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 مسؤول:** 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 هم‌زمان با تحلیل حالت چهره، از طریق سیگنال EEG بازشناسی کرد، می‌توان حالت‌های احساسی واقعی را از تصنعی تشخیص داد. از مهم‌ترین کاربرد‌های این امر، دروغ‌سنجی و همچنین کمک به بیمارانی است که قادر به درک احساسات هستند اما از نشان دادن آن در چهره خود ناتوانند.

روش کار: در این مطالعه آزمایش‌هایی 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، جمع‌آوری مجموعه تحریک‌کننده‌های عاطفی از دیگر اهداف این مطالعه بوده است. برای تحقق این اهداف ۲۴ شرکت‌کننده شامل ۱۶ مرد و ۸ زن، از طریق سیستم تصاویر استاندارد عاطفی و مجموعه از فیلم‌هایی که با توجه به فرهنگ ایرانی جمع‌آوری شده‌اند تحریک می‌شوند.

یافته‌ها: پس از بررسی روش‌های مختلف، ویژگی بعد فرکتال و طبقه‌بند AdaBoost به عنوان بهترین روش‌های 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 شرکت‌کننده‌ها، نتایج به دست آمده نشان از قوی بودن روش‌های بازشناسی دارند. همچنین موفقیت بیشتر مجموعه فیلم‌های جمع‌آوری شده جهت تحریک عاطفی به وضوح دیده می‌شود. بنابراین استفاده از سیگنال EEG در کنار تحلیل حالت چهره می‌تواند 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 انسان‌ها ایفا می‌کند. به طوری که بخش قابل توجهی از فرآیند تصمیم‌گیری، از احساسات ما تأثیر می‌پذیرد. بنابراین نقش احساس تنها یک نقش تجملی نیست و تلاش برای بازشناسی آن از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. توانایی در تشخیص و بازشناسی احساسات می‌تواند در ساخت ماشین‌هایی با ویژگی‌های احساسی نزدیک به انسان نقش مؤثری داشته باشد. از این رو محققان زمینه- علمی جدیدی را با نام محاسبات عاطفه‌گرا[۱] بنیان نهادند [۱].

---

[۱] Affective Computing -

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، بنابر-این استفاده از عکس‌العمل-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 مهم ترین 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

٤ - Physiological Reactions

٥ - Subjective Feelings

٦ - 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 FNIRS[۱۱] 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 شرکت‌کننده) 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 این‌که انسان-ها ویژگی‌های متفاوتی دارند و این تفاوت-ها پاسخ‌های مختلفی را در سیستم اعصاب خودکار ایجاد می‌کند، مشخصات افراد شرکت‌کننده 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 تحریک‌کننده عاطفی شده است. شرکت‌کننده‌ها 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 ملاحظاتی 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

۲-۱-۱- دسته‌بندی قابل قبول احساسات اهمیت بالایی دارد. محققان به صورت کلی دو روش دسته-بندی را به- کار برده-اند. روش اول، دسته-بندی 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 می-دهد. شکل ۱ نمایی از این فضای احساسی را نشان می-دهد [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. تفاوت-های 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 الکترود و تعداد آن با توجه به نوع تحریک بسیار حائز اهمیت است. هرچه تعداد الکترودها کمتر باشد شرایط راحت‌تری برای شرکت‌کننده فراهم می-آورد [۹].

۱-۲- نحوه انجام آزمایش

در این مطالعه از ۲۴ شرکت‌کننده شامل ۱۶مرد 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 می-شود. این پرسشنامه افراد را از لحاظ بیماری-های روان تنی، شدت اضطراب، روابط اجتماعی و میزان افسردگی مورد بررسی قرار می-دهد بنابراین تمام افراد شرکت‌کننده از جهات یاد شده در سلامت کامل به سر می-برند. پس از انتخاب افراد سالم، شرکت‌کننده-ها رضایت-نامه-شرکت در آزمایش را تکمیل می-کنند سپس نحوه انجام آزمایش برای آن-ها توضیح داده می-شود و از آن-ها خواسته می-شود در حین انجام آزمایش کاملاً آرام باشند و از انجام حرکات اضافی پرهیز کنند.

دو قطعه فیلم دو دقیقه-ای 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- جزییات انجام آزمایش.

---

[۱۵] - General Health Question(GHQ)

در بخش خودآزمایی از افراد شرکت‌کننده خواسته می-شود نظر خود را در ارتباط با فیلم-های نشان داده شده در هر بخش بیان کنند. برای این منظور از آدمک-هایی برای خودآزمایی[۱۶] استفاده می‌شود [۱۰]. این روش یکی از معتبرترین روش-هایی است که در این زمینه و در کلیه تحقیقات استفاده می-شود. در این روش همان‌طور که در شکل ۳ نشان داده شده است آدمک-ها در ردیف اول سطح جاذبه مثبت یا منفی احساس را نشان می-دهند و در ردیف دوم میزان برانگیختگی احساس را نشان می-دهند. اعداد اختصاص داده شده به هر آدمک از سمت چپ به راست به ترتیب از ۱ تا ۹ می-باشد.

شکل ۳- آدمک-های خودآزمایی- ردیف اول اعداد مربوط به جاذبه و ردیف دوم اعداد مربوط به برانگیختگی را نشان می-دهد.

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

---

۱۶ - SAM(Self-Assessment Manikins)

شکل۴- 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 ADInstrumentsو رایانه دیگری که از دید شرکت‌کننده پنهان است استفاده شده است. کلاه مورد استفاده برای ثبت سیگنال شامل ۲۰ الکترود بر اساس سیستم الکترود گذاری ۲۰-۱۰ است. از میان این الکترودها ۸ الکترود شامل Fp۱، Fp۲ ، F۳ ، F۴، T۳، T۴، Fz و Pz برای ثبت در نظر گرفته شده است. برای انتخاب این ۸ الکترود، مراجع [۱۳-۱۱] مورد بررسی قرار گرفته و از میان آن-ها الکترودهایی 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 الکترودها 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 نمونه-ای از وسایل به -کار رفته در آزمایش را نشان می-دهد.

شکل ۶- شرکت‌کننده لحظاتی قبل از انجام آزمایش

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

۲- پردازش سیگنال EEG

۲-۱- پیش پردازش سیگنالEEG

سیگنال دریافت شده از دستگاه، توسط نرم-افزار LabChart۷ با نرخ نمونه-برداری ۱ کیلو-هرتز و در محدوده فرکانسی ۱ تا ۶۰ هرتز ثبت می-شود. در بخش پیش پردازش در ابتدا سیگنال در محدوده فرکانسی ۱ تا ۴۵ هرتز فیلتر می-شود سپس با توجه به زمان‌های ثبت، سیگنال به بخش-های 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 نمونه-برداری 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 می-گردد. (۱)

در این رابطه x سیگنال چند بعدی اولیه، s مؤلفه-های مستقل و W ماتریس جداساز است. یکی از پارامترهایی که می-توان 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 می-گردد.

(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 می-دهد. کانال-های Fp۱، Fp۲ ، F۳ ، F۴، T۳، T۴، 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 Fp۱ ،Fp۲ ، F۳ ، F۴، T۳، T۴، 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 مسخص 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 الکترود

پس از حذف نویز-های سیگنال نوبت به انتخاب الکترود-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 الکترودی که بیشترین توان را در محدوده فرکانسی مورد نظر دارد تعیین می-شود این کار توسط نرم-افزار EEGLab ۲۰۰۷ انجام می-شود. شکل ۱۰ نحوه انجام این عمل را در فرکانس-های ۸، ۱۸ و ۳۰ هرتز نشان می-دهد. نتایج نشان می-دهد در محدوده فرکانسی۱۰-۸ و ۱۶-۱۴ هرتز الکترود F۳، در فاصله فرکانسی ۲۰-۱۸ هرتز الکترود F۴ و در محدوده فرکانسی ۱۴-۱۰ ، ۱۸-۱۶ و ۳۰-۲۰ هرتز الکترود Fz دارای بیشترین توان است. بنابراین تعداد الکترودها برای پردازش از ۸ الکترود به ۳ الکترود محدود می‌شود. در ادامه الکترود Fz با توجه به موقعیت مکانی آن بر روی سر برای جداسازی احساسات از لحاظ برانگیختگی استفاده می‌شود و دو الکترود F۳ و F۴ برای بررسی توانایی آن-ها در بازشناسی احساسات از لحاظ جاذبه با یکدیگر مقایسه می‌شوند. یکی از اهداف مهم این مطالعه کاهش تعداد الکترودها تا حد امکان است از این رو دو الکترود یاد شده مقایسه و از میان آن-ها تنها یک الکترود انتخاب می‌شود با این کار تعداد الکترودها از ۳ الکترود که در سال ۲۰۱۱ استفاده شده است به ۲ الکترود 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 می-شود 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 ((ln(L(k بر حسب (۱/k) ln است، به عنوان بعد فرکتال محاسبه می-شود.

(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 می-شود.

(۶)

در این روش ضرایب a به گونه-ای تعیین می-شوند که بتوانند تغییرات سیگنال EEG را در حالت-های 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 می-توان از این ضرایب به عنوان

---

۲٤ - Auto Regressive

۲٥ - Burg

ویژگی برای بازشناسی حالت-های 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)

۲-۳- طبقه بندی سیگنال EEG

در این مطالعه ابتدا ۴ طبقه-بندی-کننده- NaiveBayes ، MLP، AdaBoost و Bagging بررسی شده است و از میان آن-ها دو طبقه‌بندی‌کننده MLP[۲۷] و AdaBoost با توجه به نتایج بهتر آن-ها 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] ۰/۳ است و لایه-های مخفی آن از رابطه ۸ به- دست می-آید.

(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 M۱AdaBoost به صورت زیر است. در این مطالعه از روش M۱AdaBoost با یادگیرهای ضعیف ریشه تصمیم[۲۹] و تعداد تکرار ۱۰ استفاده شده است.

۲-۴- نتایج حاصل از پردازش سیگنال EEG

در این مطالعه شرکت‌کننده-ها 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 جمع‌آوری شده-اند آزمایش می-شوند. در نهایت بازشناسی از طریق سیگنال

---

۲۶ - Traditional Order Selection

۲۷ - MultiLayer Perceptron

۲۸ - Learning Rate

۲۹ - Decision Stump

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 الکترود، کانال Fz با توجه به موقعیت مکانی آن بر روی سر، برای بازشناسی از لحاظ برانگیختگی در نظر گرفته شده است. الکترود-های ۳F و ۴F نیز برای بازشناسی از لحاظ جاذبه با یکدیگر مقایسه شده-اند. نتایج حاصل از این مقایسه و میزان صحت میانگین در جدول ۲ نشان داده شده است. طبقه -بندی با استفاده از نرم-افزار WEKA ۳.۷ انجام شده است. نحوه- تقسیم داده-های آموزش و آزمون به این صورت است که ابتدا داده-ها به شش قسمت مساوی تقسیم می-شود و یک قسمت از آن برای آزمون و پنج قسمت دیگر برای آموزش در نظر گرفته می-شود، سپس بخش دیگری از آن شش قسمت برای آزمون و سایر قسمت-ها برای آموزش در نظر گرفته می-شود و این عمل شش بار انجام می-شود. آزمایش برای هر فرد دو بار تکرار می-شود 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 الکترود ۳F نسبت به الکترود ۴F و همچنین نسبت به استفاده از هر دو الکترود، نتایج بهتر و در برخی از موارد نتایج مشابهی را نشان می-دهد از این رو از میان این دو الکترود، ۳F انتخاب می-شود. علت این امر می-تواند 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 الکترود ۳F و Fz می-رسد. 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 می-دهد. 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 استادارد 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 و۵ 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 پیش بینی اولیه مبنی بر نامتناسب بودن تصاویر استاندارد با فرهنگ ایران را تأیید می‌کند.

جدول ۴- نتایج به -دست آمده از طبقه-بندی‌کننده AdaBoost و ویژگی بعد فرکتال

طبقه-بندی از	صحت فیلم	صحت	الکترو	نام احساسات

لحاظ	ها-	تصاویر	د	
جاذبه و برانگیختگی	٪۹۲	٪۶۲/۹	F_3	خوشحالی و ناراحتی
جاذبه و برانگیختگی	٪۸۱/۱	٪۷۱	F_3	آرامش و نفرت
جاذبه	٪۸۲/۷	٪۶۷/۱	F_3	خوشحالی و نفرت
جاذبه	٪۸۸/۸	٪۷۷/۱	F_3	ناراحتی و آرامش
برانگیختگی	٪۸۸/۷	٪۷۹/۶	F_z	خوشحالی و آرامش
برانگیختگی	٪۷۹/۳	٪۶۲/۱	F_z	ناراحتی و نفرت

جدول۵- نتایج به -دست آمده از طبقه-بندی‌کننده MLP و ویژگی بعد فرکتال

طبقه-بندی از لحاظ	صحت فیلم ها-	صحت تصاویر	الکترود	نام احساسات
جاذبه و برانگیختگی	٪۸۲/۴	٪۵۰	F_3	خوشحالی و ناراحتی
جاذبه و برانگیختگی	٪۷۵/۲	٪۶۲/۹	F_3	آرامش و نفرت
جاذبه	٪۷۵/۲	٪۶۴/۶	F_3	خوشحالی و نفرت
جاذبه	٪۷۵/۵	٪۶۴/۱	F_3	ناراحتی و آرامش
برانگیختگی	٪۹۲	٪۷۳	F_z	خوشحالی و

				آرامش
برانگیختگی	٪۷۱/۶	٪۵۴/۲	F_z	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 الکترود به ۲ الکترود.

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- مقایسه-ای 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. همان-گونه که مشخص است نتایج از لحاظ صحت بازشناسی و کاهش تعداد الکترودها بهبود یافته است.

صحت	نواحی احساسی بازشناسی شده	تعداد افراد شرکت کننده	تعداد الکترودها	روش استفاده شده	مطالعات انجام‌شده
٪۶۵	۴ناحیه	۵	۳	چگالی طیف توان جداساز فیشر و طبقه‌بندی ساده بیزی	۲۰۰۶ باس]۱۵[
۷۶/۶ ٪	۳ ناحیه	۵	۵۴	بعد همبستگی طبقه-بندی‌کننده درجه دوم	۲۰۰۹ خلیلی]۱۸[
٪۸۵	۴ ناحیه	۱۰	۳	بعد فرکتال	۲۰۱۱

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

۳-۵- نتیجه‌گیری حاصل از پردازش سیگنال EEG

با توجه به فقدان مجموعه تحریک‌کننده-های 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. همان-گونه 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 برروی سیگنال‌ها و مقایسه- نتایج آن-ها 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 الکترود-ها برای شرکت‌کننده رنج‌آور است، یکی از اهداف این مطالعه کاهش تعداد الکترودهای مورد استفاده برای بازشناسی است، در این مطالعه تنها از دو الکترود 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 الکترود از هم جدا شده‌اند و این کاری است که برای اولین‌بار 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 می-رسد. 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 بزر[۳۰]، معروف به روش PBVB برای

[۳۰] - Piecewise Bezier Volume Deformation

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)

شکل۱۱- 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.

شکل۱۲- 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.

---

[۳۳] - Action Unit

شکل۱۳- حالت‌های آرامش، ناراحتی، نفرت و خوشحالی تشخیص داده شده توسط نرم‌افزار eMotion

ادامه شکل۱۳- حالت-های آرامش، ناراحتی، نفرت و خوشحالی تشخیص داده شده توسط نرم‌افزار eMotion

جدول ۷ نتایج به -دست آمده از ۲۴ شرکت‌کننده را نشان می‌دهد.

جدول ۷- نتایج به دست آمده از تشخیص حالت چهره ۲۴ شرکت‌کننده، توسط نرم‌افزار eMotion

شرکت‌کننده‌ها	صحت خوشحالی	ناراحتی	آرامش	نفرت
شرکت‌کننده ۱	٪۱۰۰	٪۹۴	٪۹۸	٪۲۰
شرکت‌کننده ۲	٪۹۸	٪۹۳	٪۹۷	٪۱۵
شرکت‌کننده ۳	٪۹۷	٪۶۶	٪۹۵	٪۷
شرکت‌کننده ۴	٪۹۵	٪۶۴	٪۹۴	٪۵
شرکت‌کننده ۵	٪۸۷	٪۵۳	٪۸۹	٪۴
شرکت‌کننده ۶	٪۹۶	٪۶۲	٪۹۱	٪۵
شرکت‌کننده ۷	٪۹۹	٪۶۷	٪۹۶	٪۷
شرکت‌کننده ۸	٪۹۰	٪۴۵	٪۸۸	٪۴
شرکت‌کننده ۹	٪۹۲	٪۳۸	٪۸۷	٪۲
شرکت‌کننده ۱۰	٪۱۰۰	٪۷۰	٪۹۶	٪۱۰
شرکت‌کننده ۱۱	٪۹۵	٪۶۲	٪۹۵	٪۶
شرکت‌کننده ۱۲	٪۸۹	٪۵۵	٪۸۹	٪۵
شرکت‌کننده ۱۳	٪۹۸	٪۶۵	٪۹۲	٪۷
شرکت‌کننده ۱۴	٪۹۸	٪۶۹	٪۹۵	٪۸
شرکت‌کننده ۱۵	٪۹۶	٪۶۳	٪۹۴	٪۵

شرکت‌کننده ۱۶	٪۸۸	٪۵۴	٪۸۸	٪۶
شرکت‌کننده ۱۷	٪۱۰۰	٪۹۵	٪۱۰۰	٪۹۲
شرکت‌کننده ۱۸	٪۹۹	٪۸۷	٪۱۰۰	٪۸۵
شرکت‌کننده ۱۹	٪۹۷	٪۸۵	٪۱۰۰	٪۸۰
شرکت‌کننده ۲۰	٪۱۰۰	٪۹۰	٪۱۰۰	٪۹۰
شرکت‌کننده ۲۱	٪۹۸	٪۶۵	٪۹۵	٪۷۵
شرکت‌کننده ۲۲	٪۹۵	٪۵۰	٪۹۴	٪۲۰
شرکت‌کننده ۲۳	٪۹۵	٪۴۵	٪۹۲	٪۱۵
شرکت‌کننده 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 شرکت‌کننده‌های مرد و ردیف‌های ۱۷ تا ۲۴ مربوط به شرکت‌کننده‌های 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 بازشناسی 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 بازشناسی آن-ها پرداخته نشده و تنها تحلیل‌هایی برای مقایسه و استخراج ویژگی در آن-ها بیان شده است. از این رو این مطالعه با بازشناسی چهار وضعیت احساسی و بازشناسی 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 بازشناسی 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 دسته-بندی برای رسیدن به بهترین نتیجه بررسی شد. در بخش پردازش سیگنال EEG بهترین ویژگی، بعد فرکتال و بهترین الکترودها ۳F و Fz 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

جدول۲- مقایسه توانایی دو الکترود ۳F و ۴F در بازشناسی احساسات از لحاظ جاذبه با استفاده از ویژگی‌ها

و طبقه‌بندی‌کننده-های مختلف																	
	ضرایب مدل AR						ویژگیهای آماری						بعد فرکتال					
	AdaBoost			MLP			AdaBoost			MLP			AdaBoost			MLP		
نام احساسات	F_3	F_4	و F_3 F_4	F_3	F_4	و F_3 F_4	F_3	F_4	و F_3 F_4	F_3	F_4	و F_3 F_4	F_3	F_4	و F_3 F_4	F_3	F_4	و F_3 F_4
خوشحالی و ناراحتی	۸۱/۸ ٪	۸۱/۱ ٪	۸۱/۸ ٪	۷۹/۱ ٪	۷۰/۸ ٪	٪۷۰	۷۷/۶ ٪	٪۶۶	٪۷۰	۶۶/۷ ٪	۶۱/۱ ٪	۵۴/۳ ٪	٪۹۲	۸۰/۸ ٪	۸۴/۲ ٪	۸۲/۴ ٪	۷۶/۲ ٪	۷۲/۶ ٪
آرامش و نفرت	۷۰/۳ ٪	٪۶۶	۶۲/۹ ٪	٪۷۴	۷۱/۷ ٪	۷۰/۱ ٪	۷۰/۸ ٪	۷۰/۳ ٪	۷۰/۱ ٪	۶۱/۱ ٪	۵۹/۵ ٪	۵۸/۷ ٪	۸۱/۱ ٪	٪۷۲	۷۳/۳ ٪	۷۵/۲ ٪	۶۶/۷ ٪	۶۲/۵ ٪
خوشحالی و نفرت	٪۷۰	۶۸/۱ ٪	۶۷/۴ ٪	۷۰/۸ ٪	۶۰/۹ ٪	۶۲/۵ ٪	۷۰/۱ ٪	۶۷/۴ ٪	۶۲/۵ ٪	۵۶/۴ ٪	٪۵۰	۵۶/۲ ٪	۸۲/۷ ٪	۶۸/۱ ٪	۵۸/۱ ٪	۷۵/۲ ٪	۷۰/۳ ٪	۷۰/۸ ٪
ناراحتی و آرامش	٪۷۴	٪۷۰	۷۰/۳ ٪	۶۱/۱ ٪	۵۹/۵ ٪	۶۰/۹ ٪	۵۹/۲ ٪	۵۶/۴ ٪	۵۸/۷ ٪	۷۰/۳ ٪	٪۷۴	٪۶۶	۸۸/۸ ٪	۷۴/۴ ٪	٪۷۲	۷۵/۵ ٪	٪۷۰	۶۲/۹ ٪

جدول۳- مقایسه بین ویژگی-ها و طبقه-بندی‌کننده-ها برای رسیدن به بهترین نتیجه در بازشناسی احساسات از دو لحاظ جاذبه و برانگیختگی

			ضرایب مدل AR		ویژگی-های آماری		بعد فرکتال	
نام احساسات	طبقه-بندی از لحاظ	الکترود	AdaBoost	MLP	AdaBoost	MLP	AdaBoost	MLP
خوشحالی و ناراحتی	جاذبه و برانگیختگی	F_3	٪۸۱/۸	٪۷۹/۱	٪۷۷/۶	٪۶۶/۷	٪۹۲	٪۸۲/۴
آرامش و نفرت	جاذبه و برانگیختگی	F_3	٪۷۰/۳	٪۷۴	٪۷۰/۸	٪۶۱/۱	٪۸۱/۱	٪۷۵/۲
خوشحالی و نفرت	جاذبه	F_3	٪۷۰	٪۷۰/۸	٪۷۰/۱	٪۵۶/۴	٪۸۲/۷	٪۷۵/۲
ناراحتی و آرامش	جاذبه	F_3	٪۷۴	٪۶۱/۱	٪۵۹/۲	٪۷۰/۳	٪۸۸/۸	٪۷۵/۵
خوشحالی و آرامش	برانگیختگی	F_z	٪۸۱/۸	٪۷۴/۴	٪۶۰/۹	٪۶۱/۱	٪۸۸/۷	٪۹۲
ناراحتی و نفرت	برانگیختگی	F_z	٪۷۰/۱	٪۶۷/۴	٪۵۶/۴	٪۵۰	٪۷۹/۳	٪۷۱/۶

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

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.