مجله آمایش جغرافیایی فضا،
فصلنامه علمی- پژوهشی دانشگاه گلستان
سال نهم/ شماره مسلسل سی و دوم/ تابستان ۱۳۹۸ / صفحات: ۱۲-۱

اصلاح مسیر سیستم‌های اصلی حمل و نقل همگانی شهر مشهد با روش الگوریتم کلونی مورچگان و رویکرد افزایش دسترسی

هومن شاداب‌مهر[۱*]، محمدرحیم رهنما[۲]، محمداجزاء شکوهی[۳]، عزت‌اله مافی[۴]

[۱]دکتری جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه فردوسی مشهد پردیس بین‌الملل
[۲]استاد جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه فردوسی مشهد
[۳]دانشیار جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه فردوسی مشهد
[۴]دانشیار جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه فردوسی مشهد
تاریخ دریافت: ۹۴/۹/۱۵ ؛ تاریخ پذیرش: ۹۵/۶/۲۲

چکیده

خطوط استخوان بندی حمل و نقل همگانی شهر مشهد حدود ۵۰ درصد با یکدیگر همپوشانی دارند که این مسئله از سطح پوشش سیستم می‌کاهد. این تحقیق با هدف باز طراحی مسیر خطوط مذکور با رویکرد حداکثرسازی خصوصیت دسترسی سیستم انجام شده است. جهت تعیین مسیرهای اصلاحی خطوط مذکور از روش الگوریتم کلونی مورچگان استفاده شده است. سپس شاخص دسترسی ترکیبی به روش هنسن به تفکیک ۲۵۳ ناحیه ترافیکی در دو حالت سیستم وضع موجود و سیستم پیشنهادی تحقیق محاسبه شده است. مقایسه دو سیستم وضع موجود و اصلاح شده به کمک شاخص دسترسی و با روش محاسبه میانگین دو گروه مستقل با استفاده از نرم‌افزار SPSS انجام شده است. مسیرهای اصلاحی تعریف شده، سطح پوشش را افزایش داده در حالی‌که طول کل خطوط سیستم پیشنهادی نسبت به سیستم اولیه ثابت می‌باشد. همچنین شاخص دسترسی به سیستم اصلاح شده نسبت به سیستم موجود به طور معناداری افزایش یافته است. با توجه به اینکه سیستم موجود استخوان بندی حمل و نقل همگانی شهر مشهد با روش‌های مبتنی بر سرعت و حرکت طراحی شده است، نتایج این تحقیق، تفاوت رویکرد مبتنی بر سرعت و حرکت نسبت به رویکرد مبتنی بر دسترسی را در طراحی سیستم‌های حمل و نقل همگانی آشکار می‌سازد.

واژه‌های کلیدی: حمل و نقل همگانی، دسترسی، الگوریتم کلونی مورچگان، شهر مشهد

مقدمه

طرح مسئله

بر اساس مطالعات و برنامه‌ریزی‌های انجام شده در شهر مشهد، استفاده از دو نوع سیستم حمل و نقل نیمه انبوه‌بر شامل قطار سبک شهری LRT[۲] (۴ خط) و اتوبوس سریع شهری BRT[۳] (۴خط) مصوب شده است؛ بنابراین سیستم‌های مذکور به عنوان استخوان‌بندی حمل و نقل همگانی در شهر مشهد تلقی می‌شوند (طرح هفتم، ۱۳۹۱: ۱۷). در تعیین مسیر خطوط سیستم‌های مذکور مشکلاتی وجود دارد از جمله اینکه در بخش‌های زیادی (حدود ۵۰ درصد طول خود) با هم همپوشانی دارند که این مسئله باعث کاهش سطح پوشش سیستم شده است. همچنین این خطوط در بخش‌هایی از طول خود به دلیل عبور از معابر کم عرض، دارای مشکلات اجرایی مختلفی هستند.

اهمیت و اهداف تحقیق: اصلاح و تقویت سیستم‌های حمل و نقل همگانی یکی از روش‌های مهم مقابله با مشکلات ترافیکی شهرها است. بر اساس ماده ۳۰ قانون برنامه چهارم توسعه کشور، دولت و مسئولین شهری موظف شده‌اند با برنامه‌ریزی‌های لازم سهم حمل و نقل همگانی از کل سفرهای شهری را به ۷۵ درصد افزایش دهند (وزارت کشور، ۱۳۸۶: ۱). یکی از راهکارهای علمی ارتقاء سامانه حمل و نقل همگانی شهرها، بهینه سازی مسیر ناوگان حمل و نقل

*نویسنده مسئول: ho_sh852@stu-mail.um.ac.ir
2. Light Rail Transit
3. Bus Rapid Transit

همگانی است (مطیعیان و همکاران، ۱۳۹۱: ۳۶۶). بر این اساس هدف از این تحقیق، امکان‌سنجی اصلاح مسیرهای فعلی استخوان بندی حمل و نقل همگانی شهر مشهد و رفع مشکلات آنها بر پایه اصول پایداری شهری، اهمیت دادن به اصل دسترسی در مقابل سرعت و حرکت و توجه ویژه به خصوصیات جغرافیایی مناطق شهری از جمله مراکز عمده سکونت و اشتغال می‌باشد.

سؤال تحقیق: در یک سیستم حمل و نقل پایدار شهری، حمل و نقل همگانی جایگاه مهمی داشته و باید خصوصیات ویژه‌ای داشته باشد. این خصوصیات شامل حداکثر پوشش‌دهی به مناطق پرجمعیت، نواحی با سطح اشتغال بالا و کاربری‌های جاذب سفر است (Stead and Marshall, 2001: 124). توجه به عوامل فوق در مراحل طراحی مسیر سیستم‌های حمل و نقل همگانی، تضمین کننده حداکثر شدن خصوصیت دسترسی سیستم خواهد بود. بر این اساس سؤال این تحقیق عبارت است از اینکه چگونه می‌توان مسیر خطوط استخوان‌بندی حمل و نقل همگانی شهر مشهد را اصلاح نمود به گونه‌ای که شاخص دسترسی (شامل دسترسی جمعیت، محل‌های اشتغال و کاربری‌های جاذب سفر) به سیستم حمل‌ونقل همگانی افزایش یابد؟

سوابق تحقیق: مطالعات (Burrows et al., 2010:1-26) با عنوان مسیریابی کارا با استفاده از الگوریتم کلونی مورچگان انجام شده است. در این تحقیق از روش الگوریتم کلونی مورچگان با تابع هدف کاهش زمان انتظار مسافرین استفاده شده است. در نتیجه این تحقیق اصلاحاتی برای مسیر خطوط ریلی شهر لندن پیشنهاد شده است. مطالعات (Ferenczi, 2012: 1-152) با عنوان طراحی و کاربرد الگوریتم کلونی مورچه در تخصیص ترافیک می‌باشد. در این مطالعه از روش الگوریتم مورچه با تابع هدف کاهش هزینه و زمان صرف شده در کمان‌های شبکه معابر شهر میلان استفاده شده است. در نتیجه این تحقیق، کارایی روش ابتکاری الگوریتم مورچه در بحث تخصیص بهینه ترافیک به شبکه حمل و نقل نشان داده شده است. مطالعات (Mazloumi et al., 2012:217-234) با عنوان بهینه سازی زمانبندی سیستم اتوبوسرانی، مقایسه الگوریتم‌های کلونی مورچگان و ژنتیک می‌باشد. در این پژوهش از روش مدل‌سازی سیستم اتوبوسرانی شهر ملبورن به مقایسه دو روش فوق الذکر پرداخته شده است. شایان ذکر است روش الگوریتم ژنتیک هم یکی از روش‌های ابتکاری بهینه سازی شبکه است. در نتیجه این تحقیق مشخص گردید هر دو روش دقت مشابهی داشته ولی الگوریتم کلونی مورچگان با تکرار کمتری به جواب می‌رسد. در مطالعات (Yu et al., 2005: 374-389) که با عنوان بهینه سازی مسیر سیستم اتوبوسرانی با استفاده از روش الگوریتم مورچه انجام شد از روش الگوریتم مورچه با تابع هدف کمینه سازی تعداد تغییر خط در سفرهای مبدأ- مقصد و بیشینه‌سازی حجم مسافر با شرط طول خطوط یکسان استفاده شده است. در نتیجه این مطالعه مسیرهای اصلاحی برای سیستم اتوبوسرانی شهر دالیان چین پیشنهاد شده است. مطالعه (Vitins and Axhausen, 2007: 1-25) با عنوان بهینه سازی شبکه‌های حمل و نقل همگانی بزرگ مقیاس با استفاده از الگوریتم کلونی مورچگان می‌باشد. روش مطالعه مدلسازی با استفاده از الگوریتم مورچه با تابع هدف، حداکثر نمودن مجموع منافع سیستم (شامل کاهش مسافت طی شده در شبکه و افزایش مسافر) در شرایط بودجه محدود و مشخص بود. نتیجه این تحقیق در اصلاح مسیر تعدادی از شهرهای سوئیس به کار گرفته شده و نتایج مطلوبی داشته است. در مطالعه (Rai and Verma, 2009:23-36) با عنوان طراحی خطوط تغذیه شبکه حمل و نقل همگانی با استفاده از الگوریتم مورچه از روش الگوریتم مورچه با تابع هدف افزایش همزمان منافع مسافران و گردانندگان سیستم (کاهش زمان صرف شده مسافران و افزایش درآمد گردانندگان سیستم) استفاده شده است. مدل پیشنهادی این تحقیق در شرایط شهر ماهاراشترا[1] هندوستان ارزیابی شد و نتایج به‌دست آمده نشان داد که این روش می تواند باعث کاهش

1. Maharashtra

زمان متوسط انتظار مسافران به میزان ۵ دقیقه شده و باعث افزایش منافع سیستم شود. مطالعات (Monterio et al., 2012:1-87) نمونه دیگری است که نتایج آن در کتابی با عنوان "الگوریتم کلونی مورچگان، سوابق روش" منتشر شده است. در این تحقیق از روش مروری، سابقهٔ کاربرد الگوریتم مورچه در کاربردهای مختلف از جمله مسائل بهینه‌سازی شبکه بررسی شده است. در نتیجه این تحقیق توصیه‌هایی برای بهبود نتایج روش ارائه شده و پیش‌بینی شده استفاده از این روش در تحقیقات آتی افزایش یابد.

در ایران هم به موضوع بهینه سازی شبکه حمل و نقل با استفاده از الگوریتم کلونی مورچگان در چند مطالعه پرداخته شده است. ابوالقاسمی (۱۳۸۰) در مطالعات خود، کارایی روش کلونی مورچگان برای حل مسئله طراحی شبکه را نشان داده است. در این مطالعه ابتدا پارامترهای مورد نیاز شناسایی شده و الگوریتم حل مسئله نوشته شده است سپس به کاربرد مدل پرداخته شده و نحوه حل مسئله طراحی در یک شبکه آزمایشی ارائه شده است. در مطالعه دیگری افندی زاده و همکاران (۱۳۹۰)، با استفاده از الگوریتم‌های کلونی مورچگان و ژنتیک بر پایه پارامتر تقاضای سفر، موضوع طراحی شبکه حمل و نقل را مورد بررسی قرار دادند. در این تحقیق، کارایی الگوریتم‌های مذکور در شرایط عدم قطعیت تقاضای سفر در حل مسئله طراحی شبکه مقایسه شده است. لرکی و همکاران (۱۳۹۲) مطالعه‌ای را با هدف توسعه یک روش ترکیبی اصلاحی فراابتکاری برای حل مسئله مسیریابی وسیله نقلیه ظرفیت‌دار انجام دادند. در این مطالعه نسخه‌ای ترکیبی و اصلاحی از الگوریتم کلونی مورچگان ارائه شده و نتایج به دست آمده با سایر الگوریتم‌های فراابتکاری مقایسه شده است. اصلاحات این روش شامل جلوگیری از فرمون ریزی محلی، فرمون ریزی سراسری با ضرایب مثبت و منفی بر روی بهترین و بدترین جواب در هر تکرار، استفاده از دو الگوریتم جستجوی محلی کارا و غیره بود، سبب شد که الگوریتم بتواند به جواب‌های قابل قبولی دست یابد.

همچنین سابقهٔ تحقیق از منظر اهمیت دسترسی در طراحی سیستم‌های حمل و نقل همگانی نیز قابل بررسی است. از جمله مطالعات انجام شده در این زمینه می‌توان به مطالعات (Dorsey, 2005: 235-246) با عنوان تمایل حمل و نقل همگانی انبوه‌بر به دسترسی نامحدود اشاره کرد. این مطالعه در شرایط شهر یوتای آمریکا به روش اندازه‌گیری مستقیم تغییرات شاخص دسترسی به سیستم اتوبوسرانی در اثر اصلاح مسیر خطوط و کاهش هزینه بلیط گروه‌های خاصی از جامعه نظیر دانشجویان انجام شده است. در نتیجه این مطالعه ثابت شد با افزایش خصوصیت دسترسی، میزان استفاده از حمل و نقل همگانی افزایش می یابد. مطالعات (Karou and Hull, 2014: 1-11) با عنوان مدلسازی دسترسی، طراحی سیستم حمل و نقل همگانی شهر ادینبورگ می‌باشد. در این مطالعه از روش آنالیز فضایی شبکه به کمک GIS، میزان دسترسی به ۶ فعالیت مختلف در اثر اصلاح سیستم حمل و نقل همگانی ریلی ارزیابی شده است. در نتیجه این تحقیق اصلاحاتی در مسیر سیستم حمل و نقل ریلی که باعث ارتقاء سطح دسترسی و بهبود عدالت اجتماعی می شود، پیشنهاد شده است. مطالعات (Blair et al., 2013: 192-200) با عنوان آنالیز تغییرات شبکه در مزایای حمل و نقل همگانی می‌باشد. این مطالعه تغییر سیستم اتوبوس به مترو و تغییرات تبعی مسیر سیستم‌های حمل و نقل همگانی شهر بلفاست را ارزیابی نموده است. روش مطالعه، بررسی تغییرات سطح دسترسی گروه‌های مختلف مردم به سیستم است. در این مطالعه، یک روش چند فازه برای ارزیابی تغییرات حاصله پیشنهاد شده است. نتیجه این تحقیق منجر به تعریف روشی برای ارزیابی منافع حاصل از ایجاد تغییرات در سیستم حمل و نقل همگانی (قبل از اجرا) گردید. در مطالعه (Lin et al., 2014:111-120) با عنوان آنالیز فضایی دسترسی به ایستگاه‌های قطار شهر پرس استرالیا، تعداد ۷ ایستگاه قطار به شکل پراکنده در سطح شهر به روش پیمایشی

بررسی شدند. یک شاخص ترکیبی برای اندازه‌گیری قابلیت دسترسی که سه حالت پیاده به قطار، پارکینگ به قطار و اتوبوس به قطار را در بر می‌گیرد، تعریف شد. در نتیجه تحقیق مشخص گردید مهمترین متغیرهایی که بر قابلیت دسترسی افراد به ایستگاه‌های قطار تأثیر دارند عبارتند از فاصله از مبدأ تا ایستگاه، کیفیت مسیرهای پیاده و سواره اطراف، تنوع کاربری، کیفیت سرویس دهی قطار و نحوه ارتباط ایستگاه اتوبوس با ایستگاه قطار.

با توجه به توضیحات فوق، روش الگوریتم کلونی مورچگان یک روش کارا در زمینه مسیریابی خطوط حمل و نقل همگانی می‌باشد. همچنین پارامتر دسترسی در افزایش کارایی سیستم‌های حمل و نقل همگانی نقشی کلیدی دارد. تفاوت تحقیق حاضر با تحقیقات پیشین در نحوهٔ استفاده از الگوریتم کلونی موچگان است. این تفاوت مربوط به تابع هدف روش می‌باشد که در آن حداکثرسازی دسترسی جمعیت، مراکز اشتغال و کاربری‌های جاذب سفر به استخوان‌بندی سیستم حمل و نقل همگانی مورد توجه قرار گرفته است.

مبانی نظری

از دیدگاه نظری، حمل و نقل عمومی به عنوان یکی از اجزای اساسی حمل و نقل شهری، نقشی انکارناپذیر در بهبود زندگی شهری بر عهده دارد. امروزه در شهرهای بزرگ، طراحان شهری برای اینکه بتوانند پاسخگوی نیاز مردم به جابجایی باشند، الگوهای توسعه را بر اساس حمل و نقل عمومی و گسترش آن استوار نموده‌اند. برنامه‌ریزان شهری، براساس نیاز شهرها و با توجه به خصوصیات جمعیتی، اقتصادی و جغرافیایی شهر اقدام به طراحی یک سیستم حمل و نقل عمومی برای شهر می‌نمایند. این سیستم می‌تواند ترکیبی از سه جزء شامل سیستم‌های انبوه‌بر مانند مترو، سیستم‌های نیمه انبوه‌بر مانند LRT و BRT و سیستم‌های سبک مانند اتوبوس و مترو باشد (Vuchic, 2005: 25). هدف از راه‌اندازی سیستم‌های حمل و نقل همگانی، ایجاد امکان حمل و نقل سریع و ارزان برای کلیه اقشار جامعه و در عین حال کاهش اثرات منفی حمل و نقل مانند آلودگی هوا، ازدحام، آلودگی صوتی و نظایر آن است (حسنی‌نسب و همکاران، ۱۳۹۰: ۳۰۴). گاهی اوقات هدف از ایجاد سیستم حمل و نقل همگانی سریع را جابه‌جایی تعداد زیادی از مسافران به صورت کارآ و مؤثر می‌دانند. بر این اساس اگر هدف، مکان‌یابی یک مسیر منفرد باشد، این هدف را می‌توان به صورت بیشینه کردن جمعیت پوشش داده شده توسط مسیر بیان کرد (آیتی و باقری، ۱۳۸۵: ۲). بر این اساس انتخاب مسیر صحیح سیستم‌های حمل و نقل همگانی به طور قطع تأثیر زیادی بر افزایش کارایی آنها خواهد داشت (عباسقلی‌زاده، ۱۳۹۱: ۱۶۱). مسیریابی بهینه سیستم حمل و نقل سریع، مسئله ای همراه با روند پیچیده تصمیم‌گیری و با قیود و اهداف چندگانه و توأم با عدم اطمینان، عوامل غیرقابل اندازه‌گیری، سرمایه‌گذاری کلان و کاری دراز مدت است، بنابراین روش‌های معمولی طراحی شبکه برای حل این گونه مسائل پیچیده و با ابعاد بزرگ، کارایی لازم را ندارند (Gendreau et al., 1995:145-162). از اینرو استفاده از روش‌های ابتکاری نظیر الگوریتم کلونی مورچگان در طراحی مسیر سیستم‌های حمل و نقل همگانی امری مرسوم است. این روش‌ها بر پایه مدلسازی ریاضی بوده و عموماً یک تابع هدف مشخص را بهینه می‌نمایند. بنابراین مهمترین مسئله در استفاده از این روش‌ها، تعریف تابع هدف برپایه مبانی نظری صحیح است. در این ارتباط تحقیق حاضر تلاش می‌نماید فرآیند اصلاح مسیر استخوان‌بندی حمل و نقل همگانی شهر مشهد را با رویکرد افزایش دسترسی و در چارچوب نظریه توسعه پایدار شهری ارائه نماید. در طراحی سیستم‌های کلان حمل و نقل همگانی، توجه به موضوع دسترسی و افزایش حداکثری آن یک بحث اساسی است. دسترسی به طور عموم می‌تواند به عنوان آسان رسیدن به مکان با جاذبه قابل ملاحظه توصیف شود. این تعریف بیانگر عمومیت دو عنصر الگوی کاربری اراضی و سیستم حمل و نقل است. یکی از مسائل قابل مشاهده در حوزه حمل و نقل، عدم

دسترسی برابر به حمل و نقل شهری در بین اقشار مختلف جامعه است که خود منجر به تشدید مشکلات ترافیکی و متعاقباً انواع پیامدهای زیست محیطی و اجتماعی از جمله افزایش مصرف سوخت، هدر رفتن سرمایه‌های طبیعی، بروز آلودگی‌های زیست‌محیطی و تهدید سلامتی و آسایش شهروندان می‌باشد (براری و همکاران، ۱۳۹۷: ۱۰۷). برنامه ریزی شهر سالم به معنای برنامه‌ریزی برای مردم است. سلامت ساکنان شهری به‌طور گسترده‌ای به شرایط و شیوه زندگی ساکنان شهری بستگی دارد (نظم‌فر و همکاران، ۱۳۹۷: ۲۱۸) که یکی از شاخص‌های آن دسترسی است. هدف برنامه‌ریزی دسترسی، دستیابی به توسعهٔ پایدار شهری از طریق گذر از حرکت یا افزایش سرعت به دسترسی یا کاهش فاصله بین محل کار و زندگی و به تبع آن کاهش استفاده از سوخت و کاهش آلودگی‌های محیطی است. بنابر این برنامه‌ریزی دسترسی ابزاری در راستای تحقق توسعه پایدار شهری است (رهنما و فرقانی، ۱۳۸۷: ۷۸). امروزه به یقین مشخص شده است که عدم توجه به پیامدهای محیط زیستی طرح‌های توسعه باعث هدر رفتن منابع سرزمین و ایجاد فاجعه‌های محیط زیستی می شود (امامی و همکاران، ۱۳۹۷: ۷۸). هدایت سفرهای شهری به استفاده از حمل و نقل همگانی به جای وسایل نقلیه شخصی از طریق افزایش سطح دسترسی به سیستم‌های حمل و نقل همگانی در رویکرد میانه‌ای متمایل به سبز خفیف و در راستای ایجاد شهر خوداتکا و حمایت از توسعه پایدار قرار دارد.

روش تحقیق

روش تحقیق، شیوه و فرآیندی است که برای حل مسئله، دستیابی به اهداف و حصول نتیجه بهتر در زمان معین انتخاب می‌شود. رویکرد حاکم بر فضای این تحقیق، کیفی و کمی بوده و نوع آن کاربردی است. روش پژوهش در بخش اول (اصلاح مسیر استخوان بندی حمل و نقل همگانی)، مدلسازی ریاضی و در بخش دوم (محاسبه شاخص دسترسی و آزمون فرضیات)، توصیفی- تحلیلی است. جمع‌آوری اطلاعات مورد نیاز تحقیق از روش مطالعه اسنادی و با استفاده از بانک اطلاعات مطالعات جامع حمل و نقل مشهد که در سال ۱۳۹۳ بهنگام سازی گردیده، انجام شده است. مدل ریاضی مورد استفاده در مرحله اصلاح مسیر استخوان بندی حمل و نقل همگانی، الگوریتم کلونی مورچگان است. این مدل شامل یک تابع هدف و تعدادی محدودیت می‌باشد که روابط آن در محیط نرم افزار متلب برنامه نویسی شده است. استفاده از هوش مصنوعی و الگوریتم‌های مسیریابی نوین و بومی سازی آن در بخش شهری و بین شهری با توجه به وسعت و گستردگی شهرها، می تواند در ساماندهی مدیریت شهری کارآمد باشد (خمر، ۱۳۹۶: ۴۱). جهت مقایسه گزینه‌های مسیر خطوط حمل و نقل همگانی موجود با خطوط پیشنهادی تحقیق، ابتدا شاخص دسترسی به تفکیک ۲۵۳ ناحیه ترافیکی شهر مشهد با استفاده از فرمول دسترسی هنسن محاسبه گردیده، سپس به کمک نرم‌افزار SPSS و با استفاده ازروش آزمون میانگین دوگروه مستقل، فرضیات تحقیق آزمون شده است.

روش الگوریتم کلونی مورچگان: کلونی مورچه‌ها یا در حالت کلی جوامع حشرات اجتماعی، دارای سازمان اجتماعی ساختار یافته‌ای هستند. یکی از نتایج این سازمان، انجام کارهای پیچیده و حل مسائل روزمرهٔ زندگی است که از توانایی‌های یک مورچه منفرد بالاتر است (Dorigo and Stutzle, 2005:28). نظیر اینگونه رفتار که در گروه‌های خاصی از حشرات مشاهده می‌شود، هوش گروهی نامیده می‌شود (Ghoseiri and Morshedsolouk, 2006: 10). الگوریتم مورچه به کمک آزمایشی که توسط گوس و همکارانش (۱۹۸۹) انجام گردید، توسعه داده شد. آنان در این آزمایش، رفتار مورچه‌های آرژانتینی را برای یافتن غذا از لانه به منبع غذایی شبیه‌سازی کردند. در این آزمایش ابتدا منبع غذایی به وسیله یک دو شاخه با طول‌های متفاوت به لانه متصل شد، این شاخه‌ها به صورتی قرار داده شده بود که مورچه‌ها راهی از لانه به منبع غذایی و یا بر عکس به جز این دو راه نداشته باشند و می‌بایست یکی از این دو شاخه را برای ادامه مسیر

انتخاب می‌نمودند. آنها مشاهده کردند که هر چه از شروع آزمایش می‌گذرد مورچه‌های بیشتری راه کوتاه‌تر را انتخاب می‌کردند. علت این است که مورچه‌ها هنگام حرکت ماده‌ای به نام فرمون ترشح می‌کنند که بعد از مدتی تبخیر می‌شود. بنابراین در حرکت از لانه به منبع غذا و بالعکس، در مسیرهای بهتر و نزدیک‌تر، به مرور فرمون بیشتری انباشته می‌شود و لذا احتمال انتخاب آنها بیشتر می‌شود. این آزمایش نشان داد که هوش جمعی بسیار ساده‌ای که مورچه‌ها براساس غریزه خود به کار می‌برند چگونه سبب می‌شود که بتوانند این مسئله مشکل بهینه‌سازی ترکیبی را حل کنند (لرکی و همکاران، ۱۳۹۲: ۷۶). الگوریتم تعیین مسیر خطوط اصلی حمل و نقل همگانی شامل یک تابع مطلوبیت و تعدادی محدودیت می‌باشد. مسیر خطوط بر روی شبکه خیابانی تعریف می‌شود. شبکه خیابانی شامل یک سری گره (تقاطع) و کمان (خیابان) است. الگوریتم حل مسئله به گونه‌ای نوشته شده که مسیر هر خط را به‌صورت گره به گره با توجه به تابع مطلوبیت تعیین کرده و در نهایت محدودیت‌های تعریف شده را ارضاء نماید. انتخاب یک کمان توسط یک مورچه به مطلوبیت آن کمان و یا به عبارت دیگر به منفعت حاصل از انتخاب آن بستگی دارد. این منفعت شامل جمعیت و سطح کاربری‌های جاذب سفر در حوزه نفوذ[1] آن گره می‌باشد (رابطه ۱):

$$U_{ij} = \tau_{ij} + p_j + k_j \qquad \text{رابطه (۱)}$$

که در آن

U_{ij}= مطلوبیت مربوط به انتخاب گره j از گره انتخاب i (یا کمان (i,j)).

τ_{ij} = میزان فرمون موجود روی کمان (i,j) که از تکرارهای قبلی محاسبه می‌شود.

P_j= جمعیت در حوزه نفوذگره j ام.

k_j=سطح کاربری‌های جاذب سفر در حوزه نفوذ گره j ام است.

همچنین در تعیین مسیر خطوط اصلی حمل و نقل همگانی، محدودیت‌های مختلفی وجود دارد که بخشی از آنها مربوط به محدودیت‌های فیزیکی (کالبدی) معابر بوده و بخشی دیگر به سیاست‌های طراحی مربوط می‌شود. محدودیت‌هایی که در این تحقیق درنظر گرفته شده و در الگوریتم حل مسئله پیش‌بینی شده‌اند عبارتند از: ۱- محدودیت مربوط به خصوصیات فیزیکی و عملکردی معابر به این معنا که معابر باید امکان عبور خطوط LRT و BRT را داشته باشند. ۲- محدودیت دیگر در ارتباط با محدودیت بودجه است. در این مطالعه جهت حفظ شرایط واقعی (اجرایی بودن نتایج مطالعه) و امکان مقایسه خطوط جدید با خطوط موجود، محدودیت بودجه به شکل محدودیت طول خطوط در حل مسئله لحاظ گردیده است. ۳- شرط ایجاد دسترسی خطوط به حرم مطهر به صورت دسترسی مستقیم و یا دسترسی با حداکثر یک بار تغییر خط در الگوریتم حل مسئله لحاظ شده است. ۴- شرط عدم عبور دو خط از یک کمان.

متغیرهای تحقیق: در نظریه توسعه پایدار شهری، سیستم حمل و نقل متکی بر روش‌های پیاده روی، دوچرخه سواری و حمل و نقل همگانی است (Cliath, 2009: 20). از این منظر سیستم حمل و نقل همگانی جایگاه مهمی داشته و باید خصوصیات ویژه‌ای داشته باشد. این خصوصیات شامل حداکثر پوشش دهی به مناطق پرجمعیت، نواحی با سطح اشتغال بالا و کاربری‌های جاذب سفر است (Stead and Marshall, 2001: 124). توجه به عوامل فوق تضمین کننده حداکثر شدن دسترسی سیستم خواهد بود که این مسئله مبنای اولیه انتخاب متغیرهای تحقیق بوده است. بر این اساس ابتدا لیستی از متغیرهای مؤثر در طراحی مسیر سیستم‌های حمل و نقل همگانی تهیه شد. سپس با بکارگیری روش دلفی و استفاده از پرسشنامه و کسب نظرات کارشناسان با جامعه آماری تعداد ۳۸ نفر از اعضاء گروه ترافیک سازمان نظام مهندسی خراسان رضوی، متغیرهای تحقیق تدقیق و

۱- حوزه نفوذ هر گره، محدوده اطراف آن تا شعاع ۴۰۰ متر در نظر گرفته شده است و مقادیر متغیرهای تحقیق (نظیر جمعیت و سطح کاربری‌های جاذب سفر) با استفاده از قابلیت‌های نرم افزار GIS محاسبه شده است.

نهایی شده است. این متغیرها شامل: جمعیت نواحی، تعداد شاغلان در محل شغل، تعداد واحد کسبی (نماینده کاربری تجاری)، تعداد کارمند در محل شغل (نماینده کاربری اداری)، مساحت پارک‌ها (نماینده کاربری تفریحی) می‌باشند. مجموع سطح سه کاربری اداری، تجاری و تفریحی به‌عنوان سطح کاربری‌های جاذب سفر در نظر گرفته شده است.

روش محاسبه شاخص دسترسی: بعد از تعیین گزینه اصلاحی مسیر استخوان‌بندی حمل و نقل همگانی، جهت مقایسه گزینه اصلاحی با گزینه وضع موجود شاخص دسترسی به هر دو گزینه محاسبه شده است. شاخص دسترسی بر پایه رابطه هنسن تعریف گردیده است. رابطه (۲)، فرم کلی فرمول هنسن را نشان می‌دهد.

$$A=\sum(K.d^{-2}) \qquad (۲)$$

که در آن A شاخص دسترسی به سیستم، K قدرت تولید و جذب سفر مبدأ و مقصد و d عامل فاصله است. علامت $\sum$ نیز به معنای جمع بستن نتایج رابطه بر روی تمام نواحی ترافیکی می‌باشد.

شایان ذکر است عامل فاصله (اعم از فاصله فیزیکی، فاصله طبقاتی، فاصله هزینه‌ای، فاصله زمانی و...) و عامل قدرت مبدأ- مقصد (متغیرهایی نظیر جمعیت، اشتغال، کاربری و غیره) عوامل کلیدی در محاسبه شاخص دسترسی هستند (رهنما و فرقانی، ۱۳۸۷: ۷۸).

با توجه به نکات فوق می‌توان نتیجه گرفت که شاخص دسترسی به استخوان‌بندی حمل و نقل همگانی باید متشکل از عواملی جهت در نظر گرفتن دسترسی از مبدأ به خطوط LRT و BRT و از خطوط مذکور به مقاصد مهم سفر باشد. در این تحقیق شاخص کلی دسترسی به صورت مجموع سه شاخص دسترسی جمعیت نواحی از مبدأ سفر به خطوط LRT و BRT، شاخص دسترسی از خطوط LRT و BRT به کاربری‌های عمده جاذب سفر در مقصد و شاخص دسترسی از خطوط LRT و BRT به نواحی اشتغال در مقصد در نظر گرفته شده است؛ بنابراین شاخص دسترسی کلی به صورت مجموع سه شاخص جزئی فوق الذکر و به شرح زیر تعریف و محاسبه شده است:

شاخص دسترسی کل:

$$A_t = A_{pi} + A_{ej} + A_{kj} \qquad (۳)$$

که در آن

شاخص دسترسی جمعیت به خطوط در مبدأ i

$$A_{pi} = \sum_{i=1}^{n} P_i\, d_i^{-2} \qquad (۴)$$

شاخص دسترسی محل‌های عمده اشتغال به خطوط درمقصد j

$$A_{ej} = \sum_{j=1}^{n} E_j\, d_i^{-2} \qquad (۵)$$

شاخص دسترسی کاربری‌های جاذب سفر به خطوط درمقصد j

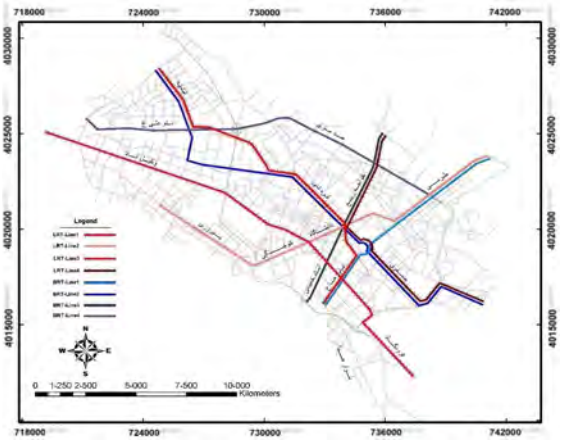
$$A_{kj} = \sum_{j=1}^{n} K_j\, d_i^{-2} \qquad (۶)$$

در روابط ۴ تا ۶، پارامتر d_i عبارتست از فاصله مرکز ناحیه i تا نزدیک‌ترین خط LRT یا BRT که در شرایط دو گزینه وضع موجود و پیشنهادی تحقیق با استفاده از امکانات نرم‌افزار GIS محاسبه شده است.

بحث اصلی

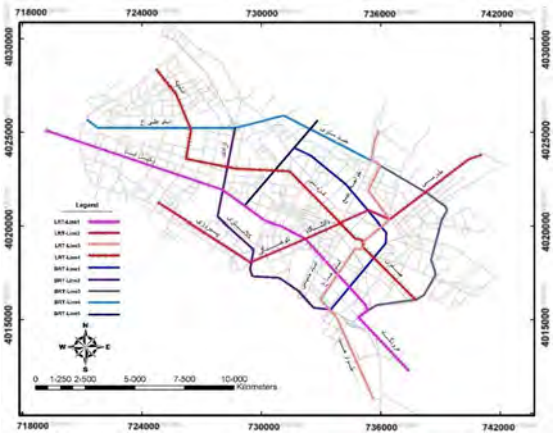
خطوط اصلاح شده: پس از اجرای الگوریتم تحقیق، گزینه اصلاح شده مسیر خطوط استخوان بندی حمل و نقل همگانی تولید گردیده و در نرم افزار GIS پیاده سازی شده است. مسیر خطوط سیستم‌های LRT و BRT شهر مشهد در حالت گزینه وضع موجود و گزینه اصلاحی (نتیجه تحقیق) در اشکال ۱ و ۲ نمایش داده شده است. با توجه به نتیجه به دست آمده، طول کل خطوط BRT و LRT شهر مشهد در حالت گزینه موجود ۱۳۸۸۳۰ متر است و خطوط مذکور در طول ۶۴۱۷۲ متر (یعنی حدود ۵۰ درصد طول کل مسیر) با یکدیگر همپوشانی دارند در حالیکه خطوط در گزینه اصلاحی با طول کل ۱۳۷۳۷۴ متر، در مجموع طول کمتری از گزینه موجود داشته و هیچگونه همپوشانی با هم ندارند.

محاسبه شاخص دسترسی به خطوط: شاخص دسترسی کلی به خطوط استخوان‌بندی حمل و نقل همگانی در دو حالت گزینه وضع موجود و گزینه اصلاحی نتیجه تحقیق به تفکیک ۲۵۳ ناحیه ترافیکی با استفاده از رابطه (۳) محاسبه گردیده است. نتیجه به‌دست آمده در شکل‌های ۳ و ۴ ارائه شده است.



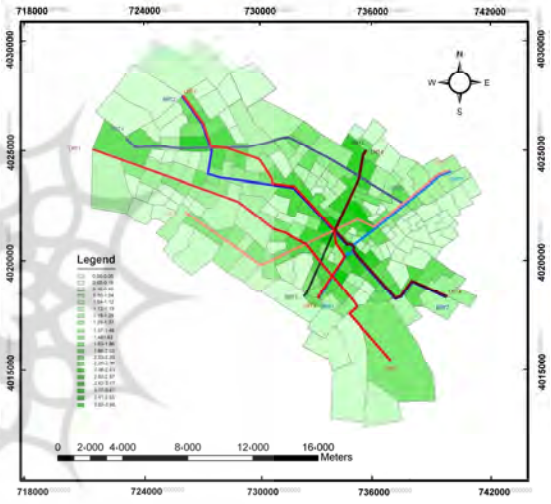
شکل ۱: نقشه خطوط موجود LRT وBRT و شبکه خیابانی شهر مشهد

مأخذ: (ممتحن، ۱۳۸۲) و (ممتحن، ۱۳۸۷)



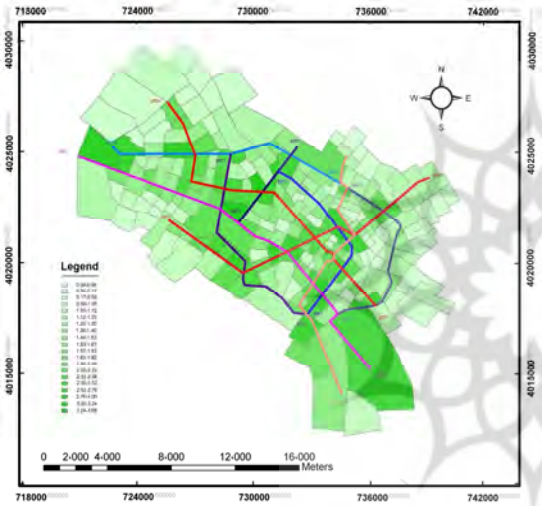
شکل ۲: نقشه خطوط اصلاحی LRT وBRT و شبکه خیابانی شهر مشهد

مأخذ: نگارندگان



شکل ۳: نقشه‌نواحی‌ترافیکی‌وتغییرات شاخص‌دسترسی در حالت گزینه موجود LRT وBRT شهر مشهد

مأخذ: نگارندگان



شکل ۴: نقشه‌نواحی‌ترافیکی‌وتغییرات شاخص‌دسترسی در حالت گزینه اصلاحی LRT وBRT شهر مشهد

مأخذ: نگارندگان

آزمون فرضیه تحقیق: از مقایسه ظاهری گزینه وضع موجود (با همپوشانی ۵۰ درصدی خطوط) با گزینه پیشنهادی تحقیق (بدون همپوشانی) مشخص می‌شود گزینه پیشنهادی تحقیق دارای سطح پوشش بهتر و بیشتری است. افزایش سطح پوشش خطوط را می‌توان به معنای ارتقاء سطح دسترسی ساکنین به خطوط دانست. با این وجود این نتیجه باید به صورت آماری مورد آزمون قرار گیرد. بنابراین فرضیه زیر مورد آزمون قرار می‌گیرد: "به نظر می‌رسد متوسط شاخص دسترسی نواحی ۲۵۳ گانه ترافیکی شهر مشهد به استخوان‌بندی حمل و نقل همگانی در حالت گزینه نتیجه تحقیق به‌طور معناداری بیشتر از گزینه وضع موجود است".

شایان ذکر است آزمون میانگین انواع مختلفی دارد که حسب شرایط تحقیق، نوع آزمون مشخص می‌شود. در این تحقیق با توجه به نوع داده‌ها و ماهیت مستقل گزینه‌هایی که با هم مقایسه می‌شوند، از آزمون برابری میانگین دو گروه مستقل[2] به کمک نرم‌افزار SPSS استفاده شده است. نتیجه آزمون فرضیه تحقیق در جداول ۱ و ۲ ارائه شده است.

2. Independent Samples T Test

جدول ۱: نتیجه آزمون فرضیه تحقیق (Group Statistics)

	Groups	N	Mean (m)	Std. Deviation	Std. Error Mean
Mean dist.	(موجود) ۱	۲۵۳	۰,۵۰۵۵	۰,۹۹۷۸۰	۰,۰۶۲۷۳
	(پیشنهادی) ۲	۲۵۳	۱,۴۴۷۸	۵,۱۵۴۰۲	۰,۳۲۴۰۳

جدول ۲: نتیجه آزمون فرضیه تحقیق (Independent Samples Test)

		Levene's test for equality of variances		T-Test for equality of means		
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)
Mean dist.	Equal variances assumed	۲۳,۹۷۸	۰,۰۰۰	-۲,۸۵۵	۵۰۴	۰,۰۰۴
	Equal variances not assumed			-۲,۸۵۵	۲۷۰,۸۶۳	۰,۰۰۵

مأخذ: نگارندگان

با توجه به جدول ۱ متوسط شاخص دسترسی در حالت گزینه مصوب فعلی ۰,۵۰۵۵ و در حالت گزینه پیشنهادی تحقیق ۱,۴۴۷۸ می‌باشد. با توجه به نتیجه ارائه شده در جدول ۲ (کمتر بودن پارامتر .Sig از ۰,۰۵) فرض تحقیق تأیید می‌شود. در تفسیر نتیجه به‌دست آمده باید گفت، مسیرهای موجود خطوط LRT و BRT در شهر مشهد بر مبنای روش بکار گرفته شده در مطالعات جامع حمل و نقل مشهد تعیین شده‌اند. این روش شامل شبیه‌سازی سناریوهای مختلف مسیر خطوط در محیط نرم‌افزار EMME/2[3] (نرم‌افزار تخصیص ترافیک به شبکه) و تعیین سناریوی برتر از طریق بهینه‌سازی شاخص‌های ترافیکی (نظیر سرعت متوسط در شبکه) بوده است. به عبارت دیگر رویکرد حاکم بر طراحی مسیرهای موجود استخوان‌بندی حمل و نقل همگانی در شهر مشهد (و اغلب کلانشهرهای کشور)، تفکرات مبتنی بر سرعت و حرکت (Movement) است در حالی‌که در این تحقیق تفکر مبتنی بر دسترسی (Accessibility) مبنا بوده و در نتیجه گزینه پیشنهادی تحقیق هم به لحاظ شاخص دسترسی به طور معناداری از گزینه وضع موجود در شرایط بهتری قرار دارد و دسترسی به مراتب بیشتری را برای مردم شهر ایجاد می‌کند. این در حالی است که منشأ تفکرات مبتنی بر سرعت و حرکت در برنامه ریزی سیستم حمل و نقل شهری به دهه‌های ۵۰ تا ۷۰ میلادی (دوران استیلای خودروهای شخصی بر شهرهای کشورهای صنعتی) برمی‌گردد در حالیکه امروزه به دلیل مقابله با مشکلات ترافیکی شهرهای بزرگ و خسارات سنگین آن (نظیر آلودگی هوا، وقت تلف شده شهروندان و مصرف بی‌رویه منابع محدود انرژی) اصول پایداری شهری مورد توجه بوده و در نتیجه اصل دسترسی به عنوان یکی از جنبه‌های توسعه پایدار شهری مورد توجه جدی برنامه‌ریزان شهری قرار گرفته و جایگزین اصل سرعت و حرکت در برنامه‌ریزی و طراحی سیستم‌های حمل و نقل شهری شده است (شهیدی، ۱۳۸۰: ۹۱). در این میان سیستم‌های حمل و نقل همگانی به‌دلیل نقش مهمی که در جابه‌جایی‌های شهری برعهده دارند نیازمند توجه بیشتری بوده و افزایش سطح دسترسی آنها می‌تواند به عنوان یک عامل اساسی در تشویق و ترغیب مردم به استفاده از این سیستم‌ها (به جای وسایل نقلیه شخصی) تلقی شود و این مسئله‌ای است که در کشور ما با توجه به وضعیت نامناسب ترافیک در اغلب شهرهای بزرگ، باید بیشتر مورد توجه قرار گیرد.

جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

دسترسی، مهمترین ویژگی تسهیلات حمل و نقل همگانی در شهرهای پایدار است (که باید بیشینه شود). همچنین دسترسی یکسان به خدمات شهری به عنوان یکی از معیارهای عدالت اجتماعی شناخته شده است. با

3. Equilibre Multimodal, Multimodal Equilibrium

توجه به اهمیت سیستم‌های حمل و نقل همگانی و نقش مهمی که این سیستم‌ها در کاهش استفاده از وسایل نقلیه شخصی دارند، افزایش سطح پوشش و حداکثر نمودن دسترسی آنها به عنوان مهمترین معیار در طراحی سیستم‌های مذکور باید توجه شود؛ علاوه بر این در طراحی شبکه استخوان‌بندی حمل و نقل همگانی شهرها، معیارهای مختلف دیگری هم باید در نظر گرفته شود که بهینه‌سازی تمام آنها در یک شبکه مستلزم بکارگیری روش‌های پیچیده‌ای است. روش الگوریتم کلونی مورچگان که یکی از روش‌های شناخته شده طراحی شبکه است این قابلیت را دارد که سطح قابل قبولی از معیارهای مورد نظر را از طریق تعریف صحیح تابع هدف و محدودیت‌های روش، تأمین نماید آنچنانکه در این تحقیق با هدف حداکثر نمودن دسترسی سیستم، معیارهای جمعیت و سطح کاربری‌های جاذب سفر نواحی در تابع هدف الگوریتم استفاده شد و سایر عوامل تأثیرگذار نیز به‌عنوان محدودیت تعریف شدند. نتیجه تحقیق نشان داد، شبکه استخوان‌بندی حمل و نقل همگانی تولید شده در اثر بکارگیری این روش در مقایسه با شبکه موجود به لحاظ افزایش شاخص دسترسی حائز تفاوت معناداری است و به وضوح سطح پوشش بیشتری را در شهر ایجاد می‌نماید؛ همچنین از آنجا که وضعیت فیزیکی وضع موجود معابر به عنوان یکی از محدودیت‌های الگوریتم روش تعریف شده است، شبکه پیشنهادی در مرحله اجرا با مشکلات کمتری روبرو خواهد بود. نتیجه به دست آمده در این تحقیق، مثال خوبی برای نشان دادن تقابل رویکرد مبتنی بر سرعت و حرکت با رویکرد مبتنی بر دسترسی در طراحی استخوان‌بندی سیستم‌های حمل و نقل همگانی است و اینکه طراحان سیستم‌های مذکور با اتخاذ هر یک از رویکردهای فوق‌الذکر، ممکن است به نتایج متفاوتی برسند که نباید به این تفاوت‌ها بی‌توجه بود.

پیشنهادها

در نهایت پیشنهادات زیر جهت تعریف و انجام مطالعات آتی ارائه می‌شود:

۱- از آنجا که مشاورین ترافیکی معمولاً اصول مشابهی را در مطالعات شهرهای مختلف برای طراحی سیستم‌های حمل و نقل در نظر می‌گیرند، با توجه به نتایج این تحقیق که تفاوت نتایج طراحی شبکه سیستم حمل و نقل همگانی براساس اصول توسعه‌پایدار شهری (مبنا قرارگرفتن اصل دسترسی) نسبت به روش‌های مبتنی بر سرعت و حرکت را نشان داد، پیشنهاد می‌شود مطالعات مشابه در سایر شهرهای کشور انجام شده و در صورت اثبات تفاوت معنادار نتایج، در برنامه‌های توسعه آتی خطوط، اصلاحات مقتضی به عمل آید.

۲- روش الگوریتم کلونی مورچگان در فرآیند طراحی شبکه، وابسته به تابع هدف تعریف شده برای الگوریتم می‌باشد. با توجه به اینکه پارامترهای مختلفی (نظیر زمان صرف شده در شبکه، میزان مصرف منابع محدود انرژی، میزان تولید و جذب سفر نواحی، میزان تولید آلاینده‌های زیست محیطی، سرعت متوسط در شبکه و میزان هزینه و فایده) را می‌توان در تابع هدف قرارداد، پیشنهاد می‌شود در مطالعات آتی با تغییر تابع هدف، شبکه‌های جدید تولید شده و به لحاظ سطح پوشش و شاخص دسترسی با نتایج این تحقیق مقایسه شود.

منابع

۱. آیتی، اسماعیل، باقری، محمد. ۱۳۸۵. روش پوششی برای مسیریابی بهینه قطار سبک شهری (LRT)، پژوهشنامه حمل و نقل، سال سوم، شماره اول، ص ۱۱-۱.

۲. ابوالقاسمی، فرهاد. ۱۳۸۰. کاربرد الگوریتم سیستم مورچه‌ها در مسئله طراحی شبکه، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، استاد راهنما: حسین پورزاهدی، موسسه عالی پژوهش در برنامه‌ریزی و توسعه.

۳. افندی‌زاده، شهریار، غفاری، احمدرضا، غفاری، کلانتری، نوید. ۱۳۹۰. ارزیابی اثر عدم قطعیت جعبه‌ای تقاضا در طراحی شبکه پیوسته و گسسته حمل و نقل با استفاده از الگوریتم‌های ژنتیک و کلونی مورچگان، فصلنامه مهندسی حمل و نقل، سال دوم، شماره سوم، ص۲۲۱-۲۰۵.

۴. امامی، میترا، میرکریمی، سیدحامد، سلمان ماهینی، عبدالرسول. ۱۳۹۷. مسیریابی بهینه خطوط لوله انتقال گاز طبیعی به کمک روش LCPA. منطقه مورد مطالعه: دهنه زاو استان گلستان، آمایش جغرافیایی فضا، سال هشتم، شماره ۲۷، ص ۷۷- ۱۰۰.

۵. براری، معصومه، رضویان، محمدتقی، جمیله، توکلی‌نیا. ۱۳۹۷. ارزیابی شاخص‌های پایداری حمل و نقل شهری با رویکرد اقتصاد سبز. مطالعه موردی: شهر ساری، آمایش جغرافیایی فضا، سال هشتم، شماره ۳۰، ص ۱۰۵-۱۲۰.

۶. حسنی‌نسب، سیدشهاب؛ صفارزاده، محمود؛ ممدوحی، امیررضا. ۱۳۹۰. روشی برای مسیریابی بهینه در حمل و نقل همگانی یکپارچه شبکه اتوبوس و اتوبوس تندرو، مهندسی حمل و نقل، سال دوم، شماره چهارم، ص ۳۱۶-۳۰۳.

۷. خمر، غلامعلی. ۱۳۹۶. کاربرد الگوریتم اجتماع مورچه در مسیریابی بهینه گروه‌های امدادی بین شهری، آمایش جغرافیایی فضا، سال هفتم، شماره ۲۳، ص ۴۱-۵۲.

۸. رهنما، محمد رحیم، فرقانی، حجت. ۱۳۸۷. برنامه‌ریزی دسترسی به اتوبوس در ایران: شهر مشهد، فصلنامه مدرس علوم انسانی، دوره ۱۲، شماره ۲، ص ۹۶-۷۳.

۹. شهیدی، محمدحسن. ۱۳۸۰. حمل و نقل پایدار شهری، فصلنامه مدیریت شهری، شماره ۵، ص ۹۳-۸۸.

۱۰. طرح هفتم. ۱۳۹۱. ارزیابی کریدورهای مناسب سیستم‌های حمل و نقل انبوه تلفیقی برای شهر مشهد، بهنگام‌سازی مطالعات جامع حمل و نقل مشهد، مهندسین مشاور طرح هفتم، گزارش شماره ۶۰-۳۰۰، کارفرما: سازمان حمل و نقل و ترافیک شهرداری مشهد.

۱۱. عباسقلی‌زاده، حامد. ۱۳۹۱. تعیین امتداد برای حمل و نقل سریع به روش حداکثر پوشش، پژوهشنامه حمل و نقل، سال نهم، شماره دوم، ص ۱۷۳-۱۶۱.

۱۲. لرکی، حسین، ملک‌زاده گورادل، نسرین، نخعی، فردیس، یوسفی خوشبخت، مجید. ۱۳۹۲. یک روش ترکیبی اصلاحی فرا ابتکاری برای حل مسئله مسیریابی وسیله نقلیه ظرفیت‌دار، پژوهشنامه حمل‌ونقل، سال‌دهم، شماره اول، ص ۸۸-۷۳.

۱۳. مطیعیان، حمید، سعدی مسگری، محمد، نعیمی، احمد. ۱۳۹۱. بهینه‌سازی مسیر تردد سرویس‌های حمل و نقل یک شرکت با استفاده از خوشه‌بندی و الگوریتم ژنتیک، فصلنامه مدیریت حمل و نقل، سال سوم، شماره چهارم، ص. ۳۷۸-۳۶۵.

۱۴. ممتحن. ۱۳۸۲. سیستم حمل و نقل همگانی پیشنهادی برای آینده: قطار سبک شهری، مطالعه سیستم حمل و نقل همگانی شهر مشهد، گزارش شماره ۰۳-۸۲، مرکز مطالعات حمل و نقل دانشگاه صنعتی شریف، کارفرما: سازمان حمل و نقل و ترافیک شهرداری مشهد.

۱۵. ممتحن. ۱۳۸۷. سیستم اتوبوسرانی تندرو شهر مشهد: اتوبوسرانی تندرو پیشنهادی برای شهر مشهد، طراحی شبکه ویژه اتوبوسرانی سریع، گزارش شماره ۰۲-۸۷، مرکز مطالعات و تحقیقات حمل و نقل دانشگاه صنعتی شریف، کارفرما: سازمان حمل و نقل و ترافیک شهرداری مشهد.

۱۶. نظم فر، حسین، علوی، سعیده، عشقی چهار برج، علی. ۱۳۹۷. تحلیل فضایی سکونتگاه‌های شهری استان گلستان از لحاظ شاخص‌های شهر سالم، آمایش جغرافیایی فضا، سال هشتم، شماره ۳۰، ص ۲۱۳-۲۲۸.

۱۷. وزارت کشور. ۱۳۸۶. معرفی سیستم یکپارچه حمل و نقل همگانی، معاونت عمرانی، دفتر حمل و نقل و دبیرخانه شورای عالی هماهنگی ترافیک شهرهای کشور، تهران.

18. Blair, N., Hine, J., and Bukhari, S.M.A. 2013. Analyzing the impact of network change on transport disadvantage: a GIS-based case study of Belfast, Journal of Transport Geography, 31: 192–200.
19. Burrows, P., Reed, K., Templer, K., and Walker, J. 2010. Efficient traffic routing using ACO, Computer Science, London.
20. Cliath, B.A. 2009. Guidelines for planning authorities on sustainable residential development in urban areas, Government of Ireland, Pub.19, Dublin.
21. Dorigo, M., and Stutzle, T. 2005. Ant Colony Optimization, mit press.
22. Dorsey, B. 2005. Mass transit trends and the role of unlimited access in transportation demand management, Journal of Transport Geography, 13(3): 235–246.
23. Ferenczi, M.R. 2012. Design and implementation of an Ant Colony Optimization algorithm for traffic

assignment, thesis for Master of Science, Politecnico Di Milano, Italy.
24. Gendreau, M., Laporte, G., and Mesa, J.A. 1995. Locating rapid transit lines, Journal of Advanced Transportation, 29: 145-162.
25. Ghoseiri, K., and Morshedsolouk, F. 2006. ACS-TS: Train Scheduling Using Ant Colony System, Hindawi Publishing Corporation, Journal of Applied Mathematics and Descision Science, Article ID 95060, pp: 1-28.
26. Goss, S., Aron, S., Deneubourg, J.L., and Pasteels, J.M. 1989. Self-organized shortcuts in the Argentine ant, Naturwissenschaften, 76: 579–581.
27. Karou, S., and Hull, A. 2014. Accessibility modelling: predicting the impact of planned transport infrastructure on accessibility patterns in Edinburgh, UK, Journal of Transport Geography, 35: 1–11.
28. Lin, T., Xia, J., Robinson, T.P., Goulias, K.G., Church, R.L., Olaru, D., Tapin, J., and Han, R. 2014. Spatial analysis of access to and accessibility surrounding train stations: a case study of accessibility for the elderly in Perth, Western Australia, Journal of Transport Geography, 39: 111–120.
29. Mazloumi, E., Mesbah, M., Ceder, A., Moridpour, S., and Currie, G. 2012. Efficient transit schedule design of timing points: a comparison of ant colony and genetic algorithms, Transportation Research Part B: Methodological, 46(1): 217-234.
30. Monterio, M., Fontes, D., and Fontes, F. 2012. Ant Colony Optimization: a literature survey, FEP working papers, ISSN: 0870-8541.
31. Rai, A., and Verma, A. 2009. Feeder mass transit network design using ACO, Indian Journal of Transport Management, 18: 23-36.
32. Stead, D., and Marshall, S. 2001. The relationships between urban form and travel patterns. An international review and evaluation, EJTIR, 1(2): 113–141.
33. Yu, B., Yang, Z., Cheng, C., and Liu, C. 2005. Optimizing bus transit network with parallel ant colony algorithm, Eastern Asia Society for Transportation Studies, 5: 374-389.
34. Vitins B.J., and Axhausen, K.W. 2007. Optimization of Large Transport Networks Using the Ant Colony Heuristic, 7th Swiss Transport Research Conference, Zürich.
35. Vuchic, V. 2005. Urban transit, Operations, Planning and Economics, Jon Wiley, U.S.A.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی