



## ارائه یک الگوریتم پردازش تصویر هوشمند جدید برای تشخیص و شناسایی علائم راهنمایی و رانندگی مبتنی بر منطق فازی

احسان فنی<sup>۱</sup>، علیرضا خدایاری<sup>۲\*</sup>

<sup>۱</sup> گروه مهندسی مکترونیک، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

<sup>۲</sup> گروه مهندسی مکانیک، واحد پردیس، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

### تاریخچه داوری:

دریافت: ۲۹ آذر ۱۳۹۴  
بازنگری: ۱۰ اردیبهشت ۱۳۹۵  
پذیرش: ۲۰ اردیبهشت ۱۳۹۵  
ارائه آنلاین: ۱۸ آبان ۱۳۹۵

### کلمات کلیدی:

تشخیص و شناسایی علائم راهنمایی و رانندگی  
پردازش تصویر  
منطق فازی  
ویژگی‌های تغییرناپذیر

**چکیده:** در این مقاله یک الگوریتم هوشمند جدید برای تشخیص و شناسایی علائم راهنمایی و رانندگی، براساس پردازش تصویر و منطق فازی، ارائه می‌شود. این الگوریتم شامل سه مرحله پیش‌پردازش، تشخیص و شناسایی می‌باشد. در مرحله پیش‌پردازش با اعمال الگوریتم‌های پردازش تصویر، تغییرات به منظور بهبود کیفیت تصویر دریافتی و حذف داده‌های نامرتب با هدف مورد نظر انجام می‌گیرد. در مرحله شناسایی یک الگوریتم بینایی ماشین هوشمند برای استخراج مفاهیم علائم استفاده شده است. به منظور کاهش زمان عملیات و افزایش دقت الگوریتم شناسایی، در مرحله تشخیص، کاندیداهای علائم راهنمایی و رانندگی با دقت بیشتری انتخاب و در اختیار مرحله شناسایی قرار می‌گیرند. در تمام مراحل پردازش تصویر و بینایی ماشین، از منطق و ریاضیات فازی استفاده شده است. استفاده از منطق و ریاضیات فازی قابلیت استنتاج و هوشمندی همانند انسان را برای تصمیم‌گیری در شرایط واقعی، در اختیار سیستم هوشمند قرار می‌دهد. مراحل کامل این الگوریتم در نرم‌افزار متلب پیاده‌سازی شده است. همچنین آزمایش‌های عملی در شرایط واقعی برای بررسی عملکرد این الگوریتم طراحی و انجام شده است. نتایج حاصل از آزمایش، عملکرد مناسب این الگوریتم تا ۹۲/۶۸ درصد صحت، در تشخیص و شناسایی علائم در شرایط واقعی را نشان می‌دهد. الگوریتم ارائه شده، در مقایسه با الگوریتم‌های دیگر با شرایط آزمایشی مشابه، از صحت عملکرد مناسبی برخوردار است. از این الگوریتم می‌توان برای طراحی سیستم‌های کمک راننده و سیستم‌های کنترلی با هدف هوشمندسازی خودرو استفاده نمود.

### ۱- مقدمه

سامانه‌های هوشمند کمک راننده در اتومبیل‌ها به بهبود کیفیت رانندگی کمک می‌کنند. این سامانه‌ها با جمع‌آوری اطلاعات مورد نیاز از محیط پیرامون، بر عملکرد راننده نظارت و به او در کنترل اتومبیل کمک می‌کنند. تشخیص علائم راهنمایی و رانندگی از جمله مواردی است که می‌تواند اطلاعات مناسبی را در اختیار سامانه‌های کمک راننده قرار دهد. علائم راهنمایی و رانندگی از رنگ‌ها و اشکال استاندارد و ساده‌ای تشکیل و به گونه‌ای طراحی شده‌اند که اطلاعات بسیار مفیدی از مسیر پیش‌رو در اختیار راننده قرار دهند. حال در صورت طراحی سامانه هوشمندی که قادر به استخراج مفاهیم علائم راهنمایی باشد، به سامانه‌های کمک راننده این امکان را می‌دهد که ویژگی‌های مسیر پیش‌رو را پیش‌بینی و مطابق آن تصمیمات لازم را اتخاذ نمایند.

در سال‌های اخیر، در طراحی سامانه‌های کمک راننده الگوریتم‌های پردازش تصویر و بینایی ماشین با هدف تشخیص و شناسایی علائم راهنمایی و رانندگی گسترش یافته‌اند [۱-۳]. پردازش تصویر، فرآیند اعمال الگوریتم‌های مختلف به منظور دریافت اطلاعات لازم بر روی تصویر دریافتی از دوربین می‌باشد. استخراج مفاهیم علائم راهنمایی و رانندگی با استفاده از پردازش تصویر، به دو مرحله اساسی تقسیم می‌شود. مرحله

اول تشخیص که محل قرارگیری علائم درون تصویر را تشخیص می‌دهد و تعیین می‌کند. مرحله دوم شناسایی که به بررسی محل‌های تشخیص داده شده در مرحله اول پرداخته و با پردازش‌های پیچیده‌تر نوع و پیام علامت را شناسایی می‌کند.

روش‌های مختلفی برای شناسایی اشیاء درون تصویر و درک مفهوم آنها معرفی شده است. این روش‌ها را می‌توان به سه دسته کلی تقسیم نمود. در دسته اول، مجموعه تصاویری از حالات مختلف شیء مورد نظر، ایجاد می‌شود که به آنها الگو می‌گویند. سپس تصویر دریافتی را با تمام این الگوها مقایسه می‌کنند. اگر میزان تطبیق مورد نظر بین تصویر دریافتی و هر کدام از الگوها به دست آید، می‌توان حضور آن شیء در تصویر را تشخیص داد. به این روش، تطبیق الگو<sup>۱</sup> می‌گویند. وایت و اروکلو به منظور شناسایی علائم راهنمایی، از روش تطبیق الگو با محاسبه فاصله هاسدورف<sup>۲</sup> بین قسمت‌های مورد نظر در تصویر و الگوهای تعریف شده پرداخته‌اند [۵]. همچنین هرچی<sup>۳</sup> و امتیبا<sup>۴</sup> نیز از تطبیق الگو، برای شناسایی علائم راهنمایی بهره برده‌اند. آنها با در نظر گرفتن پنجره‌هایی هم‌اندازه با ابعاد الگو، بر روی تصویر و با روش

- 1 Pattern Matching
- 2 Hausdorff Distance
- 3 Hechri
- 4 Mtibaa

شده مقایسه می‌شود.

## ۲- الگوریتم تشخیص و شناسایی علائم راهنمایی و رانندگی مبتنی بر منطق فازی

الگوریتم هوشمند پیشنهادی برای تشخیص و شناسایی علائم راهنمایی و رانندگی شامل مراحل پیش‌پردازش، تشخیص و شناسایی می‌باشد. دیاگرام جریانی مراحل مختلف این الگوریتم در شکل ۱ نشان داده شده است. در این الگوریتم، در ابتدا تصویر دریافتی از دوربین به فضای HSV<sup>۱۰</sup> انتقال می‌یابد و پس از تبدیل آن به تصویر فازی و نویزگیری، مرحله پیش‌پردازش به اتمام می‌رسد. در مرحله پیش‌پردازش هدف ایجاد یک تصویر مناسب و مورد نظر از تصویر اصلی می‌باشد [۴]. در مرحله تشخیص، هدف استخراج برخی اطلاعات تخمینی و ساده از تصویر می‌باشد [۴]. از این رو، تصویر لبه‌یابی شده و پیکسل‌های به هم پیوسته برچسب خورده و به فرآیند تشخیص وارد می‌شوند. الگوریتم تشخیص، محل‌های قرارگیری علائم راهنمایی و رانندگی درون تصویر را تخمین می‌زند. در مرحله بعد هدف درک و توصیف دقیقی از مفاهیم موجود در تصویر می‌باشد [۴]. به این منظور، قسمت‌هایی از تصویر که به عنوان علائم راهنمایی تشخیص داده شوند وارد مرحله شناسایی شده و با اعمال فرآیند شناسایی، مفهوم آنها استخراج می‌شود.

در این پژوهش، از روش منطق فازی برای شناسایی علائم راهنمایی استفاده شده است. برای استخراج ویژگی‌ها، نقاط به عنوان ویژگی‌های تغییرناپذیر موضعی<sup>۱۱</sup> در نظر گرفته شده‌اند. انتخاب این نقاط از طریق گزینش خیره انجام می‌گیرد. نقاط ویژگی به گونه‌ای انتخاب می‌شوند که نماینده مناسبی برای پیکسل‌های همسایه خود باشند. با استخراج ویژگی‌های در نظر گرفته شده از الگو، قوانین فازی ایجاد می‌شوند و ویژگی‌ها در تصویر، ورودی‌های منطق فازی را تشکیل می‌دهند. در ادامه به بررسی مراحل الگوریتم پیشنهادی پرداخته می‌شود.

### ۲-۱- تبدیل فضای تصویر

در مرحله اول، برای بهبود عملکرد پردازش، فضای تصویر از RGB<sup>۱۲</sup> به HSV انتقال یافته است. برخی خصوصیات فضای رنگی HSV در مقایسه با فضای رنگی RGB باعث می‌شود که در شناسایی علائم راهنمایی مورد استفاده قرار گیرد [۱۵، ۱۶]. در فضای HSV و HSI، تغییرات روشنایی تنها بر مؤلفه شدت<sup>۱۳</sup> تأثیر می‌گذارد و هیچ تأثیری بر مؤلفه رنگ<sup>۱۴</sup> که مورد پردازش قرار می‌گیرد، ندارد. همچنین از آنجا که عملیات قسمت‌بندی رنگی در فضای HSV بر روی مؤلفه یک بعدی رنگ انجام می‌شود، نسبت به پردازش مؤلفه‌های سه بعدی قرمز، سبز و آبی در فضای RGB حجم

خطای مجذور میانگین<sup>۱</sup> شباهت پنجره‌ها با الگو را بررسی نموده‌اند [۶]. به دسته دوم که مانند دسته قبل، مجموعه الگوها برای شیء مورد نظر ایجاد می‌کنند، الگوهای آموزشی گفته می‌شود. در این روش به کمک این الگوها، به آموزش الگوریتم‌های یادگیری ماشین<sup>۲</sup> [۷] و یا شبکه عصبی<sup>۳</sup> پرداخته می‌شود. پس از یک آموزش مناسب با الگوهای کافی، الگوریتم به کار برده شده، می‌تواند شیء مورد نظر در تصویر را شناسایی نماید. به این روش، شناسایی از طریق آموزش<sup>۴</sup> می‌گویند. فرآیند آموزش الگوریتم درون آزمایشگاه انجام می‌گیرد و پس از آن دیگر نیازی به وجود مجموعه الگوهای آموزشی نمی‌باشد. یکی از الگوریتم‌های بسیار متداول یادگیری ماشین، ماشین بردار پشتیبان<sup>۵</sup> است. کاربرد این الگوریتم در طبقه‌بندی نمونه‌ها می‌باشد. از این الگوریتم هم برای تشخیص علائم راهنمایی و رانندگی [۸] و هم برای شناسایی آنها [۹، ۱۰] استفاده شده است. الگوریتم‌های نزدیک‌ترین همسایه‌ها<sup>۶</sup> [۱۱] و درخت‌های تصمیم‌گیری<sup>۷</sup> [۱۲] نیز از الگوریتم‌های یادگیری ماشین هستند که برای شناسایی علائم راهنمایی و رانندگی استفاده شده‌اند. همچنین شبکه عصبی نیز از الگوریتم‌های یادگیری قدرتمند است که برای شناسایی علائم راهنمایی و رانندگی بسیار کاربرد دارد [۱۳، ۱۴].

دسته سوم، به بررسی ویژگی‌های شیء درون تصویر می‌پردازد. ویژگی‌ها، مجموعه‌ای از اطلاعات استخراج شده از تصویر شیء می‌باشند که معرف آن شیء هستند و تحلیل را برای الگوریتم شناسایی ممکن می‌نمایند. در این روش چگونگی انتخاب ویژگی‌ها و الگوریتم شناسایی اهمیت بسیار زیادی دارند. اوروکلو<sup>۸</sup> و همکاران، از الگوریتم ویژگی‌های پایدار سریع شده (SURF)<sup>۹</sup> برای شناسایی علائم راهنمایی استفاده کرده‌اند. روش SURF از دو بخش تشخیص‌دهنده و توصیف‌گر تشکیل می‌شود. در بخش تشخیص‌دهنده، ویژگی‌های مورد نظر در محل‌هایی خاص از تصویر مانند گوشه‌ها، نقاط و ... یافته و در بخش توصیف‌گر، همسایه‌های نقاط ویژگی به وسیله بردار ویژگی توصیف می‌شوند [۱۵].

در این مقاله، یک الگوریتم هوشمند جدید برای تشخیص و شناسایی علائم راهنمایی و رانندگی بر اساس پردازش تصویر مبتنی بر تشخیص ویژگی‌های شیء درون تصویر ارائه می‌شود. در ادامه مراحل این الگوریتم با جزئیات کامل بیان و ارائه می‌شود. سپس نتایج حاصل از پیاده‌سازی این الگوریتم در آزمایش‌های طراحی شده و در شرایط واقعی بررسی و ارائه می‌شود. نتایج حاصل از آزمایش‌های عملی با نتایج پژوهش‌های عملی انجام

- 1 Mean Square Error
- 2 Machine Learning Algorithms
- 3 Neural Network
- 4 Training
- 5 Support Vector Machine
- 6 Nearest Neighbours
- 7 Decision Trees
- 8 Oruklu
- 9 Speeded Up Robust Features

10 Hue, Saturation, Value  
 11 Local Invariant Features  
 12 Red, Green, Blue  
 13 Intensity  
 14 Hue

که می‌توان به هر پیکسل اختصاص داد. برای انتقال تصویر به فضای فازی باید از منطق فازی استفاده نمود. شکل ۲، یک تصویر رنگی و تصویر فازی آن را نشان می‌دهد.

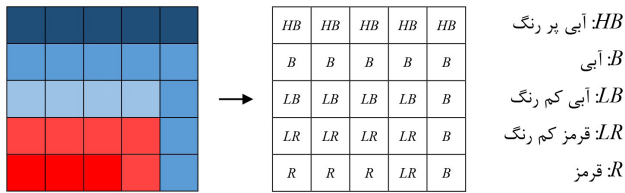


Fig. 2. How to create a fuzzy image  
شکل ۲: نحوه فازی‌سازی یک تصویر

### ۲-۳- حذف نویز

تصویر حاصل از مرحله تصویرسازی فازی، نیاز به حذف نویز دارد. در مرحله حذف نویز در الگوریتم شناسایی علائم راهنمایی، رنگ هر پیکسل با ۸ پیکسل (با ۴ پیکسل) مجاور خود مقایسه و سپس در مورد تغییر رنگ آن تصمیم گرفته می‌شود. در این صورت پیکسل‌های رنگی پراکنده و نامطلوب اصلاح می‌شوند. اما نویزگیری ممکن است اطلاعات مفید تصویر را نیز از بین ببرد و باعث کوچک شدن و یا تغییر شکل جزئی علائم شود. این امر تشخیص اولیه علائم با فاصله زیاد را با مشکل مواجه می‌کند.

### ۲-۴- لبه‌یابی و برجسب‌زنی<sup>۲</sup>

در الگوریتم ارائه شده، پس از حذف نویز مرحله لبه‌یابی و برجسب‌زنی است. در این مرحله از پردازش، بررسی پیکسل‌ها به صورت دسته‌ای و مجموعه‌ای انجام می‌گیرد. مجموعه‌های مفید شامل آن پیکسل‌هایی می‌شوند که هم‌رنگ و مجاور یکدیگر هستند که از قرارگیری آنها در کنار یکدیگر، شکلی در تصویر پدید آمده است. برای معرفی پیکسل‌های یک مجموعه خاص و جداکردن آن از سایر مجموعه‌ها کد ویژه‌ای که نشان‌دهنده شماره مجموعه می‌باشد به تک‌تک پیکسل‌های آن مجموعه اختصاص داده و به این کار، عمل برجسب‌زنی گفته می‌شود.

پیش از برجسب‌زنی، لبه‌های تصویر اصلی به روش لبه‌یابی سوبل<sup>۳</sup> [۱۸] استخراج می‌شوند. سپس پیکسل‌هایی که شامل لبه هستند، از تصویر فازی حذف می‌شوند.

در الگوریتم ارائه شده، در عملیات برجسب‌زنی تمام پیکسل‌ها از چپ به راست و از بالا به پایین بررسی می‌شوند. اگر رنگ پیکسل سفید باشد و یا قبلاً برجسب خورده باشد، برجسب جدیدی به پیکسل تعلق نمی‌گیرد. در غیر این صورت برجسب جدید به آن اختصاص داده شده و به عنوان پیکسل شروع برجسب<sup>۴</sup> ذخیره می‌شود. سپس پیکسل برجسب زده شده به همراه ۴ پیکسل اطرافش با استفاده از سامانه استنتاج فازی طراحی شده، بررسی

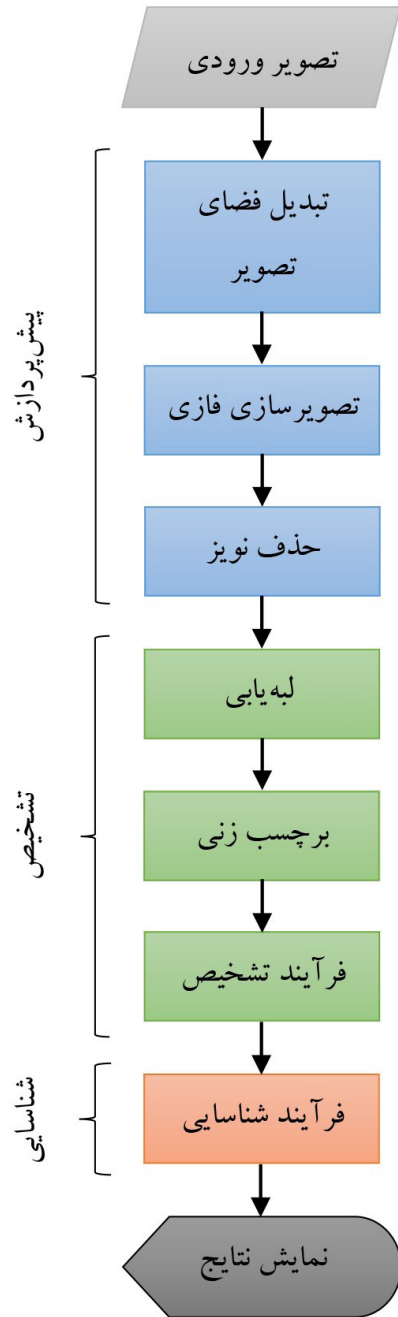


Fig. 1. Proposed Traffic Sign Detection and Recognition algorithm  
شکل ۱: نمودار جریان الگوریتم تشخیص و شناسایی علائم راهنمایی و رانندگی پیشنهادی

محاسبات به طور قابل توجهی کاهش می‌یابد [۱۷].

### ۲-۲- تصویرسازی فازی<sup>۱</sup>

در مرحله تصویرسازی فازی، ویژگی‌های هر پیکسل مانند رنگ، روشنایی و ... با مقادیر کلامی بیان می‌شوند. سفید، سبز کم رنگ، قرمز پر رنگ، زرد متمایل به سبز، آبی تیره و ... نمونه‌هایی از مقادیر کلامی هستند

2 Labelling  
3 Sobel Edge Detection Method  
4 Label Start Pixel

1 Fuzzy Image

۲-۵- تشخیص علائم راهنمایی براساس نقاط مورد نظر<sup>۱</sup>

یکی از روش‌های متداول برای تشخیص و شناسایی اشیاء درون تصویر استفاده از ویژگی‌ها می‌باشد [۱۹]. منظور از ویژگی، یافتن قسمت‌ها و خصوصیات منحصر به فردی است که نماینده آن شیء مورد نظر می‌باشند. با یافتن این ویژگی‌ها درون تصویر می‌توان وجود شیء در تصویر را تشخیص داد. اشیاء درون تصاویر همواره دست‌خوش تغییرات اندازه، زاویه، شدت روشنایی و رنگ قرار می‌گیرند. از این‌رو ویژگی‌ها باید به گونه‌ای انتخاب شوند که در صورت بروز تغییرات، همچنان قابل تشخیص باشند و شناسایی شیء به درستی انجام گیرد. به طور کل ویژگی‌ها به دو نوع موضعی<sup>۲</sup> و سراسری<sup>۳</sup> تقسیم می‌شوند [۲۰].

در مرحله تشخیص از الگوریتم ارائه شده از روش نقاط مورد نظر استفاده می‌شود که زیرمجموعه ویژگی‌های موضعی می‌باشد. در این روش از رنگ نقاط (پیکسل‌ها) برای تعیین ویژگی‌های هر محل از تصویر استفاده می‌شود. این نقاط به گونه‌ای انتخاب می‌شوند که نماینده مناسبی از رنگ نقاط (پیکسل‌های) همجوار و پیرامون خود باشند. در این صورت انتخاب نقاطی که بتوانند به عنوان ویژگی ایفای نقش کنند بسیار دشوار و حساس می‌باشد. در الگوریتم طراحی شده برای انتخاب نقاط مورد نظر از روش گزینش خبره استفاده شده است.

در الگوریتم ابتدا با بررسی قسمت‌های رنگی مجزای یافت شده درون تصویر، علائم راهنمایی و رانندگی تشخیص داده می‌شوند. شکل‌های هندسی به کار برده شده در علائم مربع، دایره، مثلث، شش ضلعی و لوزی می‌باشند. نقاط ویژگی به گونه‌ای انتخاب می‌شوند که علاوه بر معرفی شکل علامت، بهینه و تعداد آن‌ها نیز کمترین مقدار ممکن باشد. شکل ۴ نقاط ویژگی انتخاب شده در مرحله تشخیص را نشان می‌دهد.

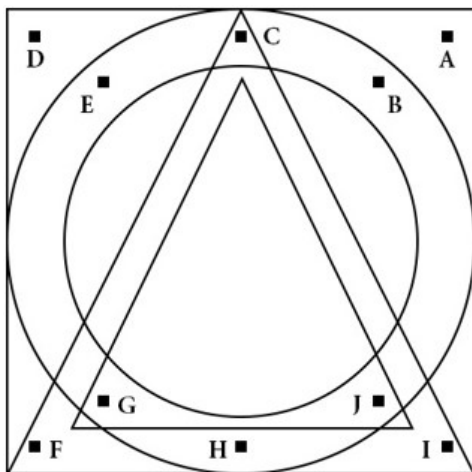


Fig. 4. Feature points chosen in detection stage

شکل ۴: نقطه‌های ویژگی انتخاب شده در مرحله تشخیص

- 1 Interest Points
- 2 Local
- 3 Global

می‌شوند و در مورد آنها تصمیم‌گیری می‌شود. هر کدام از همسایه‌های اطراف پیکسل برچسب‌دار که رنگی مشابه آن داشته باشند به عنوان عضوی از مجموعه، برچسب مشابه خورده و ذخیره می‌شوند. قوانین فازی تعریف شده برای عملیات برچسب‌زنی به صورت زیر می‌باشند.

If  $P(x+1,y)=P(x,y)$  Then save  $P(x+1,y)$  as label pixel

If  $P(x,y+1)=P(x,y)$  Then save  $P(x,y+1)$  as label pixel

If  $P(x-1,y)=P(x,y)$  Then save  $P(x-1,y)$  as label pixel

If  $P(x,y-1)=P(x,y)$  Then save  $P(x,y-1)$  as label pixel

در ادامه، پیکسل برچسب زده شده بعدی همانند پیکسل شروع برچسب مورد بررسی قرار می‌گیرد. این فرایند آنقدر ادامه می‌یابد تا تمام پیکسل‌های یک مجموعه یافت شوند. پس از آن دوباره به پیکسل شروع برچسب برگشته و بررسی تک‌تک پیکسل‌ها از ابتدا انجام می‌شود تا به اولین پیکسل از مجموعه جدید برسد. در شکل ۳ مراحل برچسب‌زنی یک مجموعه نشان داده شده است.

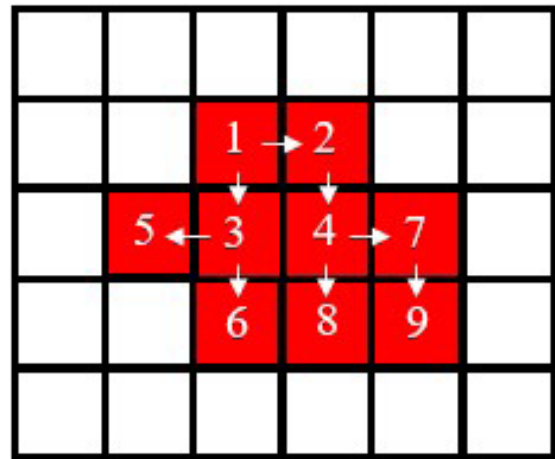


Fig. 3. How to labeling

شکل ۳: نحوه برچسب‌زنی

در مرحله برچسب‌زنی با تعریف مقادیر آستانه مجموعه‌هایی که تعداد پیکسل‌هایشان خیلی کم و یا خیلی زیاد باشند، حذف می‌شوند. احتمال وجود اطلاعات مربوط به علائم راهنمایی در چنین مجموعه‌هایی بسیار کم است. با کاهش تعداد برچسب‌ها، پردازش‌های بعدی که باید بر روی مجموعه‌ها انجام شود با سرعت بیشتری صورت می‌گیرد.

در مراحل پیشین، عملیات‌های انجام گرفته بر روی تصویر براساس ویژگی رنگی علائم راهنمایی و رانندگی صورت گرفته است. باید توجه داشت که علائم راهنمایی علاوه بر بهره بردن از رنگ‌های خاص، دارای اشکال هندسی خاصی نیز می‌باشند. حال با توجه به یافتن قسمت‌هایی از تصویر که هم‌رنگ و به هم پیوسته و معمولاً نماینده یک شکل یا جسم خاصی در تصویر هستند؛ در الگوریتم طراحی شده برای تشخیص محل قرارگیری علائم راهنمایی و رانندگی در تصویر با استفاده از ویژگی‌های شکل آنها پرداخته می‌شود.

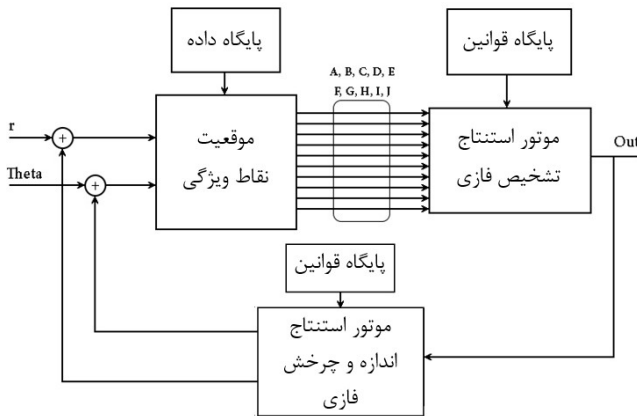


Fig. 5. Detection stage diagram  
شکل ۵: نمودار مرحله تشخیص

در پژوهش‌های گذشته به منظور تطبیق تصویر با الگو، تغییرات لازم بر روی تصویر انجام می‌گیرد. علت این کار استفاده از الگوهای ثابت می‌باشد [۲۱]. اما در الگوریتم هوشمند پیشنهادی به علت بهره بردن از ویژگی‌های تغییرناپذیر و منطق فازی، تنها از یک الگو برای هر شکل استفاده می‌شود و با تغییر در اطلاعات مربوط به ویژگی‌های الگو تطبیق مناسبی میان الگو و تصویر دریافتی حاصل می‌شود. در مبحث شناسایی تعداد الگوها نسبت به مبحث تشخیص بیشتر است و همچنین ابعاد و زاویه دید شکل مفهومی علائم از شکل هندسی آنها تبعیت می‌کند؛ از این رو به منظور افزایش سرعت شناسایی در الگوریتم ارائه شده تعیین زاویه چرخش و تغییرات ابعاد در مرحله تشخیص انجام می‌شود.

همان‌طور که قبلاً بیان شد، مختصات نقاط ویژگی براساس مختصات قطبی تعیین شده است. یعنی محل قرارگیری هر ویژگی درون الگو با دو مقدار شعاع ( $r$ ) و زاویه ( $\theta$ ) تعیین می‌شود؛ بنابراین می‌توان با تغییر شعاع، ابعاد را تنظیم و با تغییر زاویه، مشکل چرخش را برطرف نمود.

روند تطبیق ابعاد و زاویه در دو مرحله انجام می‌شود. در مرحله اول که در شکل ۵ با نام اندازه و چرخش معرفی شده است، مبنای کار بر چرخش درون صفحه و حول مرکز شکل می‌باشد. یعنی اندازه را مطابق با زاویه چرخش و در چهارچوب الگو تنظیم می‌کند؛ به عنوان مثال اگر یک مربع درون یک چهارچوب خاص، در اینجا ۴۱ پیکسل در ۴۱ پیکسل مطابق ابعاد الگو، به اندازه ۴۵ درجه چرخانده شود تبدیل به یک لوزی می‌شود که هر قطر آن با هر ضلع مربع اولیه برابر است. حال اگر یک نقطه ویژگی دقیقاً در یکی از زوایای مربع در نظر گرفته شود با تغییر زاویه ۴۵ درجه مقدار  $r$  به اندازه نسبت نصف قطر مربع به نصف ضلع مربع تغییر می‌کند. این نسبت تغییر  $r$  در اشکال مختلف هندسی متفاوت است.

در مرحله بعد که در شکل ۵ با نام موقعیت نقاط ویژگی معرفی شده است، ابعاد الگو با ابعاد نواحی رنگی<sup>۱</sup> تصویر تطبیق داده می‌شوند. در این مرحله با مقیاس مناسب مشکل چرخش فضایی حول محور  $y$  (عمود) نیز

در طراحی از الگوهایی با ابعاد ۴۱ پیکسل در ۴۱ پیکسل استفاده شده است. نقاط تعیین شده نماینده‌ای از رنگ هر ناحیه و پیکسل‌های اطراف خود هستند. مختصات هر نقطه براساس مختصات قطبی، مطابق روابط (۱) و (۲) انتخاب می‌شوند.

$$r_A = \sqrt{x_A^2 + y_A^2} \quad (1)$$

$$\theta_A = \arctan\left(\frac{y_A}{x_A}\right) \quad (2)$$

که در آن، زیرنویس  $A$  معرف یکی از ویژگی‌های در نظر گرفته شده می‌باشد و مقادیر  $r$  و  $\theta$  برای تمامی نقاط ویژگی محاسبه می‌شوند.

با تطبیق نقاط فوق بر روی الگو و ترکیب حالات مختلف آن‌ها، پایگاه قوانین مناسب به منظور طراحی یک مجموعه فازی ایجاد می‌شود. وظیفه این مجموعه فازی تشخیص شکل هندسی تابلو با استفاده از قوانین تعریف شده براساس ویژگی‌های نقاط مورد نظر می‌باشد. از همین رو به یک مجموعه فازی با ۱۰ ورودی، ۳۱۰ قانون و یک خروجی که نشان‌دهنده شکل تشخیص داده شده می‌باشد، نیاز است. تعداد ورودی‌ها برابر تعداد ویژگی‌ها و مقدار هر ورودی، مقدار کلامی (فازی) بیانگر رنگ آن پیکسل می‌باشد. با توجه به تعداد حالات محدود خروجی تنها ترکیب‌های خاصی از ورودی حائز اهمیت هستند. با توجه به علائم راهنمایی استاندارد ترکیب‌های سه حالت رنگ آبی، رنگ قرمز و بدون رنگ، بیانگر شکل‌های مورد نظر می‌باشند. به عنوان نمونه می‌توان به موارد زیر اشاره کرد.

- مربع آبی: نقاط  $A, C, D, F, H$  و  $I$  به رنگ آبی.
- دایره قرمز: نقاط  $B, C, E, G, H, J$  به رنگ قرمز و نقاط  $A, D, F$  بدون رنگ.
- دایره آبی: نقاط  $B, C, E, G, H, J$  به رنگ آبی و نقاط  $A, D, F$  بدون رنگ.
- مثلث قرمز با قاعده پایین: نقاط  $C, F, H$  و  $I$  به رنگ قرمز و نقاط  $A, B, D, E, G$  بدون رنگ.
- مثلث قرمز با قاعده بالا: نقاط  $A, C, D, H$  به رنگ قرمز و نقاط  $B, E, F, G, I, J$  بدون رنگ.

با توجه به مطالب بیان شده و استانداردهای موجود در طراحی علائم راهنمایی یک پایگاه داده با ۴۴ قانون برای استنتاج در سامانه فازی طراحی شده ارائه شده است. این سامانه فازی در شکل ۵ با عنوان موتور استنتاج تشخیص فازی نشان داده شده است.

اطلاعات به دست آمده از ویژگی‌های مطرح شده از الگوهای ایده‌آل و در شرایط آزمایشگاهی به دست آمده است؛ بنابراین، برای اجرایی کردن الگوریتم پیشنهادی در محیط حقیقی باید موضوعاتی مانند تغییر ابعاد تابلو یا زاویه دید مورد توجه قرار گیرد. در ادامه به بررسی تغییر ابعاد و زاویه دید آن پرداخته می‌شود.



Fig. 7. Equipped vehicle to test algorithm presented

شکل ۷: خودرو تجهیز شده به منظور آزمایش الگوریتم ارائه شده

به منظور بررسی عملکرد الگوریتم ارائه شده دو آزمایش طراحی و انجام شده است. در آزمایش اول، هدف بررسی تأثیر مقادیر کلامی حاصل از منطق فازی بر تشخیص و شناسایی علائم راهنمایی و رانندگی می‌باشد؛ بنابراین تصاویری از علائم راهنمایی و رانندگی در محیط‌های شهری تهیه و مورد بررسی قرار گرفته است. شکل ۸ نمونه‌ای از تصاویر تهیه شده برای این آزمایش می‌باشد.

در تصویر انتخاب شده با استفاده از الگوریتم شناسایی علائم راهنمایی و رانندگی رنگ‌های قرمز، آبی، سبز، زرد و سیاه انتخاب می‌شوند؛ در نتیجه رنگ‌های دیگر حذف و با رنگ سفید نشان داده می‌شوند. برای هر پیکسل سه مقدار رنگ، اشباع<sup>۱</sup> و ارزش<sup>۲</sup> به عنوان ورودی به مجموعه فازی اعمال می‌شوند. توابع عضویت طراحی شده برای این سه مقدار در شکل ۹ نشان



Fig. 8. Original RGB image

شکل ۸: تصویر RGB اصلی

- 1 Saturation
- 2 Value

برطرف می‌شود.

مختصات هر ویژگی متناسب با هر قسمت رنگی به صورت روابط (۳) و (۴) تعیین می‌شود.

$$x_f = x_{(mid)_{Seg}} + \left\{ \left( \frac{x_{(max)_{Seg}}}{x_{(max)_{Pat}}} \right) kr \cos(\theta + \varphi) \right\} \quad (3)$$

$$y_f = y_{(mid)_{Seg}} + \left\{ \left( \frac{y_{(max)_{Seg}}}{y_{(max)_{Pat}}} \right) kr \sin(\theta + \varphi) \right\} \quad (4)$$

که در آن، مقدار  $k$  نسبت تغییرات ابعاد هر شکل بر اثر چرخش به اندازه  $\varphi$  درون صفحه و حول محور شکل و محدود به یک قاب با ابعاد ثابت می‌باشد.  $x_f$  و  $y_f$  مختصات جدید هر ویژگی مربوط به قسمت‌های یافت شده می‌باشند. همچنین زیرنویس‌های  $Seg$  بیانگر قسمت مورد بررسی از تصویر و  $Pat$  مربوط به الگو می‌باشند.

### ۲-۶- شناسایی علائم راهنمایی و رانندگی براساس نقاط مورد نظر

در مرحله شناسایی الگوریتم ارائه شده همانند مرحله تشخیص از روش نقاط ویژگی استفاده می‌شود؛ اما نقاط ویژگی در نظر گرفته شده برای علائم مختلف تفاوت دارند. براساس نوع علامت تشخیص داده شده در مرحله قبل نقاط ویژگی انتخاب و بر روی تصویر اعمال می‌شوند. همچنین در مرحله تشخیص با استفاده از نقاط ویژگی، زاویه چرخش و مقیاس اندازه علامت به دست آمده است. سپس با انجام تغییرات لازم در الگوهای موجود به شناسایی مفهوم علامت با کمک مجموعه فازی پرداخته می‌شود. در شکل ۶ شماتیک مراحل شناسایی الگوریتم نشان داده شده است.

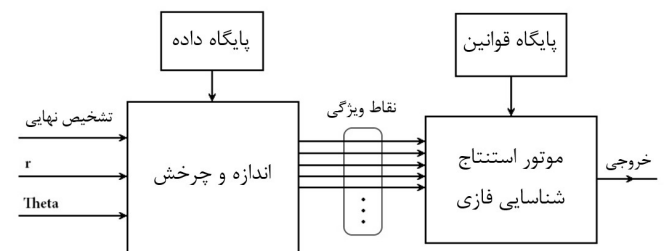


Fig. 6. Recognition stage diagram

شکل ۶: نمودار مرحله شناسایی

### ۳- پیاده‌سازی و نتیجه‌گیری

الگوریتم هوشمند تشخیص و شناسایی علائم راهنمایی و رانندگی ارائه شده در فضای نرم‌افزار متلب شبیه‌سازی و پیاده‌سازی شده است. همچنین برای انجام آزمایش‌های عملی سامانه‌های مورد نیاز مطابق شکل ۷ بر روی خودرو نصب و مورد استفاده قرار گرفته است. این سامانه برای بررسی عملکرد الگوریتم ارائه شده در محیط شهری و در شرایط واقعی مورد آزمایش قرار گرفته است.



Fig. 10. The resulting image in creating fuzzy image stage of presented algorithm

شکل ۱۰: تصویر فازی حاصل در مرحله تصویرسازی فازی الگوریتم پیشنهادی

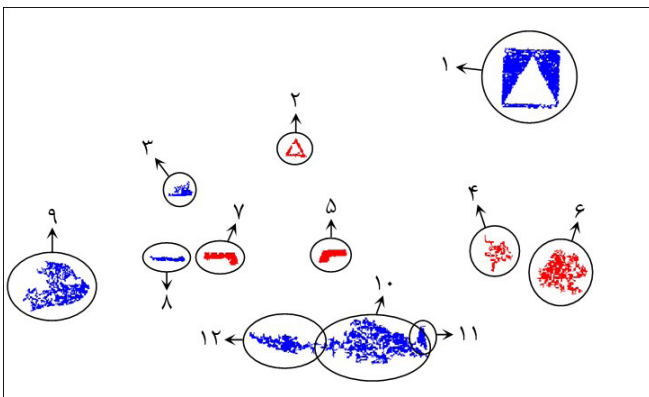


Fig. 11. Labeled sets

شکل ۱۱: مجموعه‌های برچسب‌دار

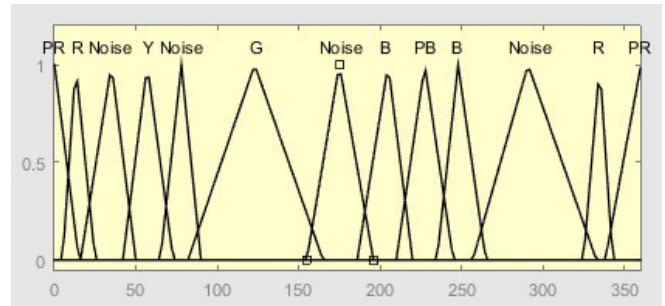


Fig. 12. Sign detected in square shape

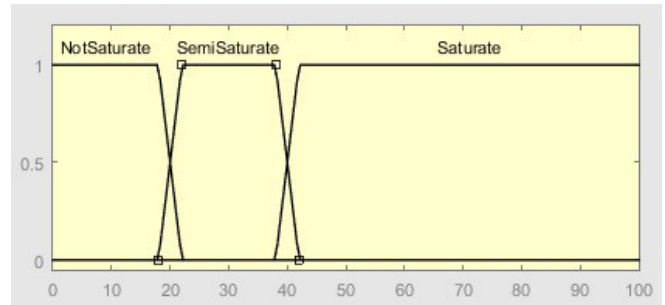
شکل ۱۲: علامت تشخیص داده شده به شکل مربع

تشخیص داده شده است.

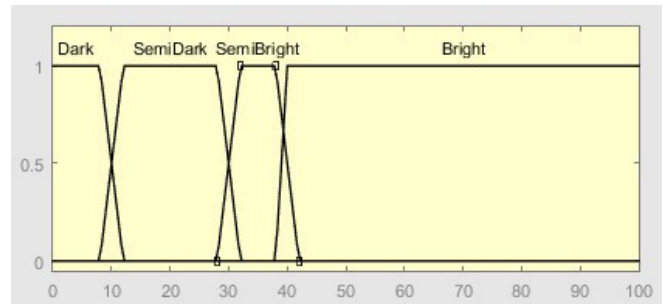
نتایج حاصل از اعمال الگوریتم تشخیص و شناسایی علائم راهنمایی و رانندگی ارائه شده بر روی تصویر شکل ۸ در جدول ۱ نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، تمام نتایج به صورت مقادیر کلامی حاصل از منطق فازی می‌باشند. اصطلاحاتی مانند "خبر، احتیاط" و یا "خبر، اخطار" توصیف اولیه‌ای از علائم راهنمایی و رانندگی هستند که در مرحله تشخیص ایجاد شده‌اند. این توصیف می‌تواند سامانه‌های کمک راننده را به حالت خاص تعریف شده ببرد تا آماده تصمیم‌گیری نهایی شوند. همچنین



(الف)



(ب)



(ج)

Fig. 9. Membership functions of designed fuzzy inference system for a- Hue, b- Saturate, and c- Value.

شکل ۹: توابع عضویت سامانه استنتاج فازی طراحی شده برای (الف): رنگ، (ب): اشباع و (ج): ارزش

داده شده‌اند.

شکل ۱۰ تصویر فازی حاصل از تصویر اصلی (شکل ۸) را با استفاده از

سامانه فازی طراحی شده نشان می‌دهد.

در مرحله لبه‌یابی و برچسب‌زنی ابتدا لبه‌های تصویر اصلی (شکل ۸) با استفاده از روش لبه‌یابی سوبل استخراج شده‌اند. سپس پیکسل‌هایی که به عنوان لبه تشخیص داده شده‌اند از تصویر فازی (شکل ۱۰) حذف می‌شوند.

الگوریتم برچسب‌زنی بر روی تصویر حاصل اعمال شده است. شکل ۱۱ مجموعه‌های برچسب زده شده در تصویر را نشان می‌دهد.

الگوریتم تشخیص بر روی تمام برچسب‌ها اعمال می‌شود. در این مرحله هدف تشخیص شکل‌های هندسی تشکیل دهنده علائم راهنمایی و رانندگی با استفاده از ویژگی‌های موضعی و منطق فازی است. شکل ۱۲، برچسب شماره ۱ در شکل ۱۱ می‌باشد که در الگوریتم تشخیص به عنوان مربع

جدول ۱: نتایج نهایی پیاده‌سازی الگوریتم بر روی تصویر شکل ۸

Table 1. Final results of implement algorithm in figure 8

شماره برچسب	تشخیص (نقاط ویژگی)	تشخیص نهایی	شناسایی
۱	چهار ضلعی آبی	خبر، احتیاط	محل عبور عابر پیاده
۲	مثلث با قاعده پایین و حاشیه قرمز	خبر، احتیاط	-
۳	-	-	-
۴	-	-	-
۵	-	-	-
۶	-	-	-
۷	-	-	-
۸	-	-	-
۹	دایره آبی	-	-
۱۰	-	-	-
۱۱	-	-	-
۱۲	-	-	-

برای مواردی مانند برچسب شماره ۲ (در جدول ۱) که بخاطر فاصله و یا مشکلات دیگر شناسایی به درستی انجام نمی‌گیرد؛ سامانه کمک راننده توصیف اولیه‌ای از شکل هندسی علامت (احتیاط) دریافت و خود را برای هر خطر پیش‌رو آماده می‌کند. در نهایت مفهوم اصلی علامت در بخش شناسایی استخراج شده است.

هدف از طراحی و انجام آزمایش دوم، بررسی میزان صحت عملکرد و رفتار الگوریتم در مقابل چالش‌های موجود در محیط‌های شهری می‌باشد. در این آزمایش تصاویر ویدئویی توسط دوربین نصب شده بر روی خودرو در شرایط رانندگی معمول درون شهر ضبط شده است. سپس ویدئوها توسط الگوریتم پیاده‌سازی شده در محیط نرم‌افزاری بررسی شده‌اند. نتایج این آزمایش نشان می‌دهد که الگوریتم ارائه شده در مواجهه با برخی چالش‌ها مانند، نور کم بر روی تابلو مطابق شکل ۱۳ (الف)، تاری شدن تصویر مطابق شکل ۱۳ (ب)، زمینه هم‌رنگ مطابق شکل ۱۳ (ج) و مسدود شدن قسمتی از تابلو مطابق شکل ۱۳ (د)، شناسایی صحیحی انجام داده است.

همان‌طور که در شکل ۱۴ نشان داده شده است، در موارد خاص مانند مسدود شدن مقدار زیادی از تابلو، دیگر الگوریتم ارائه شده نمی‌تواند علامت را تشخیص دهد.

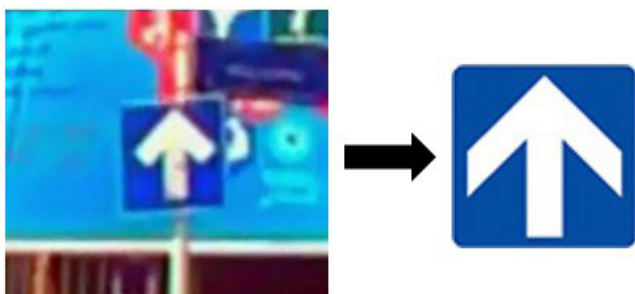
الگوریتم ارائه شده با توجه به انجام آزمایش در محیط‌های گوناگون شهری و در ساعات مختلف روز و شناسایی صحیح در چالش‌های مختلف از صحت عملکرد بسیار خوبی برخوردار می‌باشد. نتایج حاصل از این الگوریتم در محیط شهری و صحت درستی آن در جدول ۲ ارائه شده است. همچنین نتایج حاصل از چندین پژوهش مشابه که با استفاده از تصاویر ویدئویی ضبط



(الف)



(ب)



(ج)



(د)

Fig. 13. Presented algorithm performance in some challenges. a- low light, b- blurring, c- same background color, and d- blocking part of sign.

شکل ۱۳: عملکرد الگوریتم ارائه شده در مواجهه با چالش‌های (الف): نور کم، (ب): تصویر تار، (ج): زمینه هم‌رنگ و (د) مسدود بودن بخشی از تابلو

شده در شرایط واقعی و در محیط‌های شهری مورد آزمایش قرار گرفته‌اند، در جدول ۲ ارائه شده است.

گومز<sup>۱</sup> و همکار او، به مقایسه چند روش قسمت‌بندی رنگ پرداخته‌اند. در این روش‌ها مراحل تشخیص و شناسایی علائم راهنمایی و رانندگی



سامانه‌های تشخیص و شناسایی علائم راهنمایی و رانندگی، مراحل تئوری و تحقیقاتی صرف را پشت‌سر گذاشته‌اند و امروزه در مرحله عملیاتی و اجرایی شدن در محیط حقیقی که برای آن طراحی شده‌اند، هستند. پویایی محیط‌های غیرآزمایشگاهی و وجود عوامل ناخواسته باعث ایجاد نویز و اغتشاش در سامانه‌های طراحی شده می‌شود. دغدغه اصلی پژوهشگران در این زمینه، طراحی روش‌های مناسب برای کاهش نویز و پیش‌بینی اغتشاش‌های موجود در سامانه می‌باشد.

برای کاهش نویزهای ناخواسته در پژوهش‌های مقایسه شده در جدول ۲، در مراحل پیش‌پردازش از الگوریتم‌های حذف نویز استفاده شده است. در این پژوهش از الگوریتم حذف نویز فازی استفاده شده است. حذف نویز فازی از جمله روش‌های تطبیقی می‌باشد که تنها با تأثیر گذاشتن بر پیکسل‌های هدف، کیفیت کل تصویر را کاهش نمی‌دهد. در این مقاله، برخی اغتشاش‌های مطرح در زمینه تشخیص و شناسایی علائم راهنمایی و رانندگی در قالب چالش ارائه و راه‌حل‌های مناسبی برای آنها در الگوریتم در نظر گرفته شد. از این‌رو الگوریتم ارائه شده توانست درصد صحت عملیات بالایی را در آزمایش کسب نماید.

سامانه‌های تشخیص و شناسایی علائم راهنمایی می‌توانند از طریق اخطارهای صوتی و یا نمایش اطلاعات دقیق علائم بر روی رابط کاربری<sup>۴</sup> مناسب، راننده را از خطرها و قوانین مسیر پیش‌رو آگاه نمایند. کاربرد چنین سامانه‌هایی به عنوان یک سامانه کمک راننده در شکل ۱۵ نشان داده شده است.



Fig. 15. Application of traffic sign recognition system  
شکل ۱۵: کاربرد سامانه شناسایی علائم راهنمایی و رانندگی

#### ۴- جمع‌بندی

در این مقاله، یک الگوریتم هوشمند پردازش تصویر برای تشخیص و شناسایی علائم راهنمایی و رانندگی مبتنی بر نقاط ویژگی و منطق فازی ارائه شد. در این الگوریتم علائم راهنمایی و رانندگی براساس ویژگی‌های



Fig. 14. Non-recognition  
شکل ۱۴: عدم شناسایی

جدول ۲: مقایسه عملکرد سامانه ارائه شده با پژوهش‌های دیگر  
Table 2. Presented system performance compared with other research studies

سامانه‌های شناسایی	درصد صحت شناسایی
گومز و همکار: روش اوتا [۲۳]	۶۴/۵۳٪
گومز و همکار: روش RGB نرمال شده [۲۳]	۶۵/۶۶٪
روتا و همکاران [۲۴]	۸۵/۳۰٪
بوی و همکاران [۹]	۸۶/۷۰٪
لین و همکار [۲۵]	۹۰/۵۰٪
روش فازی ارائه شده	۹۲/۶۸٪

یکسان انجام گرفته است. برای دو روش قسمت‌بندی ارائه شده توسط اوتا<sup>۱</sup> و همکاران [۲۲] و روش قسمت‌بندی RGB نرمال شده بهترین نتایج شناسایی گزارش شده است [۲۳]. روتا<sup>۲</sup> و همکاران پس از تشخیص شکل‌های دایره و چندضلعی منظم در تصویر، با استفاده از فیلتر کالمن<sup>۳</sup> علامت تشخیص داده شده را در هر فریم ردیابی و با روش تبدیل فاصله رنگ<sup>۴</sup> (CDT)، علائم راهنمایی و رانندگی را دسته‌بندی کرده‌اند [۲۴]. الگوریتم آموزشی ماشین بردار پشتیبان (SVM)، روش دسته‌بندی انتخاب شده توسط بوی<sup>۵</sup> و همکاران برای تشخیص و شناسایی علائم راهنمایی و رانندگی می‌باشد [۹]. لین<sup>۶</sup> و همکاران دو روش استنتاج فازی در پیش‌پردازش تطبیقی استفاده کرده‌اند، سپس برای تشخیص کاندیداهای علائم راهنمایی و رانندگی، روش دسته‌بندی آدابوست<sup>۷</sup> و روش ماشین بردار پشتیبان برای شناسایی آنها استفاده شده است [۲۵].

- 1 Ohta
- 2 Ruta
- 3 Kalman Filter
- 4 Colour Distance Transform
- 5 Bui
- 6 Lin
- 7 Adaboost Classifier

with Edge-Adaptive Gabor Filter and Support Vector Machine for Traffic Sign Detection, *Expert Systems with Applications, Elsevier Ltd*, 40 (2013) 3679-3687.

- [9] T. Bui-minh, O. Ghita, P.F. Whelan, T. Hoang, A Robust Algorithm for Detection and Classification of Traffic Signs in Video Data, *International Conference on Control, Automation and Information Sciences (ICCAIS), IEEE*, (2012) 108-113.
- [10] R. Azad, B. Azad, I.T. Kazerooni, Optimized Method for Iranian Road Signs Detection and Recognition System, *International Journal of Research in Computer Science*, 4(1) (2014) 19-26.
- [11] C. Zi-xing, G. Ming-qin, Traffic Sign Recognition Algorithm Based on Shape Signature and Dual-Tree Complex Wavelet Transform, *Journal of Central South University Press, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg*, 20 (2013) 433-439.
- [12] F. Zaklouta, B. Stanculescu, Real-Time Traffic Sign Recognition in Three Stage, *Robotics and Autonomous Systems, Elsevier B.V.*, 62 (2014) 16-24.
- [13] S. Wang, P. Zhang, Z. Dai, Y. Wang, R. Tao, S. Sun, Research and Practice of Traffic Lights and Traffic Signs Recognition System Based on Multicore of FPGA, *Communications and Networks, SciRes*, 5 (2013) 61-64.
- [14] Z.L. Sun, H. Wang, W.S. Lau, G. Seet, D. Wang, Application of BW-ELM Model on Traffic Sign Recognition, *Neurocomputing, Elsevier B.V.*, 128 (2014) 153-159.
- [15] E. Oruklu, D. Pesty, J. Neveux, J.E. Guebey, Real-Time Traffic Sign Detection and Recognition for In-Car Driver Assistance Systems, *IEEE 55th International Midwest Symposium on Circuits and Systems (MWSCAS)*, (2012) 976-979.
- [16] H. Fleyeh, Traffic Sign Recognition by Fuzzy Sets, *IEEE Intelligent Vehicles Symposium*, Eindhoven University of Technology, Eindhoven, Netherlands, (2008) 422-427.
- [17] F. Perez, C. Koch, Toward Color Image Segmentation in Analog VLSI: Algorithm and Hardware, *International Journal of Computer Vision*, 12(1) (2005) 17-42.
- [18] J. Blackledge, *Digital Image Processing Mathematical and Computational Methods*, Horwood Publishing, ISBN: 1-898563-49-7, 2005.
- [19] D.S. Solanki, G. Dixit, Traffic Sign Detection Using Feature Based Method, *International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering*, 5(2) (2015) 340-346.
- [20] T. Tuytelaars, K. Mikolajczyk, Local Invariant Feature Detectors: A Survey, *Foundation and Trends® in Computer Graphics and Vision*, 3(3) (2007) 177-280.

رنگ و شکل هندسی تشخیص داده می‌شوند. در مرحله شناسایی نقاط ویژگی مورد نظر توسط منطق فازی طراحی شده، استنتاج و مفهوم آنها استخراج می‌شود.

با طراحی و اجرای دو آزمایش، تأثیر مقادیر فازی خروجی الگوریتم بر سامانه‌های کمک راننده و صحت عملکرد الگوریتم، مورد بررسی قرار گرفت. در آزمایشی که بر روی تصاویر ویدئویی ضبط شده از محیط شهری واقعی انجام گرفت، صحت عملکرد ۹۲/۶۸ درصد به‌دست آمده است. مقایسه نتایج حاصل در این پژوهش با نتایج گزارش شده از پژوهش‌هایی که با روش مشابه آزمایش شده‌اند، نشان می‌دهد که روش ارائه شده، مناسب، دقیق و قابل اجرا بر روی سامانه‌های تشخیص و شناسایی علائم راهنمایی و رانندگی عملیاتی و بلادرنگ می‌باشد. اطلاعات دریافتی از الگوریتم تشخیص و شناسایی علائم راهنمایی و رانندگی ارائه شده، می‌تواند در سامانه‌های کمک راننده مورد استفاده قرار گیرد.

### سپاسگزاری

این پژوهش با استفاده از حمایت‌های مالی و ابزار و تجهیزات آزمایشگاه سیستم‌های کنترلی پیشرفته خودرو (AVCSLab)، در دانشکده مهندسی مکانیک دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی انجام شده است.

### منابع

- [1] S. Yin, P. Ouyang, L. Liu, Y. Guo, S. Wei, Fast Traffic Sign Recognition with Rotation Invariant Binary Pattern Based Feature, *Sensors*, 15 (2015) 2161- 2180.
- [2] L. Zhou, Z. Deng, LIDAR and Vision-Based Real-Time Traffic Sign Detection and Recognition Algorithm for Intelligent Vehicle, *IEEE 17th International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)*, Qingdao, China, (2014) 578-583.
- [3] J.M. Lillo-Castellano, I. Mora-Jimenez, C. Figuera-Pozuelo, J.L. Rojo-Alvarez, Traffic Sign Segmentation and Classification Using Statistical Learning Methods, *Neurocomputing*, 153 (2015) 286-299.
- [4] I.T. Young, J.J. Gerbrands, L.J. Van-Vliet, *Fundamentals of Image Processing*, Printed in The Delft University of Technology, Netherlands, 1998.
- [5] S. Waite, E. Oruklu, FPGA-Based Traffic Sign Recognition for Advanced Driver Assistance Systems, *Journal of Transportation Technologies*, 3 (2013) 1-16.
- [6] A. Hechri, A. Mtibaa, Lane and Road Signs Recognition for Driver Assistance System, *International Journal of Computer Science Issues*, 8(6)1 (2011) 402-408.
- [7] P. Harrington, *Machine Learning in Action*, Manning Publications Co, ISBN 9781617290183, 2012.
- [8] J.G. Park, K.J. Kim, Design of a Visual Perception model

- Sign Recognition, *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 11(4) (2010) 917-930.
- [24] A. Ruta, Y. Li, X. Liu, Real-Time Traffic Sign Recognition from Video by Class-Specification Discriminative Features, *Pattern Recognition*, 43 (2010) 416-430.
- [25] C.C. Lin, M.S. Wang, Road Sign Recognition with Fuzzy Adaptive Pre-Processing Models, *Sensors*, 12 (2012) 6415-6433.
- [21] C. Souani, H. Faiedh, K. Besbes, Efficient Algorithm for Automatic Road Sign Recognition and Its Hardware Implementation, *Journal of Real-Time Image Processing*, 9 (2014) 79-93.
- [22] Y.I. Ohta, T. Kanade, T. Sakai, Color Information for Region Segmentation, *Computer Graphics and Image Processing*, 13 (1980) 222-241.
- [23] H. Gomez-Moreno, S. Maldonado-Bascon, Goal Evaluation of Segmentation Algorithms for Traffic

برای ارجاع به این مقاله از عبارت زیر استفاده کنید:

Please cite this article using:

E. Fanni and A. Khodayari, Designing a New Intelligent Image Processing Algorithm for Traffic Sign Detection and Recognition Based on Fuzzy Logic, *Amirkabir J. Mech. Eng.*, 50(1) (2018) 207-218.  
DOI: 10.22060/mej.2016.756



