

## تشخیص ناهنجاری مسیر خودروها در دنباله ویدیویی دوربین‌های کنترل حمل و نقل و ترافیک

### با استفاده از طبقه‌بندی فازی عصبی

ریحانه تقی‌زاده خانکوک، دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی برق - مخابرات دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

عباس ابراهیمی‌مقدم (مسئول مکاتبات)، عضو هیات علمی گروه مهندسی برق دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

مرتضی خادمی درح، عضو هیات علمی گروه مهندسی برق دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

**E-mail: a.ebrahimi@um.ac.ir**

### چکیده

در سال‌های اخیر با گسترش مشکلات ترافیکی و افزایش تقاضا برای مدیریت آن، استفاده از سیستم‌های هوشمند نظارت ویدیویی با رشد چشم‌گیری مواجه شده است. چالش اصلی در این حوزه، ارائه روشی برای تشخیص با سرعت بالا و هزینه کم‌تر است تا کنترل ترافیک، خدمات عمومی و اجرای قانون به بهترین نحو انجام شود. هدف از این پژوهش، ارائه روشی نوین برای تشخیص ناهنجاری در مسیر خودروها با دقتی بالا و حداقل خطا است. شیوه پیشنهادی بر پایه استخراج ویژگی‌های زمانی-مکانی حاصل از دنباله‌های ویدیویی و استفاده از طبقه‌بندی فازی عصبی‌ای که با کمک لغت‌نامه ایجادشده شکل گرفته است، استوار است. در این پژوهش طبقه‌بندی طراحی‌شده بر روی تک‌تک داده‌های آزمایشی اعمال می‌گردد و حاصل آن انتخاب برجسب هنجار و ناهنجار برای هرکدام از ورودی‌های جدید خواهد بود. برای ارزیابی بیشتر روش پیشنهادی، نتایج به‌دست آمده با سایر پژوهش‌های شناخته‌شده در این حوزه مقایسه می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: نظارت خودکار حمل و نقل، تشخیص ناهنجاری مسیر، طبقه‌بندی فازی عصبی

## ۱. مقدمه

آن با استخراج مسیر و پردازش‌هایی صورت گرفته خروجی که رفتار هنجار یا ناهنجار داده آزمایشی است، ایجاد می‌گردد. در ادامه، ابتدا پژوهش‌های مشهور در این حوزه مورد بررسی قرار گرفته و سپس شیوه پیشنهادی بیان می‌شود. در بخش شبیه‌سازی، روش پیشنهادی بر روی دنباله‌های ویدئویی پیاده‌سازی شده و با سایر روش‌های رقیب مورد مقایسه قرار می‌گیرد. بخش آخر نیز به جمع‌بندی اختصاص دارد.

## ۲. ادبیات پژوهش

با توجه به استفاده گسترده از دوربین‌های نظارتی در سطح معابر و جاده‌ها، محققان علم بینایی ماشین و پردازش تصویر همواره در جست‌وجوی روشی برای نظارت دقیق‌تر و سریع‌تر جهت تشخیص تخلفات و ناهنجاری در دنباله‌های ویدئویی بوده‌اند. یکی از بزرگ‌ترین چالش‌هایی که در زمینه تشخیص ناهنجاری دنباله‌های ویدئویی ناشی از دوربین‌های نظارتی مشاهده می‌شود، بروز صحنه‌های پیچیده‌ای است که با حضور تعداد بالای خودروها به وجود می‌آید. پژوهش کومار و وایدھی (۲۰۱۷)، با استفاده از شیوه‌ای نوین بر پایه یادگیری انتقالی فازی عصبی<sup>۱</sup>، موفق به ارائه راهکاری مناسب برای حل این چالش شده است. در پژوهش لی و همکاران (۲۰۱۸) روشی نوین بر پایه تئوری فازی در تشخیص ناهنجاری‌ها ارائه شده است که نسبت به موارد مزاحم متعددی از قبیل شرایط مختلف روشنایی، آب و هوایی و انسداد ترافیکی عملکرد خوبی از خود نشان می‌دهد.

در پژوهش فو و همکاران (۲۰۰۵) نیز پژوهشگران با استفاده از یک خوشه‌بندی سلسله مراتبی بر مبنای شباهت بین مسیرها به تشخیص ناهنجاری در دنباله‌های ویدئویی واقعی پرداختند. در این پژوهش نتایج با کمک الگوریتم فازی  $k$  میانگین، مورد ارزیابی قرار گرفته است و در تشخیص مسیرهای ناهنجار حتی با وجود مواردی از قبیل نویز و حجم بالای ترافیکی عملکرد خوبی از خود نشان داده است.

در پژوهش چن و همکاران (۲۰۱۷)، پژوهشگران با استفاده از روش بازسازی تنک و تشابه مسیرها روی دنباله‌های ویدئویی به فصلنامه مهندسی ترافیک/ سال بیست و یکم/ شماره ۸۶ / پاییز ۱۴۰۰

امروزه با توجه به افزایش روزافزون تعداد وسایل نقلیه در معابر شهری و جاده‌ها و در پی آن افزایش تصادفات ناشی از تخلفات رانندگی، لزوم استفاده از یک سیستم هوشمند نظارتی کارآمد بیش‌ازپیش احساس می‌شود. در سال‌های اخیر، استفاده از سیستم‌های نظارت ویدئویی در مسیرهای تردد وسایل نقلیه به‌منظور مدیریت ترافیک در لحظه و ایمنی ترافیک، توجه زیادی را به خود جلب نموده است. با به‌کارگیری یک سیستم هوشمند علاوه بر امکان کنترل بی‌وقفه‌ی رانندگی صحیح و بررسی سیر حرکت وسایل نقلیه در بین خطوط، تشخیص رفتارهای پرخطر رانندگی (مانند سرعت غیرمجاز، تغییر ناگهانی مسیر، انجام حرکات مارپیچ و حرکت با دنده عقب در آزادراه‌ها و بزرگراه‌ها)، نیز فراهم می‌گردد. سیستم‌های نظارت ویدئویی رایج، اغلب حجم ترافیکی و رفتار وسایل نقلیه بر مبنای سرعت را تحلیل و ثبت می‌کنند و نظارتی بر روی سایر رفتارهای وسایل نقلیه، بخصوص رفتارهای ناهنجار آن‌ها، ندارند. از طرفی اگر تحلیل و بررسی ویدئوهای نظارتی مرتباً توسط اپراتور انسانی انجام شود، با افزایش هزینه و نیاز به حجم بسیار بالایی از حافظه، جهت ذخیره داده‌های ویدئویی مواجه خواهیم بود، بنابراین ضروری است که روشی مؤثر برای آموزش رفتار وسایل نقلیه به‌طور خودکار بر روی ویدئوهای نظارتی فراهم گردد.

تاکنون شیوه‌های مختلفی برای استخراج اطلاعات وسایل نقلیه ارائه شده که بر پایه ویژگی‌های مکانی، زمانی یا هر دو با هم می‌باشند. این ویژگی‌ها معمولاً برگرفته از موقعیت، سرعت و سایر اطلاعات مهم خودرو خواهند بود. برای بهره‌گیری بهتر از این ویژگی‌ها طبقه‌بندهای مناسبی که رویکردی مبتنی بر مجموعه‌های یادگیری کوچک دارند، پیشنهاد شده است تا آمادگی لازم برای فرایند تشخیص ناهنجاری و درک درستی از رفتار وسایل نقلیه، شکل بگیرد.

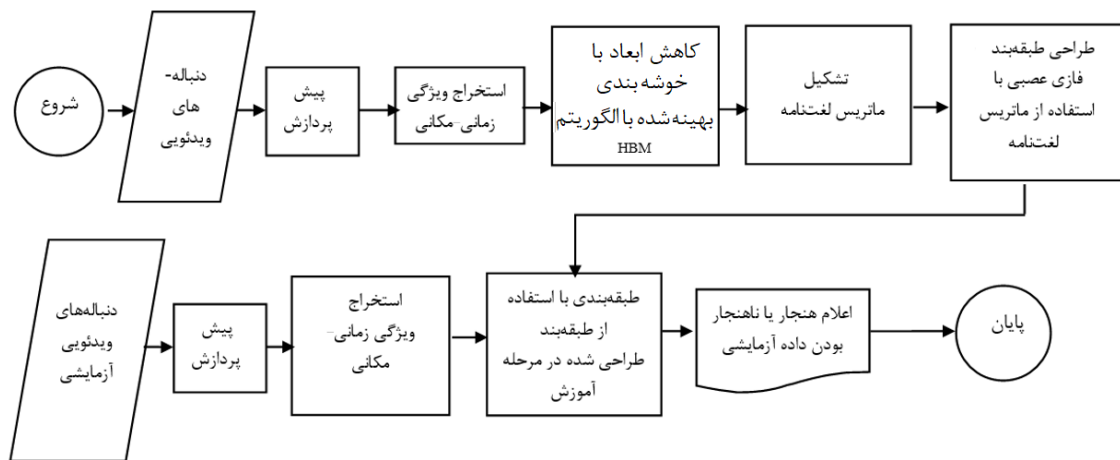
در این مقاله، شیوه‌ای نوین برای تشخیص ناهنجاری رفتار وسایل نقلیه موجود در دنباله‌های ویدئویی نظارتی ارائه می‌شود که در

## تشخیص ناهنجاری مسیر خودروها در دنباله ویدیویی دوربین‌های کنترل حمل و نقل و ترافیک با استفاده از طبقه‌بندی فازی عصبی

عصبی عمیق کانولوشنی روی مؤلفه‌های زمانی - مکانی استخراجی را مورد ارزیابی قرار می‌دهد. نتایج این پژوهش حاکی از آن بوده که این روش در صحنه‌های ویدیویی بسیار شلوغ عملکرد خوبی داشته است.

### ۳. روش پژوهش

در شکل ۱ نمودار گردش عملیات روش پیشنهادی قابل مشاهده است. در ادامه به توضیح مراحل کار سیستم پرداخته می‌شود.



شکل ۱. نمودار گردش عملیات روش پیشنهادی

است. این ماسک با توجه به ثابت بودن دوربین نظارتی و عدم تغییر موقعیت آن در تمام فریم‌های موجود، به صورت باینری است؛ یعنی در نواحی مورد نظر پردازش، یک و سایر نواحی، صفر در نظر گرفته می‌شود.

### ۳-۲ استخراج ویژگی‌های زمانی - مکانی (STF)

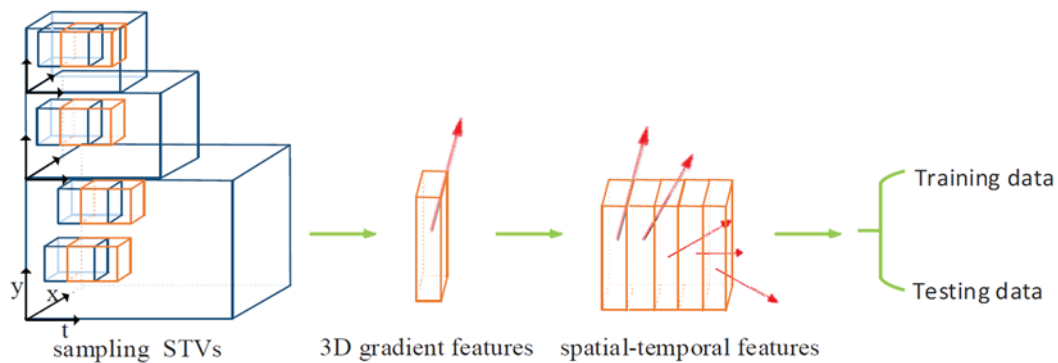
دومین مرحله به استخراج ویژگی‌های زمانی - مکانی اختصاص دارد. همان‌طور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود، فلش‌های مرحله دوم و سوم، بر مقادیر و جهت‌های ویژگی‌های سه‌بعدی گرادیان پیکسل در حال حرکت با توجه به  $STV^2$  دلالت دارند. هر ویژگی مکانی - زمانی را به‌عنوان ویژگی آموزشی یا ویژگی آزمایشی، با توجه به داده‌ای که از آن، این ویژگی‌ها استخراج شده است، در نظر گرفته می‌شود.

آموزش رفتار خودرو پرداخته‌اند. در این پژوهش، تشکیل کمینه ساز تفاضل نرم  $l_2$  و نرم  $l_p$  در طبقه‌بندی رفتار خودرو توانسته نسبت به سایر روش‌های طبقه‌بندی چون مدل بیزین، روش ماشین بردار پشتیبان، روش نزدیک‌ترین همسایه و روش خوشه‌بندی، دقت تشخیص ناهنجاری بهتری را داشته باشد.

علاوه بر آنچه تاکنون مطرح شد، استفاده از شبکه‌های عصبی عمیق در حوزه تشخیص ناهنجاری هم با نتایج خوبی همراه بوده است. برای نمونه، شیفو ژو و همکاران استفاده از شبکه‌های

### ۳-۱ پیش پردازش

اولین مرحله در روش پیشنهادی مربوط به پیش‌پردازش اعمال‌شده روی دنباله‌های ویدیویی است که در نهایت منجر به حذف زواید و مواردی از تصویر خواهد شد که به بهبود هرچه بیشتر نتایج کمک می‌کند. چون در دنباله‌های ویدیویی عوامل مزاحمی مانند حرکت برگ‌های درختان و عابران پیاده وجود دارد، این موارد قادر به تأثیرگذاری در کیفیت عملکرد روش پیشنهادی است. برای این منظور، ابتدا با استفاده از روش میانگین‌گیری فریم‌های متوالی، پس‌زمینه در کل تصویر تشخیص داده و پس از حذف آن از تک‌تک فریم‌ها فرآیند استخراج مسیر خودروها انجام می‌شود. از آنجاکه در تصویربرداری دوربین ثابت است، با ضرب تصویر حاصله در ماسک مناسب، تصویری ایجاد می‌گردد که در آن تنها نواحی جاده‌ی مورد پردازش، باقی‌مانده



شکل ۲. استخراج ویژگی زمانی - مکانی دنباله‌های ویدئویی

نسبت به لغت‌نامه فراکامل شده با مجموعه لغت‌نامه‌هایی با مقادیر مشابه پایه‌ها، با دقت بیشتری به شرح ویژگی‌های ساختاری می‌پردازند. در بعضی تحقیقات، سلول‌های لغت‌نامه را مستقیماً از روی ویژگی‌های استخراج‌شده‌ی مسیر ساخته‌اند، در صورتی‌که آموزش لغت‌نامه با  $K$ -SVD سبب رسیدن به بهترین نمایندگی از داده‌های آموزشی خواهد شد. برای تشکیل ماتریس لغت‌نامه در ابتدای امر مقدار میانگین تمام  $STF$ ها از هر طبقه از مقادیر آن طبقه کم می‌شود تا مقادیر به‌صورت نرمال شده در اختیار باشند. علاوه بر مشکل ابعاد بالای  $STF$ ها ابعاد مورد استفاده برای هر طبقه نیز بزرگ است. برای این منظور، یک راه، استفاده از افکنش تصادفی است.

### ۳-۵ طراحی طبقه‌بندی

تا اینجا سعی شد با استفاده از بهترین ابزارهایی که تاکنون در این حوزه پیشنهاد شده، نگاشتی که توصیف‌کننده مسیره‌ها باشد، ایجاد شود. بعد از این مرحله لزوم استفاده از یک طبقه‌بندی مناسب احساس می‌شود که به کمک آن و داده‌های برچسب‌دار آموزشی موجود بتوان یک مدل مناسب برای طبقه‌بندی داده‌ها ارائه نمود. طبقه‌بندی پیشنهادی برای این پژوهش، طبقه‌بندی فازی عصبی است. قسمت عصبی آن با الگو گرفتن از سیستم مغز انسان بهترین مدل‌سازی ممکن از داده‌ها را در اختیار ما قرار می‌دهد و قسمت فازی آن نیز با استفاده از انعطاف خوبی که از خود نشان می‌دهد، قابلیت تعمیم و به‌عبارت‌دیگر عملکرد خوبی روی داده‌های جدید، به ارمغان می‌آورد.

### ۳-۳ کاهش ابعاد با خوشه‌بندی HBM

حال ویژگی‌های استخراج‌شده از مرحله قبل، به یک سیستم خوشه‌بندی بهینه‌سازی‌شده با الگوریتم تکاملی جفت‌گیری زنبورعسل  $HBM^3$  اعمال می‌کنیم. در روش پیشنهادی الگوریتم بهینه‌سازی جفت‌گیری زنبورعسل برای بهبود خوشه‌بندی و جلوگیری از همگرایی به اپتیمم‌های محلی استفاده شده است. الگوریتم جفت‌گیری زنبورعسل با الهام از آنچه در طبیعت و زندگی زنبورهای عسل وجود دارد، به حل مسائل بهینه‌سازی می‌پردازد. نهایتاً این روش سبب رسیدن به فضای ویژگی جدیدی شد که پیچیدگی محاسباتی کمتری دارد. هم‌چنین از نظر زمان آموزش سیستم، عملکرد بهتری نیز به ارمغان می‌آورد و نهایتاً امکان پیاده‌سازی برخط الگوریتم را امکان‌پذیر خواهد ساخت؛ بنابراین در این مرحله نگاشتی حاصل می‌شود که نتیجه آن دستیابی به نماینده خوبی از یک دسته خواهد بود. هم‌چنین به کمک حاصل این خوشه‌بندی، امکان تشکیل ماتریس لغت‌نامه با نماینده‌ی آن مسیره‌ها بجای تک‌تک مسیره‌ها فراهم می‌آورد.

### ۳-۴ تشکیل ماتریس لغت‌نامه

در این مرحله با استفاده از الگوریتم تجزیه مقادیر تکین  $K$ -SVD و ویژگی‌های به‌دست‌آمده از مرحله قبل، ماتریس لغت‌نامه ایجاد می‌شود. این مرحله به‌منظور آموزش لغت‌نامه‌های تنک گروهی مهم (که بهترین توصیف را با کمترین حجم اطلاعات ارائه می‌دهند) طراحی شده است و ما را در دستیابی به یک لغت‌نامه مناسب یاری می‌رساند. لغت‌نامه ایجاد شده،

## تشخیص ناهنجاری مسیر خودروها در دنباله ویدیویی دوربین‌های کنترل حمل و نقل و ترافیک با استفاده از طبقه‌بندی فازی عصبی

فاصله به دست آمده با آستانه‌ای مقایسه می‌شود. اگر کمینه به- دست آمده از آن آستانه، فاصله زیادی داشته باشد، تشخیص ناهنجاری اعلام می‌شود. در غیر این موارد، رویداد عادی است. مقدار این آستانه به صورت تجربی تعیین می‌شود. لازم به ذکر است که تعیین معیاری برای تشخیص ناهنجاری ضروری بوده و در صورتی که این معیار برای تمام طبقه‌ها ارضا نشود یا به عبارت دیگر بیشترین درصد تعلق داده به یکی از طبقه‌ها از آن کمتر باشد، برچسب ناهنجاری برای آن داده اعلام می‌گردد. این معیار طبق تجربه به صورت رابطه ۱ تعریف می‌شود.

$$TR_1 = d_{mean} + \frac{1}{8}(d_{max} - d_{min}) \quad (1)$$

در رابطه فوق  $d_{mean}$  بیانگر میانگین درصد تخصیص داده مورد نظر به تمام طبقه‌ها و  $d_{max}$  و  $d_{min}$  به ترتیب بیانگر بیشترین و کمترین درصد تخصیص است. موضوع دیگری که باید مورد ارزیابی قرار گیرد، عدم تعلق هم‌زمان به دو طبقه متفاوت است. برای بررسی این مسئله ابتدا ماتریس به دست آمده (که عناصر آن بیانگر تعلق به کلاس‌های مختلف است) را به صورت نزولی مرتب نموده و در گام بعد تفاضل اولین عنصر آن را با دومین عنصر محاسبه می‌شود، اگر این تفاضل از آستانه‌ای کمتر باشد به معنای بروز ناهنجاری خواهد بود. این آستانه با استفاده از رابطه ۲ تعریف می‌گردد.

$$TR_2 = \frac{1}{8}(d_{max} - d_{min}) \quad (2)$$

### ۴. شبیه‌سازی و ارزیابی روش پیشنهادی

اولین گام در ارزیابی صحیح روش‌های بینایی ماشین انتخاب یک پایگاه داده مناسب است که به عنوان ورودی مورد استفاده قرار گیرد.

#### ۴-۱ پایگاه داده ورودی

دنباله‌های ویدئویی مورد استفاده برای ارزیابی شیوه پیشنهادی خودساخته بوده و از تصاویر هوایی بولوار وکیل آباد، واقع در ضلع شمالی دانشگاه فردوسی مشهد انتخاب شده است. در شکل

برای آموزش شبکه عصبی فازی تاکنون روش‌های متعددی پیشنهاد شده است که از میان این روش‌ها به روش تک‌تکراری و روش کامل می‌توان اشاره نمود. در روش تک‌تکراری، همه الگوهای آموزش به صورت یک دنباله و فقط یک بار به شبکه ارائه می‌شوند، اما در روش آموزش کامل، چندین بار دنباله‌ای که از تمام الگوهای یادگیری موجود در ماتریس لغت‌نامه تشکیل شده است، به شبکه ارائه خواهد شد و آن قدر این عمل تکرار می‌شود تا شبکه بتواند همه داده‌های آموزشی را درست طبقه‌بندی کند؛ یا اینکه در وزن‌های شبکه و تعداد گره‌های آن دیگر تغییری حاصل نشود. در فرایند آموزش، همراه با مجموعه ارزیابی، پس از هر تکرار آموزشی صحت طبقه‌بندی با استفاده از یک مجموعه داده جداگانه، ارزیابی می‌شود و این فرآیند آن قدر تکرار می‌شود تا دیگر بهبودی در درصد صحت طبقه‌بندی مشاهده نشود. این روش آموزش در محافل علمی یادگیری ماشین، روشی شناخته شده است و در مقالات علمی مرتبط، به نسبت روش تک تکراری بیشتر مورد استفاده پژوهشگران قرار گرفته است.

### ۳-۶ مرحله آزمایش

در مرحله آزمایش ابتدا پیش‌پردازش روی ویژگی‌های زمانی مکانی از داده‌های آزمایش اعمال می‌شود. پس از استخراج ویژگی‌ها و طبقه‌بندی آن‌ها با استفاده از طبقه‌بندی طراحی شده در مرحله آموزش، به ماتریس  $D = [d_1 \dots d_n]^T$  با ابعاد  $n \times 1$  روبه‌رو می‌شویم. در این ماتریس  $d_1$  تا  $d_n$  بیانگر احتمال تعلق هر داده به طبقه مورد نظر است. این احتمال تعلق را برای تک تک دسته‌های موجود به دست آورده و در ماتریسی ذخیره می‌شود تا پس از آن به محاسبه‌ی کمینه فاصله پرداخته شود. در صورتی که این کمینه فاصله در دو یا چند سلول تکرار شده باشد یا اختلاف کمی داشته باشند، تشخیص ناهنجاری اعلام می‌شود. حالت دیگر وقتی است که اختلاف کمینه فاصله یک سلول، با سایر سلول‌ها از حدی بیشتر باشد، در این صورت کمینه

۳ یک فریم از این دنباله ویدئویی به همراه یک نمونه از ناهنجاری‌ها قابل مشاهده است.



الف) یک فریم از دنباله ویدئویی ب) نمونه‌ای از ناهنجاری‌ها

شکل ۳. دنباله ویدئویی مورد آزمایش

دسته تقسیم می‌شوند. این دسته‌ها شامل موتورسیکلت، ماشین سواری کوچک، معمولی و شاسی‌بلند، وانت کوچک و بزرگ، ماشین ون، کامیون بزرگ و کامیون کوچک (خاور) و اتوبوس می‌باشند. این هشت دنباله ویدئویی به زیردنباله‌های ۲۰۰ فریمی تقسیم شده و برای آموزش سیستم مورد استفاده قرار گرفتند. جزئیات این پایگاه داده در جدول ۱ موجود است.

این مجموعه شامل هشت دنباله ویدئویی به طول هشت دقیقه و سی‌ودو ثانیه بوده که با سرعت ۳۰ فریم‌برثانیه فیلم‌برداری شده است. درجه دیافراگم دوربین روی  $F1.7$  تنظیم شده و تصاویر با فاصله کانونی ۴,۲۰ میلی‌متر به همراه  $ISO$  برابر ۴۰ به دست آمده است. تصویربرداری در روز و از نمای بالای خودروها صورت گرفته است. این دنباله‌ها از نظر نوع وسیله نقلیه، به ده

جدول ۱. جزئیات پایگاه داده مورد استفاده

۱۷۹	تعداد ویدئوهای آموزشی
۱۴۶	تعداد ویدئوهای آزمایشی
۲۰۰	تعداد فریم‌ها در هر ویدئو
۱۲۸۰×۷۲۰	اندازه تصویر

فراوانی ناهنجاری‌ها برای هر یک از هشت دنباله ویدئویی، به تفکیک در جدول ۲ مشاهده می‌شود که توسط کارشناس راهنمایی و رانندگی، روی داده‌های ویدئویی برچسب‌گذاری شده است.

## تشخیص ناهنجاری مسیر خودروها در دنباله ویدیویی دوربین‌های کنترل حمل و نقل و ترافیک با استفاده از طبقه‌بندی فازی عصبی

جدول ۲. نوع و تعداد ناهنجاری‌های موجود در دنباله ویدئویی نمونه

رفتار ناهنجار	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
عدم حرکت بین خطوط	۱۰	۹	۳	۲	۹	۸	۵	۹
حرکت مارپیچ	۲	۲	۱	۱	۰	۱	۱	۳
تغییر ناگهانی مسیر	۲	۵	۱	۰	۲	۱	۴	۳
سبقت از راست	۳	۴	۳	۱	۳	۵	۲	۵
عدم رعایت فاصله	۴	۶	۵	۰	۷	۲	۴	۵
توقف در حاشیه	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰

شده‌ی پیش‌زمینه است. در شکل ۵ نیز نتیجه فرایند حذف عوامل مزاحم از قبیل حرکت برگ‌های درختان و عابران پیاده که در شکل ۴ نیز قابل تشخیص است به نمایش گذاشته شده است.

### ۴-۲ پیاده‌سازی روش پیشنهادی

مرحله اول در پیاده‌سازی شیوه پیشنهادی، پردازش اولیه فریم‌های دنباله ویدئویی به منظور استخراج مسیر خودروهای موجود است. شکل ۴ حاصل این حذف پس‌زمینه به همراه دودویی



شکل ۴. تشخیص پس‌زمینه و حذف آن



شکل ۵. ضرب تصویر در ماسک مناسب به منظور حذف زواید

الگوریتم فوق، نرخ تزویج برابر ۰,۰۱ و تعداد تکرارها برابر ۱۰۰۰ در نظر گرفته شده است. بعد از اعمال این فرایند ابعاد تا یک‌چهارم کاهش می‌یابد. با داشتن نماینده‌ی مناسبی از STFها، تشکیل ماتریس لغت‌نامه امکان‌پذیر است و سپس با اعمال افکنش تصادفی، ابعاد مذکور به‌طور چشمگیری کاهش یافته و این امر سبب کم شدن حجم محاسبات می‌شود و نهایتاً سرعت پردازش بالاتر را در مرحله

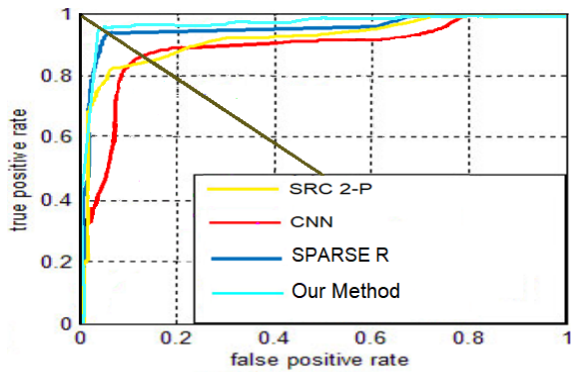
مرحله دوم، به استخراج ویژگی‌های زمانی - مکانی (STF) اختصاص دارد. تعداد STVها و به همان ترتیب تعداد STFها برای هر دنباله ویدیویی متغیر است. سپس با اعمال خوشه‌بندی روی STFها مشکل ابعاد بالای آنها حل می‌شود. برای تحقق این هدف، یک خوشه‌بندی بهینه با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی جفت‌گیری زنبورعسل مورد استفاده قرار گرفته است که نتیجه‌ی این فرایند، نماینده‌ی مناسبی از STFها است. در فصلنامه مهندسی ترافیک/ سال بیست و یکم/ شماره ۸۶ / پاییز ۱۴۰۰

آزمایش سیستم در پی خواهد داشت.

طبق (۴) است.

$$TPR(TD, GT) = \frac{\#(TD \cap \overline{ED})}{\#(ED)} \quad (4)$$

ابزار دیگری که برای ارزیابی عملکرد شیوه پیشنهادی می‌تواند مورد بررسی قرار گیرد، منحنی ROC و سطح زیر آن است. این معیار هرچقدر به یک نزدیک‌تر باشد، عملکرد روش بهتر خواهد بود. اگرچه سطح زیر منحنی ROC و سایر مؤلفه‌های برگرفته از آن در جدول ۳ ارائه گردید اما نگاهی به خود منحنی نیز مفید است. در شکل ۶ منحنی ROC برای روش پیشنهادی و سایر روش‌ها قابل مشاهده است که روش پیشنهادی در قیاس با سایر روش‌ها عملکرد بهتری را از خود نشان داده است.



شکل ۶. منحنی ROC برای روش پیشنهادی و سایر روش‌ها

## ۵. نتایج شبیه‌سازی

جهت ارزیابی شیوه پیشنهادی، نتایج به دست آمده با روش‌های دیگر برحسب معیارهایی از قبیل نرخ تشخیص غلط ( $FPR^6$ ) و نرخ تشخیص صحیح ( $TPR^7$ ) و مساحت زیر نمودار ( $AUC^8$ ) مورد مقایسه قرار می‌گیرد. اولین معیار برای ارزیابی یعنی TPR، طبق رابطه زیر مورد محاسبه قرار می‌گیرد.

$$TPR(TD, GT) = \frac{\#(TD \cap ED)}{\#(ED)} \quad (3)$$

در این رابطه TD بیانگر تعداد ناهنجاری‌هایی است که با روش پیشنهادی و ED نیز بیانگر تعداد ناهنجاری‌هایی است که در دنباله ویدئویی توسط فرد متخصص تشخیص داده شده است. علاوه بر آن معیار دیگری که مورد ارزیابی قرار می‌گیرد، FPR

جدول ۳. مقایسه روش پیشنهادی با سایر پژوهش‌های شاخص این حوزه برحسب TPR, FPR, AUC, EER

EER	AUC	FPR	TPR	
۰,۱۳	۰,۸۷	۰,۰۵	۰,۸۰	CNN
۰,۱۴	۰,۸۹	۰,۰۴	۰,۸۱	SRC 2-P
۰,۰۶	۰,۹۳	۰,۰۳	۰,۸۹	SPARS R
۰,۰۵	۰,۹۵	۰,۰۲	۰,۹۰	روش پیشنهادی

زیر نمودار است که در روش پیشنهادی دو درصد بهبود را شاهد هستیم و در نهایت نرخ EER برای روش پیشنهادی است که در روش پیشنهادی بهبود جزئی را مشاهده می‌کنیم. در مجموع با توجه به نتایج حاصله، روش پیشنهادی از لحاظ کلیه معیارها روشی قابل اعتماد با نتایج مطلوبی به شمار می‌رود.

با توجه به جدول ۳ اولین معیاری که مورد بررسی قرار گرفته است، نرخ تشخیص صحیح است. این معیار برای روش پیشنهادی در قیاس با بهترین رقیب یک درصد بهتر بوده است. علاوه بر آن معیار دیگری که بررسی شد نرخ تشخیص غلط است که این معیار برای روش پیشنهادی در قیاس با بهترین رقیب نیز مقدار مناسب‌تری داشته است. معیار مورد ارزیابی بعدی مساحت

## ۶. نتیجه‌گیری

در این پژوهش، با تحلیل مسیرهای استخراجی مربوط به ده طبقه از خودروهای سبک و سنگین، شش گونه از ناهنجاری‌ها و حرکات پرخطر رانندگان در هشت دنباله ویدیویی استخراج شده است. از نتایج حاصل از شبیه‌سازی‌ها این گونه استنباط می‌شود که:

۱- روش پیشنهادی روی دنباله ویدیویی ترافیکی تحت آزمایش، از نظر نرخ تشخیص صحیح، در قیاس با سایر روش‌های رقیب با نتیجه بهتری همراه بوده و نرخ ۹۰ درصد حاصله، خود گواهی بر این عملکرد در تشخیص موارد ناهنجار موجود دنباله‌های ویدیویی جدید خواهد بود. از نظر نرخ تشخیص غلط نیز شیوه پیشنهادی با مقدار ۲ درصد عملکرد بسیار خوبی از خود نشان داده است.

۲- معیار ارزیابی دیگری که در این مقاله مورد بررسی قرار گرفت، مساحت زیر نمودار ROC بود که روش پیشنهادی با مقدار ۹۵ درصد به نسبت سایر روش‌ها با عملکرد مطلوب‌تری همراه بوده است. در نهایت معیار نرخ خطای معادل به دست آمده برای روش پیشنهادی نیز با مقدار ۵ درصد گواهی عملکرد مطلوب آن در قیاس با روش‌های رقیب است.

۳- نوآوری‌های مطرح شده در روش پیشنهادی که منجر به بهبود کارایی سیستم تشخیص ناهنجاری می‌شود، شامل موارد زیر است: در این پژوهش علاوه بر ویژگی‌های مکانی، ویژگی‌های زمانی نیز توأمآ استخراج و مورد تحلیل قرار می‌گیرد. اعمال الگوریتم بهینه‌سازی HBM در پیش‌پردازش نیز تأثیر مستقیمی در بهبود نتایج داشته است. مورد دیگر تشکیل ماتریس لغت‌نامه از روی داده‌های کاهش بعد یافته و طراحی طبقه‌بندی فازی عصبی با کمک آن است. آخرین مورد نیز مربوط به فرایند تشخیص ناهنجاری است که با استفاده از دو معیار TR1 و TR2 صورت می‌پذیرد.

## ۷. پی‌نوشت‌ها

1. Neuro-fuzzy transfer learning
2. Spatial-temporal volumes
3. Honey Bee Mating
4. Node
5. International Standards Organization
6. False positive rate
7. True Positive Rate
8. Area under curve

## ۸. مراجع

- تقی زاده خانکوک، ر، خادمی درج، م و ابراهیمی مقدم، ع. "تشخیص ناهنجاری در مسیر خودرو با استفاده از بازسازی تنک." ۲۰۱۹، یزد، ایران، کنفرانس مهندسی برق ایران.

- Kumar, P.A. and Vaidehi, V., 2017. A transfer learning framework for traffic video using neuro-fuzzy approach. *Sādhanā*, 42(9), pp.1431-1442.

- Li, Y., Guo, T., Xia, R. and Xie, W., 2018. Road traffic anomaly detection based on fuzzy theory. *IEEE Access*, 6, pp.40281-40288.

- Fu, Z., Hu, W. and Tan, T., 2005, September. Similarity based vehicle trajectory clustering and anomaly detection. In *IEEE International Conference on Image Processing 2005 (Vol. 2, pp. II-602)*. IEEE.

- Chen, Zhi-Jun, et al. "Vehicle Behavior Learning via Sparse Reconstruction with  $l_2 - l_p$  Minimization and Trajectory Similarity." *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems* 18.2 (2017): 236-247.

- Shifu Zhou, Wei Shen, Dan Zeng, Mei Fang, Yuanwang Wei and Zhijiang Zhang, Spatial-temporal Convolutional Neural Networks for Anomaly Detection and Localization in Crowded Scenes, *Signal Processing: Image Communication*.

- Yu, Bosi, Yazhou Liu, and Quansen Sun. "Low-rank approximation based abnormal detection in the video sequence." *Digital Signal Processing (DSP)*, 2016 IEEE International Conference on. IEEE, 2016.

- Afshar, Abbas, O. Bozorg Haddad, Miguel A. Mariño, and Barry J. Adams. "Honey-bee mating optimization (HBMO) algorithm for optimal reservoir operation." *Journal of the Franklin Institute* vol. 344.5, pp. 452-462, 2007.
- Cong, Yang, Junsong Yuan, and Ji Liu. "Sparse reconstruction cost for abnormal event detection." *Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2011 IEEE Conference on. IEEE, 2011.*
- Lu, Cewu, Jianping Shi, and Jiaya Jia. "Abnormal event detection at 150 fps in matlab." *Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision. 2013.*
- Chen, Zhi-Jun, et al. "Vehicle Behavior Learning via Sparse Reconstruction with  $l_2 - l_p$  Minimization and Trajectory Similarity." *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems* 18.2 (2017): 236-247.
- Auslander, Bryan, Kalyan Moy Gupta, and David W. Aha. "A comparative evaluation of anomaly detection algorithms for maritime video surveillance." In *Sensors, and Command, Control, Communications, and Intelligence (C3I) Technologies for Homeland Security and Homeland Defense X*, vol. 8019, p. 801907. *International Society for Optics and Photonics, 2011.*