

## Stress Detection through Thermal Facial Images Inspired by Characteristics of Psychophysiological Signals

Maryam Saidi <sup>1\*</sup>, Zahra Bahmani <sup>2</sup>, Marziyeh Danesh Kohan <sup>3</sup>

<sup>1</sup> M.Sc. of Biomedical Engineering, Biomedical Signal Processing Group, Research Center of Advanced Technology  
K.N.Toosi, Tehran, Iran

<sup>2</sup> Ph.D. of Cognitive Science, Biomedical Signal Processing Group, Research Center of Advanced Technology K.N.Toosi,  
Tehran, Iran

<sup>3</sup> Ph.D. of Biomedical Engineering, Biomedical Signal Processing Group, Research Center of Advanced Technology  
K.N.Toosi, Tehran, Iran

Received: 20 April 2015 Accepted: 14 February 2017

### Abstract

**Background and Aim:** Stress detection based on physiological signals requires numerous contact sensors that can cause anxiety and disturbance for the subject and may lead to invalid results. Using thermal imaging in the stress detection has several advantages including being impalpable, non-contact and fast installation. Many researches have used thermal images in deception detection. Most of the previous articles used simple features such as average and increasing temperature slopes for analysis. This study uses the features defined in the earlier references as well as defining a set of features based on the principle of solidarity between temperature changes in different areas of the face with other physiological signals during stress interactions.

**Methods:** A database including 13 subjects through a lie detection protocol while physiological signals are recorded as well as thermal images is provided in this study. The proposed features are applied on the database. Independent component analysis and linear discriminate analysis is used for feature reduction and classification, respectively. In addition, a manual scoring method according to manual scoring methods for physiological signals is introduced for manual scoring thermal images.

**Results:** The accuracy of stress detection in each trial (a question) based on the proposed features becomes more than the ones using only features defined in previous studies (an increase of 9.44% in test data and 27.33% in training data). The accuracy of detecting the target question (the question which the subject has lied) is 80%. Two manual scoring methods, thermal and physiological have the correlation of 70%.

**Conclusion:** According to the results, using the features which is usually defined on physiological signals including respiratory, galvanic skin response, heart rate and blood pressure lead to improvement in stress detection based on thermal images. Therefore, the efficiency of the proposed method based on defined features and proper classification for the detection of deception are confirmed using thermal images.

---

**Keywords:** Thermal Images, Lie Detection, Stress Detection, Physiological Signals, Screening.

\*Corresponding author: Maryam Saidi, Email: [Saidi@rcdat.ir](mailto:Saidi@rcdat.ir)

## تشخیص استرس از طریق بررسی تغییرات حرارتی چهره؛ بر اساس ویژگی‌های سیگنال‌های سایکوفیزیولوژیک

مریم سعیدی<sup>۱\*</sup>، زهرا بهمنی<sup>۲</sup>، مرضیه دانش کهن<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> کارشناسی ارشد مهندسی پزشکی، پژوهشگاه پردازش داده، پژوهشگاه توسعه فناوری‌های پیشرفته خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران  
<sup>۲</sup> دانشجوی دکتری علوم شناختی، پژوهشگاه پردازش داده، پژوهشگاه توسعه فناوری‌های پیشرفته خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران  
<sup>۳</sup> دانشجوی دکتری مهندسی پزشکی، پژوهشگاه پردازش داده، پژوهشگاه توسعه فناوری‌های پیشرفته خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران

### چکیده

**زمینه و هدف:** تشخیص استرس مبتنی بر سیگنال‌های فیزیولوژی روانی نیاز به تعداد زیادی حسگرهای تماسی دارد که می‌تواند منجر به عدم آسایش آزمودنی و ایجاد اضطراب زیاد و در نتیجه تخریب نتایج گردند. استفاده از تصاویر حرارتی در تشخیص استرس دارای مزیت‌های بسیاری می‌باشد که از آن جمله می‌توان به غیرمحمسوس بودن، غیر تماسی بودن و نصب سریع اشاره نمود. تاکنون تحقیقات زیادی در زمینه تشخیص فریب با استفاده از تصاویر حرارتی انجام شده است. در اکثر این مطالعات از ویژگی‌های ساده همچون میانگین و شیب افزایش دما جهت تحلیل استفاده شده است. هدف این مطالعه بهره‌گیری از ویژگی‌های تعریف شده در مراجع قبلی، به علاوه‌ی تعریف یک مجموعه ویژگی براساس اصل همبستگی تغییرات دمای نواحی مختلف چهره با سایر سیگنال‌های فیزیولوژیک در کنش‌های استرسی می‌باشد.

**روش‌ها:** یک مجموعه دادگان متشکل از ۱۳ آزمودنی در حین یک پروتکل دروغ‌سنجی با ثبت سیگنال‌های حرارتی چهره فرد با استفاده از دوربین حرارتی و سایر سیگنال‌های فیزیولوژیک با استفاده از یک دستگاه پلی‌گرافی تهیه شد. ویژگی‌ها روی مجموعه دادگان بومی اعمال شده و روش کاهش بعد آنالیز مولفه‌های مستقل و طبقه‌بند جداساز خطی، جهت تحلیل به کار رفته است. از مقایسه‌ی میزان بهبود ویژگی‌های پیشنهاد شده نسبت به ویژگی‌های مراجع قبلی جهت تحلیل نتایج و همچنین از تحلیل همبستگی جهت تعیین میزان همبستگی دمای نواحی مختلف چهره با سیگنال‌های فیزیولوژیک استفاده شد. علاوه بر این، روشی نیز جهت نمره‌دهی دستی سیگنال‌های حرارتی مشابه آنچه که در ارزیابی چارت‌های پلی‌گرافی بر روی سیگنال‌های فیزیولوژی روانی انجام می‌شود ارائه شده است. مقایسه نتایج نمره‌دهی دستی سیگنال‌های فیزیولوژی و حرارتی، جهت اعتباردهی روش پیشنهاد شده به کار گرفته شده است.

**یافته‌ها:** درصد صحت تشخیص استرس در تک ثبت (تک سوال) به ازای ویژگی‌های تعریف شده، نسبت به استفاده از ویژگی‌های مراجع گذشته بهبود ۹/۴۴ درصدی در داده‌های تست و ۲۷/۳۳ درصدی در داده‌های آموزش را به همراه داشته است. صحت تشخیص سوال هدف (سوالی که فرد در آن دروغ گفته است) برابر ۸۰٪ می‌باشد. نمره‌دهی دستی سیگنال‌های فیزیولوژیک و نمره‌دهی دستی سیگنال‌های حرارتی توسط فرد خبره، همبستگی برابر ۷۰٪ را گزارش کرده‌اند.

**نتیجه‌گیری:** با توجه به نتایج بدست آمده، بهره‌گیری از ویژگی‌هایی که معمولاً از سیگنال‌های فیزیولوژیک شامل تنفس، پاسخ گالوانیک پوست، ضربان قلب و فشار خون استخراج می‌شود بر روی سیگنال دمای نواحی مختلف چهره، سبب بهبود تشخیص استرس در تصویربرداری حرارتی می‌گردد. از این رو کارایی الگوریتم پیشنهادی مبتنی بر این ویژگی‌ها و طبقه‌بند مناسب جهت آشکارسازی فریب با استفاده از تصاویر حرارتی تایید می‌شود.

**کلیدواژه‌ها:** تصاویر حرارتی، دروغ‌سنجی، تشخیص استرس، سیگنال‌های فیزیولوژیک، غربالگری.

## مقدمه

فرد در تشخیص فریب با صحت‌های مناسب می‌باشد (۱۴-۱۱). همچنین Pavlidis و همکارانش عنوان نمودند که هنگام روبرویی با اضطراب ناشی از بیان سخن خلاف واقعیت، گردش خون در بعضی از نواحی از بدن به منظور آماده سازی بدن برای واکنش جنگ یا گریز (ناشی از استرس) افزایش می‌یابد. وی ادعا کرده است که افزایش گردش خون نواحی اطراف چشم‌ها که در نتیجه افزایش اضطراب فرد رخ می‌دهد، با تجزیه و تحلیل تصاویر حرارتی ناحیه پراریتال (دو طرف بینی و کنار چشم‌ها) قابل ارزیابی است (۱۵). درخشان و همکارانش نیز در سال ۲۰۰۹ به آشکارسازی استرس فرد با استفاده از سیگنال دمای میانگین پراریتال پرداختند (۱۶). همچنین Park و همکارانش در طی مطالعه‌ای (۱۷)، پس از اجرای یک سناریوی سرعت ساختگی توسط آزمودنیها، در طی یک آزمون دروغ سنجی تست دانش فرد خطاکار (GKT: Guilty Knowledge Test)، نشان دادند که دمای ناحیه پراریتال چهره افراد خطاکار در حین مواجهه با سوالات مرتبط با جرم نسبت به سایر سوالات بیشتر بوده است. در سال ۲۰۱۲ نیز، Jain و همکارانش به ثبت تصاویر حرارتی چهره فرد در حین یک پروتکل دروغ سنجی GKT با فاصله بین تحریکی (Inter-Stimulus Interval (ISI) کوتاه (برابر ۵ ثانیه) پرداختند و در تجزیه و تحلیل تک تک آزمودنی‌ها به صورت جداگانه، در بهترین حالت به صحت ۸۳/۵٪ برای یک آزمودنی دست یافتند (۱۸).

در اکثر مطالعات ذکر شده از ویژگی‌های ساده‌ای همچون افزایش میانگین یا شیب دمای ناحیه خاص جهت تحلیل استرس استفاده شده است. این در حالی است که برای سیگنال‌های فیزیولوژیکی همچون مقاومت پوست و یا نرخ ضربان قلب با تنوعی از ویژگی‌ها در تحقیقات انجام شده در زمینه تشخیص استرس روبرو هستیم. با توجه به اینکه تغییر دمای نواحی مختلف چهره نیز بر اساس تغییرات فیزیولوژیکی همچون تغییر نرخ ضربان قلب است، استفاده از ویژگی‌های تعریف شده بر روی سیگنال‌های فیزیولوژیکی می‌تواند بر روی سیگنال‌های حاصل شده از تصاویر حرارتی نیز نتایج خوبی در برداشته و باعث افزایش چشمگیر صحت تشخیص استرس با استفاده از تصاویر حرارتی گردد. هدف اصلی این مطالعه تعریف این ویژگی‌ها بر روی مجموعه دادگان تهیه شده در این مطالعه با استفاده از سناریوی جرم ساختگی و ارزیابی کارایی آنها جهت تشخیص فرد خطاکار می‌باشد.

از سوی دیگر با توجه به اینکه در سیستم‌های پلی گرافی کلاسیک، پس از ثبت داده، سیگنال‌های ثبت شده از فرد، به صورت دستی و توسط یک کارشناس، تفسیر و نمره‌دهی می‌شوند، و این روش از اعتبار زیادی در بین پلی گراف‌ها برخوردار است (۱۹ و ۲۰)، به نظر می‌رسد ارائه روشی برای ارزیابی دستی کارشناس از روی سیگنال‌های حرارتی نیز از اهمیت زیادی برخوردار باشد. از این‌رو هدف دیگر این مطالعه استخراج سیگنال

اولین دستگاه دروغ‌سنجی در سال ۱۸۹۵، توسط Lombroso ساخته شد که به اندازه‌گیری فشارخون فرد می‌پرداخت. با گذشت زمان استفاده از سایر سیگنال‌های محیطی نظیر پاسخ الکتریکی پوست (GSR)، نرخ ضربان قلب (HR)، طول خط تنفسی (RLL) و طول سیگنال پالس انگشتی (FPWL) نیز در دستگاه‌های دروغ‌سنجی رواج پیدا کرد (۳-۱). روش‌های مبتنی بر اندازه‌گیری سیگنال‌های فوق مبتنی بر این حقیقت می‌باشند که هنگام بیان سخن خلاف واقعیت، فرد دچار استرس می‌شود که به تحریک سیستم عصبی خودمختار (ANS) وی منجر می‌گردد و این سیستم نیز، تغییراتی در سیگنال‌های محیطی فرد ایجاد می‌کند (۴).

در سیستم‌های دروغ‌سنج معمول نیاز به نصب تعداد زیادی از حسگرهای تماسی می‌باشد و نتایج تحقیقات انجام شده نشان می‌دهند که استفاده از حسگرهای تماسی می‌تواند منجر به عدم آسایش آزمودنی و ایجاد اضطراب زیاد در بعضی از آزمودنی‌ها و در نتیجه تخریب نتایج حاصل از اندازه‌گیری سیگنال‌های فیزیولوژیک فرد گردند (۸، ۷). همچنین مهارت نسبی آزمونگر در نصب این حسگرها از الزامات این امر می‌باشد که خود مانعی در استفاده آسان از سیستم‌های دروغ‌سنجی در مجامع قانونی و یا استفاده از روش‌های موجود برای کاربردهای غربالگری که هدف آنها تشخیص سریع تمامی خروجی‌های مثبت آزمایش است (۹) می‌باشد. از این‌رو، امروزه استفاده از حسگرهای غیرتماسی جهت تشخیص فریب مورد توجه قرار گرفته است؛ استفاده از تصاویر دریافتی از دوربین‌های حرارتی مادون قرمز (Infrared Thermal Camera) می‌تواند یکی از این رویکردها باشد.

از جمله کارهای انجام شده در زمینه تشخیص استرس به کمک دوربین حرارتی، کار انجام شده توسط Warmelink (۵) است که با استفاده از دوربین حرارتی، تشخیص استرس را در فرودگاه مورد بررسی قرار داده است. ۵۱ مسافر در فرودگاه بین‌المللی در مورد مسافرتی که در پیش دارند راست یا دروغ می‌گویند. این مطالب در یک مصاحبه مورد تست قرار می‌گیرد. دمای پوست افراد دروغگو در مصاحبه بالا رفته در حالیکه دمای پوست افراد راستگو ثابت باقی‌مانده است (۵). در مطالعه ای دیگر، یک چارچوب جدید به منظور کمی‌سازی استرس با استفاده از تصاویر حرارتی ارائه شده است. این روش پاسخ‌های نوروفیزیولوژیکی ایجاد شده بر اثر استرس را از نواحی اطراف بینی که به صورت تعرق گذرا نمایش داده می‌شوند ثبت می‌کند (۶).

روش تجزیه و تحلیل تصاویر حرارتی برای دروغ‌سنجی توسط Pavlidis و همکارانش به صورت رسمی در سازمان ثبت اختراعات و نوآوری‌های آمریکا در سال ۲۰۰۵ ثبت شده است (۱۰). نتایج حاصل از مطالعات زیادی نیز بیانگر توانایی روش‌های مبتنی بر تصویربرداری حرارتی برای بررسی تغییرات دمای بدن

تصویربرداری ۳۲۰\*۲۵۶ پیکسل، و با فرکانس ۲۵ فریم در ثانیه تصویربرداری شده است. دوربین حرارتی در فاصله ۳ متری فرد مستقر شده است. با استفاده از سیستم ثبت سیگنال‌های حیاتی (Psychorec) ساخت پژوهشگاه خواجه نصیرالدین طوسی نیز سیگنال‌های کلاسیک شامل سیگنال‌های تنفسی سینه ای و شکمی، هدایت الکتریکی پوست، فوتو پلتیسموگراف و فشارخون از فرد ثبت شد.

**روند اجرای آزمون:** بطور کلی محیط ثبت شامل سه اتاق مجزای مصاحبه، سناریو و ثبت می باشد. افراد شرکت کننده ابتدا در اتاق مصاحبه، تحت یک مصاحبه پیش آزمون قرار می‌گیرند. به آنها در مورد هدف آزمون و اقداماتی که باید انجام دهند توضیحات کامل داده می‌شود. همچنین از آزمودنی خواسته می‌شود که پنج نام که نام پدر آزمودنی جز این ۵ نام است را بنویسد و تحویل دهد سپس به اتاق سناریو هدایت می‌شوند. در این اتاق آزمودنی تنهاست و اقدامات مربوطه به سناریو ساختگی را انجام می‌دهد.

شرکت کنندگان در یک سناریوی دزدی ساختگی شرکت داده می‌شوند. سناریو به گونه‌ای طراحی شده است که سرقت یک شی ارزشمند (گردنبند طلا) را شبیه‌سازی کند. به افراد تذکر داده می‌شود که ((آزمونگر از اجرا یا عدم اجرای جرم توسط شما اطلاعی ندارد و فقط به پاسخ‌های شما در خصوص ارتکاب جرم اعتماد می‌کند، پس شما بایستی خود را بی گناه جلوه دهید و لذا توانایی شما در کتمان جرم امتیاز محسوب شده و هدیه ویژه‌ای به شما تعلق می‌گیرد)) به آزمودنی‌ها حداکثر ۲۰ دقیقه برای انجام جرم، زمان داده می‌شود، به آن‌ها گفته می‌شود دسته کلیدی را که متعلق به ۶ کتو می‌باشد و در جای مشخصی قرار دارد را برداشته و با چک کردن تک تک کتوها، صندوقچه جواهرات را بیابند، سپس گردنبند آن سرویس طلا را به دقت مشاهده نموده و پس از شمردن تعداد نگین‌های ستون وسط عمودی آن را داخل کیف گذاشته و با خود از اتاق خارج کنند. افراد پس از انجام روند سناریو به اتاق ثبت رفته و توسط آزمونگری که از راستگو و دروغگو بودن آنها اطلاعی ندارد، مورد سوال قرار می‌گیرند. قابل ذکر است که به افراد گفته می‌شود که همراه داشتن کیف دلیل انجام دادن جرم نیست، چون هم افراد راستگو و هم گناه‌کار این کیف را به همراه خود می‌آورند. سپس در اتاق مخصوص ثبت پس از اتصال الکترودها به فرد و تنظیم دوربین حرارتی تست پلی‌گرافی انجام می‌شود.

بطور کلی از هر فرد دو ثبت که هر کدام شامل سه چارت است اخذ گردیده است. در هر دو ثبت از پروتکل GKT (۴، ۱۹) استفاده شده است. در تست GKT، یک آیتیم، آیتیم مربوط به جرم و سایر آیتیم‌ها نامربوط می‌باشند.

در ثبت اول نام پدر فرد براساس لیستی که در ابتدا از فرد گرفته شد، مورد پرسش قرار می‌گیرد. به این شکل که از افراد خواسته می‌شود نام پدر خود را مخفی کنند و در پاسخ به سوال

از تصاویر حرارتی و تعریف ویژگی‌هایی بر روی این سیگنال‌ها با قابلیت ارزیابی توسط کارشناس، مشابه کاری که در تحلیل‌های عددی سیگنال‌های پلی‌گرافی کلاسیک مورد استفاده قرار می‌گیرد، می‌باشد. در نهایت این ارزیابی دستی بر روی سیگنال‌های حرارتی با نمره‌دهی دستی سیگنال‌های فیزیولوژیک که در دادگان این مطالعه ثبت شده است مقایسه می‌شود.

## روش‌ها

در این مطالعه که هدف آزمون فرضیه پیشنهاد شده در خصوص ویژگی‌های جدید (استفاده از ویژگی‌هایی که معمولا از سیگنال‌های فیزیولوژیک شامل تنفس، پاسخ گالوانیک پوست، ضربان قلب و فشار خون استخراج می‌شوند بر روی سیگنال دمای نواحی مختلف چهره) و همچنین روش پیشنهادی برای تحلیل دستی سیگنال‌های حرارتی است، لازم است تا یک مجموعه داده جهت تحلیل‌های مطالعه مورد استفاده قرار بگیرد. با توجه به عدم دسترسی به این مجموعه داده، در این مطالعه یک مجموعه دادگان بومی تهیه شده است. در این قسمت ابتدا دادگان تهیه شده معرفی و سپس روش‌های تحلیل توضیح داده می‌شوند.

## دادگان

**مقدمات ثبت:** بعد از هماهنگی‌های لازم در خصوص مکان ثبت (ساختمانی با حداقل سه اتاق متفاوت)، و تجهیز این ساختمان به ملزومات ثبت، فراخوانی با عنوان "تست روان سنجی - با هدیه نقدی" از طریق افراد مشارکت کننده در انجام پروژه، در سطح شهر تهران (اطلاع رسانی به همکاران و انتشار اطلاعیه در دانشگاه‌های صنعتی امیرکبیر و دانشگاه علامه)، صورت گرفت. اخذ دادگان با همکاری مجریان اصلی ثبت (آزمونگرها) آغاز شد.

افراد شرکت کننده: از بین افراد داوطلب جهت شرکت در آزمون با توجه به فراخوانی انجام شده، تلاش بر این بود اشخاص آزمون‌دهنده از افرادی انتخاب شوند که اطلاعاتی در خصوص پلی‌گرافی نداشته باشند (۱۳ و ۱۲). در ضمن، از طریق پرسشنامه‌هایی، سلامتی افراد از لحاظ بیماری‌های قلبی و تنفسی بررسی شده است. این افراد می‌بایست بیماری قلبی عروقی خاصی نداشتند و در ۲۴ ساعت پیش هیچ داروی مصرف نکرده بودند. جهت یکنواختی بیشتر در آزمودنی‌ها تنها از داوطلبان مرد ثبت گرفته شد. همچنین حداقل تحصیلات دیپلم برای افراد در نظر گرفته شد. در نهایت از ۱۳ آزمودنی مرد با محدوده سنی ۵۵-۲۳ سال در طی ۴ روز ثبت انجام گرفت. این افراد تحصیلات دیپلم تا دکتری داشتند.

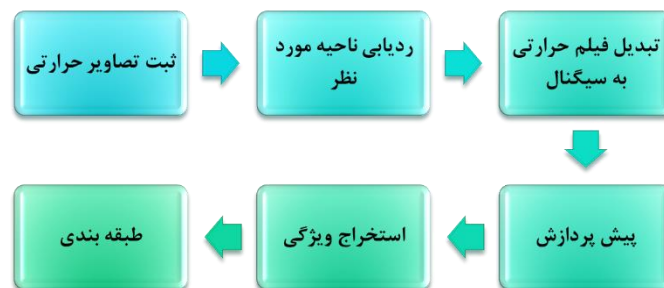
**افراد آزمونگر:** مسئول اصلی ثبت دادگان دو کارشناس ارشد مهندسی پزشکی بودند که در زمینه پلی‌گرافی اطلاعات علمی و سابقه پژوهش داشتند.

**سیستم ثبت:** چهره فرد توسط یک دوربین حرارتی ۱۶ بیتی با رزولوشن حرارتی (NETD) ۰/۰۱ درجه سلسیوس، با قدرت

جواب منفی بدهد. در انتها، بعنوان مشارکت افراد در ثبت نیز هدیه ای به ایشان تعلق می گرفت.

### الگوریتم پردازش تصاویر ویدئویی حرارتی

در این بخش، روش پردازش تصاویر ویدئویی ثبت شده به منظور تشخیص سوال هدف شرح داده خواهد شد. بلوک دیاگرام الگوریتم پردازشی تصاویر حرارتی در شکل ۱- آورده شده است. به صورت کلی بعد از ثبت تصاویر حرارتی، نواحی از چهره که به منظور پردازش مورد بررسی قرار خواهد گرفت، انتخاب شده و سپس این نواحی در کل تصویر ویدئویی مورد ردیابی قرار خواهد گرفت. در مرحله بعد، از این نواحی سیگنال دمایی استخراج می شود. این سیگنال به صورت بیشترین، کمترین و میانگین دمای نواحی مورد ردیابی است. بعد از استخراج سیگنال دما و انجام پیش پردازش، استخراج ویژگی انجام می شود. در نهایت ویژگی ها بعد از نرمال سازی و کاهش بعد به ورودی طبقه بند داده می شوند و خروجی، برچسبی معادل با استرسی بودن یا غیر استرسی بودن سیگنال را خواهد داد. در ادامه هر کدام از مراحل به تفصیل شرح داده خواهد شد.



شکل-۱. بلوک دیاگرام پردازش تصاویر حرارتی

در هر فریم جهت ردیابی ناحیه استفاده می کند. استخراج سیگنال دمایی از تصاویر حرارتی: پس از انجام پیش پردازش در صورت نیاز، از ناحیه های ردیابی شده برای هر فریم سیگنال ماکزیمم استخراج می شود. در مورد سیگنال ماکزیمم برای هر فریم میانگین از ۵٪ گرمترین پیکسلها از ناحیه مورد نظر بدست می آید.

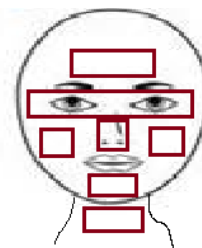
استخراج ویژگی: به منظور حذف نویزهای موجود در سیگنال دما، پیش پردازش باید انجام شود. در اینجا ما از روش هموارسازی به منظور پیش پردازش استفاده کرده ایم. پنجره استفاده شده به منظور هموارسازی در سیگنال مختلف برابر ۱، ۲۰، ۴۰، ۶۰، ۸۰، ۱۰۰ نمونه می باشد.

به منظور تعیین میزان واکنش آزمودنی در هر سوال، ویژگی هایی از سیگنال بدست آمده از تصویر حرارتی استخراج شده است. این ویژگی ها در دو دسته ویژگی های شماره ۱ و ۲ مورد بررسی قرار می گیرد. مجموعه ویژگی های شماره یک ویژگی های ساده تری هستند که در مراجع قبلی در زمینه تشخیص استرس از تصاویر حرارتی به آنها اشاره شده است

"آیا نام پدر شما X است" پاسخ منفی دهند. X تمام نام هایی است که فرد در لیست خود داده است. بنابراین فرد بر روی یک نام که نام پدرش است دروغ می گوید و بر روی بقیه نامها راستگو می باشد. در سه چارت مختلف، سه توالی متفاوت و رندوم از نام های موجود در لیست از فرد پرسیده می شود، شایان ذکر است آزمونگر هیچگونه اطلاعی از نام پدر وی ندارد و کاملا بدون بایاس است.

در ثبت دوم در خصوص جرم ساختگی که دزدیدن گردنبدن طلا می باشد سوال می شود. قابل ذکر است همه ی افراد سناریوی جرم را انجام داده اند بنابراین گناهکار می باشند. طی سه چارت جداگانه، سوالاتی بصورت آیتم وار پیرامون جرم ساختگی از وی پرسیده می شود. از آنجا که همه آزمودنی ها گناهکار هستند از فرد در مورد شی دزدیده شده سوال می شود. اشیاء مورد سوال سکه طلا، انگشتر طلا، انگوی طلا، ساعت طلا و گردنبدن طلا بوده است. بدین صورت که از فرد پرسیده می شد که "آیا شما ... را دزدیده اید؟" و تمامی آیتم ها با ترتیب های متفاوت در طی سه چارت پرسیده شده و فرد می بایست در پاسخ به تمامی سوالات

انتخاب ناحیه مناسب: در کارهای انجام شده در زمینه استفاده از تصاویر حرارتی به منظور دروغ سنجی و تشخیص استرس، برخی نواحی خاص (ROI Region of Interest) از چهره مورد بررسی قرار گرفته است. در پژوهش حاضر همه نواحی شامل پیشانی، دور چشمها، گونه ها (چپ و راست)، بینی، چانه و گردن مورد بررسی قرار گرفته است (شکل ۲).



شکل-۲. نواحی مختلف چهره

ردیابی نواحی: برای ردیابی نواحی مورد نظر، از یک ردیاب (Tracker) مبتنی الگوریتم تعلیم P-N که توسط (۲۱) معرفی شده، استفاده شده است. این ردیاب از همبستگی ناحیه مورد نظر

جهت بررسی بیشتر، در یک مجموعه ویژگی دیگر، از ترکیب ویژگی های ۱ و ۲ بر روی سیگنال‌ها استفاده شده است. این مجموعه ویژگی شامل ۱۷ ویژگی (۱۳ ویژگی قبلی + ۵ ویژگی جدید) از هر سیگنال می‌باشد که جمعا شامل ۶۱۲ ویژگی (۱۷×۶×۶) می‌باشد.

نرمال سازی: جهت حذف اثرات ناشی از شرایط مختلف محیطی و خط پایه، ویژگی‌های استخراجی در هر چارت ثبت داده، نرمال سازی می‌شوند، مقادیر ویژگی‌ها بین بیشینه و کمینه مقدار هر ویژگی در آن چارت (مطابق رابطه ۱) نرمال می‌شود. در این رابطه P مقدر ویژگی مربوطه در هر سوال می‌باشد.

$$P_{new} = \frac{P_{old} - p_{min \text{ in this Chart}}}{p_{max \text{ in this Chart}} - p_{min \text{ in this Chart}}} \quad (1)$$

کاهش بعد ویژگی‌ها: قبل از اعمال ویژگی‌ها به طبقه بند، از روش کاهش بعد آنالیز مولفه‌های مستقل (Principal Component Analysis) استفاده شده است. روش PCA باز ارائه داده در ابعاد کمتر با فرض افزایش واریانس داده می‌باشد. در این روش داده به صورت خطی در راستای محورهایی که دارای بیشترین واریانس است، نگاشت و با انتخاب تعدادی از مهمترین محورها ابعاد اصلی تر انتخاب می‌شوند.

با اعمال PCA با ضریب لامبدای ۰/۰۵ بر روی مجموعه ویژگی‌های ذکر شده از تمام چارت‌ها، کاهش بعد نتایج جدول ۳ را در برداشت.

جدول-۳. تعداد ویژگی‌ها در مجموعه ویژگی ۱ و ۲ بعد از کاهش بعد.

مجموعه ویژگی	تعداد ویژگی‌های کلی	تعداد ویژگی بعد از کاهش بعد
مجموعه ویژگی ۲	۴۶۸=۱۳×۶×۶	۱۱۲
مجموعه ویژگی ۱	۱۴۴=۴×۶×۶	۲۹
ترکیب ویژگی‌های ۱ و ۲	۶۱۲=۱۷×۶×۶	۱۲۱

این کاهش تعداد ویژگی‌ها به دلیل وجود ویژگی‌های که تنها در نرم سازی سیگنال‌ها با هم تفاوت دارند منطقی به نظر می‌رسد.

طبقه بند: برای طبقه بندی از طبقه بند جداساز خطی (LDA Linear Discriminate Analysis) که روش تفکیک پذیر خطی است استفاده شده است.

### نمره دهی دستی دادگان

جهت تحلیل و ارزیابی دادگان به روش دستی، از دو روش نمره دهی دستی سیگنال‌های فیزیولوژیک و نمره دهی دستی سیگنال‌های حرارتی توسط کارشناس استفاده شده است.

نمره دهی دستی سیگنال‌های فیزیولوژیک: کلیدی ترین نکته در مبحث استرس سنجی سیگنال‌های تست پلی گراف، استخراج ویژگی‌های مناسب است. در مراجع مختلف، روش‌های متفاوتی برای استخراج ویژگی پیشنهاد داده شده است. جهت تشخیص

(۱۸۱). این ویژگی‌ها، شامل ۴ نوع ویژگی هستند که یکی از آنها مربوط به شیب خط تغییر دما در بازه سوال است و سه ویژگی دیگر اختلاف دما بین یک بازه بعد از شروع سوال و یک بازه قبل از شروع سوال می‌باشد. ویژگی‌های شماره دو، ویژگی‌هایی هستند که در این مطالعه جهت استخراج از سیگنال‌های حرارتی پیشنهاد شده اند و در مراجع قبلی (۲۰-۱۹) بر روی سایر سیگنال‌های فیزیولوژیک اعمال شده است. تاکنون تحقیقات زیادی بیرامون تعریف ویژگی‌های مختلف بر روی سیگنال‌های محیطی نظیر نرخ ضربان قلب انجام شده است. با توجه به اینکه که فعالیت فیزیولوژیک همچون تغییر نرخ ضربان قلب می‌تواند دینامیک‌های مشابه‌ای را در دمای چهره نیز ایجاد کند، در این مطالعه یک مجموعه ویژگی که در مطالعات قبلی بر روی سیگنال‌های نرخ ضربان قلب (HR)، پاسخ گالوانیک پوست (GSR)، فشار خون (BP) و تنفس جهت تشخیص استرس اعمال می‌شود را بر روی سیگنال‌های حرارتی توصیف کردیم. این ویژگی‌ها از سیگنال‌های حرارتی نواحی مختلف صورت (گردن، چانه، گونه چپ، گونه راست، پیشانی راریتال و دور چشم‌ها) و با اندازه پنجره‌های نرم کردن متفاوت (۱، ۲۰، ۴۰، ۶۰، ۸۰، ۱۰۰) استخراج شدند. بنابراین در این مرحله جمعا ۴۶۸ ویژگی از ۶ ناحیه مختلف و ۶ اندازه پنجره نرم کردن مختلف و ۱۳ ویژگی (۴۶۸=۱۳×۶×۶) بدست می‌آید.

جدول-۱. مجموعه ویژگی شماره ۱

شماره	ویژگی‌ها روی سیگنال ماکزیمم
۱	اختلاف متوسط ۲۳ نمونه قبل از شروع سوال و متوسط ۲۵۰ نمونه پس از پایان پاسخ
۲	اختلاف ۸۳ متوسط نمونه قبل از شروع سوال و متوسط ۱۶۶ نمونه پس از پایان پاسخ
۳	اختلاف ۲۵۰ نمونه قبل از شروع سوال و ۱۲۵ نمونه پس از پایان پاسخ
۴	شیب خط رگرسیون دوره پرسش و پاسخ در هر سوال

جدول-۲. مجموعه ویژگی‌های شماره ۲

شماره	ویژگی‌ها
۱	تفاوت دامنه صدک ۱۶۵م و ۱۱۵م سیگنال
۲	زمان بین رسیدن به صدک ۱۷۵م و ۱۵۰م سیگنال
۳	زمان رسیدن به صدک ۱۳م مشتق سیگنال
۴	زمان رسیدن به صدک ۱۵۰م مشتق سیگنال
۵	زمان بین رسیدن به صدک ۱۷۵م و ۱۵۰م مشتق سیگنال
۶	توان سیگنال در بازه فرکانسی 0-0.15 هرترز
۷	توان سیگنال در بازه فرکانسی 0.15-0.30 هرترز
۸	فاصله بین بزرگترین ماکزیمم سیگنال با مینیمم قبل از آن
۹	طول خط سیگنال
۱۰	میانگین سیگنال
۱۱	انحراف معیار سیگنال
۱۲	میانگین مشتق سیگنال
۱۳	انحراف معیار مشتق سیگنال

جدول-۴. ویژگی های معرف واکنش در نمره دهی دستی سیگنال های حرارتی

ویژگی های مورد استفاده در نمره دهی دستی	شیب خط سیگنال پیشانی شیب خط سیگنال ناحیه دور چشم میانگین دما ناحیه دور چشم در سوال موردنظر اختلاف میانگین دما بین گونه چپ و راست
---	---

جهت اختصاص عدد به ویژگی ها از آنجا که ۵ سوال از نوع مربوط داشتیم سوالی که بیشترین واکنش را داشت عدد ۵ و کمترین واکنش عدد ۱ را به خود اختصاص می داد. در واقع به نوعی از نمره دهی ۵ جایگاهی استفاده شده است. به ازای ۴ ویژگی ذکر شده انتصاب واکنش ها به عدد انجام شد و در نهایت جمع واکنش ها در تمام ویژگی ها به عنوان واکنش در آن سوال در نظر گرفته شد. سوال هدف، سوالی بود که مقدار عددی بیشتری در مجموع سه چارت فرد داشته باشد.

### نتایج

جهت بررسی نتایج، از آنجا که ایده این مطالعه معرفی ویژگی های جدید است، به مقایسه نتایج طبقه بند به ازای دو دسته ویژگی، ویژگی های قبلی (که عمدتاً در در کارها قبلی مورد استفاده قرار می گرفته است) و ویژگی های پیشنهاد شده در این مطالعه می پردازیم. ابتدا درصد صحت طبقه بند بر روی داده های آموزش برای دو دسته ویژگی تعریف شده در الگوریتم را بررسی می کنیم. جدول ۵- این نتایج را نشان می دهد.

جدول-۵. درصد صحت طبقه بند بر روی داده های آموزش به ازای مجموعه ویژگی های متفاوت.

مجموعه ویژگی	درصد صحت طبقه بند بر روی داده های آموزش
مجموعه ویژگی جدید	۹۶٪
مجموعه ویژگی قبلی	۷۰٫۶۷٪
ترکیب ویژگی های جدید و قبلی	۹۸٪

جهت بدست آوردن درصد صحت تست از روش LOO (Leave-One-Out) و به این طریق که در هر بار تکرار، یک تک ثبت (یک سوال) به عنوان داده تست و مابقی به عنوان داده آموزش در نظر گرفته می شود استفاده شد. جدول ۶ این نتایج را نشان می دهد.

جدول-۶. درصد صحت تشخیص تست به روش LOO

مجموعه ویژگی	درصد صحت طبقه بند بر روی داده های تست به روش LOO
مجموعه ویژگی جدید	۷۱٫۶۷٪
مجموعه ویژگی قبلی	۶۲٫۷۸٪
ترکیب ویژگی های جدید و قبلی	۷۲٫۲۲٪

دانش فرد خطا کار، محتوای اطلاعاتی رخدادهای مذکور در سه کانال زیر، بعنوان پاسخ فیزیولوژیک (واکنش) شناخته می شوند: ۱- کانال تنفسی (AR,TR): افزایش موقت خط پایه بعنوان ویژگی Non-RLL و ویژگی های RLL شامل آپنه، کاهش دامنه بصورت آبی، کاهش تدریجی دامنه، کاهش نرخ، تغییر نسبت دم و بازدم؛ (عبارت RLL به معنای طول خط تنفس است و به اندازه گیری خطی یک شکل موج در طول یک بازه زمانی مشخص گفته می شود) (۲۰)، ۲- کانال فعالیت الکتریکی پوست (SC): (دامنه و طول زمانی پاسخ، بعلاوه ویژگی پاسخ پیچیده در صورت وجود؛ (طول زمانی پاسخ، بازه زمانی بین لحظه شروع پاسخ تا انتهای پاسخ است و پاسخ پیچیده بمعنای توالی دو پیک یا بیشتر به شرط عدم بازگشت به خط پایه می باشد)، ۳- کانال فشار خون (BP): افزایش خط پایه و طول زمانی پاسخ. برای نمره دهی دادگان در تکنیک GKT، به ازای هر سیگنال میزان واکنش مابین تمام سوالات یک چارت مقایسه شده و قویترین واکنش نمره منفی می گیرد. در پایان براساس مجموع بدست آمده برای هر چارت و همچنین مجموع سه چارت، می توان سوال با بیشترین واکنش یا احتمال فریب تشخیص داد.

نمره دهی دستی سیگنال های حرارتی: اصول نمره دهی برای هر سیگنال منحصر بفرد است لذا سیگنال حرارتی نیز اصول مربوط به خود را دارد. جهت استخراج این اصول از مقالاتی که قبلاً در این زمینه کار کرده بودند استفاده شده است. مهمترین گروه در این زمینه پاولیدیس و همکارانش بوده اند. آنها در کارهای خود افزایش دمای پیشانی و ناحیه دور چشم را نشان دهنده استرس ذکر کرده اند (۱۰ و ۱۵) و سوالی که در آن شیب خط برازش شده بر روی سیگنال حرارتی از ابتدا شروع سوال تا حدود ۲۰ ثانیه بعد بیشتر باشد را به عنوان سوال دروغ فرد در نظر گرفته اند. از این رو ما نیز این دو پارامتر را جهت نمره دهی استفاده کردیم. مشاهده شیب خط به صورتی چشمی بود (مثلاً مشابه شیب در سیگنال GSR) البته از تابع برازش در متلب نیز به عنوان ابزار کمکی استفاده شد. گاهی پیش می آمد که سیگنال به گونه ای بود که تابع برازش متلب خوب کار نمی کرد که در این موارد اهمیت نمره دهی دستی بیشتر مشخص می شود.

پارامتر دیگر که در (۶) اتخاذ شده است بدین صورت است که آنها از میانگین دمای ناحیه پیشانی در کل محدوده سوال استفاده کردند و سوالی که میانگین دما در آن بیشتر بوده را به عنوان سوال دروغ فرد در نظر گرفته اند.

پارامتر بعدی اختلاف میانگین دمای گونه چپ و راست در محدوده سوال است (۵). به این شکل که هرچه اختلاف دمای گونه راست بیشتر از چپ باشد فرد در آن سوال استرس ناشی از دروغ بیشتری داشته است. این پارامتر نیز جزو معیارهای نمره دهی به کار گرفته شد.

بنابر آنچه که ذکر شد، جدول-۴ ویژگی های مورد استفاده جهت نمره دهی را خلاصه می کند.

خارج می شوند. و برای هر سوال (برای مثال R1) از ویژگی های آن در سه چارت میانگین گرفته می شود و سپس به طبقه بند اعمال می شود. هر یک از سوالات که خروجی طبقه بند برای آنها نشاندهنده استرس بیشتر باشد به عنوان سوال هدف تشخیص داده می شود. جدول ۸- نتایج این تحلیل را نشان می دهد.

جدول ۸- نتایج تشخیص سوال هدف با استفاده از الگوریتم پیشنهاد شده

شماره آزمودنی	سوال با بیشترین واکنش	سوال هدف
۱	R5	R5
۳	R5	R5
۴	R1, انتخاب دوم : R3	R5
۵	R5	R5
۶	R5	R5
۷	R5	R5
۸	R2, انتخاب دوم : R5	R5
۹	R5	R5
۱۱	R5	R5
۱۲	R5	R5
درصد صحت		۸۰٪

یک کارشناس پلی گرافی، تحلیل و نمره دهی دستی سیگنال های پلی گرافی کلاسیک و حرارتی را نیز انجام داد. از بین ویژگی های گفته شده جهت نمره دهی دستی سیگنال های حرارتی ویژگی اختلاف دمای گونه چپ و راست چندان مورد استفاده قرار نگرفت چون برای اکثر افراد دمای گونه چپ از راست بیشتر بود در حالی که بیشتر بودن دمای راست از چپ نشان دهنده ی واکنش دروغ بود. جدول ۹- نتایج بدست آمده توسط کارشناس را برای دو تحلیل گفته شده نشان می دهد. لازم به ذکر است که در سه آزمودنی به دلیل حرکت زیاد و ایجاد انسداد در تصویر، تصاویر ویدئویی آنها قابل تحلیل نبود، لذا این سه آزمودنی از تحلیل حذف شده اند. مطابق این جدول همبستگی بین دو روش برابر ۷۰ درصد می باشد.

جدول ۹- نتایج نمره دهی دستی سیگنال های فیزیولوژیک و حرارتی توسط یک کارشناس

شماره آزمودنی	فیزیولوژیک	حرارتی
۱	×	×
۳	✓	×
۴	✓	×
۵	✓	×
۶	×	×
۷	✓	✓
۸	✓	✓
۹	✓	✓
۱۱	✓	✓
۱۲	✓	✓
درصد صحت		۵۰٪

از آنجا که روش کاهش بعد PCA ویژگی ها را به فضای دیگر می نگارد و امکان ارزیابی ویژگی های انتخاب شده وجود ندارد، جهت بررسی بیشتر ویژگی ها و ارزیابی فرض اولیه مطالعه مبنی بر همبستگی سیگنال های فیزیولوژیک با دمای نواحی مختلف چهره از روش گام به گام (stepwise) نیز جهت انتخاب ویژگی استفاده شد. در این صورت با انتخاب ویژگی هایی که معنی داری (p-value) آنها کمتر از ۰/۰۵ است به ۱۹ ویژگی رسیدیم. این ویژگی ها در جدول ۷- خلاصه شده اند. در این جدول مشخص شده است که هر ویژگی بر روی چه سیگنال فیزیولوژیک جهت تشخیص استرس در منابع اعمال شده است. با توجه به این جدول دیده می شود که ویژگی ای که عمدتاً بر روی سیگنال ضربان قلب جهت تشخیص استرس اعمال می شود در اینجا جزء ویژگی مطلوب از ناحیه ی گردن که ناحیه ای با بیشترین تاثیر از ضربان قلب است، محسوب شده است. همچنین ویژگی مربوط به پاسخ گالوانیک پوست جزء ویژگی مطلوب ناحیه پیشانی که تعرق زیادی در هنگام استرس دارد می باشد.

جدول ۷- ویژگی های انتخاب شده به روش گام به گام

سیگنال فیزیولوژیک	ویژگی	ناحیه / پنجره نرم سازی
HR	اختلاف بین ۱۲۵ sample بعد از شروع سوال از ۲۵۰ sample قبل (شماره ۱۷)	neck 1 neck 20 neck 40 neck 60 neck 80
	زمان بین رسیدن به صدک ۱۷۵ام و ۱۵۰ام سیگنال (شماره ۲)	Right Cheek 1 Chin 20 Chin 80
	زمان رسیدن به صدک ۱۳۳ام مشتق سیگنال (شماره ۳)	preorbital 1 preorbital 100
	زمان رسیدن به صدک ۱۵۰ام مشتق سیگنال (شماره ۴)	preorbital 1 Right Cheek 20 supraorbital 40 Chin 60
GSE, HR	زمان بین رسیدن به صدک ۱۷۵ام و ۱۵۰ام مشتق سیگنال (شماره ۵)	neck 20 Right Cheek 20 supraorbital 60
	توان سیگنال در بازه فرکانسی 0.15-0.30 هرتز (شماره ۷)	neck 20
GSR, BP	شیب خط برازش شده بر روی سیگنال در محدوده سوال (شماره ۱۴)	supraorbital 60

برای تشخیص سوال هدف (سوالی که فرد در آن دروغ گفته است)، لازم است سوالی را که در مجموع سه چارت فرد بیشترین واکنش را داشته بدست آورده و با برچسب واقعی مقایسه شود. برای این کار از روش LOO استفاده می شود به این ترتیب که داده های مربوط به هر سه چارت فرد از مجموعه دادگان آموزش



## بحث

بیشتر از نمره دهی دستی سیگنال‌های حرارتی بوده است. در این نتیجه، سابقه کارشناس در تحلیل چارت‌های پلی‌گرافی کلاسیک و همچنین ویژگی‌های معروف و با قابلیت اطمینان تعریف شده بر روی سیگنال‌های پلی‌گرافی کلاسیک نقش مهمی ایجاد می‌کنند از این رو به نظر می‌رسد افزایش مهارت کارشناس در تحلیل این سیگنال‌ها و بهره‌گیری از ویژگی‌های بهتر از طریق تجربه سبب ارتقاء این روش خواهد شد. درصد صحت الگوریتم خودکار بر روی دادگان حرارتی با درصد صحت نمره دهی دستی دادگان فیزیولوژیک برابر است که خود تاییدی بر عملکرد مناسب الگوریتم در تشخیص فریب است.

با وجود اینکه، تصویربرداری حرارتی روشی غیر تماسی برای تشخیص استرس است اما عدم شرایط محیطی مطلوب برای ثبت می‌تواند تاثیر زیادی بر روی سیگنال‌های حاصله بگذارد. از این رو، اتاق ثبت، با حداکثر پایداری حرارتی از جمله مواردی است که بر صحت سیگنال‌های بدست آمده می‌افزاید اما در ثبت‌های این مطالعه از یک اتاق معمولی برای انجام ثبت استفاده شده است. دوربین حرارتی که در این مطالعه به کار رفته است، دما را به صورت مقدار مطلق به دست نمی‌دهد بلکه تنها مقادیر پیکسل‌های تصویر را در اختیار می‌گذارد حال آنکه مقدار مطلق دما می‌تواند یک شاخص و ویژگی مناسب محسوب شود. مهارت کارشناس در تحلیل‌های چشمی و دستی سیگنال‌های حرارتی می‌تواند کمک زیادی در تایید سیگنال‌های حاصله و تشخیص استرس نماید، عدم وجود این مهارت به دلیل انجام ثبت‌هایی با تعداد کم از محدودیت‌های این مطالعه می‌باشد. علاوه بر این، تعداد کم ثبت‌ها، رسیدن به توان آماری مطلوب را محدود می‌سازد که نیازمند افزایش دادگان می‌باشد.

## نتیجه‌گیری

در این مطالعه به تعریف ویژگی‌های جدید برای تشخیص استرس و فریب و همچنین امکان سنجی نمره دهی دستی سیگنال‌های حرارتی توسط کارشناس خبره از روی تصاویر حرارتی چهره پرداخته شد. با توجه به نتایج، الگوریتم تعریف شده با درصد صحت ۸۰٪ عملکرد خوبی در تشخیص سوال حاوی فریب فرد داشته است. از سوی دیگر روش نمره‌دهی دستی پیشنهاد شده همبستگی خوبی با نتایج نمره دهی دستی سیگنال‌های فیزیولوژیک داشته است اما درصد صحت آن به مراتب از الگوریتم خودکار کمتر می‌باشد. از این رو الگوریتم معرفی شده می‌تواند جهت آشکارسازی فریب به خصوص در کاربردهای غربالگری با استفاده از تصاویر حرارتی پیشنهاد شود.

## تشکر و قدردانی: این پژوهش حاصل قسمتی از فعالیت-

های انجام شده در یک پروژه تحقیقاتی در زمینه استفاده تصویربرداری حرارتی جهت تشخیص استرس و فریب در پژوهشکده‌ی پردازش داده، پژوهشگاه توسعه‌ی فناوری‌های پیشرفته خواجه‌نصیرالدین طوسی دز سال‌های ۹۲ الی ۹۴ می‌باشد.

با توجه به مروری سوابق که در قسمت مقدمه به آن اشاره شد، در اکثر مطالعات انجام شده در زمینه تشخیص استرس و فریب از روی سیگنال‌های حرارتی، از ویژگی‌های ساده‌ای همچون افزایش میانگین یا شیب دمای ناحیه خاص جهت تحلیل استرس استفاده شده است (۱۸-۵). در این مطالعه به بررسی ویژگی‌هایی که جهت تشخیص استرس از سیگنال‌های فیزیولوژیک شامل تنفس، پاسخ گالوانیک پوست، ضربان قلب و فشار خون استخراج می‌شود پرداخته شد و استخراج چنین ویژگی‌هایی از سیگنال‌های حرارتی مورد ارزیابی قرار گرفت. ایده این کار بر این اساس است که دمای چهره که در تصاویر حرارتی قابل ثبت است، ترکیبی از تمام فعالیت‌های فیزیولوژیک ذکر شده می‌باشد.

جهت استخراج سیگنال حرارتی، ابتدا نواحی از چهره که از اهمیت بیشتری برخوردار است ردیابی شد. سپس از هر کدام یک سیگنال استخراج شد، ویژگی‌های ذکر شده بر روی سیگنال تمام نواحی اعمال شد و بعد از کاهش بعد ویژگی‌ها به روش PCA به درصد صحت ۹۸٪ بر روی داده آموزش و ۷۲٪ بر روی تشخیص تک ثبت به روش LOO با استفاده از طبقه بند LDA حاصل شد. این نتایج در مقایسه با حالتی که تنها ویژگی‌های ساده‌ای که در مطالعات قبلی استفاده شده است (۱۸-۵) (ویژگی‌های شماره ۱) به کار گرفته شود، افزایش صحت از ۶۲/۷۸٪ به ۷۲/۲۲٪ درصد را نشان می‌دهد. درصد صحت تست در تشخیص سوال هدف هر یک از آزمودنی‌ها با ترکیب نتیجه سه چارت آنها برابر ۸۰٪ بود. این صحت قابل مقایسه با صحت بدست آمده در سامانه‌های کلاسیک تشخیص فریب (۷۰ الی ۸۵ درصد) است (۴-۱).

ارزیابی ویژگی‌های انتخاب شده در هر ناحیه فرضیه‌ی اولیه ما مبنی بر همبستگی بین سیگنال‌های فیزیولوژیک و اثر آن تغییر فیزیولوژیک بر روی دمای چهره را نشان می‌دهد.

از سوی دیگر در این مطالعه، به بررسی روشی جهت نمره‌دهی دستی سیگنال‌های حرارتی چهره و مقایسه نتایج آن با نمره‌دهی سیگنال‌های فیزیولوژیک پرداخته شد. از ۴ ناحیه، پیشانی، دور چشم‌ها و گونه چپ و راست سیگنال حرارتی استخراج شد و با تعریف ویژگی‌های جدول ۱- که ویژگی‌های مطرح در مقالات قبل برای آنالیزهای خودکار و چشمی می‌باشد، یک کارشناس، نمره دهی دستی سیگنال‌های حرارتی را نیز انجام داد. کارشناس سابقه‌ی تحلیل چارت‌های پلی‌گرافی را داشت و علاوه بر سیگنال‌های حرارتی، تحلیل سیگنال‌های پلی‌گرافی را نیز انجام داد. جدول ۲- نتایج را بر روی ۱۰ آزمودنی نشان می‌دهد. میزان شباهت نتایج در دو روش برابر ۷۰٪ می‌باشد که تا حدودی اعتبار روش پیشنهاد شده جهت نمره‌دهی دستی دادگان با ویژگی‌های ذکر شده را نشان می‌دهد. با این وجود درصد صحت نمره دهی دستی سیگنال‌های فیزیولوژیک

هیچ گونه تضاد منافی در خصوص پژوهش حاضر وجود ندارد.

**تضاد منافع:** بدینوسیله نویسندگان تصریح می نمایند که

### منابع

1. Elaad E, Ben-Shakhar G. Finger pulse waveform length in the detection of concealed information. *International Journal of Psychophysiology*. 2006 Aug 31;61(2):226-34.
2. Bradley MT, Janisse MP. Accuracy demonstrations, threat, and the detection of deception: Cardiovascular, electrodermal, and pupillary measures. *Psychophysiology*. 1981 May 1;18(3):307-15.
3. Bradley MT, Rettinger J. Awareness of crime-relevant information and the Guilty Knowledge Test. *Journal of Applied Psychology*. 1992 Feb;77(1):55.
4. Matte JA. Forensic psychophysiology using the polygraph: Scientific truth verification, lie detection. JAM Publications; 1996.
5. Warmelink L, Vrij A, Mann S, Leal S, Forrester D, Fisher RP. Thermal imaging as a lie detection tool at airports. *Law and human behavior*. 2011 Feb 1;35(1):40-8.
6. Shastri D, Papadakis M, Tsiamyrtzis P, Bass B, Pavlidis I. Perinasal imaging of physiological stress and its affective potential. *IEEE Transactions on Affective Computing*. 2012 Jul;3(3):366-78.
7. Pavlidis I, Levine J. Thermal image analysis for polygraph testing. *IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine*. 2002 Nov;21(6):56-64.
8. Yankee WJ. An investigation of sphygmomanometer discomfort thresholds in polygraph examinations. *Police*. 1965 Jul;9(6):12-18.
9. Warmelink L, Vrij A, Mann S, Leal S, Forrester D, Fisher RP. Thermal imaging as a lie detection tool at airports. *Law and human behavior*. 2011 Feb 1;35(1):40-8.
10. Pavlidis I, inventor; Honeywell International Inc., assignee. System and method using thermal image analysis for polygraph testing. United States patent US 6,854,879. 2005 Feb 15.
11. Pavlidis I, Eberhardt NL, Levine JA. Human behaviour: Seeing through the face of deception. *Nature*. 2002 Jan 3;415(6867):35
12. Pollina DA, Dollins AB, Senter SM, Brown TE, Pavlidis I, Levine JA, Ryan AH. Facial skin surface temperature changes during a "concealed information" test. *Annals of biomedical Engineering*. 2006 Jul 1;34(7):1182-9.
13. Tsiamyrtzis P, Dowdall J, Shastri D, Pavlidis IT, Frank MG, Ekman P. Imaging facial physiology for the detection of deceit. *International Journal of Computer Vision*. 2007 Feb 1;71(2):197-214.
14. Dowdall J, Pavlidis I, Tsiamyrtzis P. Coalitional tracker for deception detection in thermal imagery. *InAugmented Vision Perception in Infrared 2009* (pp. 113-137). Springer London.
15. Pavlidis I, Levine J. Monitoring of periorbital blood flow rate through thermal image analysis and its application to polygraph testing. *InEngineering in Medicine and Biology Society, 2001. Proceedings of the 23rd Annual International Conference of the IEEE 2001* (Vol. 3, pp. 2826-2829). IEEE.
16. Derakhshan A, Khalilzadeh M, Mohammadian A. Detecting stress using signal of preorbital" *The Modares Journal of Electrical Engineering*. 2011, 10(4):101-113.
17. Park KK, Suk HW, Hwang H, Lee JH. A functional analysis of deception detection of a mock crime using infrared thermal imaging and the concealed information test 2013.
18. Jain U, Tan B, Li Q. Concealed knowledge identification using facial thermal imaging. *InAcoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP), 2012 IEEE International Conference on 2012 Mar 25* (pp. 1677-1680). IEEE.
19. Saidi M., Torabi S., Danesh M., Rezania S, Sharifi A. Native Implementation of Data Recording in Lie Detectoin and Analyze of Number Test Data", *The 21th Iranian Conference on Electrical Engineering, Iran, 2013* (In Persian).
20. Krapohl D, Stern B, Bronkema Y. Numerical evaluation and wise decisions. *Polygraph*. 2003;32(1):1-3
21. Kalal Z, Matas J, Mikolajczyk K. Pn learning: Bootstrapping binary classifiers by structural constraints. *InComputer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2010 IEEE Conference on 2010 Jun 13* (pp. 49-56). IEEE.