

انتخاب پروژه های خیابانی جهت تعریض در شبکه شهری

نسرین شاه‌حیدری (نویسنده مسئول)، دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده صنایع و سیستم‌ها، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

سید نادر شتاب بوشهری، دانشیار، دانشکده صنایع و سیستم‌ها، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

E-mail: n.shah@in.iut.ac.ir

پذیرش: ۱۳۹۵/۰۶/۲۹

دریافت: ۱۳۹۴/۰۹/۱۲

چکیده

یکی از مسائل مطرح در حوزه حمل‌ونقل، انتخاب پروژه‌های سرمایه‌گذاری حمل‌ونقل بوده و یکی از زیر فصل‌های انتخاب پروژه‌های حمل‌ونقل، انتخاب پروژه‌های ساخت خیابانهای جدید و یا تعریض خیابانهای موجود در شبکه های حمل و نقل شهری است. تحقیقات زیادی در زمینه ارزیابی پروژه‌های ساخت و یا تعریض خیابانها در شبکه حمل‌ونقل شهری انجام شده است. اما تقریباً هیچ کدام از پژوهش‌های انجام گرفته، ارزیابی پروژه‌های تعریض خیابانها در شبکه حمل‌ونقل شهری را به تنهایی در نظر نگرفته اند. در این پژوهش ابتدا یک مدل ریاضی جهت انتخاب پروژه در شبکه خیابانهای شهری در حالتی که تنها تعریض خیابانهای شبکه مورد نظر باشد، معرفی شده، سپس یک الگوریتم ابتکاری جهت تعیین مجموعه خیابانهای کاندید جهت تعریض ارائه گردیده است. از آنجا که مسئله انتخاب پروژه در شبکه‌های حمل‌ونقل، از دیدگاه حل از نوع مسائل NP-hard است و یکی از زمان بر ترین قسمت‌ها در حل این مسئله، حل زیر مسئله تخصیص ترافیک است، یک الگوریتم ابتکاری برای حل مسئله تخصیص ترافیک در این حالت، پیشنهاد شده است و در آخر از الگوریتم فراابتکاری تجمع ذرات جهت حل مدل انتخاب پروژه تعریض، استفاده گردیده و نشان داده شد که الگوریتم تجمع ذرات چه از نظر زمان حل و چه از نظر دقت حل نتایج قابل قبولی ارائه می‌دهد.

واژه های کلیدی: الگوریتم تجمع ذرات، الگوریتم تخصیص ترافیک فرانک-ولف، انتخاب پروژه در خیابانهای شهری.

۱. مقدمه

اهداف این مقاله، تغییر در الگوریتم حل مسئله تخصیص ترافیک، به گونه ای است که زمان حل مسئله تخصیص ترافیک به میزان قابل توجهی کاهش یابد.

به طور کلی در این پژوهش، ابتدا مدل ریاضی جهت انتخاب پروژه در شبکه خیابانهای شهری در حالتی که تنها تعریض خیابانهای موجود در شبکه، مورد نظر باشد، معرفی می شود. سپس الگوریتمی ابتکاری جهت تعیین مجموعه خیابانهای کاندید تعریض در شبکه، ارائه می گردد. پس از آن الگوریتم حل مسئله تخصیص ترافیک در حالت یاد شده بالا، بهبود داده می شود و در آخر با استفاده از روش فراالبتکاری تجمع ذرات مدل ریاضی انتخاب پروژه های خیابانی جهت تعریض حل می گردد.

۲. مرور ادبیات موضوع

مسئله انتخاب پروژه در شبکه خیابان های شهری، طی پنج دهه اخیر به دلیل سطح پیچیدگی بالای مسئله، جذابیت تئوری، اهمیت عملی و میان رشته ای بودن آن، پیوسته مورد مطالعه قرار گرفته است. تحقیقات انجام شده در این زمینه را می توان به سه دسته تقسیم کرد: ۱- طراحی شبکه پیوسته (CNDP²) که مرتبط با توسعه ظرفیت بهینه زیرمجموعه ای از کمان های موجود در شبکه است و از این رو ظرفیت کمان به صورت متغیرهای تصمیم پیوسته در نظر گرفته می شود. ۲- مسئله طراحی شبکه گسسته (DNDP³)؛ که در ارتباط با اضافه کردن کمان های جدید به شبکه موجود بوده و از این رو ظرفیت کمان ها تنها می توانند مجموعه ای از مقادیر مشخص را به خود بگیرند. ۳- مسئله طراحی شبکه ترکیبی (MNNDP⁴)؛ که ترکیبی از دو مسئله دسته یک و دو را شامل می شود.

بیشتر فعالیت های انجام شده در زمینه انتخاب پروژه های حمل و نقل را می توان در حیطه مسائل طراحی شبکه حمل و نقل شهری (UTNDP⁵) یافت. فراهانی و همکاران [Farahani et al. 2013] مرور جامعی از تعاریف، طبقه بندی ها، اهداف، محدودیت ها، متغیرهای تصمیم و روش های حل این مسائل را معرفی نمودند که هم شامل مسائل طراحی شبکه خیابانها (RNDP⁶) و هم مسائل طراحی شبکه حمل و نقل عمومی (PTNDP⁷) است. آنها در پژوهش خود مسائل طراحی شبکه حمل و نقل شهری را به صورت سه تعریف کلی، طبقه بندی

برنامه ریزی حمل و نقل، فن نظام یافته ای از تجزیه و تحلیل عناصر حمل و نقل و ترافیک است که هدف آن طراحی نزدیک به بهینه مجموعه تسهیلات موجود و روش به کارگیری آنهاست. یکی از مسائل مطرح در حوزه برنامه ریزی حمل و نقل، ارزیابی، اولویت بندی و انتخاب پروژه های سرمایه گذاری حمل و نقل (TIP¹) است. به دلیل حساسیت سیستم حمل و نقل و تاثیر قابل توجه آن بر زندگی عموم مردم، اقتضا می نماید که فرآیند انتخاب پروژه در این حوزه با رعایت توجه و دقت کافی به انواع تاثیرات آن انجام پذیرد.

مسئله انتخاب پروژه در شبکه حمل و نقل شهری به این سوال پاسخ می دهد که سیستم حمل و نقل مورد نظر در شرایط محدودیت بودجه چگونه گسترش یابد که عملکرد شبکه برای محدوده زمانی مورد نظر بهبود یابد. ارزیابی و انتخاب پروژه ها در شبکه، یک مسئله دو سطحی است که به دلیل غیر محدب بودن تابع هدف مربوطه، حل آن با مشکل روبرو است. تاکنون در زمینه حل مسئله دو سطحی یاد شده، تحقیقات بسیاری انجام شده و الگوریتم های فراالبتکاری بسیاری برای حل مسئله پیشنهاد شده است، که در همه آنها مسئله سطح پایین تر توسط یک الگوریتم تخصیص ترافیک حل می شود.

یکی از زیر فصل های انتخاب پروژه های سرمایه گذاری در شبکه های حمل و نقلی، پروژه های ساخت خیابانهای جدید و یا تعریض خیابانهای موجود است. تحقیقات زیادی در زمینه ارزیابی پروژه های ساخت و یا تعریض خیابانها در شبکه حمل و نقل شهری، انجام شده است. در تمامی تحقیقات یاد شده، "ساخت خیابانهای جدید" و یا "ساخت خیابانهای جدید و تعریض خیابانهای موجود به طور همزمان" مورد توجه قرار گرفته است و تقریباً هیچ کدام از پژوهش های انجام گرفته، ارزیابی پروژه های تعریض خیابانها در شبکه حمل و نقل شهری را به تنهایی در نظر نگرفته اند.

از آنجا که مسئله انتخاب پروژه در شبکه های حمل و نقل، از دیدگاه حل از نوع مسائل NP-hard است و یکی از زمان برترین قسمت ها در حل این مسئله، حل زیر مسئله تخصیص ترافیک است و با توجه به این موضوع که تعریض خیابانهای موجود در شبکه، پیکره و توپولوژی شبکه مبنا را تغییر نمی دهد، یکی از

انتخاب پروژه های خیابانی جهت تعریض در شبکه شهری

گالو، داسرنو و مونتا [Gallo, D'Acerno and Montella, 2010] یک مدل بهینه سازی با محدودیت های غیر خطی برای DNDP ارائه کردند و یک الگوریتم فراابتکاری برای حل آن ارائه دادند. رویکرد پیشنهادی آنها رسیدن به حلهای بهینه محلی در زمان های محاسباتی معقول را ممکن می سازد. میانداوآبچی و فراهانی [Miandoabchi and Farahani, 2011] شامل طراحی توسعه ظرفیت خیابان ها، تعیین جهت خیابان ها و تخصیص لاین ها در خیابان های دوطرفه را بطور همزمان و بر اساس ماکزیمم کردن ظرفیت ذخیره، بررسی کردند. آنها یک الگوریتم ژنتیک ترکیبی و یک الگوریتم شبیه سازی تبرید تکاملی را برای حل این مسئله بکار بردند. فراورش و سپهری [Farvareh and Sepehri, 2012] نیز مسئله دوسطحی DNDP را بصورت برنامه ریزی خطی عدد صحیح مختلط مدل کردند تا حل بهینه کلی را بیابند و قید های واقعی بیشتری را در نظر بگیرند. لاتپ و همکاران [Luathep et al. 2011] برنامه ریزی ریاضی برای MNDP با محدودیت های تعادلی را به مسئله برنامه ریزی خطی عدد صحیح مختلط تبدیل کردند و یک الگوریتم بهینه سازی برمبنای روش برش محدودیت برای حل مسئله توسعه دادند. کریمی و همکاران [Karimi et al. 2013] برای انتخاب پروژه در شبکه خیابانی، روش جدیدی بر اساس ترکیب شبیه سازی و برنامه ریزی آرمانی وزن دار با معیار های اقتصادی و محیطی متفاوت، و مطالعه موردی شهر اصفهان ارائه کردند. با توجه به مطالعات انجام شده، می توان گفت پژوهشی در ارتباط با مسئله انتخاب پروژه، درحالت خاصی که تنها تعریض (افزودن لاین به) خیابانهای موجود مورد نظر باشد، انجام نشده است. هم چنین در اکثر مطالعات به زمان بر بودن پروسه تخصیص ترافیک در مسئله سطح پایین اشاره شده است، اما تاکنون راه حلی برای کاهش این زمان پیشنهاد نشده است. علاوه بر این، در هیچ یک از پژوهش های انجام شده، در مورد چگونگی تعیین مجموعه خیابانهای کاندید برای تعریض، صحبتی نشده است. بنابراین در ادامه این پژوهش، مدلی که هدف آن انتخاب سبلی از خیابانهای موجود در شبکه برای تعریض است، معرفی می گردد و در امتداد آن، روش هایی برای ساده سازی حل مدل یاد شده، ارائه می شود.

کردند: ۱) مسائل مربوط به ساخت خیابانهای جدید یا افزایش ظرفیت خیابانهای موجود؛ ۲) تعیین مکانهای بهینه تسهیلات که به شبکه حمل و نقل اضافه می شود و یا تعیین افزایش ظرفیت بهینه تسهیلات موجود در یک شبکه؛ ۳) سلسله فرایندهای تصمیم گیری کامل در برنامه ریزی حمل و نقل که شامل تصمیمات استراتژیک، تاکتیکی و کاربردی می شوند.

حسینی نسب و شتاب سه مدل برنامه ریزی ریاضی متفاوت برای یکپارچه کردن انتخاب و برنامه ریزی پروژه های ساخت خیابان های شهری به عنوان مسئله طراحی شبکه گسسته وابسته به زمان ارائه کردند. سپس یک رویکرد تکاملی که ترکیبی از سه تکنیک شناخته شده: فاز اول از روش سیمپلکس دوفازی، الگوریتم فرانک ولف و الگوریتم ژنتیک است، برای حل مدلی که به نظر منعطف تر و واقعی تر به نظر می رسد، بکار بردند [Hosseininasab & Shetab, 2015].

زو و همکاران [Xu, Wei and Hu, 2009]، CNDP را با استفاده از شبیه سازی تبرید و الگوریتم ژنتیک بر روی یک شبکه شبیه سازی شده، مورد مطالعه قرار دادند. آنها CNDP را به صورت یک مسئله غیرخطی، غیرمحدب و دو سطحی مدل سازی کردند؛ تابع هدف مسئله سطح بالاتر را مجموع زمان سفر در شبکه بعلاوه هزینه های سرمایه گذاری برای توسعه ظرفیت کمان ها قرار دادند و مسئله سطح پایین تر را به عنوان مدل تخصیص ترافیک تعادلی استفاده کننده فرمول بندی کردند و الگوریتم فرانک-ولف را برای حل آن بکار گرفتند. آنها نشان دادند زمانی که تقاضای سفر بین مبدا- مقصد های شبکه مقادیر زیادی باشد، شبیه سازی تبرید کارآتر از الگوریتم ژنتیک در حل CNDP می باشد، و زمانی که این مقادیر کم باشند، الگوریتم ژنتیک با صرف زمان محاسباتی بیشتر، جواب نزدیک به بهینه را ارائه می دهد.

میانداوآبچی و همکاران [Miandoabchi et al. 2015] مدلی برای مراحل ساخت خیابان ها، پروژه های توسعه خیابان های موجود طی افق زمانی و تخصیص لاین ها برای زمان های اوج ترافیک صبح و غروب در هر سال از افق برنامه ریزی ارائه کردند. آنها مسئله را به عنوان یک DNDP با دو هدف مجموع زمان سفر و میزان کربن منوکسید متصاعد شده، فرمول بندی و از دو متاهوریستیک چندهدفه برای حل آن استفاده کردند.

۳. معرفی مدل مسئله

$v(u)$ تابع پاسخ نامیده می‌شود که واکنش استفاده‌کننده از شبکه را در قالب جریان ترافیکی به طرح شبکه u ، بیان می‌کند. در هر مسئله طراحی شبکه، $v(u)$ حل بهینه مسئله سطح پایین است. در واقع، هدف مسئله دو سطحی طراحی شبکه یافتن بردار بهینه u^* برای بهینه کردن تابع هدف F است به طوری که محدودیت طراحی شبکه، (۲)، همانند محدودیت‌های واکنش استفاده‌کننده، (۳) و (۴) در نظر گرفته شود.

مسئله انتخاب پروژه‌ها که گاهی با نام طراحی شبکه نیز شناخته می‌شود، در حالت کلی، یک مسئله دوسطحی است. مسئله سطح بالای آن مسئله رهبر، مسئله طراحی، یا مسئله تصمیم‌گیرنده (مثلاً دولت) است که شبکه حمل‌ونقل را مدیریت و برنامه‌ریزی می‌کند. مسئله این سطح شامل هدف قابل‌سنجش (مثلاً کاهش مجموع زمان سفر)، محدودیت‌ها (مثلاً مالی، سیاسی، فیزیکی و محدودیت‌های محیطی) و متغیرهای تصمیم طراحی (مثلاً ساخت خیابان جدید) است. مسئله سطح بالاتر فرض می‌کند که رهبر می‌تواند رفتار مسافران را پیش‌بینی کند. مسئله سطح پایین تر، مسئله پیرو یا مسئله مسافرانی است که تصمیم می‌گیرند آیا سفر داشته باشند و در صورت سفر، با چه وسیله و کدام مسیر را انتخاب کنند. ساختار دو سطحی به تصمیم‌گیر اجازه می‌دهد که واکنش مسافران را در نظر بگیرد و شبکه را به گونه‌ای بهبود دهد که بر تصمیم مسافران تأثیر بگذارد اما هیچ تأثیر مستقیمی بر تصمیم آنها ندارد. این ساختار به مسافران اجازه پیش‌بینی تصمیم‌های رهبر را نمی‌دهد و آنها تنها می‌توانند انتخاب خود را پس از اطلاع از تصمیم رهبر، تعیین نمایند. فرم کلی ریاضی مسئله یاد شده در بالا به صورت زیر است:

۳-۱ مدل پیشنهادی مسئله

چنانچه تنها تعریض خیابانهای موجود (افزودن لاین جدید به خیابانهای موجود) در نظر باشد، به دلیل عدم تغییر در پیکره شبکه مبنای در هر تکرار، می‌توان الگوریتم‌های خاص تری برای حل مسئله انتخاب پروژه ارائه کرد. بنابراین، چنانچه مسئله بهبود ظرفیت کمانهای موجود شبکه با افزودن لاین جدید، یعنی تعریض خیابانهای فعلی و نه ایجاد خیابان جدید باشد، مدل پیشنهادی به صورت زیر خواهد بود:

مسئله سطح بالا:

$$\min_z \sum_{a \in A \setminus \bar{A}} v_a t_a(v_a) + \sum_{a \in \bar{A}} \sum_{i \in I_a} z_a^i v_a t_a^i(v_a) \quad (5)$$

$$s.t. \sum_{i \in I_a} z_a^i = 1, \forall a \in \bar{A} \quad (6)$$

$$\sum_{a \in \bar{A}} \sum_{i \in I_a} c_a^i z_a^i \leq B \quad (7)$$

$$z_a^i \in \{0, 1\} \quad (8)$$

مسئله سطح پایین:

$$\min \sum_{a \in A \setminus \bar{A}} \int_0^{v_a} t_a(x) dx + \sum_{a \in \bar{A}} \sum_{i \in I_a} z_a^i \int_0^{v_a^i} t_a^i(x) dx \quad (9)$$

$$s.t. \sum_{r \in R_w} f_r^w = q_w \quad \forall w \in W \quad (10)$$

$$v_a = \sum_{w \in W} \sum_{r \in R_w} \delta_{ar}^w f_r^w, \forall a \in A \quad (11)$$

$$f_r^w \geq 0, r \in R_w, \forall w \in W \quad (12)$$

نمادهای استفاده شده در این مدل به شرح زیر است:

مجموعه‌ها:

مسئله بهینه‌سازی سطح بالا:

$$\min_u F(u, v(u)) \quad (1)$$

$$St. \quad G(u, v(u)) \leq B \quad (2)$$

که $v(u)$ از حل مسئله زیر بدست می‌آید.

مسئله تخصیص ترافیک سطح پایین:

$$\min_v f(u, v) \quad (3)$$

$$st. \quad g(u, v) \leq 0 \quad (4)$$

u و F به ترتیب تابع هدف و بردار متغیر تصمیم مسئله سطح بالاتر هستند و G یک تابع برداری برای محدودیت‌های سطح بالا است. f و v به ترتیب تابع هدف و بردار متغیر تصمیم (جریان) مسئله سطح پایین هستند و g یک تابع بردار برای محدودیت‌های مسئله سطح پایین است.

انتخاب پروژه های خیابانی جهت تعریض در شبکه شهری

منفی بودن جریانهاست. روابط (۸) نیز نشان دهنده نوع متغیرهای تصمیم هستند.

لازم به توضیح است که در دنیای واقعی تعریض یک خیابان بسیار پیچیده است و به عوامل متعددی از جمله قیمت و وضعیت کاربری زمین های اطراف خیابان وابسته است و این عوامل در هزینه افزودن لاین بسیار تاثیر گذار است. برای در نظر گرفتن این هزینه ها و هم چنین ساده سازی معقول مسئله، تمامی این هزینه ها در پارامتر هزینه (C_a^i) در نظر گرفته و خلاصه شده است. مثلا چنانچه خیابان a در مرکز شهر قرار داشته باشد و زمین های اطراف آن کاربری تجاری داشته باشند و خیابان b در حاشیه شهر باشد، به دلیل گران تر بودن هزینه آزاد سازی خیابان a ، پارامتر هزینه در مدل برای خیابان a مقدار بیشتری نسبت به خیابان b دارد ($C_a > C_b$). و چنانچه وضعیت کاربری زمین های اطراف خیابانی به گونه ای باشد که تعریض غیرممکن باشد، هزینه آن بینهایت در نظر گرفته می شود که منجر به عدم انتخاب آن می شود.

۴. انتخاب مجموعه خیابانهای کاندید برای

تعریض

عامل اصلی انتخاب و اجرای پروژه ها، محدودیت منابع (عمدتا منابع مالی) است. در مسئله انتخاب پروژه در شبکه خیابانهای شهری عموما از کارشناس مربوطه خواسته می شود که با یک سطح بودجه معین، خیابان هایی از شبکه را برای تعریض انتخاب کند که وضعیت شبکه را تا بیشترین مقدار ممکن بهبود دهد. شبکه را بهبود دهد. اگر فرض شود شبکه مورد بررسی ۱۰۰۰ کمان داشته باشد، کارشناس مزبور برای انتخاب سبد کمانهای بهینه بایستی ۲۰۰۰ حالت را بررسی کند، که چنین کاری بسیار زمان بر، هزینه بر و در شبکه های بزرگ تقریبا غیرممکن است. بنابراین منطقی به نظر می رسد که به دنبال روشی برای کاهش تعداد حالت های مورد بررسی یا به عبارت بهتر به دنبال روشی برای حذف کمانهایی که به طور حتم برای تعریض مناسب نیستند، باشیم. به همین دلیل برای انتخاب مجموعه خیابانهای کاندید در حالتی که تنها تعریض مورد نظر است، ابتدا بایستی شرایط فعلی کمانها مورد ارزیابی قرار بگیرد. معیارهایی که

A : مجموعه تمام کمانها در شبکه حمل و نقل

\bar{A} : مجموعه کمانهای بالقوه ای که ممکن است تعریض

شوند

I_a : مجموعه تعداد لاینهایی که می تواند به کمان $a \in \bar{A}$ اضافه

شود. مثلا $I_a = \{0, 1, 2\}$

N : مجموعه گره ها در شبکه

R_w : مجموعه مسیرهای بین زوج مبدا-مقصد w

W : مجموعه زوج مبدا-مقصدها در شبکه

پارامترها:

δ_{ar}^w : ضریبی باینری است که اگر مسیر $r \in R_w$ بین زوج مبدا-

مقصد w از کمان a استفاده کند، مقدار یک میگیرد و در غیر

اینصورت مقدار آن صفر است.

B : کل بودجه در دسترس

C_a^i : هزینه افزودن i لاین به کمان a

q_w : تقاضای سفر میان زوج مبدا- مقصد w

M : عدد خیلی بزرگ

$t_a(v_a)$: تابع زمان سفر- حجم کمان a

$t_a^i(v_a)$: تابع زمان سفر- حجم کمان a وقتی که i لاین به کمان

a اضافه شود

متغیرهای تصمیم:

Z_a^i : متغیر تصمیم باینری که مقدار یک می گیرد اگر و تنها اگر i

لاین به کمان a افزوده شود.

v_a : جریان در کمان a

f_r^w : جریان مسیر r بین زوج مبدا- مقصد w

روابط (۵) و (۹) به ترتیب نشان دهنده توابع هدف سطح بالایی

و پایینی است. تابع هدف سطح بالایی در مدل فوق، کمینه کردن

کل هزینه سفر در شبکه است که یک تابع هدف متداول در مسئله

DNDP است. اما در حالت کلی می توان توابع هدف دیگری را

نیز بجای آن بکار برد. رابطه (۷) نشان دهنده محدودیت بودجه،

روابط (۹) تا (۱۲) بیانگر شرایط تعادل استفاده کننده در شبکه،

رابطه (۱۰) تضمین کننده بقاء تقاضا در گره ها، و رابطه (۱۱)

ارتباط بین جریان کمان و جریان مسیر را نشان می دهد و بیان

می کند که جریان در هر کمان، برابر با مجموع جریانهای با مقاصد

مختلف بر روی آن کمان است. رابطه (۱۲) نیز نشان دهنده غیر

تقاضای هر مبدا-مقصد را از خود عبور میدهد. چنانچه این نسبت‌ها محاسبه شود، ماتریسی همانند آنچه در نمودار ۱ آمده است را می‌توان تشکیل داد که در آن x_{pq} یک متغیر باینری است که اگر حداقل ۹۰ درصد از تقاضای مبدا- مقصد q ام از کمان p ام گذشته باشد، برابر یک است و در غیر این صورت مقدار آن صفر می‌باشد.

شاخصی که می‌توان برای ارزیابی اهمیت یک کمان مورد استفاده قرار داد، مجموع زمان سفر مسافرینی است که ناگزیرند برای رسیدن به مقصدشان، از آن کمان عبور کنند. این معیار از جمع زمان سفر این مسافرین بدست می‌آید. برای محاسبه میزان اهمیت کمان p ام می‌توان از رابطه (۱۴) استفاده نمود که در آن t_q ، زمان سفر بین مبدا- مقصد q ام است.

$$I_p = \sum_{q=1}^m x_{pq} d_q t_q \quad \forall p=1,2,\dots,n \quad (14)$$

I_p نشان دهنده اهمیت کمان p ام و d_q ، تقاضای سفر مبدا- مقصد q ام است. هر چه مقدار این معیار برای یک کمان بالاتر باشد، یعنی زمان سفر مسافرینی که ناگزیرند از این کمان بگذرند، بیشتر است و چنانچه شرایط این کمان را بهبود دهیم، مسافرین یاد شده، رضایتمندی بیشتری بدست می‌آورند.

زمانی که تصمیم به تعریض مجموعه ای از کمانهای شبکه داریم، ابتدا به سراغ خیابانهای شلوغ می‌رویم تا شرایط آنها را بهبود دهیم. برای انتخاب مجموعه خیابانهای کاندید تعریض نیز ابتدا شاخص شلوغی هر خیابان را محاسبه کرده و بخشی از خیابانهای را که شاخص شلوغی بالایی دارند را، برای مرحله بعد انتخاب می‌کنیم. سپس، میزان اهمیت خیابانهای انتخاب شده را محاسبه کرده و خیابانها را براساس اهمیتشان، به صورت نزولی مرتب کرده و در نهایت تعدادی از پروژه‌ها که در صدر جدول هستند و بیشترین اهمیت را دارند، به عنوان مجموعه خیابانهای کاندید برای تعریض انتخاب می‌کنیم.

۵. تخصیص ترافیک در شبکه‌های همسایه با

استفاده از الگوریتم فرانک-ولف^۱ اصلاح شده

می‌توان برای ارزیابی شرایط خیابانها استفاده کرد عبارتند از: "شلوغی خیابان" و "اهمیت خیابان".

۴-۱ شاخص شلوغی خیابان

شکی نیست که اگر خیابانی خلوت باشد، آن خیابان برای تعریض انتخاب نمی‌شود. برای اینکه بتوان شلوغی یک خیابان را به صورت عددی و قابل سنجش و مقایسه تبدیل کرد تا با کمک آن بتوان خیابانها را بر اساس شلوغی رتبه بندی کرد، از روش "نسبت جریان عبوری به ظرفیت خیابان" استفاده می‌شود. منظور از «جریان عبوری از یک خیابان»، معادل سواری تعداد وسایل نقلیه ای است که در یک ساعت از مقطع عرضی آن خیابان عبور می‌کنند پس از تخصیص ترافیک به شبکه، هر خیابان جریان مشخصی را از خود عبور می‌دهد که با V_a برای خیابان a ، نشان داده می‌شود. «ظرفیت خیابان»، به حداکثر معادل سواری تعداد وسایل نقلیه ای که می‌تواند در یک ساعت از مقطع عرضی آن خیابان، برای یک سطح سرویس خاص عبور کند، اطلاق می‌شود که با نماد C_a برای خیابان a ، مشخص می‌گردد. «نسبت جریان عبوری به ظرفیت خیابان» شاخصی است که از طریق آن می‌توان وضعیت شلوغی خیابان های شبکه را مورد ارزیابی قرار داد. چنانچه این شاخص را، میزان شلوغ بودن یک خیابان بنامیم، داریم:

$$Crowd_a = \frac{V_a}{C_a} \quad (13)$$

هرچه این شاخص بزرگ‌تر باشد، یعنی خیابان a شلوغ تر است و چنانچه این شاخص کوچک (کمتر از ۱) باشد، جریان عبوری از آن خیابان کمتر از ظرفیت خیابان است و خیابان نیاز به توسعه ندارد. بنابراین در انتخاب مجموعه خیابانهای کاندید، اولویت با خیابانهایی است که شاخص شلوغی (نسبت جریان عبوری به ظرفیت) بالایی دارند.

۴-۲ شاخص اهمیت خیابان

برای اینکه کمانهای مهم شبکه شناسایی شوند روش زیر پیشنهاد می‌گردد:

شبکه ای با n کمان و m مبدا- مقصد را در نظر بگیرید. پس از تخصیص ماتریس تقاضای سفر به شبکه، هر کمان بخشی از

انتخاب پروژه های خیابانی جهت تعریض در شبکه شهری

مبدا-مقصد شماره کمان	OD_1	OD_2	...	OD_m
۱	x_{11}	x_{12}	...	x_{1m}
۲	x_{21}	x_{22}	...	x_{2m}
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
n	x_{n1}	x_{n2}	...	x_{nm}

شکل ۱. ماتریس کمان- مبدا مقصد

۶. روش حل مسئله انتخاب پروژه های خیابانی

جهت تعریض

حل دقیق مسئله انتخاب پروژه های خیابانی جهت تعریض، با توجه به پیچیدگی محاسبات، در یک مدت زمان مناسب بسیار پیچیده و چه بسا غیر ممکن است. از این رو در این مقاله برای حل دقیق این مسئله از روش شمارش کامل استفاده شده است. بدین منظور جهت محاسبه جواب بهینه، ابتدا تمام حالات امکان پذیر مسئله تولید گردیده و سپس برای این جواب ها مقادیر تابع هدف از طریق حل مسئله تخصیص ترافیک (مسئله سطح پایین) محاسبه می شود و بهترین جواب به عنوان جواب بهینه معرفی می گردد. این روش به دلیل اینکه تمام جواب های ممکن را تولید می کند، نیازمند زمان زیادی برای ارائه نتایج در ابعاد بزرگ است. از این رو در مسائلی با ابعاد بزرگ، الگوریتم فراابتکاری تجمع ذرات^{۱۱} پیشنهاد شده است.

۶-۱ الگوریتم تجمع ذرات

روش بهینه سازی انبوه ذرات، در ابتدا توسط یک روانشناس اجتماعی به نام جیمز کنندی و یک مهندس الکترونیک به نام ابرهارت بر اساس تجربیات پیشین در رابطه با الگوریتم هایی که رفتار دسته جمعی مشاهده شده در گونه های بسیاری از پرندگان را مدل سازی کرده بودند، توسعه داده شد. تحقیقات آنان منجر به ایجاد الگوریتمی قوی برای بهینه سازی به نام الگوریتم بهینه سازی ذرات انبوه گردید.

مسئله سطح پایین در مسئله انتخاب پروژه، یک مسئله تخصیص سفر^۹ نامیده می شود. حل این مسئله تخصیص سفر، الگوی جریان شبکه حمل و نقل را برای هر سناریوی طراحی تعیین می کند. مسئله تخصیص سفر در شبکه خیابانهای شهری، تخصیص ترافیک^{۱۰} نامیده می شود.

تخصیص سفر معمولاً تعدادی اصول رفتاری برای شرح رفتار انتخاب مسیر در نظر می گیرد؛ از جمله اصل سنتی واردراپ^{۱۱}. بر طبق این اصل، با این فرض که تمام مسافران زمان سفر واقعی هر مسیر را می دانند، هر مسافر کوتاه ترین مسیر را انتخاب می کند. الگوی جریان حاصل از اصل واردراپ، جریان تعادلی کاربر نامیده می شود؛ که در آن شرایط هیچ مسافری مسیر بهتری ندارد و در صورتیکه مسیر خود را تغییر دهد، زمان سفرش افزایش خواهد یافت. معمول ترین روش برای حل تخصیص تعادلی کاربر در ادبیات موضوع، روش ترکیبی کوژ (روش فرانک-ولف) است. شرح این الگوریتم در منبع فرانک و ولف [Frank and Wolfe, 1956] آمده است. الگوریتم پیشنهادی، که می توان آن را الگوریتم فرانک-ولف اصلاح شده نامید، بدین صورت است که در شبکه هایی که تنها ظرفیت برخی از کمانهای آن تغییر می کند و ما این شبکه ها را "شبکه های همسایه با شبکه مبنا" می نامیم، به جای آنکه در اجرای الگوریتم فرانک-ولف بر روی شبکه همسایه، از جواب اولیه صفر (جریان کمانهای صفر) استفاده شود، از جریانهای تعادلی بهینه شبکه مبنا به عنوان جواب اولیه شبکه همسایه استفاده کنیم

$$\begin{cases} v_{i,j}(t+1) = \omega(t) \times v_{i,j}(t) + r_{1,j}(t) \times c_1 \times (y_{i,j}(t) - x_{i,j}(t)) + r_{2,j}(t) \times c_2 \times (\hat{y}_j(t) - x_{i,j}(t)) \\ x_{ij}(t+1) = x_{ij}(t) + v_{ij}(t) \end{cases} \quad (15)$$

$$y_i(t+1) = \begin{cases} y_i(t) & \text{if } f(x_i(t+1)) \geq f(y_i(t)) \\ x_i(t+1) & \text{if } f(x_i(t+1)) < f(y_i(t)) \end{cases} \quad (16)$$

روش با الگوریتم اصلی در روابط بروزسانی موقعیت و سرعت است که ابتدا باید مقدار بردار سرعت توسط تابع سیگموئید به بازه $[0, 1]$ منتقل و سپس موقعیت جدید هر ذره در هر بعد با دو مقدار صفر و یک مشخص می‌شود و وضعیت انتخاب ویژگی را نمایش می‌دهد. در الگوریتم نسخه باینری، مفهوم سرعت به مفهوم احتمال، تغییر یافته و V_{ij} احتمال یک بودن X_{ij} را بیان می‌کند. هر ذره براساس معادله‌های (17) و (18) به روزرسانی می‌شود که سرعت بر اساس رابطه قبلی (15) بدست می‌آید.

$$S(v_{ij}^{t+1}) = \frac{1}{1 + e^{-v_{ij}^{t+1}}} \quad (17)$$

$$X_i^{t+1} = \begin{cases} 1 & \text{if } \text{Rand} < S(v_{ij}^{t+1}) \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (18)$$

در اینجا Rand یک عدد تصادفی در بازه $[0, 1]$ است. در نسخه باینری الگوریتم، تعاریف متفاوتی از X و Y ارائه شده است. به طوری که سرعت ذره به جای آنکه ذره را به سمت جوابهای بهینه مسائل هدایت کند، به صورت تابع احتمالات، یک یا صفر شدن X را مطرح می‌کند؛ یعنی، مقدار V_{ij} احتمال اینکه مقدار X_{ij} یک یا صفر باشد را تعیین می‌کند. از آنجایی که مقدار احتمال باید در بازه صفر و یک باشد، V_{ij} از تابع محدود کننده سیگموئید بدست می‌آید.

۳-۶ الگوریتم تجمع ذرات پیشنهادی

الگوریتم فراابتکاری تجمع ذرات پیشنهادی برای حل مسئله ارزیابی پروژه‌های خیابانی جهت تعریض، دارای مراحل اصلی زیر است:

- شیوه نمایش جوابها: مهم ترین گام برای استفاده از این الگوریتم، نحوه تعریف ذرات است که با توجه به

هر ذره در الگوریتم بهینه سازی تجمع ذرات از سه بردار d بعدی تشکیل شده است که d ، بعد فضای جستجو است. برای ذره i ام این سه بردار عبارتند از: X_i موقعیت فعلی ذره، V_i سرعت حرکت ذره و Y_i بهترین موقعیتی که ذره تا به حال تجربه کرده است و \hat{Y}_i بهترین مکانی که تاکنون توسط پرندگان مجاور یافت گردیده است. الگوریتم بهینه سازی تجمع ذرات چیزی فراتر از یک مجموعه ذرات است. هیچ کدام از ذرات، قدرت حل هیچ مسأله ای را به تنهایی ندارند، و تنها هنگامی می‌توانند مسأله را حل نمایند که با یکدیگر تعامل داشته باشند.

با این وجود، اگر تابع برازندگی مسأله مفروضی، تابع f باشد، مقادیر X_i ، V_i ، Y_i و \hat{Y}_i در هر مرحله به صورت زیر بروزسانی می‌شوند:

در معادلات فوق، ω ضریب اینرسی، $r_{1,j}$ و $r_{2,j}$ اعداد تصادفی یکنواخت در فاصله $(0, 1)$ ، و c_1 و c_2 اعداد ثابت هستند که به ضرایب شتاب دهنده معروف بوده و به ترتیب، پارامتر ادراکی و پارامتر اجتماعی نامیده می‌شوند. c_1 ضریب یادگیری مربوط به تجارب شخصی هر ذره است و در مقابل c_2 ضریب یادگیری برای کل جامعه است. r_1 و r_2 باعث می‌شود که نوعی گوناگونی در جوابها به وجود بیاید و به این نحو جستجوی کامل تری روی فضا انجام گیرد. معمولاً مقادیر c_1 و c_2 را برابر ۲ اختیار می‌کنند.

۲-۶ الگوریتم باینری تجمع ذرات

برای حل مسائل گسسته، روش باینری این الگوریتم توسط کندی و ابرهارت [Kennedy and Eberhart, 1997] در سال ۱۹۹۷ ارائه شد و به باینری PSO شهرت یافت. تفاوت عمده این

انتخاب پروژه های خیابانی جهت تعریض در شبکه شهری

الگوریتم باید شروطی را تعیین نمود تا با بررسی آن، اجرای الگوریتم خاتمه یابد. از جمله این شروط می توان به موارد زیر اشاره کرد:

- a. رسیدن به حد قابل قبولی از جواب
 - b. سپری شدن زمان/تکرار معینی از الگوریتم
 - c. سپری شدن زمان/تکرار معینی بدون مشاهده بهبود خاصی در نتیجه
 - d. ...
- در الگوریتم مورد استفاده، شرط توقف سپری شدن تکرار معینی بدون مشاهده بهبود خاصی در نتیجه است.

۷. مسئله نمونه و ارائه نتایج

برای حل مسئله انتخاب پروژه های خیابانی برای تعریض، با توجه به اینکه مدل انتخاب پروژه ارائه شده مربوط به یک شبکه حمل و نقل شهری است، نیازمند این است که بر روی یک شبکه شهری مناسب، اجرا و پیاده سازی شود.

برای این منظور، از شبکه خیابانی واقعی سایوکس فالز^{۱۳} استفاده شده است. شبکه سایوکس فالز، شبکه ای است در اندازه متوسط با ۲۴ گره و ۷۶ کمان که در مجموع ۵۷۶ زوج مبدأ-مقصد دارد. این شبکه خیابانی، به عنوان شبکه ای آزمایشی در بسیاری از پژوهش های حمل و نقلی مورد استفاده قرار گرفته است. اطلاعات مربوط به مشخصه های کمانها و ماتریس تقاضای مبدأ-مقصد برای این شبکه از مقاله یانگ و ژو [Yang and Zhou, 1998] گرفته شده است.

۷-۱ انتخاب مجموعه خیابان های کاندید

به منظور انتخاب مجموعه خیابانهای کاندید برای تعریض، موارد مطرح شده را در شبکه سایوکس فالز بررسی می کنیم. زمانی که تصمیم می گیریم در یک شبکه خیابانهای را برای تعریض انتخاب کنیم، ابتدا به سراغ خیابانهای شلوغ می رویم، بنابراین برای هر یک از خیابانهای شبکه سایوکس فالز شاخص شلوغی را محاسبه کرده و آنها را به صورت نزولی بر اساس این شاخص مرتب می کنیم. نتیجه محاسبات شاخص شلوغی، پس از مرتب شدن به صورت نزولی، در پیوست این مقاله آمده است.

ویژگی های مسئله تعیین می گردد. در این پژوهش با توجه به مدل سازی انجام شده، ذرات باید نشان دهنده این باشند که کدام پروژه ها در سبد پروژه اجرایی قرار می گیرند. از این رو ذرات به صورت آرایه ای از اعداد صفر و یک تعریف می شوند که طول این آرایه به اندازه تعداد پروژه های کاندید است و عدد ۱ در آن نشان دهنده انتخاب شدن پروژه متناظر و عدد صفر به معنی انتخاب نشدن آن پروژه است. در شکل (۲) نمونه ای از جواب ایجاد شده برای الگوریتم ها نشان داده شده است. در این جواب، ۵ پروژه کاندید وجود دارد که پروژه های اول و دوم و پنجم برای تعریض انتخاب شده اند.

۱	۱	۰	۰	۱
---	---	---	---	---

شکل ۲. نحوه نمایش جواب برای اجرای الگوریتم

۲. تولید جمعیت اولیه: این الگوریتم برای شروع کار به یک دسته جمعیت اولیه نیازمند است. جواب های اولیه که برای حل مدل این مسئله در نظر گرفته شده اند، به صورت تصادفی و با استفاده از توزیع گسسته یکنواخت با مقادیر صفر و یک تولید می شوند.
۳. تولید جمعیت جدید: برای تولید جمعیت های جدید، در الگوریتم تجمع ذرات از روابط (۱۷) و (۱۸) استفاده می شود.
۴. تابع برازندگی: مقدار تابع هدف به عنوان تابع برازندگی در نظر گرفته شده است؛ لذا، می بایست پس از ایجاد جمعیت اولیه و هم چنین تولید جواب های جدید، مقدار تابع هدف را برای آنها محاسبه نمود تا بتوان بر اساس این مقادیر، تصمیم گیری نهایی را انجام داد.
۵. جایگزینی: در این مرحله از الگوریتم، باید جواب های جدید بدست آمده را پس از بررسی، جایگزین جواب های قبل نمود.
۶. شرط توقف: در الگوریتم های فراابتکاری، از آنجایی که جواب بهینه مشخص نیست، برای اتمام روند

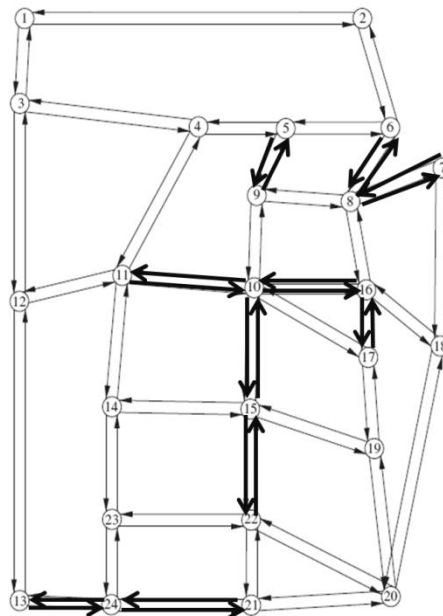
نسرین شاه‌حیدری، سید نادر شتاب بوشهری

بار خیابانها را براساس مقدار شاخص اهمیت کمانها به صورت نزولی مرتب می‌کنیم و در نهایت ۲۰ کمان که بیشترین مقدار را دارند به عنوان مجموعه خیابانهای کاندید انتخاب می‌شوند.

در گام بعدی، ۳۰ خیابان شلوغ شناسایی شده که در صدر جدول پ-۱ قرار دارند را برای ادامه کار انتخاب می‌کنیم. سپس میزان شاخص اهمیت کمانها را که با استفاده از رابطه (۱۴)، قابل محاسبه است، برای ۳۰ خیابان انتخاب شده محاسبه کرده و این

جدول ۱. مجموعه خیابانهای کاندید برای تعریض در شبکه سایکس فالز

شماره کمان	گره مبدا	گره مقصد	زمان سفر آزاد ($\times 10^{-2} hr$)	پارامتر شلوغی ($10^{-4} \times hr / (1000veh / day)^4$)	میزان شلوغی v/c	میزان اهمیت کمان	هزینه افزودن یک لاین
۲۸	۱۵	۱۰	۵/۸۷	۰/۰۰۲۶۵	۱/۸۶۱	۴/۸۰۳	۵۹
۲۷	۱۰	۱۵	۵/۸۷	۰/۰۰۲۶۵	۱/۸۶۳	۴/۵۷۹	۵۹
۷۳	۷	۸	۲/۵	۰/۰۱۱۸۵	۱/۸۶۲	۴/۳۵۰	۲۵
۱۷	۵	۹	۳/۵	۰/۰۰۷۵۵	۱/۸۲۴	۴/۳۳۵	۵۱
۱۸	۹	۵	۳/۵	۰/۰۰۷۵۵	۱/۸۲۹	۴/۳۲۲	۵۱
۷۴	۸	۷	۲/۵	۰/۰۱۱۸۵	۱/۸۵۳	۴/۲۱۴	۲۵
۷۱	۱۳	۲۴	۳/۷۲	۰/۰۸۹۲۸	۲/۴۰۱	۳/۹۳۸	۳۸
۷۲	۲۴	۱۳	۳/۷۲	۰/۰۸۹۲۸	۲/۳۹۶	۳/۹۱۹	۳۸
۶۹	۶	۸	۲/۱۷	۰/۰۵۲۰۸	۲/۷۶۹	۳/۱۷۹	۲۲
۷۰	۸	۶	۲/۱۷	۰/۰۵۲۰۸	۲/۷۶۸	۳/۱۶۸	۲۲
۴۲	۲۲	۱۵	۳/۵	۰/۰۰۵۲۵	۲/۸۹۵	۲/۹۳۴	۳۵
۷۵	۱۰	۱۶	۴/۵	۰/۱۰۸	۲/۳۳۵	۲/۷۷۰	۴۵
۷۶	۱۶	۱۰	۴/۵	۰/۱۰۸	۲/۳۲۱	۲/۷۳۸	۴۵
۴۱	۱۵	۲۲	۳/۵	۰/۰۰۵۲۵	۲/۸۹۰	۲/۶۹۴	۳۵
۲۵	۱۰	۱۱	۵	۰/۰۰۷۵	۱/۸۹۸	۲/۵۳۵	۵۰
۲۶	۱۱	۱۰	۵	۰/۰۰۷۵	۱/۹۰۲	۲/۵۲۴	۵۰
۴۳	۱۶	۱۷	۱/۶۷	۰/۰۴۰۰۸	۲/۴۱۴	۲/۳۶۱	۱۷
۴۴	۱۷	۱۶	۱/۶۷	۰/۰۴۰۰۸	۲/۴۱۹	۲/۳۳۹	۱۷
۶۰	۲۴	۲۱	۳/۲۹	۰/۰۷۸۹۶	۲/۱۷۴	۲/۱۹۱	۳۳
۵۹	۲۱	۲۴	۳/۲۹	۰/۰۷۸۹۶	۲/۱۷۹	۲/۱۶۱	۳۳



شکل ۳. شبکه سایکس فالز و خیابانهای کاندید برای تعریض

انتخاب پروژه های خیابانی جهت تعریض در شبکه شهری

خیابانهای انتخاب شده در

با توجه به این موضوع که زمان یک بار تخصیص ترافیک توسط الگوریتم فرانک- ولف در شبکه سایکس فالز حدود ۱ ثانیه است و اندازه گیری دقیق این زمان برای یک بار تخصیص ترافیک، کار دشواری است، به جای اندازه گیری زمان اجرای یک بار الگوریتم فرانک- ولف برای هر حالت، k مرتبه الگوریتم فرانک- ولف بر روی شبکه همسایه‌ای که به طور تصادفی ایجاد شده، انجام می‌شود و زمان اندازه‌گیری شده برای این k اجرا، بر k تقسیم می‌شود تا میانگین زمان یکبار اجرا الگوریتم فرانک- ولف در آن حالت، بدست آید.

ستون آخر در جدول بیانگر این مطلب است که روش جدید سبب کاهش چشمگیر زمان حل، خصوصا در شبکه‌هایی که تعداد کمانهای تعریضی کم است، می‌شود. به طوریکه این زمان حل در شبکه‌هایی که تعریض تنها در ۱ تا ۲/۵ درصد از کمانهای آنها انجام شده، با روش پیشنهادی جدید حدود یک چهارم زمانی است که برای حل با روش معمول الگوریتم فرانک- ولف نیاز دارد.

جدول آورده شده است و شکل ۳ این پروژه‌های کاندید را با خطوط پر رنگ بر روی شبکه خیابانی سایوکس فالز نشان می‌دهد.

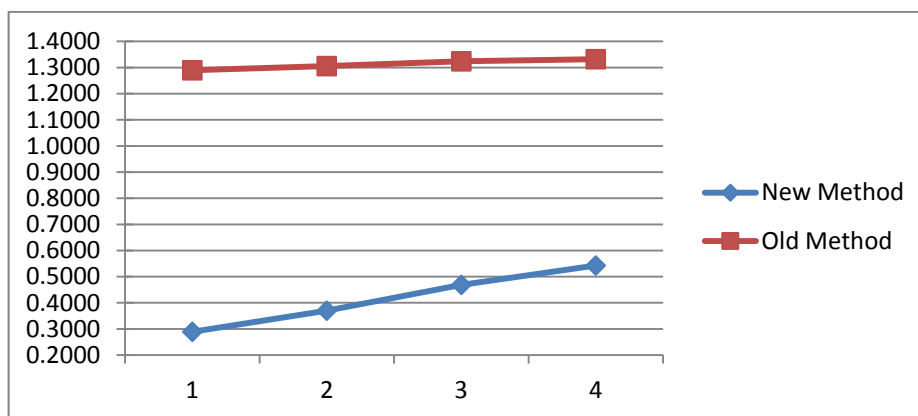
۷-۲ ارائه نتایج الگوریتم تخصیص ترافیک اصلاح

شده

برای بررسی تاثیر الگوریتم فرانک- ولف اصلاح شده، بر روی زمان حل مسئله تخصیص ترافیک، از شبکه سایوکس فالز استفاده می‌کنیم. بدین صورت که حالت‌هایی که ظرفیت ۱، ۲، ۳ و ۴ خیابان از خیابانهای موجود شبکه تغییر کند، در نظر می‌گیریم و تخصیص ترافیک را برای هر یک از حالت‌های فوق، یک بار با استفاده از روش معمول فرانک- ولف و بار دیگر با روش الگوریتم فرانک- ولف اصلاح شده پیشنهادی، اجرا کرده و جریانهای تعادلی را بدست می‌آوریم. سپس زمانی را که برای هر بار تخصیص ترافیک با استفاده از هر یک از دو روش صرف می‌شود، با یکدیگر مقایسه می‌کنیم. نتایج این محاسبات در جدول آورده شده است.

جدول ۲. مقایسه زمان حل الگوریتم فرانک- ولف با روش معمول و روش پیشنهادی

تعداد کمانهایی که ظرفیتشان تغییر کرده	درصد تغییر شبکه	زمان حل با روش معمول بر حسب ثانیه	زمان حل با روش پیشنهادی بر حسب ثانیه	نسبت زمان حل با روش پیشنهادی به روش معمول
۱	۱/۴	۱/۲۸۹۵	۰/۲۸۹۵	۰/۲۲۴۵
۲	۲/۷	۱/۳۰۵۳	۰/۳۶۹۸	۰/۲۸۳۳
۳	۴	۱/۳۲۳۶	۰/۴۶۸۵	۰/۳۵۳۹
۴	۵/۳	۱/۳۳۲۲	۰/۵۴۲۷	۰/۴۰۷۴



شکل ۴. نمودار مقایسه زمان حل روش معمول فرانک- ولف با روش فرانک- ولف اصلاح شده

برای تعریض است که اهداف مسئله را ارضا کند. از طرفی، این پارامتر یکی از فاکتورهای تعیین کننده بعد مسئله است، یعنی هر چه تعداد پروژه‌ها بیشتر باشد، ابعاد مسئله تحت تاثیر قرار گرفته و بزرگتر می‌شود. در این مسئله از سید پروژه با اندازه متوسط استفاده شده است. و فرض بر این است که در ابعاد کوچک، سید پروژه شامل ۵ پروژه است. زمان حل دقیق مسئله با این بعد، کمتر از ۵ دقیقه است. همچنین ابعاد متوسط مسئله شامل ۱۰ پروژه است که زمان حل دقیق کمتر از یک ساعت دارند و ابعاد بزرگ مسئله شامل ۱۸ پروژه به بالاست که دارای زمان حل دقیق بیشتر از ۲۴ ساعت است.

هم چنین، برای هر پروژه که به عنوان یک پروژه پیشنهادی به مسئله معرفی می‌شود، باید هزینه مورد نیاز برای تکمیل آن تعیین شود. در مدل‌سازی مسئله، c_a ، هزینه مورد نیاز مربوط به پروژه تعریض خیابان a ام تعریف شده است. در تولید مسئله، این پارامتر متناسب با زمان سفر آزاد متناظر با خیابان، تعیین شده است. از طرف دیگر، باید بودجه اختصاص داده شده برای بهبود شبکه نیز مشخص گردد. برای تعیین بودجه کل، پس از تعیین مقدار هزینه لازم برای هر یک از پروژه‌ها، از رابطه زیر استفاده شده است.

$$\frac{B}{\sum_{a \in \bar{A}} c_a} = d \quad (19)$$

که در این رابطه، B مقدار بودجه کل را نشان می‌دهد و d نشان دهنده نسبتی است که برای این کسر تعیین می‌گردد. برای مقدار d می‌توان سطوح مختلفی در نظر گرفت. برای مثال می‌توان d

نمودار مقایسه نتایج حاصل از دو روش برحسب زمان حل نیز در **Error! Reference source not found.** نشان داده شده است. شیب نموداری که نشان دهنده زمان حل با استفاده از روش معمول فرانک- ولف معمولی است تقریباً صفر است؛ زیرا، در روش فرانک- ولف معمولی زمانیکه شبکه تغییر می‌کند، الگوریتم از جواب اولیه صفر (جریان صفر) شروع کرده و مسئله را حل می‌کند. زمان حل با استفاده از الگوریتم پیشنهادی شیب افزایشی دارد و هر چه تعداد کمانها بیشتر شود به نمودار حل با روش معمول نزدیکتر می‌شود. این موضوع بدان معنی است که الگوریتم پیشنهادی برای شبکه‌های همسایه، یعنی شبکه‌هایی که تفاوت زیادی با شبکه مبنا ندارند، کاربرد دارد و هر چه تعداد کمانهایی که ظرفیتشان تغییر می‌کند، بیشتر باشد، از میزان همسایگی شبکه‌ها کاسته شد و بنابراین زمان حل با روش پیشنهادی کارایی خود را از دست می‌دهد و زمان حل افزایش یافته و به زمان حل با الگوریتم معمول فرانک- ولف معمولی نزدیک می‌شود.

۷-۳ حل مسئله انتخاب خیابان‌ها برای تعریض در

شبکه شهری

مسئله معرفی شده، بر اساس مدل‌سازی انجام شده دارای پارامترهایی است که قبل از حل باید تعیین شوند. این پارامترها بنا بر شرایط استراتژیک مسئله تعیین شده و متناسب با هر مسئله قابل تغییر است.

یکی از پارامترهای مسئله که باید تعیین شود، تعداد پروژه‌های پیشنهادی است که مسئله از بین آنها ملزم به انتخاب پروژه‌هایی

انتخاب پروژه های خیابانی جهت تعریض در شبکه شهری

را در سطوح ۳۰٪، ۵۰٪ و ۷۰٪ قرار داد و مقدار B را محاسبه نمود.

نتایج حاصل از ۱۰ بار اجرای الگوریتم تجمع ذرات و با شرایط توضیح داده شده در بخش ۶-۳، در

در مسئله انتخاب پروژه تعریض، با توجه به مدل سازی ارائه شده، شاخص تعریف شده در تابع هدف بیان کننده مجموع زمان سفر در کل شبکه است که با انتخاب ترکیب بهینه ای از خیابانهای پیشنهادی برای تعریض، به دنبال کمینه کردن این مقدار هستیم. از طرفی با توجه به وجود پیچیدگی در محاسبه تابع هدف و وجود پدیده بریز، ارائه روش های دقیق رایج برای حل مسئله بسیار پیچیده و دشوار است. از این رو برای حل دقیق این مسئله از روش شمارش کامل استفاده شده است. در این روش، تمام حالت های موجود تولید شده و جواب های امکان پذیر مشخص می شوند. سپس برای تعیین مقادیر تابع هدف، مسئله تخصیص ترافیک برای آنها حل شده و طبق نتایج بدست آمده، بهترین جواب به عنوان جواب بهینه معرفی می گردد. این روش، به دلیل اینکه تمام جواب های ممکن را تولید می کند، نیازمند زمان زیادی برای ارائه نتایج در ابعاد بزرگ است. اما در ابعاد کوچک، در زمان قابل قبولی، جواب بهینه را بدست می دهد. از این رو، برای ابعاد بزرگ استفاده از الگوریتم تجمعی ذرات، پیشنهاد شده است.

۷-۳-۲ نتایج اجرای الگوریتم PSO پیشنهادی

نتایج حاصل از ۱۰ بار اجرای الگوریتم تجمع ذرات و با شرایط توضیح داده شده در بخش ۶-۳، در

جدول آورده شده است. همانطور که مشاهده می شود، در حالیکه جواب بهینه در این حالت طبق جدول ۳ برابر ۱۲۲۲ است، ۱۰ بار اجرا برای الگوریتم تجمع ذرات دارای میانگین ۱۲۴۰/۳ و انحراف معیار ۷۳/۹ است. بنابراین از نظر نزدیکی به جواب بهینه، می توان گفت که الگوریتم انبوه ذرات جواب مناسبی ارائه می دهد. ستون آخر در جدول ۴، نشان دهنده تعداد دفعاتی است که تابع برازندگی محاسبه می شود. زمان حل الگوریتم، ارتباط مستقیم با تعداد دفعات محاسبه تابع برازندگی دارد و هر چه تعداد دفعات محاسبه تابع برازندگی (NFE) بیشتر باشد، زمان حل نیز افزایش می یابد مشاهده می شود که الگوریتم انبوه ذرات در مقایسه با روش شمارش کامل که برای تمامی حالات ممکن تابع هدف را محاسبه می کند، تعداد دفعات بسیار کمتری، تابع هدف را محاسبه می کند و در نتیجه زمان حل بسیار کمتری دارد.

۷-۳-۱ حل دقیق مسئله انتخاب پروژه تعریض

نتایج مربوط به حل دقیق مسئله های تولید شده با استفاده از روش شمارش کامل، در **جدول آورده شده است.**

لازم به ذکر است برای اجرای الگوریتم های مسئله از رایانه شخصی که دارای پردازشگر Core i2 با سرعت ۲/۶ GHz و ۴ GB حافظه است، استفاده شده است.

همانطور که مشاهده می شود، تعداد جواب های امکان پذیر مسئله با افزایش بعد مسئله به صورت فزاینده ای افزایش می یابد. و روند افزایش زمان حل هر جواب نیز با افزایش بعد مسئله، به صورت نمایی افزایش می یابد. روند نمایی این افزایش در

۸. نتیجه گیری

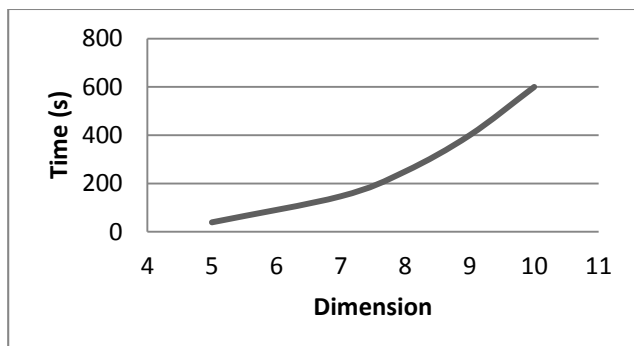
در این مقاله مسئله انتخاب پروژه در شبکه خیابانی شهری در حالتی که تنها تعریض مورد نظر باشد، بررسی شد. در ابتدا روش ابتکاری برای تعیین مجموعه خیابانهای کاندید با کمک ارزیابی شرایط فعلی خیابانها پیشنهاد شد. پس از آن، مسئله انتخاب پروژه های سرمایه گذاری در حالتی که تنها تعریض خیابانهای موجود (افزودن لاین جدید) مورد نظر باشد، مدل سازی شد.

نتایج حاصل از اجرای الگوریتم PSO پیشنهادی در مقایسه با روش شمارش کامل، در جدول ۳ نشان داده شده است. نتایج حاصل از اجرای الگوریتم PSO پیشنهادی در مقایسه با روش شمارش کامل، در جدول ۳ نشان داده شده است. نتایج حاصل از اجرای الگوریتم PSO پیشنهادی در مقایسه با روش شمارش کامل، در جدول ۳ نشان داده شده است.

جدول ۳. نتایج حل شمارش کامل برای ابعاد مختلف با سطح بودجه ۰.۵

تعداد پروژه	۵ پروژه	۷ پروژه	۱۰ پروژه
پارامترها			
تعداد کل حالات امکان پذیر	۳۲	۱۲۸	۱۰۲۴
تعداد جواب های امکان پذیر	۱۵	۶۳	۵۲۷
سبد پروژه بهینه	[۲۸ ۲۷ ۰ ۰ ۰]	[۰ ۰ ۷۳ ۰ ۰ ۷۴ ۷۱]	[۰ ۰ ۷۳ ۰ ۰ ۷۴ ۷۱ ۷۲ ۶۹ ۷۰]

مقدار جواب بهینه	۱۵۷۴	۱۴۸۹	۱۲۲۲
کل زمان اجرای برنامه (ثانیه)	۲۹	۱۰۸	۶۱۰



شکل ۵. روند نمایی افزایش زمان حل با افزایش تعداد پروژها

جدول ۴. نتایج اجرای الگوریتم تجمع ذرات برای مسئله با ۱۰ پروژه پیشنهادی

ردیف	جواب بدست آمده	مقدار تابع هدف	درصد خطا	زمان اجرا (ثانیه)	NFE ¹⁴
۱	[۲۸ ۲۷ ۰ ۰ ۰ ۰ ۷۱ ۰ ۶۹ ۷۰]	۱۲۳۳/۴	۰/۹۳	۴۲	۱۷
۲	[۲۸ ۰ ۷۳ ۰ ۰ ۷۴ ۷۱ ۰ ۶۹ ۷۰]	۱۲۴۷/۵	۰/۰۹	۲۹	۷
۳	[۲۸ ۰ ۰ ۰ ۰ ۰ ۷۱ ۷۲ ۶۹ ۷۰]	۱۲۶۳/۳	۳/۳۸	۳۸	۱۶
۴	[۰ ۰ ۷۳ ۰ ۱۸ ۰ ۷۱ ۷۲ ۶۹ ۷۰]	۱۲۲۶/۱۷	۰/۳۴	۷۱	۲۴
۵	[۰ ۰ ۰ ۱۷ ۱۸ ۰ ۷۱ ۷۲ ۰ ۷۰]	۱۲۵۷/۲	۲/۸۸	۴۲	۱۳
۶	[۲۸ ۲۷ ۷۳ ۰ ۰ ۰ ۰ ۰ ۶۹ ۷۰]	۱۲۴۷/۵	۲/۰۹	۳۱	۸
۷	[۰ ۰ ۷۳ ۰ ۰ ۷۴ ۷۱ ۷۲ ۶۹ ۷۰]	۱۲۲۳/۵	۰/۱۲	۳۹	۱۸
۸	[۰ ۰ ۰ ۱۷ ۰ ۷۴ ۷۱ ۷۲ ۶۹ ۷۰]	۱۲۲۵/۷	۰/۳۰	۵۴	۲۱
۹	[۰ ۰ ۰ ۰ ۱۸ ۷۴ ۷۱ ۷۲ ۶۹ ۷۰]	۱۲۲۴/۳	۰/۱۹	۶۰	۱۵
۱۰	[۰ ۰ ۷۳ ۱۷ ۱۸ ۷۴ ۰ ۰ ۶۹ ۷۰]	۱۲۵۴/۳۸	۲/۶۵	۶۸	۲۴
میانگین	_____	۱۲۴۰/۳	۱,۵	۴۷,۴	۱۶,۳

به صورت فزاینده ای افزایش می یابد. از این رو حل دقیق مدل در مسائل بزرگ نیازمند زمان بسیار زیادی است و این موضوع ضرورت استفاده از الگوریتم های فراابتکاری برای حل این مسئله را توجیه پذیر می نماید. الگوریتم تجمع ذرات ارائه شده برای حل مدل موردنظر عملکرد قابل قبولی را در مسائل نمونه چه از جنبه کیفیت و چه از جنبه زمان حل از خود نشان داد. با این حال هنوز یافتن رویکردهایی جدید برای حل مسئله انتخاب

سپس جهت کاهش زمان حل تخصیص ترافیک در این مسئله، الگوریتم فرانک-ولف اصلاح شده ارائه شد و مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل از اجرای الگوریتم فرانک-ولف اصلاح شده، نشاندهنده کارا بودن این روش در حل مسئله تخصیص ترافیک به شبکه های همسایه است. نتایج روش حل دقیق مسئله انتخاب خیابانها جهت تعریض، بیانگر آن است که با افزایش بعد مسئله تعداد جواب های امکان پذیر مسئله و همچنین زمان حل

Journal of Operational Research, Vol. 201No. 1, pp.144–157.

-Hosseininasab, S. and Shetab-Boushehri, S. (2015) "Integration of selecting and scheduling urban road construction projects as a time-dependent discrete network design problem", European Journal of Operational Research, Vol. 246, pp. 762–771.

-Karimi, H., Rezvan, M.T., Shirmohammadi, A. and Vallée, D. (2013) "A solution for urban road selection and construction problem using simulation and goal programming - Case study of the city of Isfahan", Transport Policy, Vol. 29, pp. 46–53.

-Kennedy, J. and Eberhart, R. C. (1997) "A Discrete Binary Version Of The Particle Swarm Algorithm", IEEE International Conference on Computational Cybernetics and Simulation.

-Luathep, P., Sumalee, A., Lam, W. H. K., Li, Z. C. and Lo, H. K. (2011) "Global optimization method for mixed transportation network design problem: a mixed-integer linear programming approach", Transportation Research Part B: Methodological, Vol. 45, No. 5, pp. 808–827.

-Miandoabchi, E., Daneshzand, F., Farahani, R. Z. and Szeto, W.Y. (2015) "Time-dependent discrete road network design with both tactical and strategic decisions", Journal of the Operational Research Society, Vol. 66, pp. 894–913.

-Miandoabchi, M. and Zanjirani Farahani, R., (2011) "Optimizing reserve capacity of urban road networks in a discrete network design problem", Advances in Engineering Software Vol. 42, pp.1041–1050.

-Xu, T., Wei, H. and Hu, G. (2009) "Study on continuous network design problem using simulated annealing and genetic algorithm",

پروژه های خیابانی جهت تعریض در شبکه های بزرگ حمل و نقل شهری از زمینه های مطالعاتی آتی است.

۹. پی نوشت ها

- 1- Transportation Investment Projects
- 2- Continuous network design problem
- 3- Discrete network design problem
- 4- Mixed network design problem
- 5- Urban Transportation Network Design Problem
- 6- Road Network Design Problem
- 7- Public Transit Network Design Problem
- 8- Frank and Wolfe Algorithm
- 9- Trip Assignment Problem
- 10- Traffic Assignment
- 11- Wardrop's Principle
- 12- Particle Swarm Optimization
- 13- Sioux Falls
- 14- Number of Functions Evaluated

۱۰. مراجع

-Farahani, R. Z., Miandoabchi, E., Szeto, W. Y. and Rashidi, H. (2013) "A review of urban transportation network design problems", European Journal of Operational Research, Vol. 229, no. 2, pp. 281–302.

-Farvaresh, H., Sepehri, M.M. (2012) "A single-level mixed integer linear formulation for a bi-level discrete network design problem", Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, Vol. 47, No. 5, pp.623–640.

-Frank, M. and Wolfe, P. (1956) "An algorithm for quadratic programming", Nav. Res. Logist. Q., Vol. 3, No. 1–2, pp. 95–110.

-Gallo, M., D'Acerno, L. and Montella, B. (2010) "A meta-heuristic approach for solving the urban network design problem", European

-Yang, H. and Zhou, J. (1998) "Optimal traffic counting locations for origin–destination matrix estimation", Transportation Research Part B: Methodological, Vol. 32, No. 2, pp. 109–126.

Expert Systems with Applications, Vol. 36, No.2, Part 1, pp. 1322–1328.

پیوست

جدول پ-۱. محاسبه شاخص شلوغی برای خیابانهای شبکه سایوکس فالز (مرتب شده به صورت نزولی)

شماره کمان	گره مبدا	گره مقصد	$\left(\frac{V}{C_s}\right)$ میزان شلوغی
۶۹	۶	۸	۲/۷۶۹۴۰
۷۰	۸	۶	۲/۷۶۷۹۸
۴۴	۱۷	۱۶	۲/۴۱۹۰۰
۴۳	۱۶	۱۷	۲/۴۱۳۷۶
۷۱	۱۳	۲۴	۲/۴۰۰۵۴
۷۲	۲۴	۱۳	۲/۳۹۵۷۴
۷۵	۱۰	۱۶	۲/۳۳۵۲۴
۷۶	۱۶	۱۰	۲/۳۲۱۴۸
۵۹	۲۱	۲۴	۲/۱۷۸۵۰
۶۰	۲۴	۲۱	۲/۱۷۴۱۴
۳۴	۱۴	۱۱	۲/۰۷۴۰۴
۳۳	۱۱	۱۴	۲/۰۷۰۴۸
۶۲	۲۳	۲۲	۲/۰۶۲۱۲
۶۱	۲۲	۲۳	۲/۰۴۴۰۲
۴۸	۱۹	۱۷	۲/۰۰۷۲۸
۴۷	۱۷	۱۹	۲/۰۰۴۸۶
۳۸	۱۵	۱۴	۹۷۰۸۰.۱
۳۷	۱۴	۱۵	۱/۹۶۸۳۰
۲۶	۱۱	۱۰	۱/۹۰۱۷۹
۲۵	۱۰	۱۱	۱/۸۹۸۰۶
۴۲	۲۲	۱۵	۱/۸۹۴۶۰
۴۱	۱۵	۲۲	۱/۸۸۹۸۱
۲۷	۱۰	۱۵	۱/۸۶۲۵۳
۷۳	۷	۸	۱/۸۶۱۵۴
۲۸	۱۵	۱۰	۱/۸۶۱۴۸
۷۴	۸	۷	۱/۸۵۳۴۳
۱۸	۹	۵	۱/۸۲۹۱۳
۵۲	۲۰	۱۹	۱/۸۲۴۶۶
۱۷	۵	۹	۱/۸۲۴۰۷
۳۲	۱۲	۱۱	۱/۸۱۴۰۲
۵۱	۱۹	۲۰	۱/۸۱۲۱۴
۳۱	۱۱	۱۲	۱/۸۰۰۹۰

انتخاب پروژه های خیابانی جهت تعریض در شبکه شهری

۲۳	۸	۱۶	۱/۷۹۶۰۸
۵۸	۲۲	۲۱	۱/۷۸۵۶۴
۵۷	۲۱	۲۲	۱/۷۸۳۵۸
۲۴	۱۶	۸	۱/۷۷۴۵۶
۱۵	۵	۶	۱/۷۶۳۸۸
۱۶	۶	۵	۱/۷۶۲۲۸
۶۴	۲۳	۱۴	۱/۷۵۸۱۶
۶۳	۱۴	۲۳	۱/۷۵۷۱۰
۶۸	۱۰	۹	۱/۷۵۳۹۳
۶۷	۹	۱۰	۱/۷۵۰۹۴
۲۹	۱۰	۱۷	۱/۷۳۶۲۸
۳۰	۱۷	۱۰	۱/۷۲۳۴۶
۶۵	۲۳	۲۴	۱/۶۷۵۱۲
۶۶	۲۴	۲۳	۱/۶۷۴۲۸
۲۲	۹	۸	۱/۶۰۳۱۴
۲۱	۸	۹	۱/۵۹۵۲۰
۵۶	۲۲	۲۰	۱/۵۵۸۶۲
۵۵	۲۰	۲۲	۱/۵۵۲۱۶
۵۳	۲۰	۲۱	۱/۴۶۳۶۸
۵۴	۲۱	۲۰	۱/۴۵۱۳۸
۴۰	۱۹	۱۵	۱/۳۶۰۲۵
۳۹	۱۵	۱۹	۱/۳۵۶۸۸
۶	۶	۲	۱/۳۴۹۹۶
۵	۲	۶	۱/۳۴۹۷۸
۱۳	۴	۱۱	۱/۲۴۶۱۶
۱۴	۱۱	۴	۱/۲۳۵۳۸
۱۲	۵	۴	۱/۱۹۹۶۰
۱۱	۴	۵	۱/۱۹۴۳۰
۸	۴	۳	۰/۹۶۹۳۳
۷	۳	۴	۰/۹۶۱۴۱
۴۹	۱۸	۲۰	۰/۸۸۱۱۹
۵۰	۲۰	۱۸	۰/۸۸۴۵۲
۴۵	۱۶	۱۸	۰/۸۳۶۸۴
۴۶	۱۸	۱۶	۰/۸۲۶۷۳
۲۰	۱۸	۷	۰/۷۱۵۷۸
۱۹	۷	۱۸	۰/۷۱۳۳۸
۳۵	۱۲	۱۳	۰/۵۹۶۲۱
۳۶	۱۳	۱۲	۰/۵۹۳۲۸
۹	۳	۱۲	۰/۵۰۲۵۶
۱۰	۳	۱۲	۰/۴۹۸۹۷
۳	۱	۳	۰/۴۱۱۶۰
۴	۳	۱	۰/۴۱۱۵۶

نسرین شاه‌حیدری، سید نادر شتاب بوشهری

۱	۱	۲	۰/۲۴۹۹۱
۲	۲	۱	۰/۲۴۷۹۴

سید نادر شتاب بوشهری، درجه کارشناسی در رشته مهندسی برق را در سال ۱۳۶۴ از دانشگاه صنعتی اصفهان و درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی سیستم‌های اقتصادی-اجتماعی را در سال ۱۳۶۷ از دانشگاه صنعتی اصفهان اخذ نمود. در سال ۱۳۸۳ موفق به کسب درجه دکتری در رشته مهندسی برنامه ریزی حمل و نقل از دانشگاه صنعتی شریف گردید. زمینه‌های پژوهشی مورد علاقه ایشان برنامه ریزی حمل و نقل، سیستم‌های دینامیکی، تحقیق در عملیات و اقتصاد بوده و در حال حاضر عضو هیات علمی با مرتبه دانشیار در دانشگاه صنعتی اصفهان است.



نسرین شاه‌حیدری، درجه کارشناسی در رشته مهندسی صنایع را در سال ۱۳۹۱ از دانشگاه علم و صنعت ایران و

درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی صنایع در سال ۱۳۹۳ را از دانشگاه صنعتی اصفهان اخذ نمود.