

تشخیص پیوسته میزان استرس در طول رانندگی با

استفاده از روش خوشه‌بندی Fuzzy c-means

سارا پورمحمدی و علی مالکی*

گروه مهندسی پزشکی (بیوالکترونیک)، 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 دهه 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، به‌طور مثال مدت زمان رانندگی در بزرگراه، ثابت نمی‌توان در نظر گرفت؛ سپس براساس این فرض، ایده جدیدی برای تشخیص سطح استرس بر مبنای روش خوشه‌بندی Fuzzy c-means و برجسب‌زدن به خوشه‌ها توسط خبره پیشنهاد شده است. در الگوریتم پیشنهادی، با تلفیق میزان تعلق خوشه و ضریب وزنی متناظر با برجسب هر خوشه، معیاری کمی از استرس برای فواصل زمانی بسیار کوتاه حاصل می‌شود. درواقع دادگان استرس در رانندگی برجسب‌هایی نادقیقی دارند که روش پیشنهادی با استفاده از دانش نهاده‌شده در دادگان و به شیوه‌ای قاعده‌مند، استرس را به‌صورت پیوسته تخمین می‌زند. در این مقاله، علاوه بر 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 کارایی 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 Pourmohammadi¹ & 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

* نویسنده عهده‌دار مکاتبات

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

حرکت صورت^۴ و اندازه‌گیری‌های فیزیولوژیکی شامل سیگنال‌های الکتروانسفالوگرام (EEG)، فشار حجم خون (BVP)، الکتروکاردیوگرام (ECG)، پاسخ الکتریکی پوست^۵ (GSR)، الکترومایوگرام (EMG) و تنفس است [7] در دهه گذشته، مقالات زیادی در زمینه تشخیص سطح استرس با استفاده از این سیگنال‌ها ارائه شده است. گاه ترکیبی از سیگنال‌های فیزیولوژیکی [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 زمان واقعی بودن و استفاده از کمینه تجهیزات متصل به فرد مورد آزمایش تأکید شده است [12-13].

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 در صورت مزمن شدن، شخص را در برابر بیماری‌های خاص و عفونی به شدت 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 در شرایط 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^۱، ضخامت مردمک^۲، مشخصات صدا^۳ و

⁴ face movement

⁵ Galvanic Skin Response

¹ eye gaze

² pupil diameter

³ voice characteristic

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 در نظر گرفتن سطح استرس در یک دوره 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 برجسب‌زنی 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 [16-17] 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

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^۱ و بردار ماشین پشتیبان^۲ (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^۳ (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" برجسب 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^۴ 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^۵ با استفاده از تحلیل فازی تصادفی^۶ 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 صفر تا یک به‌طور پیوسته 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

¹ Decision tree

² Support Vector Machine

³ Electro Dermal Activity

⁴ Adaptive Neuro Fuzzy Inference System

⁵ Heartbeat interval

⁶ Stochastic Fuzzy analysis

۲- مجموعه دادگان و استخراج ویژگی

۱-۲- 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 چندین بار تکرار و شش نفر تنها یک بار مسیر رانندگی را کامل طی کرده‌اند. اطلاعات فیزیولوژیک جمع‌آوری شده 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 به‌طور تقریبی 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^۱ (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^۲ (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 در نتیجه GSR افزایش می‌یابد [22-23]. مقاومت پوست

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 خوشه (محاسبه‌شده توسط الگوریتم خوشه‌بندی فازی) و یک نگاشت غیرخطی، مقادیر استرس برای کل دوره رانندگی در محدوده [۰ ۱] 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؛ از این‌رو 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.

ادامه این مقاله بدین ترتیب 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.

¹ Heart Rate

² Electro Dermal Response

با توجه به این که در این پژوهش ایده جدیدی در برجسب‌زنی سیگنال‌ها در تشخیص استرس ارائه شده است؛ بهتر دیده شد که جهت بررسی درستی ایده پیشنهادی از ویژگی‌های رایج و کمینه‌ای استفاده شود. در نتیجه ویژگی میانگین برای هر چهار سیگنال ECG، EMG و GSR دست و پا و ویژگی میانگین قدر مطلق تفاضل^۴ 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) به ترتیب 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 نمونه nام سیگنال است.

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

$$\delta_X = \frac{1}{N-1} \sum_{n=1}^{N-1} |X_{n+1} - X_n| \quad (2)$$

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 زامین خوشه، d_{ij} فاصله اقلیدسی بین i امین داده به زامین مرکز خوشه، c تعداد مراکز خوشه، m شاخص فازی‌ساز ($m \in [1, \infty)$)، n تعداد دادگان و v_j زامین مرکز خوشه هستند.

$$\mu_{ij} = 1 / \sum_{k=1}^c (d_{ij} - d_{ik})^{2/(m-1)} \quad (3)$$

⁴ Mean absolute difference

به‌طور معمول بزرگ است (به‌طور تقریبی $1M\Omega$)؛ اما تغییرات آبی در سطح فعالیت غدد عرق باعث تغییرات در مقاومت (ΔR) تا حدود تقریبی $950k\Omega$ می‌شود، که آن را با عبور دادن یک جریان الکتریکی کوچک در میان دو الکتروود 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 الکتروودهای 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 الکتروود استفاده شده است؛ دو الکتروود در طول محور عضله مورد نظر و سومی که الکتروود زمین است، خارج از این محور قرار می‌گیرد. حسگرها برای اندازه‌گیری فعالیت عضله ذوزنقه‌ای پشت شانه‌ای در آزمایش به کار می‌روند. در نهایت RMS^۱ سیگنال با متوسط‌گیری ۰/۵ ثانیه‌ای توسط نرم‌افزار Flexcomp ذخیره شده است [18]. حرکات شخص و در نتیجه EMG ثبت شده از وی در زمان استرس، متفاوت از حالت عادی خواهد بود و این امر به تشخیص بهتر استرس فرد کمک می‌کند.

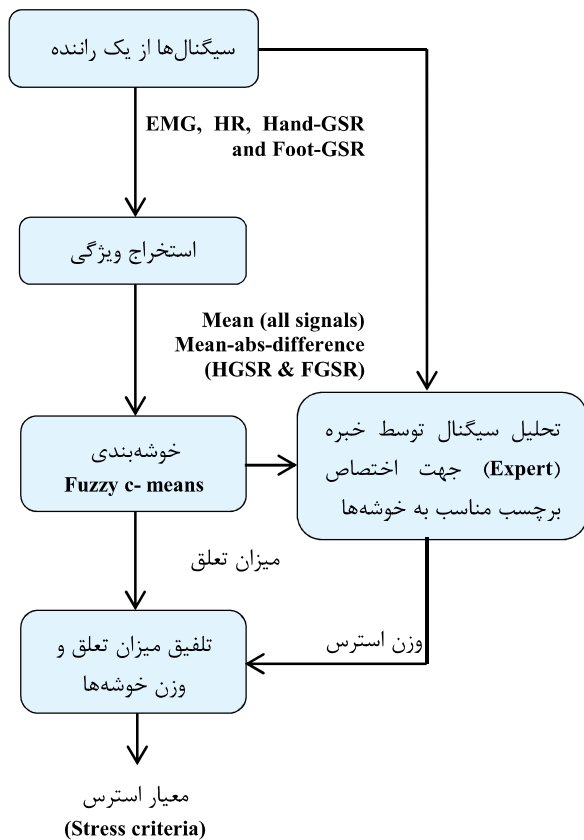
۲-۲- استخراج ویژگی

شگردهای پردازش سیگنال متنوعی برای استخراج ویژگی از سیگنال‌های غیرایستنا به کار برده می‌شود. روش‌های پرطرفدار، تبدیل فوریه^۲ (FT) و تبدیل ویولت^۳ (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



(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 صدثانه‌ای 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 از سیگنال‌های نرخ قلبی و EMG استخراج می‌شوند.

شکل (۲) عملکرد ویژگی‌های میانگین و میانگین قدرمطلق تفاضل را در دنبال کردن اطلاعات سیگنال GSR دست نشان می‌دهد. دایره‌های قرمز رنگ، ویژگی میانگین و مربع‌های آبی رنگ، ویژگی میانگین قدرمطلق تفاضل را که روی سیگنال GSR رسم شده‌اند، نشان می‌دهند؛ سپس ماتریس ویژگی‌ها به خوشه‌بندی کننده 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

$$v_j = \frac{\sum_{i=1}^n (\mu_{ij})^m x_i}{\sum_{i=1}^n (\mu_{ij})^m}, \forall j = 1, 2, \dots, c \quad (4)$$

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

$$J(U, V) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^c (\mu_{ij})^m \|x_i - v_j\|^2 \quad (5)$$

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

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

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

۴- الگوریتم پیشنهادی

به‌طور کلی 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.

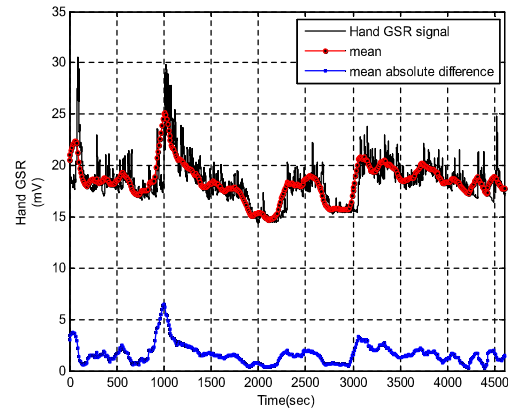
مرحله بعدی، خوشه‌بندی با روش Fuzzy c-means و تولید میزان تعلق برای اعضای هر خوشه است. به‌طور موازی خبره با استفاده از اطلاعات سیگنال‌ها و نتایج خوشه‌بندی، به هر خوشه یک برجسب اختصاص می‌دهد. با توجه به برجسب خوشه‌ها، وزن متناظر به آن تعلق می‌گیرد. مرحله پایانی تلفیق میزان تعلق و وزن برای دستیابی به معیار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

بگیرد. به‌عنوان مثال خوشه‌ای که میزان تعلق آن در ابتدا و انتهای کل دوره آزمایش نسبت به سایر زمان‌ها بیشتر (مقادیر نزدیک به ۱) است، استرس «خیلی کم» برچسب زده می‌شود. دلیل این اختصاص آن است که خبره می‌داند که ابتدا و انتهای زمان آزمایش فرد در حال استراحت بوده و کمترین مقدار استرس را تجربه می‌کند؛ سپس با توجه به برچسب خوشه، اختصاص وزن به این خوشه‌ها به روشی منطقی و قاعده‌مند انجام شده است؛ به‌طوری‌که به خوشه با برچسب «خیلی کم» وزن ۰/۱ (کمترین مقدار وزن) و به خوشه با برچسب «خیلی زیاد» وزن ۱ (بیشترین مقدار وزن) اختصاص یافته است. وزن دیگر خوشه‌ها نیز به‌طور یکنواخت در این محدوده توزیع شده است؛ به‌طوری‌که به‌کم، متوسط و زیاد به ترتیب وزن‌های ۰/۲۵، ۰/۵ و ۰/۷۵ اختصاص یافته است. بنابراین بردار وزن پایه به‌صورت زیر به‌دست می‌آید:

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

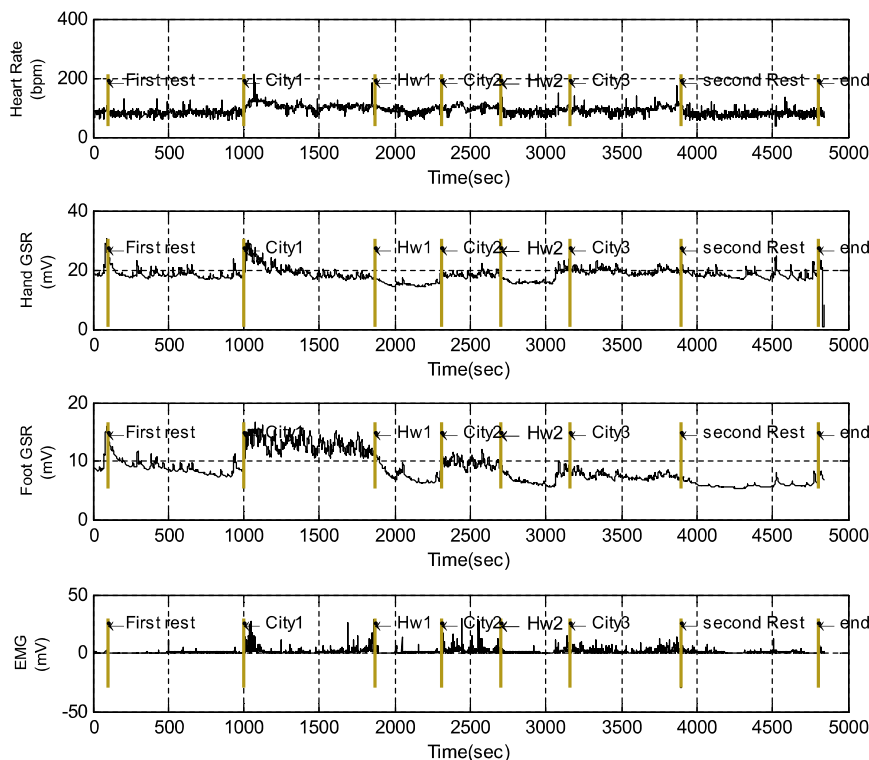
آنچه خبره لازم است، انجام دهد اختصاص برچسب مناسب از مجموعه استرس خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد به خوشه‌های پنج‌گانه حاصل از خوشه‌بندی فازی است. از این‌رو، وزن‌های اختصاص داده‌شده به خوشه‌ها به همان ترتیب حاصل از خوشه‌بندی فازی، جایگشتی از بردار وزن پایه بالا خواهد بود.

معیار مناسبی برای نشان‌دادن میزان استرس فرد در آن زمان می‌تواند باشد.

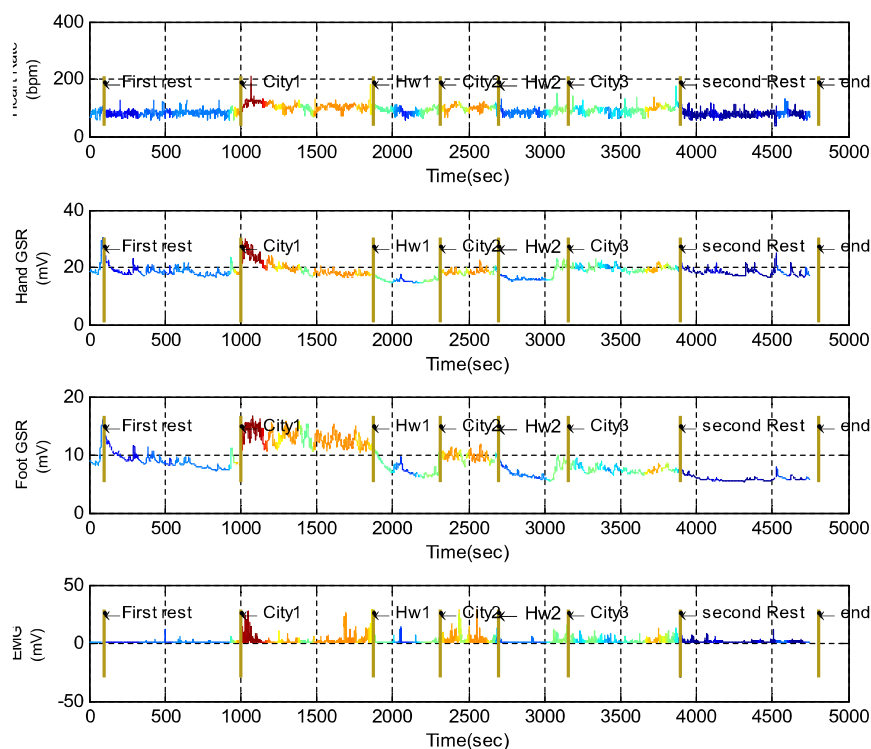


(شکل-۲): نمایش ویژگی‌های سیگنال GSR دست
(Figure-2): The figure Shows features of GSR of right hand

با توجه به این‌که دادگان در پنج خوشه قرار گرفته‌اند، به هر خوشه با توجه به میزان تعلق آن در فواصل زمانی آزمایش یک برچسب مناسب توسط خبره تعلق می‌گیرد. برچسب این پنج خوشه عبارتند از استرس «خیلی کم»، «کم»، «متوسط»، «زیاد» و «خیلی زیاد» که به ترتیب متناظر با کمترین استرس تا بیشترین استرس هستند. بدین ترتیب فرد خبره با بررسی سیگنال‌های ورودی، اطلاعات موجود از مجموعه دادگان و خروجی خوشه‌بندی‌کننده تصمیم می‌گیرد که کدام برچسب به چه خوشه‌ای تعلق



(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.



(شکل-۴): نمایش سیگنال‌های فیزیولوژیک ثبت شده 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

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 نام‌برده شده 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 گزارش شده 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 پیش‌بینی شده مسیر از عدد یک (بدون استرس) تا عدد پنج (بسیار استرس‌زا) درجه‌بندی کنند. میانگین این درجه‌بندی برای هر فرد به‌دست آمده

پس از اختصاص وزن خوشه‌ها، در هر پنجره، میزان تعلق به‌دست‌آمده از روش Fuzzy c-means 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 محدوده رنگی آبی تا قرمز تعریف می‌شود. عدد به‌دست‌آمده از تلفیق وزن و میزان تعلق در صورتی که 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.

همان‌طور که 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 محدوده رنگی نزدیک به سبز برای آن انتخاب شده است. شکل (۳) سیگنال‌های HR، GSR

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. در واقع به دلیل پیشامد چنین وقایع غیر قابل پیش‌بینی در [18] تأکید شده است که اگر بازه زمانی خیلی کوتاه در نظر گرفته شود، روش نسبت به این وقایع حساس شده و طبقه‌بندی اشتباه انجام خواهد شد. اما اگر پنجره به‌طور تقریبی بزرگ باشد، به اندازه 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 در نظر گرفتن 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 ترسیم را برای یکی از رانندگان نشان می‌دهد.

همان‌طور که در شکل نیز مشخص است، معیار نسبی ارائه‌شده برای استرس به‌صورت پیوسته در طول دوره رانندگی تغییر می‌کند و به‌طور واضحی نشان‌دهنده استرس فرد در هر لحظه از آزمایش است. اگر به بازه‌های زمانی رانندگی در شهر، بزرگراه و یا استراحت به‌طور مستقل توجه شود، علاوه بر تطابق معیار معرفی شده با سطح استرس در نظر گرفته‌شده در پژوهش‌های پیشین، نشان می‌دهد که ثابت در نظر گرفتن 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 به‌طور کلی

است. جدول (۱) میانگین این درجه‌بندی را برای تمامی افراد شرکت‌کننده در آزمایش در پانزده واقعه پیش‌بینی‌شده 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.

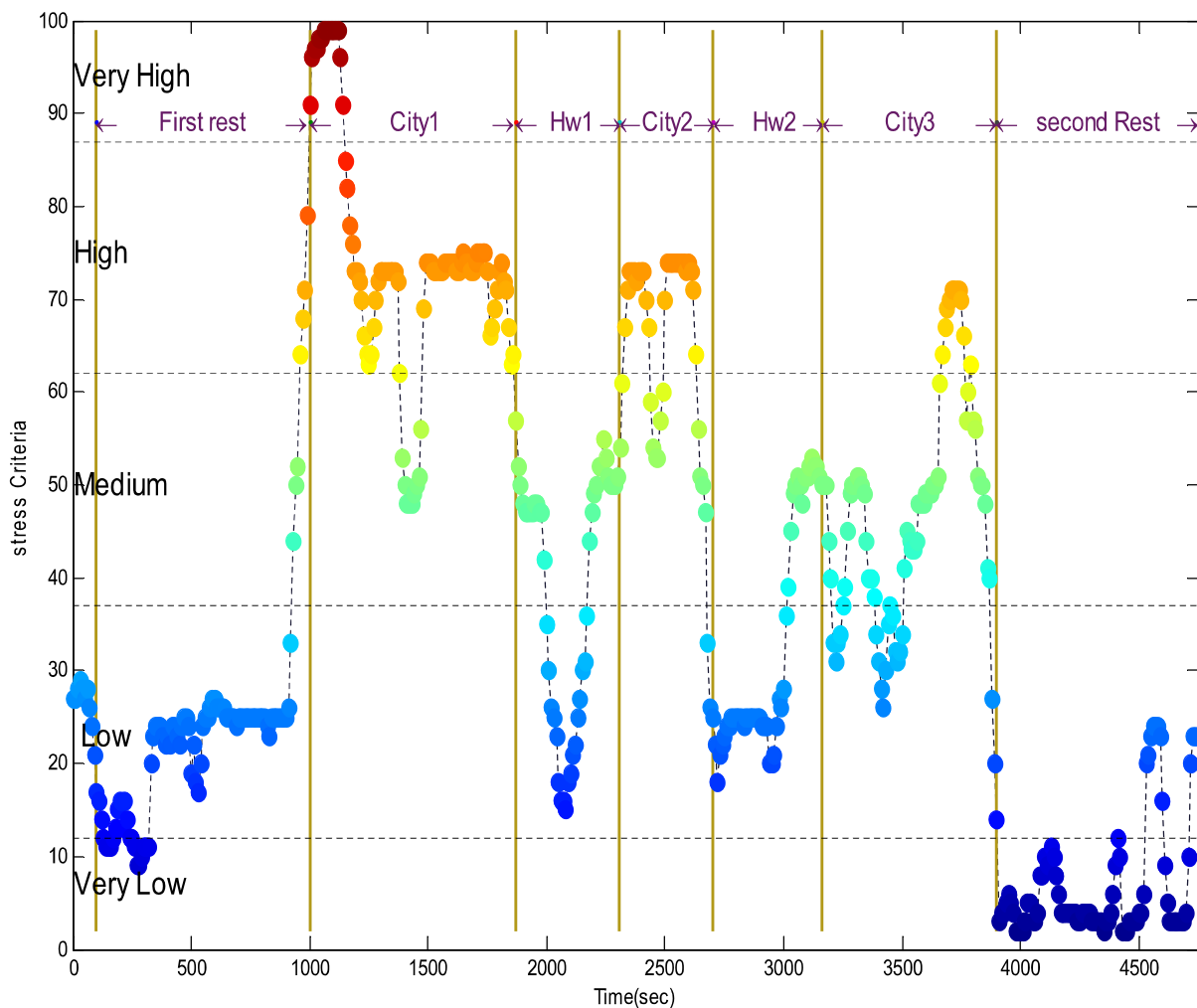
(Table-1): A summary of driving events and the mean of stress rating along with given labels for events in dataset.

ردیف	شرح واقعه	درجه‌بندی استرس	برچسب موجود در مجموعه دادگان
۱	آغاز دوره توقف (استراحت ۱)	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 (استراحت ۲)	۱	استرس کم

از مجموع ۲۷ ثبت طی مسیر رانندگی، بخشی از آن‌ها به‌دلیل از دست رفتن دادگان و یا انحراف از مسیر رانندگی قابل استفاده نبوده‌اند. انجام آزمایش‌ها در محیط طبیعی منجر به رخ دادن 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. علاوه بر این، در طول دوره زمانی استراحت، فرد به‌دلیل نیاز به دستشویی بی‌تاب است.

در نظر گرفتن سطح استرس برای کل دوره رانندگی در بزرگراه منطقی به نظر نمی‌رسد. علاوه بر این، یکی دیگر از ویژگی‌های این ترسیمه، قابل بررسی بودن اتفاقات غیرمنتظره، تجربه و مهارت شخص در کنترل استرس در شرایط استرس‌زا است. به عنوان مثال در ترسیمه شکل (۵) به نظر 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.

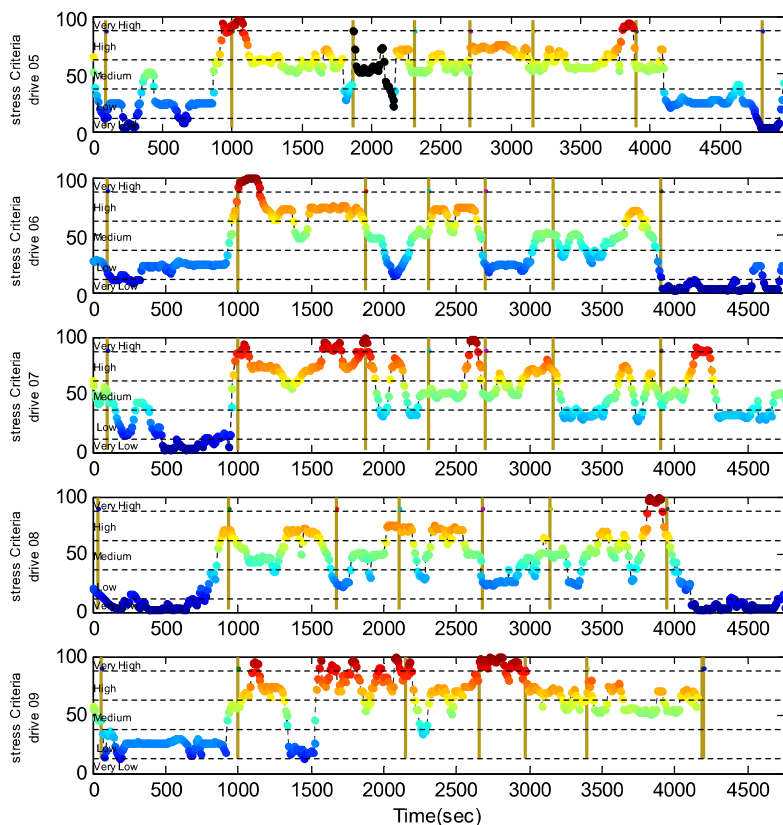
قضایوت کرد؛ زیرا در بخش نخست میزان استرس در محدوده‌های بالا و بسیار بالا تغییر می‌کند. در بخش دوم و سوم به‌طور تقریبی در محدوده‌های بالا و متوسط تغییر می‌کند. در واقع آن چه در مورد روش پیشنهادی قابل دفاع است، نشان دادن تغییرات جزئی در استرس فرد حین رانندگی است؛ در حالی که در مطالعات قبلی روی این مجموعه 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



(شکل-۵): معیار استرس برای یکی از رانندگان
(Figure-5): stress criteria for a subject

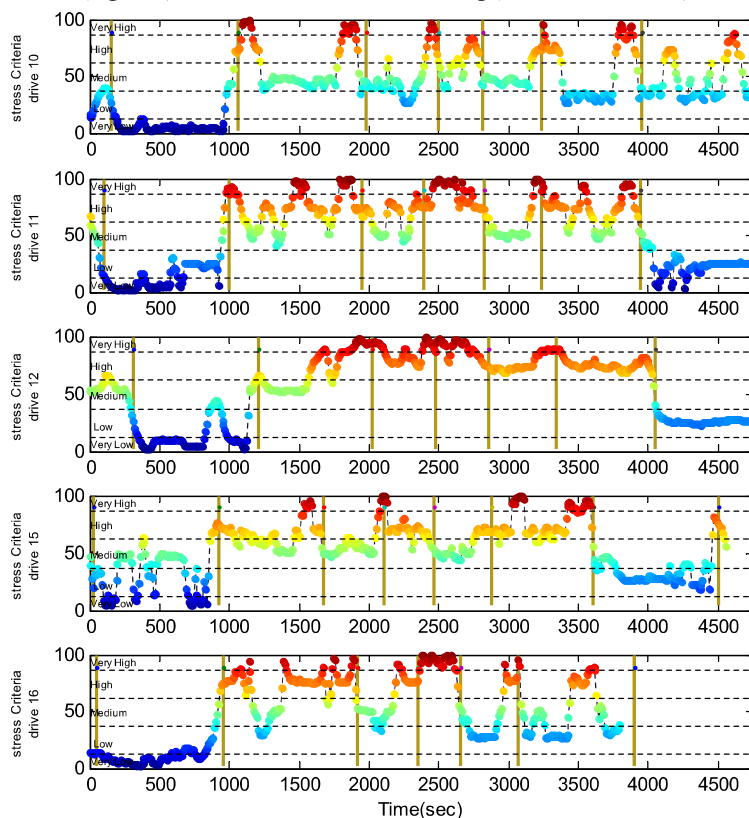
رانندگی در دسترس نشان می‌دهند. در رانندگی شماره (۰۵)، در بخشی از بزرگراه سیگنال نرخ قلبی راننده از دست رفته است که در سطر نخست از شکل (۶) به رنگ سیاه دیده می‌شود. همچنین در رانندگی‌های (۰۹) و (۱۶) دوره استراحت دوم به دلیل در دسترس نبودن سیگنال، وجود ندارد.

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



(شکل-۶): معیار استرس برای رانندگی های (۰۸، ۰۷، ۰۶، ۰۵ و ۰۹)

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



(شکل-۷): معیار استرس برای رانندگی های (۱۶، ۱۵، ۱۲، ۱۱، ۱۰ و ۱۶)

(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

(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

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

در پژوهش‌های بعدی، با استفاده از دادگان و برجسب‌های نظیر، اختصاص وزن‌ها را به صورت غیریکنواخت می‌توان مورد بررسی قرار داد. استفاده از الگوریتم‌های فراابتکاری در یافتن تعداد مناسب خوشه‌ها نیز قابل بررسی است. در نهایت قصد داریم کارآیی ایده «استفاده از دادگان با برجسب زمخت جهت دستیابی به معیاری پیوسته و دقیق» را برای دیگر حوزه‌ها نظیر «سیگنال‌های قلبی با برجسب نوع آریتمی» یا «سیگنال‌های الکتروانسفالوگرام با برجسب شرایط احساسی» مورد ارزیابی قرار دهیم.

۷- نتیجه‌گیری

در این مقاله روش جدیدی برای تحلیل سیگنال‌های فیزیولوژیک ثبت شده حین رانندگی، جهت تشخیص استرس در رانندگان پیشنهاد شده است. روش پیشنهادی با استفاده از دانش موجود در دادگان و برجسب‌های گسسته و نادقیق، با روشی منطقی و قاعده‌مند، استرس را به صورت پیوسته تعیین می‌کند. این روش براساس روش خوشه‌بندی Fuzzy c-means و استفاده از نظر خبره جهت اختصاص برجسب به خوشه‌ها و سپس، تلفیق میزان تعلق و وزن جهت رسیدن به معیاری برای استرس فرد بنا شده است. این روش علاوه بر آن که نشان می‌دهد ثابت در نظر گرفتن سطح استرس در یک بازه زمانی طولانی از رانندگی درست و منطقی نیست، معیاری پیوسته از میزان استرس در کل دوره رانندگی ارائه می‌کند که با استفاده از آن در هر لحظه میزان استرس فرد را می‌توان تشخیص داد.

8-References

[1] یونسی هروی محمد امین، خلیل زاده محمد علی، صرافان رسول و آذر نوش مهدی، "تشخیص دروغ بر

سه طی مسیر (۰۸، ۱۲ و ۱۵)، بقیه در هنگام خروج از پارکینگ دچار استرس زیادی شده‌اند و یا در مورد رانندگی (۰۷) می‌توان گفت که فرد مورد نظر از نظر جسمی یا روحی دچار مشکلی است که باعث ایجاد استرس به‌طور تقریبی زیاد در کل دوره رانندگی و حتی در طول دوره استراحت دوم شده است.

همچنین در رانندگی شماره (۱۰) راننده در دوره استراحت دوم دچار بی‌تابی است. با بررسی هر یک از این نتایج و تطبیق آن‌ها با گزارش‌های رانندگان و یا تصاویر ضبط شده از رانندگان، به صورت موشکافانه، میزان استرس فرد در هر لحظه را می‌توان توجیه کرد. در مجموع می‌توان نتیجه گرفت که اگرچه میانگین میزان استرس را به نسبت شرایط مکانی یک سطح مشخص می‌توان در نظر گرفت، اما روش پیشنهادی توانسته است، علاوه بر سازگاری و تطبیق با این میانگین، میزان استرس را در هر زمان به‌طور دقیق‌تر تعیین کند.

به منظور ارزیابی کمی و مقایسه با دیگر پژوهش‌ها، معیار همبستگی بین معیار استرس به دست آمده از الگوریتم پیشنهادی با رتبه‌بندی عینی شرکت‌کنندگان نیز مورد بررسی قرار گرفت. در مجموعه دادگان استرس در رانندگی، شرکت‌کنندگان میزان استرس خود را در مراحل مختلف رانندگی در محدوده یک تا پنج رتبه‌بندی کرده‌اند. میانگین این رتبه‌بندی برای تمامی شرکت‌کنندگان در [18] همان‌طور که در جدول (۱) نشان داده شده، ارائه شده است.

در مقاله حاضر معیار استرس به صورت پیوسته در بازه یک تا صد به دست آمده است که برای انجام مقایسه با رتبه‌بندی شرکت‌کنندگان در آزمایش، ابتدا میانگین معیار استرس در مراحل مختلف رانندگی (استراحت نخست، شهر نخست، بزرگراه نخست، شهر دوم، بزرگراه دوم، شهر سوم و استراحت دوم) محاسبه شده و پس از آن به مقیاس یک تا پنج برده می‌شود؛ در نهایت مقدار همبستگی بین معیار استرس به دست آمده از الگوریتم پیشنهادی با رتبه‌بندی عینی شرکت‌کنندگان مقایسه شده و میزان همبستگی آن‌ها به دست می‌آید. جدول (۲) میزان همبستگی را با کارهای قبلی مقایسه می‌کند. مقایسه مقادیر همبستگی نشان‌دهنده بهبود ایجاد شده توسط روش پیشنهادی است.

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

مبنای سیگنال‌های فوتوپلتیسموگراف و مقاومت الکتریکی پوست با استفاده از شبکه‌ی عصبی"، پردازش علائم و داده‌ها، شماره ۹ (پیاپی ۲)، صفحات 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



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. زمینه پژوهشی مورد علاقه ایشان مدل سازی و کنترل سامانه های بیولوژیکی و پردازش سیگنال های حیاتی است.

نشانی رایانامه و صفحه اینترنتی ایشان عبارت است از:

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

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 به عنوان دانشجوی دکترا در رشته مهندسی پزشکی- بیوالکتریک در دانشگاه سمنان مشغول به تحصیل است. زمینه پژوهشی مورد علاقه ایشان پردازش سیگنال های حیاتی و تشخیص استرس است.

نشانی رایانامه ایشان عبارت است از:

pourmohammadi@semnan.ac.ir