

الناز ایل بیگی * ۱

محمد رضا یزدچی ۲

امین مهنام ۲

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی پزشکی، دانشگاه اصفهان

۲- استادیار گروه مهندسی پزشکی، دانشگاه اصفهان

* نشانی نویسنده مسؤل: اصفهان، خیابان هزار جریب، دانشگاه اصفهان

نشانی الکترونیکی:

eln.eilbaigi@gmail.com

el_eilbaigi@eng.ui.ac.ir

مجله علمی سازمان نظام پزشکی جمهوری اسلامی ایران، دوره ۳۲، شماره ۱، بهار ۱۳۹۳: ۲۷-۴۰

• مقاله تحقیقی کد مقاله: ۰۳

طراحی سیستم پیشرفته-ای برای بازشناسی احساسات بر اساس سیگنال-های مغزی و تصاویر چهره

چکیده

زمینه: با توجه به نقش احساسات در زندگی انسان، چنانچه به توان احساسات را هم-زمان با تحلیل حالت چهره، از طریق سیگنال EEG بازشناسی کرد، می-توان حالت‌های احساسی واقعی را از تصنعی تشخیص داد. از مهم‌ترین کاربردهای این امر، دروغ-سنجی و همچنین کمک به بیماران است که قادر به درک احساسات هستند اما از نشان دادن آن در چهره خود ناتوانند.

روش کار: در این مطالعه آزمایش-هایی برای ایجاد حالت‌های مختلف احساسی طراحی شده است. با توجه به فقدان مجموعه تحریک کننده‌های عاطفی برای انجام چنین مطالعاتی در فرهنگ ایرانی، علاوه بر بازشناسی احساسی، جمع-آوری مجموعه تحریک کننده‌های عاطفی از دیگر اهداف این مطالعه بوده است. برای تحقق این اهداف ۲۴ شرکت-کننده شامل ۱۶ مرد و ۸ زن، از طریق سیستم تصاویر استاندارد عاطفی و مجموعه از فیلم‌هایی که با توجه به فرهنگ ایرانی جمع-آوری شده-اند تحریک می‌شوند.

یافته‌ها: پس از بررسی روش-های مختلف، ویژگی بعد فرکتال و طبقه-بند AdaBoost به عنوان بهترین روش-های بازشناسی انتخاب شدند و در بهترین حالت صحت ۹۲٪ برای مجموعه محرک عاطفی و صحت ۷۹/۶٪ برای تصاویر استاندارد به دست آمده است. برای استقلال روش بازشناسی از جنسیت، بازشناسی به صورت مجزا در گروه زن و مرد انجام نشده و هر دو جنس را شامل می‌شود.

نتیجه‌گیری: با وجود تفاوت در جنسیت شرکت-کننده‌ها، نتایج به دست آمده نشان از قوی بودن روش-های بازشناسی دارند. همچنین موفقیت بیشتر مجموعه فیلم-های جمع-آوری شده جهت تحریک عاطفی به وضوح دیده می‌شود. بنابراین استفاده از سیگنال EEG در کنار تحلیل حالت چهره می-تواند مشکل مشخص نبودن احساسات از روی تصاویر چهره را برطرف کند.

واژگان کلیدی: بازشناسی احساسات، سیگنال EEG، تحلیل حالت چهره، سیستم تصاویر استاندارد عاطفی، بعد فرکتال.

مقدمه

احساسات نقش مهمی در زندگی انسان-ها ایفا می-کند. به طوری که بخش قابل توجهی از فرآیند تصمیم‌گیری، از احساسات ما تأثیر می-پذیرد. بنابراین نقش احساس تنها یک نقش تجملی نیست و تلاش برای بازشناسی آن از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. توانایی در تشخیص و بازشناسی احساسات می-تواند در ساخت ماشین‌هایی با ویژگی-های احساسی نزدیک به انسان نقش مؤثری داشته باشد. از این رو محققان زمینه-علمی جدیدی را با نام محاسبات عاطفه‌گرا^۱ بنیان نهادند [۱].

با وجود این-که تمامی انسان-ها احساسات را در وجود خود درک می‌کنند اما تعریف مشخصی برای آن وجود ندارد. بهترین و کاربردی-ترین تعریفی که تا کنون از احساس و اندازه-گیری آن شده است عبارت است از: احساس پدیده-ای است متشکل از چهار مؤلفه: ۱- واکنش-های رفتاری^۲ - ۲- واکنش-های بروز حالت^۳ - ۳- واکنش-های فیزیولوژیک^۴ - ۴- تجربه ذهنی و درونی^۵ [۲]. یکی از روش-های اندازه-گیری احساس استفاده از عکس-العمل-های بروز حالت است. استفاده از این روش-ها مشکلاتی از قبیل پنهان کردن احساس توسط فرد^۶ و تفاوت-های فردی در بروز حالت را دارد و اندازه-گیری احساس را مشکل می-کند، بنابراین استفاده از عکس-العمل-های فیزیولوژیکی همچون استفاده از تغییرات ایجاد شده در سیگنال قلب، سیگنال مغز و درجه حرارت بدن می-تواند به اندازه-گیری احساسات کمک کند. با توجه به این که سیستم لیمبیک^۷ یا سامانه-عصبی احساسی، مجموعه-پیچیده-ای از سازه‌های عصبی است که در زیر مخ و دو طرف تالاموس^۸ یافت می-شود و عامل زندگی احساسی انسان است، تغییر در احساسات تأثیر قابل توجهی بر روی سیگنال-های مغزی دارد بنابراین سیگنال^۹ EEG یکی از سیگنال‌هایی است که در سال-های اخیر بسیار مورد توجه قرار گرفته -است با این وجود چنان-چه بتوان احساسات را هم-زمان با تحلیل حالت چهره، از طریق سیگنال EEG تشخیص داد، می-توان حالت-های احساسی واقعی را از حالت-های چهره تصنعی تشخیص داد که یکی از مهم‌ترین کاربرد-های آن در دروغ-سنجی می-باشد. همچنین می-توان از آن برای کمک به بیمارانی که قادر به درک احساسات هستند اما از نشان دادن آن در چهره خود ناتوانند استفاده کرد.

^۲ Behavioral Reactions -

^۳ Expressive Reactions -

^۴ Physiological Reactions -

^۵ Subjective Feelings -

^۶ Social Masking -

^۷ Limbic -

^۸ Thalamus -

^۹ Electroencephalogram -

در سال ۲۰۰۶ و در یک کارگاه آموزشی برای اولین بار استفاده از سیستم چند نمایی^{۱۰} برای بازشناسی احساسات آغاز شد. در این کارگاه آموزشی سه نوع ثبت، شامل ثبت سیگنال الکتروانسفالوگرام، سیگنال-های^{۱۱} FNIRS و فیلم ویدئویی از حالات چهره در هنگام انجام آزمایش مورد استفاده قرار گرفت. این پژوهش مشکلاتی از قبیل ترکیب نکردن سیگنال EEG و تصویر، همچنین کم بودن جامعه- آماری (تنها ۵ شرکت-کننده) و نشان ندادن نتایج کمی حاصل از طبقه-بندی را دارد [۳].

در سال ۲۰۰۹ تلاش دیگری برای استفاده از سیستم-های چند نمایی جهت بازشناسی احساسات شده است اما ایرادی که به این مطالعه وارد است کم بودن تعداد شرکت-کننده-ها (تنها ۳ شرکت کننده) و نیز بازشناسی نکردن احساسات به طور دقیق از روی سیگنال EEG و تصاویر است و تنها به جداسازی احساسات مثبت و منفی بسنده شده است [۴].

در تمامی کارهای انجام شده در گذشته که در خارج از ایران انجام شده است از سیستم تصاویر استاندارد عاطفی دانشگاه فلوریدا آمریکا استفاده شده است و در برخی مطالعات نیز از مجموعه فیلم‌هایی استفاده شده است که متناسب با فرهنگ کشور نویسندگان آن پژوهش-ها می-باشد. در ایران نیز معمولاً تحقیقات در مبحث محاسبات عاطفه-گرا بر روی سیگنال-های ثبت شده و آماده بر روی جوامع غیر ایرانی انجام می-شود. با توجه به این که انسان-ها ویژگی‌های متفاوتی دارند و این تفاوت-ها پاسخ‌های مختلفی را در سیستم اعصاب خودکار ایجاد می‌کند، مشخصات افراد شرکت کننده شامل سن، جنس و ملیت آن-ها اهمیت زیادی در نتایج بازشناسی دارد. با توجه به فقدان مجموعه تحریک-کننده‌های عاطفی برای انجام چنین مطالعاتی در فرهنگ ایرانی، در این مطالعه سعی بر انجام آزمایش-هایی مطمئن و ایجاد چهار وضعیت احساسی از طریق مجموعه فیلم-های تحریک کننده عاطفی شده است. شرکت کننده‌ها یک-بار از طریق سیستم تصاویر استاندارد عاطفی که در دانشگاه فلوریدا جمع-آوری شده است تحریک می-شوند و بار دیگر از طریق مجموعه از فیلم‌هایی که با توجه به فرهنگ ایرانی جمع-آوری شده-اند آزمایش می-شوند. در نهایت بازشناسی از طریق سیگنال EEG ثبت شده و تصاویر چهره انجام می-شود. برای بررسی صحت آزمایشات انجام شده، فیلم-ها توسط متخصصین روانشناسی و سیگنال-های ثبت شده توسط پزشکان مغز و اعصاب تأیید شده-اند.

۱- انجام آزمایش

۱-۱- ملاحظات مربوط به انجام آزمایش

انجام آزمایش در زمینه محاسبات عاطفی محدودیت-هایی به همراه دارد. مهم-ترین ملاحظات که تأثیر به سزایی در انجام آزمایش و نتایج حاصل از آن دارد به شرح زیر است.

^{۱۰} Multi Modal -

^{۱۱} Functional Near Infrared Spectroscopy -

۱-۱-۲- دسته‌بندی قابل قبول احساسات اهمیت بالایی دارد. محققان به صورت کلی دو روش دسته‌بندی را به- کار برده‌اند. روش اول، دسته‌بندی احساسات به صورت گسسته^{۱۲} است. برای مثال احساس ترس، خشم، شادی، ناراحتی، حیرت و نفرت. را روش دیگر استفاده از فضای دو بعدی برانگیختگی- جاذبه^{۱۳} است که در آن محور عمودی برانگیختگی، میزان فعال و غیر فعال بودن احساس و محور افقی جاذبه، مثبت یا منفی بودن احساس را نشان می‌دهد. شکل ۱ نمایی از این فضای احساسی را نشان می‌دهد [۵].

۲-۱-۲- مسأله دیگر مشخصات افراد شرکت‌کننده در آزمایش است، مشخصات افراد شرکت‌کننده شامل سن، جنس و ملیت آن‌ها اهمیت به-سزایی در نتایج بازشناسی دارد. تفاوت‌های فردی، احساسات با پاسخ‌های متفاوتی در سیستم اعصاب خودکار ایجاد می‌کند از این رو می‌توان سه انتخاب متفاوت داشت: الف) استفاده از عموم افراد [۶]. ب) استفاده از گروه‌هایی با مشخصات مشترک سنی، جنسی، فرهنگی، تحصیلی و غیره [۷]. ج) استفاده از یک شخص [۸].

شکل ۱- فضای دو بعدی برانگیختگی- جاذبه

۲-۱-۳- روش انتخابی برای تحریک و ایجاد احساسات نیز بسیار حائز اهمیت است. روش‌های مختلفی برای این کار استفاده شده است، استفاده از تصور و تخیل، استفاده از بازیگران، سیستم- تصاویر استاندارد عاطفی^{۱۴}، موسیقی، استفاده از قطعات فیلم.

^{۱۲} Discrete Emotional Categories -

^{۱۳} Arousal - Valence -

^{۱۴} International Affective Picture System -

۲-۱-۴- انتخاب الکتروود و تعداد آن با توجه به نوع تحریک بسیار حائز اهمیت است. هرچه تعداد الکتروودها کمتر باشد شرایط راحت‌تری برای شرکت‌کننده فراهم می‌آورد [۹].

۲-۱- نحوه انجام آزمایش

در این مطالعه از ۲۴ شرکت‌کننده شامل ۱۶ مرد و ۸ زن، در رده سنی ۲۰ تا ۳۰ سال استفاده شده است که همگی از افراد سالم انتخاب شده اند. قبل از انجام آزمایش برای بررسی سلامت عمومی به هر فرد یک پرسشنامه سلامت عمومی^{۱۵} شامل ۲۸ سوال داده می‌شود. این پرسشنامه افراد را از لحاظ بیماری‌های روان تنی، شدت اضطراب، روابط اجتماعی و میزان افسردگی مورد بررسی قرار می‌دهد بنابراین تمام افراد شرکت‌کننده از جهات یاد شده در سلامت کامل به سر می‌برند. پس از انتخاب افراد سالم، شرکت‌کننده‌ها رضایت‌نامه- شرکت در آزمایش را تکمیل می‌کنند سپس نحوه انجام آزمایش برای آن‌ها توضیح داده می‌شود و از آن‌ها خواسته می‌شود در حین انجام آزمایش کاملاً آرام باشند و از انجام حرکات اضافی پرهیز کنند. دو قطعه فیلم دو دقیقه‌ای و ۳۰ تصویر از مجموعه تصاویر استاندارد عاطفی مطابق با یکی از ربع‌های فضای دو بعدی برانگیختگی- جاذبه برای ایجاد هر یک از حالت‌های احساسی شادی، آرامش، ناراحتی و نفرت در نظر گرفته شده است. جزئیات انجام آزمایش در شکل ۲ نشان داده شده است.

شکل ۲- جزئیات انجام آزمایش.

در بخش خودآزمایی از افراد شرکت‌کننده خواسته می‌شود نظر خود را در ارتباط با فیلم‌های نشان داده شده در هر بخش بیان کنند. برای این منظور از آدمک‌هایی برای خودآزمایی^{۱۶} استفاده می‌شود [۱۰]. این روش یکی از معتبرترین روش‌هایی است که در این زمینه و در کلیه تحقیقات استفاده می‌شود. در این روش همان‌طور که در شکل ۳ نشان داده شده است آدمک‌ها در ردیف اول سطح جاذبه مثبت یا منفی احساس را نشان می‌دهند و در ردیف دوم میزان برانگیختگی احساس را نشان می‌دهند. اعداد اختصاص داده شده به هر آدمک از سمت چپ به راست به ترتیب از ۱ تا ۹ می‌باشد.

شکل ۳- آدمک‌های خودآزمایی- ردیف اول اعداد مربوط به جاذبه و ردیف دوم اعداد مربوط به برانگیختگی را نشان می‌دهد.

بنابراین از شرکت‌کننده‌ها خواسته می‌شود با انتخاب دو عدد برای هر فیلم میزان جاذبه و برانگیختگی فیلم را مشخص کنند. شکل ۴ نتایج حاصل از خودآزمایی انجام شده توسط شرکت‌کننده‌ها را نشان می‌دهد که در محدوده ۲- تا ۲ بهنجار شده است.

شکل ۴- نتایج حاصل از خودآزمایی انجام شده توسط شرکت-کننده‌ها.

در بخش تصاویر استاندارد با توجه به اعداد مربوط به میزان جاذبه و برانگیختگی که توسط دانشگاه فلوریدا مشخص شده است ۳۰ تصویر انتخاب شده است. نمودار مربوط به میزان جاذبه و برانگیختگی این تصاویر در شکل ۵ نشان داده شده است.

شکل ۵- میزان جاذبه و برانگیختگی تصاویر استاندارد به- کار رفته در فضای دو بعدی برانگیختگی-جاذبه.

۱-۳- نحوه ثبت سیگنال EEG و تصاویر چهره

برای انجام آزمایش محیطی کاملاً آرام در نظر گرفته شده است و شخص دیگری در محیط انجام آزمایش حاضر نیست. شرکت‌کننده- بر روی صندلی و در فاصله ۴۰ سانتی‌متری از یک صفحه نمایش ۱۵ اینچی به تماشای فیلم-ها و تصاویر آماده شده می-نشیند. برای دریافت تصاویر چهره از دوربین رایانه با کیفیت ۲ مگا پیکسل استفاده شده است. برای ثبت سیگنال از یک کلاه ثبت سیگنال EEG از محصولات شرکت ECI و از دستگاه-های PowerLab و Amp Bio Octal ساخت شرکت ADInstruments و رایانه دیگری که از دید شرکت‌کننده پنهان است استفاده شده است. کلاه مورد استفاده برای ثبت سیگنال شامل ۲۰ الکتروود بر اساس سیستم الکتروود گذاری ۲۰-۱۰ است. از میان این الکتروودها ۸ الکتروود شامل Fp1، Fp2، F3، F4، T3، T4، Fz و Pz برای ثبت در نظر گرفته شده است. برای انتخاب این ۸ الکتروود، مراجع [۱۱-۱۳] مورد بررسی قرار گرفته و از میان آن-ها الکتروودهایی که در این مقالات به صورت مشترک استفاده شده است، برای بازشناسی حالت-های احساسی در نظر گرفته شده است. سیگنال دریافت شده از این الکتروودها نسبت به گوش راست ثبت شده است و گوش چپ به- عنوان زمین دستگاه در نظر گرفته شده است. شکل ۶ یک شرکت‌کننده را لحظاتی قبل از انجام آزمایش نشان می-دهد.

همچنین شکل ۷ نمونه‌ای از وسایل به -کار رفته در آزمایش را نشان می‌دهد.

شکل ۶- شرکت کننده لحظاتی قبل از انجام آزمایش

شکل ۷- نمونه‌ای از وسایل به -کار رفته در آزمایش شامل: کلاه ثبت سیگنال، ژل رسانا و الکترودهای گوش.

۲- پردازش سیگنال EEG

۲-۱- پیش پردازش سیگنال EEG

سیگنال دریافت شده از دستگاه، توسط نرم‌افزار LabChart ۷ با نرخ نمونه‌برداری ۱ کیلو-هرتز و در محدوده فرکانسی ۱ تا ۶۰ هرتز ثبت می‌شود. در بخش پیش پردازش در ابتدا سیگنال در محدوده فرکانسی ۱ تا ۴۵ هرتز فیلتر می‌شود سپس با توجه به زمان‌های ثبت، سیگنال به بخش‌های مختلف شامل عکس‌ها و فیلم‌های مربوط به هر احساس تقسیم می‌شود. با توجه به مدت زمان نمایش هر فیلم سیگنال‌هایی با مدت زمان ۲ دقیقه به دست می‌آید. در بخش بعد از ابتدا و انتهای هر سیگنال مدت زمان ۱۰ ثانیه جدا شده و از سیگنال حذف می‌شود این کار برای داشتن سیگنال، موقعی که

شرکت‌کننده تمرکز لازم را به دست آورده است انجام می‌شود. با این حساب، سیگنال با مدت زمان ۱۰۰ ثانیه برای هر فیلم و نیز برای هر بخش شامل تصاویر استاندارد، در نظر گرفته می‌شود. در مرحله بعد نرخ نمونه‌برداری از ۱ کیلو هرتز به ۵۱۲ هرتز کاهش پیدا می‌کند و همچنین خط پایه^{۱۷} سیگنال حذف می‌شود. پس از آماده‌سازی سیگنال نوبت به کاهش نویز-های موجود در سیگنال می‌رسد. مهم‌ترین نویز-هایی که سیگنال EEG را تحت تأثیر قرار می‌دهد عبارت است از: برق شهر، پلک زدن، حرکات بدن و ماهیچه‌های صورت. نویز برق شهر با اعمال فیلتر در محدوده فرکانسی ۱ تا ۴۵ هرتز تا حد زیادی کاهش می‌یابد. نویز ناشی از پلک زدن و حرکات افقی چشم در هنگام مشاهده فیلم‌ها، در سیگنال بسیار مشهود است برای کاهش چنین نویزهایی از روش تحلیل اجزای غیر وابسته^{۱۸} استفاده شده است.

۲-۱-۱- روش تحلیل اجزای غیر وابسته

این روش جهت تجزیه داده‌های چند بعدی به مؤلفه‌های مستقل استفاده می‌شود [۱۴]. مدل خطی این روش به صورت رابطه شماره ۱ تعریف می‌گردد.

(۱)

در این رابطه X سیگنال چند بعدی اولیه، S مؤلفه-های مستقل و W ماتریس جداساز است. یکی از پارامترهایی که می‌توان به کمک آن مؤلفه-های مربوط به اغتشاشات چشم و نویز-های سوزنی را کاهش داد، پارامتر کارتوسیس^{۱۹} است. این متغیر می‌تواند سیگنال‌هایی که توزیع متمرکز دارند به سادگی شناسایی کند و توسط رابطه ۲ معرفی می‌گردد.

(۲)

در این رابطه منظور از نماد، امید ریاضی^{۲۰} عبارت است.

شکل ۸ سیگنال ثبت شده از ۸ کانال در حین انجام آزمایش را نشان می‌دهد. کانال-های ۱Fp، ۲Fp، ۳F، ۴F، ۳T، ۴T، Fz و Pz به ترتیب با شماره-های ۱ تا ۸ نام--گذاری شده‌اند. همان-گونه که در شکل مشخص است این سیگنال در کانال-های مختلف دارای نویز است. برای حذف این اغتشاشات با استفاده از روش ICA، ۸ مؤلفه مستقل از این سیگنال-ها، جدا و در شکل ۹ نشان داده شده است این کار توسط نرم‌افزار EEGLab ۲۰۰۷ انجام شده است.

^{۱۷} Base Line -

^{۱۸} Independent Component Analysis(ICA) -

^{۱۹} Kurtosis -

^{۲۰} Expected value -

شکل ۸- سیگنال ثبت شده از ۸ کانال ۱Fp، ۲Fp، ۳F، ۴F، ۳T، ۴T، Fz و Pz که به ترتیب با شماره‌های ۱ تا ۸ نام--گذاری شده‌اند.

شکل ۹- هشت مؤلفه جدا شده از سیگنال EEG توسط روش ICA.

همان-گونه که در شکل ۹ مشخص است مؤلفه اول مربوط به اغتشاشات چشم است برای اطمینان از این موضوع مقادیر کارتوسیس این ۸ مؤلفه به دست آمده و در جدول ۱ نشان داده شده است.

همان-گونه که در جدول دیده می‌شود عدد به دست آمده برای مؤلفه اول از سایر اعداد بسیار بزرگ-تر است بنابراین توزیع این مؤلفه نسبت به سایر مؤلفه-ها متمرکزتر است و نویز ناشی از چشم را نشان می-دهد.

نویز دیگری که در سیگنال مشخص است، نویز ناشی از حرکت بدن است که در فاصله زمانی ۹۲ تا ۹۴ ثانیه دیده می-شود و توسط مؤلفه دوم جدا شده است. این ترتیب با حذف این دو مؤلفه نویزهای سیگنال تا حد زیادی کاهش می-یابند همان-گونه که در جدول ۱ مشخص است مؤلفه دوم در تمام این فرکانس-ها دارای بیشترین واریانس است بنابراین این مؤلفه به عنوان نویز شناخته می-شود. به صورت بصری و با توجه به شکل ۹ نیز می-توان به این مطلب پی برد. به این ترتیب با حذف این دو مؤلفه نویزهای سیگنال تا حد زیادی کاهش می-یابند.

۲-۱-۲- انتخاب الکتروود

پس از حذف نویز-های سیگنال نوبت به انتخاب الکتروود-ها می‌رسد. با توجه به مطالعاتی در زمینه محاسبات عاطفی انجام شده است باندهای فرکانسی آلفا و بتا بیشترین تأثیر را در تحریکات عاطفی می‌پذیرند [۱۵]. از این رو در این مطالعه در محدوده فرکانسی این دو باند، یعنی در فرکانس های ۸ تا ۳۰ هرتز مؤلفه‌های سیگنال به- کمک روش ICA جدا شده‌اند و نقشه^{۲۱} توزیع این مؤلفه‌ها بر روی سر، متناسب با توان این اجزا، به دست آمده است سپس الکتروودی که بیشترین توان را در محدوده فرکانسی مورد نظر دارد تعیین می‌شود این کار توسط نرم-افزار EEGLab ۲۰۰۷ انجام می‌شود. شکل ۱۰ نحوه انجام این عمل را در فرکانس-های ۸، ۱۸ و ۳۰ هرتز نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد در محدوده فرکانسی ۱۰-۸ و ۱۶-۱۴ هرتز الکتروود ۳F، در فاصله فرکانسی ۲۰-۱۸ هرتز الکتروود ۴F و در محدوده فرکانسی ۱۴-۱۰، ۱۸-۱۶ و ۳۰-۲۰ هرتز الکتروود FZ دارای بیشترین توان است. بنابراین تعداد الکتروودها برای پردازش از ۸ الکتروود به ۳ الکتروود محدود می‌شود. در ادامه الکتروود FZ با توجه به موقعیت مکانی آن بر روی سر برای جداسازی احساسات از لحاظ برانگیختگی استفاده می‌شود و دو الکتروود ۳F و ۴F برای بررسی توانایی آن-ها در بازشناسی احساسات از لحاظ جاذبه با یکدیگر مقایسه می‌شوند. یکی از اهداف مهم این مطالعه کاهش تعداد الکتروودها تا حد امکان است از این رو دو الکتروود یاد شده مقایسه و از میان آن-ها تنها یک الکتروود انتخاب می‌شود با این کار تعداد الکتروودها از ۳ الکتروود که در سال ۲۰۱۱ استفاده شده است به ۲ الکتروود کاهش می‌یابد.

۲-۲- استخراج ویژگی از سیگنال EEG

ویژگی-هایی که در این مطالعه استفاده شده است با در نظر گرفتن سرعت محاسبات برای نزدیک شدن به پردازش‌های آنی و بدون وقفه^{۲۲} و همچنین برای رسیدن به درصد بالایی از بازشناسی احساسات، بررسی شده است. برای این منظور ویژگی آشوبی بعد فرکتال، ضرایب مدل AR و ویژگی‌های آماری شامل بیشترین مقدار، کمترین مقدار و انحراف معیار در فضای زمان و بیشترین مقدار، کمترین مقدار، انحراف معیار چگالی طیف توان با استفاده از روش Pwelch بررسی شده است.

۲-۲-۱- بعد فرکتال

برای محاسبه- بعد فرکتال از روش بعد هیگوچی^{۲۳} استفاده شده است. در این روش از سری زمانی داده‌های ورودی، سری جدیدی مطابق رابطه ۳ ساخته می‌شود.

(۳)

^{۲۱} map -

^{۲۲} Real Time -

^{۲۳} Higuchi -

در این رابطه m نقطه-اولیه- هر سری، k فاصله بین نمونه‌ها، N تعداد نمونه‌ها و نشان‌دهنده‌ی قسمت صحیح عدد است. بنابراین اعداد داخل پرانتز، شماره-- نمونه-ای از سری زمانی است که برای ساختن مورد استفاده قرار می‌گیرد. سپس برای هر طول (Lm, k) از طریق رابطه ۴ محاسبه می‌شود.

(۴)

در نهایت میانگین (Lm, k) به صورت (L, k) محاسبه می‌شود و با توجه به این-که رابطه ۵ برای آن برقرار است، D که همان شیب بهترین خط تقریب زده شده با روش کمترین مربع خطا برای (L, k) بر حسب $\ln(1/k)$ است، به عنوان بعد فرکتال محاسبه می‌شود.

(۵)

۲-۲-۲- ضرایب مدل AR

مدل خودبازگشتی که به صورت مخفف به صورت مدل $AR^{۲۴}$ نمایش داده می‌شود، یکی از مدل‌هایی است که می‌تواند درجه نظم و ترتیب سیگنال را نشان دهد. یکی از روش‌های محاسباتی مدل AR روش برگ^{۲۵} است که در این مطالعه از آن استفاده شده است. در روش برگ فرض می‌شود داده‌های مشاهده شده همان (n, x) است، و با مدل AR با درجه p به صورت رابطه ۶ مدل می‌شود.

(۶)

در این روش ضرایب a به گونه‌ای تعیین می‌شوند که بتوانند تغییرات سیگنال EEG را در حالت‌های مختلف احساسی نشان دهند. در واقع مانند این است که بخواهیم معادله یک منحنی که بر اساس ضرایب آن توصیف می‌شود را به دست آوریم. این رو می‌توان از این ضرایب به عنوان

^{۲۴} - Auto Regressive -

^{۲۵} - Burg -

ویژگی برای بازشناسی حالت‌های مختلف احساسی استفاده کرد. در این مطالعه از مدل AR با درجه ۱۰ استفاده شده است. این درجه بر اساس روش انتخاب سنتی درجه^{۲۶} و از رابطه -۷ به دست آمده است.

(۷)

۳-۲- طبقه بندی سیگنال EEG

در این مطالعه ابتدا ۴ طبقه بندی کننده - NaiveBayes ، MLP ، AdaBoost و Bagging بررسی شده است و از میان آن‌ها دو طبقه بندی کننده MLP^{۲۷} و AdaBoost با توجه به نتایج بهتر آن‌ها استفاده شده است.

۲-۳-۱- طبقه بندی کننده MLP

در این مطالعه از یک شبکه پرسپترون چند لایه استفاده شده است که در آن نرخ آموزش^{۲۸} 0.3 است و لایه‌های مخفی آن از رابطه ۸ به دست می‌آید

(۸)

۲-۳-۲- طبقه بندی کننده AdaBoost

هدف از این روش یافتن یک تابع نگاشت یا فرضیه نهایی است که دارای نرخ خطای پایینی نسبت به توزیع داده شده D بر روی نمونه های برچسب خورده آموزشی باشد [۱۶]. عملکرد الگوریتم ۱M.AdaBoost به صورت زیر است. در این مطالعه از روش ۱M.AdaBoost با یادگیرهای ضعیف ریشه تصمیم^{۲۹} و تعداد تکرار ۱۰ استفاده شده است.

۲-۴- نتایج حاصل از پردازش سیگنال EEG

در این مطالعه شرکت کننده‌ها یک بار از طریق سیستم تصاویر استاندارد عاطفی که در دانشگاه فلوریدا جمع‌آوری شده است، تحریک می‌شوند و بار دیگر از طریق مجموعه از فیلم‌هایی که با توجه به فرهنگ ایرانی جمع‌آوری شده‌اند آزمایش می‌شوند. در نهایت بازشناسی از طریق سیگنال

Traditional Order Selection - ^{۲۶}

MultiLayer Perceptron - ^{۲۷}

Learning Rate - ^{۲۸}

Decision Stump - ^{۲۹}

EEG ثبت شده و چهار طبقه‌بندی کننده ذکر شده انجام می‌شود. همان-گونه که در بخش ۲-۴-۲- بیان شد با استفاده از به- دست آوردن الکترودهایی که بیشترین توان را در محدوده فرکانسی آلفا و بتا دارند تعداد الکترودها از ۸ گزینه به ۳ گزینه محدود شد. از میان این ۳ الکتروده، کانال Fz با توجه به موقعیت مکانی آن بر روی سر، برای بازشناسی از لحاظ برانگیختگی در نظر گرفته شده است. الکترودهای ۳F و ۴F نیز برای بازشناسی از لحاظ جاذبه با یکدیگر مقایسه شده‌اند. نتایج حاصل از این مقایسه و میزان صحت میانگین در جدول ۲ نشان داده شده است. طبقه‌بندی با استفاده از نرم‌افزار ۳.۷WEKA انجام شده است. نحوه- تقسیم داده‌های آموزش و آزمون به این صورت است که ابتدا داده‌ها به شش قسمت مساوی تقسیم می‌شود و یک قسمت از آن برای آزمون و پنج قسمت دیگر برای آموزش در نظر گرفته می‌شود، سپس بخش دیگری از آن شش قسمت برای آزمون و سایر قسمت‌ها برای آموزش در نظر گرفته می‌شود و این عمل شش بار انجام می‌شود. آزمایش برای هر فرد دو بار تکرار می‌شود و در هر بار فیلمی که به -طور میانگین بیشترین تأیید را از سوی شرکت-کنندگان دارد، برای پردازش مورد استفاده قرار می‌گیرد. بنابراین تعداد کل نمونه‌ها برابر ۱۹۲ است (دو بار تکرار آزمایش) که از این میان، تعداد نمونه‌های آموزش برابر ۱۶۰ و تعداد نمونه‌های آزمون برابر ۳۲ است.

همان-گونه که مشخص است الکتروده ۳F نسبت به الکتروده ۴F و همچنین نسبت به استفاده از هر دو الکتروده، نتایج بهتر و در برخی از موارد نتایج مشابهی را نشان می‌دهد از این رو از میان این دو الکتروده، ۳F انتخاب می‌شود. علت این امر می‌تواند فعالیت بیشتر نیم-کره چپ مغز نسبت به نیم-کره راست باشد.

پس از مشخص کردن الکترودهای مورد نیاز، نوبت به مقایسه ویژگی-های مختلف استخراج شده در بازشناسی احساسات با استفاده از دو الکتروده ۳F و Fz می‌رسد. نتایج حاصل از این مقایسه در جدول ۳ آمده است. همان-طور که مشخص است بعد فرکتال توانایی بیشتری در بازشناسی احساسات از خود نشان می‌دهد. با توجه به ماهیت نویز-گونه و آشوبناک سیگنال EEG، این نتیجه قابل توجیه است. در مرحله بعد نوبت به مقایسه بازشناسی احساسات به- وسیله تصاویر استاندارد و فیلم‌های تهیه شده هنگامی که بعد فرکتال به عنوان ویژگی در نظر گرفته شده است، می‌رسد. نتایج حاصل از این مقایسه در جدول‌های ۴ و ۵ نشان داده شده است. صحت بازشناسی زمانی که تحریک از طریق تصاویر استاندارد انجام شده است با نام صحت تصاویر بیان شده است به همین ترتیب صحت بازشناسی موقعی که شرکت‌کننده‌ها از طریق فیلم تحریک شده اند با نام صحت فیلم‌ها نشان داده شده است. همان-گونه که نتایج نشان می‌دهد، استفاده از فیلم‌ها برای تحریک احساسات موفق‌تر از تصاویر استاندارد بوده است همچنین صحت به دست آمده در این مطالعه در حد مطلوبی می‌باشد. بنابراین این نتایج پیش‌بینی اولیه مبنی بر نامتناسب بودن تصاویر استاندارد با فرهنگ ایران را تأیید می‌کند.

جدول ۴- نتایج به -دست آمده از طبقه-بندی کننده

AdaBoost

و ویژگی بعد فرکتال

طبقه-بندی از	صحت فیلم	صحت	الکترو	نام احساسات
--------------	----------	-----	--------	-------------

د	تصاویر	ها-	لحاظ
خوشحالی و ناراحتی	F ₃	%۶۲/۹	%۹۲
آرامش و نفرت	F ₃	%۷۱	%۸۱/۱
خوشحالی و نفرت	F ₃	%۶۷/۱	%۸۲/۷
ناراحتی و آرامش	F ₃	%۷۷/۱	%۸۸/۸
خوشحالی و آرامش	F _z	%۷۹/۶	%۸۸/۷
ناراحتی و نفرت	F _z	%۶۲/۱	%۷۹/۳

جدول ۵- نتایج به -دست آمده از طبقه-بندی کننده MLP و ویژگی بعد فرکتال				
نام احساسات	الکتروود	صحت تصاویر	صحت فیلم ها-	طبقه-بندی از لحاظ
خوشحالی و ناراحتی	F ₃	%۵۰	%۸۲/۴	جاذبه و برانگیختگی
آرامش و نفرت	F ₃	%۶۲/۹	%۷۵/۲	جاذبه و برانگیختگی
خوشحالی و نفرت	F ₃	%۶۴/۶	%۷۵/۲	جاذبه
ناراحتی و آرامش	F ₃	%۶۴/۱	%۷۵/۵	جاذبه
خوشحالی و	F _z	%۷۳	%۹۲	برانگیختگی

آرامش				
برانگیختگی	Fz	%۵۴/۲	%۷۱/۶	ناراحتی و نفرت

بنابراین این مطالعه به چند هدف مهم دست یافته است که می‌توان به صورت به شرح آن پرداخت:

۱- کاهش تعداد الکترودهای مورد نیاز برای بازشناسی از ۳ الکتروود به ۲ الکتروود.

۲- تهیه مجموعه فیلم‌هایی برای انجام محاسبات عاطفی متناسب با فرهنگ ایرانی.

۳- بازشناسی احساسات با صحت و سرعت بالا برای نزدیک شدن به پردازش‌های آنی و بدون وقفه.

جدول ۶- مقایسه‌ای بین تحقیقات انجام شده در گذشته و این مطالعه را نشان می‌دهد. در این جدول از سیگنال EEG به تنهایی برای بازشناسی احساسی استفاده شده است. همان‌گونه که مشخص است نتایج از لحاظ صحت بازشناسی و کاهش تعداد الکتروودها بهبود یافته است.					
مطالعات	روش استفاده شده	تعداد الکتروودها	تعداد افراد شرکت کننده	نواحی احساسی بازشناسی شده	صحت بازشناسی شده
۲۰۰۶	چگالی طیف توان جداساز فیشرو و طبقه‌بندی ساده بیزی	۳	۵	۴ ناحیه	%۶۵
۲۰۰۹	بعد همبستگی طبقه‌بندی کننده درجه دوم	۵۴	۵	۳ ناحیه	۷۶/۶ %
۲۰۱۱	بعد فرکتال	۳	۱۰	۴ ناحیه	%۸۵

سورینا	ماشین بردار				
[۱۱]	پشتیبان				
۲۰۱۲	بعد فرکتال				
(این مطالعه)	MLP AdaBoost	۲	۲۴	۴ ناحیه	٪۹۲

۳-۵- نتیجه‌گیری حاصل از پردازش سیگنال EEG

با توجه به فقدان مجموعه تحریک‌کننده‌های عاطفی برای انجام محاسبات عاطفی در فرهنگ ایرانی، در این مطالعه سعی بر انجام آزمایش‌هایی مطمئن و ایجاد چهار وضعیت احساسی از طریق مجموعه فیلم‌های تحریک‌کننده عاطفی با توجه به فرهنگ ایرانی شده است. همان‌گونه که نتایج نشان می‌دهد، استفاده از فیلم‌ها برای تحریک احساسات موفق‌تر از تصاویر استاندارد بوده است. همان‌طور که در بخش ۲-۱ بیان شد محاسبات عاطفی محدودیت‌هایی به همراه دارد که پردازش بروی سیگنال‌ها و مقایسه- نتایج آن‌ها را دشوار می‌نماید. گذشته از نحوه ثبت سیگنال‌ها که کار دشواری است، عواملی چون دسته‌بندی قابل قبول احساسات، مشخصات افراد شرکت‌کننده در آزمایش، اعتبار روش انتخابی برای تحریک و انتخاب تعداد و نوع کانال‌های ثبت، اهمیت زیادی دارد. با توجه به این-که ثبت سیگنال با استفاده از تعداد زیادی از الکتروود-ها برای شرکت‌کننده رنج‌آور است، یکی از اهداف این مطالعه کاهش تعداد الکتروودهای مورد استفاده برای بازشناسی است، در این مطالعه تنها از دو الکتروود برای طبقه‌بندی استفاده شده است. نکته قابل توجه دیگر در این مطالعه این است که احساسات به لحاظ مثبت و منفی بودن آن تنها توسط یک الکتروود از هم جدا شده‌اند و این کاری است که برای اولین بار انجام گرفته است همچنین ویژگی‌های مورد استفاده با در نظر گرفتن سرعت محاسبات برای نزدیک شدن به پردازش‌های آنی و بدون وقفه و برای رسیدن به درصد بالایی از صحت بازشناسی احساسات، بررسی شده است.

۴- پردازش تصاویر چهره

۴-۱- استخراج ویژگی

پس از دریافت تصاویر چهره در حین انجام آزمایش، نوبت به پردازش این تصاویر برای تشخیص حالت چهره می‌رسد. به طور کلی، عملکرد سیستم تشخیص خودکار حالت چهره به سه بخش تقسیم می‌شود: ۱- یافتن و دنبال کردن چهره در تصویر ۲- استخراج ویژگی ۳- طبقه‌بندی حالت‌های مختلف. در این مطالعه از روش- تغییرات حجمی تکه‌ای بزرگ^{۳۰}، معروف به روش PBVB برای

دنبال کردن تغییرات چهره استفاده شده- است. این روش از سیم‌کشی‌های سه بعدی عمومی^{۳۱} که ۱۶ حجم بزر را شامل می‌شود، شکل ۱۱
نمایی از این مدل و ۱۶ حجم بزر را نشان می‌دهد [۱۷].
حجم سه بعدی بزر از رابطه ۹ به دست می‌آید.
(۹)

که در آن نقاط شبکه مشبک چهره است که در محدوده ۰ تا ۱ قرار دارند، نقاط کنترلی هستند و، و چند جمله‌ای‌های برنستین^{۳۲} هستند. با حرکت
هر نقطه کنترلی با مقدار جابه‌جایی حاصل از نقاط شبکه مشبک چهره به صورت رابطه ۱۰ به دست می‌آید.
(۱۰)

شکل ۱۱- نمایی از مدل تغییرات حجمی تکه‌ای بزر و ۱۶ حجم آن.

۴-۲- نتایج طبقه‌بندی احساسات با استفاده از تصاویر چهره

^{۳۱} - Generic 3D Wireframe

^{۳۲} - Bernstein

پس از به دست آوردن تغییرات با استفاده از ۱۲ واحد حرکتی^{۳۳} و جهت حرکت آن-ها می‌توان حالت-های احساسی را از هم بازشناسی کرد. شکل ۱۲ این واحدهای حرکتی را نشان می‌دهد.

**شکل ۱۲- بردارها ۱۲ واحد حرکتی را که از آن-ها
برای تشخیص نوع احساس استفاده می‌شود،
نشان می‌دهند.**

در این مطالعه ۴ وضعیت احساسی به کمک این روش و توسط نرم‌افزار eMotion از یکدیگر بازشناسی شده است. شکل--
۱۳ نمایی از این بازشناسی را در چهار وضعیت مورد نظر نشان می‌دهد. همان-گونه که مشخص است احساس خوشحالی و ناراحتی و نفرت در این شرکت‌کننده خاص به خوبی از تصاویر چهره قابل شناسایی است اما این نتیجه در تمام شرکت‌کننده‌ها صادق نیست و اکثر افراد هنگام حس نفرت و ناراحتی، در چهره خود حالت طبیعی دارند. بنابراین این حس‌ها را نمی‌توان با توجه به چهره شخص تشخیص داد اما سیگنال EEG می‌تواند احساسات را به خوبی از یکدیگر بازشناسی کند. با توجه به تفاوت‌های شخصیتی شرکت‌کننده‌ها، نتایج به دست آمده از پردازش چهره آن-ها با یکدیگر متفاوت است.

شکل ۱۳ - حالت‌های آرامش، ناراحتی، نفرت و خوشحالی تشخیص داده شده توسط نرم‌افزار eMotion

ادامه شکل ۱۳- حالت‌های آرامش، ناراحتی، نفرت و خوشحالی تشخیص داده شده توسط نرم‌افزار eMotion

جدول ۷ نتایج به دست آمده از ۲۴ شرکت کننده را نشان می‌دهد.

جدول ۷- نتایج به دست آمده از تشخیص حالت چهره

۲۴ شرکت کننده، توسط نرم‌افزار eMotion				
شرکت کننده‌ها	صحت خوشحالی	ناراحتی	آرامش	نفرت
شرکت کننده ۱	%۱۰۰	%۹۴	%۹۸	%۲۰
شرکت کننده ۲	%۹۸	%۹۳	%۹۷	%۱۵
شرکت کننده ۳	%۹۷	%۶۶	%۹۵	%۷
شرکت کننده ۴	%۹۵	%۶۴	%۹۴	%۵
شرکت کننده ۵	%۸۷	%۵۳	%۸۹	%۴
شرکت کننده ۶	%۹۶	%۶۲	%۹۱	%۵
شرکت کننده ۷	%۹۹	%۶۷	%۹۶	%۷
شرکت کننده ۸	%۹۰	%۴۵	%۸۸	%۴
شرکت کننده ۹	%۹۲	%۳۸	%۸۷	%۲
شرکت کننده ۱۰	%۱۰۰	%۷۰	%۹۶	%۱۰
شرکت کننده ۱۱	%۹۵	%۶۲	%۹۵	%۶
شرکت کننده ۱۲	%۸۹	%۵۵	%۸۹	%۵
شرکت کننده ۱۳	%۹۸	%۶۵	%۹۲	%۷
شرکت کننده ۱۴	%۹۸	%۶۹	%۹۵	%۸
شرکت کننده ۱۵	%۹۶	%۶۳	%۹۴	%۵

شرکت کننده ۱۶	%۸۸	%۵۴	%۸۸	%۶
شرکت کننده ۱۷	%۱۰۰	%۹۵	%۱۰۰	%۹۲
شرکت کننده ۱۸	%۹۹	%۸۷	%۱۰۰	%۸۵
شرکت کننده ۱۹	%۹۷	%۸۵	%۱۰۰	%۸۰
شرکت کننده ۲۰	%۱۰۰	%۹۰	%۱۰۰	%۹۰
شرکت کننده ۲۱	%۹۸	%۶۵	%۹۵	%۷۵
شرکت کننده ۲۲	%۹۵	%۵۰	%۹۴	%۲۰
شرکت کننده ۲۳	%۹۵	%۴۵	%۹۲	%۱۵
شرکت کننده ۲۴	%۹۲	%۴۰	%۹۰	%۱۰
میانگین	%۹۵/۳۶	%۶۴/۹۶	%۹۳/۸	%۲۳/۴۸

همان-گونه که مشخص است به طور میانگین احساس خوشحالی اولین احساسی است که در این آزمایش به خوبی خود را نشان داده است و احساس نفرت از چهره افراد قابل شناسایی نمی‌باشد. ردیف‌های ۱ تا ۱۶ جدول ۷، مربوط به شرکت کننده‌های مرد و ردیف‌های ۱۷ تا ۲۴ مربوط به شرکت کننده‌های زن است. همان‌طور که انتظار می‌رود زن‌ها بیشتر از مردان احساسات را در چهره خود نشان می‌دهند. در نهایت مقایسه‌ای بین تحقیقات انجام شده در گذشته و این مطالعه انجام می‌شود. این مقایسه در جدول ۸ نشان داده شده است. شایان ذکر است در نتایج جدول ۶ مطالعاتی ذکر شده‌اند که بازنشاسی احساسات را مبنی بر سیگنال EEG انجام داده‌اند و ثبت هم-زمان با تصویر حالت چهره را نداشته‌اند.

همان-گونه که از نتایج جدول ۸ مشخص است، در مطالعاتی که ثبت تصویر چهره و سیگنال مغزی را به صورت هم-زمان انجام داده‌اند، احساسات به صورت کلی و مثبت و منفی در نظر گرفته شده است و همچنین به بازنشاسی آن-ها پرداخته نشده و تنها تحلیل‌هایی برای مقایسه و استخراج ویژگی در آن-ها بیان شده است. از این رو این مطالعه با بازنشاسی چهار وضعیت احساسی و بازنشاسی آن-ها به طور مشخص، نسبت به مطالعات پیشین گام بزرگ‌تری را در زمینه محاسبات عاطفی برداشته است. شایان ذکر است با توجه به کمبود مطالعاتی که در آن به تحلیل هم-زمان برای بازنشاسی احساسات پرداخته شده باشد، مراجع ذکر شده از جمله آخرین مطالعات موجود است.

بحث و نتیجه‌گیری

با توجه به اهمیت بازشناسی احساسات در مطالعات پزشکی، روانشناسی و کمک به بهبود ارتباطات انسان-رایانه، در این مطالعه سعی شده است که چهار وضعیت احساسی خوشحالی، ناراحتی، تنفر و آرامش مورد بررسی قرار گیرد. برای بررسی این وضعیت‌های احساسی آزمایش‌هایی طراحی و پیاده‌سازی شده است.

اولین مشکل در طراحی آزمایش، مجموعه تحریک‌کننده‌های عاطفی بود. علی-رغم دسترسی به مجموعه تصاویر و صداهای استاندارد عاطفی که دانشگاه فلوریدا آمریکا جمع‌آوری شده است، به نظر می‌رسید با توجه به تفاوت‌های فرهنگی، این مجموعه قادر به تحریک در حد مورد نیاز آزمایش نباشد. برای اطمینان از این موضوع مجموعه تصاویر استاندارد عاطفی در کنار مجموعه‌ای از قطعات فیلم متناسب با فرهنگ کشورمان برای تحریک احساسات استفاده شد. مقایسه نتایج به دست آمده نشان می‌دهد مجموعه تهیه شده نسبت به تصاویر استاندارد موفق‌تر عمل کرده است. بنابراین تهیه این مجموعه گامی در جهت انجام محاسبات عاطفی در کشور بوده است.

پس از طراحی و انجام آزمایش، روش‌های مختلف استخراج ویژگی و دسته‌بندی برای رسیدن به بهترین نتیجه بررسی شد. در بخش پردازش سیگنال EEG بهترین ویژگی، بعد فرکتال و بهترین الکترودها F₃ و F_z به دست آمد و دسته بند- Adaboost به عنوان بهترین دسته‌بند- در نظر گرفته شد.

با توجه به جداول ۴ و ۵ احساسات به وسیله سیگنال EEG برخلاف تصاویر چهره، به خوبی از یکدیگر قابل بازشناسی هستند. با توجه به جدول ۷ مشاهده شد که به جز در حالت خوشحالی و آرامش در دو احساس دیگر تغییر خاصی در چهره فرد قابل مشاهده نیست. همچنین با استفاده از نرم-افزار Emotion برای بازشناسی احساسات، احساس ناراحتی بهتر از احساس نفرت تشخیص داده شده است. این نتایج در حالی به دست آمده است که افراد شرکت‌کننده با استفاده از فرم-های خودآزمایی تأثیر مجموعه محرک-های عاطفی را تأیید کرده‌اند. بنابراین می‌توان از سیگنال EEG برای رفع این مشکل استفاده کرد و با ثبت و بازشناسی احساسات به صورت هم-زمان از حالت چهره و سیگنال EEG جهت کاربردهایی از قبیل دروغ سنجی، تحلیل خودکار خواب و تشخیص بیماری و کمک به بیمارانی که قادر به درک احساس هستند اما از ابراز آن در چهره خود ناتوانند، استفاده کرد.

جدول ۱- کارتوسیس به دست آمده از ۸ مؤلفه از سیگنال

مؤلفه	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
کارتوسیس	۱۵/۱	۵/۸	۳/۵۲	۳/۷۵	۳/۱۲	۳/۵۳	۵/۸۸	۲/۸۳

جدول ۲- مقایسه توانایی دو الکتروود F_۳ و F_۴ در بازشناسی احساسات از لحاظ جاذبه با استفاده از ویژگی‌ها

و طبقه‌بندی کننده-های مختلف																		
بعد فرکتال						ویژگی‌های آماری						ضرایب مدل AR						نام احساسات
MLP			AdaBoost			MLP			AdaBoost			MLP			AdaBoost			
F ₃ و F ₄	F ₄	F ₃	F ₃ و F ₄	F ₄	F ₃	F ₃ و F ₄	F ₄	F ₃	F ₃ و F ₄	F ₄	F ₃	F ₃ و F ₄	F ₄	F ₃	F ₃ و F ₄	F ₄	F ₃	
۷۲/۶	۷۶/۲	۸۲/۴	۸۴/۲	۸۰/۸	%۹۲	۵۴/۳	۶۱/۱	۶۶/۷	%۷۰	%۶۶	۷۷/۶	%۷۰	۷۰/۸	۷۹/۱	۸۱/۸	۸۱/۱	۸۱/۸	خوشحالی و ناراحتی
۶۲/۵	۶۶/۷	۷۵/۲	۷۳/۳	%۷۲	۸۱/۱	۵۸/۷	۵۹/۵	۶۱/۱	۷۰/۱	۷۰/۳	۷۰/۸	۷۰/۱	۷۱/۷	%۷۴	۶۲/۹	%۶۶	۷۰/۳	آرامش و نفرت
۷۰/۸	۷۰/۳	۷۵/۲	۵۸/۱	۶۸/۱	۸۲/۷	۵۶/۲	%۵۰	۵۶/۴	۶۲/۵	۶۷/۴	۷۰/۱	۶۲/۵	۶۰/۹	۷۰/۸	۶۷/۴	۶۸/۱	%۷۰	خوشحالی و نفرت
۶۲/۹	%۷۰	۷۵/۵	%۷۲	۷۴/۴	۸۸/۸	%۶۶	%۷۴	۷۰/۳	۵۸/۷	۵۶/۴	۵۹/۲	۶۰/۹	۵۹/۵	۶۱/۱	۷۰/۳	%۷۰	%۷۴	ناراحتی و آرامش

جدول ۳- مقایسه بین ویژگی‌ها و طبقه‌بندی کننده-ها برای رسیدن به بهترین نتیجه در بازشناسی احساسات از دو لحاظ جاذبه و برانگیختگی									
بعد فرکتال		ویژگی‌های آماری		ضرایب مدل AR		الکتروود	طبقه‌بندی از لحاظ	نام احساسات	
MLP	AdaBoost	MLP	AdaBoost	MLP	AdaBoost				
%۸۲/۴	%۹۲	%۶۶/۷	%۷۷/۶	%۷۹/۱	%۸۱/۸	F ₃	جاذبه و برانگیختگی	خوشحالی و ناراحتی	
%۷۵/۲	%۸۱/۱	%۶۱/۱	%۷۰/۸	%۷۴	%۷۰/۳	F ₃	جاذبه و برانگیختگی	آرامش و نفرت	
%۷۵/۲	%۸۲/۷	%۵۶/۴	%۷۰/۱	%۷۰/۸	%۷۰	F ₃	جاذبه	خوشحالی و نفرت	
%۷۵/۵	%۸۸/۸	%۷۰/۳	%۵۹/۲	%۶۱/۱	%۷۴	F ₃	جاذبه	ناراحتی و آرامش	
%۹۲	%۸۸/۷	%۶۱/۱	%۶۰/۹	%۷۴/۴	%۸۱/۸	F _z	برانگیختگی	خوشحالی و آرامش	
%۷۱/۶	%۷۹/۳	%۵۰	%۵۶/۴	%۶۷/۴	%۷۰/۱	F _z	برانگیختگی	ناراحتی و نفرت	

جدول ۸- مقایسه‌ای بین تحقیقات انجام شده در گذشته و این مطالعه.					
مطالعات انجام شده	روش استفاده شده	تعداد الکترودها	تعداد افراد شرکت کننده	احساسات بازشناسی شده	صحت
۲۰۰۶ سوران [۳]	انرژی سیگنال در باندهای فرکانسی متفاوت تبدیل فوریه زمان کوتاه	۵۴	۵	مثبت و منفی	بررسی ویژگی سیگنال و چهره
۲۰۰۹ سوپریجاتو [۴]	چگالی طیف توان	۲	۳	مثبت و منفی	بررسی ویژگی سیگنال و چهره
۲۰۱۰ ژانگ [۲۰]	تفاوت در دامنه سیگنال ANFIS	۲	۵	مثبت و منفی	٪۷۰
۲۰۱۲ (این مطالعه)	بعد فرکتال MLP AdaBoost	۲	۲۴	۴ احساس خوشحالی، ناراحتی، نفرت و آرامش	٪۹۲

مراجع

- 1- Picard RW. Affective Computing. MIT Media Laboratory Perceptual Computing Section Technical Report 1995; 321.
- 2- Desmet PMA, Overbeeke CJ. Designing products with added emotional value development and application of an approach for research through design. The Design Journal 2001; 4(1): 32-47.
- 3- Savran A, Ciftci K. Emotion Detection in the Loop from Brain Signals and Facial Images. eNTERFACE'06 Croatia - Final Project Report 2006.
- 4- Suprijanto M, Sari L. Development System for Emotion Detection Based on Brain Signals and Facial Images. World Academy of Science, Engineering and Technology 2009: 320-327.
- 5- Healey JA. Wearable and automotive systems for affect recognition from physiology. Doctoral thesis 2000: 55-76.

- 6- Van den broek EL, Schut, MH, Westerink JHDM. Unobtrusive Sensing of Emotions (USE). *Journal of Ambient Intelligence and Smart Environments* 2009; 1(3): 287–299.
- 7- Choi A, Woo W. Physiological sensing and feature extraction for emotion recognition by exploiting acupuncture spots. *Lecture Notes in Computer Science (Affective Computing and Intelligent Interaction)* 2005: 3784: 590–597.
- 8- Healey JA, Picard RW. Detecting stress during real world driving tasks using physiological sensors. *IEEE Trans. Intelligent Transportation Systems* 2005; 6(2): 156–166.
- 9- Mulder LJM. Measurement and analysis methods of heart rate and respiration for use in applied environments. *Journal of Biological Psychology* 1992; 34(2): 205–236.
- 10- Morris J. Observations: SAM: The Self-Assessment Manikin An Efficient Cross-Cultural Measurement Of Emotional Response 1. *Journal of Advertising Research* 1995; 35: 1-6.
- 11- Sourina O, Li YU. A Fractal-based algorithm of emotion recognition from EEG using Arousal-Valence model. *IEEE Trans. Intelligent Transportation Systems* 2011.
- 12- Kwang E. Emotion Recognition using EEG Signals with Relative Power Values and Bayesian Network. *International Journal of Control, Automation, and Systems* 2009; 7(5): 865-870.
- 13- Panagiotis C, “Adaptive Extraction of Emotion-Related EEG Segments Using Multidimensional Directed Information in Time-Frequency Domain”, 32nd Annual International Conference of the IEEE EMBS, Buenos Aires, Argentina, 2010.
- 14- Oja E. Independent Component Approach to the Analysis of EEG and EMG Recording. *IEEE Transaciotn biomed* 2000.
- 15- Bos DO. EEG-based Emotion Recognition. The Influence of Visual and Auditory Stimuli 2006: 737-746.
- 16- Freund Y, Schapire RE. A decisiontheoretic generalization of on-line learning and an application to boosting. *Journal of Computer and System Scinces* 1997; 55: 119-139.
- 17- Tao H, Huang TS. A Piecewise Bezier Volume Deformation Model and Its Applications in Facial Motion Capture. in *Advances in Image Processing and Understanding: A Festschrift for Thomas S. Huang*, edited by Alan C. Bovik, Chang Wen Chen, and Dmitry B. Goldgof, 2002.
- 18- Khalili Z, Moradi MH. Emotion Recognition System Using Brain and Peripheral Signals: Using Correlation Dimension to Improve the Results of EEG. *Proceedings of International Join Conference on Neural Networks*. 2009. 1571-1575, Atlanta, Georgia.
- 19- Zhang Q. A hierarchical positive and negative emotion understanding system based on integrated analysis of visual and brain signals. *Neuro computing* 2010: 3264-3272.