

An automated fuzzy-based approach for continuous stress estimation in driving

Noori, Morteza¹ / Maleki, Ali^{2*}

¹ - Master's student, Department of Biotechnology, Faculty of New Sciences and Technologies, Semnan University

² - Associate Professor, Biomedical Engineering Department, Semnan University, Semnan, Iran

ARTICLE INFO

DOI: 10.22041/ijbme.2025.2039827.1924

Received: 28/8/2024

Revised: 24/3/2025

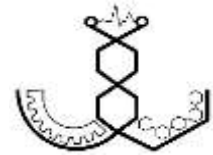
Accepted: 27/3/2025

KEYWORDS

*Continuous stress estimation
fuzzy inference system
fuzzy C-means
Automatic approach*

ABSTRACT

Managing stress is crucial for maintaining health and improving the quality of life. Consequently, researchers have focused on stress detection in two or three levels. In recent years, efforts have been made to continuously estimate stress, but the introduced methods have limitations in terms of plausibility and automation. This paper presents an automated method for continuous stress estimation using a fuzzy logic approach. To implement the proposed method, a database containing electromyogram, electrocardiogram, hand and foot galvanic skin response, heart rate, and respiration signals was used in conditions of rest, city driving, and highway driving. After preprocessing, the signals were segmented using a sliding window, and features that exhibit monotonic changes with respect to stress were extracted from each window. These features were clustered into five clusters in the feature space using fuzzy clustering. A fuzzy inference system was designed to determine the weight of these clusters, which has three inputs and one output. The design of this fuzzy system is automated and based on the membership values of the clusters for each state and the label of each state. Finally, by combining the membership values obtained from fuzzy clustering and the weight of each cluster, a continuous value called estimated stress was determined. The proposed method showed a correlation of 0.80 between the estimated stress and the average scoring by experts for the test conditions. The unique features of this method include the automatic tuning of the fuzzy inference system using hidden knowledge in the data and the lack of need for experts. The automation of the proposed method can improve human-machine interaction and transfer stress assessment from laboratories to daily life.



یک رویکرد خودکار مبتنی بر فازی برای تخمین پیوسته استرس در رانندگی

نوری، مرتضی^۱ / مالکی، علی^{۲*}

^۱ - دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه بیوتکنولوژی، پردیس علوم و تکنولوژی‌های نوین، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران

^۲ - دانشیار، گروه مهندسی پزشکی، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران

مشخصات مقاله

شناسه‌ی دیجیتال: 10.22041/ijbme.2025.2039827.1924

پذیرش: ۱۴۰۴/۱/۷

بازنگری: ۱۴۰۴/۱/۴

ثبت در سامانه: ۱۴۰۳/۶/۷

چکیده

مدیریت استرس برای حفظ سلامت و بهبود کیفیت زندگی بسیار مهم است از این رو، تشخیص استرس به صورت دو یا سه سطحی مورد توجه پژوهشگران بوده است. در سال‌های اخیر، تلاش‌هایی برای تخمین پیوسته استرس صورت گرفته است ولی روش‌های معرفی شده دارای محدودیت‌هایی از دیدگاه معقول بودن و خودکار بودن هستند. در این مقاله، یک روش خودکار برای تخمین پیوسته استرس با رویکرد منطق فازی معرفی شده است. برای پیاده‌سازی روش پیشنهادی از پایگاه داده‌ای شامل سیگنال‌های الکترومایوگرام، الکتروکاردیوگرام، رسانایی الکتریکی پوست دست و پا، نرخ ضربان قلب و سیگنال تنفس در شرایط استراحت، رانندگی در شهر و رانندگی در بزرگراه استفاده شد. پس از پیش‌پردازش، سیگنال‌ها با استفاده از پنجره لغزان تقسیم‌بندی شدند و از هر پنجره، ویژگی‌هایی که نسبت به استرس دارای تغییرات یکنوا افزایشی هستند استخراج شد. این ویژگی‌ها به پنج خوشه در فضای ویژگی خوشه‌بندی فازی شدند. یک سیستم استنتاج فازی نیز برای تعیین وزن این خوشه‌ها طراحی شد که دارای سه ورودی و یک خروجی است. طراحی این سیستم فازی به صورت خودکار و بر اساس مقادیر عضویت خوشه‌ها برای هر وضعیت و برچسب هر وضعیت انجام می‌گردد. در آخر، با تلفیق مقادیر عضویت به دست آمده از خوشه‌بندی فازی و وزن هر خوشه، مقدار پیوسته‌ای تحت عنوان استرس تخمینی تعیین گردید. روش پیشنهادی همبستگی ۰/۸۰ را بین استرس تخمینی و میانگین نمره‌دهی افراد خبره به وضعیت‌های آزمایش نشان داد. تنظیم سیستم استنتاج فازی با استفاده از دانش نهان در داده‌ها و عدم نیاز به تجربه از ویژگی‌های منحصر به فرد این روش است. خودکار بودن روش پیشنهادی قادر است رابطه انسان-ماشین را بهبود بخشد و ارزیابی استرس را از آزمایشگاه‌ها به زندگی روزمره انتقال دهد.

واژه‌های کلیدی

تخمین پیوسته استرس
سیستم استنتاج فازی
فازی سی-میانگین
رویکرد خودکار

۱- مقدمه

استرس به عنوان یکی از عوامل اصلی تأثیرگذار بر سلامت جسمی و روانی افراد، به‌ویژه در محیط‌های کاری، شناخته می‌شود [۱]. فشارهای شغلی، فشردگی زمانی، مسئولیت‌های سنگین و تعاملات اجتماعی می‌توانند سطح استرس کارکنان را افزایش دهند؛ این موضوع نه تنها بر کارایی و بهره‌وری کارکنان تأثیر می‌گذارد بلکه به مرور زمان ممکن است منجر به مشکلات جدی سلامتی شود [۲]. درک و مدیریت استرس در محیط‌های کاری از اهمیت بسزایی برخوردار است زیرا این مسئله مستقیماً با بهبود کیفیت زندگی کاری و افزایش رضایت شغلی کارکنان مرتبط است [۳]. استرس می‌تواند باعث افزایش خطر بروز بیماری‌های قلبی، اضطراب، افسردگی، اختلالات خواب و سایر مشکلات روانی و جسمی شود [۴]. با توجه به اهمیت موضوع استرس در زندگی امروزی، تلاش برای پیدا کردن روش‌های دقیق و موثر برای ارزیابی استرس از اهمیت بسیاری برخوردار است. مهم‌ترین چالش در ارزیابی روش‌های تشخیص یا تخمین استرس، در اختیار نداشتن حقیقت مبنای است [۵]. حقیقت مبنای دو منظور قابل استفاده است. یکی برای آموزش طبقه‌بند و رگرسیون (الگوریتم‌های یادگیری ماشینی) [۶] و دیگری برای ارزیابی کارایی روش‌ها [۷]. استفاده از حقیقت مبنای فرآیند آموزش ماشین باعث می‌شود که روش‌ها بتوانند الگوهای مهم را در داده‌ها شناسایی کنند و بر اساس آن‌ها عملکرد دقیق‌تری ارائه دهند. همچنین، استفاده از حقیقت مبنای در ارزیابی کارایی الگوریتم‌ها سبب می‌شود تا میزان اثربخشی روش‌های مختلف را مقایسه کنیم و روش‌های کارآمدتر را انتخاب کنیم. در کاربردهایی مانند تخمین نیروی دست [۸] یا تخمین زاویه مفاصل [۹]، می‌توان نتایج را با مقادیر اندازه‌گیری شده به عنوان حقیقت مبنای مقایسه کرد. اما در مورد تخمین استرس، به دلیل عدم امکان اندازه‌گیری استرس و در نتیجه، عدم وجود حقیقت مبنای، امکان اعتبارسنجی دقیق مقدار تخمین زده شده وجود ندارد [۱۰].

ارزیابی استرس با استفاده از سیگنال‌های بیولوژیکی به دو شکل کلی گسسته و پیوسته قابل انجام است [۱۰]. ارزیابی گسسته استرس شامل طبقه‌بندی استرس به دو سطح (وجود استرس / عدم وجود استرس) [۱۱] و سه سطح (استرس کم / استرس متوسط / استرس زیاد) متمرکز است [۱۲]. این در حالی است که تغییر میزان استرس به صورت انفجاری رخ نمی‌دهد بلکه دارای دینامیک است [۱۰]. میزان استرس به طور طبیعی به

مرور زمان تغییر می‌کند، و این تغییرات به صورت پیوسته رخ می‌دهند. به همین دلیل در ارزیابی پیوسته استرس تلاش می‌شود تا با نگاشت استرس افراد به مقادیر عددی، مقدار استرس کمی‌سازی شود.

در سال‌های اخیر تلاش‌هایی در زمینه تخمین پیوسته استرس انجام شده است که از روش‌هایی مانند خوشه‌بندی فازی^۲ و نگاشت غیرخطی، تحلیل فازی تصادفی^۳ و رگرسیون خطی^۴ می‌توان نام برد.

ژیانگ و همکاران [۱۳] با استفاده از خوشه‌بند فازی سی- میانگین و یک نگاشت غیرخطی به تخمین پیوسته استرس رانندگان در بازه‌ی ۰ و ۱ پرداخته‌اند. پس از پیش‌پردازش، ویژگی‌هایی از سیگنال‌های رسانایی الکتریکی پوست دست و پا، الکترومایوگرام، نرخ ضربان قلب، سیگنال تنفسی و سیگنال قلبی استخراج شده است. سپس ویژگی‌های استخراج شده خوشه‌بندی فازی شده‌اند. اندازه مراکز خوشه‌ها به نحوی نگاشت شدند که بزرگترین مرکز خوشه برابر با ۲ و کوچکترین مرکز خوشه برابر با ۱ در نظر گرفته شده است و اندازه دیگر مراکز خوشه نیز به مقادیری در محدوده ۱ و ۲ نگاشت شده‌اند. سپس با تلفیق مقادیر عضویت به دست آمده از خوشه‌بند فازی و مقادیر نگاشت شده مراکز خوشه‌ها، به مقداری پیوسته دست یافته‌اند. در نهایت با کم کردن عدد یک از مقدار به دست آمده، تخمینی پیوسته از استرس در بازه پیوسته صفر و یک حاصل گردیده است. اگرچه آنها تلاش کرده‌اند تا تخمینی پیوسته از استرس رانندگان به دست آورند اما رویکرد معقولی برای انجام مراحل کار ارائه نشده است و بعضی از پارامترها با آزمون و خطا تعیین شده است.

پلار و همکاران [۱۴] به بررسی و توسعه مدلی برای پیش‌بینی پیوسته استرس از طریق سیگنال‌های فیزیولوژیکی جمع‌آوری شده توسط حسگرهای پوشیدنی پرداخته‌اند. بدین منظور، در مرحله نخست، یک طبقه‌بند فیزیولوژیکی پیش‌بینی می‌کند که آیا تغییرات در فیزیولوژی نشان دهنده استرس است یا خیر. در مرحله دوم، استرس ادراک شده با استفاده از خروجی مرحله اول، افزایش و کاهش تدریجی استرس در ذهن را پیش‌بینی می‌کند. این طبقه‌بند و رگرسیون بر اساس داده‌های ۲۱ نفر که در یک مطالعه آزمایشگاهی در معرض عوامل استرس‌زای مختلف قرار داده شده‌اند، آموزش داده شده‌اند. در این مطالعه، دقت طبقه‌بند فیزیولوژیکی ۹۰٪ و همبستگی

^۲ Stochastic Fuzzy Analysis^۴ Linear regression^۱ ground truth^۲ Fuzzy clustering

معقولی استفاده نشده است. در این مقاله تلاش شده است تا با روشی خودکار مبتنی بر منطق فازی، عدم قطعیت موجود در ارزیابی استرس لحاظ شود و استرس افراد به صورت پیوسته تخمین زده شود.

مقاله به شرح زیر پیکربندی شده است: معرفی پایگاه داده و روش پیشنهادی در بخش ۲ توضیح داده خواهد شد. یافته‌های این تحقیق و نتایج عددی در بخش ۳ ارائه خواهد شد و در بخش ۴، یافته‌های مقاله مورد ارزیابی و بحث قرار خواهد گرفت و با دیگر روش‌هایی که از مدل فازی برای تخمین پیوسته استرس استفاده کرده‌اند مقایسه خواهد شد.

۲- روش

در این مقاله از رویکرد فازی برای تخمین استرس استفاده شده است. فازی یک روش ریاضی است که در مسائل دارای نامعینی استفاده می‌شود [۱۷] و بر اساس مفاهیمی از منطق فازی مانند عضویت در مجموعه‌ها و پایگاه قواعد فازی کار می‌کند [۱۸]. با استفاده از فرآیند استنتاج فازی، ورودی‌های نادقیق و فازی به خروجی‌هایی نادقیق و فازی نگاشت می‌شوند [۱۹]. استفاده از روش فازی در مسائل پیچیده، امکان تصمیم‌گیری‌های بهتر و دقیق‌تر، با در نظر گرفتن نامعینی‌ها و عدم قطعیت‌های موجود را فراهم می‌سازد [۲۰]. با توجه به ماهیت نادقیق استرس و مرزهای نادقیق میان سطوح استرس، در این مقاله از مدل فازی برای تخمین استرس استفاده شده است.

نمودار بلوکی روش پیشنهادی در شکل ۱- نشان داده شده است که شامل دو بخش برخط و برون خط است. بخش برون خط شامل پیش‌پردازش، استخراج ویژگی، خوشه‌بندی فازی، تنظیم توابع عضویت مقدم و تالی، سیستم استنتاج فازی و بخش تلفیق است. در بخش برخط پس از پیش‌پردازش و استخراج ویژگی، لازم است مقادیر عضویت داده جدید به خوشه‌هایی که در بخش برون خط توسط خوشه‌بند فازی تشکیل شده است، محاسبه شود. سپس با تلفیق مقادیر عضویت محاسبه شده و ضرایب تعیین شده توسط سیستم استنتاج فازی، شاخص استرس برای هر پنجره زمانی تعیین می‌گردد.

در بخش برون خط، پس از پیش‌پردازش، داده‌ها با استفاده از یک پنجره لغزان مستطیلی پنجره‌گذاری می‌شوند. سپس از هر پنجره ویژگی‌هایی استخراج می‌شود و با استفاده از خوشه‌بند فازی، ویژگی‌ها خوشه‌بندی می‌شوند. تنظیم سیستم استنتاج فازی با استفاده از داده‌ها انجام می‌شود به این صورت که توابع

خروجی رگرسور با خودگزارشی افراد شرکت‌کننده، ۰/۷۱ گزارش شده است.

کومار و همکاران [۱۵] سعی کرده‌اند سطح استرس را با استفاده از فواصل ضربان قلب و روش تحلیل فازی تصادفی^۵ کمی‌سازی کنند. آنها فواصل ضربان قلب را بر اساس درون‌یابی تصادفی مدل‌های فواصل ضربان قلب افراد، ارزیابی کرده‌اند. سپس با استفاده از فواصل ضربان قلب، میزان استرس را در بازه ۰ تا ۱۰۰ تخمین زده‌اند. مقدار همبستگی بین استرس تخمینی در روش پیشنهادی و رتبه‌بندی عینی شرکت‌کنندگان ۰/۸۲ به دست آمده است.

پورمحمدی و مالکی [۱۶] تلاش کرده‌اند تا میزان استرس رانندگان را به صورت پیوسته در بازه ۰ تا ۱۰۰ تخمین بزنند. برای این منظور، ابتدا ویژگی‌های مختلفی از سیگنال‌های رسانایی الکتریکی پوست دست و پا، الکتروکاردیوگرام و الکترومایوگرام، استخراج کرده‌اند. در ادامه، این ویژگی‌ها توسط خوشه‌بند فازی سی-میانگین، خوشه‌بندی شدند. سپس با استفاده از روش‌های فازی و دانش نهادینه شده در دادگان، به صورت دستی و توسط خبره، برای هر خوشه ضریبی تعیین گردیده است. با محاسبه مجموع حاصل ضرب این ضرایب و مقادیر عضویت نظیر در خوشه‌بندی فازی سی-میانگین، تخمینی پیوسته از استرس در بازه بین ۰ تا ۱۰۰ به دست آورده‌اند. آنها، همبستگی ۰/۸۶ بین استرس تخمین زده شده توسط روش پیشنهادی و خودگزارشی افراد شرکت‌کننده را گزارش کرده‌اند. از چالش‌های این روش می‌توان به تعیین وزن هر خوشه توسط خبره و خودکار نبودن روش اشاره کرد.

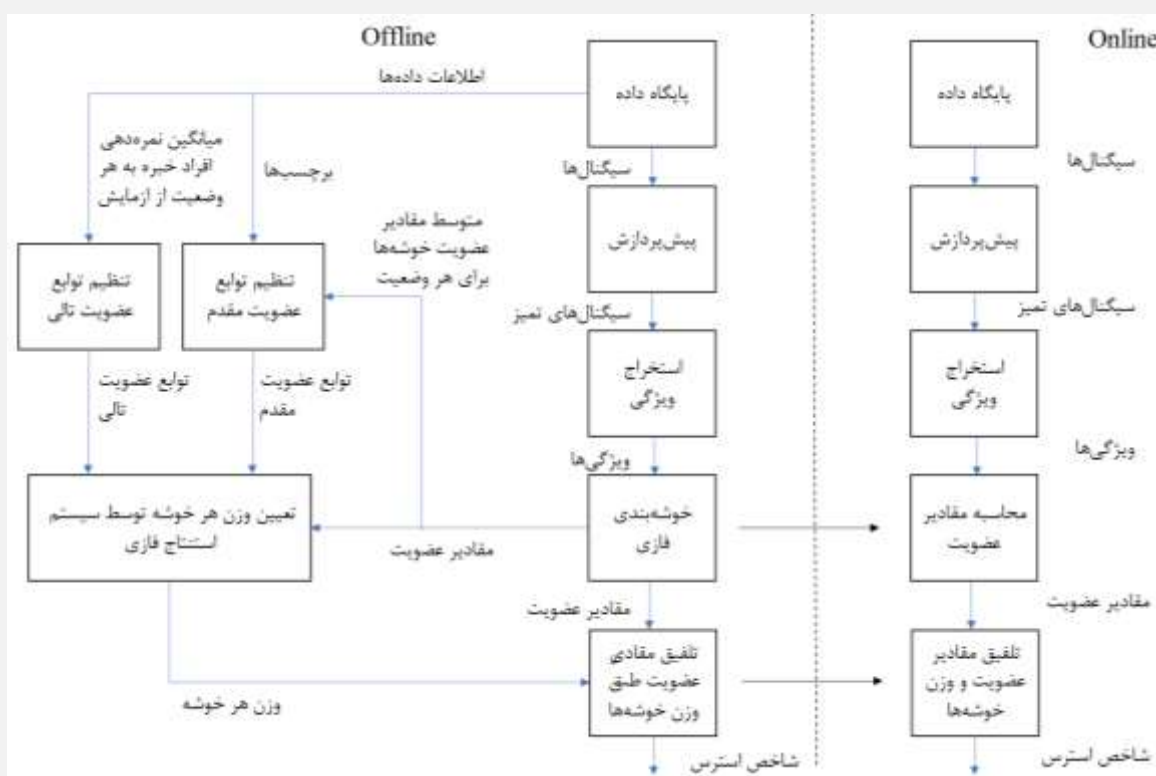
پورمحمدی و مالکی [۱۰] در پژوهشی دیگر با استفاده از رویکرد فازی و به‌کارگیری سیگنال‌های الکترومایوگرام و الکتروکاردیوگرام، تخمینی پیوسته از استرس افراد به دست آورده‌اند. در این پژوهش تعداد ۳۴ شرکت‌کننده سالم حضور داشتند که در یک چهارچوب آزمایشی از پیش طراحی شده استرس‌زا (آزمون‌های ریاضی با محدودیت زمانی)، ثبت سیگنال انجام شده است. آنها با معرفی مدلی مبتنی بر فازی، به همبستگی بیش از ۰/۹ بین استرس تخمین زده شده توسط روش پیشنهادی و خودگزارشی افراد شرکت‌کننده دست یافته‌اند. دخالت مستقیم خبره در طراحی سیستم استنتاج فازی برای هر شرکت‌کننده و خودکار نبودن روش پیشنهادی از چالش‌های این روش است.

تاکنون، روش‌های مختلفی برای تخمین پیوسته استرس معرفی شده است اما روش‌های ارائه شده خودکار نیستند یا از رویکرد

۲-۱ پایگاه داده

در این مقاله از پایگاه داده تشخیص استرس در رانندگی خودرو [۲۱] استفاده شده است. این پایگاه داده به صورت دسترسی آزاد در PhysioBank قرار دارد که شامل سیگنال‌های قلبی (ECG)، فعالیت عضلانی (RMS-EMG)، رسانایی الکتریکی پوست دست و پا (foot & hand GSR)، نرخ ضربان قلب (HR) و سیگنال تنفسی (Respiration) است.

عضویت مقدم و تالی به ترتیب با توجه به مقادیر عضویت و برچسب داده‌ها تنظیم می‌شوند. سیستم استنتاج فازی طراحی شده برای هر خوشه ضربی مشخص می‌کند که با ضرب کردن ضربیب خوشه در مقادیر عضویت به دست آمده از خوشه‌بندی فازی، شاخص استرس در هر پنجره به دست می‌آید. بار محاسباتی در بخش آنلاین کمتر از بخش آفلاین است زیرا وزن هر خوشه توسط سیستم استنتاج فازی طراحی شده در بخش آفلاین، تعیین شده است.



شکل (۱) - نمودار بلوکی روش پیشنهادی شامل دو بخش برون خط و برخط است. در بخش برون خط، اجزای سیستم استنتاج فازی با استفاده از داده‌ها تنظیم می‌شود. سپس در بخش برخط، با استفاده از سیستم استنتاج فازی طراحی شده، شاخص استرس تعیین می‌گردد.

است یعنی سیگنال‌های قلبی، عضلانی، رسانایی الکتریکی پوست دست و پا، نرخ ضربان قلب، نشانگر و تنفس برای این رانندگی‌ها وجود دارد و سیگنال نشانگر نیز واضح است. در این پژوهش از داده‌های رانندگی‌های ۶، ۷، ۸، ۱۰، ۱۱، ۱۲ و ۱۵ که سیگنال‌های آنها کامل است استفاده شده است.

۲-۲ روش پیشنهادی

۲-۲-۱ پیش‌پردازش

از آنجا که ثبت سیگنال در محیط واقعی انجام شده است، عوامل ناخواسته بسیاری مانند ترافیک و حرکات ناگهانی رانندگان باعث شده است تا سیگنال‌های ثبت شده نیاز به پیش‌پردازش

ثبت سیگنال در شرایط واقعی و در محیط پارکینگ (استراحت)، شهر و بزرگراه انجام شده است. به دلیل واقعی بودن شرایط ثبت سیگنال و وجود اتفاقاتی نظیر تصادف و ترافیک، طول دوره آزمایش برای هر رانندگی متفاوت است. داده‌های مربوط به ۱۷ رانندگی در این پایگاه داده وجود دارد اما سیگنال‌های برخی از رانندگی‌ها ناقص است. از داده‌های رانندگی‌های ۵، ۹، ۱۶ و ۱۷ نمی‌توان استفاده کرد زیرا رانندگی پنجم داده‌های سیگنال قلبی در اولین بزرگراه را ندارد، رانندگی‌های ۹، ۱۶ و ۱۷ نیز سیگنال نشانگر نادقیق دارند. همچنین رانندگی‌های ۱، ۲، ۳، ۴، ۱۳ و ۱۴ نیز تمام سیگنال‌ها را ندارند. از ۱۷ رانندگی موجود فقط داده‌های ۷ رانندگی کامل

برای تخمین خودکار و پیوسته استرس معرفی شده است، تصمیم گرفته شد تا از رایج‌ترین ویژگی‌ها استفاده شود. با استفاده از یک پنجره لغزان مستطیلی به طول ۱۰۰ ثانیه و همپوشانی ۹۰ ثانیه سیگنال‌ها پنجره‌گذاری شد. سپس پنج ویژگی شامل میانگین، واریانس، انرژی، ریشه میانگین مربعات و میانگین قدرمطلق تفاضل از هر پنجره استخراج شد. جزئیات بیشتر در رابطه با ویژگی‌ها در قالب جدول ۱ ارائه شده است.

جدول (۱) - ویژگی‌های انتخاب شده جهت تخمین استرس. این ویژگی‌ها برای هر پنجره محاسبه می‌شود که در آن، N تعداد کل نمونه‌های یک پنجره، A_i نمونه i ام و \bar{A} میانگین نمونه‌های هر پنجره می‌باشد.

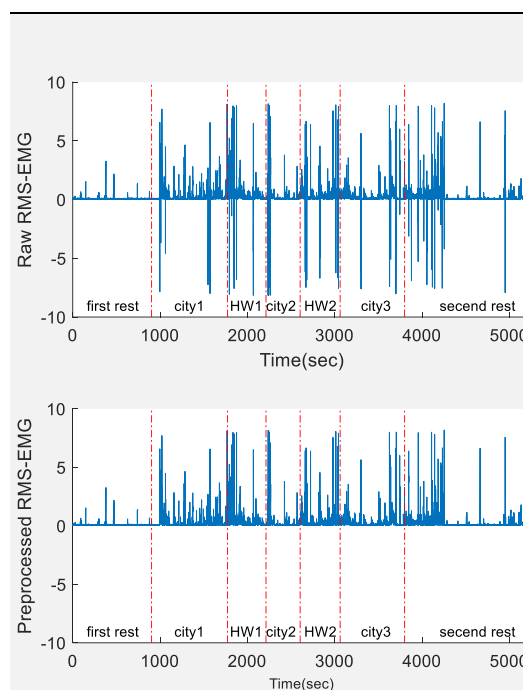
ویژگی	رابطه
میانگین	$\bar{A} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N A_i$
واریانس	$var = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (A_i - \bar{A})^2$
انرژی	$Energy = \sum_{i=1}^N (A_i ^2)$
ریشه میانگین مربعات	$RMS = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N A_i^2}$
میانگین قدرمطلق تفاضل	$MAD = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^{N-1} A_{i+1} - A_i $

پس از تشکیل ماتریس ویژگی، نرمال‌سازی ویژگی‌ها طبق رابطه ۱ انجام شد.

$$y = \frac{(x - x_{min})}{(x_{max} - x_{min})} \quad (1)$$

که در آن y نشان‌دهنده‌ی ویژگی مقیاس شده، x نشان‌دهنده‌ی عددی که می‌خواهیم مقیاس کنیم، x_{max} و x_{min} نیز به ترتیب کوچکترین و بزرگترین عدد در بردار ویژگی است [۲۶].

داشته باشند. برای این منظور، سیگنال ECG با استفاده از فیلتر باتروث^۶ بالاگذر درجه ۳ با فرکانس قطع ۰/۵ هرتز فیلتر شد تا رانش خط‌پایه^۷ از سیگنال قلبی حذف گردد [۲۲]. سیگنال RMS-EMG به مقدار ریشه میانگین مربعات سیگنال الکترومایوگرام (EMG) گفته می‌شود که نشان‌دهنده فعالیت عضلات است. اندازه‌گیری RMS-EMG، شدت فعالیت عضلانی را در طول زمان مشخص می‌کند [۲۳]. به دلیل محاسبه ریشه میانگین مربعات، سیگنال RMS-EMG باید مقداری مثبت باشد اما همانطور که در نمونه سیگنال نشان داده شده در شکل ۲ دیده می‌شود در سیگنال‌های RMS-EMG ثبت شده، مقادیر منفی نیز به چشم می‌خورد. برای اصلاح این اشکال، نمونه‌های منفی سیگنال با مقادیر به دست آمده از درون‌یابی خطی^۸ جایگزین شدند.



شکل (۲) - سیگنال RMS-EMG قبل و بعد از جایگزینی مقادیر منفی با مقادیر تعیین شده با استفاده از درون‌یابی خطی، برای راندگی هفتم.

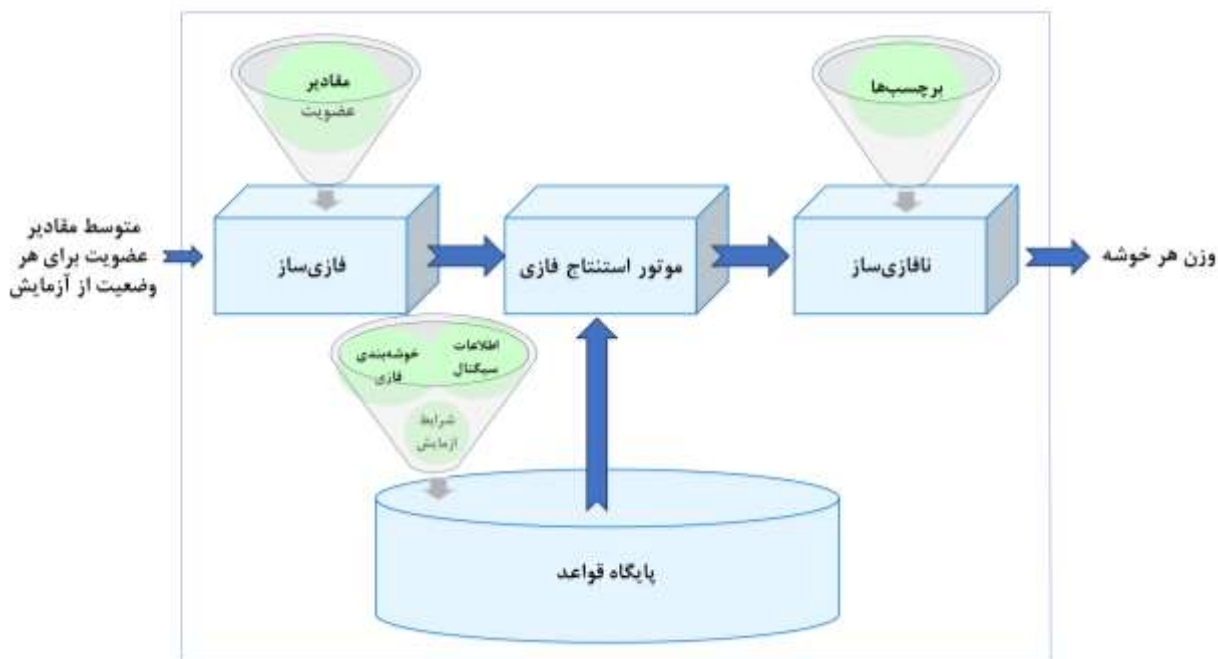
۲-۲-۲ استخراج ویژگی

برای تخمین استرس با استفاده از سیگنال‌های بیولوژیکی از ویژگی‌های متنوعی در پژوهش‌های پیشین استفاده شده است [۲۴-۲۵]. اما با توجه به این که در این مقاله یک روش جدید

⁸ Linear interpolate

⁶ Butterworth

⁷ Baseline drift



شکل (۳) - نمودار بلوکی سیستم استنتاج فازی که شامل فازی‌ساز، موتور استنتاج فازی، پایگاه قواعد فازی و نافازی‌ساز است.

استنتاج فازی و نافازی‌ساز است [۲۹]. ورودی‌های سیستم فازی، متوسط مقادیر عضویت برای هر یک از سه وضعیت آزمایش شامل استراحت، بزرگراه و شهر است و خروجی آن نیز وزن خوشه است. برای هر یک از متغیرهای فازی ورودی سیستم استنتاج فازی، دو مقدار فازی «کم» و «زیاد» در نظر گرفته شده است. برای متغیر فازی خروجی نیز سه مقدار فازی «کم»، «متوسط» و «زیاد» در نظر گرفته شده است.

شکل ۴- توابع عضویت متغیرهای ورودی سیستم استنتاج فازی را نشان می‌دهد. برای هر ورودی، برای مقدار زبانی «کم» از تابع عضویت Z و برای مقدار زبانی «زیاد» از تابع عضویت S استفاده شد. برای تعیین مقادیر شانه و پای این توابع عضویت، متوسط مقادیر عضویت هر پنج خوشه برای هر وضعیت با دو خوشه، خوشه‌بندی شد و مراکز این دو خوشه، به عنوان مقادیر شانه و پای توابع عضویت استفاده گردید. شکل ۵- توابع عضویت متغیر فازی خروجی را نشان می‌دهد که بر اساس متوسط نمره‌دهی افراد خبره [۳۰] برای وضعیت‌های استراحت، بزرگراه و شهر تعیین شده است. توابع عضویت متناظر با مقادیر زبانی «کم»، «متوسط» و «زیاد» به ترتیب به صورت توابع عضویت Z ، S و pi تعیین شدند.

۳-۲-۲ خوشه‌بندی فازی

خوشه‌بندی فازی یک روش خوشه‌بندی است که در آن داده‌ها به خوشه‌ها تقسیم می‌شوند و مقدار تعلق هر نمونه به هر یک از خوشه‌ها تعیین می‌شود [۲۷]. برای خوشه‌بندی فازی ابتدا باید تعداد خوشه‌ها (c) مشخص شود. با افزایش تعداد خوشه‌ها، جزئیات افزایش می‌یابد [۲۸] که افزایش پیچیدگی محاسباتی روش پیشنهادی را به دنبال دارد. در طرف مقابل، تعداد کم خوشه‌ها، در بیان جزئیات ناتوان است [۱۰]. پس باید تعداد خوشه‌ها، کمترین تعداد خوشه‌ای باشد که جزئیات کافی جهت دستیابی به کارایی مطلوب روش پیشنهادی را فراهم نماید. بر این اساس، پنج خوشه (دو خوشه برای هر یک از وضعیت‌های شهر و بزرگراه و یک خوشه برای وضعیت استراحت) برای خوشه‌بندی در نظر گرفته شد. ویژگی‌های نرمال شده توسط خوشه‌بندی فازی سی-میانگین خوشه‌بندی شدند. سپس متوسط مقادیر عضویت هر خوشه برای وضعیت‌های استراحت، بزرگراه و شهر، به عنوان ورودی به سیستم استنتاج فازی داده شد.

۴-۲-۲ تعیین وزن خوشه‌ها توسط سیستم استنتاج فازی

شکل ۳- اجزای سیستم استنتاج فازی را نشان می‌دهد که متشکل از چهار بخش اصلی شامل پایگاه قواعد، فازی‌ساز، موتور

قاعده ۳- اگر استراحت "کم" و بزرگراه "زیاد" و شهر "کم" باشد آنگاه وزن "متوسط" است.

قاعده ۴- اگر استراحت "کم" و بزرگراه "زیاد" و شهر "زیاد" باشد آنگاه وزن "زیاد" است.

قاعده ۵- اگر استراحت "زیاد" و بزرگراه "کم" و شهر "کم" باشد آنگاه وزن "کم" است.

قاعده ۶- اگر استراحت "زیاد" و بزرگراه "کم" و شهر "زیاد" باشد آنگاه وزن "متوسط" است.

قاعده ۷- اگر استراحت "زیاد" و بزرگراه "زیاد" و شهر "کم" باشد آنگاه وزن "کم" است.

قاعده ۸- اگر استراحت "زیاد" و بزرگراه "زیاد" و شهر "زیاد" باشد آنگاه وزن "زیاد" است.

موتور استنتاج فازی مورد استفاده از نوع ممدانی است که با استفاده از ورودی‌های فازی و مجموعه قواعد، خروجی‌های فازی تولید می‌کند [۳۱].

سپس با استفاده از نافازی‌ساز مرکز ثقل، مقادیر فازی به مقادیر عددی (وزن خوشه‌ها) تبدیل شد.

۲-۲-۵ تلفیق مقادیر عضویت بر اساس وزن خوشه‌ها

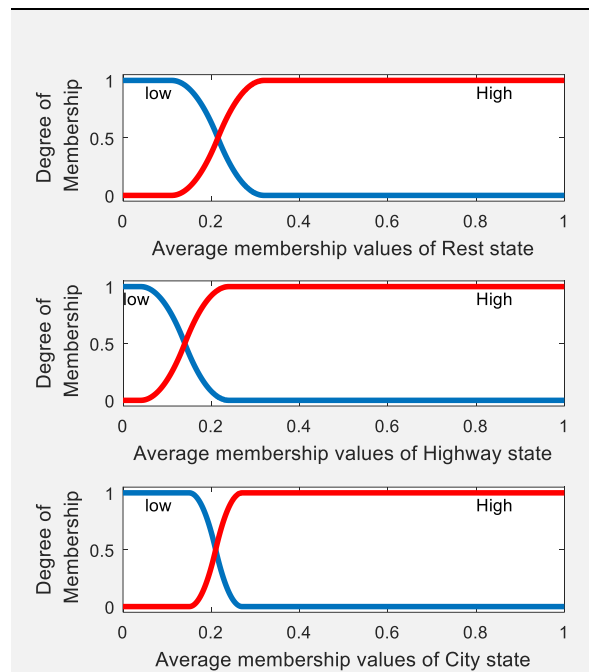
بعد از تعیین وزن خوشه‌ها توسط سیستم استنتاج فازی، مقادیر عضویت بر اساس وزن خوشه‌ها طبق رابطه ۲- با یکدیگر تلفیق شده و مقداری پیوسته در بازه صفر و یک، به عنوان استرس تخمینی برای هر پنجره به دست آمد. در این رابطه $y(p)$ بیانگر استرس تخمین زده شده برای پنجره p ام، $U(c, p)$ مقدار عضویت خوشه c ام در پنجره‌ی p ام، $W(c)$ وزن خوشه c ام، c تعداد خوشه‌ها و p شماره پنجره است.

$$y(p) = \sum_{i=1}^c (U(c, p) W(c)) \quad (2)$$

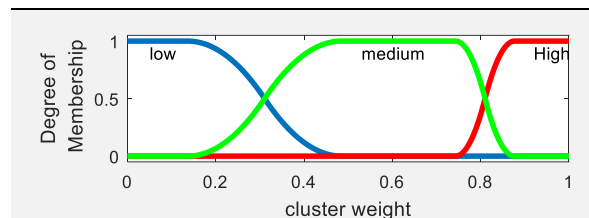
۲-۳ معیارهای کمی ارزیابی

برای ارزیابی کمی از همبستگی استرس تخمین‌زده شده با میانگین نمره‌دهی افراد خبره، بر اساس رابطه ۳- استفاده شد که در آن $corr(x, y)$ نشانگر همبستگی استرس تخمین‌زده شده با میانگین نمره‌دهی افراد خبره، $E(.)$ بیانگر میانگین و $V(.)$ بیانگر واریانس است [۳۲].

$$corr(x, y) = \frac{E[(x - E(x))(y - E(y))]}{\sqrt{V(x)V(y)}} \quad (3)$$



شکل (۴) - توابع عضویت کم و زیاد برای هر یک از سه متغیر ورودی. مقادیر شانه و پای توابع عضویت S و Z بر اساس مراکز خوشه حاصل از خوشه‌بندی متوسط مقادیر عضویت خوشه‌ها برای هر وضعیت تعیین می‌گردد.



شکل (۵) - توابع عضویت متغیر خروجی سیستم فازی که بر اساس میانگین نمره‌دهی افراد خبره تعیین شده است.

پایگاه قواعد سیستم فازی، بر اساس دانش خبره و اطلاعات موجود در دادگان تعیین می‌گردد. با توجه به تعداد سه ورودی و دو مقدار زبانی در نظر گرفته شده برای هر ورودی، سیستم استنتاج فازی شامل ۸ قاعده به شرح زیر است.

قاعده ۱- اگر استراحت "کم" و بزرگراه "کم" و شهر "کم" باشد آنگاه وزن "کم" است.

قاعده ۲- اگر استراحت "کم" و بزرگراه "کم" و شهر "زیاد" باشد آنگاه وزن "زیاد" است.

۳- نتایج

جدول-۲ پارامترهای تعیین شده برای توابع عضویت ورودی‌های استراحت، شهر و بزرگراه سیستم استنتاج فازی را برای رانندگی‌های مختلف نشان می‌دهد. برای به دست آوردن این مقادیر، ابتدا خوشه‌بندی فازی ویژگی‌ها به پنج خوشه انجام شده است. سپس، متوسط مقادیر عضویت هر پنج خوشه برای هر وضعیت به دو خوشه، خوشه‌بندی گردیده و مراکز این خوشه‌ها به عنوان شانه و پای توابع عضویت در نظر گرفته شده است.

شکل-۶ استرس تخمین‌زده شده توسط روش پیشنهادی برای رانندگی‌های ۶، ۷، ۸، ۱۰، ۱۱، ۱۲ و ۱۵ را نمایش می‌دهد. استرس تخمین‌زده شده با خطوط آبی و میانگین نمره‌دهی افراد خبره در هر وضعیت با نقطه‌چین سبز مشخص شده است. همچنین، خطوط عمودی قرمز رنگ، وضعیت‌های آزمایش را از یکدیگر تفکیک می‌کند.

جدول (۲) - پارامترهای پا و شانه توابع عضویت ورودی‌های سیستم استنتاج فازی

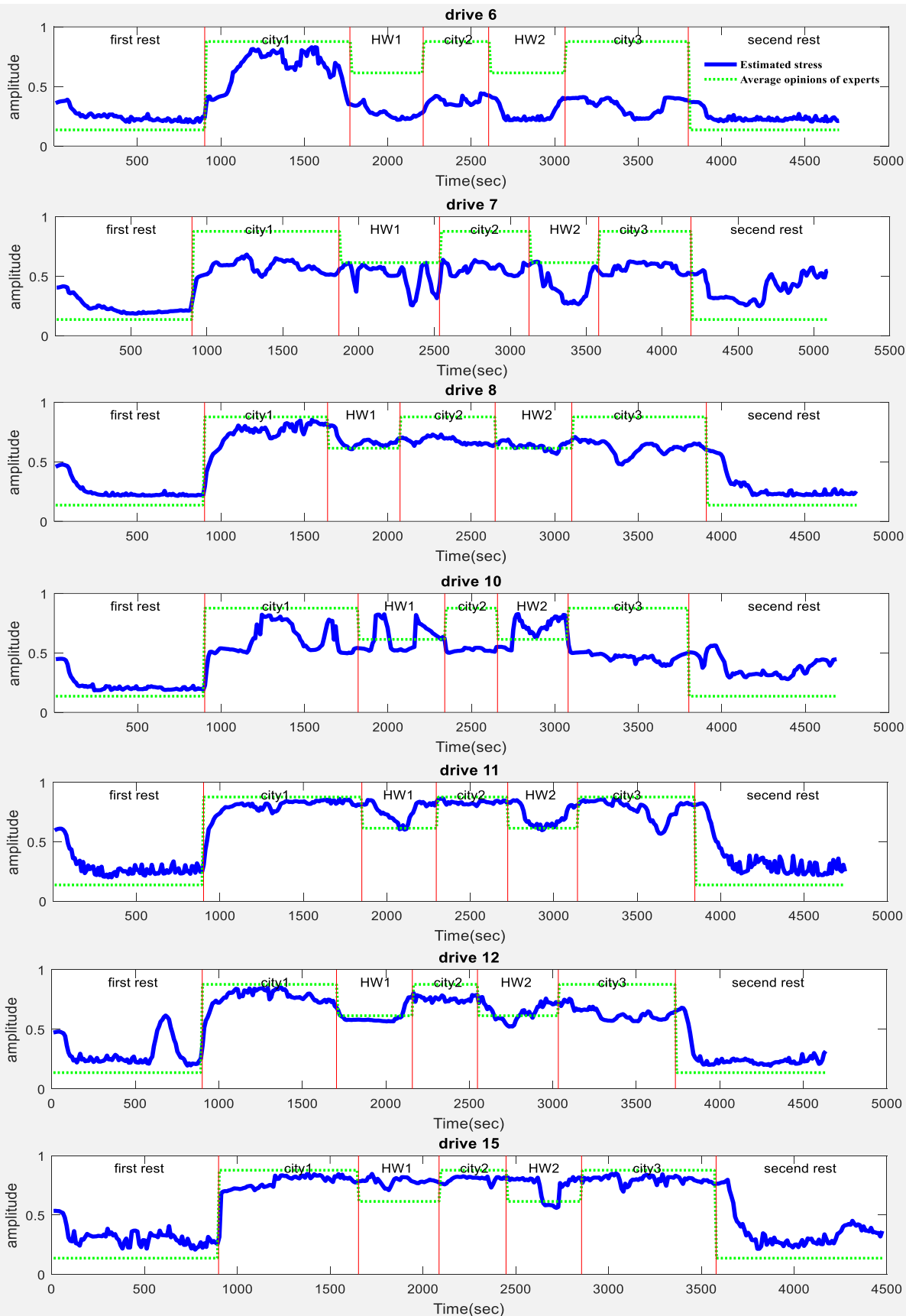
شماره رانندگی	استراحت		بزرگراه		شهر	
	پا	شانه	پا	شانه	پا	شانه
۶	۰/۴۰	۰/۰۶	۰/۲۸	۰/۰۷	۰/۴۳	۰/۱۴
۷	۰/۳۱	۰/۱۳	۰/۲۸	۰/۰۸	۰/۳۴	۰/۱۶
۸	۰/۸۲	۰/۰۴	۰/۲۷	۰/۰۷	۰/۳۱	۰/۱۷
۱۰	۰/۴۷	۰/۱۳	۰/۵۰	۰/۱۲	۰/۳۲	۰/۱۷
۱۱	۰/۷۳	۰/۰۷	۰/۲۶	۰/۱۱	۰/۲۷	۰/۰۹
۱۲	۰/۴۰	۰/۰۶	۰/۳۶	۰/۰۹	۰/۴۰	۰/۰۶
۱۵	۰/۳۸	۰/۰۸	۰/۲۸	۰/۰۷	۰/۲۸	۰/۰۵

استرس تخمین‌زده شده با روش پیشنهادی این ویژگی که تغییر مقادیر استرس از یک وضعیت به وضعیت دیگر به صورت انفجاری رخ نمی‌دهد بلکه با دینامیک همراه است را به خوبی نشان می‌دهد. این دینامیک برای هر رانندگی متفاوت است. این ویژگی با آنچه در مرجع [۱۰] گزارش شده است همسو است. استراحت اول در پارکینگ طبقاتی بوده است و برای ورود به وضعیت بعدی (شهر ۱)، لازم بوده است که راننده از شیب مارپیچ پارکینگ طبقاتی عبور کند [۳۰]. برای عبور از شیب مارپیچ دقت زیادی لازم است و این کار به طور طبیعی باعث افزایش استرس راننده می‌شود. این افزایش سطح استرس در استرس تخمینی برای تمام رانندگی‌ها به وضوح قابل مشاهده است. استرس تخمین‌زده شده برای تمامی رانندگی‌ها نشان می‌دهد

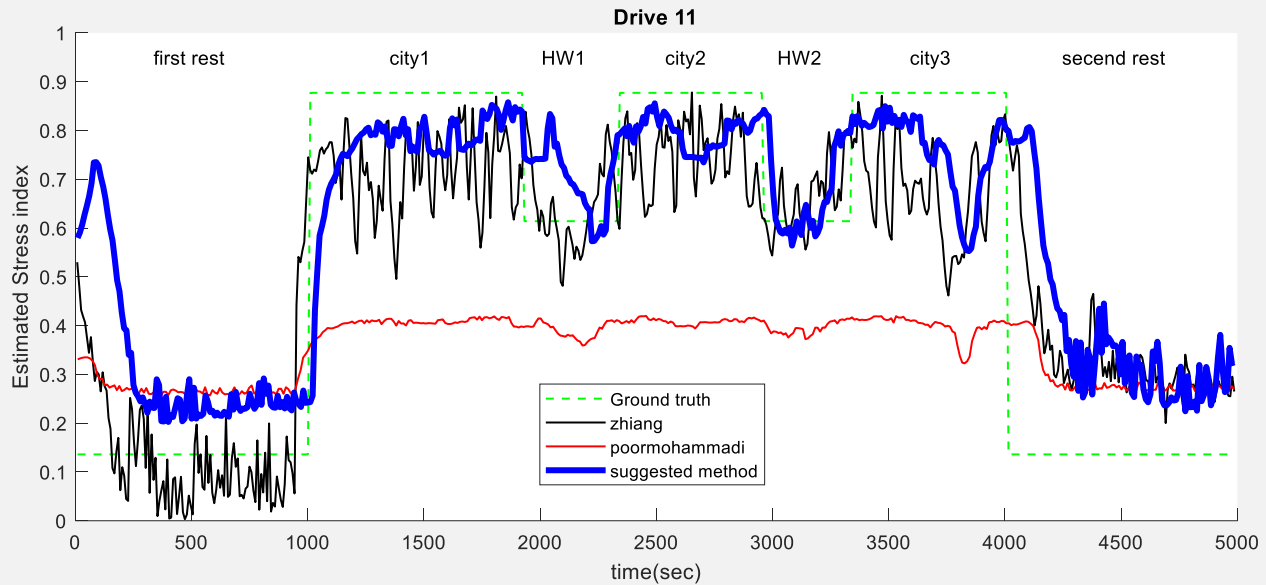
که در ابتدای استراحت اول، استرس راننده‌ها نسبتاً زیاد است که این امر به دلیل نصب الکترودها بر روی بدن شرکت‌کنندگان و قرارگیری در محیط آزمایش است [۳۰] که پس از مدتی استراحت، از استرس رانندگان کاسته می‌شود. عوامل مختلفی همچون شرایط روحی و جسمی، سن، جنسیت، تجربه و مهارت رانندگی در استرس رانندگان تاثیر می‌گذارد و باعث تغییرات در سطح استرس رانندگان می‌شود. این تغییرات استرس را می‌توان در استرس تخمینی به خوبی مشاهده نمود. همچنین مهارت رانندگی و چگونگی کنترل استرس برای هر راننده متفاوت است. به عنوان مثال، در رانندگی ششم به نظر می‌رسد شرکت‌کننده در بزرگراه‌ها استرس کم‌تری دارد و به آسانی رانندگی می‌کند و یا در رانندگی هشتم و در موقعیت‌های بزرگراه اول و دوم و شهر دوم و سوم، شرکت‌کننده استرس تقریباً ثابت دارد. در هر نمودار، سطح استرس تخمینی در دوره استراحت اول پایین است و با وارد شدن وضعیت رانندگی به بخش‌های شهرها و بزرگراه‌ها، استرس افزایش می‌یابد. سطح استرس معمولاً در بخش‌های رانندگی در شهر به اوج خود می‌رسد که ممکن است به دلیل پیچیدگی‌ها و ملاحظات رانندگی در ترافیک شهری باشد.

برای برچسب زدن میزان استرس افراد در موقعیت‌های مختلف توسط افراد خبره، از تصاویر دوربینی که در کابین خودرو تعبیه شده بود استفاده شد. این دوربین در فواصل زمانی مشخص، از وضعیت راننده عکس می‌گرفت. افراد خبره با توجه به هر تصویر، نمره‌ای اختصاص دادند. سپس با میانگین‌گیری از نمرات برای هر وضعیت نمره‌ای بین ۰ تا ۱۰۰ گزارش کردند [۳۰]. با مقیاس کردن نمره‌دهی افراد خبره به بازه‌ی صفر و یک، مرجعی برای تعیین مقدار همبستگی برای هر رانندگی محاسبه شد. متوسط همبستگی برای تمام رانندگی‌ها ۰/۸۰ به دست آمد.

در جدول-۲ مقایسه نتایج کمی روش پیشنهادی با نتایج پژوهش‌های پیشین انجام شده است. بدین منظور، مقدار همبستگی میان استرس تخمین‌زده شده و میانگین نمره‌دهی افراد خبره گزارش شده است. همچنین شکل-۷، مقایسه استرس تخمینی به روش پیشنهادی با روش‌های پورمحمدی و ژیانگ را برای رانندگی یازدهم نشان می‌دهد. روش پیشنهادی قادر است به صورت خودکار و پیوسته استرس را تخمین بزند، که این امر در مدیریت استرس و حفظ سلامت فیزیکی و روانی بسیار حیاتی است.



شکل (۶) - نمایش استرس تخمینی با روش پیشنهادی برای رانندگی‌های ۶، ۷، ۸، ۱۰، ۱۱، ۱۲ و ۱۵. استرس تخمینی با رنگ آبی و میانگین نمره‌دهی افراد خبره در هر وضعیت با نقطه‌چین سبز رنگ در بازه صفر و یک قابل مشاهده است.



شکل (۷) - مقایسه استرس تخمینی به روش پیشنهادی با روش‌های پورمحمدی و ژیانگ برای رانندگی‌های یازدهم.

جدول (۲) - مقایسه روش پیشنهادی با پژوهش‌های پیشین با استفاده از معیار کمی همبستگی میان برچسب داده‌ها و استرس تخمین زده شده

روش	رانندگی							متوسط
	۶	۷	۸	۱۰	۱۱	۱۲	۱۵	
ژیانگ [۱۳]	۰/۶۸	۰/۶۹	۰/۸۸	۰/۵۶	۰/۸۸	۰/۸۳	۰/۸۵	۰/۷۷
پورمحمدی [۱۰]	۰/۲۲	۰/۵۶	۰/۸۷	۰/۶۴	۰/۸۸	۰/۸۸	۰/۸۸	۰/۷۰
روش پیشنهادی	۰/۶۱	۰/۷۸	۰/۸۵	۰/۶۴	۰/۸۸	۰/۸۸	۰/۸۹	۰/۸۰

نرم-۲ مراکز خوشه‌ها، اندازه هر مرکز خوشه محاسبه شده است. مراکز خوشه‌ها به نحوی نگاشت غیرخطی شده است که کوچکترین مرکز خوشه به مقدار ۱ و بزرگترین مرکز خوشه به مقدار ۲ نگاشته شود. با ترکیب خطی مقادیر عضویت خوشه‌بند فازی و مقادیر نگاشت شده مراکز خوشه‌ها و سپس اعمال یک ضریب اصلاحی و کم کردن عدد یک، به تخمینی پیوسته از استرس رانندگان در بازه صفر و یک دست یافتند.

ضریب اصلاحی به صورت نسبت نرم ۲ ماتریس ویژگی به نرم ۲ متوسط مراکز خوشه و اعمال نمای شکل‌دهی ۰/۳ تعیین شده است. برای روش تعیین ضریب شکل‌دهی، پشتوانه‌ای ذکر نشده است و روند معقول به نظر نمی‌رسد و ظاهراً بر اساس آزمون و خطا این مقدار را ۰/۳ در نظر گرفته‌اند. همچنین چگونگی محاسبه نرم-۲ ماتریس ویژگی بیان نشده است. مقدار ضریب اصلاحی نزدیک به یک به دست می‌آید زیرا نرم ۲ ماتریس ویژگی و نرم-۲ متوسط مراکز خوشه دارای مقادیر نزدیک به هم می‌باشند. اگرچه پشتوانه‌ای برای انتخاب مقدار

۴- بحث

روش پیشنهادی بر خلاف روش‌های موجود، مستقل از نظر خیره است و برای تنظیم سیستم استنتاج فازی نیاز به مشارکت خیره نیست. این روش ابزار کارآمدی برای پزشکان، روانشناسان و متخصصان سلامت است تا استرس بیماران را به صورت خودکار و غیرتهاجمی ارزیابی کنند. از این روش در زندگی روزمره نیز می‌توان بهره برد به نحوی که به صورت یک دستگاه پوشیدنی در ارزیابی استرس ناشی از فعالیت‌های روزمره و رویدادهای زندگی مورد استفاده قرار گیرد. همان‌طور که در جدول ۳ مشاهده می‌گردد روش پیشنهادی در قیاس با پژوهش‌های پیشین، روندی معقول و مستدل برای تخمین استرس ارائه می‌دهد. برای روشن شدن موضوع، پژوهش‌های پیشین از این دیدگاه مورد بررسی و واکاوی قرار گرفته است. ژیانگ و وانگ [۱۳] با خوشه‌بندی فازی، ویژگی‌های استخراج شده از داده‌ها را به ۶ خوشه تقسیم کرده‌اند. سپس با محاسبه

و تنها بر پیچیدگی روش و بار محاسباتی پیاده‌سازی آن می‌افزاید.

۰/۳ برای نمای شکل‌دهی ذکر نشده است ولی از آنجا که «نسبت نرم-۲ ماتریس ویژگی به نرم ۲ متوسط مراکز خوشه» مقداری نزدیک به یک است این نما اثر چندانی نخواهد داشت

جدول-۳: مقایسه روش پیشنهادی با روش‌های پورمحمدی و ژیانگ از دیدگاه خودکار بودن و معقول بودن.

روش	معیار	خودکار بودن	معقول بودن
روش پیشنهادی	خودکار: استفاده از دادگان برای تنظیم سیستم استنتاج فازی	معقول: تعیین وزن خوشه‌ها توسط سیستم استنتاج فازی انجام می‌شود و مراحل تنظیم سیستم استنتاج فازی قاعده‌مند انجام می‌گردد.	
روش ژیانگ	نیمه خودکار: تعیین نمای شکل‌دهی توسط انسان و بر اساس آزمون و خطا	استفاده از ضریب اصلاحی نامعقول است زیرا فقط بار محاسباتی را افزایش می‌دهد و تاثیری در نتیجه نهایی ندارد.	
روش پورمحمدی	نیمه خودکار: نیازمند به مداخله انسانی برای تنظیم سیستم استنتاج فازی	معقول: تعیین وزن خوشه‌ها توسط سیستم استنتاج فازی انجام می‌گردد.	

وزن‌دهی به خوشه‌ها به گونه‌ای است که استرس تمام رانندگان در بازه بین صفر و یک تخمین زده می‌شود. یعنی حتی اگر شرکت‌کننده در دوره‌ی آزمایش، استرس کمی را تجربه کرده باشد بازهم استرس تخمینی در بازه‌ی صفر و یک تخمین زده می‌شود. اما استفاده از سیستم استنتاج فازی خودکار برای وزن‌دهی مانند روش پیشنهادی، تضمین می‌کند که تفاوت‌های جزئی میان خوشه‌ها به درستی در نظر گرفته شوند و وزن هر خوشه به طور دقیق و بهینه محاسبه شود. یکی از مزایای روش پیشنهادی، استفاده از رویکرد فازی است که باعث می‌شود اجزای سیستم فازی برای هر فرد با توجه به اطلاعات موجود در دادگان تنظیم شود و استرس با صحت بالاتری تخمین زده شود. همچنین، مزیت دیگر این روش، خودکار بودن آن است که به عنوان یک ابزار موثر در ارتباط انسان-ماشین عمل می‌کند. به این معنا که نیازی به دخالت انسان در فرایند تحلیل و تنظیم نیست و رویکرد مستقل و خودکار، کاربردی بودن و کارآمدی را برای این روش فراهم می‌کند. در نتیجه، روش پیشنهادی قادر است تا ارزیابی استرس را از آزمایشگاه‌ها به زندگی روزمره انتقال می‌دهد.

اگرچه مجموعه دادگان مورد استفاده در این پژوهش، از آن جهت که مربوط به ارزیابی استرس برای یک وظیفه واقعی (رانندگی) در محیطی واقعی (پارکینگ، شهر و بزرگراه) است بسیار ارزشمند می‌باشد ولی این محدودیت را دارد که برای هر شرکت‌کننده، فقط یک بار آزمایش انجام شده است. به دلیل همین محدودیت، از دادگان هر فرد هم برای مرحله برون خط و هم برای مرحله برخط استفاده شده است. این در حالی است که برای ارزیابی روش پیشنهادی برای تخمین استرس برای داده‌های جدید، لازم است که از داده‌های متمایزی برای

پورمحمدی و مالکی [۱۰] تلاش کردند با به‌کارگیری مدل فازی و استفاده از سیگنال‌های الکتروکاردیوگرام و الکترومایوگرام به تخمینی پیوسته از استرس روانی شرکت‌کنندگان در آزمایش از پیش طراحی شده استرس‌زا دست یابند. آنها سه تابع عضویت مثلثی (کم، متوسط و زیاد) برای هر وضعیت از مقدم و پنج تابع عضویت مثلثی (خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد) برای تالی انتخاب کرده‌اند. محدوده هر یک از این توابع عضویت با تقسیم‌بندی یکنواخت گستره متغیر تعیین شده است و ویژگی‌های متغیرهای ورودی و خروجی در تعیین محدوده توابع عضویت لحاظ نشده است.

در استرس تخمینی به روش پورمحمدی اگر چه تغییرات استرس هم‌راستا با نمره‌دهی افراد خبره است اما به دلیل تنظیم نکردن توابع عضویت مقدم و تالی، دامنه استرس تخمینی نسبت به نمره‌دهی افراد خبره متفاوت است. علت متفاوت بودن دامنه استرس تخمینی این است که ورودی‌های سیستم استنتاج فازی در قسمت مقدم، در تابع عضویت "کم" قرار گرفته‌اند. در صورتی که با تنظیم توابع عضویت در روش پیشنهادی، استرس تخمینی بسیار دقیق‌تر به دست آمده است. تعیین وزن صحیح برای هر خوشه می‌تواند تأثیر بسیار زیادی بر کیفیت نهایی خوشه‌بندی داشته باشد. خوشه‌هایی که وزن‌های نادرست دریافت می‌کنند، می‌توانند نتایج اشتباه یا غیر دقیق ارائه دهند. پورمحمدی و مالکی [۱۰] برای تعیین وزن خوشه از سیستم استنتاج فازی استفاده کردند اما این سیستم استنتاج فازی خودکار نیست و دخالت انسانی در تنظیم توابع عضویت مقدم و تالی وجود دارد و ممکن است وزن خوشه‌ها به درستی تعیین نشود. ژیانگ و وانگ [۱۳] نیز برای تعیین وزن هر خوشه از اندازه مراکز خوشه استفاده کردند. در این روش،



- Arch Phys Med Rehabil*, vol. 101, no. 3, pp. 553-565, Mar. 2020, doi: 10.1016/J.APMR.2019.10.183.
- [9] Farokhzadi M, Maleki A, Fallah A, Rashidi S. Online Estimation of Elbow Joint Angle Using Upper Arm Acceleration: A Movement Partitioning Approach. *J Biomed Phys Eng*. 2017 Sep 1;7(3):305-314. PMID: 29082222; PMCID: PMC5654137.
- [10] S. Pourmohammadi and A. Maleki, "Continuous mental stress level assessment using electrocardiogram and electromyogram signals," *Biomed Signal Process Control*, vol. 68, Jul. 2021, doi: 10.1016/j.bspc.2021.102694.
- [11] A. Cheema and M. Singh, "Psychological stress detection using phonocardiography signal: An empirical mode decomposition approach," *Biomed Signal Process Control*, vol. 49, pp. 493-505, Mar. 2019, doi: 10.1016/J.BSPC.2018.12.028.
- [12] A. S. Anusha *et al.*, "Electrodermal Activity Based Pre-surgery Stress Detection Using a Wrist Wearable," *IEEE J Biomed Health Inform*, vol. 24, no. 1, pp. 92-100, Jan. 2020, doi: 10.1109/JBHI.2019.2893222.
- [13] M. Jiang and Z. Wang, "A Method for Stress Detection Based on FCM Algorithm," 2009 2nd International Congress on Image and Signal Processing, Tianjin, China, 2009, pp. 1-5, doi: 10.1109/CISP.2009.5304150.
- [14] K. Plarre *et al.*, "Continuous inference of psychological stress from sensory measurements collected in the natural environment," in *Proceedings of the 10th ACM/IEEE International Conference on Information Processing in Sensor Networks, IPSN'11*, 2011.
- [15] M. Kumar *et al.*, "Stress monitoring based on stochastic fuzzy analysis of heartbeat intervals," *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, vol. 20, no. 4, 2012, doi: 10.1109/TFUZZ.2012.2183602.
- [16] S. Pourmohammadi and A. Maleki, "A Fuzzy C-means Clustering Approach for Continuous Stress Detection during Driving," *Signal and Data Processing*, vol. 14, no. 4, pp. 129-142, Mar. 2018, doi: 10.29252/jsdp.14.4.129.
- [17] J. R. Boston, "A fuzzy model of signal detection incorporating uncertainty," [Proceedings 1993] Second IEEE International Conference on Fuzzy Systems, San Francisco, CA, USA, 1993, قسمت‌های برون خط و برخط استفاده گردد به نحوی که با استفاده از بخش اول دادگان (دادگان آموزش)، مراکز خوشه و وزن هر خوشه تعیین شود و سپس برای بخش دوم دادگان (دادگان آزمایش)، استرس تخمین زده شده و کارآیی روش پیشنهادی برای تخمین استرس ارزیابی شود.
- منابع**
- [1] T. W. Taris, A. H. de Lange, and K. Nielsen, "Taming the flood of findings: What makes for a really useful literature review in occupational health psychology?" 2022. doi: 10.1080/02678373.2022.2033349.
- [2] A. H. De Lange, T. W. Taris, M. A. J. Kompier, I. L. D. Houtman, and P. M. Bongers, "The relationships between work characteristics and mental health: Examining normal, reversed and reciprocal relationships in a 4-wave study," 2004. doi: 10.1080/02678370412331270860.
- [3] V. E. D. Natalia, Anisa OS Pratama, and Margareta Dewi Astuti, "Relationship between Quality of Work Life and Job Satisfaction in Asia: A Literature Review," *Journal of Business Management Review*, vol. 1, no. 6, 2020, doi: 10.47153/jbmr16.702020.
- [4] A. Mariotti, "The effects of chronic stress on health: New insights into the molecular mechanisms of brain-body communication," Nov. 01, 2015, *Future Medicine Ltd*. doi: 10.4155/fso.15.21.
- [5] L. P. Jiménez-Mijangos, J. Rodríguez-Arce, R. Martínez-Méndez, and J. J. Reyes-Lagos, "Advances and challenges in the detection of academic stress and anxiety in the classroom: A literature review and recommendations," *Educ Inf Technol (Dordr)*, vol. 28, no. 4, pp. 3637-3666, Apr. 2023, doi: 10.1007/s10639-022-11324-w.
- [6] M. J. Carlotto, "Effect of errors in ground truth on classification accuracy," *Int J Remote Sens*, vol. 30, no. 18, pp. 4831-4849, 2009, doi: 10.1080/01431160802672864.
- [7] R. Guidotti, "Evaluating local explanation methods on ground truth," *Artif Intell*, vol. 291, p. 103428, Feb. 2021, doi: 10.1016/J.ARTINT.2020.103428.
- [8] P. Bobos, G. Nazari, Z. Lu, and J. C. MacDermid, "Measurement Properties of the Hand Grip Strength Assessment: A Systematic Review With Meta-analysis,"



- Engineering*, vol. 4, no. 2, pp. 1–25, 2021, doi: 10.31181/dmame210402001a.
- [27] N. R. Pal and J. C. Bezdek, "On cluster validity for the fuzzy c-means model," in *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, vol. 3, no. 3, pp. 370-379, Aug. 1995, doi: 10.1109/91.413225.
- [28] Y. Wang, C. Li, and Y. Zuo, "A selection model for optimal fuzzy clustering algorithm and number of clusters based on competitive comprehensive fuzzy evaluation," *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, vol. 17, no. 3, pp. 568–577, 2009, doi: 10.1109/TFUZZ.2008.928601.
- [29] V. C. Madanda, F. Sengani, and F. Mulenga, "Applications of Fuzzy Theory-Based Approaches in Tunnelling Geomechanics: a State-of-the-Art Review," Jun. 01, 2023, *Springer Science and Business Media Deutschland GmbH*. doi: 10.1007/s42461-023-00767-5.
- [30] J. A. Healey, "Wearable and Automotive Systems for Affect Recognition from Physiology" Thesis (Ph.D.)-Massachusetts Institute of Technology, Dept. of Electrical Engineering and Computer Science, 2000
- [31] S. Rizvi, J. Mitchell, A. Razaque, M. R. Rizvi, and I. Williams, "A fuzzy inference system (FIS) to evaluate the security readiness of cloud service providers," *Journal of Cloud Computing*, vol. 9, no. 1, Dec. 2020, doi: 10.1186/s13677-020-00192-9.
- [32] S. Kumar and I. Chong, "Correlation analysis to identify the effective data in machine learning: Prediction of depressive disorder and emotion states," *Int J Environ Res Public Health*, vol. 15, no. 12, Dec. 2018, doi: 10.3390/ijerph15122907.
- pp. 1107-1112 vol.2, doi: 10.1109/FUZZY.1993.327360.
- [18] L. A. Zadeh, "Fuzzy logic = computing with words," in *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, vol. 4, no. 2, pp. 103-111, May 1996, doi: 10.1109/91.493904.
- [19] S. Shaposhnikov, Sankt-Peterburgskii gosudarstvennyi elektrotekhnicheskii universitet "LÉTI," and Institute of Electrical and Electronics Engineers., *Proceedings of 2017 XX International Conference on Soft Computing and Measurements (SCM) : May 24-26, 2017, St. Petersburg, Russia, 2017*.
- [20] A. Pourabdollah, C. Wagner, J. H. Aladi, and J. M. Garibaldi, "Improved Uncertainty Capture for Nonsingleton Fuzzy Systems," *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, vol. 24, no. 6, pp. 1513–1524, Dec. 2016, doi: 10.1109/TFUZZ.2016.2540065.
- [21] J. A. Healey and R. W. Picard, "Detecting stress during real-world driving tasks using physiological sensors," *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 6, no. 2, pp. 156–166, Jun. 2005, doi: 10.1109/TITS.2005.848368.
- [22] Selma, Ozaydin., Imteyaz, Ahmad. Comparative Performance Analysis of Filtering Methods for Removing Baseline Wander Noise from an ECG Signal. Fluctuation and Noise Letters, (2024) doi: 10.1142/s0219477524500469
- [23] T. I. Arabadzhiev, V. G. Dimitrov, N. A. Dimitrova, and G. V. Dimitrov, "Interpretation of EMG integral or RMS and estimates of 'neuromuscular efficiency' can be misleading in fatiguing contraction," *Journal of Electromyography and Kinesiology*, vol. 20, no. 2, pp. 223–232, Apr. 2010, doi: 10.1016/J.JELEKIN.2009.01.008.
- [24] L. lan Chen, Y. Zhao, P. fei Ye, J. Zhang, and J. zhong Zou, "Detecting driving stress in physiological signals based on multimodal feature analysis and kernel classifiers," *Expert Syst Appl*, vol. 85, pp. 279–291, Nov. 2017, doi: 10.1016/J.ESWA.2017.01.040.
- [25] A. Hag *et al.*, "Enhancing EEG-based mental stress state recognition using an improved hybrid feature selection algorithm," *Sensors*, vol. 21, no. 24, Dec. 2021, doi: 10.3390/s21248370.
- [26] A. Aytakin, "Comparative analysis of normalization techniques in the context of MCDM problems," *Decision Making: Applications in Management and*