cc_i \sum_{i=M+1}^{M+N} \sum_{k=1}^K D_{ik}^e \quad (1)$$

$$\text{Min} \left[\text{Max}_{k=1}^K \left(\sum_{i=1}^{M+N} \sum_{j=1}^{M+N} \sum_{r=1}^R dis_{ijr} x_{ijrk} \right) - \text{Min}_K \left(\sum_{i=1}^{M+N} \sum_{j=1}^{M+N} \sum_{r=1}^R dis_{ijr} x_{ijrk} \right) \right] \quad (2)$$

$$\text{Min} \sum_{i=1}^{M+N} \sum_{j=1}^{M+N} \sum_{k=1}^K \sum_{r=1}^R R_{ijrk} x_{ijrk} \quad (3)$$

s.t.

$$\sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^{M+N} \sum_{r=1}^R x_{jirk} = 1 \quad i = M+1, \dots, M+N \quad (4)$$

$$\sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^{M+N} \sum_{r=1}^R x_{ijrk} = 1 \quad i = M+1, \dots, M+N \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^M \sum_{j=M+1}^N \sum_{r=1}^R x_{ijrk} \leq 1 \quad \forall k \in K \quad (6)$$

$$\sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^{M+N} \sum_{r=1}^R x_{jirk} = 1 \quad \forall i \in I, k \in K, r \in R \quad (7)$$

$$\sum_{i=1}^M \sum_{j=M+1}^{M+N} \sum_{k=1}^K \sum_{r=1}^R x_{jirk} \leq K \quad (8)$$

$$\sum_{i=1}^{M+N} \sum_{j=M+1}^{M+N} \sum_{r=1}^R d_j x_{ijrk} \leq Cap_k \quad \forall k \in K \quad (9)$$

$$AT_{ik} \geq \sum_{j=M+1}^{M+N} \sum_{r=1}^R tb_j x_{ijrk} \quad \forall k \in K, i = 1, \dots, M \quad (10)$$

$$-AT_j^k + AT_i^k + t_{ijr} + ta_i \leq (1 - x_{ijrk})M \quad \forall i \in I, j \in I, k \in K, r \in R \quad (11)$$

$$a_i \leq AT_i^k \quad \forall i \in I, k \in K \quad (12)$$

$$D_{ik}^e \geq AT_i^k - b_i \quad \forall i \in I, k \in K \quad (13)$$

$$D_{ik}^e \geq 0 \quad \forall i \in I, k \in K \quad (14)$$

$$\sum_{r=1}^R \sum_{i=1}^{M+N} \sum_{j=1}^{M+N} \sum_{k=1}^K e_{ijr}^{bk} x_{ijk} \leq \theta_b \quad \forall b \in B \quad (15)$$

$$Y_{ir} - Y_{jr} + N \cdot x_{ijk} \leq N - 1 \quad i = 1, 2, \dots, m, k \in K, r \in R, \quad (16)$$

$$j = m + 1, m + 2, \dots, m + n$$

$$Y_{ir} \geq 0 \quad (17)$$

باشد. محدودیت (۱۳) مربوط به جلوگیری از رخداد زیر تور می باشد. محدودیت (۱۴) بیانگر نوع متغیر است.

۴. روش حل پیشنهادی مسأله

از آنجاییکه این مسأله جزء مسائل NP-Hard به شمار می رود برای حل مسائل در ابعاد بزرگ از الگوریتم های فراابتکاری NSGA-II چندهدفه و MOVDO بهره جسته شده است که با روش طراحی آزمایشات تاگوچی تنظیم پارامتر شده اند. همچنین از پنج شاخص برای مقایسه عملکرد الگوریتم ها استفاده شده است.

۴-۱ الگوریتم NSGA-II

روش NSGA یک روش متداول برای حل مسایل با چند تابع هدف بر مبنای الگوریتم ژنتیک است [Srinivas and Deb, 1994]. این الگوریتم یک روش کارآمد به منظور حل مسایل با چند تابع هدف است، ولی به منظور انتخاب ذره های غالب و در پیچیدگی محاسباتی دارای نقاط ضعف است، به همین منظور یک روش اصلاح شده به نام NSGA-II توسعه داده شد. این روش از الگوریتم NSGA بهتر عمل می کند زیرا از اطلاعات S_p و N_p یعنی مجموع اعضای جمعیتی که توسط ذره P مغلوب شده است و تعداد دفعاتی که ذره P توسط سایر ذرات مغلوب شده است استفاده می کند.

۴-۲ الگوریتم MOVDO

تابع هدف اول کمینه سازی هزینه های سفر و هزینه های ناشی از داشتن تأخیر را شامل می شود. تابع هدف دوم برقراری تعادل تخصیص بار برای هر وسیله نقلیه را بر عهده دارد به این مفهوم که تمام وسایل نقلیه مسیر تعادلی را طی کنند و تابع هدف سوم کمینه سازی میزان ریسک مرتبط با مسیر مواصلاتی را نشان می دهد.

محدودیت های (۱) و (۲) مربوط به گره مشتری است و این مفهوم را بیان می کند که به ازای هر یک ورود به گره مشتری یک خروج داریم. محدودیت (۳) نشان می دهد که هر ماشین فقط از یک دپو می تواند خارج شود. محدودیت (۴) وجود توازن بین ورود و خروج گره مشتری را نشان می دهد، محدودیت (۵) مربوط به تعداد وسایل نقلیه است و این مفهوم را بیان می کند که تعداد کل ماشین هایی که از دپوها به مشتری ها می روند باید از تعداد کل ماشین ها کوچکتر مساوی باشد. محدودیت (۶) مربوط به ظرفیت وسیله نقلیه است. محدودیت (۷) برای هر دپو زمان بارگیری محصولات مشتریان تخصیص داده شده به هر ماشین را حساب می کند. محدودیت (۸) زمان رسیدن به گره j را در صورتیکه گره j بعد از گره i باشد، نشان می دهد. محدودیت (۹) این نکته را بیان می کند که زمان رسیدن وسیله نقلیه k به مشتری i باید از زودترین زمان رسیدن به آن بیشتر باشد. محدودیت (۱۰) و (۱۱) مربوط به دیرکرد (تأخیر) وسیله نقلیه است که اگر زمان رسیدن به مشتری i از دیرترین زمان رسیدن آن مشتری بیشتر باشد تأخیر صورت گرفته، در غیر این صورت صفر است. محدودیت (۱۲) بیان می کند که مجموع آثار زیست محیطی انتشار یافته از تمام وسایل نقلیه در تمام مسیرها باید از یک مقدار از پیش تعیین شده کمتر

توسعه مدل ریاضی چندهدفه برای مسأله مسیریابی وسایل نقلیه جهت حمل مواد سوختی با در نظر گرفتن پهنجره...

۲ به ماشین سوم اختصاص داده شده است. همچنین مسیره‌های ۱ برای ماشین اول و مسیر دوم نیز برای ماشین ۳ در نظر گرفته شده است.

مشتریان	۱	۲	۳	۴	۵
توالی	۱	۱	۲	۳	۲
ماشین	۱	۳	۱	۳	۳
مسیر	۱	۲	۱	۲	۲
انبار	۱	۲	۱	۲	۲

شکل ۱. نمایش جواب

۴-۴ نحوه تولید جمعیت اولیه

یک توالی تصادفی از وسایل نقلیه ایجاد می‌شود. از ماشین اول شروع کرده و سپس بصورت تصادفی مشتریان به وسایل نقلیه تخصیص داده می‌شود تا ظرفیت وسیله نقلیه پر شود. سپس به وسیله نقلیه بعدی می‌رویم و فرایند تخصیص مشتری را از مابقی مشتریان انجام می‌دهیم تا ظرفیت آن پر شود. این روند تا زمانی که تمام مشتریان بازدید شوند ادامه پیدا می‌کند. سپس به وسایل نقلیه استفاده شده مسیر و انبار تخصیص می‌دهیم. در مرحله آخر نیز زمان بازدید هر مشتری توسط وسیله نقلیه محاسبه می‌گردد.

۴-۵ عملگر جهش و ترکیب و شرط توقف الگوریتم

NSGA-II:

برای الگوریتم ژنتیک برای کروموزم مسأله از عملگر تقاطع تک نقطه ای برای ترکیب استفاده شده است:

$$Ch_1 = \text{round} (Parent_1 (1 : Alpha) + Parent_2 (1 + Alpha : N))$$

$$Ch_2 = \text{round} (Parent_2 (1 : Alpha) + Parent_1 (1 + Alpha : N))$$

که $Parent_1$ و $Parent_2$ به ترتیب پدر و مادر انتخابی بوده و آلفا یک نقطه برش بین ۱ تا $N-1$ می‌باشد و Ch_1 و Ch_2

الگوریتم بهینه سازی میرایی ارتعاشات (VDO) برای اولین بار توسط مهدیزاده و توکلی مقدم [Mahdizade and Tavakkoli-Moghadam, 2009] ارائه شد که از میرایی دامنه نوسانات در تئوری ارتعاشات الهام گرفته شده است. فرایند کاهش دامنه نوسان که با گذشت زمان به صفر تمایل پیدا کند را فرایند میرایی می‌گویند. این روش به این ترتیب عمل می‌کند که حرکت از یک جواب اولیه تصادفی شروع می‌شود (در دامنه آغازین) آنگاه جواب جدید در مجاورت جواب قبلی با استفاده از یک ساختار همسایگی مناسب بطور تصادفی تولید و ارزیابی می‌شود. در صورتی که جواب جدید جواب بهتری باشد یعنی انرژی نوسان را کاهش دهد به عنوان جواب قابل قبول در فضای جستجو انتخاب می‌شود و اگر بدتر باشد، جواب جدید با احتمال ریلی پذیرفته می‌شود. این توزیع احتمال اجازه می‌دهد تا سیستم از جواب حداقل محلی فرار کند. این قدم‌ها تا رسیدن به شرط توقف ادامه می‌یابد. اگر شرط توقف برقرار بود بطور کامل متوقف شده، در غیر اینصورت از برنامه میرایی جهت کاهش دامنه نوسان استفاده نموده و دامنه را کاهش داده و مجدداً قدم‌های فوق تکرار می‌شود.

۴-۳ نحوه نمایش جواب ها

در مدل مفروض، کروموزم مسأله یک ماتریس است که دارای ۴ سطر بوده و به تعداد مشتریان دارای ستون می‌باشد. ستون‌ها به ترتیب نشان دهنده یک مشتری هستند. یعنی ستون اول مربوط به مشتری ۱ و ستون دوم مربوط به مشتری ۲ و ، ستون آخر نیز مربوط به مشتری N است. سطر اول توالی بازدید هر مشتری توسط وسیله نقلیه تخصیصی را نشان می‌دهد. سطر دوم ماشین تخصیص داده شده به هر مشتری را نشان می‌دهد. سطر سوم نیز مسیر تخصیص داده شده به ماشین و سطر چهارم نیز انبار تخصیص داده شده به هر ماشین را نشان می‌دهد. شکل زیر یک نمونه از کروموزم را نشان می‌دهد.

در شکل ۱ به طور فرضی یک نمونه جواب در نظر گرفتیم. همانطور که سطر اول نشان می‌دهد وسیله نقلیه ۱، مشتریان ۱ و ۳ را بترتیب بازدید می‌کند. ماشین ۳ نیز به ترتیب مشتریان ۲، ۵ و ۴ را بازدید می‌کند. انبار شماره ۱ به ماشین ۱ و انبار شماره

۴-۶ تنظیم پارامتر

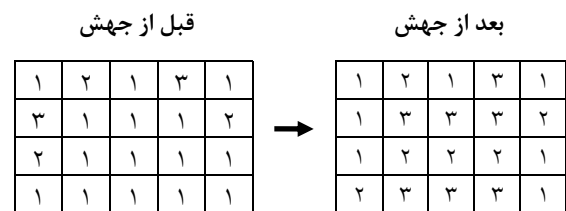
برای تنظیم پارامترهای الگوریتم‌های پیشنهادی از روش طراحی آزمایشات تاگوچی استفاده شده است. برای روش NSGA-II چهار فاکتور تعداد جمعیت اولیه (n_{pop})، حداکثر تعداد تکرار (max_it)، ضریب جهش (Mutation) و ضریب جابجایی (Crossover) در نظر گرفته شده است، همانطور که در جدول ۱ نشان داده شده است. برای روش VDO پنج فاکتور تعداد جمعیت اولیه (n_{pop})، حداکثر تعداد تکرار (max_it)، دامنه اولیه ارتعاشات (A0) و پارامتر توزیع ریلی (σ) و ضریب میرایی (γ) در نظر گرفته شده است، همانطور که در جدول ۲ نشان داده شده است.

۴-۷ شاخص‌های مقایسه

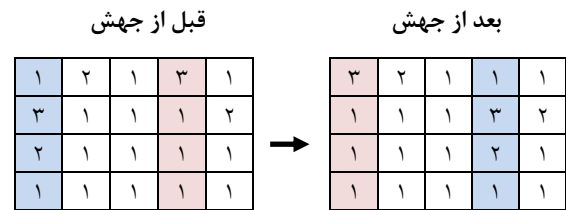
برای ارزیابی عملکرد الگوریتم‌های فراابتکاری چند هدفه دو دسته اصلی متریک وجود دارد: (۱) متریک‌های همگرایی (۲) متریک‌های پراکندگی. در این مقاله برای انجام مقایسه، از پنج شاخص که ترکیبی از شاخص‌های هر دو دسته اصلی است، استفاده شده است.

فرزندان حاصل شده هستند. این عملیات بصورت شماتیک در شکل ۲ ارائه شده است: (مقدار Alpha برابر ۳ است).

برای عملگر جهش نیز دو روش در نظر گرفته شده است. در روش اول ابتدا یک والد بصورت تصادفی انتخاب شده و سپس دو ماشین بصورت تصادفی انتخاب شده و مشتری‌های تخصیص داده شده به آن را عوض می‌کنیم و مسیر و انبار آن را نیز تغییر می‌دهیم. بطور مثال در شکل ۳ و سیله ۱ و ۳ انتخاب می‌شوند.



شکل ۳. عملگر جهش



شکل ۴. عملگر جهش

$Paret_1 * Alpha$				$Parent_2 * (1 + Alpha)$			فرزند اول				
۱	۲	۱		۳	۱	→	۱	۲	۱	۳	۱
۳	۱	۱		۱	۲		۳	۱	۱	۱	۲
۱	۱	۱		۱	۱		۱	۱	۱	۱	۱
۳	۱	۱		۱	۱		۳	۱	۱	۱	۱
$Parent_1 * (1 + Alpha)$				$Paret_2 * Alpha$			فرزند دوم				
۱	۲	۱		۴	۳	→	۱	۲	۱	۴	۳
۳	۱	۱		۱	۱		۳	۱	۱	۱	۱
۲	۱	۱		۱	۱		۲	۱	۱	۱	۱
۱	۱	۱		۱	۱		۱	۱	۱	۱	۱

شکل ۲. عملگر ترکیب

جدول ۱. نتایج تنظیم پارامترها الگوریتم NSGA-II

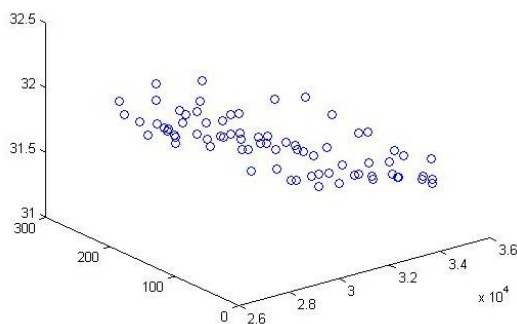
نتایج	تعداد تکرار الگوریتم	جمعیت اولیه	نرخ ترکیب	نرخ جهش
۰/۳	۷۵	۳۰	۰/۷	۰/۳

معیارهای دسته اول عبارتند از: معیار تعداد جواب پارتو، معیار فاصله از جواب ایده آل و معیارهای مربوط به دسته دوم عبارتند از: معیار فاصله‌گذاری، معیار تنوع. همچنین معیار زمان اجرای الگوریتم برای مقایسه نیازمندی‌های محاسباتی در نظر گرفته شده است.

توسعه مدل ریاضی چندهدفه برای مسأله مسیریابی وسایل نقلیه جهت حمل مواد سوختی با در نظر گرفتن پنجره...

یافت شده توسط الگوریتم‌ها برای توابع هدف سوم هر دو در یک رنج عددی است. یعنی جواب‌های یافت شده برای تابع هدف سوم ۴۲ تا ۴۳,۵ است.

اما برای تابع هدف اول، الگوریتم NSGA-II جواب‌های بهتری را نسبت به الگوریتم MOVDO به دست آورده است. زیرا رنج جواب‌های یافت شده توسط NSGA-II بین ۱۵۰۰۰ تا ۲۵۰۰۰ و رنج جواب‌های یافت شده توسط MOVDO بین ۲۰۰۰۰ تا ۴۰۰۰۰ می باشد. با توجه به اینکه تابع هدف اول از نوع حداقل سازی می باشد پس الگوریتم NSGA-II جواب‌های بهتری را به دست آورده است و برای تابع هدف دوم، الگوریتم MOVDO جواب‌های بهتری را نسبت به الگوریتم NSGA-II به دست آورده است. زیرا رنج جواب‌ها یافت شده توسط NSGA-II بین ۲۰۰ تا ۶۰۰ و رنج جواب‌ها یافت شده توسط MOVDO بین ۲۰۰ تا ۴۰۰ می باشد. با توجه به اینکه تابع هدف دوم از نوع حداقل سازی است پس الگوریتم MOVDO جواب‌های بهتری را به دست آورده است.



شکل ۵. نمودار پارتو برای مسأله ۳۰ مشتری و ۳ انبار و ۷ وسیله

نقلیه برای الگوریتم MOVDO

جدول ۳. مقدار مقیاس فاصله و تنوع برای الگوریتم‌های پیشنهادی

شماره مسأله	NSGA-II		MOVDO	
	Spacing	Diversity	Spacing	Diversity
۱	۰/۴۹	۱۷۶/۰۴	۰/۳۷	۲۶۰/۱۸
۲	۰/۶۱۷	۴۶۲/۱۴	۰/۶۱۴	۱۸۶/۴۶
۳	۰/۵۵۷	۳۴۶/۱۵	۰/۸۳۵	۱۶۴/۲۵
۴	۰/۵۹۶۷	۴۱۸/۴۸	۰/۷۳۸	۳۱۶/۹۶
۵	۰/۶۱۳	۲۰۱/۰۷۹	۰/۶۱۸	۳۳۵/۳۳
۶	۰/۶۶۴	۳۸۹/۹۵	۰/۵۸	۴۱۹/۹

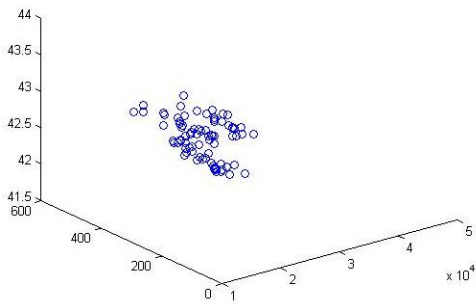
جدول ۲. نتایج تنظیم پارامترها الگوریتم VDO

تعداد تکرار الگوریتم	جمعیت اولیه	A ₀	Sigma	Gamma
۱۰۰	۳۰	۱۰	۰/۰۰۷	۴

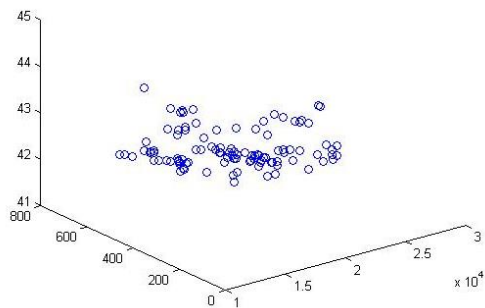
۵. نتایج محاسباتی الگوریتم پیشنهادی

در این مقاله، ۱۵ مسأله در اندازه‌های مختلف در نظر گرفته شده‌اند که تعداد مشتریان از ۸ تا ۵۰ و انبارها از ۲ تا ۴ و وسایل نقلیه از ۲ تا ۱۵ در نظر گرفته شده است. قبل از تشریح نتایج معیارهای به دست آمده برای هر یک از الگوریتم‌ها، قابل ذکر است که برای سه شاخص تعداد جواب‌های غیرمغلوب (NOS) و معیار تنوع (Diversity) مقادیر بالاتر مطلوب‌تر است. سپس برای معیار فاصله از جواب ایده آل (MID) و معیار فاصله‌گذاری (Spacing) هرچه مقدار این معیارها کمتر باشد مطلوب‌تر هستند. همچنین برای معیار زمان حل مسأله (Time) مقادیر کمتر، از مطلوبیت بالاتری برخوردار است.

در جداول ۳ و ۴ نتایج حاصل از حل برای هر کدام از الگوریتم‌ها در شاخص‌های مذکور نشان داده شده است. در ادامه نمودار پارتو حاصل از هر دو الگوریتم برای مسأله ۱۱ با ۳۰ مشتری، در شکل‌های ۵ و ۶ ارائه شده است. همانطور که مشاهده می‌شود اکثر جواب‌های یافت شده توسط الگوریتم‌ها برای توابع هدف دوم و سوم هر دو در یک رنج عددی است. یعنی جواب‌های یافت شده برای تابع هدف دوم در رنج صفر تا سیصد و تابع هدف سوم ۳۱ تا ۳۲,۵ است. اما برای تابع هدف اول، الگوریتم NSGA-II جواب‌های بهتری را نسبت به الگوریتم MOVDO به دست آورده است. زیرا رنج جواب‌ها یافت شده توسط NSGA-II بین ۱۶۰۰۰ تا ۲۴۰۰۰ و حدود جواب‌های یافت شده توسط MOVDO بین ۲۸۰۰۰ تا ۳۶۰۰۰ است. با توجه به اینکه تابع هدف اول از نوع حداقل سازی می باشد پس الگوریتم NSGA-II جواب‌های بهتری را به دست آورده است. همچنین نمودار پارتو حاصل از هر دو الگوریتم برای مسأله ۱۴ با ۴۰ مشتری، در شکل‌های ۷ و ۸ ارائه شده است. همانطور که مشاهده می‌شود اکثر جواب‌های



شکل ۷. نمودار پارتو برای مسأله ۴۰ مشتری و ۴ انبار و ۱۲ وسیله نقلیه برای الگوریتم MOVDO



شکل ۸. نمودار پارتو برای مسأله ۴۰ مشتری و ۴ انبار و ۱۲ وسیله نقلیه برای الگوریتم NSGA-II

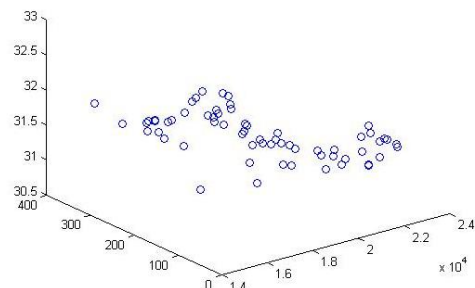
۶. نتیجه گیری

در این مقاله، یک مدل سه هدفه برای مسأله مسیریابی وسایل حمل و نقل مواد سوختی با در نظر داشتن پنجره زمانی و عوامل زیست محیطی جهت کمینه سازی هزینه های سفر و هزینه ناشی از تأخیر، همچنین برقراری تعادل در مسیر پیمایشی هر وسیله نقلیه و کمینه کردن ریسک مسیر ارائه شده است. مدل ارائه شده توسط دو الگوریتم فراابتکاری پیشنهادی حل و نتایج حاصل از آن با یکدیگر مقایسه شد. این نتایج نشان می دهد که زمان حل الگوریتم MOVDO کمتر است این الگوریتم دارای سرعت محاسباتی بهتری است. اما در معیارهای تعداد جواب پارتو و معیار فاصله از جواب ایده آل الگوریتم NSGA-II دارای عملکرد بهتری است. در نتیجه در سطح معناداری ۱۸٪، الگوریتم NSGA-II در دو معیار بطور معنا دار و در یک معیار نیز عملکرد نسبتاً بهتری به الگوریتم MOVDO دارد. از این رو می توان گفت که الگوریتم NSGA-II عملکرد بهتری نسبت

۷	۰/۹۸۲	۲۳۶/۹	۰/۵۴۸	۸۰۱/۹۰
۸	۰/۶۸۱	۵۹۴/۷۸	۰/۷۴	۶۶۵/۳۷
۹	۰/۶۱	۷۱۲/۶۱	۰/۷۴	۵۴۹/۳۴
۱۰	۰/۸	۱۱۴۸/۴۶	۰/۸۴	۱۲۵۴/۹۲
۱۱	۰/۶۷۹	۶۷۹/۶	۰/۶۴	۷۰۲/۸۵
۱۲	۰/۶۵	۸۴۹/۱۱	۰/۷۷	۱۰۶۷/۱۳
۱۳	۰/۷۱۴	۱۰۳۸/۲	۰/۷۷	۱۱۹۳/۹۴
۱۴	۰/۶۱۱	۹۶۵	۰/۷۶	۱۴۲۶/۴۷
۱۵	۰/۵۵۶	۹۳۵/۳۲	۰/۷۴	۱۴۵۸/۸۴

جدول ۴. مقدار مقیاس زمان و تعداد جواب پارتو و MID شماره مسأله

شماره مسأله	NSGA-II			MOVDO		
	MID	NOP	Time	MID	N O P	Time
۱	۲۶۵۶/۳۸	۳۳	۴/۷۷	۳۵۰۷/۱	۳۰	۴/۳۷
۲	۳۱۷۸	۵۷	۸/۰۷	۴۴۵۵/۷۲	۱۲	۴/۳۴
۳	۳۲۱۹/۵۶	۵۸	۸/۵۲	۴۴۷۰/۵۴	۱۳	۴/۳۷
۴	۲۹۳۶/۶	۵۵	۸/۲۸	۴۷۰/۲۸	۳۱	۵
۵	۳۶۸۴/۶۲	۳۸	۶/۱۲	۷۱۰۹/۸۷	۲۳	۵/۱۱
۶	۴۱۳۱/۵	۵۷	۸/۱	۸۶۵۲/۱۱	۲۸	۶/۳۴
۷	۴۸۲۴/۵۶	۲۷	۶/۵۳	۱۱۸۶۱	۶۱	۸/۱۱
۸	۹۸۲۹/۳۵	۶۴	۷/۷۸	۱۷۴۰۶/۱۰۵	۵۲	۷/۶
۹	۱۰۰۹۶/۰۲	۷۳	۱۳/۳۲	۱۷۹۰۳/۶۸	۲۹	۶/۸۱
۱۰	۱۱۸۸۹/۳۶	۹۸	۱۲/۳۷	۲۴۲۸۳/۱۸	۷۰	۹/۷۲
۱۱	۱۷۹۳۷	۶۳	۱۳/۴۴	۳۰۵۴۸/۸۸	۷۵	۱۶/۴۸
۱۲	۱۱۵۲۸/۸	۷۶	۱۱/۸۱	۲۱۵۵۰/۹	۸۲	۱۰/۹۹
۱۳	۱۶۹۱۸/۶	۱۰۴	۱۷/۶۴	۳۱۹۲۴/۸۰	۷۰	۱۲/۲۷
۱۴	۲۴۹۹۰/۳۱	۹۴	۱۴/۶۴	۲۵۱۸۴/۸۴	۸۰	۱۱/۹
۱۵	۲۵۶۷۲/۱۸	۱۱۷	۱۸/۲۵	۴۱۰۱۲/۴۱	۸۶	۱۵/۲۹



شکل ۶. نمودار پارتو برای مسأله ۳۰ مشتری و ۳ انبار و ۷ وسیله نقلیه برای الگوریتم NSGA-II

hazardous materials", *Operations Research*, Vol. 36, No. 1, pp. 84–92.

- Joy, R. M., Stark, C. G., Gordon, C. S., Peterson, S. L. and Albertson, T. E. (1981) *EKP*. Vol. 73, pp.588–594.

- Lenstra, J. K. and Rinnooy Kan, A. H. G. (1981) "Complexity of vehicle and scheduling problem", *Networks*, Vol. 11, pp. 221–227.

- List, G. and Mirchandani, P. (1991) "An integrated network planar multi-objective model for routing and siting for hazardous materials and wastes", *Transportation Science*, Vol. 25, No. 2, pp. 146–156.

- McCord, M. and Leu, A. (1995) "Sensitivity of optimal hazmat routes to limited preference specification", *INFOR*, Vol. 33, No. 2, pp. 68–83.

- Nozick, L., List, G. and Turnquist, M. A. (1997) "Integrated routing and scheduling in hazardous materials transportation", *Transportation Science*, Vol. 31, No. 3, pp. 200–215.

- Pradhananega, R., Taniguchi E., Yamada T., (2014), "Environmental analysis of Pareto optimal routes in hazardous material transportation", *Social and Behavioral Science*, The 8th International Conference on City Logistics, Vol. 125, pp. 506–517.

- Srinivas, N. and Deb, K. (1994) "Multiobjective optimization using nondominated sorting in genetic algorithms", *IEEE Transaction on Evolutionary Computation*, Vol. 2, pp. 221–248.

- Seyedhosseini, S. M. and Mahmoudabadi, A. (2014) "Developing a chaotic pattern of dynamic hazmat routing problem", *IATSS Research*, Vol. 37, No. 2, pp. 110–118.

- Zahedian, Z. and Tavakkoli-Moghaddam, R. (2015) "A fuzzy bi-objective mathematical model for sustainable hazmat transportation", *International Journal of Transportation Engineering*, Vol. 2, No. 3, pp. 231–244.

- Zografos, K. G. and Androutopoulos, K. N. (2004) "A heuristic algorithm for solving hazardous materials distribution problems", *European Journal of Operational Research*, Vol. 152, No. 2, pp. 507–519

به الگوریتم MOVDO دارد. از طرفی با توجه به این که در معیارهای کیفیت یعنی معیار فاصله از جواب ایده آل و معیار فاصله الگوریتم NSGA-II عملکرد بهتری را داراست، بر این اساس کیفیت جواب‌های یافت شده توسط الگوریتم NSGA-II بهتر است.

۷. پی نوشت‌ها

1. Transportation of Hazardous Materials
2. Agreement for Carriage Dangerous Goods and Substance by Road
3. Vehicle Routing Problem
4. Non-Dominated Sorted Genetic Algorithm
5. Multi Objective Vibration Damping Optimization

۸. مراجع

- توکلی مقدم، رضا، علینقیان، مهدی، نوروزی، نرگس و سلامت بخش ورجوی، علیرضا (۱۳۹۱) "توسعه مدل ریاضی مسأله مسیریابی حمل و نقل مواد سوختی تحت شرایط فازی - مطالعه موردی"، فصلنامه مهندسی حمل و نقل، جلد ۲، شماره ۳، ص. ۲۲۳-۲۳۷.

- توکلی مقدم، رضا، محمودسلطانی، فرزاد، محمودآبادی، عباس (۱۳۹۲) "حل یک مدل جدید برای مسأله مسیریابی وسائلی نقلیه با در نظر گرفتن ایمنی در حمل و نقل مواد خطرناک"، فصلنامه مهندسی حمل و نقل، جلد ۴، شماره ۳، ص. ۲۰۹-۲۲۰.

- مهدیزاده، اسماعیل و توکلی مقدم، رضا (۱۳۸۸) "بهینه سازی یک مسأله زمانبندی ماشین های موازی به کمک میرایی ارتعاشات"، دومین کنفرانس بین المللی تحقیق در عملیات، ۱۳۸۸.

- Batta, R. and Chiu, S. S. (1988) "Optimal obnoxious paths on a network transportation of

الهام جلیلی بال، رضا توکلی مقدم، حسن جوانشیر

رضا توکلی مقدم، درجه کارشناسی در رشته مهندسی صنایع را در سال ۱۳۶۷ از دانشگاه علم و صنعت ایران و درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی صنایع در سال ۱۳۷۲ را از دانشگاه ملبورن - استرالیا اخذ نمود. در سال ۱۳۷۶ موفق به کسب درجه دکتری در رشته مهندسی صنایع از دانشگاه سوین‌برن - استرالیا گردید. زمینه‌های پژوهشی مورد علاقه ایشان طراحی سیستم‌های صنعتی (مکان‌یابی و استقرار تسهیلات)، مسیریابی وسایط حمل و نقل، لجستیک و طراحی شبکه زنجیره تامین، زمانبندی و توالی عملیات، الگوریتم‌های فراابتکاری در بهینه‌سازی بوده و در حال حاضر عضو هیات علمی با مرتبه استاد تمام در دانشگاه تهران است.



حسن جوانشیر، درجه کارشناسی در رشته مهندسی صنایع - تولید صنعتی را در سال ۱۳۶۶ از دانشگاه صنعتی امیرکبیر و درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی صنایع - مهندسی صنایع را در سال ۱۳۷۰ از دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب اخذ کرد. در سال ۱۳۸۴ موفق به کسب درجه دکتری تخصصی در رشته مهندسی صنایع از دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران گردید. زمینه‌های پژوهشی مورد علاقه ایشان مدل‌سازی ریاضی، برنامه‌ریزی حمل و نقل، برنامه‌ریزی تولید، الگوریتم‌های فراابتکاری، و مهندسی قابلیت اطمینان بوده و از سال ۱۳۷۶ عضو هیات علمی با مرتبه استادیار در دانشگاه آزاد اسلامی - واحد تهران جنوب است.



الهام جلیلی بال، درجه کارشناسی در رشته مهندسی صنایع - برنامه‌ریزی و تحلیل سیستم‌ها را در سال ۱۳۹۱ از دانشگاه آزاد اسلامی - واحد تهران جنوب و درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی صنایع - مهندسی صنایع در سال ۱۳۹۴ را از دانشگاه آزاد اسلامی - واحد تهران جنوب اخذ نمود. ایشان فارغ‌التحصیل ممتاز در هر دو دوره کارشناسی و کارشناسی ارشد بوده و زمینه‌های پژوهشی مورد علاقه وی مسأله مسیریابی وسایل نقلیه، حمل و نقل مواد خطرناک، مسأله زمانبندی وسایل حمل‌ونقل، مسائل مسیریابی سبز، بهینه‌سازی مسائل حمل و نقل است.

