استفاده از زمان پاسخ، مؤلّفهٔ شناختی P300 و تلفیق دو مد به‌منظور تشخیص "دانش فرد خطاکار"

امین محمّدیان[۱]، وحید ابوطالبی[۱و۲]، محمّدحسن مرادی[۳]، محمّدعلی خلیل‌زاده[۱و۴]
۱-پژوهشکده پردازش هوشمند علائم۲- دانشگاه یزد
۳- دانشگاه صنعتی امیرکبیر ۴- دانشگاه آزاد اسلامی واحد مشهد

چکیده:

روش‌های موجود تشخیص دروغ که بر اساس پلی‌گرافی کلاسیک عمل می‌کنند، سعی می‌کنند با استفاده از مشخصّات چندین سیگنال فیزیولوژیک، به‌تفکیک فرد راستگو یا دروغ‌گو بپردازند. رویکرد دیگری که در کنار روش کلاسیک مطرح گردیده است، استفاده از مؤلفهٔ شناختی P300 سیگنال‌های مغزی برای کشف دانش فرد خطاکار است؛ در ادامهٔ توسعهٔ این روش‌ها، موضوعی که در این تحقیق به آن پرداخته شده است، بحث ارزیابی تشخیص دانش فرد خطاکار از تحلیل زمان پاسخ فرد و تلفیق تحلیل زمان پاسخ و مؤلّفهٔ شناختی P300 مغز است. به‌همین منظور چندین روش قبلی، تحلیل مغزی و تحلیل زمان پاسخ پیاده‌سازی و توسعه داده شد و ترکیب حالات مختلفی از روش‌ها مورد بررسی قرار گرفت. نتیجهٔ روش تحلیل زمان پاسخ توسعه‌یافته در این تحقیق، به صحّت ۸۱٪ و سطح زیر منحنی ۰.۸۵ رسیده است که با بهترین نتیجهٔ تحلیل مغزی در کارهای قبل (استفاده از طبقه‌بندی‌کننده با ویژگی‌های مبتنی بر تبدیل موجک که صحّت ۸۰٪ و سطح زیر منحنی ۰.۸۶ داشت به‌طورکامل قابل مقایسه است. از بین حالات مختلف تلفیق روش‌های تحلیل مغزی و زمان پاسخ، بهترین نتیجه، مربوط به روش تحلیل زمان پاسخ بوت استرپ شده و تشخیص P300 به روش اختلاف دامنه بوت استرپ شده بود. این تلفیق صحّت تفکیک بین افراد خطاکار و بی‌گناه را تا ۸۸٪ بهبود داد که این بهبود با استفاده از آزمون *مک نمار* در مقایسه با نتیجهٔ روش اختلاف دامنهٔ بوت استرپ شده به‌عنوان بهترین نتیجهٔ تحقیقات قبل به‌طورکامل معنی دار (۰.۰۱) بود.

واژه های کلیدی: زمان پاسخ، آزمون دانش فرد *خطاکار*، پتانسیل برانگیختهٔ بینایی، تحلیل چند مد

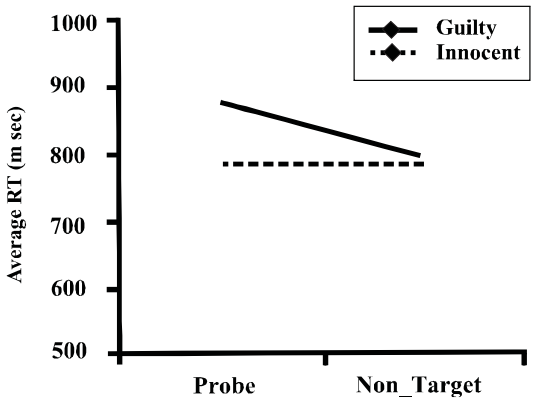
۱- مقدّمه

بیش از نیم قرن است که تلاش‌هایی به‌منظور توسعهٔ روش‌های فیزیولوژیک، به‌منظور تشخیص دانش مخفی شده، صورت می‌گیرد.

روش غالب در دروغ‌سنجی تا دههٔ ۱۹۸۰، پلی‌گرافی کلاسیک بود که چندین ویژگی مرتبط با سیستم اعصاب خودکار را اندازه‌گیری می‌کرد[۱] از آن‌جایی‌که این روش از جهت وابسته بودن به استرس، مورد نقدهایی قرار گرفت، روش‌های دیگر، توسعه پیدا کردند. مطرح‌شدن روش استفاده از پتانسیل‌های برانگیختهٔ بینایی در دههٔ ۱۹۸۰، ازجملهٔ این موارد بود. امروزه با دو رویکرد غیر تهاجمی، به مطالعهٔ فعّالیت‌های مغزی می‌پردازند. در روش‌های تصویربرداری از فعّالیت‌های شناختی، هم‌چون FMRI, PET مزّیت تفکیک‌پذیری مکانی آن‌هاست؛ امّا در ثبت سیگنال‌های مغزی تفکیک زمانی مناسب بوده و تفکیک مکانی آن خوب نیست. امروزه هر دو روش تحلیل فعالیت‌های مغزی، به‌منظور تشخیص فرد اغفال‌گر در مطالعات مورد استفاده قرار می‌گیرند. با وجود انجام مطالعات بر روی رابطهٔ بین اغفال‌گری و فعّالیت‌های مغزی با استفاده از روش تصویربرداری FMRI [۲،۳،۴،۵،۶،۷،۸،۹] روش مبتنی بر پتانسیل برانگیخته، به‌صورت وسیع‌تری مورد بررسی قرار گرفته و نتایج راضی‌کننده‌تری داشته است. [۱۰،۱۱]. در مواردی نیاز به وسایلی ساده با کاربرد آسان و قابلیت اطمینان وجود دارد که بتوان از آن به‌طور محّلی و موضعی بدون آن‌که اتصّال پیچیده‌ای به آزمون‌شونده وجود داشته باشد، به تحلیل و کسب دانش از فرد خطاکار پرداخت؛ به‌همین دلیل محقّقان به‌دنبال اثبات کردن این موضوع

هستند که می‌توان با استفاده از تحلیل‌های رفتاری چون آنالیز زمان پاسخ افراد در قالب یک آزمون، فریب[1] را تشخیص داد [۱۲].

روش تحلیل زمان پاسخ فرد با این حقیقت که اجزای درون‌زای مربوط به فعّالیت مغز با افزایش پردازش‌های مغز[2] به تأخیر می‌افتند، قابل توجیه است. مدل‌های شناختی براساس جلب توجه فرد در هنگام مواجهه با تحریک‌های شناخته شده، پیشنهاد شده‌اند که می‌توانند افزایش زمان پاسخ فرد گناهکار را در مواجهه با سؤال مورد تحقیق، توضیح دهند[۱۳]. اندازه‌گیری این ویژگی بسیار ارزان و ساده است؛ امّا نتایج متناقضی از کارآیی این روش جهت تشخیص اغفال گزارش شده است[۳، ۴، ۱۴] . *فارول*[3] که از محقّقان مطرح در حوزهٔ دروغ‌سنجی مغزی است، به‌صورت آماری آن‌را معنی‌دار دانسته و در ادامهٔ کار او نتایج مشابه دیگری نیز گزارش شده است. در شکل(۱) نمایش میانگین زمان پاسخ افراد در دو گروه خطاکار و بی‌گناه نسبت به دو سؤال نامربوط و پروب نمایش داده است؛ به‌طوری‌که مشاهده می‌شود، میانگین زمان پاسخ افراد خطاکار و بی‌گناه به سؤال پروب، متفاوت و به سؤال نامربوط، یکسان است. محقّقان [۱۲، ۱۵، ۱۴] به‌دلیل سادگی آن را مستعد مقابله می‌دانند، امّا [۱۵] قابل اطمینان بودن زمان پاسخ را اثبات کرده‌اند و آن‌را به‌عنوان یک روش مستقل در تشخیص فرد خطاکار معرفی کرده‌است.



شکل(۱) میانگین زمان پاسخ افراد خطاکار و بی‌گناه به دو سؤال پروب و غیر مرتبط در کار فارول[۱۵]

در [۱۲] زمان پاسخ افراد در پروتکل دوتحریکه در افراد خطاکار بیشتر از افراد بی‌گناه بوده است. رویکرد تلفیق زمان پاسخ و تحلیل‌های مغزی تاکنون گزارش نشده است؛ تنها نتایج تحلیل آماری جداگانه از دادهٔ رفتاری فرد در مقالات مربوط به تحلیل پتانسیل برانگیخته گزارش می‌شود[۱۶،۱۵] امّا ترکیبی بین دو تحلیل صورت نمی‌گیرد. اگرچه ترکیب متغیرهای مرتبط با وضعیت فیزیولوژی روانی و فعّالیت‌های شناختی امروزه در تحقیقات و کاربرد فوایدی دارد امّا آن‌چه که مشکل اصلی این ترکیب است، مربوط به اختلاف آن‌ها در پروتکل مختلف فعّال‌سازی آن‌هاست. در [۱۷] در عمل تحلیلی از تلفیق پاسخ مقاومتی پوست و پاسخ رفتاری و مغزی افراد انجام نشده است. امّا از آن‌جاکه پروتکل فعّال‌سازی زمان پاسخ و روش کسب دانش مخفی از طریق پتانسیل برانگیختهٔ بینایی یکسان هستند و هر دو مبتنی بر سیستم شناخت افراد هستند؛ پیش‌بینی می‌شود، نتیجهٔ قابل قبولی به‌دست آید. در مطالعات [۱۶، ۱۳] استفاده از این پارامتر را مفید ارزیابی کرده‌اند.

با توجّه به مجادله‌آمیز بودن استفاده از تحلیل زمان پاسخ در تشخیص دانش فرد خطاکار، در این تحقیق تلاش شده است هم تحلیل زمان پاسخ، به‌عنوان یک پارامتر مستقل مورد بررسی قرار گیرد و هم با ترکیب آن با تحلیل‌های مغزی، رویکرد جدیدی در تشخیص دانش فرد خطاکار ارایه گردد.

۲- روش

۲-۱- مشخصّات افراد

۶۲ فرد (۵۹ مرد و۳ زن) که دانشجوی کارشناسی یا کارشناسی ارشد بودند (همه دارای بینایی سالم یا تصحیح شده) در این مطالعه مشارکت کرده‌اند. هر سوژه در دو آزمایش جداگانه شرکت می‌کند و به‌دلخواه خود در یکی از این آزمایش‌ها با بازکردن یک جعبه و مشاهدهٔ یک شیء قیمتی نقش خطاکار را ایفا می‌کند. سوژه در آزمایش دیگر نقش بی‌گناه را بازی می‌کند. پس از این مرحله سوژه رو به روی یک صفحه نمایش می نشیند و ثبت شروع می شود. در حین ثبت بر روی صفحه نمایش تصویر پنج شیء مختلف (هر کدام با ۳۰ بار تکرار) تک‌تک و به‌طور تصادفی نشان داده می‌شود که شامل یک شیء هدف، یک شیء پروب و سه شیء غیر مربوط است. شیء پروب، همان شیء داخل جعبه است و شیء هدف نیز قبل از آزمایش به سوژه نشان داده می‌شود. دو

[1] Deception
[2] Brain Processing
[3] Farwel

کلید نیز برای دادن جواب بله و خیر به دو دست سوژه داده می‌شود؛ از سوژه خواسته می‌شود در مورد اشیایی که قبلاً دیده است جواب بله و در مورد اشیایی که قبلاً ندیده است جواب خیر بدهد و در عین حال درصورتی‌که نقش خطاکار را اجرا کرده است، سعی می‌کند این امر را مخفی نماید. بنابراین تمام سوژه‌ها (چه خطاکار و چه بی‌گناه) در مورد شیء هدف پاسخ بله و در مورد اشیای پروب و نامربوط جواب خیر می‌دهند. درحقیقت هدف از ارایه شیء هدف، بررسی میزان همکاری و توجه فرد به روند ثبت است. ۳۲ نفر از افراد در اوّلین آزمون نقش بی‌گناه و ۳۰ نفر نقش خطاکار را بازی کرده بودند. تعدادی از ثبت‌ها به‌دلیل عدم اجرای مناسب پروتکل یا ثبت نامناسب سیگنال‌ها از دادگان حذف شدند و درمجموع ۱۰۹ مورد ثبت (شامل ۵۹ خطاکار و ۵۰ بی‌گناه) مورد استفاده قرار گرفت. از این دادگان در [۱۸، ۱۹] استفاده شده است.

۲-۲- مشخّصات سیستم ثبت

بعد از نصب الکترودهای Ag-AgCl _که روی خطّ وسط سر در محل کانال‌های Fz و Cz و Pz (مطابق استاندارد 20-10) نصب می‌گردید _ و کنترل پایین‌تر بودن امپدانس اتصال از حد لازم، آزمایش شروع می‌شد. برای ثبت سیگنال‌ها از سیستم رایانه‌ای ثبت سیگنال‌های مغزی استفاده گردید. این سیستم پس از تقویت سیگنال‌ها، آن‌ها را با فرکانس ۲۵۶ هرتز نمونه‌برداری کرده و هر نمونه را در شانزده بیت ذخیره می‌نمود. از هر یک از سوژه‌ها دو آزمایش گرفته شد. پردازش ها بعد از اتمام ثبت‌ها و به‌صورت غیرهمزمان[1] انجام شد. تنها پهنای باند بین ۰.۵ تا ۳۵ هرتز از سیگنال ثبت شده، نگه‌داشته شد[۱۶]، هم‌چنین جهت حذف اثر نامطلوب پتانسیل الکتریکی چشم بر روی سیگنال‌های مغزی برای سیگنال EOG سطح آستانه‌ای در نظر گرفته شد و سیگنال‌های مغزی هم‌زمان با فعالیت EOG بالاتر از سطح در نظر گرفته شده وارد مراحل تحلیل نشدند، بنابرین تعدادی از تک‌ثبت‌ها هر فرد از این طریق حذف گردیدند.

۲-۳- فرضیات و روال آزمون

در این تحقیق از آزمون دانش فرد خطاکار[2](GKT) که به‌عنوان آزمون اطلاعات مخفی شده (CIT[3]) نیز نامیده می‌شود، استفاده شده است. این آزمون از این واقعیت استفاده می‌کند که یک فرد خطاکار در مواجهه با اطلاعات دقیق وابسته به جرم مورد تحقیق، واکنش بیشتری را در مقایسه با حالت مواجهه با اطلاعات مشابه نامربوط با جرم بروز می‌دهد. از سوی دیگر، انتظار می‌رود که فرد بی‌گناه به هر دو مورد یکسان پاسخ نشان دهد. مشکل اصلی آزمون‌های GKT کلاسیک، فقدان کنترل بر روی سوژه است ولی در نوع تغییریافتهٔ GKT که در این تحقیق نیز از آن استفاده می‌شود برای رفع این اشکال، یک دسته سؤال جدید تحت عنوان سؤال هدف به آزمون اضافه می‌شود که یک پاسخ کنترلی خاص را فراهم می‌کند. آزمون‌های GKT از بیشترین مقبولیت و کاربرد در تحقیقات جنایی بر روی جرم‌های خاص برخوردار هستند[۱۹]. آزمون حاضر شامل سؤالات هدف(کنترلی)، سؤالات مربوط(پروب) و نامربوط است. این سؤالات در قالب الگوی *ادبال*[4] به‌صورت مجموعه‌ای از تصاویر به افراد نشان داده می‌شوند. جزییات زمان‌بندی آزمون در شکل(۲) نشان داده شده است.

۳- تحلیل دادگان

تمرکز عمدهٔ این تحقیق در قدم اول بر روی تحلیل مناسب اختلاف تأخیر در پاسخ افراد در انواع سؤالات است تا با تعیین سطح تصمیم مناسبی، بتوان فرد خطاکار و بی‌گناه را از یکدیگر تفکیک کرد. در قدم دوم با بررسی روش‌های مختلف تشخیص فرد خطاکار با استفاده از سیگنال‌های مغزی، به ترکیب مناسبی از تلفیق این دو منبع پرداخته می‌شود، به‌نحوی که نتیجهٔ تشخیص دانش فرد خطاکار را بهبود دهد.

۳-۱- روش تحلیل زمان پاسخ بوت‌استرپ شده (BART[5])

تأخیر بین تحریک و پاسخ فرد نسبت به تحریکات بینایی به‌عنوان زمان پاسخ تعریف می‌شود. این زمان پاسخ‌ها به سه دسته، برحسب نوع تحریک که توضیح داده شد، تقسیم می‌شوند یعنی نوع ۱ پروب، نوع ۲ هدف و نوع ۳ نامربوط. ابتدا از هر یک از سه نوع زمان پاسخ ویژگی‌هایی استخراج و بهترین آن‌ها انتخاب گردید که در ادامه فرمول آن‌ها آورده شده است. میانگین پاسخ‌های فرد در گروه پروب، هدف و

1. Offline
2. Guilty Knowledge Test
3 Concealed Information Test
4 Oddbal
5 Bootstrapped Analysis of Reaction Time

نامربوط طبق سه رابطهٔ (۱،۲،۳) محاسبه شده است. که RT زمان پاسخ، Target, Irrelevant, probe مشخّص کننده نوع تحریک و N تعداد نمونه‌های زمان پاسخ در هر فرد نسبت به هر نوع سؤال است که کمتر از ۳۰ است.

$$ARTP = \frac{1}{N}\sum_{n=1}^{N}(RT_{Probe}(n)) \quad (۱)$$

$$ARTI = \frac{1}{N}\sum_{n=1}^{N}(RT_{Irrelevant}(n)) \quad (۲)$$

$$ARTT = \frac{1}{N}\sum_{n=1}^{N}(RT_{Target}(n)) \quad (۳)$$

ویژگی دیگر ترکیب سه ویژگی قبل به شکل رابطهٔ(۴) است.

$$MR = ARTP / (ARTI + ARTT) \quad (۴)$$

میانه و مدهای پاسخ‌های فرد در گروه پروب، هدف و نامربوط نیز محاسبه گردیدکه درمجموع ده ویژگی شد، یازدهمین ویژگی، ترکیب سه رابطهٔ اوّل، طبق رابطهٔ (۵) است.

$$ARTP - (ARTI + ARTT) \quad (۵)$$

و آخرین ویژگی محاسبه براساس رابطهٔ(۶) است

$$ARTP - (ARTI) \quad (۶)$$

بعد از استخراج ویژگی‌ها با استفاده از روش تحلیل قدم به قدم تفکیک‌پذیری خطّی[1] دسته ویژگی مناسب استخراج گردید. در این انتخاب از مقدار F ۳.۸۴ برای وارد کردن و ۲.۷۱ برای خارج کردن از گروه انتخابی دسته ویژگی‌ها استفاده شده است[۱۸]. ویژگی مربوط به رابطهٔ(۶) به‌عنوان ویژگی برگزیدهٔ این روش گزارش شد. به‌همین منظور از این ویژگی در مرحلهٔ بعد یعنی پیاده‌سازی روش توسعّه یافتّهٔ تحلیل زمان استفاده شد. بلوک دیاگرام مربوط به روش تحلیل زمان پاسخ کامل‌تر در شکل(۳) آورده شده است. برای به‌دست آوردن مجموعهٔ آماری از دادهٔ زمان پاسخ فرد از روش بوت *استرپینگ*[2] استفاده شده است، به‌همین دلیل به آن روش تحلیل زمان پاسخ بوت استرپ شده گفته شده است؛ روش بوت استرپینگ روشی آماری است برای تخمین توزیع نمونه‌های یک تخمین‌گر به‌وسیلهٔ نمونه‌برداری تکرار شوندهٔ تصادفی از بین نمونه‌های اصلی با جایگذاری استفاده می‌شود؛ این روش اغلب به‌عنوان یک تخمین‌گر پایدار از خطای استاندارد و بازهٔ اطمینان از پارامترهای یک جمعیت همچون میانگین، میانه مورد استفاده قرار می‌گیرد.

بهترین ویژگی یعنی رابطهٔ (۶) از زمان پاسخ بوت استرپینگ شده، استخراج شد که تعداد تکرارها ۵۰۰ بار بود، تعداد نمونه‌های اوّلیه مربوط به هر سؤال هر فرد کمتر از ۳۰ عدد بود، امّا با استفاده از تکرار ۵۰۰ بار در روش بوت استرپینگ برای هر سؤال هر فرد ۵۰۰ نمونه به‌دست می‌آید.

با توجّه به مناسب بودن ویژگی انتخابی، از یک طبقه‌بندی کنندهٔ استاندارد آماری یعنی LDA برای طبقه‌بندی استفاده شد. با استفاده از روش Loo و به کمک طبقه‌بندی کنندهٔ LDA به طبقه‌بندی نمونه‌های هر فرد پرداخته و میانگین خروجی طبقه‌بندی‌کننده نسبت به نمونه‌های هر فرد، درصد آماری خطاکار بودن و بی‌گناه بودن فرد را مشخّص می‌کند[۱۸].

۳-۲- تحلیل سیگنال‌های مغزی

در تحلیل پتانسیل برانگیختهٔ بینایی مغزی، به‌منظور تشخیص مؤلفهٔ شناختی P300 سه رویکرد در کارهای قبل مّد نظر بوده است [۱۶] که هر یک از این سه روش پیاده‌سازی شدند.

۳-۲-۱- روش اختلاف دامنهٔ بوت‌استرپ شده (BAD)[3]

این روش اوّلین بار توسط *روزنفلد* پیاده‌سازی شد[۱۶]. اساس روش BAD ، تخمین توزیع آماری شکل موج متوسط P300 در سؤالات مختلف با استفاده از الگوریتم بوت استرپینگ و سپس مقایسهٔ دامنهٔ P300 در سؤال پروب با مقدار آن در سؤالات هدف و غیرمرتبط است. درنهایت روش BAD به‌صورت درصد عددی بین ۰ تا ۱۰۰ را برای سؤال پروب سوژه محاسبه می‌کند که متناسب با میزان نزدیک بودن پاسخ پروب به پاسخ هدف و دور بودن پاسخ پروب از پاسخ‌غیرمرتبط است. بنابراین هرچه عدد به ۱۰۰ نزدیک‌تر باشد، احتمال اطّلاع فرد از موضوع سؤال پروب بیشتر است[۱۶].

[1] Stepwise Discriminant analysis
[2] Bootstrapping
[3] Bootstrapped Amplitude Difference

۳-۲-۲- روش اختلاف همبستگی بوت استرپ شده(BCD)[1]

اساس روش BCD، تخمین توزیع آماری شکل موج متوسط P300 در سؤالات مختلف با استفاده از الگوریتم بوت استرپینگ و سپس محاسبهٔ همبستگی شکل موج‌های مربوط به سؤال پروب با شکل موج‌های مربوط به سؤالات هدف و غیرمرتبط است. درنهایت روش BCD همانند BAD به‌صورت درصد عددی بین ۰ تا ۱۰۰ را برای سؤال پروب سوژه محاسبه می‌کند که متناسب با میزان همبستگی پاسخ‌های پروب با پاسخ‌های هدف و عدم همبستگی پاسخ‌های پروب با پاسخ‌های‌غیرمرتبط است. بنابراین هرچه عدد به ۱۰۰ نزدیک‌تر باشد، احتمال اطّلاع فرد از موضوع سؤال پروب بیشتر است[۱۰].

۳-۲-۳ طبقه‌بندی‌کنندهٔ LDA[2]

در روش LDA، اساس کار بر آموزش ویژگی‌های تک‌ثبت های پروب قبلی (با برچسب مشخص) به یک طبقه‌بندی کنندهٔ آماری و استفاده از آن در برچسب‌زنی تک‌ثبت‌های مربوط به سوژهٔ جدید نهاده شده است. ویژگی‌های مورد استفاده و پارامترهای روش، در مرحلهٔ قبلی کار بهینه‌سازی شده است[۱۸].

۳-۳- تحلیل چند مد

یک راه ممکن برای بهبود کارآیی تشخیص دانش مخفی شده، استفاده از ترکیب اطّلاعات روش‌های متداول در کسب دانش از فرد است؛ در این تحقیق سعی شده است تا به ارزیابی میزان کارآیی ترکیب‌های مختلف از دو روش متداول کسب دانش بر اساس پتانسیل‌های برانگیخته و پاسخ رفتاری فرد بپردازیم. همان‌طور که انسان در شناسایی محیط خود از مدهای مختلف استفاده می‌کند، پیش‌بینی می‌شود نتیجه، سیستم‌های خودکار چندمد نیز از حالت تک‌مد نتیجهٔ بهتری داشته باشند.

همچنین در مواردی اطّلاعات موجود در زمان پاسخ فرد می‌تواند مکمّل اطّلاعات موجود در سیگنال‌های مغزی آن باشد. به‌همین منظور چندین روش برگزیده از بین روش‌های موجود در تحلیل پتانسیل‌های برانگیخته و تحلیل زمان پاسخ فرد با یکدیگر به شکل ماشین همیار ترکیب و بهترین نتیجه انتخاب شد.

در این روش به شکل‌های مختلف به ترکیب نتایج چندین طبقه‌بندی‌کننده می‌پردازند تا از ترکیب آن‌ها به صحّت طبقه‌بندی بهتر با فرض افزایش محاسبات دست پیدا کنند.

در این مقاله از روش میانگین‌گیری بین خروجی طبقه‌بندی‌کننده‌ها با استفاده از طبقه‌بندی‌کنندهٔ سوم استفاده شده است. هر یک از دو طبقه‌بندی‌کننده توسط دادهٔ آموزش تعلیم دیده، سپس داده تعلیم به ورودی هر یک از دو طبقه‌بندی‌کننده اعمال و خروجی دو طبقه‌بندی‌کننده به‌عنوان ورودی طبقه‌بندی‌کنندهٔ سوم همراه با برچسب آن داده استفاده می‌شود و در نتیجه طبقه‌بندی‌کنندهٔ سوم هم مورد تعلیم قرار می‌گیرد.

به‌طوری‌که طبقه‌بندی‌کنندهٔ سوم، وزن هر یک از دو طبقه‌بندی‌کنندهٔ قبل را براساس دادهٔ آموزش تعیین می‌کند؛ و از خروجی طبقه‌بندی‌کننده سوم برای تصمیم‌گیری استفاده می‌شود.

۴- نتایج

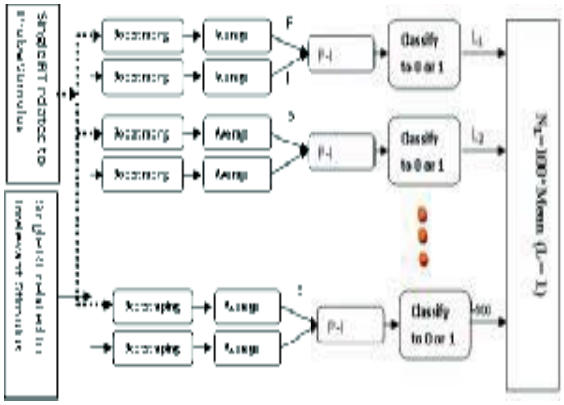
در تحلیل و مقایسهٔ نتایج از دو معیار برای مقایسهٔ روش‌ها استفاده شده است:

- صحّت تشخیص یا نرخ تشخیص
- مساحت زیر منحنی(AUC[3]) به‌عنوان یک ROC[4] منحنی ROC نمودار نمایش حسّاسیت طبقه‌بندی کننده [به‌معنی نسبت مثبت صحیح (TPF)] بر حسب اختصاصی بودن [به‌معنای نسبت مثبت غلط(FPF)] است. بنابراین با فرض داشتن یک FPF ثابت هرچه TPF بزرگتر باشد، کارآیی طبقه‌بندی کننده بیشتر است. به‌عنوان یک متغّیر خلاصه از این نمودار، مساحت زیر منحنی آن در مقایسهٔ طبقه‌بندی کننده‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. [۲۰]

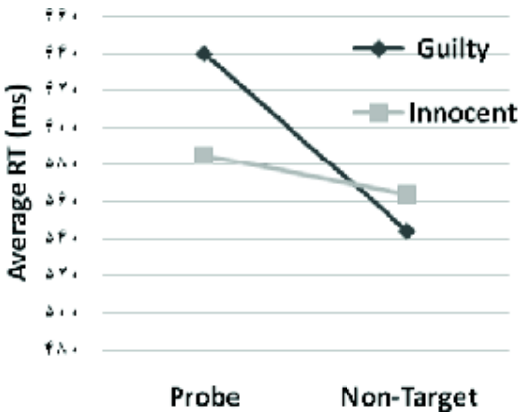
۴-۱- نتایج تحلیل زمان پاسخ

ویژگی برگزیدهٔ زمان پاسخ یعنی ویژگی رابطهٔ (۶) با استفاده از آزمون T- student با ($t=7,\ p<0.05$) دارای سطح معنی‌داری در تفکیک افراد خطاکار و بی‌گناه بود. در واقع این ویژگی بیان دیگری از شکل(۴) یعنی اختلاف دو گروه خطاکار و بی‌گناه در زمان پاسخ مربوط به سؤال پروب و غیر مرتبط است.

[1] Bootstrapped Correlation Difference
[2] Linear Discriminant Analysis
[3] Area Under Curve
[4] Receiver Operating Characteristic



شکل (۳) بلوک دیاگرام روش BART (با ۵۰۰ بار تکرار)



شکل(۴)نمایش میانگین کل زمان پاسخ دو دسته افراد خطاکار و بی‌گناه نسبت به تحریک پروب و غیر مرتبط

۴-۲- نتایج تحلیل زمان پاسخ بوت استرپ شده

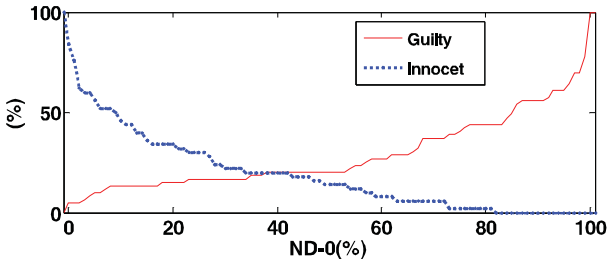
شکل(۵) هیستوگرام تجمعی مربوط به۱۱۰سوژهٔ آزمایشگاهی را نشان می‌دهد. برای هر فرد BART عددی بین ۰ تا ۱۰۰ تشخیص می‌دهد. هیستوگرام تجمعی افراد دو گروه بر اساس درصد تشخیص داده شده توسط BART هر فرد است. هیستوگرام تجمعی بر روی تعداد افراد محاسبه شده و به‌صورت درصد بیان شده است. در شکل‌ها هیستوگرام تجمعی افراد خطاکار از چپ به راست و هیستوگرام تجمعی افراد بی‌گناه از راست به چپ بر روی یک نمودار رسم شده است. انتظار می‌رود که افراد بی‌گناه بیشترین حضور را در سمت چپ و افراد خطاکار در سمت راست داشته باشند. از هیستوگرام تجمعی جهت محاسبهٔ معیار صحّت طبقه‌بندی استفاده شده است. به‌طور مثال در شکل(۵)، میزان خطا در تشخیص افراد خطاکار و بی‌گناه با فرض لزوم صحّت برابر دو گروه، نقطهٔ تقاطع دو نمودار افراد خطاکار و بی‌گناه است و صحّت تشخیص از روی آستانهٔ تعیین شده روی محور افقی و اندیس اختصاص داده شده توسط طبقه‌بندی‌کننده، محاسبه می‌شود. در این تست هر نوع سؤال حداکثر سی بار برای افراد تکرار می‌شد تا در تحلیل سیگنال‌های مغزی جهت بهبود سیگنال به نویز مورد استفاده قرار گیرد و از طرف دیگر در تحلیل زمان پاسخ فرد، افزایش نمونه‌های پاسخی افراد نسبت به یک سؤال تخمین آماری بهتری از وضعیت فرد داده می‌شود؛ امّا از طرف دیگر زمان آزمون طولانی‌تر می‌شود، در این قسمت سعی شد تا تعداد نمونه کمتر مورد بررسی قرار گیرد تا در صورت دستیابی به جواب مناسب، زمینهٔ کاهش زمان آزمون در اجرای آزمون‌های دیگر را فراهم کند. به‌همین منظور از بین سی نمونه به‌صورت تصادفی مقادیر ۲۵، ۱۵و۱۰ تایی انتخاب و روال تحلیل به روش BART محاسبه گردید که نتایج آن در جدول (۱) گزارش شده است.

جدول(۱) نتایج روش BART با کاهش تعداد نمونه های تکراری مربوط به سؤالات

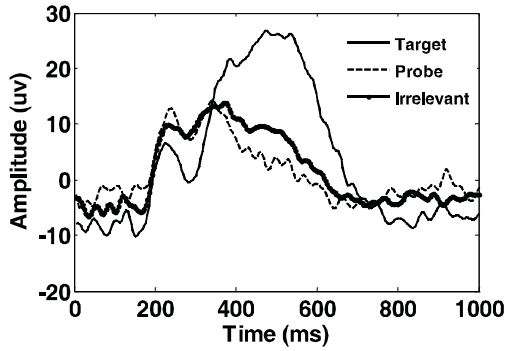
تعداد	۱۰ نمونه	۱۵ نمونه	۲۵ نمونه	۳۰ نمونه
صحت	٪۷۸	٪۷۸.۵۷	٪۸۱	٪۸۱.۳۵

جدول(۲) نتایج تحلیل پتانسیل برانگیخته مغزی

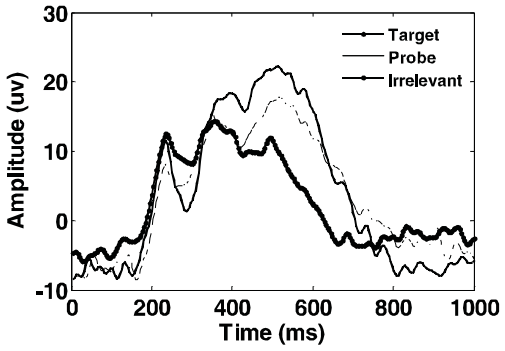
روش	BCD	BAD	LDA
صحت	٪۷۸.۱۵	٪۷۰	٪۸۰.۹۵
AUC	۰.۸۶۴۷	۰.۸۲۵۴	۰.۸۳۲۹



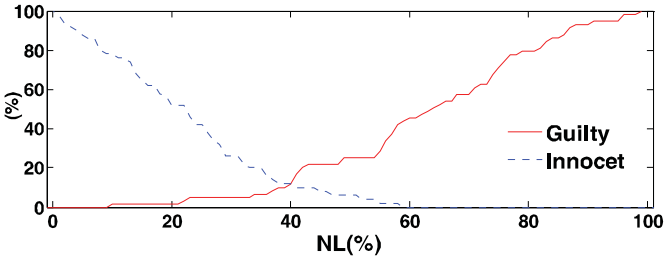
شکل (۵) هیستوگرام تجمعی نتیجه BART بر روی افراد خطاکار و بی‌گناه (برای حالت استفاده از ۳۰ تکرار)



شکل(۶) نمایش میانیگن کل پتانسیل برانیگختهٔ دسته افراد بی‌گناه در سه نوع سؤال هدف، غیر مرتبط و پروب



شکل(۷) نمایش میانیگن کل پتانسیل برانیگختهٔ دسته افراد خطاکار در سه نوع سؤال هدف، غیر مرتبط و پروب



شکل (۸) هیستوگرام تجمعی نتیجهٔ ترکیب نتایج BART و BAD بر روی افراد خطاکار و بی‌گناه

۴-۳- نتایج تحلیل پتانسیل برانگیخته

۴-۳-۱- نمایش حوزهٔ زمان

به‌منظور تحلیل پتانسیل‌های برانگیختهٔ بینایی، از کانال PZ که در کارهای قبلی برای تشخیص P300 مناسب، گزارش شده بود، استفاده گردید. شکل (۶) میانگین کل مربوط به انواع سؤالات را در گروه بی‌گناه و شکل(۷) همین مقادیر مربوط به دسته افراد خطاکار را نشان می‌دهد. پاسخی که پیش‌بینی می‌شد در شکل نشان داده شده است. به‌طوری- که در سوژهٔ خطاکار، پاسخ تحریک پروب شبیه پاسخ کنترل است و در مقابل در سوژهٔ بی‌اطّلاع، پاسخ پروب بیشتر به پاسخ‌های غیرمرتبط شبیه است.

۴-۳-۲- نتایج طبقه‌بندی کننده‌ها

روش‌های موجود تحلیل پتانسیل برانگیخته (BAD, BCD and LDA) پیاده‌سازی شد و نتایج آن‌ها با دو معیار صحت طبقه‌بندی و مساحت زیرمنحنی (AUC) در جدول (۲) گزارش شده است.

۴-۴- نتایج تحلیل چندمد

نتیجه انواع ترکیب نتایج تحلیل منابع رفتاری و مغزی در جدول(۳) گزارش شده است. روش آزمون مک‌نمار به‌عنوان یکی از روش‌های مقایسهٔ نتایج طبقه‌بندی کننده‌ها در مقایسهٔ روش‌ها به‌کار گرفته شده است. ایده آزمون مک نمار شمارش تعداد خطای ایجاد شده توسط طبقه‌بندی کنندهٔ اوّل که طبقه‌بندی کنندهٔ دوم آن‌را درست تشخیص داده است و برعکس است[۲۱]. صحت روش‌ها توسط این

معیار آماری مورد مقایسه قرار گرفت و نتایج آن در جدول (۴) آورده شده است.

روش BART-BAD که بهترین نتیجه را در مقایسه با روش‌های گذشته و روش‌ها پیاده‌سازی شده در این تحقیق داشت به صحّت تشخیص و سطح زیرمنحنی مناسب دست یافت و این نتیجه با معیار مک نمار اختلاف معنی‌داری نیز با دیگر روش‌ها دارد.

جدول(۳) نتایج تحلیل روش‌های چند مد

Methods	BART-BAD	BART-BCD	BART-LDA	BART
Accuracy	88.07%	87.15%	81%	81.35%
AUC	0.9559	0.9508	0.9105	0.8702

جدول (۴) نتایج مقایسه نتایج طبقه بندی کننده‌ها با معیار آزمون مک نمار

Methods	BART with BART-BAD	BAD with BART-BAD	BCD with BART-BCD	BART with CDBART-B
P Value	.180	.002	.210	.180

۵- بحث و نتیجه‌گیری

در این تحقیق به بررسی امکان استفاده از تحلیل زمان پاسخ افراد به‌عنوان یک متغّیر معتبر در تشخیص اطّلاعات مخفی شده پرداخته شد. نتایج این بخش با نتایج گزارش‌شده در [۱] هماهنگ بود و در شکل(۴) نشان داده شد که میانگین زمان پاسخ نسبت به سؤال پروب در گروه افراد خطاکار نسبت به افراد بی‌گناه دارای اختلاف معنی‌داری است، این نتیجه در کارهای [۱۰، ۱] قبلاً گزارش شده بود. بنابرین ویژگی استخراج شده بر اساس این فرضیه نیز دارای سطح تفاوت معنی‌داری با آزمون آماری T-Student در تفکیک دو گروه بود.

نتیجهٔ طبقه‌بندی افراد خطاکار و بی‌گناه تنها بر اساس روش تحلیل زمان پاسخ توسعه‌یافته دارای ۸۱.۳۵٪ صحّت بازشناسی در مقابل بهترین نتیجهٔ تحلیل پتانسیل برانگیخته [۱۸] یعنی ۸۰٪ بود. سطح زیرمنحنی ROC این روش نیز ۰.۸۷ نسبت به ۰.۸۳ روش تحلیل مغزی بود.

نتیجهٔ دیگری که از کاهش تعداد نمونه‌های تصمیم‌گیری در روش تحلیل زمان پاسخ بوت استرپ شده به‌دست آمد در جدول (۱) نمایش داده شده است؛ که براساس آن نتیجه تشخیص با کاهش تعداد تکرارها دارای پایداری است، فایدهٔ این نتیجه این است که صحّت تشخیصی مشابهی با زمان تست کوتاه‌تر نیز به‌دست می‌آید.

یک دلیل اختلاف نتایج [۱۲] در تحلیل زمان پاسخ به‌عنوان یک متغّیر مستقل در تشخیص دانش فرد خطاکار با نتایج تحقیق حاضر، اختلاف در پروتکل اجرای آزمون است، به‌طوری‌که در این تحقیق و تحقیق‌های دیگری که از تحلیل زمان پاسخ نتایج قابل قبولی گرفته‌اند در قالب پروتکل GKT [۱۸ ، ۱۳] زمان پاسخ افراد را ثبت کرده‌اند. به‌طور مثال در پارادایم‌های دیگر نتایج قابل قبولی از زمان پاسخ در حالت انجام فعالیت استروپ هیجانی به‌دست نیاوردند. به‌طوری‌که *گرونو* در [۱۲] گزارش کرده است که در آزمون مبتنی بر استروپ هیجانی که لغات در قالب یک سناریوی دزدی نشان داده می‌شدند، اختلاف معنی‌داری در زمان پاسخ دو دستهٔ خطاکار و بی‌گناه مشاهده نشد. همچنین در [۲۲] نیز اختلاف معنی‌دار زمان پاسخ در قالب آزمون استروپ هیجانی، رد شده است.

دلیل دیگر عدم دستیابی به نتیجهٔ مطلوب در [۱۲] بازهٔ زمانی طولانی بین تحریک‌ها بوده است، زیرا در [۱۲] هدف ثبت همزمان هدایت الکتریکی پوست و زمان پاسخ بوده است که نیازمند بازهٔ بیش از سه ثانیه است که این خود باعث کاهش کارآیی تحلیل زمان پاسخ می‌شود، در حالی‌که بازهٔ تحریک در این تحقیق دو ثانیه بوده است.

همچنین بر روی این موضوع که آیا با مشارکت تحلیل زمان پاسخ با تحلیل پتانسیل‌های مغزی می‌توان نتایج تشخیص را بهبود داد، نتایج فرضیهٔ بهبود کارآیی با استفاده از تحلیل چندمد را تأیید کرد، به‌طوری‌که روش چندمد بهبود صحّتی نزدیک به ۷٪ با حالت تک‌مد داشت. با توجّه به جداول ۲، ۳ و ۴ بهترین صحّت و بهترین سطح زیرمنحنی مربوط به روش چندمد BART-BAD بود که با معیار آزمون مک‌نمار هم دارای سطح معنی‌داری در مقایسه با روش LDA بود.

هیستوگرام تجمّعی مربوط به روش BART-BAD در شکل (۸) دارای الگویی شبیه به توزیع نتایج در مطالعات قبل بود [۱۸] که این شباهت الگوی توزیع در حین بهبود تشخیص، به‌عنوان معیاری برای درستی روش پیشنهادی است. از رویکرد دیگر، از آن‌جاکه این روش از دو منبع در تشخیص دانش فرد خطاکار استفاده می‌کند، بنابرین از قدرت بیشتری برای جلوگیری از مقابلهٔ فرد با آزمون کسب دانش فرد خطاکار برخوردار است. تحلیل زمان پاسخ ابتدا می‌تواند به‌عنوان معیاری در تشخیص فرد مقابله‌گر و در درجهٔ دوم به‌عنوان تشخیص دانش مخفی شده، استفاده گردد.

۶- مراجع

[1]- Rosenfeld, J.P., Shue E. and Singer, E, 2007. Single versus multiple probe blocks of P300-based concealed information tests for self-referring versus incidentally obtained information. Biological Psychology 74, 396-404.

[2]- Ganis, G., Kosslyn, S.M., Stose, S., Thompson, W.L., Yurgelun-Todd, D.A., 2003. Neural correlates of different types of deception: an fMRI investigation. Cerebral Cortex 13, 830–836.

[3]- Kozel, F.A., Padgett, T.M., George, M.S., 2004a. A replication study of the neural correlates of deception. Behavioral Neuroscience 118, 852–856.

[4]- Kozel, F.A., Revell, L.J., Lorberbaum, J.P., Shastri, A., Elhai, J.D., Horner, M.D., Smith, A., Nahas, Z., Bohning, D.E., George, M.S., 2004b. A pilot study of functional magnetic resonance imaging brain correlates of deception in healthy young men. The Journal of Neuropsychiatry and Clinical Neurosciences 16, 295–305.

[5]- Langleben, D.D., Loughead, J.W., Bilker, W.B., Ruparel, K., Childress, A.R., Busch, S.I., Gur, R.C., 2005. Telling truth from lie in individual subjects with fast event-related fMRI. Human Brain Mapping 26, 262–272.

[6]- Lee, T.M.C., Liu, H.L., Tan, L.H., Chan, C.C.H., Mahankali, S., Feng, C.M., Hou, J., Fox, P.T., Gao, J.H., 2002. Lie detection by functional magnetic resonance imaging. Human Brain Mapping 15 (3), 157–164.

[7]- National Research Council, 2002. The Polygraph and Lie Detection. National Academies Press, Washington, D.C.

[8]- Nunez, J.M., Casey, B.J., Egner, T., Hare, T., Hirsch, J., 2005. Intentional false responding shares neural substrates with response conflict and cognitive control. Neuroimage 25, 267–277.

[9]- Phan, K.L., Magalhaes, A., Ziemlewicz, T.J., Fitzgerald, D.A., Green, C., Smith, W., 2005. Neural correlates of telling lies: a functional magnetic resonance imaging study at 4 Tesla. Academic Radiology 12, 164–172.

[10]- Farwell, L.A., Donchin, E., 1991. The truth will out: interrogative polygraphy (lie detection) with event-related potentials. Psychophysiology 28, 531–547.

[11]- Rosenfeld, J.P., 2002. Event-related potentials in the detection of deception, malingering, and false memories. In: Kleiner, M. (Ed.), Handbook of Polygraph Testing. Academic Press, N.Y., pp. 265–286.

[12]- Gronau, N., Shakhar, G. B. and Cohen, A, 2005. Behavioral and physiological measures in the detection of concealed information, Journal of Applied Psychology 90(1), 147-158.

[13]- Verschuere, B., Crombez, G., Koster, E. H. W., 2005, Behavioral responding to concealed information: examining the role of relevance orienting. Psychologica Belgica, 45, 207-216.

[14]- Verschuere, B., Crombez, G., Koster, E. H. W., & Declercq, A. 2004. Autonomic and behavioral responding to concealed information: Differentiating orienting and defensive responses. Psychophysiology, 41, 261-266.

[15]- Seymour T. L., Colleen M., Seifert M. G., Shafto A. and Mosmann. L, 2000. Using Response Time Measures to Assess "Guilty Knowledge. Journal of Applied Psychology 85 (1), 30-37.

[16]- Rosenfeld, J.P., Soskins, M., Bosh, G., Ryan, A., 2004. Simple effective countermeasures to P300-based tests of detection of concealed information. Psychophysiology 41 (2), 205-219.

[17]- Meijer E.H., Smulders F.T.Y., Merckelbach H.L.G.J. 2008 Combining P300 and SCR in the detection of concealed information, Symposium / International Journal of Psychophysiology 69, 139–205.

[18]- Abootalebi, V., Moradi, M. H., Khalilzadeh, M. A. 2006. A comparison of methods for ERP assessment in a P300-based GKT. International Journal of Psychophysiology 62, 309-320.

[19]- Abootalebi, V. 2006. Analysis of Cognitive Components of Brain Potentials and it's Application in Lie Detection. PhD Thesis in biomedical .engineering, Amirkabir University of Technology.

[20]- Wei, L., Yang, Y R., Nishikawa R. M. and Jiang, Y, 2005. A Study on Several Machine-Learning Methods for Classification of Malignant and Benign Clustered Micro calcifications, IEEE Transactions On Medical Imaging 24 (3), 371-380.

[21]- Sykacek, P., Roberts, S., Stokes, M., Curran, E., Gibbs, M. and Pickup L, 2003. Probabilistic methods in BCI research. IEEE Transactions On Neural Systems And Rehabilitation Engineering 11 (2). 192-195.

[22]- Seymour T. L., Kerlin J. R. 2007 Successful detection of verbal and visual concealed knowledge using an RT-based paradigm Applied Cognitive Psychology, ی(4), 475 – 490.

[23]- Mohammadian. A., Abootalebi. V., Moradi. M. H., Khalilzadeh. M. A. Multimodal Detection of Deception Using fusion of Reaction Time and P300 component, Cairo International Biomedical Engineering Conference 2008.

امین محمدیان در مقطع کارشناسی مهندسی پزشکی در سال۱۳۸۱ از دانشگاه صنعتی امیرکبیر فارغ التحصیل شده و کارشناسی ارشد خود را در گرایش بیوالکتریک بخش مهندسی برق دانشگاه تربیت مدرس تهران در سال ۱۳۸۴ به اتمام رسانده است. وی هم اکنون دانشجوی دکتری مهندسی پزشکی در دانشگاه صنعتی امیرکبیر و مدیر گروه پژوهشی پردازش علائم حیاتی در پژوهشکده پردازش هوشمند علائم می باشد. زمینه‌های کاری او: پردازش پتانسیل‌های الکتریکی زیستی، پردازش اطلاعات فرازبانی گفتار و پردازش تصاویر حرارتی به‌منظور تشخیص حالات هیجانی است.

نشانی (رایانامک) پست الکترونیکی ایشان عبارت است از: **mohammadian@rcisp.ac.ir**

وحید ابوطالبی مدرک کارشناسی خود را در رشتهٔ مهندسی برق- الکترونیک در سال ۱۳۷۵ از دانشگاه صنعتی شریف و مدرک کارشناسی ارشد در رشتهٔ مهندسی برق- مهندسی پزشکی را در سال ۱۳۷۸ از همان دانشگاه اخذ نمود. وی در سال ۱۳۸۵ دکترای خود را در رشتهٔ مهندسی پزشکی- بیوالکتریک از دانشگاه صنعتی امیرکبیر دریافت نمود و هم‌اکنون عضو هیأت علمی دانشکدهٔ مهندسی برق دانشگاه یزد می‌باشد. زمینه‌های تحقیقاتی مورد علاقهٔ وی پردازش سیگنال‌های حیاتی، تجزیه و تحلیل سیگنال‌های مغزی و بررسی فعالیت‌های شناختی می‌باشد.

نشانی (رایانامک) پست الکترونیکی ایشان عبارت است از: **abootalebi@yazduni.ac.i**

محمد حسن مرادی کارشناسی خود را در مهندسی برق – الکترونیک در سال ۱۳۶۷ از دانشکده فنی دانشگاه تهران و کارشناسی ارشد مهندسی برق – الکترونیک در سال ۱۳۶۹ از همان دانشگاه اخذ نمود. وی در سال ۱۳۷۴ دکترای خود را در رشتهٔ مهندسی برق – مهندسی پزشکی از دانشگاه تربیت مدرس دریافت نمود و از آن زمان تاکنون عضو هیأت علمی دانشکدهٔ مهندسی پزشکی دانشگاه صنعتی امیرکبیر می باشد. تاکنون پنجاه مقاله در مجلات علمی پژوهشی داخل و خارج از کشور و بیش از صد و پنجاه مقاله در کنفرانس‌های معتبر و بین المللی داخل و خارج از کشور منتشر نموده است. کتاب "آنالیز سیگنال مشتمل بر فیلتر بانک‌ها، تبدیل ویولت و بازنمایی زمان- فرکانس" توسط وی در سال ۱۳۸۰ ترجمه شده است. نامبرده ده‌ها پروژهٔ کارشناسی ارشد ودکترا را سرپرستی نموده و در چند طرح تحقیقاتی مشارکت داشته است. پروژهٔ کارشناسی ارشد "طراحی و ساخت دستگاه انتقال تلفنی سیگنال های قلبی" به سرپرستی ایشان برندهٔ جایزه سوم جشنوارهٔ جوان خوارزمی در سال ۱۳۸۰ و ثبت شده به‌عنوان یک اختراع در داخل کشور می باشد. زمینه‌های تحقیقاتی مورد علاقهٔ وی اندازه‌گیری، ثبت، پردازش و تحلیل سیگنال‌های حیاتی و تصاویر پزشکی، کاربرد سیستم‌های فازی و فازی عصبی در پردازش و به کارگیری تبدیل ویولت، مالتی ویولت و تبدیلات زمان- فرکانس، طیف‌های مرتبه بالا، شبکه‌های ویولت و ویونت است. وی هم اکنون دانشیار مهندسی پزشکی دانشگاه صنعتی امیرکبیر می باشد.

نشانی (رایانامک) پست الکترونیکی ایشان عبارت است از: **mhmoradi@aut.ac.ir**

محمدعلی خلیل‌زاده درجهٔ کارشناسی مهندسی برق - الکترونیک در سال ۱۳۶۹ از دانشگاه صنعتی شریف و کارشناسی ارشد مهندسی برق- مهندسی پزشکی در سال ۱۳۷۲ از همان دانشگاه دست یافت. ایشان در سال ۱۳۷۸ به درجهٔ دکتری تخصصی مهندسی برق - مهندسی پزشکی در دانشگاه تربیت مدرس رسید. وی دارای سابقهٔ فعالیت و تدریس در گروه مهندسی پزشکی دانشگاه شاهد، دانشکده مهندسی پزشکی دانشگاه صنعتی امیرکبیر و دانشکده مهندسی پزشکی واحد علوم و تحقیقات دانشگاه آزاد اسلامی در دوره‌های کارشناسی و تحصیلات تکمیلی می‌باشد. ایشان دارای سوابق فعالیت‌های پژوهشی در جهاد دانشگاهی صنعتی شریف و پژوهشکده پردازش هوشمند علائم بوده و هم اکنون در زمینهٔ اندازه‌گیری، پردازش و تحلیل سیگنال‌های حیاتی به‌ویژه سیگنال‌های مغزی، مدل‌سازی سیستم‌های حیاتی، تحلیل فرآیندهای درکی و سایکوفیزیولوژیکی در انسان فعالیت دارد. وی هم اکنون مدیر گروه مهندسی پزشکی دانشگاه آزاد اسلامی مشهد است.

نشانی (رایانامک) پست الکترونیکی ایشان عبارت است از: **makhalilzadeh@mshdiau.ac.ir**