تشخیص پیوستهٔ میزان استرس در طول رانندگی با استفاده از روش خوشه‌بندی Fuzzy c-means

سارا پورمحمدی و علی مالکی*

گروه مهندسی پزشکی (بیوالکتریک)، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران

چکیده

استرس یکی از مهم‌ترین علل بروز اختلالات جسمی و روانی است که منشأ بسیاری از بیماری‌ها به‌شمار می‌رود. در دو دههٔ اخیر تشخیص سطح استرس در حین رانندگی به‌منظور پیش‌گیری از سوانح مورد اقبال جدی پژوهش‌گران بوده است. نکته‌ای که در پژوهش‌های پیشین در خصوص اندازه‌گیری استرس در طول رانندگی مورد توجه قرار نگرفته، این است که سطح استرس در حین رانندگی با توجه به وقایع غیر قابل پیش‌بینی تغییر می‌کند. در این مقاله نشان داده شده است که سطح استرس را در یک دوره زمانی طولانی، به طور مثال مدت زمان رانندگی در بزرگراه، ثابت نمی‌توان در نظر گرفت؛ سپس براساس این فرض، ایدهٔ جدیدی برای تشخیص سطح استرس بر مبنای روش خوشه‌بندی fuzzy c-means و برچسب‌زدن به خوشه‌ها توسط خبره پیشنهاد شده است. در الگوریتم پیشنهادی، با تلفیق میزان تعلق خوشه و ضریب وزنی متناظر با برچسب هر خوشه، معیاری کمی از استرس برای فواصل زمانی بسیار کوتاه حاصل می‌شود. درواقع دادگان استرس در رانندگی برچسب هایی نادقیقی دارند که روش پیشنهادی با استفاده از دانش نهادینه‌شده در دادگان و به شیوه‌ای قاعده‌مند، استرس را به‌صورت پیوسته تخمین می‌زند. در این مقاله، علاوه‌بر ارزیابی کیفی نتایج بر اساس شواهد حین آزمایش، از معیار کمی همبستگی بین معیار استرس حاصل از روش پیشنهادی با رتبه‌بندی عینی شرکت‌کنندگان استفاده شده است. ارزیابی‌های کیفی و کمی نشانگر کارآیی روش پیشنهادی در افزایش دقت و صحت تشخیص میزان استرس است.

واژگان کلیدی: تشخیص پیوسته میزان استرس، استرس در رانندگی، خوشه‌بندی Fuzzy c-means.

A Fuzzy C-means Clustering Approach for Continuous Stress Detection during Driving

Sara Pourmohammadi[1] & Ali Maleki[1]*

Department of Biomedical Engineering, Semnan University, Semnan, Iran.

Abstract

Stress is one of the main causes of physical and mental disorders leading to various types of diseases. In recent two decades, stress level detection during driving to avoid accidents has attracted much of researchers' attentions. However, the existing studies usually neglect this fact that stress level during driving varies due to irregular events. Contrary to the previous works, this paper demonstrates that to assume a fixed level of stress for a long period- e.g. while driving in highway- is unreasonable. According to the above assumption, a novel approach for continuous stress detection is proposed based on fuzzy c-means clustering and cluster labeling by the expert. Fuzzy c-means clustering is used to specify levels of stress instead of the former different classification and labeling methods. Concurrently, utilizing background knowledge of data and clustering results, the label of each cluster is obtained. Then, proper weights are assigned to labeled clusters. By combining the membership values of clusters and weights associated with each cluster's label, a score of stress is obtained in short time intervals.

* Corresponding author

* نویسندهٔ عهده‌دار مکاتبات

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-11-06]

[DOI: 10.29252/jsdp.14.4.129]

Stress in driving dataset provide stressful conditions during real driving. The experiments were performed on a specific route of open roads and where drivers traverse were limited to daily commutes. For each drive, Electrocardiogram (ECG), Electromyogram (EMG), foot and hand Galvanic skin response (GSR), respiration and marker signals were acquired from the sensors worn by the driver. Clearly, the more number of physiological signals are used, the more computational cost must be paid, so in this work, heart rate, EMG, foot GSR and hand GSR from mentioned dataset are selected. After that, six features consisting of the mean value of the heart rate, the mean value of EMG, the mean value of the hand GSR and the mean value of foot GSR in addition to mean absolute differences for hand and foot GSR are extracted for each 10 second window (100 second window with 90% overlap) of signals. Next step is to cluster via fuzzy c-means algorithm. In this study, the data is located in 5 clusters and according to the membership degree of each window, input signals and background data from dataset, an adequate label is assigned by the expert to each cluster. The labels of these five clusters are "very low", "low", "medium", "high" and "very high" stress, which are respectively the least stressed to the most stressful. Therefore, the base weight vector is obtained as $w_{ini} = [0.01, 0.25, 0.5, 0.75, 1]$. The weights assigned to the clusters will be a permutation of the mentioned base weight vector. After assigning the weight of clusters, in each window, the membership degree obtained by the Fuzzy c-means method is multiplied by the weight assigned to that cluster and the resulting numbers are accumulated for the 5 clusters. The calculated value scales to the range of 0 to 100, in order to quantifying the stress. For better representation, a collection of 100 different colors in the range of dark blue to dark red of the visible spectra will be defined by the use of "colormap" command in MATLAB. By taking the calculated value to the range of 0 to 100, one of the mentioned colors will be chosen. So the color will be associated to the stress value of the corresponding window.

In this paper, in addition to the qualitative assessment of the results, the correlation between the determined stress and subjective rating scores is considered as a quantitative criterion. The results illustrate the effectiveness of the proposed method to improve both the precision and accuracy of stress detection. In fact, the stress in driving dataset have imprecise labels which the proposed systematic approach estimates the stress continuously utilizing the background knowledge of data. The results clearly represent valid, efficient criteria for stress during driving in each moment without using long time window, show the continues stress from the beginning of the experiment until the end of it, and exaggerate individual differs and unexpected hazards during the experiment.

Keywords: Continuous stress detection, Stress during driving, Fuzzy c-means clustering

۱- مقدمه

هرگونه اختلال که موجب برهم‌زدن سلامت روانی و آرامش جسمی افراد شود، استرس نام دارد. استرس تأثیر شدیدی بر روی دستگاه قلبی-عروقی و ایمنی بدن شخص می‌گذارد و درصورت مزمن‌شدن، شخص را در برابر بیماری‌های خاص و عفونی به‌شدت آسیب‌پذیر کرده و فرآیند بهبودی او را نیز کند می‌سازد [2]؛ همچنین بار مالی زیادی برای جامعه ایجاد خواهد کرد. تشخیص استرس فرد کمک شایانی به سلامتی او و جامعه می‌کند. نتایج اندازه‌گیری استرس برای اهداف کاربردی دیگری نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد که از آن جمله به بررسی سطح استرس رانندگان درشرایط واقعی جاده [3]، استرس رانندگان مسابقه [4]، استرس کاربران رایانه [4]، غربالگری خودکار افراد خطاکار [1] و افزایش امنیت دسترسی کاربران درسامانه‌های بانکی [6] می‌توان اشاره کرد. تعیین استرس بر مبنای اندازه‌گیری‌های فیزیکی مانند حرکت چشم[1] ، ضخامت مردمک[2]، مشخصات صدا[3] و حرکت صورت[4] و اندازه‌گیری‌های فیزیولوژیکی شامل سیگنال‌های الکتروانسفالوگرام (EEG)، فشار حجم خون (BVP)، الکتروکاردیوگرام (ECG)، پاسخ الکتریکی پوست[5] (GSR)، الکترومایوگرام (EMG) و تنفس است [7] در دهۀ گذشته، مقالات زیادی در زمینه تشخیص سطح استرس با استفاده از این سیگنال‌ها ارائه شده است. گاه ترکیبی از سیگنال‌های فیزیولوژیک [8-12] برای تشخیص هر چه بهتر استرس در افراد به کار برده شده‌اند. البته استفاده از ترکیب سیگنال‌ها ممکن است، موجب ایجاد حجم بزرگی از دادگان غیرضروری و افزایش زمان پردازش شود. بنابراین، هدف استفاده از ترکیب بهینه‌ای از آن‌ها برای تشخیص استرس است [7]. در تعدادی از پژوهش‌ها نیز بر استفاده از تنها یک سیگنال به علت زمانِ واقعی‌بودن و استفاده از کمینه تجهیزات متصل به فرد مورد آزمایش تأکید شده است [12-13].

[1] eye gaze

[2] pupil diameter

[3] voice characteristic

[4] face movement

[5] Galvanic Skin Response

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-11-06]

[DOI: 10.29252/jsdp.14.4.129]

در پژوهشی روش تشخیص استرس براساس چهار سیگنال GSR، BVP، ضخامت مردمک و دمای بدن پیشنهاد شده است [5]. آن‌ها از سه طبقه‌بندی‌کننده Naïve Bayes، درخت تصمیم[1] و بردار ماشین پشتیبان[2] (SVM) استفاده کرده‌اند. نتایج به‌دست‌آمده، استرس در کاربران رایانه را در دو سطح " استرسی" و "آرام" طبقه‌بندی می‌کند. همچنین بیان‌گر همبستگی قوی بین سیگنال‌های فیزیولوژیک با تغییرات استرس هستند. در مطالعه‌ای دیگر روی فعالیت الکتریکی پوست[3] (EDA) جهت تشخیص استرس تمرکز کرده‌اند [14] چندین طبقه‌بندی‌کننده بررسی شده‌اند که یکی از آن‌ها با صحت بازشناسی ۸۲/۲٪ استرس را در دو سطح طبقه‌بندی کرده است. استرس در بازی‌کنندگان بازی‌های رایانه‌ای نیز در سه سطح گسسته "بدون استرس"، " متوسط" و "استرس بالا" برچسب زده شده است [15]. در رانندگان ماشین مسابقه، طبقه‌بندی در چهار سطح گسسته "استرس زیاد"، "استرس کم"، "ناامیدی" و " رضایتمندی" توسط طبقه‌بندی‌کننده‌های SVM و ANFIS[4] انجام شده [4].

در [16] سطح استرس به‌عنوان یک متغیر پیوسته جهت پایش ۲۴ ساعته استرس در بیماران در نظر گرفته است. در این پژوهش الگوریتمی جهت تخمین استرس براساس ارزیابی سری‌های زمان کوتاه از فواصل ضربان قلب[5] با استفاده از تحلیل فازی تصادفی[6] پیشنهاد شده است. همچنین سطح استرس از صفر تا صد تعریف شده که مقادیر بالای آن افزایش استرس را نشان می‌دهد. همچنین در تحقیقی دیگر با استفاده از روش خوشه‌بندی فازی و یک نگاشت غیرخطی نامتداول مقدار استرس را بر روی دادگان استرس در رانندگی در بازه صفرتا یک به‌طورپیوسته تخمین زده شده است [17].

در میان انواع مختلف استرس، استرس در رانندگان به‌عنوان یک عامل مؤثر روی آگاهی و عملکرد راننده که نتیجه‌ای مستقیم بر پرخاشگری و رفتارهای پرخطر در جاده دارد، مورد توجه قرار گرفته است. در پژوهشی جامع [18] با استفاده از سیگنال‌های تنفس، GSR، EMG و ECG سطوح استرس "کم"، "متوسط" و "زیاد" را که مربوط به بازه‌های زمانی استراحت، رانندگی در شهر و رانندگی در بزرگراه هستند، مورد بررسی قرار داده شده و مجموعه دادگان ثبت‌شده در سایت Physionet منتشر شده است [19]. با استفاده از این مجموعه دادگان، استرس در دو سطح "کم" و "متوسط/زیاد" طبقه‌بندی شده است [13]. با بررسی پژوهش‌های پیشین، نیاز به نگاهی فراتر از روش‌های کلاسیک برای تشخیص رابطه بین ویژگی‌های سیگنال‌های فیزیولوژیک و استرس احساس می‌شود. در پژوهش‌های پیشین استرس رانندگی همواره در چند سطح گسسته طبقه‌بندی شده است. در این مقاله نشان داده می‌شود که ثابت درنظرگرفتن سطح استرس در یک دورهٔ زمانی طولانی (به‌طور مثال دوره رانندگی در شهر) فرض منطقی‌ای نیست. همچنین با تأکید بر پیوسته‌بودن استرس در طول رانندگی، با استفاده از روش بدون ناظر Fuzzy c-means، روش برچسب‌زنی جدیدی پیشنهاد می‌شود.

جهت ارزیابی نتایج در حالتی که استرس به‌صورت پیوسته بررسی می‌شود، در مقالات قبلی از دو روش استفاده شده است: ۱- رسم مقدار استرس نسبت به زمان [17-16] یا رسم سطوحی از استرس به‌صورت رنگی [12]. ۲- بررسی میزان همبستگی بین معیار استرس به‌دست‌آمده با روش پیشنهادی و استرس گزارش‌شده توسط افراد شرکت‌کننده در آزمایش [16,19] که موفقیت روش پیشنهادی در تخمین و پیش‌بینی میزان استرس را به‌صورت عددی ارائه می‌دهد. در این مقاله نتایج حاصل از الگوریتم پیشنهادی با استفاده از هر دو روش ارزیابی مورد بررسی قرار گرفته است.

در [16] که آزمایش پایش ۲۴ ساعته پنجاه فرد است، از شرکت‌کنندگان خواسته می‌شود که در زمان‌های مختلف از روز در طول پایش، رتبه‌بندی عینی خود را از استرس احساس‌شده در طول پنج دقیقه گذشته روی مقیاس صفر تا صد گزارش کنند؛ سپس نتایج حاصل از شبیه‌سازی الگوریتم پیشنهادی با رتبه‌بندی عینی مقایسه می‌شود. میزان همبستگی به‌دست‌آمده ۰/۸۱۹۸ است. در [19] نیز طبقه‌بندی‌کننده پیوسته استرس که آن را در شرایط واقعی بدون پیش‌تنظیم می‌توان به کار برد، پیشنهاد شده است. آزمایش‌های استرس در شرایط واقعی و محیط آزمایشگاهی انجام شده و در مراحل مختلف در طول آزمایش از هر هفده شرکت‌کننده چهارده بار خواسته شده تا میزان استرس خود را گزارش کنند. در این پژوهش نیز مقدار استرس به‌دست‌آمده از روش پیشنهادی با رتبه‌بندی عینی

[1] Decision tree
[2] Support Vector Machine
[3] Electro Dermal Activity
[4] Adaptive Neuro Fuzzy Inference System
[5] Heartbeat interval
[6] Stochastic Fuzzy analysis

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-11-06]
[DOI: 10.29252/jsdp.14.4.129]

شرکت‌کنندگان مقایسه شده و میزان همبستگی ۰/۷۱ به‌دست آمده است.

در [17] ابتدا مقدار استرس متناظر با مراکز خوشه، با استفاده از یک نگاشت غیرخطی یکنوا در محدوده [۲ ۱] محاسبه شده است؛ پس از آن با بهره‌گیری از مقادیر عضویت خوشهٔ (محاسبه‌شده توسط الگوریتم خوشه‌بندی فازی) و یک نگاشت غیرخطی، مقادیر استرس برای کل دوره رانندگی در محدوده [۱ ۰] محاسبه می‌شوند.

اگرچه استفاده از نگاشت غیرخطی در چند مرحله نتایجی به‌نسبه قابل قبول ایجاد کرده ، منطقی برای استفاده از آن در مقاله ذکر نشده است. همچنین روش برازش پیشنهادشده نه‌تنها موجب پیچیده‌شدن فرآیند تشخیص استرس می‌شود، بلکه با محدودیت‌هایی نیز روبه‌رو است. به‌عنوان مثال استفاده از نرم ۲ (2-norm) در محاسبه مقدار استرس متناظر با مراکز خوشه موجب شده که مقدار آن نسبت به مرکز مختصات سنجیده شود؛ ازاین‌رو ممکن است مراکز خوشه‌هایی متفاوت، اندازه یکسانی تا مرکز مختصات داشته و نتایج را دچار اشکال کنند؛ به‌علاوه به‌دلیل نوع نگاشت استفاده‌شده، تنها ویژگی‌هایی که با افزایش استرس، روند افزایشی دارند، منجر به یافتن مقدار استرس به‌طور صحیح خواهند شد. همچنین برخی از پارامترهای مورد استفاده در روابط به‌صورت تجربی و با روش آزمون و خطا محاسبه شده‌اند. جهت ارزیابی خروجی نیز تنها مقدار استرس نسبت به زمان رسم‌شده و میزان همبستگی بین معیار استرس و خودگزارشی استرس شرکت‌کنندگان در آزمایش گزارش نشده است.

ادامهٔ این مقاله بدین‌ترتیب سامان یافته است: در بخش دوم ابتدا مجموعه دادگان مورد استفاده در تشخیص استرس معرفی شده و ویژگی‌های استخراج‌شده از آن‌ها توصیف شده‌اند. بخش سوم به توصیف روش به‌کاررفته در خوشه‌بندی دادگان اختصاص دارد. بخش چهارم شامل توصیف الگوریتم پیشنهادی است. شرح پیاده‌سازی الگوریتم پیشنهادی و نتایج به‌دست‌آمده در بخش پنجم ارائه شده است. نتایج حاصله بیانگر این حقیقت است که معیاری نسبی برای استرس پیوسته در طول رانندگی می‌توان ارائه داد که دارای دقت و صحت بالاتری نسبت به نتایج مقالات پیشین باشد. بخش ششم به بحث و بررسی درخصوص درستی فرضیه پیشنهادی می‌پردازد. در پایان، قسمت هفتم از مقاله به جمع‌بندی مباحث مطرح‌شده اختصاص یافته است.

۲- مجموعه دادگان و استخراج ویژگی

۲-۱- پایگاه دادگان

ثبت و اندازه‌گیری سیگنال‌های فیزیولوژیک در شرایط استرس‌زا مستلزم وقت و هزینه زیادی است. خوشبختانه یک مجموعه از دادگان در شرایط رانندگی در PhysioBank در دسترس است. این مجموعه توسط پیکارد و هلی در MIT Media Lab تهیه شده است. در این مجموعه دادگان، آزمایش‌هایی در شرایط رانندگی در شهر و بزرگراه طراحی شده است تا واکنش فیزیولوژیکی راننده در موقعیت‌های واقعی دنبال شود. اجرای آزمایش‌ها در شرایط واقعی این اطمینان را ایجاد می‌کند که نتایج، کاربردی‌تر باشند. از مجموعه افراد شرکت‌کننده در آزمایش سه نفر آزمایش را چندین‌بار تکرار و شش نفر تنها یک بار مسیر رانندگی را کامل طی کرده‌اند. اطلاعات فیزیولوژیک جمع‌آوری‌شده آن‌ها شامل سیگنال‌های ECG، EMG، GSR دست و پا و تنفس است؛ اما با بررسی مجموعه دادگان منتشرشده مشخص می‌شود که تمامی دادگان ثبت‌شده، منتشر نشده‌اند.

از مجموعه منتشرشده نیز تنها بخشی قابل استفاده است؛ زیرا تنها دادگان مربوط به ده رانندگی به‌طورتقریبی کامل هستند [21]. واضح است که استفاده از تمامی سیگنال‌های موجود در مجموعه دادگان مورد نیاز نیست؛ زیرا هر چه سیگنال‌های فیزیولوژیک مورد استفاده و ویژگی‌های استخراج‌شده از آن‌ها بیشتر باشند، هزینه محاسباتی بیشتری باید پرداخته شود. در این مقاله از سیگنال‌های GSR دست و پا، سیگنال نرخ قلبی[1] (HR) و سیگنال EMG از دادگان ده رانندگی (شامل رانندگی‌های ۱۶-۱۵-۱۲-۱۱-۱۰-۹-۸-۷-۶-۵) که اطلاعات کاملی از آنها در دسترس می‌باشد، استفاده شده است.

GSR یکی از انواع پاسخ‌های الکتریکی پوست[2] (EDR) است. سیگنال EDR ناشی از تغییرات در ویژگی‌های الکتریکی پوست انسان است که به‌علت اتفاقات محیطی و وضعیت روانی شخص روی می‌دهد. وقتی استرس شخص افزایش می‌یابد، رطوبت روی سطح پوست افزایش یافته و به‌دلیل افزایش رطوبت، هدایت الکتریکی پوست زیاد شده و درنتیجه GSR افزایش می‌یابد [22-23]. مقاومت پوست

[1] Heart Rate
[2] Electro Dermal Response

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-11-06]
[DOI: 10.29252/jsdp.14.4.129]

به‌طور معمول بزرگ است (به‌طورتقریبی 1MΩ)؛ اما تغییرات آنی در سطح فعالیت غدد عرق باعث تغییرات در مقاومت (ΔR تا حدود تقریبی 950kΩ) می‌شود، که آن را با عبوردادن یک جریان الکتریکی کوچک در میان دو الکترود که روی سطح پوست قرار می‌گیرند، می‌توان اندازه گرفت. در مجموعه دادگان استرس در رانندگی این اندازه‌گیری در کف دست و کف پا انجام می‌شود [1, 18].

ECG تجسم الکتریکی فعالیت‌های انقباضی عضلات قلب است و به‌سادگی توسط الکترودهای سطحی روی سینه یا دست‌ها می‌تواند ثبت شود. نرخ ضربان قلب با محاسبه تعداد قله‌های R روی سیگنال ECG در هر دقیقه اندازه‌گیری می‌شود. هنگامی که شخص استرس دارد، تغییرات محسوسی در سیگنال قلبی وی رخ می‌دهد. به همین جهت استفاده از آن در تشخیص استرس بسیار مؤثر خواهد بود [24].

EMG فعالیت عضلات را با تشخیص ولتاژهای سطحی که با انقباض عضلات اتفاق می‌افتد، اندازه می‌گیرد. برای ثبت EMG در مجموعه دادگان استرس در رانندگی از سه الکترود استفاده شده است؛ دو الکترود در طول محور عضله مورد نظر و سومی که الکترود زمین است، خارج از این محور قرار می‌گیرد. حسگرها برای اندازه‌گیری فعالیت عضله ذوزنقه‌ای پشت شانه‌ای در آزمایش به کار می‌روند. درنهایت RMS[1] سیگنال با متوسط‌گیری ۰/۵ ثانیه‌ای توسط نرم‌افزار Flexcomp ذخیره شده است [18]. حرکات شخص و درنتیجه EMG ثبت شده از وی در زمان استرس، متفاوت از حالت عادی خواهد بود و این امر به تشخیص بهتر استرس فرد کمک می‌کند.

۲-۲- استخراج ویژگی

شگردهای پردازش سیگنال متنوعی برای استخراج ویژگی از سیگنال‌های غیرایستان به کار برده می‌شود. روش‌های پرطرفدار، تبدیل فوریه[2] (FT) و تبدیل ویولت[3] (WT) می‌باشند؛ اما استفاده از این روش‌ها در استخراج ویژگی از سیگنال‌های حیاتی برای تشخیص استرس چندان رایج نبوده و فقدان پژوهشی جامع در مورد کارایی یا عدم کارایی آن‌ها در تشخیص بهتر استرس احساس می‌شود.

[1] Root Mean Square
[2] Fourier Transform
[3] Wavelet Transform

با توجه به این که در این پژوهش ایده جدیدی در برچسب‌زنی سیگنال‌ها در تشخیص استرس ارائه شده است؛ بهتر دیده شد که جهت بررسی درستی ایدهٔ پیشنهادی از ویژگی‌های رایج وکمینه‌ای استفاده شود. درنتیجه ویژگی میانگین برای هر چهار سیگنال ECG ، EMG و GSR دست و پا و ویژگی میانگین قدر مطلق تفاضل[4] برای سیگنال‌های GSR دست و پا انتخاب شد. به بیان دیگر، بردار ویژگی شامل شش ویژگی است. بر اساس پژوهش‌های قبلی در رابطه با ویژگی‌های سیگنال GSR [8,25]، ویژگی قدر مطلق تفاضل یکی از ویژگی‌های مناسب برای این کاربرد است. روابط (۱) و (۲) به‌ترتیب روش محاسبه ویژگی میانگین و ویژگی میانگین قدر مطلق تفاضل را نشان می‌دهند. در این روابط، N تعداد کل نمونه‌های سیگنال و X_n معرف نمونهٔ nام سیگنال است.

$$\mu_X = \frac{1}{N}\sum_{n=1}^{N} X_n \qquad (۱)$$

$$\delta_X = \frac{1}{N-1}\sum_{n=1}^{N-1} |X_{n+1} - X_n| \qquad (۲)$$

۳- خوشه‌بندی با روش Fuzzy c-means

روش خوشه‌بندی Fuzzy c-means با اختصاص مقدار تعلق به هر داده نسبت به هر مرکز خوشه براساس فاصله بین مرکز خوشه و داده کار می‌کند. هرچه داده به مرکز خوشه نزدیک‌تر باشد، میزان تعلق آن به خوشه مورد نظر بیشتر است. واضح است که مجموع میزان تعلق‌های هر داده باید مساوی با یک باشد. در این الگوریتم تعداد خوشه‌ها (c) باید از پیش تعیین شده باشد.

۳-۱- الگوریتم Fuzzy c-means

پس از تعیین تعداد خوشه‌ها، با استفاده از روابط (۳) و (۴)، میزان تعلق و مراکز خوشه در هر تکرار به‌روزرسانی می‌شوند. در این روابط، μ_{ij} عضویت i امین داده به j امین خوشه، d_{ij} فاصله اقلیدسی بین i امین داده به j امین مرکز خوشه، c تعداد مراکز خوشه، m شاخص فازی‌ساز ($m \in [1,\infty)$)، n تعداد دادگان و v_j، j امین مرکز خوشه هستند.

$$\mu_{ij} = 1/\sum_{k=1}^{c}(d_{ij} - d_{ik})^{2/(m-1)} \qquad (۳)$$

[4] Mean absolute difference

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-11-06]
[DOI: 10.29252/jsdp.14.4.129]

$$v_j = \frac{\sum_{i=1}^{n} (\mu_{ij})^m x_i}{\sum_{i=1}^{n} (\mu_{ij})^m}, \forall j = 1,2,\ldots,c \qquad (۴)$$

هدف اصلی الگوریتم Fuzzy c-means کمینه‌کردن رابطه (۵) است. در این رابطه، $\|x_i - v_j\|^2$ فاصله اقلیدسی بین i امین داده و j امین مرکز خوشه است.

$$J(U,V) = \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{c} (\mu_{ij})^m \|x_i - v_j\|^2 \qquad (۵)$$

مراحل الگوریتم خوشه‌بندی Fuzzy c-means را به‌صورت زیر، می‌توان خلاصه کرد. اگر $X=\{x_1,x_2,\ldots,x_n\}$ مجموعه دادگان و $v=\{v_1,v_2,\ldots,v_c\}$ مراکز خوشه‌ها باشند:

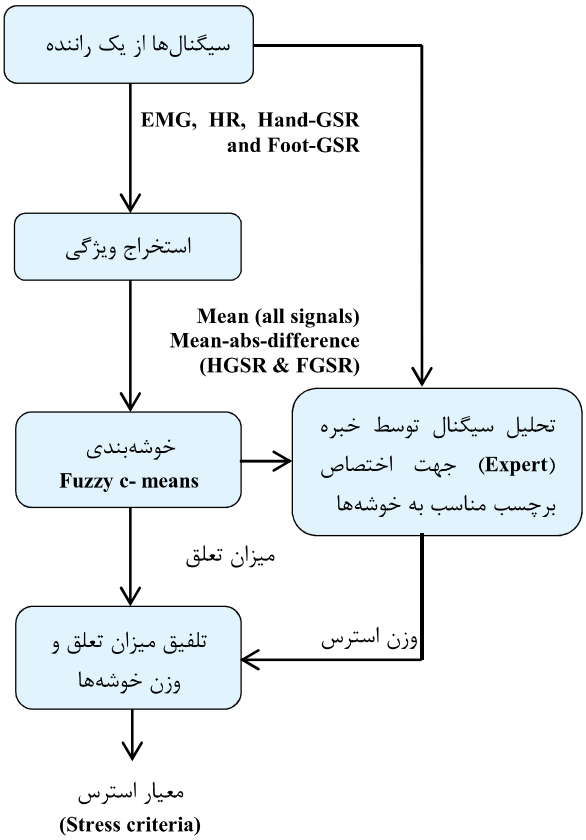
۱. انتخاب c مرکز خوشه به‌صورت تصادفی؛
۲. محاسبه مقادیر تعلق فازی μ_{ij} با استفاده از رابطه (۳)؛
۳. محاسبه مراکز فازی v_j با استفاده از رابطه (۴)؛
۴. تکرار مراحل ۲و ۳ تا کمینهٔ مقدار J به‌دست آید (رابطه ۵) یا $\|U^{(k+1)} - U^{(k)}\| < \beta$ شود.

درحالی‌که k مرحله تکرار، β معیار خاتمه بین [0,1]، $U=(\mu_{ij})_{n*c}$ ماتریس مقادیر تعلق فازی و J تابع هدف است [26].

۴- الگوریتم پیشنهادی

به‌طورکلی پیاده‌سازی سامانه‌ای برای تشخیص استرس فرد در حین رانندگی، نیازمند مراحل متعددی است. در الگوریتم پیشنهادی روش جدیدی براساس استفاده از مفهوم فازی جهت ارائه معیاری کمی برای استرس فرد در هر زمان ارائه شده است. شکل (۱) نمودار جریانی الگوریتم پیشنهادی را نشان می‌دهد. مراحل انجام کار شامل دریافت سیگنال‌های HR، GSR دست و پا و EMG از مجموعه دادگان استرس در رانندگی، و سپس استخراج ویژگی از آن‌ها است.

مرحله بعدی، خوشه‌بندی با روش Fuzzy c-means و تولید میزان تعلق برای اعضای هر خوشه است. به‌طور موازی خبره با استفاده از اطلاعات سیگنال‌ها و نتایج خوشه‌بندی، به هر خوشه یک برچسب اختصاص می‌دهد. با توجه به برچسب خوشه‌ها، وزن متناظر به آن تعلق می‌گیرد. مرحله پایانی تلفیق میزان تعلق و وزن برای دستیابی به معیار استرس است. در بخش بعدی به توضیح هر یک از این مراحل و ارائه نتایج پیاده‌سازی آن‌ها پرداخته می‌شود.



(شکل-۱): نمودار جریانی الگوریتم پیشنهادی

(Figure-1): Block diagram of proposed algorithm

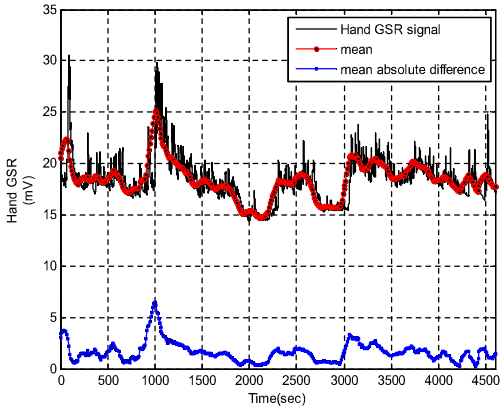
۵- پیاده‌سازی و نتایج

از مجموع سیگنال‌های در دسترس برای ده رانندگی، سیگنال‌های GSR دست و پا ، HR و EMG انتخاب شده‌اند. از هر بخش صدثانیه‌ای از سیگنال با همپوشانی نود درصد، شش ویژگی شامل چهار ویژگی از GSR دست و پا (میانگین و میانگین قدرمطلق تفاضل) و دو ویژگی میانگین ازسیگنال‌های نرخ قلبی و EMG استخراج می‌شوند.

شکل (۲) عملکرد ویژگی‌های میانگین و میانگین قدرمطلق تفاضل را در دنبال‌کردن اطلاعات سیگنال GSR دست نشان می‌دهد. دایره‌های قرمزرنگ، ویژگی میانگین و مربع‌های آبی‌رنگ، ویژگی میانگین قدرمطلق تفاضل را که روی سیگنال GSR رسم شده‌اند، نشان می‌دهند؛ سپس ماتریس ویژگی‌ها به خوشه‌بندی‌کننده Fuzzy c-means با پنج خوشه داده می‌شود. در خروجی آن مراکز خوشه‌های فازی و ماتریس مقادیر تعلق فازی را برای پنج خوشه خواهیم داشت. پس از خوشه‌بندی سیگنال توسط روش Fuzzy c-means ، در هر خوشه به‌ازای هر ده ثانیه از سیگنال یک مقدار تعلق به خوشه مورد نظر وجود دارد که

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-11-06]
[DOI: 10.29252/jsdp.14.4.129]

معیار مناسبی برای نشـــان‌دادن میـزان اسـترس فـرد در آن زمان می‌تواند باشد.



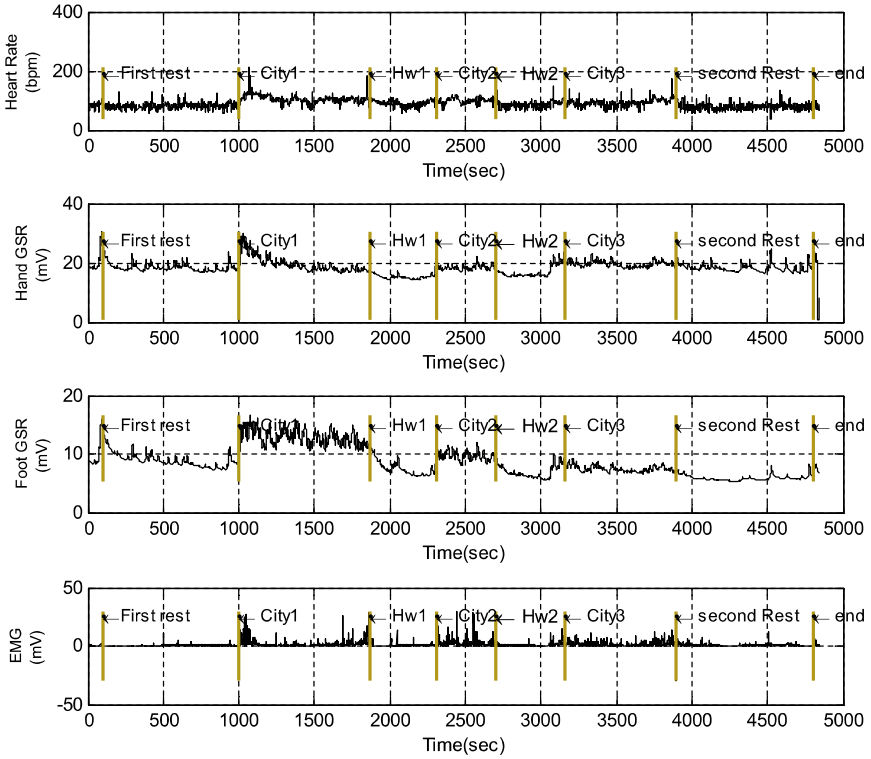
(شکل-۲): نمایش ویژگی‌های سیگنال GSR دست

(Figure-2): The figure Shows features of GSR of right hand

بـا توجـه بـه ایـن کـه دادگـان در پـنج خوشـه قـرار گرفته‌اند، به هر خوشه با توجه به میزان تعلق آن در فواصـل زمانی آزمـایش یـک برچسـب مناسـب توسـط خبـره تعلـق می‌گیرد. برچسب این پنج خوشه عبارتند از استرس «خیلـی کم»، «کم»، «متوسط»، «زیاد» و «خیلی زیاد» که بـه‌ترتیب متناظر با کمترین استرس تا بیشترین استرس هستند. بدین ترتیب فرد خبره بـا بررسـی سـیگنال‌های ورودی، اطلاعـات موجـود از مجموعـه دادگـان و خروجـی خوشـه‌بندی‌کننده تصمیم می‌گیرد که کدام برچسـب بـه چـه خوشـه‌ای تعلـق بگیرد. به‌عنوان مثال خوشه‌ای که میزان تعلق آن در ابتـدا و انتهای کـل دوره آزمـایش نسـبت بـه سـایر زمان‌هـا بیشـتر (مقادیر نزدیک به ۱) است، استرس «خیلـی کـم» برچسـب زده می‌شود. دلیل این اختصاص آن است که خبـره می‌دانـد که ابتدا و انتهای زمان آزمایش فرد در حال استراحت بوده و کمترین مقدار استرس را تجربه می‌کند؛ سپس بـا توجـه بـه برچسب خوشه، اختصاص وزن بـه ایـن خوشـه‌ها بـه روشـی منطقی و قاعده‌مند انجام شده است؛ بـه‌طوری‌که به خوشه با برچسب «خیلی کم» وزن ۰/۰۱ (کمترین مقدار وزن) و بـــه خوشه با برچسب «خیلی زیاد» وزن ۱ (بیشترین مـقدار وزن) اختصاص یافته است. وزن دیگرخوشه‌ها نیز به‌طور یکنواخت در ایـن محـــدوده توزیع شده است؛ بـه‌طوری‌کـه بـه‌کم، متوسط و زیاد بـــه‌ترتیب وزن‌های ۰/۲۵، ۰/۵ و ۰/۷۵اختصاص یافته یافته است. بنابراین بردار وزن پایه به‌صورت زیر به‌دست می‌آید:

$$w_{ini} = [0.01, 0.25, 0.5, 0.75, 1]$$

آنچه خبره لازم است، انجام دهد اختصـاص برچسـب مناسب از مجموعه استرس خیلی کم، کـم، متوسـط، زیـاد و خیلی زیاد به خوشه‌های پنج‌گانه حاصل از خوشه‌بندی فازی است. ازاین‌رو، وزن‌های اختصاص‌داده‌شـده بـه خوشـه‌ها بـه همان ترتیب حاصل از خوشه‌بندی فازی، جایگشتی از بـردار وزن پایه بالا خواهد بود.

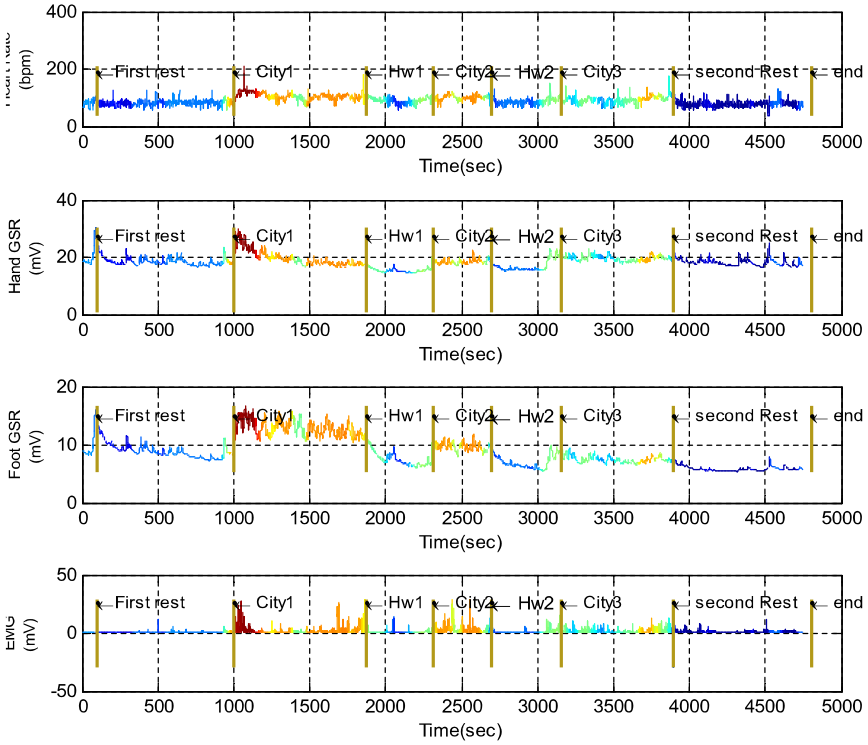


(شکل-۳): نمایش سیگنال‌های فیزیولوژیک ثبت‌شده طی یک رانندگی در آزمایش تشخیص استرس همراه با برچسب وقایع

(Figure-3): Illustration of the physiological signals collected during driving along with the period's labels.

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-11-06]

[DOI: 10.29252/jsdp.14.4.129]



(شکل-۴): نمایش سیگنال‌های فیزیولوژیک ثبت‌شده طی یک رانندگی در آزمایش تشخیص استرس همراه با برچسب وقایع و اختصاص رنگ به میزان استرس.

(Figure-4): Illustration of the physiological signals collected during driving along with the period's labels and color representation of the stress criteria

پس از اختصاص وزن خوشه‌ها، در هر پنجره، میزان تعلق به‌دست‌آمده از روش c-means Fuzzy در وزن اختصاص داده شده به آن خوشه ضرب شده و اعداد حاصل برای پنج خوشه با یکدیگر جمع می‌شوند؛ سپس عدد به‌دست‌آمده، با هدف کمی‌سازی میزان استرس، به مقیاس عددی ۱ تا ۱۰۰ برده می‌شود. جهت نمایش بهتر با استفاده از colormap در برنامه MATLAB، مجموعه‌ای صد عضوی از رنگ‌ها در محدودهٔ رنگی آبی تا قرمز تعریف می‌شود. عدد به‌دست‌آمده از تلفیق وزن و میزان تعلق درصورتی‌که به مقیاس یک تا صد برده شده باشد، برابر با یکی از سطرهای مجموعه رنگ‌ها بوده و در نتیجه آن رنگ به عدد میزان استرس در پنجره مورد نظر اختصاص داده می‌شود.

همان‌طورکه پیش‌تر مطرح شد، میزان وزن کمتر مربوط به سطوح استرس پایین است که در اینجا نیز رنگ‌های سردتر (آبی، فیروزه‌ای) به آن‌ها تعلق گرفته است. در مقابل، وزن‌های بیشتر به خوشه‌های معرف استرس زیاد داده شده بود که در این مرحله نیز رنگ‌های گرم‌تر (قرمز، زرد) به آن‌ها اختصاص داده می‌شود. وزن میانی مربوط به استرس متوسط است که محدودهٔ رنگی نزدیک به سبز برای آن انتخاب شده است. شکل(۳) سیگنال‌های HR، GSR دست و پا و EMG را برای یک رانندگی نشان می‌دهد. بازه‌های زمانی استراحت، شهر و بزرگراه روی سیگنال‌ها مشخص شده‌اند. شکل (۴) نتیجه پیاده‌سازی الگوریتم با اختصاص رنگ به تلفیق وزن و میزان تعلق را برای تمامی پنجره‌های سیگنال روی سیگنال‌های نام‌برده‌شده نشان می‌دهد.

۶- بحث

پیش از آن که به بررسی نتایج خوشه‌بندی و روش تلفیق وزن و تعلق پرداخته شود، بهتر است، شرایط آزمایش تشخیص استرس در رانندگی با دقت بیشتری بررسی شود. طبق اطلاعات گزارش‌شده در [18] مسیر آزمایش استرس در رانندگی ۲۷ بار تکرار شده است. بدین صورت که سه راننده نخست هر کدام هفت بار و شش نفر بعدی هر کدام یک بار مسیر رانندگی آزمایش را طی کرده‌اند. پس از هر بار طی مسیر، پرسش‌نامه‌ای به رانندگان داده شده تا سطح استرس خود را نسبت به وقایع پیش‌بینی‌شده مسیر از عدد یک (بدون استرس) تا عدد پنج (بسیار استرس‌زا) درجه‌بندی کنند. میانگین این درجه‌بندی برای هر فرد به‌دست آمده

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-11-06]
[DOI: 10.29252/jsdp.14.4.129]

است. جدول (۱) میانگین این درجه‌بندی را برای تمامی افراد شرکت‌کننده در آزمایش در پانزده واقعهٔ پیش‌بینی‌شدهٔ مسیر رانندگی نشان می‌دهد. در برچسب‌زنی مجموعه دادگان استرس در رانندگی، عوارضی‌ها، عبور از پل و ورود و خروج از پارکینگ جزء شهر (سطح استرس زیاد) در نظر گرفته شده است.

(جدول-۱): خلاصه‌ای از اتفاقات مسیر رانندگی و میانگین درجه‌بندی استرس به‌علاوه برچسب ارائه‌شده برای وقایع در مجموعه دادگان.

(Table-1): A summary of driving events and the mean of stress rating along with given labels for events in dataset.

تعداد	شرح واقعه	درجه‌بندی استرس	برچسب موجود در مجموعه دادگان
۱	آغاز دوره توقف (استراحت۱)	۱	استرس کم
۲	خروج از پارکینگ	۲	استرس زیاد
۳	جاده شهری (شهر ۱)	۴	استرس زیاد
۴	عوارضی	۳	استرس زیاد
۵	بازه رانندگی در بزرگراه (بزرگراه ۱)	۳	استرس متوسط
۶	عوارضی	۳	استرس زیاد
۷	رمپ خروجی بازگشت (شهر ۲)	۵	استرس زیاد
۸	عوارضی	۳	استرس زیاد
۹	دوره رانندگی در بزرگراه (بزرگراه ۲)	۳	استرس متوسط
۱۰	ادغام شدن دو مسیر	۵	استرس زیاد
۱۱	عوارضی	۳	استرس زیاد
۱۲	عبور از پل	۴	استرس زیاد
۱۳	جاده شهری (شهر ۳)	۴	استرس زیاد
۱۴	ورود به پارکینگ	۱	استرس کم
۱۵	بازه زمانی توقف آخر (استراحت۲)	۱	استرس کم

از مجموع ۲۷ ثبت طی مسیر رانندگی، بخشی از آن‌ها به‌دلیل ازدست‌رفتن دادگان و یا انحراف از مسیر رانندگی قابل استفاده نبوده‌اند. انجام آزمایش‌ها در محیط طبیعی منجر به رخ‌دادن اتفاقات غیر قابل پیش‌بینی زیادی می‌شود. برای مثال نفر پنجم از شرکت‌کنندگانی که یک بار آزمایش را انجام داده‌اند، در بخش نخست رانندگی در بزرگراه یک خروج ناخواسته دارد. علاوه‌براین، در طول دوره زمانی استراحت، فرد به‌دلیل نیاز به دستشویی بی‌تاب است.

همچنین در ششمین روز از انجام آزمایش رانندگی نفر سوم، مسیر در قسمت شهر بسته است و مسیر جایگزین طی می‌شود. برای نفر دوم نیز در دومین روز تکرار رانندگی تصادفی جزئی پیش می‌آید. درواقع به‌دلیل پیشامد چنین وقایع غیر قابل پیش‌بینی در [18] تأکید شده است که اگر بازهٔ زمانی خیلی کوتاه در نظر گرفته شود، روش نسبت به این وقایع حساس شده و طبقه‌بندی اشتباه انجام خواهد شد. اما اگر پنجره به‌طورتقریبی بزرگ باشد، به اندازهٔ کافی داده مطابق با فرض درست، در آن بازه زمانی برای یک طبقه‌بندی صحیح وجود خواهد داشت. در بسیاری از مقالات دیگر نیز با تکیه بر این فرض، طبقه‌بندی روی بازه‌های زمانی بزرگ (به‌عنوان مثال پنج دقیقه) انجام گرفته است [13, 21, 27-28].

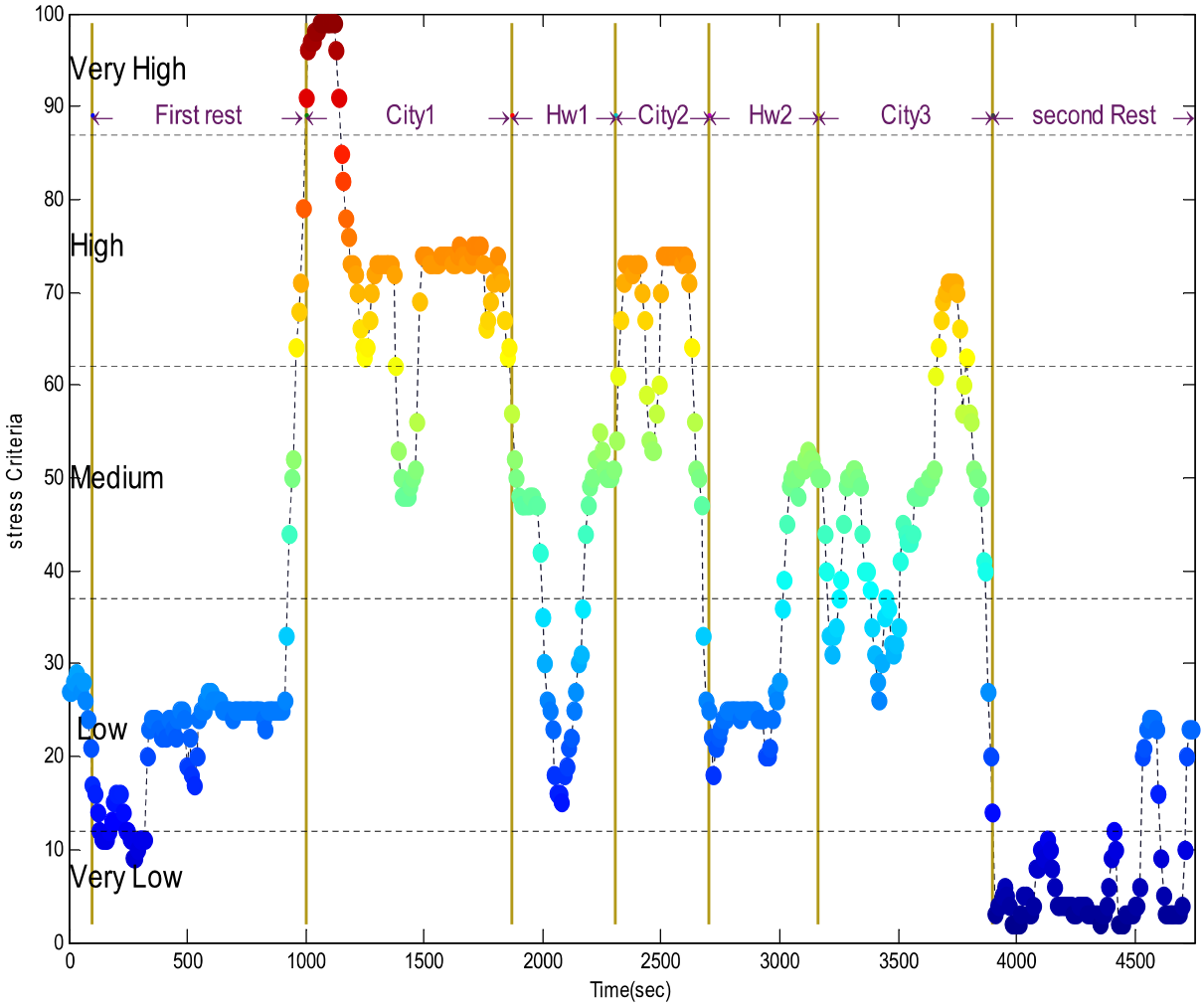
یافته‌های مقاله حاضر این فرضیه را رد کرده و بر پیوسته‌بودن استرس در طول آزمایش استرس در رانندگی تأکید دارد. به‌علاوه در شرایط رانندگی واقعی هر لحظه انتظار اتفاق جدیدی می‌رود. شرایط روحی و جسمی افراد، سن، جنس، تجربه و مهارت آن‌ها روی میزان استرس مؤثر بوده و موجب تغییر میزان استرس فرد به‌صورت غیرمنتظره و غیرقابل پیش‌بینی می‌شوند.

بررسی نتایج بخش ۵، پیوسته درنظرگرفتن استرس افراد در حین رانندگی را تأیید می‌کند؛ اما اگر به جای ترسیم معیار استرس روی سیگنال اصلی، به‌طور مستقل در هر پنجره زمانی رسم شود، دید بهتری از نتیجه الگوریتم پیشنهادی ایجاد می‌شود. شکل (۵) این ترسیمه را برای یکی از رانندگان نشان می‌دهد.

همان‌طورکه در شکل نیز مشخص است، معیار نسبی ارائه‌شده برای استرس به‌صورت پیوسته در طول دوره رانندگی تغییر می‌کند و به‌طور واضحی نشان‌دهندهٔ استرس فرد در هر لحظه از آزمایش است. اگر به بازه‌های زمانی رانندگی در شهر، بزرگراه و یا استراحت به‌طور مستقل توجه شود، علاوه‌بر تطابق معیار معرفی‌شده با سطح استرس در نظر گرفته‌شده در پژوهش‌های پیشین، نشان می‌دهد که ثابت درنظرگرفتن سطح استرس در یک بازه زمانی فرض درستی نیست. همچنین دقت بالای روش پیشنهادی نیز به‌خوبی مشخص می‌شود. به‌عنوان مثال در دوره‌های استراحت، میزان استرس فرد در محدوده‌های پایین یا بسیار پایین تغییر می‌کند. در مطالعات قبلی سطح استرس در ۲ دوره استراحت به‌طور ثابت پایین در نظر گرفته شده بود. در بازه‌های زمانی رانندگی در شهر نمی‌توان به طور کلی

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-11-06]
[DOI: 10.29252/jsdp.14.4.129]

قضاوت کرد؛ زیرا در بخش نخست میزان استرس در محدوده‌های بالا و بسیار بالا تغییر می‌کند. در بخش دوم و سوم به‌طورتقریبی در محدوده‌های بالا و متوسط تغییر می‌کند. درواقع آن چه در مورد روش پیشنهادی قابل دفاع است، نشان‌دادن تغییرات جزئی در استرس فرد حین رانندگی است؛ درحالی‌که در مطالعات قبلی روی این مجموعه دادگان، رانندگی در شهر به‌طور کاملاً ثابت استرس بالا در نظر گرفته شده بود. به‌طور مشابه در دوره رانندگی در بزرگراه نیز میزان استرس به‌صورت هموار بین محدوده‌های پایین و متوسط تغییر می‌کند. در این حالت نیز متوسط درنظرگرفتن سطح استرس برای کل دوره رانندگی در بزرگراه منطقی به‌نظر نمی‌رسد. علاوه‌براین، یکی دیگر از ویژگی‌های این ترسیمه، قابل بررسی‌بودن اتفاقات غیرمنتظره، تجربه و مهارت شخص در کنترل استرس در شرایط استرس‌زا است. به‌عنوان مثال در ترسیمه شکل (۵) به‌نظر می‌رسد که راننده در ابتدای محدوده شهر یک که طبق جدول (۱) همان مرحله خروج از پارکینگ است دچار استرس خیلی زیادی شده است؛ پس می‌توان نتیجه‌گیری کرد که راننده مورد نظر در خروج از پارکینگ‌های طبقاتی تجربه لازم را ندارد.



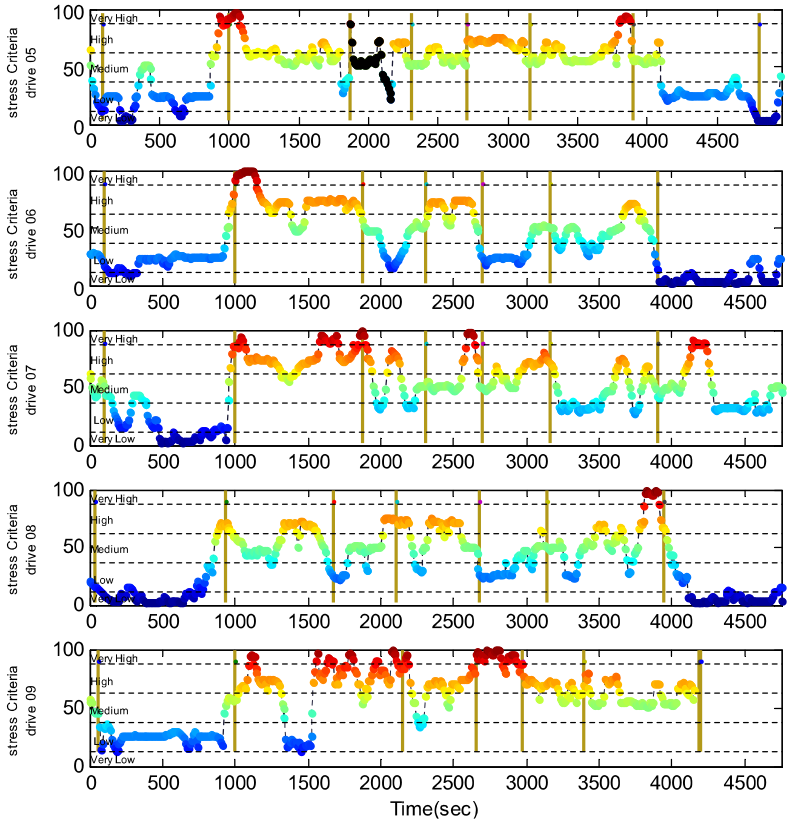
(شکل-۵): معیار استرس برای یکی از رانندگان

(Figure-5): stress criteria for a subject

موارد مشابه برای طی مسیرهای دیگر که در شکل‌های (۶) و (۷) نشان داده شده است، نیز وجود دارد. برخی در بزرگراه بهتر رانندگی می‌کنند و برخی دیگر در شهر، شرایط استرس‌زای پیش‌آمده را کنترل کرده‌اند. شکل‌های (۶) و (۷) ترسیمه معیار استرس را برای تمامی ده راننده در دسترس نشان می‌دهند. در رانندگی شماره (۰۵)، در بخشی از بزرگراه سیگنال نرخ قلبی راننده از دست رفته است که در سطر نخست از شکل (۶) به رنگ سیاه دیده می‌شود. همچنین در رانندگی‌های (۰۹) و (۱۶) دوره استراحت دوم به‌دلیل دردسترس‌نبودن سیگنال، وجود ندارد.

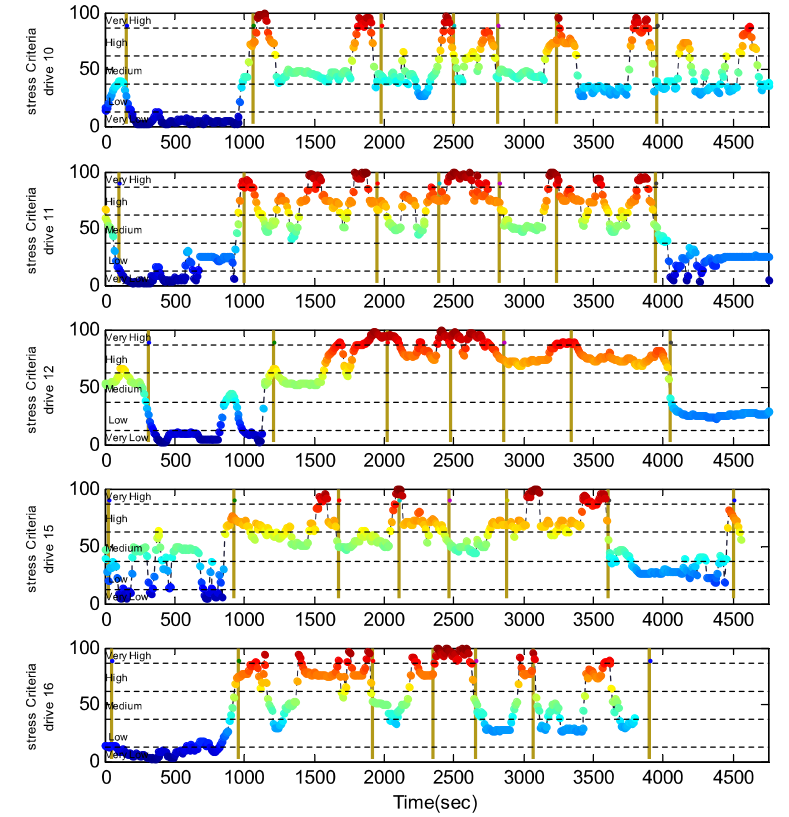
[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-11-06]

[DOI: 10.29252/jsdp.14.4.129]



(شکل-۶): معیار استرس برای رانندگی های(۰۸،۰۷،۰۶،۰۵و۰۹)

(Figure-6): Stress criteria for several driving (08, 07, 06, 05 and 09)



(شکل-۷): معیار استرس برای رانندگی های(۱۵،۱۲،۱۱،۱۰و۱۶)

(Figure-7): Stress criteria for several driving (10, 11, 12, 15 and 16)

با دقت به شکل‌های (۶) و (۷) واضح است که هر فرد با توجه به شرایط روحی، جسمی، جنس، مهارت و شرایط محیطی روز آزمایش ، میزان استرس متفاوتی در زمان‌ها و مکان‌های مختلف از خود بروز می‌دهد. به‌عنوان مثال، غیر از

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-11-06]
[DOI: 10.29252/jsdp.14.4.129]

سه طـی مسـیر (۰۸ ، ۱۲ و ۱۵)، بقیـه در هنگـام خـروج از پارکینگ دچار استرس زیادی شده‌اند و یا در مورد رانـنـدگی (۰۷) می‌توان گفت که فرد مورد نظر از نظر جسمی یا روحی دچار مشکلی است که باعث ایجاد استرس به‌طورتقریبی زیاد در کل دوره رانـنـدگی و حتـی در طـول دوره اسـتراحت دوم شده است.

همچنـین در رانـنـدگی شـماره (۱۰) رانـنـده در دوره استراحت دوم دچار بی‌تابی است. با بررسی هـر یـک از ایـن نتایج و تطبیق آن‌ها بـا گزارش‌هـای رانـنـدگان و یـا تصـاویر ضبط‌شده از رانندگان، به‌صورت موشـکافانه، میـزان اسـترس فرد در هر لحظه را می‌توان توجیه کرد. درمجمـوع می‌تـوان نتیجه گرفت که اگرچه میانگین میزان استرس را بـه نسـبت شرایط مکانی یک سطح مشخص می‌توان در نظر گرفت، امـا روش پیشنهادی توانسته است، علاوه‌بر سازگاری و تطبیق بـا این میانگین، میزان استرس را در هر زمـان بـه‌طور دقیـق‌تر تعیین کند.

به‌منظور ارزیابی کمی و مقایسه بـا دیگـر پژوهش‌هـا، معیار همبستگی بین معیار استرس به‌دست‌آمده از الگـوریتم پیشنهادی بـا رتبه‌بنـدی عینـی شـرکت‌کنندگان نیـز مـورد بررسی قرار گرفت. در مجموعه دادگان استرس در رانـنـدگی، شرکت‌کنندگان میزان اسـترس خـود را در مراحـل مختلـف رانندگی در محدوده یک تا پنج رتبه‌بندی کرده‌اند. میـانگین ایـن رتبه‌بنـدی بـرای تمـامی شـرکت‌کنندگان در [18] همان‌طورکه در جدول (۱) نشان داده شده، ارائه شده است.

در مقاله حاضر معیار استرس به‌صورت پیوسته در بازه یک تا صد به‌دست آمده اسـت کـه بـرای انجـام مقایسـه بـا رتبه‌بندی شرکت‌کنندگان در آزمایش، ابتدا میـانگین معیـار استرس در مراحل مختلف رانندگی (استراحت نخست، شهر نخست، بزرگراه نخست، شهر دوم، بزرگراه دوم، شهر سـوم و استراحت دوم) محاسبه شده و پس از آن به مقیاس یک تـا پنج برده می‌شـود؛ درنهایـت مقـدار همبسـتگی بـین معیـار استرس به‌دسـت‌آمده از الگـوریتم پیشـنهادی بـا رتبه‌بنـدی عینی شرکت‌کنندگان مقایسه شده و میزان همبستگی آن‌ها به‌دست می‌آید. جدول (۲) میـزان همبسـتگی را بـا کارهـای قبلی مقایسه می‌کند. مقایسه مقادیر همبستگی نشـان‌دهندۀ بهبود ایجادشده توسط روش پیشنهادی است.

(جدول-۲): مقایسه میزان همبستگی در الگوریتم پیشنهادی و مطالعات قبلی

(Table-2): Comparison of the correlation value between the proposed algorithm and the previous studies

روش	میزان همبستگی
کومار و همکاران،۲۰۱۲	0.8198
پلار و همکاران، ۲۰۱۱	0.71
روش پیشنهادی	0.8614

در پژوهش‌هـای بعـدی، بـا اسـتفاده از دادگـان و برچسـب‌های نظیـر، اختصـاص وزن‌هـا را بـه صـورت غیریکنواخـت می‌تـوان مـورد بررسـی قـرار داد. اسـتفاده از الگوریتم‌های فراابتکاری در یافتن تعداد مناسب خوشه‌ها نیـز قابل بررسی است. درنهایت قصد داریم کارآیی ایدۀ «استفاده از دادگان با برچسب زمخت جهت دسـتیابی بـه معیـاری پیوسته و دقیق» را برای دیگر حوزه‌هـا نظیـر «سـیگنال‌های قلبـی بـا برچسـب نـوع آریتمـی» یـا «سـیگنال‌های الکتروانسفالوگرام با برچسب شرایط احساسی» مورد ارزیـابی قرار دهیم.

۷- نتیجه‌گیری

در ایـن مقالـه روش جدیـدی بـرای تحلیـل سـیگنال‌های فیزیولوژیک ثبت‌شده حین رانندگی، جهت تشخیص استرس در رانندگان پیشنهاد شده است. روش پیشنهادی با اسـتفاده از دانش موجود در دادگان و برچسب‌های گسسته و نـادقیق، با روشی منطقی و قاعده‌منـد، اسـترس را به‌صـورت پیوسـته تعیین می‌کند. این روش براساس روش خوشـه‌بندی Fuzzy c-means و استفاده از نظر خبره جهت اختصاص برچسب به خوشه‌ها و سپس، تلفیق میزان تعلق و وزن جهت رسیدن به معیاری برای استرس فرد بنا شده است. این روش عـلاوه بـر آن که نشان می‌دهد ثابـت درنظرگـرفتن سـطح اسـترس در یک بازۀ زمانی طولانی از رانندگی درست و منطقـی نیسـت، معیاری پیوسته از میزان استرس در کل دوره رانندگی ارائـه می‌کند که با استفاده از آن در هر لحظه میزان استرس فـرد را می‌توان تشخیص داد.

۸- مراجع 8-References

[1] یونسی هـروی محمـد امـین، خلیـل زاده محمـد علـی، صـرافان رسـول و آذرنـوش مهـدی، "تشـخیص دروغ بـر

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-11-06]

[DOI: 10.29252/jsdp.14.4.129]

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-11-06]

[DOI: 10.29252/jsdp.14.4.129]

مبنـــای ســـیگنال‌هـــای فوتوپلتیســـموگراف و مقاومـــت الکتریکی پوست با استفاده از شبکه‌ی عصـبی"، پـردازش علائم و داده‌ها، شـماره ۹ (پیـاپی ۲) ، صـفحات ۴۹-۶۰، ۱۳۹۱.

[1] M. A. Younesi Heravi, M. A. Khalilzadeh, R. Sarafan, and M. Azarnoosh, "Lie detector system based on PhotoPlethysmoGraph (PPG) and Galvanic Skin Response (GSR) signals by means of neural network," Signal and Data processing, vol. 9, no. 2, pp. 49-60, 2013.

[2] C. S. Segerstrom and E. G. Miller, "Psychological stress and the human immune system: a meta-analytic study of 30 years of inquiry," Psychological Bulletin, vol. 130, no. 4, pp.601-630, 2004.

[3] J. 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, 2005.

[4] C. D. Katsis, N. Katertsidis, G. Ganiatsas, and D. I. Fotiadis, "Toward Emotion Recognition in Car-Racing Drivers: A Biosignal Processing Approach," IEEE Transaction on systems, man, and cybernetics-part a: systems and humans, vol. 38, no. 3, pp. 502-512, 2008.

[5] J. Zhai and A. Barreto, "Stress detection in computer users through non-invasive monitoring of physiological signals," Biomedical Science Instrumentation, vol. 42, pp.495–500, 2006.

[6] S. de Sierra, C. S. Avila, G. Bailador, and J.G. Casanova, "A stress detection system based on physiological signals and fuzzy logic," IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 58, no. 10, pp. 4857-4865, 2011.

[7] N. Sharma and T. Gedeon, "Objective measures, sensors and computational techniques for stress recognition and classification: A survey," computer methods and programs in biomedicine, vol. 108, pp. 1287–1301, 2012.

[8] J.J.G. de Vries, S. C. Pauws, and M. Biehl, "Insightful stress detection from physiology modalities using Learning Vector Quantization," Neurocomputing, vol. 151, pp. 873–882, 2015.

[9] B. Park, E. Jang, M. Chung, and S. Kim, "Design of Prototype-Based Emotion Recognizer Using Physiological Signals," ETRI Journal, vol. 35, no. 5, pp. 869-879, 2013.

[10] S.A. Hosseini and M.A. Khalilzadeh, "Emotional stressrecognition system using EEG and psychophysiological signals: using new labelling process of EEG signals in emotional stress state," International Conference of Biomedical Engineering and Computer Science (ICBECS), pp.1–6, 2010.

[11] T. Lin, M. Omata, W. Hu, and A. Imamiya, "Do physiological data relate to traditional usability indexes?" Proceeding of the 17th Australia Conference on Computer–Human Interaction: Citizens Online: Considerations for Today and the Future, pp.1–10, 2005.

[12] M. Kumar, M. Weippert, R. Vilbrandt, S. Kreuzfeld, and R. Stoll, "Fuzzy Evaluation of Heart Rate Signals for Mental Stress Assessment," IEEE Transactions on fuzzy systems, vol. 15, no. 5, pp. 791-808, 2007.

[13] J. Wang, Ch. Lin, and Y. Yang, "A k-nearest-neighbor classifier with heart rate variability feature-based transformation algorithm for driving stress recognition," Neurocomputing, vol. 116, pp. 136–143, 2013.

[14] C. Setz, B. Arnrich, J. Schumm, R. La Marca, G. Troster, and U. Ehlert, " Discriminating Stress From Cognitive Load Using a Wearable EDA Device," IEEE Transactions on information technology in biomedicine, vol. 14, no. 2, pp. 410-417, 2010.

[15] Z. Dharmawan, "Analysis of Computer Games Player Stress Level Using EEG Data," M.S. thesis, Dep. Elect. Eng., Delft Univ., Netherlands, 2007.

[16] M. Kumar, S. Neubert, S. Behrendt, A. Rieger, M. Weippert, and N. Stoll, "Stress Monitoring Based on Stochastic Fuzzy Analysis of Heartbeat Intervals," IEEE Transactions on fuzzy systems, vol. 20, no. 4, pp. 746-759, 2012.

[17] M. Jiang and Z. Wang, "A method for stress detection based on FCM algorithm," 2nd International Congress on Image and Signal Processing, CISP. , pp. 1 – 5, 2009.

[18] J. Healey, "Wearable and automotive systems for affect recognition from physiology," PhD thesis Dep. Elect. Eng. and comp. science, MIT Univ., 2000.

[19] PHYSIONET, Stress Recognition in Automobile Drivers (drivedb), http://physionet.org/

[20] K. Plarre, A. Raij, S.M. Hossain, A. Ahsan Ali, M. Nakajimaz, M. al'Absiz, E. Ertin, T. Kamarck, S. Kumar, M. Scott, D. Siewioreky, A. Smailagicy, E. Wittmers, and z. Jr, "Continuous Inference of Psychological Stress from Sensory Measurements Collected in the Natural Environment," 10th International Conference on Information Processing in Sensor Networks (IPSN), pp.12-14, 2011.

[21] Y. Deng, Z. Wu, Ch. Chu, and T. Yang, "Evaluating Feature Selection for Stress Identification," 13th International Conference on

Information Reuse and Integration (IRI), pp.584-591, 2012.

[22] L. H. Miller and B. M. Shmavonian, "Replicability of two GSR indices as a function of stress and cognitive activity," Journal of Personality and Social Psychology, pp.753–756, 1965.

[23] B.S. McEwen and R.M. Sapolsky, "Stress and cognitive function," Journal of Current Opinion in Neurobiology, vol. 5, pp. 205–216, 1995.

[24] U. R. Acharya, K. P. Joseph, N. Kannathal, C. M. Lim, J. S. Suri, "Heart rate variability: a review," Medical and biological engineering and computing, vol. 44, no. 12, pp. 1031-51, 2006.

[25] D. Giakoumis, D. Tzovarasa, and G. Hassapis, "Subject-dependent biosignal features for increased accuracy in psychological stress detection," International Journal of Human-Computer Studies, vol. 71, pp. 425–439, 2013.

[26] M. Li, S. Yi-chun, L. Yin , Y. Hong, and X. Wei, "Research of Improved Fuzzy c-means Algorithm Based on a New Metric Norm," Journal of Shanghai Jiaotong Univ. (Sci.), vol. 20, no.1, pp. 51-55, 2015.

[27] M. Singh and A. Queyam, "Stress Detection in Automobile Drivers using Physiological Parameters: A Review," International Journal of Electronics Engineering, vol. 5, no. 2, pp. 1-5, 2013.

[28] A. Akbas, "Evaluation of the Physiological Data Indicating the Dynamic Stress Level of Drivers," Scientific Research and Essays, vol.6, no.2, pp.430-439, 2006.



سارا پورمحمدی مدرک کارشناسی برق -الکترونیک خود را در سال ۱۳۸۶ و مدرک کارشناسی ارشد مهندسی پزشکی- بیوالکتریک خود را در سال ۱۳۹۰ از دانشگاه شاهد اخذ کرد. وی اکنون به‌عنوان دانشجوی دکترا در رشتهٔ مهندسی پزشکی- بیوالکتریک در دانشگاه سمنان مشغول به تحصیل است. زمینهٔ پژوهشی مورد علاقهٔ ایشان پردازش سیگنال‌های حیاتی و تشخیص استرس است.

نشانی رایانامه ایشان عبارت است از:

pourmohammadi@semnan.ac.ir



علی مالکی مدرک کارشناسی خود را در رشته برق-الکترونیک در سال ۱۳۷۷ اخذ کرد و تحصیلات خود را در مقطع کارشناسی ارشد (۱۳۸۱) و دکترا (۱۳۸۷) در رشته مهندسی پزشکی- بیوالکتریک در دانشگاه صنعتی امیرکبیر گذراند. ایشان در حال حاضر استادیار گروه مهندسی پزشکی- بیوالکتریک در دانشگاه سمنان است. زمینهٔ پژوهشی مورد علاقهٔ ایشان مدل‌سازی و کنترل سامانه‌های بیولوژیکی و پردازش سیگنال‌های حیاتی است.

نشانی رایانامه و صفحهٔ اینترنتی ایشان عبارت است از:

amaleki@semnan.ac.ir
http://maleki.semnan.ac.ir

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-11-06]

[DOI: 10.29252/jsdp.14.4.129]