به نام یگانه هستی بخش مهربان

تقدیم به

پدر و مادر عزیز و مهربانم

دو فرشته فداکار، دو تکیه گاه استوار و دو همراه بردبار در تمام مراحل زندگی ام.

کلیه حقوق مادی و معنوی مترتب بر نتایج مطالعات، ابتکارات و نوآوری‌های ناشی از تحقیق موضوع این پایان‌نامه متعلق به دانشگاه یزد است و هرگونه استفاده از نتایج علمی و عملی از این پایان‌نامه برای تولید دانش فنی، ثبت اختراع، ثبت اثر بدیع هنری، همچنین چاپ و تکثیر، نسخه برداری، ترجمه و اقتباس و ارائه مقاله در سمینارها و مجلات علمی از این پایان‌نامه منوط به موافقت کتبی دانشگاه یزد است.

خداوند بزرگ و مهربان را سپاس می گویم

آن زیبا خالق هستی بخش که لحظات ناب زندگی را با تمام نعمت هایش به من هدیه کرد.

شایسته میدانم در این فرصت مراتب تشکر را از استاد راهنمای بزرگوارم جناب آقای دکتر وحید ابوطالبی به جای آورم که زحمات و مساعدت های بی دریغ ایشان با صبر و حوصله همواره یاریگر من در این پایان نامه بوده است.

همچنین از استاد مشاور ارجمندم جناب آقای دکتر علی اکبر تدین تفت به خاطر راهنمایی ها و نظرات ارزشمندشان در به انجام رساندن این پایان نامه کمال تشکر را دارم.

دانشگاه یزد

دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

گروه مخابرات

پایان نامه

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

برق-مخابرات

استفاده از روش‌های مبتنی بر پردازش آماری سیگنال در آشکارسازی مؤلفه P300 سیگنال مغزی

استاد راهنما: **دکتر وحید ابوطالبی**

استاد مشاور: **دکتر علی‌اکبر تدین تفت**

پژوهش و نگارش: **رکسانا نمیرانیان**

شهریور ۱۳۹۲

چکیده:

جنبه‌های شناختی فعالیت مغز، یکی از جذاب‌ترین زمینه‌های تحقیقاتی در بسیاری از علوم مرتبط با مغز است. از جمله موارد پرکاربرد برای تحقیق دربارهٔ فعالیت‌های شناختی مغز، بررسی بروز مؤلفه مغزی P300 است، که کاربردهایی از قبیل طراحی واسط مغز-کامپیوتر و دروغ‌سنجی مغزی دارد. در این تحقیق، راهکارهایی به‌منظور افزایش درصد صحت تشخیص P300 معرفی شده‌است. کارایی روش‌های پیشنهاد شده، در دو حیطه آشکارسازی P300 و دروغ‌سنجی مورد بررسی قرار گرفته است. برای بهبود کیفیت سیگنال و معرفی ویژگی‌های جدید، الگوریتم‌های فیلتر کالمن، فیلتر اطلاعات و هموارساز فاصله ثابت را پیشنهاد کرده‌ایم. استفاده از این سه الگوریتم درصد صحت تشخیص P300 و دروغ‌گویی را بهبود بخشید. همچنین به بررسی عملکرد چند مدل آماری (مانند مدل گوسی، مدل ترکیب گوسی‌ها و مدل اثرهای آمیخته) برای توصیف P300 و آشکارساز GLRT برای آشکارسازی سیگنال P300 پرداخته‌ایم. در تشخیص سیگنال P300، از بین فیلتر اطلاعات و هموارساز مورد استفاده، با توجه به نتایج تقریباً مشابه وپیچیدگی کمتر فیلتر اطلاعات، استفاده از فیلتر اطلاعات پیشنهاد می‌شود. درصد صحت تشخیص P300 از سیگنال‌های فیلتر شده با فیلتر اطلاعات برای سیگنال‌های P300دار ۹۳.۱ درصد و برای سیگنال‌های فاقد P300، ۹۳.۷ درصد به دست آمد. در تشخیص دروغ‌گویی، درصد صحت ۷۹.۷ برای افراد گناهکار و ۸۰.۴ برای افراد بی‌گناه را با استفاده از مدل MEM برای مدل کردن سیگنال فیلتر شده توسط فیلتر کالمن، و آشکارساز GLRT بدست آوردیم. در مجموع، با توجه به نتایج به دست آمده به نظر می رسد، عملکرد روش‌های مبتنی بر طبقه‌بندی‌کننده در شرایطی که اطلاعات کافی از مسئله در اختیار است مناسب‌تر است، اما زمانی که اطلاعات کافی برای تصمیم‌گیری در دست نباشد، روش‌های مبتنی بر آشکارسازی عملکرد بهتری از خود نشان می‌دهند.

کلمات کلیدی: آشکارسازی P300، پردازش آماری سیگنال، تئوری آشکارسازی، فیلتر کالمن، مدل کردن P300، مدل اثرهای آمیخته، مدل ترکیب گوسی.

فهرست مطالب

فصل اول: مقدمه

۱-۱- بیان مسئله ۲

۱-۲- ساختار پایان‌نامه..... ۴

فصل دوم: معرفی مؤلفه P300 و کاربردهای آن

۲-۱- سیگنال‌های الکتریکی مغز ۸

۲-۲- تعریف و مشخصات مؤلفه P300..... ۱۰

۲-۳- عوامل مؤثر بر دامنه وتأخیر P300 ..... ۱۲

۲-۴- الگوی Oddball برای استخراج P300..... ۱۳

۲-۵- کاربردهای P300..... ۱۳

۲-۶- دروغ‌سنجی مبتنی بر مؤلفه P300 ..... ۱۵

۲-۷- خلاصه فصل ۱۶

فصل سوم: روش‌های تشخیص P300

۳-۱- پیش‌پردازش‌های مطرح در تشخیص P300..... ۲۰

۳-۲- روش‌های شناسایی الگو مطرح در تشخیص P300..... ۲۲

۳-۲-۱- استخراج ویژگی ۲۲

۳-۲-۱-۱- ویژگی‌های شکلی-زمانی..... ۲۳

۳-۲-۱-۲- ویژگی‌های فرکانسی ۲۴

۳-۲-۱-۳- ویژگی‌های زمان- فرکانسی ۲۵

۳-۲-۲- طبقه‌بندی‌کننده‌ها..... ۲۶

۳-۲-۲-۱- طبقه‌بندی‌کننده خطی ۲۶

۳-۲-۲-۲- طبقه بندی‌کننده ماشین بردار پشتیبان(SVM)..... ۲۷

۳-۲-۲-۳- طبقه‌بندی‌کننده با استفاده از استراتژی یادگیری مدولار ۲۸

۳-۳-روش‌های آشکارسازی مطرح در تشخیص P300 ..... ۳۰
۳-۳-۱- آشکارساز ۳۱
۳-۳-۱-۱- برخی از تعاریف و مفاهیم اولیه ۳۱
۳-۳-۱-۲- آزمون نسبت شبیه‌نمایی (LRT) ۳۳
۳-۳-۱-۳- آزمون نسبت شبیه‌نمایی تعمیم‌یافته (GLRT) ۳۳
۳-۳-۱-۴- فیلترهای مبتنی بر شاهد ۳۴
۳-۳-۲- مدل‌های آماری موجود برای P300 و سیگنال‌های مغزی ۳۵
۳-۳-۲-۱- مدل مرتبه‌ای ۳۶
۳-۳-۲-۲- مدل مخفی مارکوف ۳۶
۳-۴- خلاصه فصل ۳۹

فصل چهارم: استفاده از فیلتر کالمن و مدل‌های آماری برای تشخیص P300

۴-۱- فیلتر کالمن ۴۲
۴-۱-۱- معرفی فیلتر کالمن ۴۲
۴-۱-۲- روابط فیلتر کالمن ۴۳
۴-۱-۳- فیلتر اطلاعات ۴۶
۴-۱-۴- هموارسازی ۴۸
۴-۱-۵- سابقهٔ استفاده از الگوریتم‌های فیلتر کالمن برای پردازش سیگنال‌های مغزی ۴۹
۴-۲- مدل‌های استفاده شده برای توزیع سیگنال P300 ..... ۵۲
۴-۲-۱- مدل چند سطحی ۵۲
۴-۲-۱-۱- ضرایب ثابت و ضرایب تصادفی در مدل چندسطحی ۵۳
۴-۲-۱-۲-مدل MEM خطی ۵۵
۴-۲-۲- تخمین تابع توزیع احتمال ۵۸
۴-۳-خلاصه فصل ۶۰

فصل پنجم: پیاده‌سازی‌ها و نتایج

۵-۱- مشخصات داده ثبت شده..... ۶۲

۵-۲- پیش‌پردازش ۶۴

۵-۳- نتایج تشخیص سیگنال P300..... ۶۴

۵-۳-۱- نتایج استفاده از الگوریتم‌های فیلتر کالمن برای بهبود سیگنال..... ۶۵

۵-۳-۲- نتایج استفاده از الگوریتم‌های فیلتر کالمن برای استخراج ویژگی..... ۷۲

۵-۳-۳- نتایج استفاده از مدل‌های تولیدی برای بیان تابع چگالی احتمال سیگنال ۷۳

۵-۳-۳-۱- توزیع گوسی ۷۴

۵-۳-۳-۲- توزیع ترکیب گوسی..... ۷۶

۵-۳-۳-۳- مدل MEM ۷۷

۵-۴- نتایج دروغ سنجی مبتنی بر سیگنال P300 ..... ۸۰

۵-۴-۱- نتایج استفاده از الگوریتم‌های فیلتر کالمن در دروغ‌سنجی ۸۴

۵-۴-۲- استفاده از مدل‌های تولیدی و آشکارساز ۸۶

۵-۵- خلاصه فصل ۸۸

فصل ششم: جمع‌بندی و نتایج

۶-۱- تحلیل نتایج بدست آمده ۹۰

۶-۱-۱- تحلیل نتایج روش‌های بهبود سیگنال ۹۰

۶-۱-۲- بررسی ویژگی‌ها..... ۹۲

۶-۱-۳- تحلیل نتایج روش‌های آشکارسازی و بررسی مدل‌ها ۹۳

۶-۱-۴- تحلیل نتایج دروغ‌سنجی مغزی مبتنی بر P300..... ۹۴

۶-۲- پیشنهادات..... ۹۶

منابع و مراجع ۹۹

فهرست اشکال

شکل ۲-۱) استاندارد الکترودگذاری ۲۰-۱۰ ..... ۱۲

شکل ۳-۱) عملکرد طبقه‌بندی‌کننده SVM در انتخاب مرز بین کلاس‌ها ۲۷

شکل ۳-۲) بلوک دیاگرام سیستم یادگیری مدولار دو کاناله ۲۹

شکل ۳-۳) مدل مخفی مارکف ۳۷

شکل ۴-۱) سیستم خطی با ابعاد محدود بعنوان مدل برای سیگنال ۴۳

شکل ۴-۲) دیاگرام مدل گوس-مارکف، نمایانگر استقلال حالت ها ۴۵

شکل ۴-۳) توالی مراحل پیشگویی و فیلترینگ در فیلتر کالمن.....۴۶

شکل ۴-۴) عملکرد مدل چندسطحی برای دادگان چند لایه ۵۳

شکل ۴-۵) نمونه‌ای از یک مدل دوسطحی ۵۳

شکل ۴-۶) تاثیرات ثابت و تاثیرات تصادفی در مدل چندسطحی ۵۵

شکل ۴-۷) عملکرد تابع توزیع چگالی ترکیب گوسی‌ها..... ۵۹

شکل ۵-۱) گوسی‌های شیفت یافته برای مدل کردن سیگنال P300.....۶۵

شکل ۵-۲) سیگنال مغزی مربوط به بازهٔ قبل و بعد از اعمال تحریک ۶۶

شکل ۵-۳) تخمین سیگنال P300 با استفاده از چهار مقدار متفاوت برای واریانس نویز سیستم ۶۷

شکل ۵-۴) نتیجه اعمال فیلتر کالمن روی دو نمونه سیگنال مغزی حاوی P300 .....۶۸

شکل ۵-۵) مقایسه عملکرد فیلتر کالمن و فیلتر پایین‌گذر برای تخمین سیگنال حاوی P300 .....۶۸

شکل ۵-۶) نتیجه اعمال فیلتر اطلاعات و فیلتر کالمن بر سیگنال حاوی P300 .....۶۹

شکل ۵-۷) نتیجه اعمال هموارساز فاصله ثابت، فیلتر کالمن و فیلتر اطلاعات بر سیگنال P300... ۷۰

شکل ۵-۸) نتیجه اعمال فیلتر کالمن، فیلتر اطلاعات، هموارساز و فیلتر پایین گذر روی سیگنال مغزی حاوی P300 ..... ۷۰

شکل ۵-۹) نمودار ROC برای تشخیص P300 با استفاده از آشکارساز LR و در نظر گرفتن توزیع گوسی برای سیگنال ۷۴

شکل ۵-۱۰) نمودار ROC مربوط به تشخیص P300 با استفاده از آشکارساز LR و مدل گوسی برای مدل کردن ویژگی‌های استخراج شده از سیگنال ۷۵
شکل ۵-۱۱) نمودار ROC مربوط به تشخیص P300 با استفاده از آشکارساز LR و مدل گوسی برای مدل کردن ویژگی‌های استخراج شده از سیگنال و ضرایب گوسی ۷۵
شکل ۵-۱۲) نمودار ROC برای تشخیص P300 با استفاده از آشکارساز LR و در نظر گرفتن توزیع ترکیب گوسی ۷۶
شکل ۵-۱۳) نمودار ROC مربوط به تشخیص P300 با استفاده از آشکارساز LR و مدل ترکیب گوسی برای مدل کردن ویژگی‌های استخراج شده از سیگنال و ضرایب گوسی..... ۷۷
شکل ۵-۱۴) نمودار ROC برای تشخیص P300 با استفاده از آشکارساز GLR و در نظر گرفتن مدل MEM برای سیگنال ۷۸
شکل ۵-۱۵) نمودار ROC مربوط به تشخیص P300 با استفاده از آشکارساز GLR و مدل MEM برای مدل کردن ویژگی‌های استخراج شده از سیگنال و ضرایب گوسی ۷۸
شکل ۵-۱۶) مقایسه عملکرد آشکارساز GLR و سه مدل برای مدل کردن سیگنال ۷۹
شکل ۵-۱۷) مقایسه عملکرد سه مدل برای مدل کردن ضرایب گوسی و ویژگی‌های فرکانسی، زمان-فرکانسی و آنتروپی ۷۹
شکل ۵-۱۸) متوسط تک‌ثبت‌های مربوط به سه دسته سؤال هدف، پروب و غیرمرتبط در کل سوژه‌های گناهکار ۸۰
شکل ۵-۱۹) متوسط تک‌ثبت‌های مربوط به سه دسته سؤال هدف، پروب و غیرمرتبط در کل سوژه‌های بی‌گناه ۸۱
شکل ۵-۲۰) نمودار مقادیر ND با استفاده از ویژگی‌های شکلی-زمانی از سیگنال فیلتر شده با فیلتر پایین‌گذر و طبقه بندی‌کننده SVM برای تمام سوژه‌های مورد بررسی ۸۳
شکل ۵-۲۱) نمودار درصد دقت برای تشخیص گروه بی‌گناه و گناهکار براساس تعداد سوالات بعنوان آستانه ۸۳

شکل ۵-۲۲) اعمال فیلتر اطلاعات روی تک‌ثبت‌های مربوط به سه دسته سؤال هدف، پروب و غیرمرتبط برای سوژه بی‌گناه. ۸۴
شکل ۵-۲۳) اعمال فیلتر اطلاعات روی تک‌ثبت‌های مربوط به سه دسته سؤال هدف، پروب و غیرمرتبط سوژه گناهکار. ۸۵
شکل ۵-۲۴) استفاده از آشکارساز GLR، و مدل MEM برای مدل کردن سیگنال ۸۸

فهرست جداول

جدول ۵-۱) درصد صحت تشخیص اعمال طبقه‌بندی‌کننده SVM روی ویژگی‌های استخراج شده از سیگنال فیلتر شده با فیلتر کالمن..... ۷۱

جدول ۵-۲) درصد صحت تشخیص P300 روی سیگنال‌های فیلتر شده توسط فیلترهای ۷۲

جدول ۵-۳) درصد صحت تشخیص P300 با استفاده ضرایب گوسی‌ها..... ۷۳

جدول ۵-۴) درصد صحت دروغ‌سنجی با استفاده از ویژگی‌ها و طبقه‌بندی‌کننده SVM..... ۸۵

جدول ۵-۵) درصد صحت دروغ‌سنجی با استفاده از ضرایب گوسی و طبقه‌بندی‌کننده SVM ۸۶

جدول ۵-۶) درصد صحت دروغ‌سنجی با استفاده از مدل گوسی و آشکارساز نسبت شبیه‌نمایی ... ۸۶

جدول ۵-۷) درصد صحت دروغ‌سنجی با استفاده از مدل ترکیب گوسی و آشکارساز GLRT ۸۷

جدول ۵-۸) درصد صحت دروغ‌سنجی با استفاده از مدل MEM و آشکارساز LRT..... ۸۷

فهرست اختصارات

ANOVA: Analysis of Variance

AR: Auto Regressive

ARMA: Auto Regressive Moving Average

BCD: Bootstrapped Correlation Difference

BCI: Brain Computer Interface

EEG: Electroencephalogram

EM: Expectation Maximization

EOG: Electrooculogram

EP: Evoked Potential

ERP: Event Related Potential

EVT: Extreme Value Theory

GKT: Guilty Knowledge Test

GLRT: Generalized Likelihood Ratio Test

GMM: Guassian Mixture Model

GSVM: Gaussian Support Vector Machine

HMM: Hidden Markov Model

ICA: Independent Component Analysis

iid: Independent and Identically Distributed

KNN: K Nearest Neighbor

LDA: Linear Discriminant Analysis

LMEM: Linear Mixed Effect Model

LRT: Likelihood Ratio Test

MEM: Mixed Effect Model

ML: Maximum Likelihood

MLP: Multi-Layer Perceptron

PCA: Principal Component Analysis

PDF: Probability Density Function

ROC: Receiver Operating Characteristic

SVM: Support Vector Machine

فصل اول:

مقدمه

۱-۱- بیان مسئله

جنبه‌های شناختی فعالیت مغز، همواره از جذاب‌ترین زمینه‌های مطالعاتی در بسیاری از شاخه‌های علوم مرتبط با مغز بوده و تحقیقات زیادی برای تشخیص نحوه عملکرد مغز انسان انجام شده است. در بین روش‌های مختلفی که برای اطلاع از نحوه عملکرد سیستم عصبی و مغز تاکنون انجام گرفته‌اند،ثبت سیگنال‌های الکتریکی مغز ـ یعنی سیگنال الکتروانسفالوگرام (EEG[1]) و پتانسیل وابسته به رخداد (ERP[2]) ـ بدلیل غیر تهاجمی بودن، در دسترس بودن و دقت تفکیک زمانی مناسب، مورد توجه خاصی قرار دارند [۱]. ERPها در بررسی فعالیت شناختی و عملکرد سیستم اعصاب مرکزی در پاسخ به تحریکات اعمال شده بر سیستم حسی، کاربرد ویژه‌ای دارند. مؤلفه‌های مختلف تشکیل دهنده ERP هریک معنا و مفهومی را در مورد ویژگی فیزیکی رخداد یا وضعیت روانی و ذهنی فرد بطور خاص یا در رابطه با رخداد دارد. هنگامی که یک سری از تحریک‌های معمول (غیرهدف) و غیرمعمول (هدف) به یک فرد اعمال می‌شود، در پاسخ به همه تحریک‌ها (غیرهدف و هدف) مولفه‌های N200, P200, N100 در سیگنال مغزی وی ظاهر می‌گردد؛ ولی در مورد تحریک هدف، مؤلفهٔ اضافه‌ای به نام P300 نیز تولید می‌شود [۲]. از این رو مولفه P300 در تشخیص و بررسی فعالیت‌های شناختی فرد مؤلفهٔ بسیار مهم و پرکاربردی است.

مشکل مهم در پردازش ERPها، نسبت سیگنال به نویز پایین سیگنال‌های ثبت شده از سطح سر می‌باشد. علاوه بر عللی مانند نویز محیطی در هنگام ثبت سیگنال، آرتیفکت[3]های مختلفی مانند سیگنال قلب و سیگنال الکتریکی چشم، سیگنال EEG زمینه نیز باعث SNR پایین ERPهای ثبت شده، می‌شود. سیگنال EEG در هنگام ثبت، غیرقابل حذف یا حتی کاهش است. همچنین این سیگنال‌ها دارای دامنه‌ای بزرگتر نسبت به ERPها هستند و از نظر فرکانسی و زمانی با آنها همپوشانی دارند. از دیگر مسائل مطرح در استخراج و تشخیص ERPها بخصوص مؤلفهٔ

[1] Electroencephalogram
[2] Event Related Potential
[3] Artifact

P300، پارامترهای متغیر این سیگنال‌ها است. تغییرات این پارامترها خود به عوامل مختلفی بستگی دارند [۲].

تاکنون بررسی و تلاش‌های بسیاری به منظور بهبود نسبت سیگنال به نویز، برای استخراج و تشخیص ERPها بویژه P300، انجام گرفته است. اکثر بررسی‌های انجام گرفته برای تشخیص P300، با استفاده از روش‌های مطرح در حوزه شناسایی الگو و یادگیری ماشین[۱] بوده است. در این دسته روش‌ها، سیگنال‌های حاوی P300 در یک گروه و سیگنال‌های فاقد آن در گروه مشخص دیگری، قرار می‌گیرند. سپس با در نظر گرفتن دو گروه مجزا، ویژگی‌ها و طبقه‌بندی‌کننده‌هایی مناسب برای تفکیک این دو گروه، طراحی و اعمال می‌شوند.

آنچه در تشخیص P300، با توجه به وجود سیگنال زمینه‌ای EEG مطرح است، تشخیص وجود سیگنال P300 و عدم وجود آن است. از این دیدگاه، هنگامی که سیگنال P300 وجود ندارد، سیگنال EEG با رفتاری تصادفی و وابسته به شرایط فرد وجود دارد. سیگنال زمینه‌ای EEG، لزوماً دارای ویژگی‌های تشکیل دهنده یک گروه خاص در مقابل سیگنال EEG همراه با P300 (گروه هدف) نیست. با این دیدگاه و با در نظر گرفتن روش‌های مبتنی بر پردازش‌های آماری، هدف اصلی از انجام این پروژه، **استفاده از روش‌های مبتنی بر پردازش آماری سیگنال در آشکارسازی مؤلفه P300 سیگنال مغزی،** می‌باشد. این روش‌ها مبتنی بر توزیع آماری سیگنال در حوزه زمان و فرکانس هستند [۳].

یکی از روش‌های مبتنی بر توزیع آماری سیگنال ، استفاده از روش آشکارسازی بهینه موسوم به LRT[۲] است. در این روش، از نسبت تابع چگالی احتمال در دو حالت وجود و عدم وجود سیگنال هدف استفاده و برای آشکارسازی سیگنال، این نسبت با یک مقدار آستانه مقایسه می‌شود. برای حالتی که پارامترهایی از تابع چگالی احتمال تحت دو فرض وجود و عدم وجود سیگنال هدف (سیگنال P300) مجهول است، تست بهینه UMP[۳] را می‌توان اجرا کرد. در صورت عدم تحقق این

[1] Machine Learning
[2] Likelihood Ratio Test
[3] Uniformaly Most Powerful

تست، تست‌های زیربهینه ای مانند GLRT[1] و تست رائو و... مطرح می‌شود. دربعضی از این تست‌ها مانند GLRT لازم است پارامترهای مجهول توسط روش‌هایی مانند ML[2] تخمین زده شوند [۴]. در خصوص کارهای آماری، یکی از موضوعات مهم، تخمین تابع توزیع سیگنال است. برای تخمین تابع توزیع سیگنال P300 و مدل کردن آن نیز روش‌های مختلفی ارائه شده است [۵ و ۶].

در این پروژه به بررسی استفاده از مدل آماری مناسب برای سیگنال P300 و آشکارسازهای مبتنی بر نسبت شبیه‌نمایی، برای آشکارسازی این مؤلفه می‌پردازیم.

این پروژه همچنین به موضوع بهبود کیفیت سیگنال با توجه به تغییرات مؤلفه P300، پیش از پردازش اصلی برای آشکارسازی این مؤلفه، می‌پردازد. بدین منظور از فیلتر بهینه کالمن برای تخمین سیگنال استفاده می‌کنیم. فیلتر کردن در این روش با فرم بازگشتی انجام می‌شود و مدل سیگنال را با استفاده ازنمونه‌های سیگنال و با درنظر گرفتن حالت سیستم بیان می‌کند. فیلتر کالمن بدلیل توانایی این فیلتر در مدل کردن سیگنال‌های تصادفی غیرایستان برای سیگنال P300 قابل اعمال است [۷ و ۸].

به منظور ارزیابی روش های مطرح شده، علاوه بر محاسبه میزان کارایی آنها در تشخیص مولفه P300، میزان تاثیر آنها برروی درصد صحت به دست آمده از آزمون دروغ‌سنجی مغزی را نیز مورد بررسی قرار می دهیم.

۱-۲- ساختار پایان‌نامه

این پایان‌نامه در شش فصل تنظیم شده است که در آن سعی می‌گردد ضمن بیان پایه‌های تئوری مسئله و اشاره به کارهای انجام شده در این زمینه، تحقیقات انجام شده در طی این پروژه بطور مبسوط ارائه و شرح داده شود.

[1] Generalized Likelihood Ratio Test
[2] Maximum Likelihood