

اندازه‌گیری زمینه-آگاه تشابه خطوط سیر مبتنی بر الگوریتم MOPSO و نظریه فازی

بهنام تشیع^۱

محمد شریف^۲

تاریخ دریافت مقاله: ۹۶/۱۰/۲۳

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۷/۰۴/۰۸

چکیده

در سال‌های اخیر، مطالعه رفتار اشیاء نقطه‌ای و تجزیه و تحلیل خطوط سیر آن‌ها در علوم مختلف، بویژه در علوم اطلاعات مکانی^۳، مورد توجه بسیاری از محققان قرار گرفته است. مطالعات مذکور به درک صحیح الگوهای رفتاری-حرکتی این اشیاء کمک شایانی می‌کنند. نحوه حرکت اشیاء تا حد زیادی متأثر از زمینه‌ای است که حرکت در آن صورت می‌پذیرد. به همین دلیل، تحلیل خطوط سیر اشیا صرفاً با در نظر گرفتن ابعاد مکانی و مکانی-زمانی به درستی شرایط حین حرکت را منعکس نمی‌کند و منجر به نتایج غیرواقعی می‌شود. با این حال، روش‌های موجود اندازه‌گیری فاصله تنها قادر به اندازه‌گیری تشابه خطوط سیر در ابعاد مکانی و مکانی-زمانی هستند و معمولاً بعد زمینه را نادیده می‌گیرند. بنابراین، در این تحقیق، روشی نوین توسعه داده شده است، تا بتوان از طیف وسیعی از اطلاعات زمینه‌ای کمی و کیفی داخلی و خارجی در کنار ابعاد مکانی-زمانی در فرآیند اندازه‌گیری تشابه خطوط سیر غیر هم‌اندازه استفاده کرد. در توسعه روش مذکور، از سیستم‌های استنتاج فازی برای مدلسازی تشابه خطوط سیر با استفاده از انواع داده‌های حرکتی و اطلاعات زمینه‌ای بهره گرفته شده است. برای افزایش کارایی روش پیشنهادی از ساختار سلسله مراتبی مبتنی بر مسئله و تولید و تنظیم همزمان توابع عضویت و مجموعه قواعد از طریق یادگیری استفاده شده است. عملکرد این سیستم با اعمال آن بر روی مجموعه خطوط سیر واقعی افراد پیاده و دوچرخه‌سوار به همراه اطلاعات زمینه‌ای آنها حین حرکت مورد ارزیابی قرار گرفته است. نتایج بیانگر کارآمدی روش پیشنهادی در اندازه‌گیری زمینه-آگاه خطوط سیر با اندازه‌های گوناگون و در ابعاد مختلف است.

واژه‌های کلیدی: خط سیر، اندازه‌گیری تشابه، زمینه-آگاهی، HFIS، بهینه‌سازی چندهدفه

۱- استادیار گروه مهندسی نقشه‌برداری، دانشکده مهندسی عمران و حمل و نقل - دانشگاه اصفهان (نویسنده مسئول) B.Tashayo@trn.ui.ac.ir

۲- دکتری سیستم‌های اطلاعات مکانی - دانشکده مهندسی نقشه‌برداری - دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی mvsharif@gmail.com

۱- مقدمه

زمینه داخلی به نوبه خود به سه دسته زمینه‌های انگیزه^۴، حرکت^۵ و چگونگی^۶ تقسیم‌بندی می‌شود. زمینه خارجی شامل هرگونه عامل بیرونی است که بر حرکت تأثیر می‌گذارد. با توجه به این حقیقت که حرکت یک موجودیت در محیط صورت می‌پذیرد و بشدت از وقایع جغرافیایی تأثیر می‌پذیرد، زمینه خارجی، زمینه محیطی^۷ نیز نامیده می‌شود (Sharif and Alesheikh 2017).

اطلاعات زمینه‌ای از منابع مختلف (مانند حسگرها، محتوای کاربر تولید^۸) و با دقت‌های گوناگونی بدست می‌آیند. این اطلاعات ممکن است به صورت کمی (عددی) یا کیفی (توصیفی) باشند.

به عنوان مثال، میزان علاقمندی به مسیر کیفی و سرعت حرکت کمی است. تاکنون تعداد معدودی از تحقیقات از اطلاعات زمینه‌ای کمی در فرآیند اندازه‌گیری تشابه استفاده کرده‌اند (Buchin et al. 2014, Sharif and Alesheikh 2017). براساس دانش نویسندگان، هیچ یک از روش‌های متداول اندازه‌گیری میزان مشابهت خطوط سیر، قادر به در نظر گرفتن همزمان اطلاعات زمینه‌ای کمی و کیفی و عدم قطعیت موجود در پارامترهای مورد استفاده نیستند.

استفاده از سیستم‌های استنتاج فازی در فرآیند اندازه‌گیری میزان مشابهت خطوط سیر امکان ایجاد یک مدل مناسب از اطلاعات قابل دسترس ناهمگن، توصیفی و غیرقطعی را فراهم می‌سازد. علاوه بر این، انعطاف‌پذیری این مدل‌ها در بکارگیری داده‌های ناهمگن کمی و کیفی، به استفاده عملی از آن‌ها در شناخت الگوهای رفتاری-حرکتی اشیاء متحرک کمک می‌رساند. با توجه به پیچیدگی ارتباط بین خطوط سیر، ایجاد سیستم‌های فازی براساس دانش کارشناسی بسیار دشوار است. علاوه بر این، تعداد بالای پارامترهای زمینه‌ای، مسئله اندازه‌گیری تشابه خطوط سیر را به یک مسئله دارای ابعاد بالا تبدیل می‌کند. مزایای استفاده

امروزه مطالعه حرکت اشیاء نقطه‌ای و خطوط سیر آنها مورد توجه بسیاری از محققان در رشته‌های مختلف (مانند علوم اطلاعات مکانی، زیست‌شناسی، حمل و نقل) قرار گرفته است. مطالعات مذکور منجر به شناخت الگوهای رفتاری-حرکتی این اشیاء می‌شوند. در سال‌های اخیر، به موجب پیشرفت‌های فراوان در فناوری‌های ناوبری، موقعیت‌یابی و دنبال کننده، حجم عظیمی از داده‌های حرکتی، بویژه داده‌های اشیاء نقطه‌ای^۱ (مانند انسان، وسایل نقلیه، حیوان) تولید شده است (Magdy et al. 2018).

با حرکت یک شیء نقطه‌ای در طول زمان، دنباله‌ای از موقعیت آن ثبت می‌شود که اصطلاحاً خط سیر نامیده می‌شود (Spaccapietra et al. 2013).

از داده‌کاوی^۲، به عنوان روش اصلی در کشف دانش جغرافیایی^۳، در پایگاه داده‌های حرکتی استفاده می‌شود تا شناخت بهتری از حرکت اشیاء نقطه‌ای حاصل شود. از جمله روش‌های پرکاربرد داده‌کاوی، تحلیل تشابه خطوط سیر اشیاء نقطه‌ای است که عموماً با بهره‌گیری از توابع اندازه‌گیری فاصله انجام می‌پذیرد.

این در حالی است که توابع موجود اندازه‌گیری فاصله به نحوی طراحی شده‌اند که تنها ابعاد مکانی و مکانی-زمانی خطوط سیر را پوشش می‌دهند، اما قادر به اندازه‌گیری تشابه شرایط حین حرکت یا به عبارت دیگر زمینه‌ای که حرکت در آن انجام گرفته، نیستند.

تعاریف متفاوتی برای واژه «زمینه» در ادبیات پیشنهاد شده است. زمینه برای اشیاء متحرک بخشی از شرایط است که می‌تواند روی حرکت تأثیر بگذارد یا از حرکت تأثیر بپذیرد. زمینه به دو بخش داخلی (مربوط به شیء متحرک) و خارجی (مربوط به محیطی که در آن حرکت انجام گرفته) تقسیم می‌شود.

4- Motivation

5- Movement

6- Modality

7- Milieu

8- User Generater Content

1-Moving Objects

2- Data Mining

3- Geographic Knowledge Discovery

میزان مشابهت خطوط سیر و نقاط قوت و ضعف آنها تشریح می‌گردد. در بخش سوم مدل پیشنهادی برای اندازه‌گیری زمینه-آگاه تشابه خطوط سیر ارائه می‌گردد. بخش چهارم به معرفی داده‌های مورد استفاده و منطقه مورد مطالعه پرداخته و نتایج حاصل از مدل پیشنهادی را بیان کرده و به تفسیر آن می‌پردازد.

در نهایت در بخش پنجم نتیجه‌گیری و پیشنهادات برای تحقیقات آینده ارائه می‌گردد.

۲- مروری بر تحقیقات پیشین

در موضوع اندازه‌گیری میزان مشابهت خطوط سیر، چالش اصلی در نحوه تعریف واژه «تشابه» است. یک درک کلی این است که هر چقدر دو شیء ویژگی‌های مشترک بیشتری داشته باشند شباهت بیشتری به هم دارند و برعکس (Lin 1998).

بطور خاص، خطوط سیر می‌توانند مشابه فرض شوند اگر دارای شکل مشابه باشند (از نظر کشیدگی یا مقدار متراکم)، تشابهاتی در پارامترهای حرکتی استخراج شده به اشتراک گذارند (سرعت میانگین مشابه)، از مکان‌های مشابه عبور کرده باشند، الگوهای مشابهی را نمایان کنند، بیانگر ترتیب خاص یا روند یکنواختی باشند (Laube 2014) و/یا در زمینه‌های مشترک ایجاد شده باشند. این گونه تغییرات باعث شده اندازه‌گیری تشابه خطوط سیر در قالب انواع روش‌ها، ابعاد، کاربردها و مقیاس‌ها بررسی شوند. از منظر توابع اندازه‌گیری فاصله، خطوط سیر هم بصورت یکپارچه مورد مقایسه قرار می‌گیرند و هم با مقایسه جزئیات تک تک المان‌های تشکیل دهنده قیاس می‌شوند (Abbaspour et al. 2017).

دوج^۲ و همکاران بر این باورند که توابع اندازه‌گیری فاصله بر پایه دو گروه تجزیه و تحلیل سری‌های زمانی^۳ و هندسه محاسباتی^۴ بنا شده‌اند (Dodge et al. 2012).

از سیستم‌های استنتاج فازی متداول در حل این گونه مسائل به دلیل افزایش نمایی تعداد قواعد و کاهش دقت، در مقابل معایب آن کمرنگ می‌گردد. برای حل این مشکل راه‌حل‌های مختلفی در سطح پایگاه داده، پایگاه قواعد و یا برای هر دو سطح ارائه شده است. ولی با افزایش ابعاد مسئله این راه‌حل‌ها کارایی خود را در کنترل دقت و تعداد قواعد از دست می‌دهند (Tashayo and Alimohammadi 2016). شریف و همکاران، استفاده از سیستم‌های استنتاج فازی سلسله مراتبی را برای اندازه‌گیری میزان مشابهت خطوط سیر به عنوان یک حوزه تحقیقاتی در حال انجام، معرفی کردند (Sharif et al. 2018). روش پیشنهادی آنها ایجاد و توسعه سیستم‌های فازی بر پایه کمی یا کیفی بودن متغیرها بوده است. این روش نیز با افزایش حجم داده‌ها کارایی خود را از دست می‌دهد.

مشارکت اصلی این تحقیق ارائه یک روش نوین و جامع با استفاده از سیستم‌های استنتاج فازی سلسله مراتبی ترکیبی برای اندازه‌گیری تشابه خطوط سیر با بهره‌گیری از طیف وسیعی از اطلاعات زمینه‌ای کمی و کیفی است. در روش پیشنهادی، ایجاد و توسعه سیستم‌های فازی بر پایه شباهت پارامترها به صورت نقطه به نقطه و یا شباهت آنها در کل خط سیر می‌باشد. با توجه به ماهیت مسئله اندازه‌گیری تشابه خطوط سیر دو ویژگی انعطاف‌پذیری و کارایی در توسعه سیستم‌ها مورد نظر بوده است. برای ایجاد انعطاف‌پذیری لازم از مدل‌سازی بیانی و برای ارتقاء کارایی مدل از ساختار سلسله مراتبی و یادگیری با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات چند هدفه (MOPSO) بهره گرفته شده است. به منظور ارزیابی روش پیشنهادی، دو مجموعه داده خط سیر واقعی شامل افراد پیاده و دوچرخه‌سوار به همراه اطلاعات زمینه‌ای آنها حین حرکت مورد استفاده قرار گرفته است.

ادامه مقاله در چهار بخش به شرح زیر تدوین شده است: در بخش دوم تحقیقات انجام شده در حوزه اندازه‌گیری

2- Dodge

3- Time Series Analysis

4- Computational Geometry

1- Multi-Objective Particle Swarm Optimization

رائوبال نیز تشابه خطوط سیر کاربران تلفن های همراه را در فضای سه بعدی (x, y, t) محاسبه کرده اند (Yuan and Raubal 2014). علاوه بر این، دوج و همکاران اندازه گیری چند بعدی تشابه خطوط سیر را در دو مجموعه داده (خطوط سیر گردبادهای اقیانوس اطلس شمالی و خطوط سیر پیک شهری) نه تنها در ابعاد مکانی-زمانی بلکه با بکارگیری پارامترهای حرکت (سرعت، شتاب، جهت) این اشیاء متحرک انجام داده اند (Dodge et al. 2012).

علاوه بر جزییات فیزیکی ذکر شده، یک بعد معنایی^۴ وجود دارد که معنا و اطلاعاتی به خطوط سیر اضافه می کند (Parent et al. 2013, Zhang et al. 2014).

به عنوان نمونه، توصیف شیء در حال حرکت از نقطه نظرهای چه مکانی (مثلاً جاده)، چه زمانی (کی یا حین چه واقعه دیگری)، چگونه (نوع وسیله نقلیه) و به چه دلیل (دلیل تغییر جهت وسایل نقلیه) باعث غنی تر شدن دنباله های حرکتی می شود که اصطلاحاً آن ها را خطوط سیر معنایی^۵ می نامند (Harri et al. 2015).

برای درک بهتر از حرکت، استفاده از اطلاعات زمینه در فرآیند تحلیل خطوط سیر اشیاء می تواند مفید واقع شوند. در این راستا، بوچین^۶ و همکاران عوامل زمینه ای جغرافیایی را در فرآیند اندازه گیری تشابه ترکیب کردند (Buchin et al. 2014). روش ارائه شده آنها بر پایه توابع اندازه گیری فاصله هاسدورف^۷، فرشت^۸ و زمان مشابه بود. کاستی اصلی این روش های هندسی در نظر نگرفتن بعد زمان و تنها تمرکز بر شکل خطوط سیر است (Buchin et al. 2011). در آن تحقیق، زمینه از طریق تقسیم بندی چند گوشه کاربری زمین (خشکی یا ساحل) و پارامترهای آب و هوایی برای گردبادهای اقیانوس اطلس شمالی و مرغان دریایی در فضای اقلیدسی مدل سازی شد. در تحقیقی دیگر، به کمک تابع فاصله اقلیدسی، یک روش مکانی-زمانی -

همچنین، یوان و رائوبال^۱ روش های اندازه گیری تشابه مسیر را به دو دسته شکل- مبنا و زمان- مبنا تقسیم بندی کرده اند (Yuan and Raubal 2014). دسته اول بر جنبه های مکانی و هندسی (شکلی) خطوط سیر تمرکز دارد و بعد زمان را نادیده می گیرد؛ در حالی که دسته دوم مؤلفه زمان را نیز در تحلیل خطوط سیر بکار می گیرد. دسته بندی زمان- مبنا ارائه شده می تواند زیرمجموعه ای از سری های زمانی قلمداد شود. در تحقیقی دیگر، فورتادو^۲ و همکاران با ارائه تابعی، میزان پیچیدگی و هزینه محاسباتی فرآیند اندازه گیری میزان تشابه خطوط سیر را کاهش دادند (Furtado et al. 2018). مطالعات مختلف به بررسی نقاط مثبت و منفی هر یک از توابع فوق و کاربردهایشان پرداخته اند (شاعری و عباسپور، ۱۳۹۳). با این وجود، به دلیل کاربرد مبنا بودن اندازه گیری تشابه خطوط سیر، نمی توان یک روش را به عنوان کارآمدترین روش معرفی کرد.

توابع متداول موجود برای اندازه گیری تشابه خط سیر با کاستی هایی مواجه اند. از یک سو، ارتباط پیچیده میان خطوط سیر باعث شده تا اندازه گیری تشابه خطوط سیر همواره با عدم قطعیت های متعددی همراه باشد. از سوی دیگر، در اندازه گیری تشابه، پارامترهای متعدد و نامطمئن برای تعیین میزان مشابهت مورد استفاده قرار می گیرند (Furtado et al. 2018). این پارامترها حاصل نظرات و اندازه گیری های گوناگونی هستند. به عنوان مثال، متغیرهای سرعت، جهت و شیب زمین حاصل اندازه گیری با دستگاه های مختلف هستند و اطلاعات سختی مسیر و میزان رضایت مندی از مسیر حاصل نظرات افراد مختلف با دیدگاه های متفاوت است. به همین دلیل، پارامترهای مذکور معمولاً ناهمگن، پراکنده، توصیفی و غیرقطعی اند. از منظر ابعاد، تاکنون بیشتر تحقیقات موجود بر جنبه های مکانی و مکانی-زمانی تشابه خطوط سیر تمرکز داشته اند. ژیا^۳ و همکاران تشابه خطوط سیر وسایل نقلیه را در سه بعد (x, y, t) در شبکه راه ها بدست آورده اند (Xia et al. 2010). یوان و

4- Semantic

5- Semantic Trajectory

6- Buchin

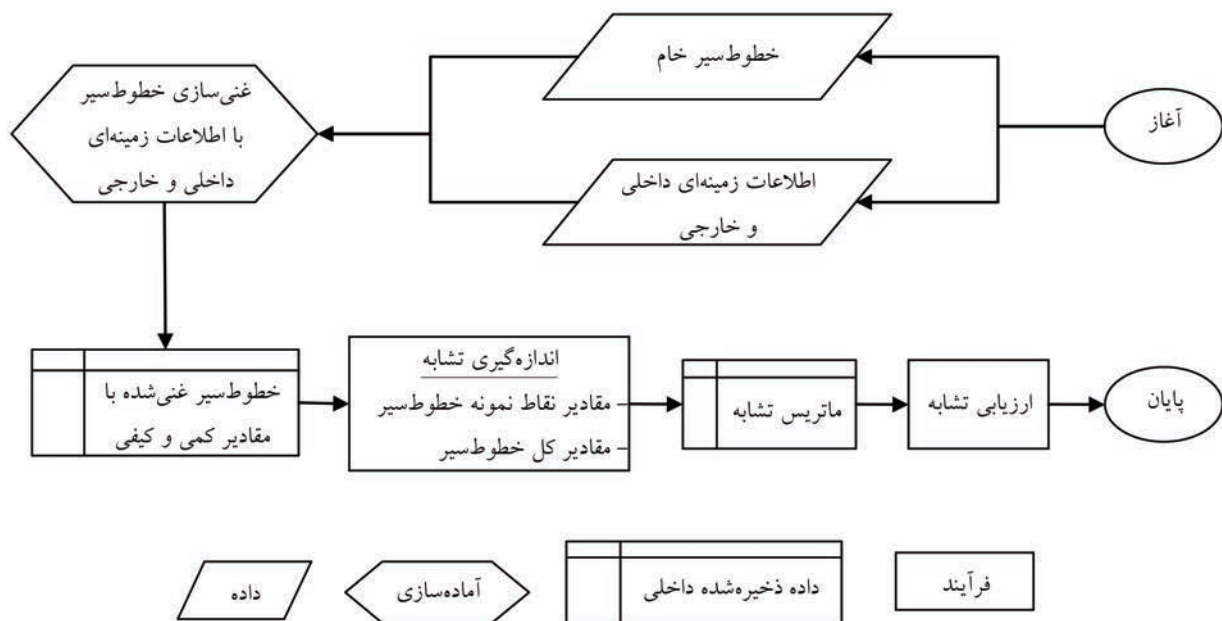
7- Hausdorff

8- Feéchet

1- Yuan and Raubal

2- Furtado

3- Xia



نگاره ۱: روندنمای روش پیشنهادی برای تحلیل زمینه-آگاه تشابه خطوط سیر

جنبه مشترک تمامی تحقیقات ذکر شده در بالا استفاده از داده‌های مکانی و اطلاعات زمینه‌ای کمی در فرآیند اندازه‌گیری تشابه خطوط سیر است. این درحالیست که این اطلاعات در بسیاری از موارد بصورت کیفی تولید می‌شوند. لذا، در این مقاله نه تنها به مقایسه خطوط سیر با اندازه‌های غیریکسان پرداخته می‌شود، بلکه با بهره‌گیری از یک الگوریتم توانمند بطور همزمان از اطلاعات زمینه‌ای کمی و کیفی در فرآیند اندازه‌گیری تشابه استفاده می‌شود.

۳- روش پیشنهادی

روندنمای روش پیشنهادی تحقیق به صورت گرافیکی در نگاره ۱ نمایش داده شده است. در مرحله اول، خطوط سیر خام با اطلاعات زمینه‌ای داخلی و خارجی حین حرکت غنی می‌شوند. این اطلاعات با مقادیر کمی و کیفی یا به نقاط نمونه هر خط سیر ضمیمه می‌گردند (مانند شیب زمین) و یا به کل خط سیر نسبت داده می‌شوند (مانند میزان سختی مسیر). در مرحله بعد با توسعه یک سیستم استنتاج فازی، به اندازه‌گیری زمینه-آگاه میزان تشابه خطوط سیر پرداخته می‌شود. ساختار این سیستم در ادامه این بخش به تفصیل

زمینه‌ای جهت اندازه‌گیری تشابه خطوط سیر ارائه شده است (شریف و آل شیخ، ۱۳۹۶). از قابلیت‌های این روش می‌توان به اندازه‌گیری تشابه در هر یک از ابعاد مکانی، زمانی و زمینه‌ای به‌تنهایی و ترکیبی از آن‌ها در فضای چند بعدی (x, y, t, c) اشاره کرد. به منظور ارزیابی، روش فوق بر روی مجموعه‌ای از خطوط سیر هواپیماهای مسافربری پیاده‌سازی شد. محدودیت تابع توسعه داده شده این است که تنها بر روی خطوط سیر با اندازه‌های (طول‌های) یکسان قابل پیاده‌سازی است. این در حالیست که در واقعیت اندازه‌های خطوط سیر یکسان نیستند و این روش برای مقایسه خطوط سیر غیرهم اندازه کارآمد نیست. به منظور رفع این مشکل، تابع پیچش زمانی پویا زمینه-مبنا (CDTW) توسعه داده شده که قادر است بر روی خطوط سیر غیرهم‌اندازه در ابعاد مکانی، زمانی و زمینه‌ای به‌تنهایی و یا ترکیبی از آن‌ها پیاده‌سازی شود (Sharif and Alesheikh 2017).
با این حال، روش مذکور در استفاده از داده‌های کیفی و همچنین اطلاعاتی که مربوط به کل طول خط سیر هستند، دارای محدودیت است.

نشان‌دهنده تعداد نمونه‌ها، تشابه خط سیر حاصل از سیستم استنتاج فازی برای آامین بردار داده Y_i و تشابه خط سیر حاصل از مشاهدات هستند.

$$F_2: \text{Minimize} \left(\sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{n^c} (F(x_i) - y_i)^2} \right) \quad (2)$$

برای کدگذاری HFIS مذکور از یک ذره سه‌بخشی استفاده می‌شود. قسمت P_L برای تعیین تعداد توابع عضویت مربوط به هر متغیر، P_T برای تنظیم توابع عضویت و P_C برای بهینه‌سازی بخش تالی قواعد مورد استفاده قرار می‌گیرد (رابطه ۳).

$$P = P_L + P_T + P_C \quad (3)$$

برای کدگذاری بخش P_L از رشته‌ای از اعداد صحیح با اندازه $n+n^s-1$ استفاده شده است. n تعداد متغیرهای ورودی و n^s-1 معادل تعداد متغیرهای رابطه‌ای^۴ ایجاد شده برای اتصال زیر سیستم‌های مختلف است. به هر یک از سلول‌ها $(p_i(i))$ یکی از مقادیر $\{1, \dots, 7\}$ تخصیص داده می‌شود. این اعداد نشان‌دهنده تعداد توابع عضویت فازی مورد استفاده برای هر متغیر هستند. متغیرهایی که مقدار ۱ به آن‌ها تخصیص می‌یابد، حذف می‌شوند (رابطه ۴).

$$P_L = \{p_1(1); \dots; p_1(n + n^s - 1)\} \quad (4)$$

برای کدگذاری بخش P_T از یک رشته اعداد حقیقی استفاده می‌شود. این اعداد حقیقی در دامنه از پیش تعیین شده‌ای امکان جابه‌جایی دارند. تعداد متغیرها $n+n^s-1$ است و هر یک از آن‌ها با $(p_t(i))$ تابع عضویت فازی توصیف می‌گردند. برای تنظیم توابع عضویت از روش جابه‌جایی جانبی استفاده می‌شود (رابطه ۵).

$$P_T = \{p_t(1; 1); \dots; p_t(1; p_1(1)); \dots; p_t(n + n^s - 1; p_1(n + n^s - 1))\} \quad (5)$$

برای کدگذاری بخش P_C از یک رشته اعداد حقیقی

شرح داده می‌شود. در نهایت، مقادیر تشابه در ماتریسی تحت عنوان ماتریس تشابه ذخیره‌سازی می‌شوند تا تحلیل و ارزیابی نتایج به سهولت امکانپذیر باشند.

در این مطالعه، برای ایجاد سیستم‌های فشرده، دقیق و منطبق با نیازهای مسئله اندازه‌گیری تشابه خطوط سیر، از سیستم‌های استنتاج فازی سلسله‌مراتبی ترکیبی استفاده می‌گردد. سیستم‌های استنتاج فازی سلسله‌مراتبی (HFISها) با تبدیل یک سیستم استنتاج فازی به تعدادی زیر سیستم ساده‌تر که به صورت سلسله‌مراتبی به همدیگر مرتبط شده‌اند، تعداد قواعد را کنترل می‌کنند. همبندی^۱ سیستم‌های سلسله‌مراتبی منطبق بر مسئله در نظر گرفته می‌شود. HFISها مسئله مورد نظر را به صورت یک واحد در نظر نمی‌گیرند، بلکه هر زیر سیستم از سیستم‌های سلسله‌مراتبی با زیرمجموعه‌ای از پارامترها سروکار دارد. در نتیجه قواعد زیر سیستم‌ها بسیار ساده‌تر از حالتی است که تمامی متغیرها در یک سیستم مورد استفاده قرار می‌گیرند. علاوه بر این، در این مطالعه از الگوریتم MOPSO برای تعریف و تنظیم سیستم استنتاج فازی استفاده می‌شود. تعیین همزمان افزاینده‌های^۲ توابع عضویت و مجموعه قواعد از طریق یادگیری کمک می‌کند تا دقت و پیچیدگی سیستم بهینه شود. برای این منظور، ساختار HFIS با استفاده از MOPSO کدگذاری می‌شود و هر ذره معادل یک HFIS کامل است. سپس الگوریتم اجرا می‌گردد تا در نهایت جواب‌های بهینه (HFISهای بهینه) را کشف نماید. اهداف الگوریتم اکتشافی برای یادگیری یکجای HFIS، شامل کمینه‌سازی تعداد قواعد سیستم و خطای کمترین مربعات است. رابطه ۱ مربوط به تابع هدف اول (F1) است که در آن n^s تعداد زیرسیستم‌های فازی، m_j تعداد توابع عضویت و v_i تعداد متغیرهای مربوط به هر زیر سیستم هستند.

$$F_1: \text{Minimize} \left(\sum_{i=1}^{n^s} \prod_{j=1}^{v_i} m_j \right) \quad (1)$$

رابطه ۲ مربوط به تابع هدف دوم (F2) است که در آن n

3-Particle

4- Linking variables

1-Topology

2-Partitions

استفاده می‌گردد. مقدار خروجی هر قاعده به وسیله عددی بین ۰ و ۱ تعریف می‌گردد (رابطه ۶).

(۶)
 $P_c = \{p_c(1; 1); \dots; p_c(1; m_1^{v_1}); \dots; p_c(n^s; m_n^{v_n^s})\}$

ایجاد جمعیت اولیه به صورت تصادفی انجام می‌گیرد. برای تولید بخش P_L هر یک از اعضای جمعیت اولیه، یکی از مقادیر $\{1, \dots, v\}$ به صورت تصادفی به سلول‌های مربوطه تخصیص داده می‌شود. پس از ایجاد بخش P_L هر ذره، دو نسخه مختلف در بخش P_T ایجاد می‌گردد.

در این مطالعه از سیستم استنتاج فازی سلسله مراتبی با توزیع ترکیبی^۱ استفاده می‌شود (نگاره ۲). درهمبندی پیشنهادی ابتدا تمام پارامترهای مربوط به کل خط سیر (دسته دوم) وارد سیستم‌های استنتاج در لایه اول می‌شوند، سپس خروجی این سیستم‌های استنتاج فازی به همراه مقادیر پارامترهای دسته اول وارد سیستم‌های استنتاج فازی در لایه بعدی می‌شوند. همبندی پیشنهادی ماهیت پارامترها را در انجام مقایسه با یکدیگر در نظر گرفته است. لازم به ذکر است به لحاظ نظری پیکربندی‌های دیگری نیز می‌تواند برای مدل‌سازی مسئله مذکور مورد استفاده قرار گیرد ولی همبندی پیشنهادی بر پایه اجراهای آزمایشی متعدد انتخاب شده است.

پارامترهای مورد استفاده در تمامی آزمایش‌ها شامل حداکثر تعداد تکرار ۵۰۰ مرتبه، جمعیت اولیه ۲۰۰، نرخ جهش ۰/۴، وزن اینرسی (w) ۰/۷۵ و ثابت یادگیری شخصی (c1) و سراسری (c2) هر دو برابر با ۲/۰۵ می‌باشند. همچنین از عملگر مرکز گرانش به عنوان عملگر غیرفازی‌سازی و مینیمم به عنوان عملگر دلالت استفاده شده است. حساسیت پارامترهای مذکور در مطالعات آتی مورد بررسی‌های بیشتر قرار می‌گیرد. در این مطالعه، پارامترهای الگوریتم‌ها بر اساس استانداردهای موجود در مطالعات مربوط به یادگیری HFIS با استفاده از الگوریتم‌های اکتشافی انتخاب شده‌اند (Benítez and Casillas 2013, López et al. 2013, Zhang et al. 2014)

استفاده می‌گردد. مقدار خروجی هر قاعده به وسیله عددی بین ۰ و ۱ تعریف می‌گردد (رابطه ۶).

$$(6) P_c = \{p_c(1; 1); \dots; p_c(1; m_1^{v_1}); \dots; p_c(n^s; m_n^{v_n^s})\}$$

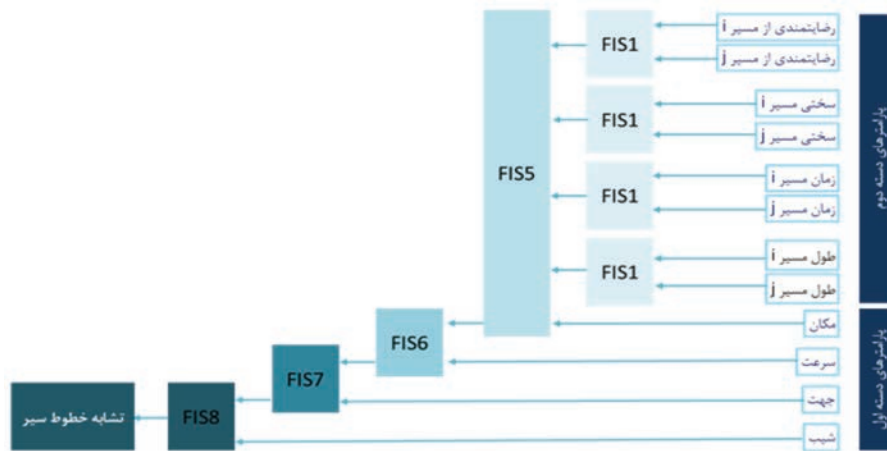
ایجاد جمعیت اولیه به صورت تصادفی انجام می‌گیرد. برای تولید بخش P_L هر یک از اعضای جمعیت اولیه، یکی از مقادیر $\{1, \dots, v\}$ به صورت تصادفی به سلول‌های مربوطه تخصیص داده می‌شود. پس از ایجاد بخش P_L هر ذره، دو نسخه مختلف در بخش P_T ایجاد می‌گردد.

در این نسخه‌ها اعداد حقیقی تصادفی در بازه‌ای به اندازه $(p_i(i,j+1) - p_i(i,j))/2$ در جهت مثبت و منفی مرکز هر افزاز اختصاص داده می‌شود. $p_i(i,j)$ نشان‌دهنده مرکز زامین افزاز i امین متغیر است. در بخش P_c هر ذره نیز یک عدد تصادفی از بازه (۱ و ۰) به هر سلول تخصیص داده می‌شود.

به منظور بررسی پیکربندی‌های مختلف تا رسیدن به بهترین پیکربندی ممکن از عملگرهای تقاطع و جهش استفاده می‌شود. عملگر تقاطع برای هر قسمت از ذرات به صورت جداگانه انتخاب شده است. برای بخش P_L و P_T که با استفاده از اعداد حقیقی کدگذاری می‌شوند از روش BLX - α استفاده شده است (Herrera et al. 1998).

این روش تقاطع، به صورت گسترده‌ای در کدگذاری اعداد حقیقی در الگوریتم‌های اکتشافی مورد استفاده قرار گرفته است. برای بخش P_L از روش تقاطع استاندارد دو نقطه‌ای استفاده می‌شود. عملگر جهش به هم‌هی فرزندان حاصل اعمال می‌گردد.

در نهایت پس از اعمال هر دو عملگر، دو فرزند برازنده‌تر به عنوان نسل جدید در نظر گرفته می‌شوند. در ایجاد سیستم استنتاج فازی برای اندازه‌گیری تشابه خطوط سیر از دو دسته پارامتر استفاده می‌گردد. دسته اول پارامترهایی هستند که به هر نقطه در طول مسیر نسبت داده می‌شوند. این پارامترها عبارتند از مختصات، سرعت، جهت و شیب زمین. این دسته از پارامترها در روش‌های رایج اندازه‌گیری تشابه خطوط سیر نظیر CDTW نیز مورد



نگاره (۲): ساختار سلسله مراتبی فازی برای اندازه‌گیری تشابه خطوط سیر

نگاره (۳): پارک مرکزی نیویورک



۴- ارزیابی روش پیشنهادی

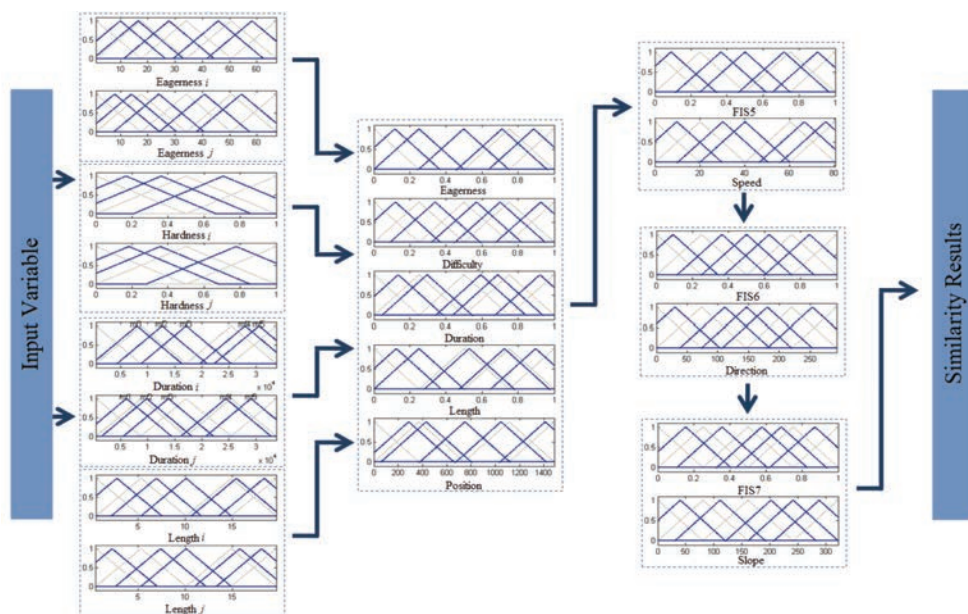
در این بخش، کارایی روش پیشنهادی در ایجاد مدل‌های فازی با هدف اندازه‌گیری و تحلیل تشابه خطوط سیر غیر هم‌اندازه مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. بدین منظور، از پارامترهای زمینه‌ای کمی و کیفی خطوط سیر افراد پیاده و دوچرخه‌سوار استفاده شده است.

۴-۱- نمونه مطالعاتی

حرکت انسان از محیط و شرایطی که در آن حرکت می‌کند تأثیر فراوانی می‌پذیرد که این تأثیرات در الگوهای رفتاری-حرکتی اشخاص نمود پیدا می‌کنند. تأثیرات مذکور بسته به چگونگی حرکت (مانند پیاده‌روی یا سوار بر وسایل نقلیه) می‌تواند متفاوت باشند. در این تحقیق، خطوط سیر افراد پیاده و دوچرخه‌سوار مورد استفاده و بررسی قرار گرفته است.

منطقه مورد مطالعه پارک مرکزی^۱ منهتن واقع در شهر نیویورک ایالات متحده آمریکا است. این نمونه مطالعاتی به دلیل وجود مجموعه خطوط سیر مورد نیاز انتخاب شده است. این پارک با مساحتی حدود ۳۱۵ هکتار یکی از معروف‌ترین پارک‌ها در ایالات متحده است که بیش از ۴۰ میلیون بازدیدکننده در سال دارد. به دلیل جاذبه‌ها و امکانات موجود این پارک، فعالیت‌های مختلفی در آن انجام می‌گیرد که از رایج‌ترین آنها می‌توان به پیاده‌روی، دویدن و دوچرخه سواری اشاره کرد. در این مطالعه ۲۰۴ خط سیر برای افراد پیاده و ۱۹۶ خط سیر برای افراد دوچرخه‌سوار با استفاده از اطلاعات زمینه‌ای متعدد کمی و کیفی، شامل زمینه داخلی یا زمینه مربوط به شی متحرک (سرعت، جهت شی متحرک، طول مسیر طی شده توسط شی متحرک و میزان رضایتمندی

1- Central Park



نگاره (۴): توابع اولیه و تنظیم شده پایگاه داده فازی برای اندازه‌گیری تشابه خطوط سیر

داخلی و خارجی در فرآیند اندازه‌گیری تشابه خطوط سیر است. اطلاعات زمینه‌ای مذکور شامل دو پارامتر کیفی (سختی مسیر و میزان علاقه‌مندی به مسیر) و شش پارامتر کمی (مکان، سرعت، جهت، شیب، زمان و طول مسیر) هستند. در مدل اول (S) میزان مشابهت خطوط سیر فقط با استفاده از پارامتر مکان اشیاء اندازه‌گیری می‌شود. در مدل دوم (ST)^۲ پارامتر زمان نیز به پارامتر مکان اضافه می‌شود. در مدل سوم (STIC)^۳، علاوه بر پارامترهای مدل دوم پارامترهای مربوط به زمینه‌های داخلی شامل سرعت، جهت، طول مسیر و میزان علاقه‌مندی به مدل اضافه شده‌اند. در نهایت در مدل چهارم (STIEC)^۴ پارامترهای مربوط به زمینه‌های خارجی شامل سختی مسیر و شیب مسیر به پارامترهای قبلی اضافه شده است. نگاره ۵ نمودار جعبه‌ای نتایج اندازه‌گیری تشابه خطوط سیر حاصل از مدل‌های چهارگانه فوق را برای هر یک از مجموعه داده‌های افراد پیاده و دوچرخه‌سوار نشان می‌دهد. در نمودار جعبه‌ای، دامنه شباهت‌ها (بازه بین بیشینه و کمینه مقدار تشابه) توسط تاره‌ها^۵ مشخص می‌شوند. به

از مسیر) و زمینه خارجی یا زمینه مربوط به محیط حرکت شیب زمین و سختی مسیر) مورد بررسی قرار می‌گیرند. نگاره ۳ منطقه مورد مطالعه را نمایش می‌دهد.

۴-۲- نتایج و بحث

در این بخش، از روش پیشنهادی برای توسعه مدل‌هایی بهره گرفته شده است که بتوانند در کنار ابعاد مکانی-زمانی از اطلاعات زمینه‌ای داخلی و خارجی کمی و کیفی جهت اندازه‌گیری تشابه خطوط سیر غیر هم‌اندازه استفاده کنند. نگاره ۴ تنظیمات نهایی مورد استفاده برای هر یک از توابع عضویت متغیرهای ورودی، واسطه و خروجی یکی از این مدل‌ها (مدل توسعه داده شده با استفاده از مجموعه داده مربوط به افراد پیاده) را پس از بهینه‌سازی نمایش می‌دهد. با وجود اینکه امکان انتخاب تا ۷ افزاز برای متغیرهای مختلف وجود دارد ولی با توجه به انجام بهینه‌سازی چندهدفه و به منظور کنترل تعداد قواعد، اغلب متغیرها با استفاده از ۵ افزاز توصیف شده‌اند.

با استفاده از روش پیشنهادی چهار مدل مختلف برای هر یک از مجموعه خطوط سیر مربوط به افراد پیاده و دوچرخه‌سوار، توسعه داده شده است. هدف از توسعه هر یک از این چهار دسته مدل، بررسی تأثیر زمینه‌های مختلف

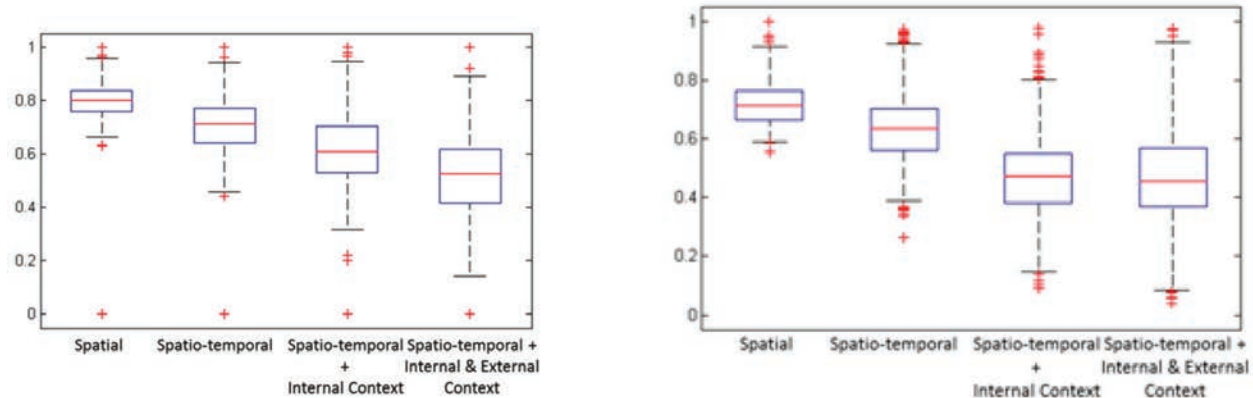
1- Spatial

2- Spatio-temporal

3- Spatio-temporal + Internal context

4- Spatio-temporal + Internal & external context

5- Whisker



(ب) افراد دوچرخه‌سوار

(الف) افراد پیاده

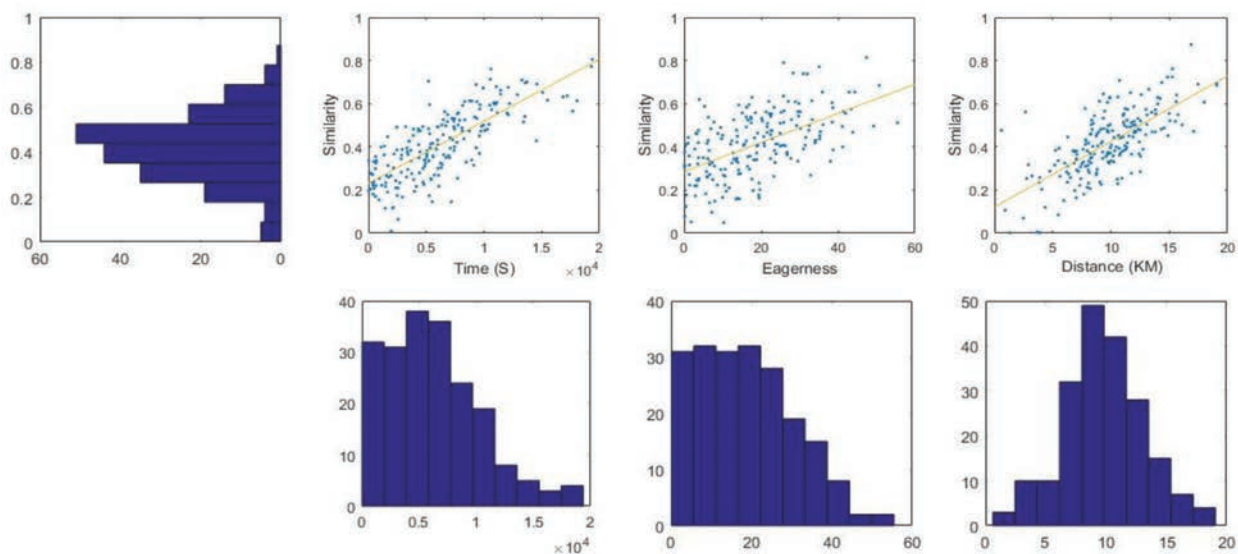
نگاره ۵: نمودار جعبه‌ای حاصل از بکارگیری اطلاعات زمین‌های کمی و کیفی در اندازه‌گیری تشابه خطوط سیر، (الف) تشابه خطوط سیر افراد پیاده، (ب) تشابه خطوط سیر افراد دوچرخه سوار

جدول ۱: تحلیل وردایی یکطرفه (ANOVA) برای مقایسه شباهت خطوط سیر با استفاده از زمینه‌های مختلف

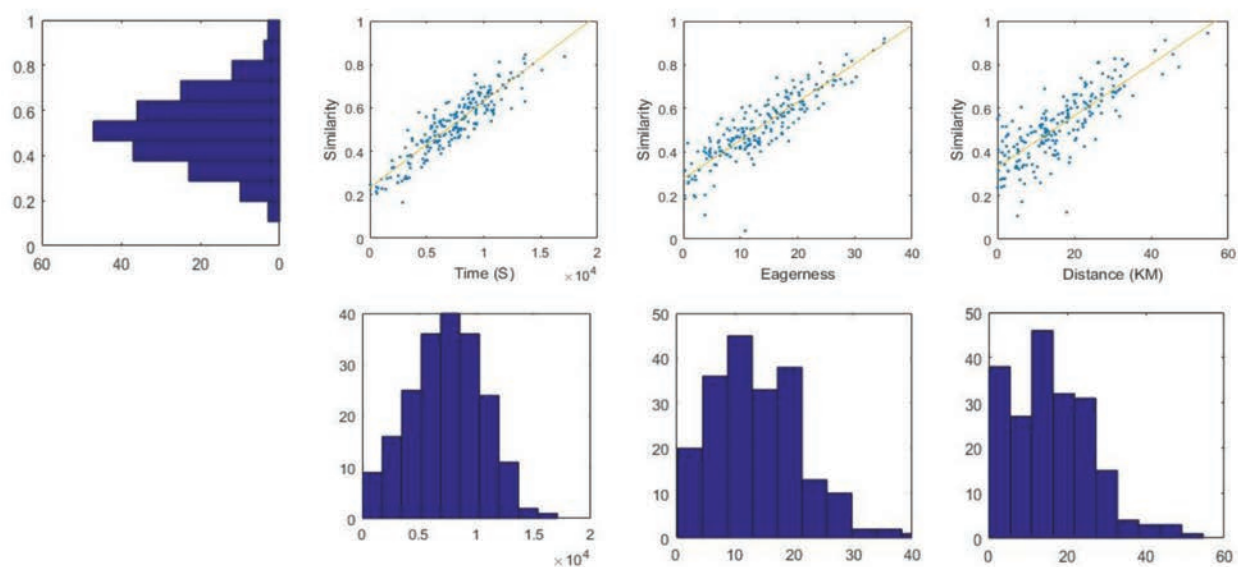
مدل	زمینه‌ها	میانگین	انحراف استاندارد	F	P
مدل اول (S)	مکان	۰/۷۹۸	۰/۰۵۸	۲۴۱/۷۲۴	p<۰/۰۰۱
مدل دوم (ST)	مکان و زمان	۰/۷۰۴	۰/۰۹۹		
مدل سوم (STIC)	مکان، زمان و زمینه‌های داخلی (شامل سرعت، جهت، طول مسیر و میزان علاقه‌مندی به مسیر)	۰/۶۱۸	۰/۱۲۹		
مدل چهارم (STIEC)	مکان، زمان، زمینه‌های داخلی (شامل سرعت، جهت، طول مسیر و میزان علاقه‌مندی به مسیر) و زمینه‌های خارجی (شامل سختی مسیر و شیب مسیر)	۰/۵۲۴	۰/۱۴۸		

قبل شامل سرعت، جهت شی متحرک، طول مسیر و میزان علاقه‌مندی به مسیر مقدار میانه کاهش می‌یابد. پراکندگی در افراد پیاده بیشتر از افراد دوچرخه‌سوار است. این مسئله بیانگر این حقیقت است که تأثیر زمینه‌های داخلی در خطوط سیر افراد پیاده بسیار پررنگ است. این تأثیرات به حدی است که تعدادی داده برون‌نهاد نیز مشاهده می‌شود. مدل چهارم نمایش دهنده دامنه تشابه بیشتری در مقایسه با سه آزمایش پیش از آن است. دلیل آن اعمال زمینه خارجی در فرآیند اندازه‌گیری تشابه است.

عنوان نمونه، میزان این بازه برای مدل اول در مجموعه خطوط سیر مربوط به افراد پیاده از ۰/۶ تا ۰/۹۵ و دوچرخه سوارها از ۰/۶۵ تا ۰/۹۵ متغیر است. این بدین معنی است که میزان تشابه این خطوط سیر از نظر بعد مکان بسیار زیاد است. با اضافه کردن زمان، دامنه شباهت‌ها از نظر ابعاد مکانی-زمانی در مقایسه با بعد مکان به نسبت افزایش پیدا می‌کنند. این موضوع با طول مسیرهای پیمایش شده و مدت زمان سپری شده ارتباط مستقیم دارد. با اضافه کردن پارامترهای زمینه‌های داخلی به آزمایش



الف) خطوط سیر افراد پیاده



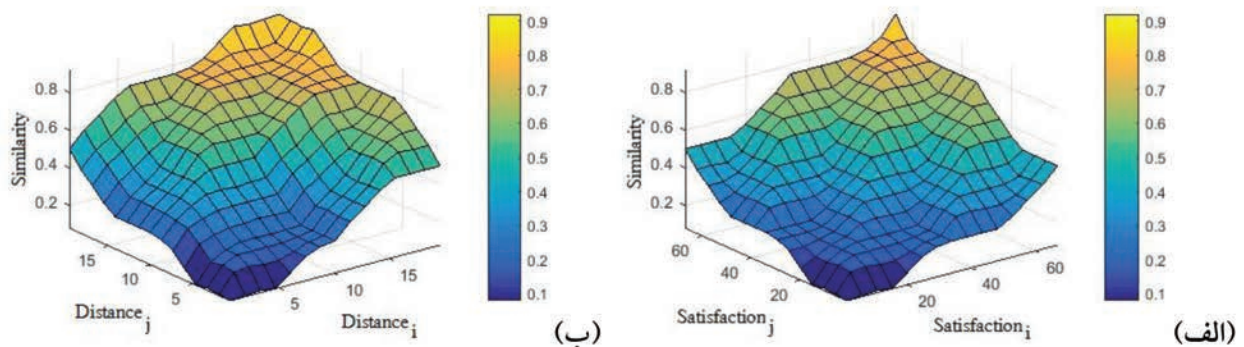
ب) خطوط سیر دوچرخه‌سوارها

نگاره ۶: تحلیل حساسیت مدل پیشنهادی به پارامترهای حرکت و زمینه:
الف) خطوط سیر افراد پیاده، ب) خطوط سیر دوچرخه سوارها

با اعمال داده‌های مکانی، زمانی و اطلاعات زمینه‌ای در اندازه‌گیری تشابه اگرچه میزان شباهت‌ها کمتر می‌شود، اما نتایج تشابهات به واقعیت نزدیک‌تر خواهند شد. همچنین، اگرچه اضافه کردن اطلاعات زمینه‌ای تأثیر نسبتاً مشابهی بر روی میزان شباهت برای هر دو مجموعه خط سیر داشته است، اما در هر چهار حالت، خطوط سیر مربوط به افراد

دامنه میان‌چارکی^۱ (IQR) یا مقادیر بین چارک‌های اول و سوم (چهارضلعی مرکزی) نمایانگر بزرگی مقادیر (بیشینه و کمینه) مؤثر تشابه به همراه میانه آن‌ها است. همانطور که در نگاره ۵ قابل رؤیت است، با افزایش پارامترها، به ویژه اطلاعات زمینه‌ای، این دامنه‌ها بازه بیشتری را دربر می‌گیرند.

1- Interquartile range

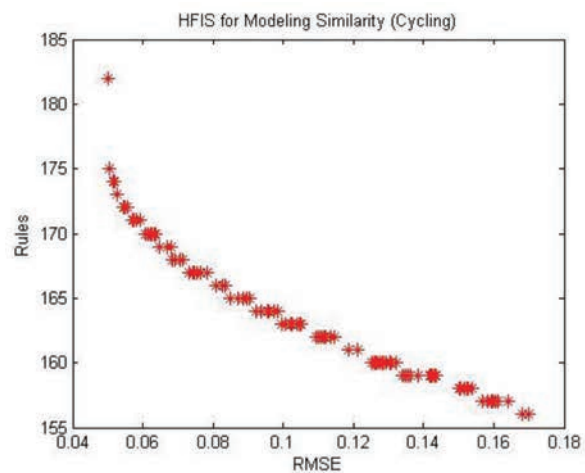
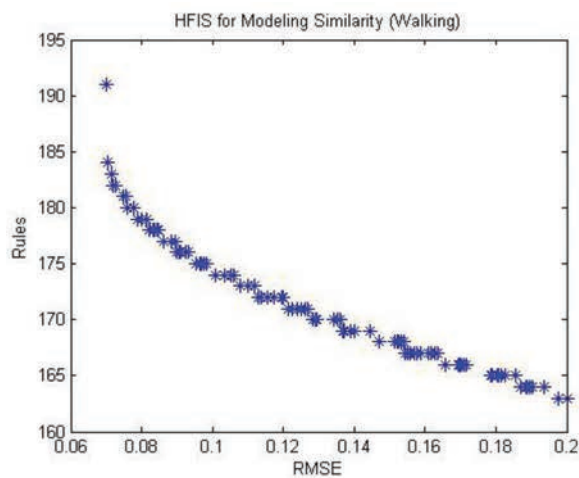


نگاره ۷: سطوح کنترل سیستم استنتاج فازی سلسله مراتبی مربوط مدل چهارم اندازه‌گیری تشابه خطوط سیرافراد پیاده: (الف) میزان علاقه‌مندی به مسیر، (ب) فاصله

تشابه خطوط سیر از پارامترهای حرکت و زمینه‌های مختلف در روش پیشنهادی اندازه‌گیری تشابه استفاده شده است. بخشی از نتایج حاصل این تحلیل که بر روی خطوط سیر افراد پیاده و دوچرخه سوار پیاده‌سازی شده در نگاره ۶ نمایش داده شده است. نمودارهای میل‌های توزیع و فراوانی متغیرهای زمان، میزان علاقه‌مندی به مسیر و طول مسیر، که نزدیک به نرمال هستند، را نمایش می‌دهند. همچنین هیستوگرام‌ها تأثیر هر یک از ورودی‌های مدل بر خروجی یا میزان شباهت را مشخص می‌کنند. به عنوان مثال، میزان تأثیرپذیری شباهت خطوط سیر از بعد زمان برای افراد پیاده حدود $0/63$ و برای افراد دوچرخه سوار حدود $0/84$ می‌باشد، که نشان‌دهنده ارتباط قوی بین مقدار شباهت و پارامتر زمان است. اما میزان همبستگی بین مقدار شباهت و علاقه‌مندی به مسیر برای افراد پیاده و دوچرخه سوار به ترتیب برابر $0/36$ و $0/41$ است، که حاکی از تأثیرپذیری کم مقادیر تشابه از این زمینه بوده است. این موضوع از توزیع پراکنده نقاط نیز مشخص است. در مورد متغیر مسافت طی شده، مقدار همبستگی تشابه برای افراد پیاده و دوچرخه سوار به ترتیب مقادیر متوسط $0/58$ و $0/67$ است. در بررسی کلیه پارامترهای حرکت و زمینه‌های داخلی و خارجی، مشاهده شد که میزان تأثیرپذیری تشابه خطوط سیر افراد دوچرخه سوار از این متغیرها در مقایسه با خطوط سیر افراد پیاده بیشتر بوده است.

دوچرخه‌سوار شباهت بیشتری با یکدیگر دارند و میزان شباهت آن‌ها از پراکندگی کمتری برخوردار است. به منظور بررسی آماری میزان اثرگذاری زمینه‌های مختلف بر روی نتایج از آزمون تحلیل و ردایی یکطرفه (ANOVA) استفاده شده است. برای انجام آزمون، سطح اطمینان 95% ($\alpha = 0.05$) در نظر گرفته شده است. بر مبنای نتایج آزمون استفاده از زمینه‌های مختلف در هر دو مجموعه خط‌سیر منجر به نتایجی می‌گردد که از لحاظ آماری با یکدیگر تفاوت معناداری دارند (جدول ۱). به بیان دیگر تأثیر زمینه‌های فوق بر شباهت خطوط سیر معنادار است ($p < 0.001/0$). همچنین در این جدول شاخص F نشان می‌دهد که وردایی بین گروهی که به آن اثرات پارامترهای مستقل گفته می‌شود بسیار بیشتر از وردایی درون گروهی که به آن اثرات خطا گفته می‌شود، است. به عبارت دیگر، با اطمینان بالا اثرات پارامترهای زمینه‌ای بر شباهت خطوط سیر بیشتر از تأثیر تفاوت خطوط سیر مختلف است. علاوه بر آزمون وردایی یکطرفه از تحلیل تعقیبی شفه استفاده شده است تا نتایج حاصل از مدل‌ها به صورت دو به دو با یکدیگر مقایسه شوند. براساس نتایج حاصل از این تحلیل تمام نتایج حاصل از تحلیل وردایی یکطرفه برای دو به دو مدل‌ها نیز صادق است.

از تحلیل حساسیت به منظور بررسی میزان تأثیرپذیری



نگاره ۸: نمودار پارت و حاصل از یادگیری همزمان پایگاه دانش از طریق الگوریتم بهینه‌سازی دو هدف برای مدل‌های اندازه‌گیری تشابه خطوط سیر

مناسبی برای جبهه پارتو ایجاد کرده است. همان‌گونه که در نمودارهای نگاره ۸ مشخص است دامنه تعداد قواعد در این دو مجموعه داده تفاوت معناداری با یکدیگر ندارند. به عبارت دیگر، تعداد پارامترهای مدل‌هایی که شباهت خطوط سیر را برای هر یک از مجموعه داده‌های افراد دوچرخه سوار یا پیاده محاسبه می‌کند تا حدود زیادی مشابه یکدیگر است.

شباهت تعداد قواعد را می‌توان به عنوان شاخصی برای نمایش پایداری و تکرارپذیری روش پیشنهادی در استفاده از مجموعه داده‌های مختلف در نظر گرفت.

۵- نتیجه‌گیری و پیشنهادات

در این تحقیق روش جدیدی مبتنی بر سیستم‌های فازی برای اندازه‌گیری چند-بعدي تشابه خطوط سیر غیر هم‌اندازه اشیاء نقطه‌ای با بهره‌گیری از اطلاعات زمینه‌ای داخلی و خارجی ارائه شده است. روش پیشنهادی کاستی‌های توابع موجود اندازه‌گیری فاصله را در استفاده از داده‌های حرکتی و اطلاعات زمینه‌ای ناهمگن، توصیفی و غیرقطعی مرتفع می‌سازد.

برای توسعه سیستم استنتاج فازی مورد استفاده در

نگاره ۷ دو نمونه از پلات‌های سطوح کنترل مربوط به مدل چهارم اندازه‌گیری تشابه خطوط سیر افراد پیاده را نمایش می‌دهد.

هر یک از این پلات‌ها ارتباط بین دو ورودی و یک خروجی را در یکی از زیر سیستم‌های سیستم استنتاج فازی سلسله‌مراتبی مشخص می‌سازد. این سطوح علاوه بر نمایش ارتباط ورودی‌ها و خروجی هر سیستم، نشانگر استحکام پایگاه دانش مورد استفاده در سیستم استنتاج فازی هستند. همان‌گونه که در سطوح نمونه مشخص است، کل فضای مسئله بدون بریدگی و یا تغییرات ناگهانی توسط پایگاه دانش پوشش داده می‌شود. به بیان دیگر، روش پیشنهادی ضمن پیشگیری از افزایش نمایی قواعد، قواعدی را در فرآیند یادگیری و بهینه‌سازی سیستم تولید می‌کند که به شکل کارآمدی ارتباط بین ورودی‌ها و خروجی را برقرار می‌سازند.

نگاره ۸ نمودار پارت و تولید شده توسط الگوریتم پیشنهادی برای مدل چهارم در یکی از آزمایش‌های انجام گرفته را نشان می‌دهد. الگوریتم پیشنهادی برای هر دو مجموعه داده مربوط به افراد پیاده و دوچرخه سوار پوشش

منابع و مآخذ

- اندازه‌گیری چند-بعدي تشابه خطوط سير اشیاء نقطه‌ای و غلبه بر مشکل افزایش نمایی قواعد و جلوگیری از افزایش خطای سیستم‌ها از دو راهکار استفاده گردیده است. راهکار اول استفاده از سیستم‌های استنتاج فازی سلسله مراتبی با همبندی منطبق بر مسئله و راهکار دوم، تعیین همزمان افزای‌های توابع عضویت و مجموعه قواعد از طریق یادگیری است. مجموعه این دو راهکار به مشارکت بهتر میان قواعد موجود در پایگاه دانش مدل‌ها و بهینه‌سازی دقت و پیچیدگی سیستم منجر شده است.
- با استفاده از سیستم‌های استنتاج فازی پیشنهادی می‌توان از طیف وسیعی از اطلاعات زمینه‌ای در اندازه‌گیری تشابه خطوط سير استفاده کرد. سیستم پیشنهادی قادر است تا اطلاعات کمی و کیفی مربوط به هر لحظه از خط سير و یا اطلاعات کمی و کیفی مربوط به کل خط سير را بطور همزمان در اندازه‌گیری میزان تشابه مورد استفاده قرار دهد. عملکرد این سیستم بر روی دو مجموعه داده از خطوط سير افراد پیاده و افراد دوچرخه‌سوار همراه با اطلاعات زمینه‌ای داخلی و خارجی آنها مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج مؤید کارآمدی این سیستم در اندازه‌گیری زمینه-آگاه خطوط سير با اندازه‌های گوناگون و در ابعاد مختلف است. در تحقیقات آتی، از نتایج حاصل از اندازه‌گیری تشابه خطوط سير برای دسته‌بندی و خوشه‌بندی زمینه-آگاه خطوط سير استفاده خواهیم کرد. همچنین نویسندگان مطالعاتی در خصوص استفاده از اندازه‌گیری تشابه خطوط سير برای کشف الگو و پیش‌بینی رفتار حرکتی اشیاء نقطه‌ای در دست انجام دارند.
- روش حاضر برای اندازه‌گیری شباهت حرکت اشیاء نقطه‌ای (انفرادی) معرفی شده است. تحقیقات آتی می‌تواند به بررسی حرکت دست‌های (گروهی) اشیاء متحرک مانند حرکت گروهی از گردشگران یا مهاجرت پرندگان با احتساب اطلاعات زمینه‌ای بپردازند. در آینده می‌توان تعاملات (همچون جذب یا دفع) عوارض متحرک را با یکدیگر و با محیط پیرامونشان مورد مطالعه قرار داد.
- ۱- شاعری، عباسپور؛ محمد، رحیم‌علی؛ ۱۳۹۳، مقایسه توابع فاصله اندازه‌گیری میزان شباهت در خطوط سير مکانی، نشریه علمی پژوهشی علوم و فنون نقشه برداری، ۴(۳): ۲۰۱-۲۲۱.
- ۲- شریف، آل‌شیخ؛ محمد، علی‌اصغر؛ ۱۳۹۴، مروری بر فرآیند حرکت اشیاء نقطه‌ای و روش‌های اندازه‌گیری تشابه خطوط سير آنها، نشریه علمی ترویجی مهندسی نقشه برداری و اطلاعات مکانی، ۷(۱): ۴۱-۵۴.
- ۳- شریف، آل‌شیخ؛ محمد، علی‌اصغر؛ ۱۳۹۵، اندازه‌گیری تشابه خطوط سير مبتنی بر داده‌های بافتی در فضای اقلیدسی محدود، نشریه علمی پژوهشی علوم و فنون نقشه برداری، ۵(۴): ۱۱۳-۱۲۵.
- 4- Abbaspour, R. A., M. Shaeri and A. Chehregan (2017). "A method for similarity measurement in spatial trajectories." *Spatial Information Research* 25(3): 491-500.
- 5- Benítez, A. D. and J. Casillas (2013). "Multi-objective genetic learning of serial hierarchical fuzzy systems for large-scale problems." *Soft Computing* 17(1): 165-194.
- Buchin, K., M. Buchin, M. Van Kreveld and J. Luo (2011). "Finding long and similar parts of trajectories." *Computational Geometry* 44(9): 465-476.
- 6- Buchin, M., S. Dodge and B. Speckmann (2014). "Similarity of trajectories taking into account geographic context." *Journal of Spatial Information Science* (9): 101-124.
- 7- Dodge, S., P. Laube and R. Weibel (2012). "Movement similarity assessment using symbolic representation of trajectories." *International Journal of Geographical Information Science* 26(9): 1563-1588.
- 8- Furtado, A. S., L. O. C. Alvares, N. Pelekis, Y. Theodoridis and V. Bogorny (2018). "Unveiling movement uncertainty for robust trajectory similarity analysis." *International Journal of Geographical Information Science* 32(1): 140-168.
- 9- Furtado, A. S., L. L. Pilla and V. Bogorny (2018). "A branch and bound strategy for Fast Trajectory Similarity

urban air pollution with optimized hierarchical fuzzy inference system." *Environmental Science and Pollution Research*23(19): 19417-19431.

21- Xia, Y., G.-Y. Wang, X. Zhang, G.-B. Kim and H.-Y. Bae (2010). Research of Spatio-temporal Similarity Measure on Network Constrained Trajectory Data. *Rough Set and Knowledge Technology: in Proceedings 5th International Conference, RSKT 2010, Beijing, China, October 15-17, 2010.* . J. Yu, S. Greco, P. Lingras, G. Wang and A. Skowron. Berlin, Heidelberg, Springer Berlin Heidelberg: 491-498.

22- Yuan, Y. and M. Raubal (2014). "Measuring similarity of mobile phone user trajectories– a Spatio-temporal Edit Distance method." *International Journal of Geographical Information Science*28(3): 496-520.

23- Zhang, C., J. Han, L. Shou, J. Lu and T. La Porta (2014). "Splitter: mining fine-grained sequential patterns in semantic trajectories." *Proceedings of the VLDB Endowment*7(9): 769-780.

24- Zhang, X., E. Onieva, A. Perallos, E. Osaba and V. C. S. Lee (2014). "Hierarchical fuzzy rule-based system optimized with genetic algorithms for short term traffic congestion prediction." *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*43: 127-142.

Measuring." *Data & Knowledge Engineering*.

10- Herrera, F., M. Lozano and J. L. Verdegay (1998). "Tackling real-coded genetic algorithms: Operators and tools for behavioural analysis." *Artificial intelligence review*12(4): 265-319.

11- Ilarri, S., D. Stojanovic and C. Ray (2015). "Semantic management of moving objects: A vision towards smart mobility." *Expert Systems with Applications*42(3): 1418-1435.

12- Laube, P. (2014). *Computational Movement Analysis*, Cham: Springer International Publishing.

13- Lin, D. (1998). An information-theoretic definition of similarity. *ICML*.

14- López, V., A. Fernández, M. J. del Jesus and F. Herrera (2013). "A hierarchical genetic fuzzy system based on genetic programming for addressing classification with highly imbalanced and borderline data-sets." *Knowledge-Based Systems*38: 85-104.

15- Magdy, N., T. Abdelkader and K. El-Bahnasy (2018). "A comparative study of similarity evaluation methods among trajectories of moving objects." *Egyptian Informatics Journal*.

16- Parent, C., S. Spaccapietra, C. Renso, G. Andrienko, G. Andrienko, V. Bogorny, M. L. Damiani, A. Gkoulalas-Divanis, J. Macedo, N. Pelekis, Y. Theodoridis and Z. Yan (2013). "Semantic trajectories modeling and analysis." *ACM Computing Surveys*45(4): 1-32.

17- Sharif, M. and A. A. Alesheikh (2017). "Context-awareness in Similarity Measures and Pattern Discoveries of Trajectories: A Context-based Dynamic Time Warping Method." *GIScience & Remote Sensing*54(3): 426-452.

18- Sharif, M., A. A. Alesheikh and B. Tashayo (2018). Similarity Measure of Trajectories Using Contextual Information and Fuzzy Approach. *Adjunct Proceedings of the 14th International Conference on Location Based Services, ETH Zurich*.

19- Spaccapietra, S., C. Parent and L. Spinsanti (2013). *Trajectories and Their Representations. Mobility data : modeling, management, and understanding.* C. Renso, S. Spaccapietra and E. Zima'nyi. New York, USA, Cambridge University: 394.

20- Tashayo, B. and A. Alimohammadi (2016). "Modeling

