نشریه علمی- پژوهشی علوم و فنون نقشه برداری، دوره هشتم، شماره ۳، اسفند ماه ۱۳۹۷

اکتشاف الگوهای مکانی-زمانی در مشاهدات حرکتی ورزشی

کیمیا آموزنده[۱]، فرید کریمی‌پور*[۲]، مرتضی طیبی[۳]

[۱] کارشناس ارشد سیستم‌های اطلاعات مکانی - دانشکده مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی - پردیس دانشکده‌های فنی - دانشگاه تهران
amouzandeh.kimia@ut.ac.ir

[۲] استادیار دانشکده مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی - پردیس دانشکده‌های فنی - دانشگاه تهران
fkarimipour@ut.ac.ir

[۳] دانشجوی دکتری سیستم‌های اطلاعات مکانی - دانشکده مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی - پردیس دانشکده‌های فنی - دانشگاه تهران
mortezatayebi@ut.ac.ir

(تاریخ دریافت بهمن ۱۳۹۶، تاریخ تصویب خرداد ۱۳۹۷)

چکیده

امروزه پیشرفت فناوری‌های تعیین موقعیت و حسگرهای موجود در ابزارک‌های پوشیدنی، امکان دستیابی به داده‌های حرکتی و مشاهدات اضافی موجودیت‌های مختلف را با سطح جزئیات بالا فراهم نموده و به تبع آن، رویکردهای جدیدی برای تحلیل این داده‌ها به منظور استخراج اطلاعات مفید از آنها توسعه داده شده است. به عنوان یکی از زمینه‌های کاربردی تحلیل داده‌های حرکتی، این مقاله به تحلیل الگوهای رفتاری حرکت افراد در حین انجام فعالیت‌های ورزشی می‌پردازد. در این راستا داده‌های حرکتی افراد در حین انجام فعالیت‌های ورزشی با لحاظ کردن مشاهدات رفتاری و عملکردی (مانند سرعت، ضربان قلب و غیره) تحلیل شده و الگوهای حرکتی آنها مورد بررسی قرار گرفته‌اند. بدین ترتیب، هدف این تحقیق کاوش الگوهای حرکتی ورزشکاران با تجزیه و تحلیل تغییرات در مشخصه‌های عملکردی آنها می‌باشد. در این راستا تشخیص و بررسی تأثیر مؤلفه‌های مکانی، شخصی و محیطی روی الگوهای رفتاری حرکت افراد امری ضروری بشمار می‌آید. این تحقیق با معرفی مجموعه‌ای از مؤلفه‌های مکانی، شخصی و محیطی و همچنین مشخصه‌های عملکردی افراد در حین پیاده‌روی، با استفاده از روش‌های مبتنی بر قطعه‌بندی سیگنال‌های حرکتی به الگوهای رفتاری حرکت افراد دست یافته است و در پی آن میزان تأثیر مؤلفه‌های گوناگون بر الگوهای رفتاری حرکت توسط محاسبه شباهت بین رشته‌های حاصل از قطعه‌بندی بررسی شده است. نتایج بدست آمده از تحلیل‌های بصری و محاسباتی در این تحقیق حاکی از وابستگی میزان تأثیر مؤلفه‌های شخصی و محیطی بر روی الگوهای رفتاری افراد حین پیاده‌روی به جهت شیب مسیر پیموده شده و همچنین جنسیت شخص می‌باشد. علاوه بر این، جنسیت فرد به تنهایی دارای تأثیر حدود ۱۰ درصد بر روی الگوهای رفتاری حرکت افراد در حین پیاده‌روی است. از این رو، با تفکیک مسیر پیموده شده بر حسب جهت شیب و همچنین بررسی زن و مرد به صورت جداگانه، میزان تأثیر هر مؤلفه بررسی می‌شود.

واژگان کلیدی: تحلیل‌های حرکتی، سیگنال‌های حرکتی، الگوهای رفتاری حرکت، قطعه‌بندی سیگنال‌ها

* نویسنده رابط

۱- مقدمه

حرکت، یکی از جنبه‌های اجتناب‌ناپذیر در فرآیندهای مکانی-زمانی است. امروزه پیشرفت فناوری‌های نوین تعیین موقعیت و حسگرهایی با نام ابزارک‌های پوشیدنی[۱] که قابلیت برداشت داده‌های ورزشی (مانند ضربان قلب، ریتم حرکت و فشار خون) و همچنین داده‌های محیطی (مانند دمای هوا، جهت باد و رطوبت) را دارند، امکان دستیابی به داده‌های حرکتی موجودیت‌های مختلف را با سطح جزئیات بالا فراهم نموده و به تبع آن، رویکردهای جدیدی برای تحلیل این داده‌ها به منظور استخراج اطلاعات مفید از آنها توسعه داده شده است. این رویکردها که تحت عنوان "تحلیل مکانی حرکت[۲]" از آنها یاد می‌شود، یکی از زمینه‌های مطالعاتی نسبتاً جدید در حوزه علوم اطلاعات مکانی است که در آن، با استفاده از روش‌های بصری، اکتشافی و تحلیلی، اطلاعات حرکتی موجودیت‌های متحرک (مانند انسان‌ها، وسایل نقلیه و جانوران) بر اساس داده‌های مکانی-زمانی آنها با هدف دستیابی به اطلاعات مفید، کشف الگوهای حرکتی و آگاهی از دینامیک رفتاری آنها مورد مطالعه قرار می‌گیرد. یکی از زمینه‌های تحقیقاتی مرتبط با رویکرد فوق‌الذکر، تحلیل مشاهدات حرکتی[۳] به عنوان سیگنال‌های مکانی-زمانی است که اطلاعاتی را در خصوص حرکت موجودیت‌ها، تغییرات موجود در مشخصه‌های شخصی و محیطی آنها در حین حرکت و مکانیزم‌های مؤثر بر آن با خود به همراه دارد. این سیگنال‌ها فرصتی جدید در راستای تجزیه و تحلیل حرکت و همچنین اکتشاف الگوهای رفتاری حرکت را فراهم می‌کند [۱].

تحقیق حاضر در نظر دارد با بکارگیری روش‌های تحلیلی مطالعه مشاهدات مکانی-زمانی با لحاظ نمودن مؤلفه‌های شخصی (مانند سن، جنسیت و غیره) در کنار مشاهدات رفتاری و عملکردی (مانند سرعت و ضربان قلب) به اکتشاف ارتباط بین الگوهای مکانی-زمانی در تحلیل داده‌های حرکتی ورزشی افراد بپردازد. در این صورت، به وسیله کاوش و تحلیل الگوهای رفتاری حرکت افراد و همچنین تجزیه و تحلیل تغییرات در ویژگی‌های مختلف آنها می‌توان در اتخاذ تصمیمات مناسب حین انجام فعالیت‌های ورزشی دست یافت. در این راستا، تشخیص و بررسی تأثیر مؤلفه‌های مکانی، شخصی و محیطی (مانند جنسیت شخص و شرایط محیطی) روی بیومکانیک افراد امری ضروری و مهم بشمار می‌آید. بنابراین با قطعه‌بندی[۴] مشاهدات مشخصه‌ای مکانی و غیر مکانی می‌توان به الگوهای رفتاری حرکت افراد حین پیاده‌روی دست یافت. همچنین با اتخاذ روش‌های محاسبه شباهت و مقایسه میزان شباهت رشته‌های حاصل از قطعه‌بندی در شرایط یکسان مؤلفه‌ای و شرایط غیر یکسان مؤلفه‌ای، میزان تأثیر مؤلفه‌های گوناگون بر روی الگوهای رفتاری ارزیابی می‌شوند.

در ادامه این مقاله، در بخش دوم مبانی نظری مورد نیاز معرفی می‌گردد. بخش سوم به بیان رویکرد پیشنهادی با هدف دستیابی به الگوهای رفتاری حرکت و همچنین ارائه مدل پیشنهادی برای تعیین تأثیر مؤلفه‌های مکانی، شخصی و محیطی روی الگوهای رفتاری حرکت می‌پردازد. در بخش پنجم رویکرد پیشنهادی تحقیق اجرا شده و نتایج حاصل از آن بیان می‌شود. درنهایت، در بخش ششم به نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهاداتی برای تحقیقات آینده پرداخته خواهد شد.

۲- تحقیقات پیشین

از نقطه نظر روش‌شناختی، مطالعات بسیاری در راستای بکارگیری داده‌های حرکتی و تحلیل آنها در کاربردهای مختلف همچون استخراج الگوهای رفتاری حرکت موجودیت‌های مختلف، صورت پذیرفته است. برای مثال، یکی از کاربردهای تحلیل داده‌های حرکتی دستیابی به فعالیت افراد می‌باشد. به عبارت دیگر با بررسی خطوط سیر و همچنین مشاهدات اضافه مربوط به حرکت آنها با استفاده از روش‌های داده کاوی مکانی می‌توان به وضعیت شخص، نوع فعالیت وی و همچنین در موارد استفاده از وسایل نقلیه، به نوع وسیله نقلیه دست یافت [۲-۶]. لازم به ذکر است که آنها، تنها از داده‌های مکانی حرکت جهت دستیابی به الگوهای حرکتی استفاده نموده‌اند و هیچ یک از اطلاعات حرکتی و مشاهدات اضافی را وارد پردازش‌های خود نکرده‌اند.

---

۱ Wearable Gadgets
۲ Spatial Movement Analysis
۳ Movement Observations
٤ Segmentation

همچنین تحلیل رفتارهای حرکتی توریست همچون بازدید آنها از پارک‌ها و جاذبه‌های توریستی (بازدید از موقعیت‌های مکانی پر طرفدار و یا استفاده از امکانات و تسهیلات موجود)، به مدیران در راستای اتخاذ تصمیمات بهتر جهت توازن میان ساختارها و امکانات کمک می‌کند. در این صورت، گزینه‌های بهتری برای گروه‌های مختلف بازدید کننده در نظر گرفته خواهد شد و یا مسیرهای مناسب‌تری به آنها پیشنهاد داده می‌شود [۷].

از کاربردهای دیگر تحلیل‌های حرکتی می‌توان به بررسی الگوهای موجود در حرکت حیوانات اشاره کرد. در این راستا، Brillinger و همکاران (۲۰۰۴) به بررسی رفتار حرکتی حیوانات که متأثر از عوامل محیطی گوناگون و همچنین رفتار حیوانات دیگر می‌باشد، پرداختند [۸]. همچنین Sarkar و همکاران (۲۰۱۵) رفتارهای دوره‌ای حرکت حیوانات مثل مهاجرت آنها در فصل‌های مختلف را مورد بحث قرار دادند [۹]. از دیگر تحقیقات صورت پذیرفته در راستای بررسی الگوهای حرکتی حیوانات می‌توان به مطالعات Bleisch و همکاران (۲۰۱۴) اشاره نمود. آنها در تحقیقات خود به ارزیابی ارتباط بین الگوهای حرکتی و زمینه‌های محیطی پرداختند [۱۰]. در راستای بازیابی الگوهای حرکتی حیوانات، Soleymani و همکاران (۲۰۱۴) با استفاده از داده‌های شتاب استخراج شده از سیستم‌های تعیین موقعیت به طبقه‌بندی رفتارهای حرکتی و تغذیه‌ای پرندگان پرداختند [۱۱].

الگوهای رفتاری اشیاء متحرک تحت تأثیر اطلاعات زمینه‌ای مختلف نیز می‌باشند. این اطلاعات زمینه‌ای می‌توانند به صورت مکانی و یا غیرمکانی ظاهر شوند. برای مثال توپوگرافی محل مورد مطالعه به عنوان زمینه مکانی و یا اطلاعات شخصی شیء متحرک (مانند جنسیت انسان متحرک) به عنوان زمینه غیرمکانی در نظر گرفته می‌شود. در حرکت شیء متحرک برخی از اطلاعات زمینه‌ای در حال تغییر هستند و نتیجتاً تغییرات در زمینه مکانی می‌تواند منجر به پاسخ‌های رفتاری گوناگونی از عوامل در حال حرکت شود [۱۲].

از سوی دیگر، حرکت یکی از مؤلفه‌های مهم در بسیاری از فعالیت‌ها و فرآیندهای ورزشی به شمار می‌آید. توسعه فناوری‌ها در زمینه‌های تعیین موقعیت دقیق و همچنین ابزارک‌های پوشیدنی بر روی بسیاری از ورزش‌ها تأثیرگذار است. با استفاده از این گونه ابزارها و فناوری‌ها می‌توان به تحلیل‌های مکانی و غیرمکانی حرکت ورزشکاران با هدف بهبود عملکرد آنان و اتخاذ تصمیمات بهتر دست یافت.

مطالعات بسیاری در زمینه تحلیل‌های حرکتی ورزشکاران در ورزش‌های فردی و تیمی صورت پذیرفته است. برای مثال، Gudmundsson (۲۰۱۰) در تحقیقات خود از روش‌هایی مبتنی بر کلاسه‌بندی خطوط سیر طی شده توسط بازیکنان فوتبال، جهت مطالعه حرکات مکرر آنها (به صورت فردی و یا تیمی) استفاده نمودند [۱۳] . در همین زمینه Grunz و همکاران (۲۰۰۹) از رویکردهای مرتبط با شبکه عصبی جهت دستیابی به الگوی حرکت بازیکنان و همچنین تحلیل سناریوهای پیچیده ورزشی استفاده نمودند [۱۴]. همچنین Taki و همکاران (۲۰۰۰) به تحلیل حرکات بازیکنان با هدف دستیابی به منطقه تحت تسلط آنها پرداختند [۱۵] و مدل آنها توسط Fujima و Kang توسعه یافت [۱۶, ۱۷]. علاوه بر این، نرم‌افزارهایی با هدف استخراج اطلاعات آماری پایه‌ای در مورد مسابقه و عملکرد بازیکنان (مانند سرعت هر بازیکن، موقعیت آنها، دامنه حرکتی هر یک از بازیکنان و یا تیم و غیره) به صورت خودکار ایجاد شد. از این گونه نرم‌افزارها جهت تحلیل عملکرد بازیکنان و تیم و همچنین اتخاذ تصمیمات بهتر استفاده می‌شود.

اکثر تحقیقات فوق‌الذکر تنها به تحلیل مشاهدات مکانی ورزشی و استخراج الگوهای مکانی بازیکنان و ورزشکاران پرداخته‌اند. از این رو، تحقیقات دیگری در خصوص بکارگیری مشاهدات غیرمکانی در بازیابی الگوهای موجود در ورزشکاران صورت پذیرفته است. برای مثال، Hollman و همکاران (۲۰۰۷) تأثیر سن افراد روی سرعت و الگوی حرکت شخص و تغییرات در شرایط پیاده‌روی معمولی و چندکاره را بررسی نمودند [۱۸]. همچنین، Farana و همکاران (۲۰۱۵) متغیرهای بیومکانیکی در ورزش ژیمناستیک را که روی عملکرد موفق شخص تأثیر گذار بود، تعیین نمودند [۱۹].

از سوی دیگر مطالعات بسیاری در راستای تعیین مسیر ورزشکاران در ورزش‌های مرتبط با دوندگی (ورزش جهت‌یابی) انجام شده است. برای مثال، Leung (۲۰۰۳) در تحقیقات خود طراحی مسیرهای جهت‌یابی را از مسائل مهم و ضروری در موفقیت این مسابقات به شمار آورد. در مدل او طراحی مسیر از دو مرحله تشکیل شده است: (۱)

اخذ داده‌های مکانی و (۲) مدل‌های طراحی مسیر. او برای طراحی مسیر از تحلیل سناریوهای مختلف استفاده کرده که هر کدام از این سناریوها دارای سطح سختی متفاوت هستند. به این منظور برای طراحی مسیرهای مناسب با رعایت عدالت، شرکت کنندگان از لحاظ روحی و فیزیکی شبیه‌سازی می‌شوند [۲۰].

علاوه بر موارد ذکر شده، همانطور که انتظار می‌رود فاکتورهایی همچون سن، وزن، قد و همچنین فاکتورهای فیزیولوژی همچون چگونگی حرکت اعضای بدن روی عملکرد ورزشکار تأثیرگذار است. برای مثال Losier و همکاران (۲۰۱۵) در تحقیقات خود نشان دادند که ورزشکاران مبتدی دارای قدم‌های کوتاه‌تر هستند و حرکات عمودی زانوی آنها بیشتر است. بنابراین آنها در تغییر سختی زمین نمی‌توانند به راحتی سرعت خود را حفظ کنند [۲۱]. او همچنین به بررسی ارتباط بین سرعت دویدن ورزشکار و پارامترهایی مثل میزان جذب اکسیژن در سه محیط جاده، مسیر باریک و جنگل پرداخت [۲۲]. در سال ۲۰۰۹ نیز تأثیرات مسابقات در زمان محدود و تغییر محیط در حین حرکت در باب روانشناسی شناختی و پردازش‌های شناختی مغز مثل حافظه، اخذ اطلاعات محیطی، جستجوی بصری و غیره صورت پذیرفت و عملکرد شخص در این زمینه بررسی شد. همچنین Chavoshi و همکاران (۲۰۱۴) با مدل‌سازی حرکات رقصنده‌های سامبا با استفاده از مدل مثلثی پیوسته (CTM) و محاسبه شباهت بین الگوهای حرکتی موجود در آنها به تحلیل الگوهای رفتاری حرکت این رقصنده‌ها پرداختند [۲۳].

علاوه بر بررسی‌های انجام شده روی الگوهای رفتاری انسان‌ها حین انجام فعالیت‌های ورزشی، مطالعاتی بر مبنای تحلیل‌های حرکتی ابزارهای ورزشی مثل توپ صورت پذیرفته است. برای مثال، Myers و همکاران (۲۰۱۳) به توسعه مدلی سه بعدی جهت توصیف حرکت توپ در حین بازی پرداختند. آنها به صورت تحلیل حرکت توپ را وابسته به مؤلفه‌هایی همچون جنس توپ، سرعت آن و همچنین شرایط جوی دانستند [۲۴].

لازم به ذکر است در تحقیقات صورت پذیرفته شده در راستای تحلیل داده‌های حرکتی و تحلیل داده‌های حرکتی ورزشی مؤلفه‌های و مشخصه‌های غیر مکانی مد نظر قرار گرفته نشده است و در پی آن در ارزیابی و تحلیل داده‌های مکانی حرکت به تأثیر مؤلفه‌های مختلف مکانی، شخصی و محیطی بر روی الگوهای مکانی و غیر مکانی حرکتی توجه نشده است. در این راستا، با تحلیل و بررسی تغییرات در مشخصه‌های عملکردی مختلف افراد حین حرکت با توجه به مؤلفه‌های گوناگون مکانی، محیطی و شخصی می‌توان به الگوهای رفتاری حرکت به صورت دقیق‌تر دست یافت.

۳- مبانی نظری تحقیق

در این بخش به تشریح مبانی و مفاهیم مورد نیاز در راستای دستیابی به هدف بازیابی الگوهای رفتاری حرکت پرداخته می‌شود.

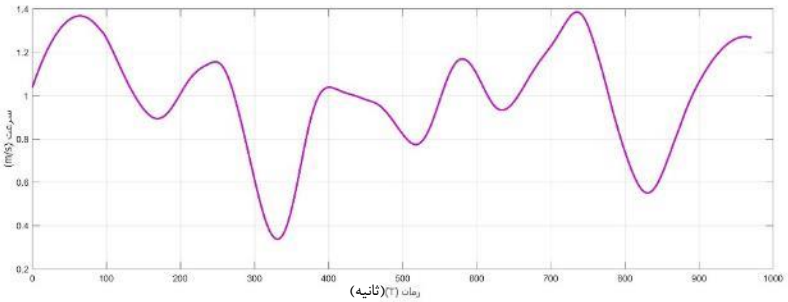
۳-۱- مشخصه‌ها و سیگنال‌های حرکتی

در بسیاری از کاربردها، علاوه بر مطالعه خطوط سیر به صورت مکانی، مشاهدات و اطلاعات حرکتی افراد به عنوان "مشخصه‌های حرکتی[۱]" مانند سرعت، شتاب، جهت حرکت و ارتباط بین الگوهای این مشخصه‌ها با مسیر طی شده توسط شخص نیز مورد نیاز می‌باشد [۲۵]. در بیشتر اوقات رفتارهای حرکتی موجودیت‌های مختلف تحت تأثیر این مشخصه‌های حرکتی می‌باشند. بر خلاف خط سیر که نمایش‌دهنده خصوصیت هندسی حرکت در طول زمان است، مشخصه‌های حرکتی نمایانگر مفاهیم فیزیکی حرکت هستند. بنابراین این گونه خصوصیات، حرکت موجودیت را توصیف نموده و به درک کامل‌تر رفتارهای حرکتی افراد کمک می‌کند و همچنین در اکتشاف الگوهای رفتاری شیء متحرک استفاده می‌شوند [۲۶].

هنگام حرکت یک شیء متحرک در فضا مشخصه‌ها تغییر کرده و به صورت یک سیگنال پیوسته وابسته زمان تبدیل می‌شوند، که با عنوان "سیگنال مشخصه حرکتی[۲] (MPP)" معرفی می‌شوند [۲۷]. این سیگنال‌های مشخصه-ای می‌توانند مکانی (مانند ارتفاع نقطه در زمان برداشت اطلاعات)، حرکتی (مانند سرعت شخص در زمان برداشت اطلاعات) و عملکردی (مانند ضربان قلب شخص در نقطه برداشت اطلاعات) باشند. برای مثال در شکل ۱ سیگنال حرکتی سرعت نمایش داده شده است. تجزیه و تحلیل این سیگنال‌ها موجب درک بهتر رفتارهای حرکتی افراد در طی فعالیت‌های مکان مبنا همچون پیاده‌روی می‌شود.

---

۱ Movement Characteristics
۲ Movement Parameter Profiles



شکل ۱- نمونه‌ای از سیگنال‌های حرکتی

۳-۲- قطعه‌بندی سیگنال‌های حرکتی

قطعه‌بندی سیگنال‌های رفتاری حرکت افراد به منظور تبدیل داده‌های خام حرکتی (مثل سیگنال ضربان قلب فرد متحرک در طول زمان) به رشته‌های معنادار و همگن مشخصه‌ای جهت بررسی ساختار رفتارهای حرکتی و الگوهای مکانی-زمانی و همچنین تعیین تأثیر مؤلفه‌های مکانی، شخصی و محیطی مختلف روی الگوهای رفتاری حرکت شخص صورت می‌پذیرد.

هر کدام از نقاط تشکیل دهنده سیگنال‌های مشخصه-ای دارای یک سری ویژگی می‌باشند که بیانگر وضعیت مشخصه در هر لحظه است. این ویژگی‌های استخراج شده، فضایی چند بعدی به نام فضای ویژگی را تشکیل می‌دهند و نمایانگر سیگنال‌های مشخصه‌ای حرکت می‌باشند. در ادامه به معرفی یک سری از ویژگی‌ها پرداخته می‌شود.

- **جهت نقطه**: جهت نقطه نسبت به میانه مقادیر مشخصه حرکتی در طول حرکت، می‌تواند به عنوان یک ویژگی برای نقطه محاسبه شود. برای مثال در شکل ۲، نقطه P بالای خط میانه قرار دارد. در این صورت جهت این نقطه نسبت به خط میانه مثبت است.
- **انحراف از میانه**: فاصله نقطه مورد نظر از خط میانه نیز به عنوان یک ویژگی معرفی می‌شود. این ویژگی بیانگر دامنه تغییرات مشخصه حرکتی حین حرکت بوده و به بررسی شباهت بین سیگنال‌های مختلف کمک خواهد کرد. مقدار انحراف از میانه به صورت رابطه ۱ محاسبه می‌شود (شکل ۲):

$$Deviation(p) = Characteristic(p) - median\ (Characteristic\ (t_{First} - t_{Last})) \quad (۱)$$

در این رابطه Characteristic (p) مقدار مشخصه در نقطه P و median (characteristic (t_{first} - t_{last})) مقدار میانه مشخصه مربوطه در بازه زمانی مورد نظر می‌باشد.

- **سینوسیتی**: این ویژگی میزان انحنای هر نقطه نسبت به نقطه قبل یا بعد را محاسبه می‌کند. به عبارت دیگر، این ویژگی بیانگر میزان تغییرات مقدار مشخصه در هر زمان نسبت به زمان قبل و بعد می-باشد. در این صورت با انتساب ویژگی سینوسیتی، یکی از بعدهای فضای ویژگی برای هر نقطه به صورت منحصر به فرد تعیین می‌شود. نحوه محاسبه سینوسیتی برای نقطه p بر اساس رابطه ۲ است (شکل ۲):

$$Sinuosity_p = \frac{\sum_{i=p-1}^{i=p} d_{i,i+1}}{d_{p-1,p+1}} \quad (۲)$$

در این رابطه d به معنای فاصله در فضای سیگنال و به صورت رابطه ۳ محاسبه می‌شود:

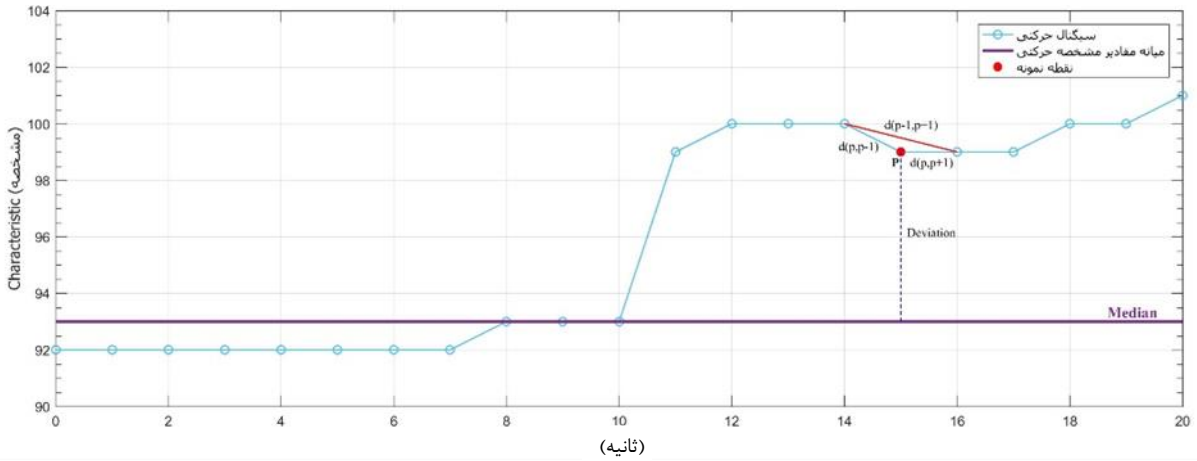
$$d_{i,i+k} = \sqrt{(Ch_{i+k} - Ch_i)^2 + (t_{i+k} - t_i)^2} \quad (۳)$$

در رابطه اخیر، Ch_i به معنای مشخصه مورد نظر در لحظه i و t_i معرف زمان در لحظه i می‌باشد.

- **تقعر**: این ویژگی بیانگر چگونگی نرخ تغییرات یک مشخصه در طول زمان حرکت می‌باشد. تقعر یک نقطه از منحنی به صورت رابطه ۴ محاسبه می‌شود (شکل ۲):

$$\text{Concavity} = Ch\ (p+1) - 2 * Ch\ (p) + Ch\ (p-1) \quad (۴)$$

در این رابطه Ch (p) مقدار مشخصه در نقطه p می-باشد.



شکل ۲- استخراج ویژگی‌های یک نقطه

۳-۳- شباهت

یافتن شباهت بین خطوط سیر و همچنین سیگنال-های حرکتی موجودیت‌های متحرک به منظور کشف الگوهای رفتاری حرکت اشیاء متحرک صورت می‌پذیرد. تحلیل شباهت الگوهای حرکتی موجودیت‌های مختلف یک فرآیند مهم در جهت کشف دانش با استفاده از داده-های حرکتی می‌باشد. از نتایج حاصل از این تحلیل‌ها می-توان به مسائل مهم داده‌کاوی از جمله بازیابی الگوهای حرکتی و طبقه‌بندی خطوط سیر دست یافت [۲۸].

در ادامه به برخی از توابع اندازه گیری فاصله بین خطوط سیر و همچنین سیگنال‌های حرکتی اشاره می‌شود.

- **فاصله مینکوسکی**[۱] از مقادیر مربوط به خط سیر و یا سیگنال‌های حرکتی جهت اندازه‌گیری فاصله استفاده می‌کند و رابطه آن به صورت رابطه ۵ می‌باشد.

$$L_p(S_1,S_2)=\sqrt[p]{\sum_{i=1}^{n}(S_1^i-S_2^i)^p}\ , \quad |S_1|=|S_2|=n; \tag{۵}$$

در این رابطه S_1 و S_2 بیانگر سری‌های زمانی مربوطه هستند. این سری‌ها می‌توانند مکانی (خط سیر) و غیر مکانی (رشته‌های عملکردی حاصل از قطعه‌بندی) باشند. همچنین لازم به ذکر است که اندازه این دو سری برابر با n می‌باشد. در تجزیه و تحلیل سری‌های زمانی، معمولاً از p=1 (فاصله منهتن[۲]) و یا p=2 (فاصله اقلیدسی[۳]) استفاده می‌شود.

- **پیچش زمانی پویا**[۴] (DTW) یک سری زمانی را پیچ و تاب می‌دهد تا دارای کمینه فاصله از سری زمانی دیگر شود. به عبارت دیگر این تابع به صورت یک انتقال عمل می‌کند و در واقع خط سیر اول را با هدف کاهش فاصله با خط سیر دوم پیچش می‌دهد و باعث می‌شود مؤلفه‌های خط سیر اول به مؤلفه‌های خط سیر دوم به شکل ایده‌آلی هم‌تراز شوند. روابط آن به صورت رابطه ۶ می‌باشد:

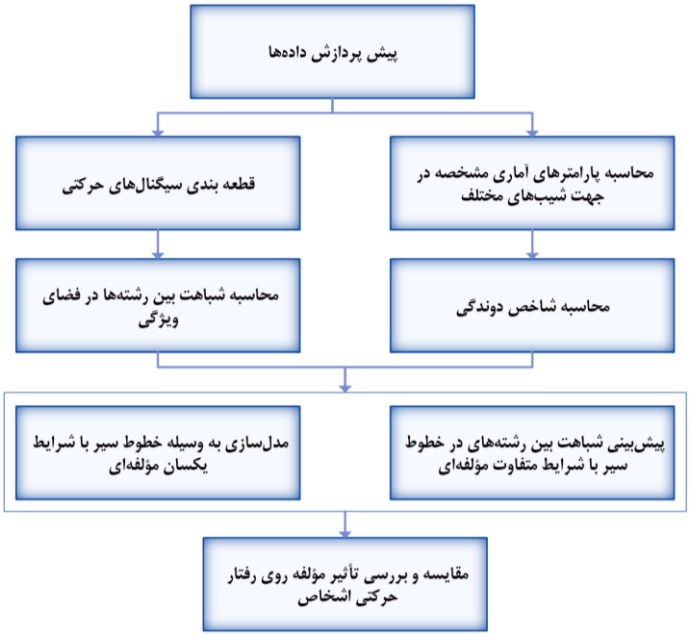
$$D_{DTW}(S_1,S_2)=f(n,m);$$
$$f(i,j)=\|(S_1^i-S_2^j)\|+min\begin{cases} f(i,j-1) \\ f(i-1,j) \\ f(i-1,j-1) \end{cases}, \quad i=1,\dots,n \ \ , \ \ j=1,\dots,m \tag{۶}$$

از این روش در رشته‌ها و کاربردهای گوناگونی همچون تشخیص و مقایسه گفتار، تأیید امضا، آشکارسازی حرکت و پردازش سیگنال استفاده شده است. همچنین در حوزه علوم مکانی مطالعاتی بر مبنای محاسبه فاصله از روش پیچش زمانی پویا صورت پذیرفته است.

۴- رویکرد تحقیق

این فصل، به شرح رویکرد پیشنهادی این تحقیق جهت اکتشاف الگوهای مکانی-زمانی در تحلیل داده‌های حرکتی، و به طور خاص مشاهدات حرکتی ورزشی می-پردازد. در شکل ۳ مراحل اصلی این رویکرد نمایش داده شده است.

۱ Minkowski Distance
۲ Manhattan Distance
۳ Euclidean Distance
٤ Dynamic Time Warping



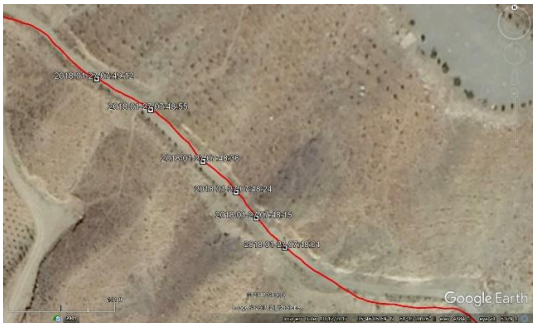
شکل ۳- رویکرد پیشنهادی با هدف ارزیابی تأثیر مؤلفه‌های گوناگون روی الگوهای رفتاری حرکت افراد حین پیاده‌روی

۴-۱- پیش‌پردازش داده‌ها

در این بخش، به شرح روند تبدیل داده‌های خام به داده‌های مورد استفاده در روش پیشنهادی با هدف دستیابی به الگوهای رفتاری حرکت اشخاص حین حرکت و همچنین بررسی تأثیر مؤلفه‌هایی همچون جنسیت، خستگی شخص و شرایط محیطی می‌پردازد.

۴-۱-۱- داده‌های خام

داده‌های اخذ شده در این تحقیق، سری‌های زمانی با بازه برداشت یک ثانیه هستند که معرف مشخصه‌های مکانی از جمله موقعیت (طول و عرض جغرافیایی و ارتفاع)، مشخصه‌های حرکتی از جمله سرعت و آهنگ حرکت و مشخصه عملکردی ضربان قلب می‌باشند. علاوه بر این اطلاعات مؤلفه‌ای همچون زمان برداشت داده و دمای هوا در زمان برداشت داده‌ها استخراج می‌شوند. نمونه‌ای از این داده‌ها در شکل ۴ و جدول ۱ نمایش داده شده است. لازم به ذکر است که سرعت شخص با استفاده از موقعیت و زمان در هر لحظه محاسبه شده است.



شکل ۴- نمونه‌ای از خط سیر برداشت شده

جدول ۱- نمونه‌ای از داده‌های اخذ شده (زمان، طول و عرض جغرافیایی، ارتفاع، ضربان قلب)

Time	Latitude	Longitude	Altitude (m)	Heart_ rate
8:41:51	35.769242	51.220505	1512.8	105
8:41:52	35.769237	51.22052	1512.6	105
8:41:53	35.769236	51.22053	1512.6	104
8:41:54	35.769235	51.220541	1512.6	103
8:41:55	35.769233	51.220552	1512.8	100
8:41:56	35.769229	51.220565	1512.8	99
8:41:57	35.769227	51.220578	1512.8	99
8:41:58	35.769228	51.220592	1512.8	99
8:41:59	35.769227	51.220607	1512.8	99
8:42:00	35.769226	51.220623	1512.8	100
8:42:01	35.769223	51.22064	1512.6	101
8:42:02	35.769221	51.220656	1512.6	101
8:42:03	35.76922	51.220671	1512.6	104
8:42:04	35.769218	51.220685	1512.6	106
8:42:05	35.769217	51.2207	1512.4	109
8:42:06	35.769215	51.220715	1512.4	109
8:42:07	35.769214	51.220731	1512.4	109
8:42:08	35.769214	51.220746	1512.4	109

۴-۱-۲- ساخت داده‌های فاصله مبنا

ساعت های ورزشی قابل استفاده در برداشت داده‌های مکانی و غیر مکانی، در هر ثانیه اطلاعات مربوطه را برداشت و ثبت می‌کنند. در این صورت بررسی الگوهای رفتاری حرکت افراد در هر ثانیه امکان پذیر است. نظر به اینکه هدف این تحقیق اکتشاف ارتباط بین الگوهای

رفتاری حرکت افراد و بررسی تأثیر مؤلفه‌های شخصی و عملکردی روی الگوهای رفتاری حرکت می‌باشد، مقایسه بین الگوها در هر ثانیه با وجود اختلاف میانگین سرعت غیر قابل استفاده بوده و نیاز به داده‌هایی می‌باشد که در آن مقایسه مکانی الگوها جهت یکسان در نظر گرفتن شرایط مکانی افراد (مانند شیب)، امکان‌پذیر باشد. در این راستا، می‌بایست مشاهدات رفتاری (مثل ضربان قلب) و یا حرکتی (مثل سرعت) زمان مبنا یک ثانیه‌ای با استفاده از درون یابی خطی، به داده‌های فاصله مبنا فواصل یک متری تبدیل شوند. بدین ترتیب، با بکارگیری درون‌یابی خطی با استفاده از روابط ۷ و ۸، مشاهدات خام به داده-های فاصله مبنا با فاصله یک متر تبدیل خواهند شد.

$$T_{1m} = \frac{D_{1m} - D_K}{D_{K+1} - D_K} \times (T_{K+1} - T_K) + T_K \qquad (۷)$$

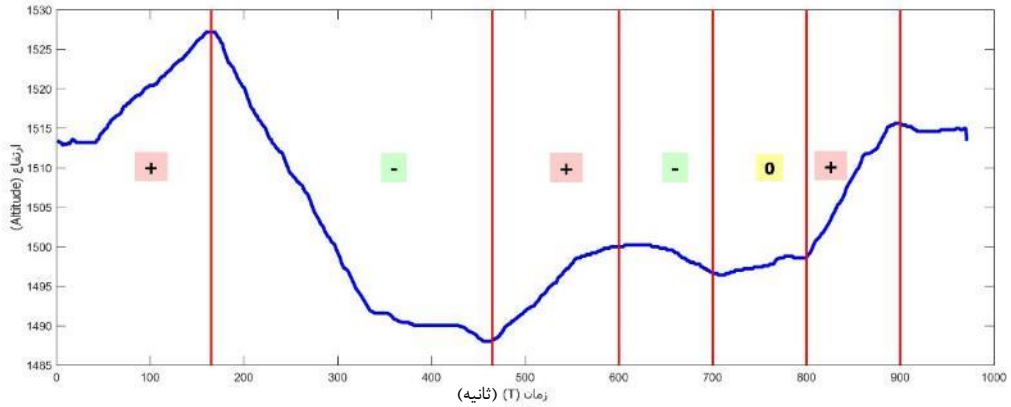
در این رابطه T_{1m} زمان مربوط به بازه‌های طولی یک متری می‌باشد و K و K+1 نقاط مربوط به بازه‌های زمانی یک ثانیه‌ای هستند.

$$Ch_{1m} = \frac{T_{1m} - T_K}{T_{K+1} - T_K} \times (Ch_{K+1} - Ch_K) + Ch_K \qquad (۸)$$

در این رابطه، Ch_{1m} مشخصه مربوطه در بازه یک متری، T_{1m} زمان بدست امده از مرحله قبل و K وK+1 نقاط مربوط به فواصل زمانی یک ثانیه‌ای هستند.

۴-۱-۳- بخش‌بندی خط سیر بر اساس جهت شیب

از آنجا که الگوی رفتاری حرکت افراد وابسته به مؤلفه-های مکانی و غیرمکانی گوناگون می‌باشد، در نظر گرفتن جهت شیب به عنوان یک مؤلفه مکانی امری لازم و ضروری به شمار می‌آید. به عبارت دیگر، امکان تفاوت الگوهای رفتاری حرکت افراد در جهت شیب‌های مختلف وجود داشته و نیاز است در راستای دستیابی به هدف اکتشاف الگوهای مکانی-زمانی با استفاده از مشاهدات حرکتی، این مؤلفه در نظر گرفته شود. بدین منظور، خطوط سیر از پیش تعیین شده، با توجه به جهت شیب خط سیر در نقاط مختلف به چند بخش تقسیم می‌شوند. در این صورت، امکان بررسی الگوهای رفتاری حرکت در افراد در جهت شیب مختلف امکان‌پذیر می‌شود. به عبارت دیگر، شیب به عنوان یک مؤلفه مکانی در تحلیل و بررسی تأثیر مؤلفه‌های مختلف روی الگوهای مشخصه‌ای حرکت در نظر گرفته می‌شود. در شکل ۵، نمونه‌ای از این تقسیم-بندی نمایش داده شده است. در این تقسیم‌بندی، بخش در صورتی تغییر می‌کند که جهت شیب نسبت به بخش قبل از آن تغییر کرده باشد.



شکل ۵- تقسیم‌بندی خط سیر بر حسب جهت شیب

۴-۱-۴- تقسیم خطوط سیر بر حسب مؤلفه

همانطور که گفته شد، هدف این تحقیق دستیابی به الگوهای مکانی-زمانی و الگوهای رفتاری حرکت افراد با استفاده از مشاهدات حرکتی ورزشی می‌باشد. جهت دستیابی به این هدف نیاز است تا تأثیر مؤلفه‌های مکانی و غیرمکانی روی الگوهای رفتاری بررسی شوند. در این راستا، از رویکردهای مربوط به ارزیابی شباهت بین سیگنال‌های مشخصه‌های حرکتی استفاده می‌شود. بدین منظور، سیگنال‌های مشخصه‌ای یک بار با شرایط یکسان مؤلفه‌ای و یک بار با شرایط متفاوت مؤلفه‌ای با هم مقایسه می‌شوند. در صورت تأثیرگذاری مؤلفه مربوطه روی سیگنال مشخصه، میزان شباهت بین سیگنال‌ها در شرایط یکسان بیشتر از میزان شباهت سیگنال‌ها با شرایط

متفاوت خواهد شد. برای مثال، جهت بررسی تأثیر جنسیت روی سیگنال مشخصه ضربان قلب، سیگنال‌های ضربان قلب یک بار در شرایطی صورت می‌پذیرد که تمامی شرایط از جمله زمان برداشت داده، مکان برداشت داده، میزان خستگی شخص و همچنین جنسیت دو شخصی که سیگنال مربوط به آنها با هم مقایسه می‌شوند یکسان باشد و بار دیگر مقایسه در شرایطی صورت می‌پذیرد که تمامی شرایط به جز جنسیت دو شخص یکی باشد. در این صورت، ارزیابی میزان تأثیرپذیری جنسیت شخص روی الگوی مشخصه ضربان قلب امکان‌پذیر خواهد بود. در این تحقیق سه مؤلفه جنسیت شخص، میزان خستگی شخص و زمان اخذ داده (به عنوان در نظر گرفتن شرایط محیطی)، مورد بررسی قرار می‌گیرند. بنابراین پیشنهاد می‌شود تقسیم‌بندی خطوط سیر با هدف مقایسه بین سیگنال‌های مشخصه‌ای به صورت جدول ۲ انجام پذیرد. در این جدول شرایط یکسان بودن مؤلفه‌ها بیان شده است. برای مثال، جهت بررسی تأثیر خستگی افراد روی الگوی رفتاری حرکت آنها، یکبار مقایسه بین دو سیگنال با شرایط یکسان صورت می‌پذیرد و بار دیگر مقایسه بین دو سیگنال در شرایطی انجام می‌شود که مؤلفه خستگی دو شخص متفاوت باشد. همانطور که گفته شد، مؤلفه خستگی به صورت غیرمستقیم در نظر گرفته می‌شود. به عبارت دیگر، هر شخص مسیر مشخص شده را در دو نوبت متوالی طی می‌کند و مؤلفه خستگی برای نوبت دوم حرکت شخص لحاظ می‌شود.

جدول ۲- تقسیم‌بندی خطوط سیر

مؤلفه تأثیرگذار	جنسیت	خستگی	زمان	مکان
جنسیت	✓	✓	✓	✓
	✗	✓	✓	✓
خستگی	✓	✓	✓	✓
	✓	✗	✓	✓
زمان	✓	✓	✓	✓
	✓	✓	✗	✓

۴-۲- قطعه‌بندی سیگنال‌های حرکتی

همانطور که در بخش قبل گفته شد، قطعه‌بندی سیگنال‌های رفتاری حرکت افراد به منظور تبدیل سیگنال‌های مشخصه‌ای به رشته‌های معنادار و همگن جهت بررسی ساختار رفتارهای حرکتی و الگوهای مکانی زمانی و همچنین تعیین تأثیر پارامترهای شخصی و محیطی مختلف روی الگوهای رفتاری شخص صورت می‌پذیرد. در این راستا، پس از ایجاد رشته‌های ویژگی و در نظر گرفتن هر یک از رشته‌ها به عنوان یک بعد در فضای ویژگی، به نمایش آن به صورت بصری پرداخته می‌شود. در این خصوص، از فضای تصویر CMYK استفاده می‌گردد. این فضای چهار بعدی رنگی یک مدل رنگی تشکیل شده از چهار رنگ فیروزه‌ای (Cyan)، سرخابی (Magenta)، زرد (Yellow) و مشکی (Black) می‌باشد. این فضا بر خلاف فضای RGB که در نمایش دیجیتال رنگ استفاده می‌شود، برای اهداف چاپی قابل استفاده است. در این تحقیق، علت انتخاب این فضا دارا بودن چهار بعد و همچنین امکان تبدیل آن به فضای سه بعدی RGB می‌باشد. در این صورت پس از تشکیل این فضا از رشته‌های ویژگی و تبدیل آن به فضای RGB، رشته‌های مربوط به ویژگی سیگنال‌های حرکتی قابل نمایش بصری می‌شود. با توجه به روابط مربوط به تبدیل فضای CMYK به فضای RGB (رابطه ۹)، رشته‌های حرکتی پس از تبدیل به فضای رنگی RGB به صورت شکل ۶ نمایش داده می‌شوند.

$$\begin{aligned} R &= (1-C)\times(1-K) \\ G &= (1-M)\times(1-K) \\ B &= (1-Y)\times(1-K) \end{aligned} \qquad (۹)$$

شکل ۶- نمونه‌ای از رشته حرکتی در فضای رنگی

۴-۳- محاسبه شباهت بین رشته‌ها

با تبدیل سیگنال‌های رفتاری حرکتی خام به رشته‌های معنادار در فضای ویژگی، امکان مقایسه رشته‌های مختلف با شرایط مختلف فراهم می‌شود. به عبارت دیگر، با محاسبه شباهت بین رشته‌های حاصل از طبقه‌بندی سیگنال‌های مشخصه‌های حرکتی، می‌توان به الگوی موجود در حرکت افراد با شرایط یکسان و متفاوت دست یافت. در این راستا، نیاز به محاسبه فاصله بین رشته‌های عملکردی مشخصه‌های افراد حین پیاده‌روی می‌باشد. در این تحقیق از تابع فاصله منهتن جهت محاسبه شباهت بین رشته‌ها پیشنهاد می‌شود. رابطه مربوط به محاسبه این فاصله به صورت رابطه ۱۰ و رابطه مربوط به محاسبه درصد شباهت بین رشته‌ها در سه بعد به صورت رابطه ۱۱ می‌باشد.

$$D(S_1,S_2)=\sum_{b=1}^{3}\sum_{i=1}^{n}(S_1^i-S_2^i)_b\ , \quad |S_1|=|S_2|=n; \qquad (۱۰)$$

$$Similarity(S1,S2)=100\times(1-\frac{D(S_1,S_2)}{3\times n}) \qquad (۱۱)$$

در این روابط S_1 و S_2 رشته‌های حاصل از قطعه‌بندی سیگنال‌های مشخصه‌ای و D به معنای فاصله بین رشته-های حرکتی می‌باشند. N تعداد نقاط در سری‌های زمانی است و همچنین منظور از تابع Similarity، شباهت بین دو رشته می‌باشد.

۴-۴- محاسبه شاخص دوندگی

جهت ایجاد امکان تحلیل و بررسی تأثیر مؤلفه‌های مختلف محیطی و شخصی روی الگوهای رفتاری شخص متحرک، نیاز به شاخصی می‌باشد که معرف عملکرد شخص از نظر مشخصه‌ای باشد. به عبارت دیگر، مقدار این شاخص تابعی از مشخصه‌ها در بازه زمانی مورد نظر باشد. در این تحقیق پیشنهاد می‌شود از رابطه ۱۲ به عنوان شاخص دوندگی استفاده شود [۲۹].

$$Running_{Index}=S_{Avg}-\frac{HR_{Avg}-HR_{First}}{\frac{HR_{Last}-HR_{First}}{S_{Last}-S_{First}}} \qquad (۱۲)$$

این شاخص تابعی از میانگین سرعت و ضربان قلب و مقدار این مشخصه‌ها در ابتدا و انتهای بازه زمانی می‌باشد. ضربان قلب میانگین در بازه زمانی، S_{First} و HR_{First} به ترتیب سرعت و ضربان قلب شروع بازه زمانی و S_{Last} و HR_{Last} به ترتیب سرعت و ضربان قلب انتهای بازه زمانی می‌باشد. همچنین، S_{AVG} و HR_{AVG} به ترتیب میانگین سرعت و ضربان قلب می‌باشند.

۴-۵- مدل‌سازی

جهت دستیابی به هدف تأثیرپذیری مؤلفه‌ها بر روی الگوهای رفتاری، نیاز است که شباهت بین الگوهای مشخصه‌ای افراد با شرایط مؤلفه‌ای یکسان و شباهت بین الگوهای افراد با شرایط مؤلفه‌ای متفاوت مقایسه شوند. نظر به اینکه این افراد دارای عملکرد حرکتی و شخصی متفاوت با هم هستند، مقایسه شباهت‌ها به تنهایی معرف تأثیر مؤلفه‌ها نمی‌باشد. به عبارت دیگر، شاخص دوندگی هر شخص به عنوان یک عامل تأثیرگذار معرفی می‌شود و می‌بایست در روند مقایسه بین شباهت افراد با شرایط یکسان و افراد با شرایط متفاوت در نظر گرفته شود. از این رو با استفاده از شاخص دوندگی دو شخصی که الگوی آنها با هم مقایسه می‌شوند (با شرایط مؤلفه‌ای یکسان) و همچنین شباهت محاسبه شده بین الگوهای سیگنال‌های مشخصه‌ای آنها مدلی پیشنهاد می‌شود که در آن شاخص-های دوندگی اشخاص به عنوان ورودی و شباهت بین سیگنال‌های مشخصه‌ای آنها به عنوان خروجی در نظر گرفته شود. در این تحقیق جهت مدل‌سازی بین شاخص-های دوندگی دو سیگنال قابل مقایسه و شباهت بین آنها از شبکه عصبی مصنوعی[۱] (ANN) استفاده می‌شود.

۴-۶- پیش‌بینی، مقایسه و بررسی تأثیر مؤلفه‌ها

پس از مدل‌سازی رابطه بین شاخص‌های دوندگی افراد و شباهت بین سیگنال‌های مشخصه‌ای آنها در وضعیتی که شرایط مؤلفه‌ای آنها یکسان است، می‌بایست به پیش‌بینی شباهت بین سیگنال‌های مشخصه‌ای افراد با شرایط غیر یکسان مؤلفه‌ای با استفاده از شاخص‌های دوندگی این اشخاص و مدل بدست آمده پرداخت. در واقع مقدار تفاوت شباهت پیش‌بینی شده بین افراد با شرایط مؤلفه‌ای متفاوت و مقدار شباهت بدست آمده از طریق رویکرد پیشنهادی، معرف میزان تأثیرپذیری مؤلفه محیطی و یا شخصی روی الگوهای رفتاری حرکت افراد می‌باشد. در این روند، مقدار شباهت محاسبه شده از طریق روش قطعه‌بندی و محاسبه فاصله با مقدار شباهت پیش‌بینی شده با استفاده از مدل بدست آمده مقایسه می‌شود. اختلاف این دو شباهت بیانگر میزان تأثیر مؤلفه‌های شخصی و محیطی می‌باشد. لازم به ذکر است منفی بودن این اختلاف حاکی از عدم تأثیرگذاری مؤلفه مربوطه بر الگوهای رفتاری حرکت افراد می‌باشد. به عبارت دیگر، اگر میزان شباهت بین الگوهای رفتاری در شرایط مؤلفه‌ای غیر یکسان بیشتر از مقدار پیش‌بینی شده از طریق مدل-سازی با شرایط یکسان مؤلفه‌ای باشد، مؤلفه مربوطه تأثیری بر الگوی رفتاری حرکت شخص ندارد.

---

۱ Artificial Neural Network

۵- پیاده‌سازی

در این بخش، رویکرد پیشنهادی جهت دستیابی به الگوهای رفتاری حرکت افراد در حین پیاده‌روی و همچنین ارزیابی میزان تأثیر مؤلفه‌های شخصی و محیطی مختلف روی الگوهای رفتاری حرکت پیاده شده و نتایج ایجاد شده مورد بررسی و ارزیابی قرار می‌گیرد. در این راستا، ابتدا چگونگی برداشت داده‌های مربوطه و همچنین منطقه مربوط به آن معرفی شده و پس از اجرای رویکرد پیشنهادی، نتایج حاصل از اجرای رویکرد بررسی می‌شود.

۵-۱- داده‌های اخذ شده و اجرای رویکرد پیشنهادی

داده‌های برداشت شده در این تحقیق، مربوط به دو مسیر از پیش تعیین شده می‌باشد. این دو مسیر واقع در تهران بوده و از جهت تغییرات ارتفاعی با هم متفاوت هستند. مسیر اول واقع در پردیس دانشکده‌های فنی دانشگاه تهران (شکل ۷ (الف)) و مسیر دوم واقع در آبشار تهران (شکل ۷ (ب)) می‌باشد.

(الف)

(ب)

شکل ۷- مسیرهای از پیش تعیین شده جهت برداشت خطوط سیر

در این تحقیق، مؤلفه‌های تأثیرگذار به سه دسته مکانی، شخصی و محیطی طبقه بندی شده‌است. بدین ترتیب، مؤلفه‌های شخصی و محیطی قابل بررسی بر روی الگوهای مشخصه‌ای جنسیت شخص، میزان خستگی وی و همچنین فصل برداشت داده در نظر گرفته می‌شود. همچنین مؤلفه شیب به عنوان مؤلفه تأثیرگذار مکانی معرفی خواهد شد.

بنابراین نحوه برداشت داده‌ها بدین ترتیب است که چهار نفر در مسیرهای انتخابی در دو نوبت متوالی به پیاده‌روی پرداخته‌اند. دو نفر از این افراد دارای جنسیت مرد و دو نفر دارای جنسیت زن می‌باشند. جهت بررسی تأثیر شرایط محیطی روی الگوهای رفتاری، تمامی برداشت‌ها یک بار در تابستان و بار دیگر در زمستان صورت پذیرفته است. به این ترتیب هر شخص ۸ خط سیر را پیموده و در مجموع ۳۲ خط سیر جهت مقایسه برداشت شده است که هر کدام از آنها به صورت یک رشته معرفی می‌شوند. این رشته به ترتیب جنسیت شخص، مسیر طی شده، فصل برداشت خط سیر و نوبت برداشت را بیان می‌کند. برای مثال رشته "MP1S1T1R1" معرف خط سیری است که شخصی با جنسی مرد (MP1) در مسیر اول (S1) در فصل تابستان (T1) برای دور اول (R1) پیاده‌روی نموده است.

۵-۲- اجرای رویکرد پیشنهادی

در راستای اجرای رویکرد پیشنهادی تحقیق، ابتدا به پیش‌پردازش داده‌ها و پس از آن به دستیابی الگوهای رفتاری موجود در سیگنال‌های مشخصه‌های حرکتی پرداخته می‌شود. در نهایت با استفاده از روند مدل‌سازی و پیش‌بینی، تأثیر مؤلفه‌های عنوان شده بررسی خواهد شد. در ادامه، مراحل اجرای رویکرد بیان خواهد شد.

۵-۲-۱- تبدیل داده‌های زمان مبنا به فاصله مبنا

همانطور که در بخش گذشته عنوان شد، داده‌های استخراج شده حین پیاده روی به صورت سری‌های زمانی در بازه‌های یک ثانیه‌ای هستند. بدین ترتیب با تبدیل داده‌های زمان مبنا به داده‌های فاصله مبنا، قادر خواهیم بود تا سیگنال‌های مشخصه‌ای افراد را در موقعیت‌های مشخص (برای مثال هر یک متر) مقایسه نماییم. در این راستا، تمامی سری‌های زمانی برداشت شده طبق مراحل گفته شده در بخش قبل به سری‌هایی تبدیل می‌شوند که فاصله، مبنای آنها باشد. برای مثال در

جدول ۳ نمونه‌ای از این تبدیل قابل مشاهده است.

جدول ۳- جدول سمت راست نمونه‌ای از داده‌های زمان مبنا و جدول سمت چپ نمونه‌ای از داده‌های فاصله مبنا

زمان	سرعت (ثانیه/متر)	ضربان قلب
۰	۰/۰۲۳	۹۲
۱	۰/۳۰۹	۹۲
۲	۰/۷۲۵	۹۲
۳	۱/۱۴۸	۹۲
۴	۱/۱۷۰	۹۲
۵	۰/۹۹۷	۹۲
۶	۱/۱۵۵	۹۲
۷	۱/۱۷۸	۹۲
۸	۱/۱۴۸	۹۳
۹	۱/۲۶۹	۹۳
۱۰	۱/۳۰۶	۹۳

زمان در فواصل یک متری	سرعت (ثانیه/متر)	ضربان قلب
۱	۰/۳۰۹	۹۲
۳/۹۲۰	۱/۱۶۹	۹۲
۴/۸۲۰	۱/۰۲۸	۹۲
۵/۶۷۸	۱/۱۰۴	۹۲
۶/۶۲۵	۱/۱۶۹	۹۲
۷/۵۴۱	۱/۱۶۲	۹۲/۵۴۱
۸/۳۹۹	۱/۱۹۶	۹۳
۹/۲۵۴	۱/۲۷۸	۹۳
۱۰/۱۱۳	۱/۳۰۰	۹۳/۶۷۹
۱۰/۹۰۱	۱/۲۵۹	۹۸/۴۰۷
۱۱/۶۶۹	۱/۳۳۴	۹۹/۶۶۹

۵-۲-۲- قطعه‌بندی سیگنال‌ها

در این بخش از پیاده‌سازی، به قطعه بندی سیگنال‌های مشخصه‌های حرکتی جهت ایجاد الگوهای رفتاری حرکتی افراد حین پیاده‌روی، طبق روند گفته شده در بخش پیشین پرداخته می‌شود. در ادامه در جدول ۴ نمونه‌ای از رشته‌های باینری مربوط به خطوط سیر طی شده توسط افراد برای مشخصه ضربان قلب نمایش داده شده است.

جدول ۴- رشته‌های باینری به‌وجود آمده در فضای ویژگی مربوط به ویژگی‌های جهت نقطه نسبت به میانه، مقدار انحراف از میانه، سینوسیتی و تقعر

نام خط سیر	ویژگی	رشته باینری فضای ویژگی
MP1S1T1R1	Direction	[0 1 1 1 1 1 1 0 1 1]
	Deviation	[0 0 0 1 1 1 1 1 0 0 0]
	Sinuosity	[1 1 1 1 1 1 1 1 1 1]
	Concavity	[1 0 0 0 0 0 0 0 1 1 1]
FP1S1T1R1	Direction	[0 1 1 1 1 1 1 1 1 1]
	Deviation	[0 0 0 0 0 0 0 1 1 0 0]
	Sinuosity	[1 1 1 1 1 1 1 0 1 1]
	Concavity	[1 0 0 0 0 0 0 1 1 1 0]

۵-۲-۵- ارزیابی تأثیر مؤلفه‌ها

به منظور مقایسه رفتارهای حرکتی اشخاص حین پیاده‌روی و دستیابی به تأثیر مؤلفه‌های مکانی، شخصی و محیطی روی الگوهای شخص، مراحل زیر به ترتیب صورت پذیرفته‌اند:

- **یافتن شباهت بین رشته‌های حرکتی:** جهت دستیابی به تأثیر مؤلفه‌های گوناگون روی الگوهای عملکردی افراد حین پیاده‌روی، می‌بایست یک بار رشته‌هایی با شرایط یکسان مؤلفه‌ای و بار دیگر با شرایط غیر یکسان مؤلفه‌ای در جهت شیب‌های یکسان مقایسه شوند. نمونه‌ای از این مقایسه در جدول ۵ قابل مشاهده می‌باشد.

جدول ۵- شباهت بین رشته‌های عملکردی افراد با جنسیت یکسان و متفاوت در جهت شیب مثبت

جنسیت	رشته‌های عملکردی افراد در شیب مثبت		شباهت بین رشته‌ها
یکسان	MP1S1T1R1	MP2S1T1R1	۸۳/۲۴۷
	FP1S1T1R1	FP2S1T1R1	۱۰۰
متفاوت	MP1S1T1R1	FP2S1T1R1	۷۹/۱۶۷
	MP2S1T1R1	FP2S1T1R1	۷۹/۷۱۶

- **محاسبه شاخص دوندگی**: همانطور که عنوان شد، شاخص دوندگی تابعی از پارامترهای آماری مشخصه عملکردی (ضربان قلب) و همچنین مشخصه حرکتی (سرعت) می‌باشد. با در نظر گرفتن این شاخص در هر رشته عملکردی می‌توان به مدل‌سازی ارتباط بین این شاخص‌ها و شباهت بدست آمده دست یافت. نمونه‌ای از این شاخص‌ها در جدول ۶ قابل مشاهده می‌باشد.

جدول ۶- محاسبه شاخص‌های دوندگی

رشته عملکردی اول	شاخص دوندگی	رشته عملکردی دوم	شاخص دوندگی
MP1S1T1R1	۰/۳۶۷	MP2S1T1R1	۰/۱۱۶
FP1S1T1R1	۰/۵۰۷	FP2S1T1R1	۰/۱۵۴

- **مدل‌سازی و پیش‌بینی شباهت بین رشته‌های حرکتی افراد:** در این مرحله به مدل‌سازی ارتباط بین شاخص‌های دوندگی هر رشته عملکردی در محدوده مشخص و شباهت بین رشته‌های عملکردی پرداخته می‌شود. همانطور که گفته شد، در این تحقیق از شبکه عصبی مصنوعی جهت مدل‌سازی استفاده شده است. در این شبکه شاخص‌های دوندگی مربوط به هر قسمت با جهت شیب مشخص به عنوان ورودی‌های شبکه و شباهت بین دورشته عملکردی در همان محدوده به عنوان خروجی شبکه در نظر گرفته می‌شود. لازم به ذکر است مدل‌سازی با آن دسته از مقایسه‌ها صورت می‌پذیرد که دارای شرایط مؤلفه‌ای یکسان هستند. پس از مدل‌سازی ارتباط بین شاخص‌های دوندگی و شباهت بین رشته‌های عملکردی در هر نوبت مقایسه، جهت دستیابی به میزان تأثیر مؤلفه‌های شخصی و محیطی روی الگوهای رفتاری حرکت افراد حین پیاده‌روی، به پیش‌بینی شباهت بین رشته‌های عملکردی در شرایط غیر یکسان مؤلفه‌ای پرداخته می‌شود. در واقع مقدار پیش‌بینی شده بیانگر مقدار شباهت بین رشته-ها زمانی است که شرایط مؤلفه‌ای آنها یکسان باشد. نمونه‌ای از این مقادیر پیش‌بینی شده در جدول ۷ برای مسیر انتخابی اول نشان داده شده است.

جدول ۷- پیش‌بینی شباهت بین رشته‌های عملکردی با شرایط مؤلفه‌ای متفاوت با استفاده از مدل‌های بدست آمده

جهت شیب	MP1,S1,T1,R2 شاخص دوندگی	FP2,S1,T1,R2 شاخص دوندگی	پیش‌بینی شباهت (٪)
+	۱/۰۸	۱/۹۸	۱۰۰
–	۱/۰۸	۱/۹۸	۸۸/۶۸
۰	۰/۴۴	۰/۴۲	۹۱/۷۴
+	۰/۱۴	۰/۳۵	۸۰/۳۲
۰	۰	۰/۲۲	۹۰/۳۵

- **مقایسه مقدار پیش‌بینی شده و محاسبه شده جهت تحلیل تأثیر مؤلفه‌ها:** این مرحله جهت دستیابی به میزان تأثیر مؤلفه‌های شخصی و محیطی صورت می‌پذیرد. در این راستا، با مقایسه شباهت بدست آمده از روش قطعه‌بندی و شباهت پیش‌بینی شده از مدل‌سازی روابط بین شباهت رشته‌های عملکردی و شاخص دوندگی رشته‌ها، درصد تأثیر مؤلفه‌های محیطی و شخصی بدست می‌آید. برای مثال، میزان تأثیر مؤلفه شخصی جنسیت روی الگوهای رفتاری در جدول ۸ به تفکیک جهت شیب نمایش داده شده است.

جدول ۸- محاسبه میزان تأثیر مؤلفه جنسیت

MP1,S1,T1,R2 / FP1,S1,T1,R2 جهت شیب	شباهت از روش قطعه-بندی	پیش‌بینی شباهت با استفاده از مدل	میزان تأثیر مؤلفه جنسیت (٪)
+	۷۲/۲۲	۱۰۰	۲۷/۷۸
–	۷۹/۴۹	۸۸/۶۸	۹/۱۹
۰	۷۷/۷۸	۹۱/۷۴	۱۳/۹۶
+	۸۰/۱۴	۸۰/۳۲	۰/۱۸
۰	۸۳/۳۳	۹۰/۳۵	۷/۰۲

۵-۳- نتایج

در این بخش، نتایج حاصل از اجرای رویکرد پیشنهادی بر روی سیگنال‌های حرکتی و عملکردی با هدف دستیابی به الگوهای مکانی-زمانی حرکت افراد حین پیاده‌روی بیان شده و به بررسی و تحلیل آن پرداخته می‌شود. در این راستا، میزان میانگین میزان تأثیر هر مؤلفه روی الگوهای رفتاری حرکت افراد به تفکیک جهت شیب در جدول ۹ نشان داده می‌شوند. لازم به ذکر است، تأثیر خستگی و شرایط آب و هوایی به تفکیک جنسیت نیز نشان داده شده است. در این صورت، میزان اثرگذاری هر مؤلفه بر روی الگوی رفتاری عملکردی هر شخص وابسته به جنسیت آن شخص می‌باشد. برای مثال، میزان تأثیر خستگی شخصی با جنسیت زن با مقدار حدوداً ۶ درصد، بیشتر از میزان تأثیر خستگی روی شخصی با جنسیت مرد با مقدار حدوداً ۲/۵ درصد می‌باشد. در ادامه به تفسیر نتایج حاصل از اجرای رویکرد پیشنهادی با هدف اکتشاف الگوهای رفتاری حرکت افراد حین پیاده‌روی، به شرح زیر می‌باشد:

- **جنسیت**: همانطور که در جدول ۹ مشخص است، میزان تأثیر جنسیت فرد بر روی الگوی رفتاری حرکت در حین پیاده روی در شیب‌های مثبت نسبت

به سطح هموار و همچنین شیب منفی بیشتر است. به عبارت دیگر، یکی از مؤلفه‌هایی که بر روی الگوی ضربان قلب افراد در حین پیاده‌روی در شیب‌های مثبت تأثیرگذار است، جنسیت آنها می‌باشد.

- **خستگی**: طبق بررسی‌های صورت گرفته در خصوص نتایج مربوط به تأثیر خستگی روی الگوی رفتاری حرکت افراد به تفکیک شیب و جنسیت افراد، تأثیر خستگی به صورت کلی برای مرد و زن به صورت کلی در شیب‌های مثبت بیشتر می‌باشد. به عبارت دیگر عکس‌العمل عملکردی شخص نسبت به میزان خستگی در شیب‌های مثبت بیشتر است. همچنین طبق جدول ۹ میزان این تأثیر در زنان بیشتر از مردان است. مسئله قابل توجه در ارزیابی میزان تأثیر خستگی بر روی الگوی رفتاری حرکت افراد مقدار منفی در شیب‌های منفی است. علت منفی بودن این مقدار، عدم تأثیرپذیری الگوهای رفتاری حرکت افراد در شیب‌های منفی می‌باشد. به عبارت دیگر، الگوی رفتاری حرکت فرد در صورت خسته بودن نسبت به شیب‌های منفی عکس‌العمل نشان نداده و تفاوتی حاصل نمی‌شود.
- **شرایط محیطی**: همانطور که پیشتر گفته شد، جهت بررسی میزان تأثیر شرایط محیطی بر روی الگوی رفتاری حرکت افراد، برداشت در دو فصل تابستان و زمستان صورت گرفته شده است. بر اساس جدول ۹، شرایط محیطی به صورت کلی بیشتر در سطوح هموار تأثیرگذار هستند. نظر به اینکه میزان تأثیر مؤلفه‌ها در مردان و زنان متفاوت است، عکس‌العمل الگوهای رفتاری حرکت زنان و مردان نسبت به شرایط محیطی در شیب‌های مختلف متفاوت می‌باشد. برای مثال، میزان تأثیر این مؤلفه در سطوح هموار بر روی مردان بیشتر می‌باشد، در حالی که میزان این تأثیر در شیب-های منفی برای زنان بیشتر است.

جدول ۹- مقدار میانگین میزان تأثیر هر مؤلفه روی الگوهای رفتاری حرکت افراد

	جنسیت		خستگی		شرایط محیطی		
جهت شیب	کلی	کلی	مرد	زن	کلی	مرد	زن
مثبت	۱۰/۲۶۵	۳/۸۹۹	۲/۵۷۰	۵/۸۹۲	۵/۴۷۹	۸/۶۵۶	۵/۸۲۲
منفی	۱۳/۳۲۵	-۵/۲۴۳	-۲/۸۹۶	-۹/۹۳۵	۳/۰۶۳	۰/۴۲۲	۶/۴۵۴
صفر	۱۲/۴۵۶	۱۵/۸۲۷	۱۴/۹۴۳	۱۸/۴۷۹	۱۵/۰۰۶	۱۶/۰۵۴	۱۳/۸۵۳

۶- نتیجه‌گیری و پیشنهادات

تحقیق ارائه شده، با معرفی روشی بر مبنای قطعه-بندی مشاهدات حرکتی و عملکردی افراد حین انجام فعالیت‌های ورزشی و همچنین بصری‌سازی رشته‌های عملکردی حاصل از قطعه‌بندی، الگوهای رفتاری حرکت افراد را به صورت بصری بررسی نمود. در پی آن با ارائه روشی بر مبنای توابع موجود در محاسبه فاصله بین رشته-های حاصله، شباهت بین رشته‌ها در شرایط مؤلفه‌ای یکسان و متفاوت محاسبه شد و در نهایت با مدل‌سازی رابطه میان شاخص دوندگی افراد در مسیرهای طی شده که معرف عملکرد شخص در مدت زمان حرکت می‌باشد و شباهت‌های محاسبه شده به پیش‌بینی و مقایسه پرداخته و میزان تأثیر مؤلفه‌های مختلف بر روی الگوهای رفتاری تحلیل و بررسی شد. نتایج حاصل از اجرای روند مذکور بیانگر وابستگی میزان تأثیر مؤلفه‌ها به جهت شیب مسیر پیموده شده و همچنین جنسیت شخص می‌باشد.

با توجه به هدف بازیابی الگوهای مکانی- زمانی حرکت با استفاده از مشاهدات ورزشی، نیاز است الگوهای رفتاری حرکت ورزشکاران استخراج شده و همچنین تأثیر مؤلفه-های مکانی، شخصی و محیطی گوناگون بر روی این الگوها بررسی شوند. در این تحقیق با معرفی روشی بر مبنای قطعه‌بندی و محاسبه شباهت بین الگوهای رفتاری، به میزان تأثیر برخی از مؤلفه‌ها دست یافته شد. در مطالعات آتی، پیشنهاد می‌شود با مشاهداتی در راستای در نظر گرفتن مؤلفه‌های تأثیرگذار بیشتر، به ارزیابی دقیق‌تر الگوهای رفتاری حرکت افراد پرداخته شود. برای مثال، با مشاهداتی در راستای بررسی سن افراد بر روی الگوهای رفتاری حرکت می‌توان به اتخاذ تصمیماتی در این راستا پرداخت.

در این تحقیق، ضربان قلب به عنوان مشخصه عملکردی تأثیرپذیر از مؤلفه‌های مختلف استفاده شده است. این مشخصه بیانگر عملکرد شخص در حین حرکت بوده و به عنوان الگوی رفتاری در نظر گرفته می‌شود. در نظر گرفتن مشخصه‌های عملکردی دیگری همچون ریتم حرکت شخص و یا فشار خون شخص در حین پیاده‌روی می‌تواند به دستیابی الگوهای رفتاری دقیق‌تر کمک نموده و نتایج قابل اعتمادتری را حاصل نماید.

مراجع

[1] M. Yuan and A. Nara, "Space-time analytics of tracks for the understanding of patterns of life," in Space-Time Integration in Geography and GIScience, ed: Springer, 2015, pp. 373-398.

[2] A. Avci, S. Bosch, M. Marin-Perianu, R. Marin-Perianu, and P. Havinga, "Activity recognition using inertial sensing for healthcare, wellbeing and sports applications: A survey," in Architecture of computing systems (ARCS), 2010 23rd international conference on, 2010, pp. 1-10.

[3] H. Cao, N. Mamoulis, and D. W. Cheung, "Discovery of periodic patterns in spatiotemporal sequences," IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, vol. 19, pp. 453-467, 2007.

[4] R. D. Das and S. Winter, "A Neuro-Fuzzy based Hybrid Intelligent Framework for Transport Mode Detection".

[5] D.-H. Shih, M.-H. Shih, D. C. Yen, and J.-H. Hsu, "Personal mobility pattern mining and anomaly detection in the GPS era," Cartography and Geographic Information Science, vol. 43, pp. 55-67, 2016.

[6] J. Wang, M. Duckham, and M. Worboys, "A framework for models of movement in geographic space," International Journal of Geographical Information Science, vol. 30, pp. 970-992, 2016.

[7] E. Meijles, M. de Bakker, P. Groote, and R. Barske, "Analysing hiker movement patterns using GPS data: Implications for park management," Computers, Environment and Urban Systems, vol. 47, pp. 44-57, 2014.

[8] D. R. Brillinger, H. K. Preisler, A. A. Ager, and J. G. Kie, "An exploratory data analysis (EDA) of the paths of moving animals," Journal of statistical planning and inference, vol. 122, pp. 43-63, 2004.

[9] D. Sarkar, C. A. Chapman, L. Griffin, and R. Sengupta, "Analyzing Animal Movement Characteristics From Location Data," Transactions in GIS, vol. 19, pp. 516-534, 2015.

[10] S. Bleisch, M. Duckham, A. Galton, P .Laube, and J. Lyon, "Mining candidate causal relationships in movement patterns," International Journal of Geographical Information Science, vol. 28, pp. 363-382, 2014.

[11] A. Soleymani, E. E. Van Loon, and W. Robert, "Capability of movementfeatures extracted fromGPS trajectoriesforthe classification of fine-grained behaviors," 2014.

[12] M. Sharif and A. A. Alesheikh, "Context-awareness in similarity measures and pattern discoveries of trajectories: a context-based dynamic time warping method," GIScience & Remote Sensing, vol. 54, pp. 426-452, 2017.

[13] J. Gudmundsson and T. Wolle, "Towards automated football analysis: Algorithms and data structures," Proc. 10th Australasian Conf. on mathematics and computers in sport, 2010.

[14] A. Grunz, D. Memmert ,and J. Perl, "Analysis and simulation of actions in games by means of special self-organizing maps," International Journal of Computer Science in Sport, vol. 8, pp. 22-37, 2009.

[15] T. Taki and J.-i. Hasegawa, "Visualization of dominant region in team games and its application to teamwork analysis," in Computer Graphics International, 2000. Proceedings, 2000, pp. 227-235.

[16] A. Fujimura and K. Sugihara, "Geometric analysis and quantitative evaluation of sport teamwork," Systems and Computers in Japan ,vol. 36, pp. 49-58, 2005.

[17] C.-H. Kang, J.-R. Hwang, and K.-J. Li, "Trajectory analysis for soccer players," in Sixth IEEE International Conference on Data Mining-Workshops (ICDMW'06), 2006, pp. 377-381.

[18] J. H. Hollman, F. M. Kovash, J. J. Kubik ,and R. A. Linbo, "Age-related differences in spatiotemporal markers of gait stability during dual task walking," Gait & posture, vol. 26, pp. 113-119, 2007.

[19] R. Farana, J. Uchytil, D. Zahradník, and D. Jandačka, "The “Akopian” vault performed by elite male gymnasts: which biomechanical variables are related to a judge’s score," Acta Gymnica, vol. 45, pp. 33-40, 2015.

[20] C.-m. Leung, "Integration of modern GIS into orienteering course planning and map making," 香港大學學位論文, pp. 1-0, 2003.

[21] K. BERT-LOSIER, L. Mourot, and H.-C. Holmberg, "Elite and amateur orienteers' running biomechanics on three surfaces at three speeds," 2015.

[22] K. Hébert-Losier, K. Jensen, L. Mourot, and H. C. Holmberg, "The influence of surface on the running velocities of elite and amateur orienteer athletes," Scandinavian journal of medicine & science in sports, vol. 24, pp. e448-455, 2014.

[23] S. H. Chavoshi, B. De Baets, T. Neutens, H. Ban, O. Ahlqvist, G. De Tré, et al., "Knowledge discovery in choreographic data using Relative Motion matrices and Dynamic Time Warping," Applied Geography, vol. 47, pp. 111-124, 2014.

[24] T. Myers and S. L. Mitchell, "A mathematical analysis of the motion of an in-flight soccer ball," Sports engineering, vol. 16, pp. 29-41, 2013.

[25] F. Giannotti and D. Pedreschi, "Mobility, data mining and privacy: A vision of convergence," in Mobility, data mining and privacy, ed: Springer, 2008, pp. 1-11.

[26] R. Nathan, W. M. Getz, E. Revilla, M. Holyoak, R. Kadmon, D. Saltz, et al., "A movement ecology paradigm for unifying organismal movement research," Proceedings of the National Academy of Sciences, vol. 105, pp. 19052-19059, 2008.

[27] S. Dodge, R. Weibel, and E. Forootan, "Revealing the physics of movement: Comparing the similarity of movement characteristics of different types of moving objects," Computers, Environment and Urban Systems, vol. 33, pp. 419-434, 2009.

[28] S. Dodge, R. Weibel, and P. Laube, "Trajectory similarity analysis in movement parameter space," Plymouth, UK: Proceedings of GISRUK, pp. 27-29, 2011.

[29] V. Vesterinen, L. Hokka, E. Hynynen, J. Mikkola, K. Häkkinen, and A. Nummela, "Heart rate-running speed index may be an efficient method of monitoring endurance training adaptation," The Journal of Strength & Conditioning Research, vol. 28, pp. 902-908, 2014.