

اندازه‌گیری تشابه خطوط‌سیر مبتنی بر داده‌های بافتی در فضای اقلیدسی محدود

محمد شریف^{۱*}، علی اصغر آل‌شیخ^۲

^۱ دانشجوی دکتری سیستم‌های اطلاعات مکانی - دانشکده مهندسی نقشه‌برداری - دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
mvsharif@gmail.com

^۲ استاد دانشکده مهندسی نقشه‌برداری - دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
alesheikh@kntu.ac.ir

(تاریخ دریافت آذر ۱۳۹۴، تاریخ تصویب بهمن ۱۳۹۴)

چکیده

حرکت اشیاء در بافت‌های جغرافیایی صورت می‌پذیرد. بافت به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم بر روی فرآیند حرکت تأثیر می‌گذارد و منجر به بازخوردهای متفاوتی در اشیاء متحرک می‌شود. بنابراین، در نظر گرفتن بافت در مطالعات حرکت و توسعه مدل‌های حرکتی بسیار حائز اهمیت است. در این رابطه، بکارگیری بافت در اندازه‌گیری تشابه حرکت اشیاء و خطوط‌سیرشان نقش مهمی ایفا می‌کند. خطوط‌سیر اشیاء نقطه‌ای، در کنار ابعاد مکانی و زمانی، جنبه دیگری دارند که بعد بافت نامیده می‌شود. این بعد تا به امروزه کمتر موردتوجه بوده است و تحقیقات معدودی در تجزیه و تحلیل خطوط‌سیر به آن پرداخته‌اند. بدین منظور، این تحقیق روشی را معرفی می‌کند که در آن ابعاد مکانی، زمانی و بافتی و همچنین ترکیبی از آن‌ها می‌توانند در فرآیند اندازه‌گیری خطوط‌سیر مورد بررسی قرار گیرند. در کنار سادگی، این روش به شکلی توسعه داده شده که کوچک‌ترین تغییرات در هر کدام از ابعاد را به حساب آورد. به‌منظور اعتبارسنجی عملکرد روش معرفی شده و بررسی نقش داده‌های بافتی در اندازه‌گیری تشابه خطوط‌سیر، آزمایش‌های متنوعی بر روی داده‌های حرکتی هواپیما پیاده‌سازی شده است. به‌طور خاص، از مختصات جغرافیایی و ارتفاع هواپیما به‌عنوان بعد مکانی، زمان سفر به‌عنوان بعد زمانی و سرعت هواپیما، سرعت باد و جهت باد به‌عنوان بعد بافتی در این آزمایش‌ها بهره گرفته شده است. نتایج مؤید توانمندی روش ارائه شده در اندازه‌گیری تشابه خطوط‌سیر و همچنین حساسیت آن به تغییرات خفیف در ابعاد است. ضمناً، از نتایج می‌توان به این نکته پی برد که بافت هم موجب افزایش و هم کاهش مقدار تشابه خطوط‌سیر می‌شود. این تأثیر در میانگین مقادیر نسبی شباهت‌های داده‌های حرکتی هواپیما در ابعاد مکانی (۰/۶۰)، مکانی-زمانی (۰/۵۱) و مکانی-زمانی-بافتی (۰/۴۶) قابل مشاهده است.

واژگان کلیدی: حرکت، خط‌سیر، اندازه‌گیری تشابه، بافت، اشیاء متحرک

* نویسنده رابط

۱- مقدمه

حرکت "یک مشخصه از زندگی است، که توسط فرآیندهایی که در طول مقیاس‌های مکانی و زمانی عمل می‌کنند، استخراج می‌شود" [۱]. در حوزه علوم اطلاعات مکانی^۱ حرکت یک المان کلیدی در بسیاری از فعالیت‌ها و فرآیندها است بطوریکه مطالعه و مدل‌سازی حرکت در شناخت فرآیندهای منطقه‌ای (مانند گرده‌باده‌ها، آتش‌سوزی جنگل و گسترش لکه‌های نفتی) و اشیاء پویا نقطه‌ای (مانند انسان، حیوان و وسایل نقلیه) نقش پررنگی داشته است [۲]. بیشتر تحقیقات در رابطه با توسعه مدل‌های حرکتی به سمت مدل‌سازی اشیاء نقطه‌ای بوده تا عوارض منطقه‌ای؛ زیرا اولاً کار با داده‌های نقطه‌ای راحت‌تر است و ثانیاً نقاط در حال حرکت، در بیشتر مواقع، تمام جزئیات یک شیء در حال حرکت که برای تجزیه و تحلیل الگوی حرکت مورد نیاز است را ذخیره می‌کنند [۳].

حرکت در بافت‌های^۲ گوناگونی انجام می‌پذیرد. تعاریف و طبقه‌بندی‌های متنوعی از بافت در ادبیات یافت می‌شود که Malek [۴] به آن‌ها اشاره کرده است. با بررسی این تعاریف می‌توان بافت را پیرامون، وقایع، محیط، پس‌زمینه یا تنظیماتی دانست که یک واقعه یا رویداد را تعیین، تصریح و واضح می‌کند. بافت می‌تواند ایستا/پویا و گسسته/پیوسته باشد [۵]. همچنین، بافت هم باعث و هم مانع حرکت می‌شود. به عنوان مثال، برای وسایل نقلیه در حال حرکت در شهر، جاده (مانند تیپ، عرض و شیب) می‌تواند حرکت را تسهیل نماید و به دلیل وجود موانع دائم/موقت (مانند سرعت‌گیر، ترافیک، چراغ راهنمایی و عابر پیاده) در مسیر، حرکت به‌کندی انجام شود. در نتیجه، تغییرات در بافت می‌تواند منجر به پاسخ‌های رفتاری گوناگونی از اشیاء در حال حرکت شود. دسته‌بندی‌های مختلفی برای بافت با توجه به کاربرد و تعریف محققین از آن ارائه شده است. یک دسته‌بندی توسط Sheleiby و همکاران [۶] معرفی گشته که در جدول ۱ توسعه داده شده است. بافت متحرک که در ادامه این تحقیق با c_a نمایش داده شده است، بر موقعیت، ویژگی و شرایط شیء متحرک دلالت دارد. بافت حرکت یا c_b دربرگیرنده متغیرهایی است که با حرکت یک شیء ایجاد می‌شوند و

بطور مستقیم (مانند سرعت) یا غیرمستقیم (مانند شتاب) قابل اندازه‌گیری هستند. بافت بستر حرکت که در ادامه با c_c از آن یاد خواهد شد، هرگونه شرایط محیطی است که بر حرکت اثر می‌گذارد. سرانجام، بافت محرک یا c_d عواملی است که آغازگر یا تداوم بخش حرکت هستند. به-منظور درک بهتر از این دسته‌بندی، برای هریک از بافت‌ها مثال‌هایی از حوزه هوانوردی در جدول ۱ ذکر شده است.

جدول ۱- دسته‌بندی بافت در حوزه هوانوردی (توسعه داده شده از [۶])

بافت متحرک (c_a)	بافت (پارامتر) حرکت (c_b)	بافت بستر حرکت (c_c)	بافت محرک (c_d)
موقعیت هواپیما*	جهت هواپیما	ترافیک هوایی	مبدأ و مقصد
زمان سفر*	شتاب هواپیما	شرایط جوی (نوع	مهارت خلبان*
مشخصه هواپیما	سرعت هواپیما*	ابر، جهت*	نوع هواپیما
...	زاویه چرخش	سرعت باد*	نقص فنی هواپیما
...	...	...	...

* بافت‌های بکارگرفته شده در این تحقیق

حجم بالایی از داده‌های حرکتی و بافتی را می‌توان مستقیماً با روش‌ها و ابزارهای گوناگونی بدست آورد (از جمله موقعیت‌یاب‌ها و دنبال‌کننده‌ها^۳، همچون سیستم تعیین موقعیت جهانی^۴ (GPS)، گیرنده‌های شناسایی رادیویی^۵ (RFID)، ایستگاه‌های فرستنده و گیرنده^۶ (BTS)، حسگرها^۷ و دوربین‌های نظارتی ایستا و پویا) و یا از داده‌های دیگر استخراج نمود.

به دلیل اینکه موقعیت (مکان) شیء در طول زمان در فضا تغییر می‌کند آن را یک شیء در حال حرکت^۸ می-نامند و به ترتیب زمانی دنباله‌ای از موقعیت‌های ثبت‌شده زمانی-مکانی، دنباله حرکت^۹ اطلاق می‌شود [۷]. حال اگر قسمتی از این دنباله (با توجه به کاربرد) انتخاب شود، اصطلاحاً به آن خط‌سیر گفته می‌شود. به عبارتی یک دنباله می‌تواند از یک یا چند خط‌سیر تشکیل شده باشد. در مراجع علمی خط‌سیر چنین تعریف شده است:

تعریف: "خط‌سیر یک شیء، یک دنباله (s) با طول n از موقعیت‌های مکانی، برای هر گام زمانی از تاریخچه، با ترکیب $\{(l_0, t_0), (l_1, t_1), \dots, (l_{n-1}, t_{n-1})\}$ است؛ جاییکه l_i مکان

^۳ Trackers

^۴ Global Positioning System

^۵ Radio-frequency Identification

^۶ Base Transceiver Station

^۷ Sensors

^۸ Moving Object

^۹ Movement Track

^۱ Geospatial Information Science

^۲ Contexts

شیء در زمان t_i و به صورت مختصات مکانی بیان می شود. اگر اختلاف بین گام های زمانی متوالی ثابت باشد، s به صورت $\{(l_0), (l_1), \dots, (l_{n-1})\}$ ساده سازی می شود [۸].

از جمله مطالعات بر روی خطوطسیر، کشف دانش جغرافیایی^۱ (GKD) از پایگاه های داده^۲ آن ها است. از جمله روش های کشف دانش جغرافیایی، اندازه گیری و تجزیه و تحلیل تشابه خطوطسیر است [۹]. اهمیت اندازه گیری و تجزیه و تحلیل تشابه خطوطسیر را می توان در کشف الگوهای حرکتی و رفتاری، دسته بندی خطسیرها و تقسیم بندی داده های در حال حرکت و پیش بینی فرآیندها در آینده دانست [۲]. موضوع بحث برانگیز در این رابطه تعریف واژه تشابه است. درک کلی از تشابه این گونه است که هرچه دو شیء مشترکات بیشتری داشته باشند شبیه ترند و برعکس، هرچه تفاوت بیشتری با هم داشته باشند کمتر به هم شبیه هستند [۱۰]. در این راستا، خطوطسیر می توانند 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 مکان های مشابه عبور کرده باشند؛ الگوهای مشابهی را نمایان کنند؛ بیانگر ترتیب خاص یا روند یکنواختی باشند [۳] و/یا دارای بافت یکسانی باشند.

به دلیل وجود تعاریف متفاوتی از شباهت و توجه به جنبه خاصی از آن همچون شباهت مکانی، زمانی و مکانی-زمانی، تنوع زیادی در توابع اندازه گیری تشابه خطوطسیر وجود دارد [۱۱]. با این حال، تجزیه و تحلیل خطوطسیر خام (مکان و زمان)، بدون در نظر گرفتن بافت، نهایتاً منجر به بررسی الگوهای مکانی-زمانی می شود. اگرچه نتایج حاصل در این شرایط می تواند مفید باشد، اما اندازه گیری و تجزیه و تحلیل تشابه خطوطسیر غنی شده با داده های بافتی می تواند به نتایج نزدیک تر به واقعیت بیانجامد. به عبارت دیگر، اگرچه هندسه و ابعاد اشیاء نقطه ای شامل ابعاد زمانی، مکانی و مکانی-زمانی است، اما مطالعه حرکت اشیاء تنها به مکان (x, y, z) و زمان (t) خلاصه نمی شود، بلکه به بافتی (c) که حرکت در آن صورت گرفته نیز ارتباط دارد. در چنین شرایطی هر مؤلفه از خطسیر به صورت (x, y, z, t, c) نمایش داده می شود.

بنابراین، هدف این تحقیق ارائه روشی است تا در کنار ابعاد مکانی و زمانی، از داده های بافتی در فرآیند اندازه گیری تشابه خطوطسیر استفاده کند. همچنین این تحقیق تلاش دارد تا به بررسی نقش انواع بافت در این فرآیند بپردازد. در این راستا، ادامه این تحقیق از قرار زیر می باشد. قسمت ۲ به مروری بر تحقیقات انجام شده که در توسعه و بکارگیری روش های اندازه گیری تشابه در ابعاد مکانی-زمانی و بافتی مشارکت داشته اند اشاره دارد. در قسمت ۳، روشی برای اندازه گیری شباهت خطوطسیر با در نظر گرفتن ابعاد مکانی، زمانی و بافتی ارائه می شود. ارزیابی روش توسعه داده شده با پیاده سازی آن بر روی داده های واقعی در قسمت ۴ انجام می پذیرد. سرانجام، قسمت ۵ به نتیجه گیری از این تحقیق و بیان پیشنهادهایی برای پژوهش های آتی می پردازد.

۲- مروری بر تحقیقات انجام شده

نظر به متغیر بودن تعاریف تشابه، روش های متنوعی برای اندازه گیری شباهت های خطوطسیر ارائه شده است [۱۲]. این روش ها معمولاً به دو گروه (۱) سری های زمانی^۳ و (۲) هندسه محاسباتی^۴ تقسیم بندی می شوند. جزئیات این توابع به همراه نقاط مثبت و منفی هر یک را Sharif و Alesheikh [۱۳] به صورت جامع بیان کرده اند. لذا، این قسمت به مروری بر تحقیقات انجام شده که در توسعه و بکارگیری روش های اندازه گیری تشابه خطوطسیر در ابعاد مکانی-زمانی و بافتی مشارکت داشته اند می پردازد.

به عنوان یک تحقیق پیش قدم در زمینه تجزیه و تحلیل تشابه در ابعاد مکانی-زمانی، Sinha و Mark [۱۴] از فاصله اقلیدسی^۵ جهت اندازه گیری شباهت های خطوطسیر منظم بهره گرفتند. فضای حرکتی، آکوارיום مکان-زمان^۶ در نظر گرفته شد و پیاده سازی این روش بر روی سکونتگاه افراد صورت پذیرفت. سپس، van Kreveld و Luo [۱۵] این تحقیق را توسعه دادند و یک روش وابسته به زمان را جهت استخراج خطوطسیر شبیه به هم معرفی کردند. از جمله ویژگی های این روش می توان به یافتن زیر-خطوطسیر متشابه بین دو خطسیر اشاره کرد. با این-

^۳ Time Series Analysis

^۴ Computational Geometry

^۵ Euclidian Distance

^۶ Space-time Aquarium

^۱ Geographic Knowledge Discovery

^۲ Knowledge Discovery in Databases

حال، هر دو تحقیق فوق به نوفه^۱ و داده‌های برون‌نهاد^۲ حساس هستند.

در تحقیق دیگر، Frentzos و همکاران [۱۶] با معرفی روشی بنام DISSIM^۳، از طریق اندازه‌گیری عدم تشابه مابین خطوط‌سیر، میزان تشابه آن‌ها را استخراج کردند. این روش مکانی-زمانی به صورت تقریبی عمل می‌کند و برای خطوط‌سیر با اندازه‌های یکسان قابل پیاده‌سازی است. به منظور ارزیابی DISSIM، آن را در فضای اقلیدسی برای ناوگان کامیون پیاده‌سازی نمودند. این روش نیز به نوفه و داده‌های برون‌نهاد حساس است.

Pelekis و همکاران [۱۷] با معرفی مجموعه‌ای از عملگرهای فاصله بر مبنای مختصات مکانی-زمانی خطوط-سیر و همچنین پارامترهای حرکتی سرعت و جهت، به اندازه‌گیری تشابه خطوط‌سیر پرداختند. روش‌های برگزیده شده آنان فاصله فرشت^۴ و مساحت مبنا^۵ بودند که در فضای اقلیدسی برای ناوگان کامیون مورد ارزیابی قرار گرفتند. اگرچه این روش مکانی-زمانی قابلیت بکارگیری پارامترهای حرکتی را دارد، اما به شکل هندسی خطوط-سیر و یافتن نقاط تلاقی آن‌ها حساس است.

Trajcevski و همکاران [۱۸] با ارائه فاصله تشابه تبدیل صلب^۶ (RTSD) برگرفته از فاصله فرشت، با کمک پارامترهای انتقال و چرخش به اندازه‌گیری تشابه خطوط-سیر پرداختند. آن‌ها روش خود را در فضای آکوارיום مکان-زمان بر روی ترافیک جاده پیاده‌سازی نمودند. در تحقیق مشابه، Ding و همکاران [۱۹] یک روش مکانی-زمانی شبه-متریک بنام wDF^۷ را معرفی می‌کنند. این روش فاصله فرشت را محدود به جفت نقاطی روی خطوط‌سیر می‌کند که فاصله زمانی آن‌ها محدود به حد آستانه^۸ زمانی تعریف شده باشد. مؤلفین این مقاله روش خود را در فضای اقلیدسی بر روی وسایل نقلیه در شبکه راه پیاده‌سازی کردند. هر دو روش‌های مکانی-زمانی فوق دارای پیچیدگی محاسباتی بالایی هستند و پارامترهای حرکتی را نادیده می‌گیرند.

Dodge و همکاران [۲۰] روشی را بنام فاصله اصلاح شده وزن‌دار نرمال شده^۹ (NWED) برای اندازه‌گیری تشابه بین دنباله‌های حرکتی ارائه کردند. این روش بر روی خطوط‌سیری که به ویژگی‌های همگن قطعه‌قطعه^{۱۰} شده‌اند اعمال می‌شود. این ویژگی‌ها شامل پارامترهای حرکتی یکسان از قبیل سرعت، شتاب و جهت می‌باشند. از کاربردهای این روش برای مواقعی است که هندسه زمان-مکان حرکت ملاک اصلی تجزیه و تحلیل حرکت نباشد. آن‌ها روش توسعه داده شده خود را در فضاهای اقلیدسی، شبکه و آکوارיום مکان-زمان برای کاربردهای پیک شهری و حرکت گردباد پیاده‌سازی نمودند. این روش زمانی-مکانی به فاصله آستانه وابسته است که بایستی برای هر کاربرد جداگانه تعریف شود.

Yuan و Raubal [۲۱] روش اصلاح فاصله^{۱۱} را به منظور یافتن تشابه در خطوط‌سیر توسعه داده‌اند. آن‌ها این روش را با اعمال ابعاد مکانی و زمانی در توابع هزینه^{۱۲} ارتقاء داده‌اند. سرانجام روش خود را در فضای موزاییکی بی‌قاعده^{۱۳} بر روی تماس‌های تلفنی ثبت شده شهروندان پیاده‌سازی نموده‌اند. این روش نیز جهت اندازه‌گیری تشابه به فاصله آستانه وابسته است که بایستی برای هر کاربرد جداگانه تعریف شود. همچنین در روش مذکور نیاز است که ارزیابی قابلیت اطمینان^{۱۴} لحاظ گردد تا کارآمدی آن مورد بررسی قرار گیرد.

تمامی تحقیقات بالا در یافتن خطوط‌سیر متشابه نهایتاً به ابعاد مکانی-زمانی ختم می‌شوند. با توجه به دانش نویسندگان این مقاله، تاکنون تحقیقات محدودی در رابطه با بکارگیری داده‌های بافتی در فرآیند اندازه‌گیری تشابه خطوط‌سیر مشارکت داشته است. به عنوان نمونه، Buchin و همکاران [۵] از توابع هندسی فرشت، هاسدورف^{۱۵} و فاصله زمانی برابر^{۱۶} استفاده کرده‌اند تا شباهت‌های خطوط‌سیر گردبادها و مرغان دریایی در فضای اقلیدسی مورد بررسی قرار گرفته شود. در کنار مکان و زمان، برای کاربرد اول (گردباد)، از پوشش زمین (خشکی/دریا) و برای

^۹ Normalized Weighted Edit Distance

^{۱۰} Segment

^{۱۱} Edit Distance

^{۱۲} Cost Functions

^{۱۳} Irregular Tessellation Space

^{۱۴} Reliability Assessment

^{۱۵} Hausdorff Distance

^{۱۶} Equal Time Distance

^۱ Noise

^۲ Outlier

^۳ Dissimilarity

^۴ Fréchet Distance

^۵ Area Based

^۶ Rigid Transformation Similarity Distance

^۷ w-Constrained Fréchet Distance

^۸ Threshold

به صورت متناظر با هم مقایسه می شوند. از این رو، ابتدا با توجه به شرط $\{0,1\} \rightarrow P \times Q$ ، انطباق هر جفت از خطوط سیر برای ابعاد مختلف از رابطه ۲ بدست می آید.

$$\{ \forall p, q | p \in P, q \in Q \}$$

$$M_D(q_i, p_i) = \begin{cases} 1 & DF \leq \varepsilon_D \\ 0 & \text{در غیر این صورت} \end{cases} \quad (2)$$

جائیکه M_D مقدار انطباق در هر بعد (D) برای جفت عضو متناظر است. برای هر بعد یک تابع فاصله^۱ (DF) تعریف می شود که کوچک تر یا مساوی حد آستانه انطباق آن بعد (ε_D) می باشد. به عنوان مثال، این مقدار برای ابعاد مکانی، زمانی و بافتی مؤلفه های نام دو خط سیر P و Q ، به ترتیب از قرار زیر می باشند (رابطه ۳):

$$DF: \begin{cases} d(p_i, q_i) \leq \varepsilon_S & \text{مکانی} \\ |t_{qi} - t_{pi}| \leq \varepsilon_T & \text{زمانی} \\ |c_{qi} - c_{pi}| \leq \varepsilon_C \text{ یا } c_{pi} = c_{qi} & \text{بافتی} \end{cases} \quad (3)$$

که در آن d فاصله مکانی بین دو نقطه نظیر به هم است و می تواند از طریق هریک از روش های سری های زمانی یا هندسه محاسباتی محاسبه شود. اکنون میانگین حسابی نتایج حاصل از مقایسه نقاط نظیر به هم برای هر بعد از رابطه ۴ بدست می آید.

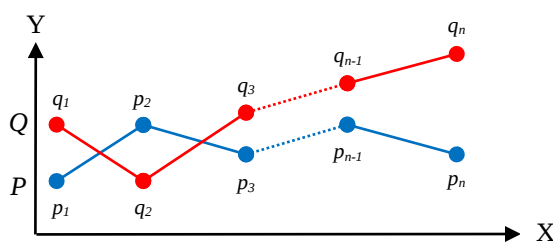
$$\overline{M_D} = \frac{\sum_{i=1}^n M_D(p_i, q_i)}{n} \quad (4)$$

حین اندازه گیری تشابه خطوط سیر در کاربردهای مختلف، یک بعد نسبت به بعد دیگر می تواند اهمیت بیشتری داشته باشد. به عنوان مثال، برای حرکت وسایل نقلیه معمولاً بعد مکان نسبت به ابعاد زمان و بافت اهمیت بیشتری دارد. اما در موضوع مهاجرت پرنده ها، زمان حرکت و مدت زمان توقف می تواند نسبت به ابعاد مکان و بافت مهم تر باشد. بنابراین، حین فرآیند اندازه گیری تشابه، با توجه به کاربرد می توان ابعاد را وزن دهی کرد. سپس، نظر به شرط $[0,1] \rightarrow P \times Q$ ، با ضرب ابعاد وزن دار در مقادیر میانگین محاسبه شده از رابطه ۴، هر خط سیر با توجه به بعدش ارزش دهی شود (رابطه ۵).

کاربرد دوم (مرغان دریایی)، از سرعت باد به عنوان داده های بافتی بهره گرفته شده است. اما خلأ بکارگیری سری های زمانی و داده های بافتی توأماً در فرآیند اندازه گیری تشابه خطوط سیر احساس می شود که در ادامه این تحقیق به آن پرداخته شده است.

۳- روش پیشنهادی

در این قسمت روشی ارائه می شود که در کنار ابعاد مکانی و زمانی، از داده های بافتی برای اندازه گیری تشابه خطوط سیر استفاده می کند. این روش توسعه یافته روش فاصله اقلیدسی است، به نحوی که قادر است در چند بعد انواع داده های بافتی را بکار گیرد. همان طور که پیش تر اشاره شد، هر خط سیر از دنباله ای از نقاط پشت سر هم تشکیل شده است. در این راستا، دو خط سیر $P = \langle p_1, \dots, p_n \rangle$ و $Q = \langle q_1, \dots, q_n \rangle$ را با اندازه های $|P| = |Q| = n$ در نظر بگیرید (شکل ۱).



شکل ۱- نمایش دو خط خط سیر P و Q با اندازه n

هر عضو از هر خط سیر می تواند دارای ابعاد مختلفی از جمله مکان (S)، زمان (T) و بافت (C) باشد. هر بعد نیز می تواند از یک یا چند مؤلفه تشکیل شده باشد (رابطه ۱).

$$q_i = (\underbrace{x_i, y_i, z_i}_{S_i}, \underbrace{t_i}_{T_i}, \underbrace{c_{ai}, c_{bi}, c_{ci}, c_{di}}_{C_i}) \quad (1)$$

در رابطه فوق، x_i و y_i مؤلفه های مسطحاتی و z_i مؤلفه ارتفاعی بعد مکان نقطه نام (S_i) هستند؛ t_i مؤلفه زمانی بعد زمان نقطه نام (T_i) است؛ و $c_{ai}, c_{bi}, c_{ci}, c_{di}$ به ترتیب مؤلفه های بافت متحرک، بافت حرکت، بافت بستر حرکت و بافت محرک بعد بافت نقطه نام (C_i) هستند. لذا، برای مقایسه خطوط سیر، بایستی هر بعد، تابع اندازه گیری منحصر به فرد خود را داشته باشد و همچنین برای هر یک از ابعاد، حد آستانه انطباق (ε) جداگانه تعریف شود. در روش پیشنهاد شده، اعضا تشکیل دهنده خطوط سیر

^۱ Distance Function

جوی)، به استخراج الگوهای رفتاری-حرکتی این گونه از اشیاء متحرک کمک می‌کند. همچنین برنامه‌ریزان را در جهت تعریف مسیرهای بهتر پروازی یاری خواهد کرد.

الگوریتم ۱- اندازه‌گیری تشابه خطوط مسیر

Inputs:

- $Q[]$: trajectories comprised of n points, each has seven features ($x, y, z, t, C_a, C_b, C_c$)
- $\tau[]$: thresholds
- $W[]$: weights

Outputs:

- $Sim[]$: Similarity matrix

Algorithm:

```

1.  $n \leftarrow$  number of points for every trajectories
2. for  $i = \text{index on } Q$  do
3.   for  $j = \text{index on } Q$  do
4.      $temp[n,5] \leftarrow$  empty temporary vector
5.     for index on samples  $k=1-n$  do
6.       if (Euc. dist.  $_{k,i,k,j} \leq \tau[\text{dist.}]$ ) then
7.          $temp[k,1]=1$ 
8.       else
9.          $temp[k,1]=0$ 
10.      end if
11.      if ( $|t_{k,i} - t_{k,j}| \leq \tau[\text{temporal}]$ ) then
12.         $temp[k,2]=1$ 
13.      else
14.         $temp[k,2]=0$ 
15.      end if
16.      for every condition features do
17.        if ( $C_{k,i} = C_{k,j}$ ) then
18.           $temp[k,3-5]=1$ 
19.        else
20.           $temp[k,3-5]=0$ 
21.        end if
22.      end for
23.    end for
24.     $S[] \leftarrow$  Arithmetic mean for every feature
25.    for index on temp-features  $p=1-5$  do
26.       $sum \leftarrow 0$ 
27.      for index on temp-samples  $q=1-n$  do
28.         $sum \leftarrow sum + temp[q,p]$ 
29.      end for
30.       $S[p] \leftarrow sum/n$ 
31.    end for
32.     $Sim[i,j] = \sum S * W$ 
33.  end for
34. end for
35. return  $Sim[]$ 

```

$$M'_D = \sum_{i=1}^{|D|} \overline{M}_D * W_D \quad (5)$$

جائیکه $|D|$ تعداد ابعاد و W_D وزن مربوط به هر بعد است. در نهایت مقدار تشابه دو خط‌سیر P و Q از رابطه ۶ محاسبه می‌شود.

$$Sim.(P, Q) = \begin{cases} 0 & |P| = 0 \text{ یا } |Q| = 0 \\ M'_D & \text{در غیر این صورت} \end{cases} \quad (6)$$

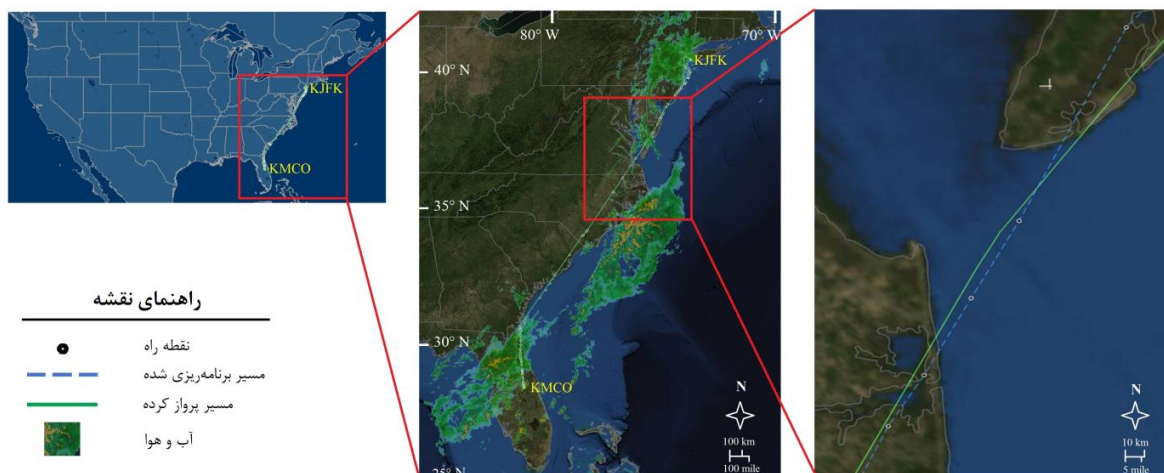
در پاره‌ای از مسائل، هر بعد می‌تواند شامل مؤلفه‌های متفاوتی باشد، مانند بافت $C(C_a, C_b, C_c, C_d)$. لذا، می‌توان وزن کلی بعد بافت (W_C) را بر مؤلفه‌ها تقسیم کرد تا اهمیت آن مؤلفه در فرآیند اندازه‌گیری تشابه بهتر لحاظ گردد. خروجی این روش که نشان‌دهنده میزان تشابهات خطوط‌سیر است به شکل یک ماتریس بدست می‌آید (شکل ۲). الگوریتم ۱ شبه کد مراحل اندازه‌گیری تشابه بین دو خط‌سیر P و Q در ابعاد مختلف را نشان می‌دهد.

$$\begin{matrix} & P & Q & R & \dots \\ \begin{matrix} P \\ Q \\ R \\ \vdots \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1 & Sim_{P,Q} & Sim_{P,R} & \dots \\ Sim_{P,Q} & 1 & Sim_{Q,R} & \dots \\ Sim_{P,R} & Sim_{Q,R} & 1 & \dots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots \end{bmatrix} \end{matrix}$$

شکل ۲- میزان نسبی تشابهات خطوط‌سیر

۴- ارزیابی تجربی

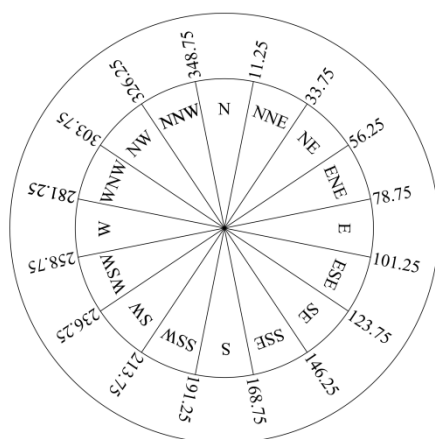
به‌منظور ارزیابی روش ارائه شده و نمایش توانمندی آن در اندازه‌گیری تشابه خطوط‌سیر اشیاء نقطه‌ای و همچنین بررسی تأثیر بعد بافت در این فرآیند، آزمایش‌های متنوعی روی پایگاه داده حرکت هواپیمای مسافربری انجام گرفت که در این قسمت به آن پرداخته می‌شود. این آزمایش‌ها به‌طور خاص ابعاد مکانی، زمانی، بافتی و ترکیبی از آن‌ها را در فرآیند اندازه‌گیری تشابه مورد بررسی قرار می‌دهند. استخراج تشابه خطوط‌سیر هواپیماها و بررسی آن‌ها در شرایط بافتی گوناگون (مانند شرایط



شکل ۳- مسیر پروازی مورد مطالعه بین دو فرودگاه اورلاندو (KCMO) و جان اف کندی (JFK)

۴-۱- داده

مجموعه داده بکارگرفته شده از ۳۲ خطسیر تشکیل شده است. داده‌های حرکتی هواپیما شامل پارامترهای مکان، ارتفاع لحظه‌ای، سرعت لحظه‌ای و زمان پرواز است. داده‌های هواشناسی دربرگیرنده پارامترهای سرعت وزش باد و جهت وزش باد در طول پرواز است. جهت باد را از سمتی که می‌وزد گزارش می‌کنند. مثلاً باد شمال از شمال به جنوب می‌وزد. جهت باد معمولاً با جهت یا با درجه آزیموت گزارش می‌شود (شکل ۴). مثلاً بادی که از غرب می‌وزد باد 270° نامیده می‌شود. واحد مورد استفاده برای بیان اندازه سرعت باد در این تحقیق گره^۴ (KTS) در نظر گرفته شده است (۱ گره = $1/852$ کیلومتر بر ساعت).



شکل ۴- تقسیم‌بندی ۱۶ تایی جهت و درجه باد

از دو مجموعه داده حرکت هواپیما و هواشناسی جهت پیاده‌سازی استفاده شده است. به علت عدم وجود داده‌های مذکور برای ایران، از داده‌های ایالات متحده آمریکا استفاده شده است. این دو مجموعه از داده به‌صورت لحظه‌به‌لحظه و به‌روز موجود می‌باشند [۲۲، ۲۳].

یک مسیر هوایی در شرق ایالات متحده آمریکا بین دو فرودگاه بین‌المللی اورلاندو در ایالت فلوریدا با شناسه KCMO و جان اف کندی در ایالت نیویورک با شناسه JFK انتخاب گردید (شکل ۳). دلایل این انتخاب به خاطر (۱) قرارگیری این مسیر هوایی در مجاورت اقیانوس اطلس که منجر به تنوعی از شرایط جوی می‌شود، (۲) حرکت از سمت جنوب به شمال و طی کردن عرض‌های جغرافیایی بسیار و (۳) تعدد پروازهای انجام شده در طول روز هستند. حرکت هر هواپیمای مسافربری با توجه به مسیر برنامه‌ریزی شده^۱ صورت می‌پذیرد که این مسیر از تعدادی نقطه اجباری به نام نقطه راه^۲ تشکیل شده است و هواپیما بایستی از آن نقاط عبور کند. اما به دلیل شرایط بافتی (مانند آب‌وهوا، ترافیک هوایی یا نقص فنی)، مسیر پرواز کرده^۳ می‌تواند با مسیر برنامه‌ریزی شده کاملاً منطبق نباشند. لذا، به‌دلیل حرکت هواپیما در مسیر مشخص و قابلیت مانور محدود، فضای حرکتی این نوع عوارض متحرک فضای اقلیدسی محدود است.

^۱ Planned Route

^۲ Waypoint

^۳ Flown Route

^۴ Knot

جدول ۲- ابعاد و مؤلفه‌های) مربوط به خطوط‌سیر

ابعاد	مکانی (S)			زمانی (T)	بافتی (C)		
	عرض جغرافیایی (degree)	طول جغرافیایی (degree)	ارتفاع (foot)	زمان (hh:mm:ss)	سرعت لحظه‌ای هواپیما (KTS)	جهت باد	سرعت لحظه‌ای باد (KTS)
مؤلفه							
مثال	30.6428	-81.4861	33,000	08:04:51 PM	439	225°/WSW	24

درحالی‌که برای داده‌های غیرعددی (مانند جهت باد)، یکسان بودن آن پارامترها ملاک انطباق می‌باشد.

در ادامه، جهت اندازه‌گیری فاصله مکانی دو نقطه در فضای ۳-بعدی از فاصله اقلیدسی استفاده شده است. همچنین، برای هر دو نقطه، فاصله زمانی از اختلاف زمان طی شده بدست آمده است؛ سرعت لحظه‌ای هواپیما از اختلاف سرعت هواپیما محاسبه شده است؛ و سرعت لحظه‌ای باد از اختلاف سرعت باد استخراج گردیده است. نهایتاً برای هر بعد و حتی مؤلفه هر بعد وزن‌دهی انجام گرفته شده تا ارزش و میزان اهمیت هر مؤلفه در اندازه‌گیری خطوط‌سیر واقع‌بینانه‌تر تأثیر داده شود. نکته قابل توجه اینست که مقدار وزن و نحوه وزن‌دهی به هر بعد تا حد بسیار زیادی به کاربرد بستگی دارند. چراکه یک بعد در دو کاربرد متفاوت می‌تواند نقش و اهمیت متفاوتی داشته باشند.

- **آزمایش شماره ۱:** هدف مقایسه تشابه خطوط‌سیر در ابعاد مختلف

در واقعیت، اندازه‌گیری تشابه خطوط‌سیر برای کاربردهای گوناگون اهمیت متفاوتی دارد. در هر کاربرد نیز هر بعد (مکان، زمان یا بافت) می‌تواند نقش پررنگتری نسبت به دیگری داشته باشد. در این راستا، به‌منظور مقایسه اندازه و نقش این ابعاد در فرآیند اندازه‌گیری تشابه خطوط‌سیر، هفت آزمون اندازه‌گیری تشابه روی مجموعه داده اجرا می‌گردد؛ که در هر آزمون به هر بعد یک وزن اختصاص داده می‌شود (جدول ۳). به‌عبارت دیگر، اندازه‌گیری‌های مختلفی از شباهت روی یک مجموعه خطوط-سیر با اعمال وزن‌های متفاوت صورت می‌پذیرد. مقادیر وزن تعریف شده در جدول ۳ صرفاً به‌منظور ارزیابی ابعاد مختلف به تنهایی (مانند بعد مکان) یا ترکیبی از آن‌ها (مانند بعد مکان-زمان) است. همانطور که پیش‌تر اشاره شد محاسبه دقیق مقدار وزن‌ها به کاربرد بستگی دارد و می‌توانند از روش‌های بهینه‌سازی محاسبه گردند. باین-حال، مسئله وزن‌دهی، همانطور که در تحقیقات دیگر به

برای هر نقطه از هر خط‌سیر تمامی داده‌های مرتبط با داده‌های حرکتی هواپیما و هواشناسی ذخیره شده‌اند. به‌منظور وضوح بیشتر، برای یک نقطه از یک خط‌سیر نمونه عددی در جدول ۲ ذکر شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود هر بعد معرف یک یا چند پارامتر است. به‌عنوان مثال، بعد بافت از دو مؤلفه بافت حرکت (سرعت لحظه‌ای هواپیما) و بافت بستر حرکت (جهت و سرعت لحظه‌ای باد) تشکیل شده است.

۲-۴- آماده‌سازی و پیش‌پردازش

اگرچه فناوری‌های جمع‌آوری داده اجازه دسترسی به داده‌های مختلفی را می‌دهند، اما این نوع داده‌ها گاهی به‌صورت ناقص جمع‌آوری می‌شوند و به دلیل وجود عواملی محیطی و یا دستگاهی، اغلب نیازمند آماده‌سازی و اعمال فرآیندهای پیش‌پردازش هستند. از این‌رو، به‌عنوان مثال، از روش درون‌یابی استفاده شد تا برای محل‌هایی که داده‌ای وجود ندارد، متناسب با مقادیر قبل و بعد از آن، داده تولید شود. یا داده‌ها می‌بایست از نظر زمانی بر هم منطبق شوند؛ زیرا داده‌های هواشناسی با توجه به ساعت هماهنگ جهانی^۱ (UTC) ثبت می‌شوند و داده‌های هواپیما با زمان استاندارد شرقی^۲ (EST) ذخیره می‌گردند.

۳-۴- پیاده‌سازی و تحلیل نتایج

در مرحله پیاده‌سازی، ابتدا نیاز است که برای هر مؤلفه از هر بعد (اشاره شده در جدول ۲) یک حد آستانه انطباق (ε) تعریف شود. بدین منظور، برای داده‌های عددی (مانند سرعت باد) این مقدار برابر یک چهارم بیشینه مقدار انحراف معیار خطوط‌سیر در نظر گرفته شده، چراکه Chen و همکاران [۲۴] این مقدار را مناسب‌ترین حد آستانه معرفی می‌کنند. اختلافات کمتر یا مساوی این مقدار بیانگر تشابه دو نقطه از خطوط‌سیر هستند و برعکس.

^۱ Coordinated Universal Time

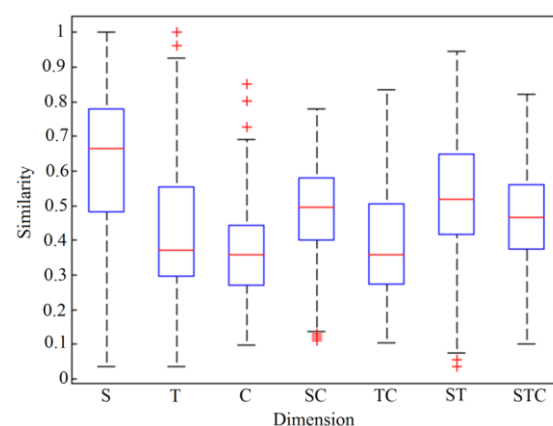
^۲ Eastern Standard Time

آن‌ها اشاره شده [۲۰، ۲۱]، نیازمند بررسی دقیق‌تر در یک تحقیق مجزا است و از چارچوب این تحقیق خارج است.

جدول ۳- وزن ابعاد مختلف برای هر آزمون اندازه‌گیری تشابه

ابعاد آزمون	زمانی	مکانی	بافتی
1	1	0	0
2	0	1	0
3	0	0	1
4	1/2	1/2	0
5	0	1/2	1/2
6	1/2	0	1/2
7	1/3	1/3	1/3

به‌منظور مقایسه مقادیر تشابه خطوط‌سیر در ابعاد مختلف و ترکیبات آن‌ها، توزیع میزان شباهت‌هایشان به‌صورت نمودار جعبه‌ای^۱ در شکل ۵ نمایش داده شده است. از این روش نمایش، اطلاعات متنوعی از قبیل هماهنگی یا عدم هماهنگی بین مقادیر شباهت‌ها، دامنه شباهت‌ها در ابعاد مختلف، بیشینه مؤثر و کمینه مؤثر مقدار تشابه در ابعاد مختلف و حجم داده‌های نرمال و برون‌نهاد می‌توان استخراج نمود.



شکل ۵- نمودار جعبه‌ای توزیع میزان شباهت‌های خطوط‌سیر در ابعاد مکانی، زمانی، بافتی و ترکیبی از آن‌ها

دامنه شباهت‌ها (بازه بین بیشینه و کمینه مقدار تشابه) توسط تاره‌ها^۲ مشخص می‌شوند. به‌عنوان نمونه، میزان این بازه برای بعد مکان (S) از ۰/۰۴ تا ۱ متغیر می‌باشد. این بدین معنی است که میزان تشابه خطوط‌سیر در بعد مکان تقریباً از عدم انطباق تا انطباق کامل متغیر

است. دامنه میان‌چارکی^۳ (IQR) یا مقادیر بین چارک‌های اول و سوم (چهارضلعی مرکزی)، نمایان‌گر بزرگی مقادیر (بیشینه و کمینه) مؤثر تشابه به همراه میانه آن‌ها است. مابین تمامی ابعاد در شکل ۵، این مقدار برای بعد مکان بیشتر است. دلیل اصلی آن حرکت تمامی هواپیماهای مسافربری از مسیر یکسان از قبل تعریف شده می‌باشد. دامنه شباهت‌ها برای بعد زمان (T) تا حدودی زیادی شبیه بعد مکان است، اما تفاوت اصلی در دامنه میان چارکی است. عموماً زمان طی شده تابعی از پارامترهای سرعت و مسافت است. با توجه به یکسان بودن مسیر پرواز، تفاوت اصلی در پارامتر سرعت است. یک عامل مهم و تأثیرگذار در سرعت هواپیما، مقدار و جهت باد است (بافت حرکت). باد موافق (در راستای حرکت هواپیما) به افزایش سرعت هواپیما کمک می‌کند و برعکس. لذا، یک دلیل برای اختلاف بعد مکان و زمان همین بافت حرکت است. این موضوع را می‌توان در بعد بافت (C) مشاهده کرد. دامنه تشابه و دامنه میان‌چارکی تشابه خطوط‌سیر در این بعد جزو کمترین مقادیر در مقایسه با سایر ابعاد است. این بدین معنی است که تنوعی از شرایط آب و هوایی در مسیر پرواز وجود داشته است. این تنوع به حدی است که تعدادی داده‌برون‌نهاد نیز مشاهده می‌شود. ابعاد ترکیبی مکانی-بافتی (SC) و زمانی-بافتی (TC) مقدار تشابه متوسطی را نمایش می‌دهند. دامنه تشابه و دامنه میان‌چارکی این ابعاد کمتر از ابعاد مکانی و زمانی به‌تنهایی است. دلیل آن اعمال بعد بافت در فرآیند اندازه‌گیری شباهت است. بعد مکانی-زمانی (ST) ماحصل در نظر گرفتن توأمان دو بعد مکان و زمان است. با اضافه کردن بعد بافت به این بعد و ایجاد بعد مکانی-زمانی-بافتی (STC)، دامنه تشابه و دامنه میان‌چارکی نیز کاهش می‌یابند. اعمال داده‌های مکانی، زمانی و بافتی در اندازه‌گیری تشابه اگرچه نسبت شباهت‌ها را کمتر می‌کند، اما نتایج به واقعیت نزدیک‌تر خواهند شد. این موضوع را می‌توان در میانگین مقادیر نسبی تشابهات داده‌های حرکتی هواپیما در ابعاد مکانی (۰/۶۰)، مکانی-زمانی (۰/۵۱) و مکانی-زمانی-بافتی (۰/۴۶) یافت.

^۳ Interquartile range (IQR)

^۱ Boxplot

^۲ Whisker

- **آزمایش شماره ۲:** هدف بررسی نقش بافت حرکت و بافت بستر حرکت در اندازه‌گیری تشابه خطوط‌سیر بافت می‌تواند هم باعث افزایش و هم کاهش میزان تشابه خطوط‌سیر شود. جهت بررسی این دو موضوع، چهار خط‌سیر به‌عنوان نمونه از مجموعه داده انتخاب گشته‌اند که در شکل ۶ نمایش داده شده‌اند. مقادیر نسبی تشابهات این خطوط‌سیر از روش ارائه شده محاسبه گردید (شکل ۷). برای حالت اول، دو خط‌سیر K و L ، از منظر بعد مکان (S) دارای شباهتی معادل 0.4 هستند. با اعمال بعد زمان (T)، مقدار تشابه از منظر بعد مکان-زمان (ST) به 0.30 افزایش پیدا می‌کند. با توجه به میزان تشابه بالای 0.85 این دو خط‌سیر در بعد بافتی (C) -شامل بافت حرکت (سرعت هواپیما) و بافت بستر حرکت (سرعت و جهت وزش باد) - مقدار نهایی تشابه با در نظر گرفتن تمامی ابعاد (STC) به 0.48 افزایش پیدا می‌کند. برای حالت دوم، دو خط‌سیر M و N ، از جنبه‌های مکانی (S) و مکانی-زمانی (ST) به ترتیب دارای مقدار تشابهات بالای 0.85 و 0.91 هستند. اما با اعمال میزان تشابه بافتی (C) این دو خط‌سیر به مقدار 0.37 ، نهایتاً مقدار شباهت در بعد مکانی-زمانی بافتی (STC) به مقدار 0.73 کاهش می‌یابد.

	K	L	M	N		K	L	M	N
K	1	0.04	0.56	0.59	K	1	0.85	0.23	0.30
L	0.04	1	0.04	0.04	L	0.85	1	0.27	0.31
M	0.56	0.04	1	0.85	M	0.23	0.27	1	0.37
N	0.59	0.04	0.85	1	N	0.30	0.31	0.37	1
S					C				
K	1	0.30	0.52	0.54	K	1	0.48	0.42	0.46
L	0.30	1	0.15	0.19	L	0.48	1	0.19	0.23
M	0.52	0.15	1	0.91	M	0.42	0.19	1	0.73
N	0.54	0.19	0.91	1	N	0.46	0.23	0.73	1
ST					STC				

شکل ۷- مقادیر تشابه چهار خط‌سیر در چهار بعد مختلف

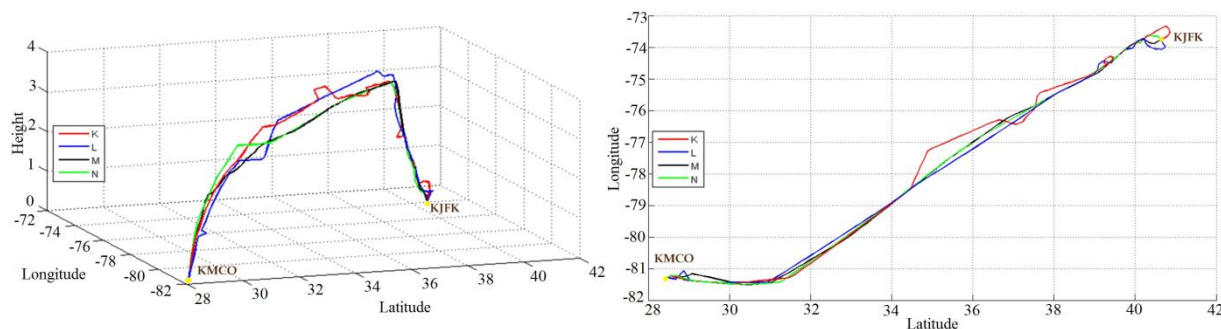
- **آزمایش شماره ۳:** هدف بررسی نقش بافت محرک در اندازه‌گیری تشابه خطوط‌سیر خلبانان معمولاً دو روش دستگاہی را برای تقرب^۱ و نهایت فرود^۲ هواپیما بکار می‌گیرند: (۱) تقرب مرسوم^۳ (یا شیرجه و راندن^۴) و (۲) تقرب نهایی نزول پیوسته^۵

(CDFA). روش اول بدین شکل است که همزمان با کاهش ارتفاع هواپیما، سرعت آن نیز کاهش می‌یابد. سپس هواپیما تراز می‌شود و پس از طی مسافتی مستقیم، مجدداً کاهش ارتفاع و سرعت انجام می‌گیرد تا اینکه هواپیما فرود آید. خطر این روش در این است که شاید خلبان نتواند هواپیما را در ارتفاع صحیح تراز کنند و از نقاط اجباری بگذرد. در این صورت مجبور به صرف انرژی دوباره و هدایت هواپیما در مسیر صحیح است. در روش دوم (CDFA)، کاهش ارتفاع و سرعت هواپیما به‌صورت یکنواخت انجام می‌گیرد تا نهایتاً منجر به فرود هواپیما شود. بنابراین، نحوه تقرب بر شکل خطوط‌سیر و بر نحوه اندازه‌گیری شباهتشان تأثیر مستقیم می‌گذارد. کمی‌سازی تأثیر این نوع از بافت بسیار دشوار است. اما در فرآیند اندازه‌گیری تشابه اثر خود را بر روی مکان و سرعت هواپیما می‌گذارد و بدین شکل قابل اعمال است.

دو خط‌سیر K و N را از مثال قبل در نظر بگیرید (شکل ۸). با توجه به اطلاعات ارائه شده این دو خط‌سیر در جدول ۴، در هر دو تقرب حدوداً پس از طی 80% مسیر پرواز آغاز شده است. تقرب در خط‌سیر K به روش مرسوم انجام شده و خط‌سیر شکل پلکانی به خود گرفته است. در تراز اول (زمان $11:20$ تا $11:27$)، سرعت هواپیما حدود 200 گره افزایش پیدا می‌کند و مجدداً کاهش ارتفاع و سرعت صورت می‌پذیرد و این روند حرکتی شیرجه و راندن تا فرود هواپیما ادامه پیدا می‌کند. درحالی‌که تقرب در خط‌سیر N با روش CDFA انجام شده است. بنابراین، اگرچه دو خط‌سیر K و N از بعد زمان تا حد زیادی دارای شباهت هستند، اما نحوه تقرب (بعد مکان، سرعت هواپیما (بافت حرکت) و جهت باد (بافت بستر حرکت) در کاهش میزان تشابه مکانی-زمانی بافتی (STC) این دو خط‌سیر تأثیر قابل توجهی می‌گذارند.

^۱ Approaching^۲ Landing^۳ Conventional Approach^۴ Dive and Drive

° Continuous Descent Final Approach



شکل ۶- نمایش چهار خطسیر بین دو فرودگاه مبدأ و مقصد در دو و سه بعد



شکل ۸- دو خطسیر K و N با تقریب‌های متفاوت (خط زرد رنگ ارتفاع، خط آبی رنگ سرعت و نقطه قرمز رنگ آغاز عملیات تقرب)

همچنین ارزیابی نقش داده‌های بافتی اندازه‌گیری تشابه خطوطسیر، سه آزمایش بر روی داده‌های حرکتی هواپیما انجام گرفت. به‌طور خاص، بافت‌های حرکت (سرعت هواپیما، بستر حرکت (سرعت و جهت وزش باد) و محرک (عملکرد خلبان) در فرآیند اندازه‌گیری شباهت‌های خطوطسیر مورد بررسی قرار گرفتند. با توجه به نتایج تشابهات خطوطسیر در ابعاد مختلف می‌توان دریافت که نقش تمامی این بافت‌ها در چنین فرآیندی بسیار تأثیرگذار است؛ بطوریکه می‌تواند دلیل افزایش و یا کاهش میزان شباهت نهایی دو خطسیر باشند. البته ذکر این نکته ضروری است که بعد بافت خود نیز بر روی مؤلفه‌ها و ابعاد دیگر به‌طور مستقیم و یا غیرمستقیم تأثیر می‌گذارد. به فرض، وزش باد موافق به افزایش سرعت هواپیما (بافت حرکت) منجر می‌شود، که نتیجه آن سریع‌تر رسیدن هواپیما (بعد زمان) به مقصد است و برعکس. همچنین، بافت‌ها بسته به کاربرد دارای اوزان متفاوتی هستند. به‌عنوان مثال، در حرکت هواپیما، شرایط جوی مهم‌تر از زمان سفر (روز/شب) است که این مسئله برای حرکت خودرو در شهر می‌تواند برعکس باشد.

جدول ۴- مشخصات دو خطسیر K و N

خطسیر	زمان سفر (hh:mm)	زمان آغاز تقرب (hh:mm)	حداکثر ارتفاع برنامیزی شده (foot)	فاصله برنامه‌ریزی شده (mile)	فاصله طی شده (mile)	میانگین سرعت هواپیما (KTS)	برآیند جهت باد	میانگین سرعت باد (KTS)
K	2:10	1:50	37000	1061	1109	449	SSW (موافق)	9.37
N	1:57	1:32	33000	999	1089	433	N (مخالف)	9.00

۵- نتیجه‌گیری و پیشنهادات

در این تحقیق، یک روش مکانی-زمانی-بافتی جهت اندازه‌گیری تشابه خطوطسیر ارائه شد. از قابلیت‌های این روش می‌توان به اندازه‌گیری تشابه در هر یک از ابعاد مکانی، زمانی و بافتی به‌تنهایی و ترکیبی از آن‌ها اشاره کرد. همچنین، حساس بودن آن به کوچک‌ترین اختلافات و تغییرات در هر یک از این ابعاد را می‌توان از ویژگی‌های آن نام برد. به‌منظور بررسی عملکرد روش مذکور و

در کنار مزایا و ویژگی‌های روش ارائه شده، خطوط مسیر مورد بررسی بایستی دارای اندازه‌های یکسان باشند، چراکه نقاط نظیر به هم مورد قیاس قرار می‌گیرند. به عنوان پیشنهادی برای پژوهش‌های آتی، می‌شود روش فعلی را توسعه داد تا در صورت متفاوت بودن اندازه خطوط مسیر، مقدار تشابه آن‌ها قابل اندازه‌گیری باشد. از طرف دیگر، روش حاضر برای اندازه‌گیری شباهت حرکت اشیاء نقطه‌ای (فردی) معرفی شده است. یک تحقیق می‌تواند در کنار

بکارگیری حرکت نقطه‌ای، به بررسی حرکت دسته‌ای (گروهی) اشیاء متحرک بپردازد، مانند حرکت گروهی از گردشگران یا مهاجرت پرندگان. نهایتاً، چارچوب تحقیق حاضر را می‌توان با افزودن مؤلفه‌های دیگر از بافت برای کاربردهای مختلف در فضاهای حرکتی گوناگون [۱۳] گسترش داد، مانند حرکت وسایل نقلیه در فضای شبکه یا حرکت حیوانات در فضای نامحدود اقلیدسی.

مراجع

- [1] Nathan, R., Getz, W.M., Revilla, E., Holyoak, M., Kadmon, R., Saltz, D., et al., (2008). "A movement ecology paradigm for unifying organismal movement research." *Proceedings of the National Academy of Sciences*. Vol. 105, No. 49, PP. 19052-19059.
- [2] Dodge, S. (2011). "Exploring movement using similarity analysis." PhD Thesis, University of Zurich. Zurich, Switzerland.
- [3] Laube, P. (2014). "Computational movement analysis." *Springer Briefs in Computer Science*. Springer International Publishing.
- [4] Malek, M.R. (2011). "Context-aware geoinformation and ubiquitous computing." K.N.Toosi University of Technology Press. Tehran, Iran (In Persian).
- [5] Buchin, M., Dodge, S. and Speckmann, B. (2014). "Similarity of trajectories taking into account geographic context." *Journal of Spatial Information Science*. No. 9, PP. 101-124.
- [6] Sheleiby, M., Alesheikh, A.A., Malek, M.R. and Amirian, P. (2008). "Design of context-aware maps in mobile geospatial information systems." *Proceedings of Geomatics 87 National Conference & Exhibition*, 12-15 May, Tehran, Iran (In Persian).
- [7] Spaccapietra, S., Parent, C. and Spinsanti, L. (2013). "Trajectories and their representations." in *Mobility data: modeling, management, and understanding*, Renso, C. Spaccapietra, S. and Zima'nyi, E. (Eds.), Cambridge University Press. New York, NY, USA.
- [8] Miller, H. J. and Han, J. (2009). "Geographic data mining and knowledge discovery." CRC Press. Boca Raton, FL, USA.
- [9] Giannotti, F. and Pedreschi, D. (2008). "Mobility, data mining and privacy: Geographic knowledge discovery." Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Germany.
- [10] Lin, D. (1998). "An information-theoretic definition of similarity." in *Proceedings of the Fifteenth International Conference on Machine Learning (ICML '98)*. 24-27 July, Madison, WI, USA.
- [11] Shaeri, M. and Abbaspour, R.A. (2015). "Comparison of distance functions for similarity measurement in spatial trajectories." *Journal of Geomatics Science and Technology*. Vol. 4, No. 3, PP. 201-212 (In Persian).
- [12] Long, J.A. and Nelson, T.A. (2013). "A review of quantitative methods for movement data." *International Journal of Geographical Information Science*. Vol. 27, No. 2, PP. 292-318.
- [13] Sharif, M. and Alesheikh, A.A. (2016). "A review on the process of point objects' movement and their trajectory similarity measurement approaches." *Geospatial Engineering Journal*. Vol. 7, No. 1, PP. 41-54 (In Persian).
- [14] Sinha, G. and Mark, D.M. (2005). "Measuring similarity between geospatial lifelines in studies of environmental health." *Journal of Geographical Systems*. Vol. 7, No. 1, PP. 115-136.
- [15] van Kreveld, M. and Luo, J. (2007). "The definition and computation of trajectory and subtrajectory similarity." in *Proceedings of the 15th annual ACM international symposium on Advances in geographic information systems (ACM-GIS'07)*. 7-9 November, Seattle, WA, USA.

- [16] Frentzos, E., Gratsias, K. and Theodoridis, Y. (2007). "Index-based most similar trajectory search." in IEEE 23rd International Conference on Data Engineering, (ICDE 2007). 15-20 April, Istanbul, Turkey, PP. 816-825.
- [17] Pelekis, N., Kopanakis, I., Marketos, G., Ntoutsis, I., Andrienko, G. and Theodoridis, Y. (2007). "Similarity search in trajectory databases." in 14th International Symposium on Temporal Representation and Reasoning. 28-30 June, Alicante, Spain, PP. 129-140.
- [18] Trajcevski, G., Ding, H., Scheuermann, P., Tamassia, R. and Vaccaro, D. (2007). "Dynamics-aware similarity of moving objects trajectories." in Proceedings of the 15th annual ACM international symposium on Advances in geographic information systems (ACM-GIS'07). 7-9 November, Seattle, WA, USA.
- [19] Ding, H., Trajcevski, G. and Scheuermann, P. (2008). "Efficient similarity join of large sets of moving object trajectories." in 15th International Symposium on Temporal Representation and Reasoning (TIME '08). 16-18 June, Montreal, Canada, PP. 79-87.
- [20] Dodge, S., Laube, P. and Weibel, R. (2012). "Movement similarity assessment using symbolic representation of trajectories." International Journal of Geographical Information Science. Vol. 26, No. 9, PP. 1563-1588.
- [21] Yuan, Y. and Raubal, M. (2014). "Measuring similarity of mobile phone user trajectories- a spatio-temporal Edit Distance method." International Journal of Geographical Information Science. Vol. 28, No. 3, PP. 496-520.
- [22] Flightaware. Available from: www.flightaware.com.
- [23] Aviation weather center. Available from: www.aviationweather.gov.
- [24] Chen, L., Özsu, M.T. and Oria, V. (2005). "Robust and fast similarity search for moving object trajectories." in Proceedings of the 2005 ACM SIGMOD international conference on Management of data. June 14-16, Baltimore, MD, USA, PP. 491-502.