**دانشکده علوم ریاضی**

**گروه علوم کامپیوتر**

پایان‌نامه کارشناسی ارشد، رشته علوم کامپیوتر گرایش سیستم‌های هوشمند

**موضوع پایان‌نامه:**

# انتخاب ویژگی و کاهش ابعاد داده در واسط‌های مغز–رایانه با استفاده از یک الگوریتم تکاملی

**استاد راهنما:**

**دکتر شهریار لطفی**

**استاد مشاور:**

**دکتر محمدعلی نظری**

**پژوهشگر:**

**احمد سرابیان مقدم**

شهریور ۱۳۹۳

| |
|---|
| **نام خانوادگی دانشجو**: سرابیان مقدم **نام**: احمد |
| **عنوان پایان‌نامه:** انتخاب ویژگی و کاهش ابعاد داده در واسط‌های مغز-رایانه با استفاده از یک الگوریتم تکاملی |
| **استاد راهنما:** دکتر شهریار لطفی<br>**استاد مشاور:** دکتر محدعلی نظری |
| **مقطع تحصیلی:** کارشناسی ارشد **رشته:** علوم کامپیوتر **گرایش:** سیستم‌های هوشمند **دانشگاه:** تبریز<br>**دانشکده:** علوم ریاضی **تاریخ فارغ التحصیلی:** ۱۳۹۳/۶/۱۷ **تعداد صفحه:** ۹۶ |
| **واژه‌های کلیدی:** واسط مغز-رایانه، پردازش و طبقه‌بندی سیگنال، الکتروانسفالوگرام، کاهش ابعاد داده، انتخاب ویژگی، طبقه‌بندهای ترکیبی، الگوریتم تخمین توزیع، الگوریتم تجمع ذرات و انتخاب ویژگی برپایه کلاس |
| **چکیده:** واسط مغز-رایانه وسیله‌ای است که می‌تواند بدون کمک گرفتن از عضلات، بین مغز و دنیای خارج از آن ارتباط مستقیم برقرار کند. اساس کار یک مدل از این سامانه‌ها، تشخیص تصور حرکات مختلف فرد می‌باشد که می‌توان از آن برای کمک به بیمارانی که بخشی از توانایی‌های جسمی-حرکتی خود را از دست داده‌اند، استفاده کرد. واسط‌های مغز-رایانه از قسمت‌های مختلفی مانند ثبت سیگنال، پردازش سیگنال و واسط کاربری تشکیل شده‌اند و بخش پردازش سیگنال نیز به نوبه خود از چند قسمت مجزا از جمله حذف انواع نویزها، استخراج ویژگی، انتخاب ویژگی و طبقه‌بند تشکیل شده است. بعد از حذف انواع نویزها و اثرات جانبی موثر بر روی سیگنال، ویژگی‌های مورد نظر از این امواج به دست می‌آیند و طبقه‌بند از روی این بردار ویژگی مشخص می‌کند که کاربر چه فعالیتی را مد نظر دارد. یکی از چالش‌های اساسی در واسط مغز-رایانه، حجم بالای اطلاعات ورودی و زمان نسبتا زیاد پردازش این اطلاعات است که باعث می‌شود واکنش وسیله به دستور صادر شده از طرف کاربر فوری نبوده و با تاخیری هرچند اندک همراه باشد. به همین دلیل لازم است تا جایی که امکان دارد زیرمجموعه کوچک و مناسبی از ویژگی‌ها را انتخاب کرد تا دقت و سرعت سامانه بهبود یافته و کارآیی نهایی افزایش پیدا کند. |

در این پایان‌نامه با معرفی یک الگوریتم تکاملی جدید به نام ProbPSO که از ترکیب الگوریتم‌های تجمع ذرات و تخمین توزیع به دست آمده و استفاده از آن برای انتخاب ویژگی و همچنین استفاده از طبقه‌بندهای ترکیبی به جای یک طبقه‌بند منفرد، به مدلی رسیدیم که دقت آن نزدیک به بیست درصد بهتر از زمانی بود که از تمام ویژگی‌ها استفاده می‌کردیم. در مدل ارائه شده جدید که می‌توان آن را انتخاب ویژگی بر پایه کلاس نامید، از چهار طبقه‌بند مختلف که از هم مستقل هستند و می‌توانند به صورت موازی کار کنند برای تشخیص برچسب داده‌های چهار کلاسه استفاده کردیم و با اجرای این مدل پیشنهادی بر روی داده‌های مربوط به مسابقات واسط مغز-رایانه سال ۲۰۰۵ و مقایسه نتایج به دست آمده با الگوریتم‌های برتر، نشان دادیم روش پیشنهادی ما از قدرت خوبی برخوردار است و می‌تواند سیگنال‌ها را با دقت بهتری طبقه‌بندی کند.

# فهرست مطالب


**فصل ۱: مقدمه** ..... ۱

۱-۱ اصطلاحات ..... ۲

۱-۲ بیان مسئله ..... ۳

۱-۳ اهداف پایان‌نامه ..... ۴

۱-۴ نظریه ..... ۴

۱-۵ سازمان پایان‌نامه ..... ۵

**فصل ۲: مفاهیم پایه‌ای و راه‌کارهای پیشین** ..... ۷

۲-۱ مفاهیم پایه‌ای ..... ۸

۲-۱-۱ الکتروانسفالوگرام ..... ۸

۲-۱-۲ واسط مغز-رایانه ..... ۱۱

۲-۱-۳ شناسایی الگو در سیگنال مغزی ..... ۱۶

۲-۱-۴ الگوریتم تخمین توزیع ..... ۲۰

۲-۱-۵ الگوریتم تجمع ذرات ..... ۲۱

۲-۱-۶ انتخاب ویژگی و کاهش ابعاد داده ..... ۲۵

۲-۲ راه‌کارهای گذشته ..... ۲۸

۲-۲-۱ انتخاب ویژگی‌های ویژگی با کمک روش‌های فیلتر ..... ۲۸

۲-۲-۲ انتخاب ویژگی‌های ویژگی با کمک روش‌های لفافه‌ای ..... ۳۷

۲-۲-۳ کاهش ابعاد داده با استفاده از استخراج ویژگی ..... ۴۷

۲-۳ راه‌کارهای گذشته ..... ۵۰

**فصل ۳: راه‌کار پیشنهادی و نتایج عملی** ..... ۵۳

۳-۱ آماده‌سازی داده ..... ۵۴

۳-۱-۱ حذف نویز ..... ۵۵
۳-۱-۲ استخراج ویژگی ..... ۵۶
۳-۲ الگوریتم تکاملی پیشنهادی برای انتخاب ویژگی، ProbPSO ..... ۵۸
۳-۳ طبقه‌بندی ..... ۶۱
۳-۳-۱ طبقه‌بند منفرد ..... ۶۱
۳-۳-۲ طبقه‌بند ترکیبی ..... ۶۲
۳-۳-۳ مدل نهایی، انتخاب ویژگی برپایه کلاس با کمک ترکیب طبقه‌بندها ..... ۶۲
۳-۴ مقایسه و ارزیابی نتایج ..... ۶۶
۳-۴-۱ مقایسه بین الگوریتم ProbPSO و چند الگوریتم مشابه ..... ۶۷
۳-۴-۲ مقایسه بین نتایج حاصل از طبقه‌بند منفرد و طبقه‌بند ترکیبی ..... ۶۹
۳-۴-۳ مقایسه نتایج مدل نهایی با کارهای دیگران ..... ۷۰
۳-۴-۴ قابلیت اطمینان ..... ۷۲
۳-۴-۵ آزمون هم‌گرایی ..... ۷۲
۳-۴-۶ آزمون پایداری ..... ۷۶
۳-۵ خلاصه فصل ..... ۸۰
**فصل ۴: نتیجه‌گیری** ..... ۸۳
۴-۱ در اثبات نظریه ..... ۸۴
۴-۲ در تحقق اهداف پایان‌نامه ..... ۸۵
۴-۳ کارهای مرتبط، بحث و مقایسه ..... ۸۶
۴-۴ دستاوردهای پایان‌نامه ..... ۸۷
۴-۵ موضوعات پژوهشی آینده ..... ۸۸
**مراجع** ..... ۹۱

# فهرست جدول‌ها

جدول ۲-۱: مقایسه نتایج به دست آمده به کمک انتخاب ویژگی بیزی ..... ۲۷

جدول ۲-۱: مقایسه نتایج به دست آمده به کمک انتخاب ویژگی بیزی ..... ۳۲

جدول ۲-۲: نتایج به دست آمده برای الگوریتم Relief ..... ۳۶

جدول ۲-۳: مقایسه نتایج الگوریتم AGV با سه الگوریتم RFE، Relief و ژنتیک ..... ۴۹

جدول ۲-۴: مزایا و معایب روش‌های فیلتر و لفافه‌ای ..... ۵۱

جدول ۳-۱: نتایج به دست آمده بر روی سیگنال‌های k3b ..... ۶۸

جدول ۳-۲: نتایج به دست آمده بر روی سیگنال‌های k6b ..... ۶۸

جدول ۳-۳: نتایج به دست آمده بر روی سیگنال‌های l1b ..... ۶۹

جدول ۳-۴: مقایسه نتایج به دست آمده بر روی سیگنال‌های مغزی به کمک طبقه‌بند منفرد و ترکیبی ..... ۷۰

جدول ۳-۵: مقایسه روش پیشنهادی و چند روش برتر روی داده‌های مسابقات سال ۲۰۰۵ ..... ۷۱

جدول ۳-۶: نتایج آزمون مربوط به نرمال بودن نمونه‌ها در نرم‌افزار SPSS ..... ۷۹

جدول ۳-۷: نتایج به دست آمده از آزمون ویلکاکسون در نرم‌افزار SPSS ..... ۸۰

# فهرست شکل‌ها


شکل ۲-۱: فرکانس‌های مختلف امواج مغزی ..... ۹

شکل ۲-۲: نحوه قرار گرفتن الکترودها طبق استاندارد ۲۰-۱۰ ..... ۱۰

شکل ۲-۳: مراکز مربوط به کنترل اندام بدن در مغز ..... ۱۲

شکل ۲-۴: بخش‌های مختلف یک واسط مغز-رایانه ..... ۱۴

شکل ۲-۵: نوسانات ریتم‌های گاما، بتا و میو قبل و بعد از حرکت ..... ۱۶

شکل ۲-۶: نحوه عملکرد طبقه‌بند KNN ..... ۲۰

شکل ۲-۷: شبه کد الگوریتم تخمین توزیع ..... ۲۱

شکل ۲-۸: حرکت دسته‌جمعی پرندگان و ماهی‌ها الهام بخش الگوریتم PSO بوده است ..... ۲۱

شکل ۲-۹: نحوه عمل روش‌های فیلتر ..... ۲۷

شکل ۲-۱۰: نحوه عمل روش‌های لفافه‌ای ..... ۲۷

شکل ۲-۱۱: شبه کد الگوریتم Relief ..... ۳۶

شکل ۲-۱۲: مراحل پردازشی برای انتخاب ویژگی‌های مورد نظر در مقاله [۲۸] ..... ۳۹

شکل ۲-۱۳: مراحل مختلف ارائه شده برای انتخاب ویژگی جهت تشخیص بیماران اسکیزوفرنی ..... ۴۱

شکل ۲-۱۴: شبه کد الگوریتم جستجوی دو طرفه و شبه کد الگوریتم جستجوی به علاوه-L منهای-R . ۴۲

شکل ۲-۱۵: شبه کد الگوریتم جستجوی ترتیبی شناور ..... ۴۴

شکل ۲-۱۶: رابطه بین تعداد ویژگی‌های انتخابی و میانگین خطای طبقه‌بند در سه الگوریتم مختلف ۵۰

شکل ۳-۱: جریان داده در پردازش سیگنال‌های مغزی برای واسط مغز-رایانه ..... ۵۵

شکل ۳-۲: نمونه‌ای از باندهای فرکانسی قبل و بعد از اعمال فیلتر ..... ۵۶

شکل ۳-۳: نحوه تجزیه یک سیگنال در تحلیل موجک ..... ۵۷

شکل ۳-۴: روال پیشنهادی اولیه برای انتخاب ویژگی بر پایه کلاس ..... ۶۵
شکل ۳-۵: شمای کلی نحوه کنار هم گذاشتن طبقه‌بندها و ترکیب آنها ..... ۶۶
شکل ۳-۶: نمودار همگرایی الگوریتم پیشنهادی روی داده k3b با طبقه‌بند منفرد ..... ۷۳
شکل ۳-۷: نمودار همگرایی الگوریتم پیشنهادی روی داده k6b با طبقه‌بند منفرد ..... ۷۳
شکل ۳-۸: نمودار همگرایی الگوریتم پیشنهادی روی داده l1b با طبقه‌بند منفرد ..... ۷۴
شکل ۳-۹: نمودار همگرایی الگوریتم پیشنهادی روی داده k3b با طبقه‌بند ترکیبی ..... ۷۴
شکل ۳-۱۰: نمودار همگرایی الگوریتم پیشنهادی روی داده k6b با طبقه‌بند ترکیبی ..... ۷۵
شکل ۳-۱۱: نمودار همگرایی الگوریتم پیشنهادی روی داده l1b با طبقه‌بند ترکیبی ..... ۷۵
شکل ۳-۱۲: دقت و میانگین دقت به دست آمده با طبقه‌بند منفرد بر روی k3b ..... ۷۶
شکل ۳-۱۳: دقت و میانگین دقت به دست آمده با طبقه‌بند منفرد بر روی k6b ..... ۷۷
شکل ۳-۱۴: دقت و میانگین دقت به دست آمده با طبقه‌بند منفرد بر روی l1b ..... ۷۷
شکل ۳-۱۵: دقت و میانگین دقت به دست آمده با طبقه‌بند مرکب بر روی k3b ..... ۷۸
شکل ۳-۱۶: دقت و میانگین دقت به دست آمده با طبقه‌بند مرکب بر روی k6b ..... ۷۸
شکل ۳-۱۷: دقت و میانگین دقت به دست آمده با طبقه‌بند مرکب بر روی l1b ..... ۷۹

# فصل ۱

# مقدمه

واسط مغز-رایانه[1] وسیله‌ای است که می‌تواند بدون کمک گرفتن از عضلات و با استفاده از سیگنال‌های گرفته شده از مغز فرد، بین مغز و دنیای خارج از آن ارتباط برقرار کند. از مهمترین کاربردهای این وسیله که توجه بسیاری از محققان را در سال‌های اخیر به خود جلب کرده است، قابلیت کمک به بیمارانی است که به دلایل مختلفی مانند قطع عضو، معلولیت یا انواع بیماری‌های مربوط به مغز و اعصاب، بخشی از توانایی‌های جسمی-حرکتی خود را از دست داده‌اند [۱-۲]. از آنجایی‌که سیگنال‌های مغزی نشان‌دهنده فعالیت الکتریکی مغز می‌باشند، می‌توانند حاوی اطلاعات مفیدی از تفکرات و تصمیمات فرد باشند و به همین دلیل، پردازش این سیگنال‌ها از اهمیت ویژه‌ای در واسط‌های مغز-رایانه برخوردار است.

## ۱-۱ اصطلاحات

**واسط مغز-رایانه:** وسیله‌ای است که می‌تواند بدون کمک گرفتن از عضلات و با کمک سیگنال‌های مغزی بین مغز و دنیای خارج از آن ارتباط مستقیم برقرار کند.

**سیگنال مغزی:** سیگنال‌هایی که منشا آنها فعالیت الکتریکی درون مغز است. در این پایان‌نامه از سیگنال‌هایی که به اختصار EEG نامیده می‌شوند استفاده شده است.

**انتخاب ویژگی[2]:** روشی است برای کم کردن اندازه بردار ویژگی. در این روش برخی از مقادیر موجود در بردار ویژگی حذف و برخی باقی می‌مانند.

[1] Brain-Computer Interface (BCI)
[2] Feature Selection

**طبقه‌بند ترکیبی:** نوعی طبقه‌بند که با کنار هم گذاشتن چند طبقه‌بند منفرد ایجاد می‌شود و هدف آن افزایش کارآیی سامانه‌های بازشناسی الگو است.

## ۱-۲ بیان مسئله

واسط‌های مغز-رایانه از قسمت‌های مختلفی مانند ثبت سیگنال، پردازش سیگنال و واسط کاربری تشکیل شده‌اند و بخش پردازش سیگنال نیز به نوبه خود از چند قسمت مجزا از جمله حذف انواع نویزها، استخراج ویژگی، انتخاب ویژگی و طبقه‌بند تشکیل شده است [۳]. یکی از چالش‌های موجود در این واسط‌ها حجم بالای اطلاعات ورودی است که علاوه بر زمان زیاد برای پردازش آنها، تجزیه و تحلیل آنها را نیز مشکل‌تر می‌کند. رویکردهای مختلفی برای کم کردن حجم داده‌ها وجود دارد که یکی از آنها انتخاب ویژگی است. در روش‌های مختلف انتخاب ویژگی که به دو دسته اصلی روش‌های فیلتر[۱] و روش‌های لفافه‌ای[۲] تقسیم می‌شوند، براساس معیاری مشخص تعدادی از ویژگی‌ها انتخاب شده و از سایر ویژگی‌ها چشم‌پوشی می‌شود و تصمیم‌گیری در مورد خروجی نهایی تنها بر اساس ویژگی‌های انتخاب شده انجام می‌گیرد.

تمرکز این پایان‌نامه بر روی انتخاب ویژگی در واسط‌های مغز-رایانه می‌باشد و با توجه به دقت بالاتر روش‌های لفافه‌ای، سعی داریم با ارائه یک الگوریتم تکاملی مناسب زیرمجموعه بهینه‌ای از ویژگی‌ها را بیابیم. الگوریتم مورد نظر که به دنبال تخمین توزیع احتمال حضور ویژگی‌ها در زیرمجموعه نهایی است، یک مدل دودویی جدید از الگوریتم تجمع ذرات می‌باشد که در آن به جای استفاده از عملگرهای معمول این الگوریتم، از عملگرهای جدیدی برای تغییر وضعیت ذرات استفاده شده است. معیار سنجش مقدار بهینگی هر ذره نیز دقت طبقه‌بند خواهد بود، البته نه یک طبقه‌بند منفرد بلکه ترکیبی از چند طبقه‌بند. در این پایان‌نامه برای افزایش دقت و بهبود کارآیی نهایی، به جای استفاده از یک طبقه‌بند منفرد برای

[۱] filter methods

[۲] wrapper methods

طبقه‌بندی سیگنال‌ها، از ترکیب چند طبقه‌بند استفاده خواهیم کرد که هر کدام زیرمجموعه مستقلی از ویژگی‌ها را گرفته و خروجی را مشخص می‌کنند.

## ۱-۳ اهداف پایان‌نامه

هدف کلی این پایان‌نامه افزایش کارآیی مرحله انتخاب ویژگی و طبقه‌بندی در واسط‌های مغز-رایانه می‌باشد. برای این منظور دو هدف اصلی زیر در نظر گرفته شده است:

۱. ارائه الگوریتمی تکاملی برای جستجو در بین زیرمجموعه‌های مختلف ویژگی‌ها و یافتن زیرمجموعه بهینه. این الگوریتم مدلی دودویی از الگوریتم تجمع ذرات است که در آن به جای عملگرهای معمول برای تغییر وضعیت ذرات، از عملگرهای جدیدی بر پایه توزیع احتمال ذرات استفاده شده است. این الگوریتم باید بتواند با سایر الگوریتم‌هایی که برای انتخاب ویژگی در واسط‌های مغز-رایانه استفاده می‌شوند، همانند الگوریتم ژنتیک و الگوریتم انتخاب ترتیبی مستقیم، رقابت کرده و از آنها برتر باشد.

۲. استفاده از تکنیک ترکیب طبقه‌بندها و استفاده از آن به جای استفاده از یک طبقه‌بند منفرد. با توجه به چندکلاسه بودن مسئله پیش روی ما، استفاده از تعدادی طبقه‌بند که هر کدام برای تشخیص داده‌های مربوط به یک کلاس خبره باشند مناسب به نظر می‌رسد. در نتیجه سعی خواهیم کرد مدلی ارائه کنیم که چند طبقه‌بند در کنار هم و به طور موازی عمل طبقه‌بندی را انجام دهند. هر کدام از این طبقه‌بندها یک خروجی خواهد داشت و ما سعی خواهیم کرد با ترکیب خروجی‌های این طبقه‌بندها، به دقتی بالاتر از دقت یک طبقه‌بند منفرد برسیم.

## ۱-۴ نظریه

پیدا کردن بهترین زیرمجموعه در یک مجموعه مسئله‌ایست NP، زیرا اگر n عضو داشته باشیم $2^n$ زیرمجموعه متفاوت خواهیم داشت و نمی‌توان تمام زیرمجموعه‌ها را بررسی کرد. در این شرایط

الگوریتم‌های مختلفی که بدون بررسی تمام حالات، جواب نسبتا مناسبی را پیدا می‌کنند راه‌گشا هستند. این پایان‌نامه می‌خواهیم با وارد کردن مفهوم به کار رفته در الگوریتم‌های تخمین توزیع به الگوریتم تجمع ذرات، یک الگوریتم جدید ارائه کنیم که نسبت به الگوریتم‌های مشابه از قدرت خوبی برخوردار باشد و نشان دهیم می‌توان با این الگوریتم مسئله انتخاب ویژگی را حل کرد و نتایج خوبی گرفت.

هدف دوم این پایان نامه ترکیب طبقه‌بندها و استفاده از ویژگی‌های متفاوت در هر طبقه‌بند است. مطالعات نشان داده است طبقه‌بندهای ترکیبی نتایج بهتری از طبقه‌بندهای مرکب دارند و ما می‌خواهیم نشان دهیم استفاده از ویژگی‌های متفاوت در هر طبقه‌بند و ترکیب آنها می‌تواند نتیجه را بهبود بخشد. به عبارت ساده‌تر می‌توان گفت طبق این ایده، هر طبقه‌بند از یک زاویه دید خاصی به داده‌ها نگاه می‌کند و آن را مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار می‌دهد. در نتیجه دانشی که از داده‌ها به دست می‌آید، دانش کامل‌تری خواهد بود و به خروجی طبقه‌بند بیشتر می‌شود اعتماد کرد.

## ۱-۵ سازمان پایان‌نامه

این پایان‌نامه از چهار فصل تشکیل شده است که در فصل اول علاوه بر ارائه کلیاتی راجع به موضوع مورد بحث، مسئله اصلی این پایان‌نامه شرح داده شد و اهداف مورد نظر عنوان گردید. در فصل دوم ابتدا مفاهیم پایه‌ای مربوط به مغز، واسط‌های مغز-رایانه و مطالب مربوط به پردازش سیگنال‌های مغزی ارائه خواهد شد و سپس به مرور برخی از راه‌کارهای ارائه شده برای مسئله انتخاب ویژگی و کاهش ابعاد داده در واسط‌های مغز-رایانه خواهیم پرداخت. در فصل سوم الگوریتم‌ها و روش‌های اجرا شده برای این پژوهش شرح داده خواهند شد. الگوریتم تکاملی خود را معرفی خواهیم کرد و به ایده‌ها و خلاقیت به کار رفته در ترکیب طبقه‌بندها خواهیم پرداخت. همچنین با ارائه نتایج به دست آمده، به ارزیابی روش ارائه شده خواهیم پرداخت و آن را با دیگر کارهای انجام گرفته در این زمینه مقایسه خواهیم کرد. در نهایت فصل چهارم به نتیجه‌گیری از مطالب ارائه شده اختصاص خواهد داشت.

# فصل ۲

# مفاهیم پایه‌ای و راه‌کارهای پیشین

در بخش اول این فصل به مفاهیم پایه‌ای به کار رفته در پایان‌نامه خواهیم پرداخت و با مسائلی چون ساختار و نحوه عملکرد مغز، واسط مغز-رایانه، مطالب مربوط به پردازش سیگنال‌های مغزی و الگوریتم‌های مورد نیاز خواهیم پرداخت و در بخش دوم، راه‌کارهایی که تاکنون برای مسئله انتخاب ویژگی و کاهش ابعاد داده در واسط‌های مغز-رایانه ارائه شده‌اند را مرور خواهیم کرد.

## ۲-۱ مفاهیم پایه‌ای

برای آشنایی بیشتر با موضوع و همچنین مطالعه بهتر راه‌کار پیشنهادی، لازم است با برخی مفاهیم مربوط به مغز و سیگنال‌های مغزی، واسط‌های مغز-رایانه و برخی الگوریتم‌ها و روش‌های مورد نیاز آشنا شد. در این بخش این مفاهیم پایه‌ای توضیح داده می‌شوند.

### ۲-۱-۱ الکتروانسفالوگرام[۱]

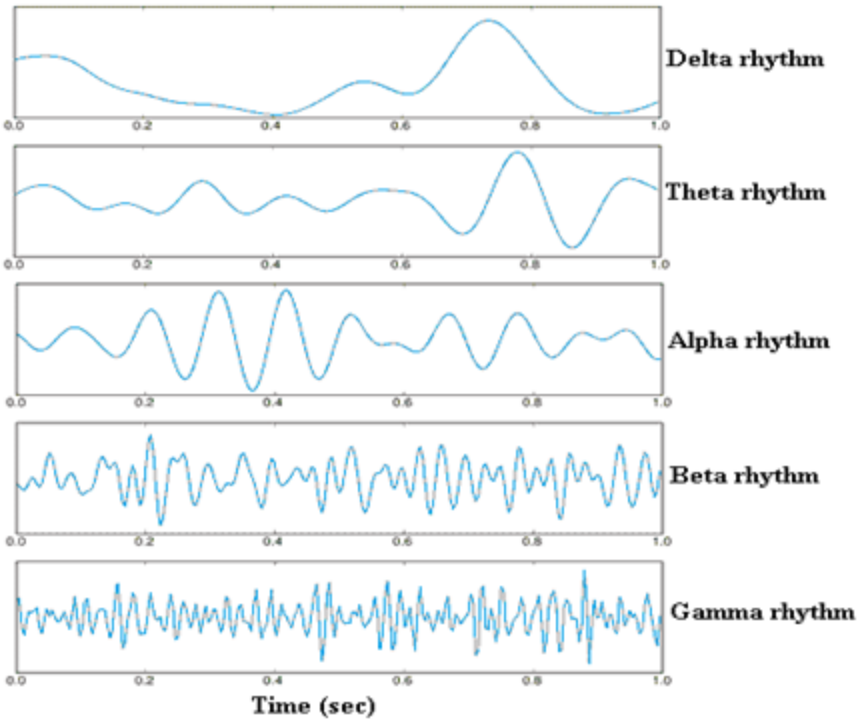
الکتروانسفالوگرام که به اختصار EEG نامیده می‌شود یک تکنیک ثبت سیگنال‌های مغزی است که در آن فعالیت‌های الکتریکی مغز به کمک الکترودهایی که روی پوست سر قرار می‌گیرند اندازه‌گیری می‌شود. سابقه استفاده از این روش به سال ۱۸۷۵ برمی‌گردد که اولین ثبت EEG از حیوانات توسط ریچارد کیتون[۲] انجام پذیرفت. در سال ۱۹۲۴ نیز اولین ثبت این سیگنال برای انسان توسط هانس برگر[۳] صورت پذیرفت [۴].

[۱] electroencephalogram (EEG)

[۲] Richard Caton

[۳] Hans Berger

ثبت این سیگنال‌ها معمولا به کمک الکترودهایی از جنس طلا یا نقره صورت می‌پذیرد و امواج الکتریکی مغزی با دامنه‌ای تا طول موج ۱۰۰ میکروولت قابل اندازه‌گیری هستند. امواج مغزی را بر حسب فرکانس به پنج دسته زیر تقسیم می‌کنند که هر کدام معنا و مفهوم خاص خود را دارد. این پنج گروه عبارتند از باند دلتا[۱] (کمتر از ۴ هرتز)، باند تتا[۲] (۴ تا ۷ هرتز)، باند آلفا[۳] (۸ تا ۱۳ هرتز)، باند بتا[۴] (۱۴ تا ۳۰) و باند گاما[۵] (بیشتر از ۳۰ هرتز). در شکل ۲-۱ این امواج را مشاهده می‌کنید.



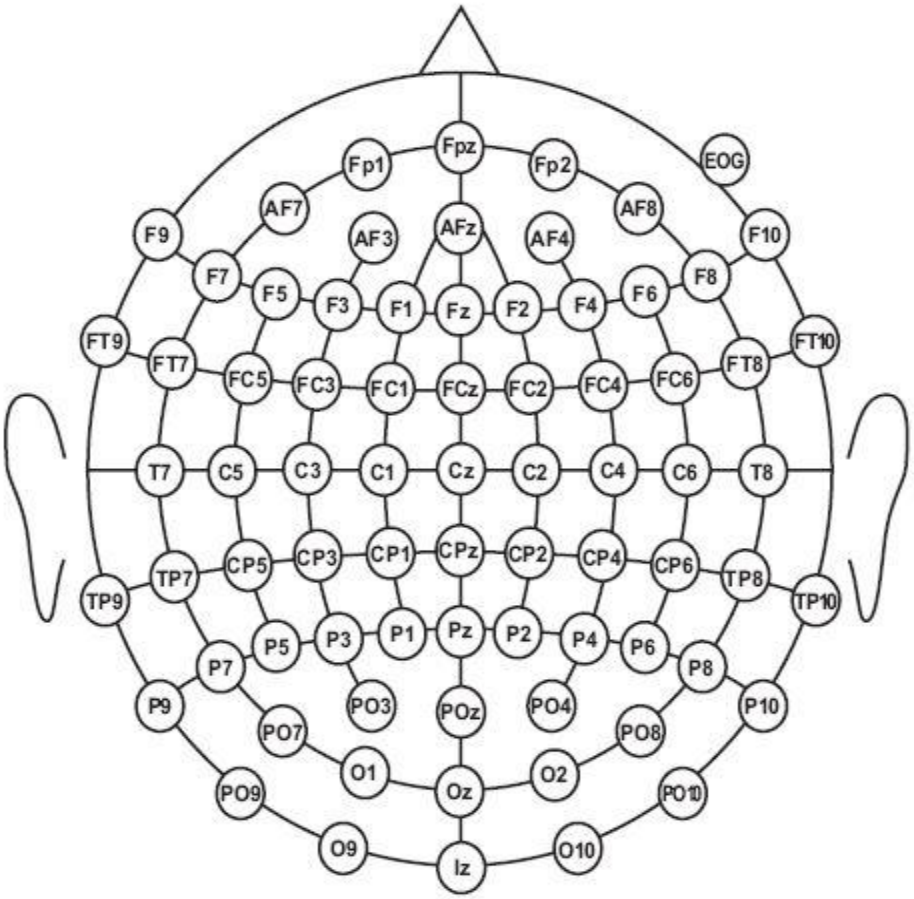

شکل ۲-۱: ریتم‌های مختلف امواج مغزی [۵]

علاوه بر EEG روش‌های دیگری نیز برای ثبت فعالیت‌های مغزی وجود دارد مانند fMRI، EcOG و LFP. اما دقت بالای زمانی و همچنین غیرتهاجمی بودن EEG باعث شده است به راحتی بتوان از این

[۱] delta
[۲] theta
[۳] alpha
[۴] beta
[۵] gamma

روش استفاده کرد. در تحقیقات مربوط به واسط مغز-رایانه نیز معمولا از سیگنال‌های EEG استفاده می‌شود و ما نیز در این پایان‌نامه بر روی داده‌های به دست آمده از سیگنال EEG کار خواهیم کرد.

استانداردهای مختلفی برای نحوه چینش الکترودها بر روی پوست سر وجود دارند که مهمترین آن، استاندارد ۲۰-۱۰ است که فاصله هر الکترود از سایر الکترودها در این استاندارد، به اندازه ۱۰ و ۲۰ درصد کل فاصله‌هاست. طبق این استاندارد برای پوشاندن سر نوزده الکترود نیاز است. برای پوشاندن بهتر نواحی مختلف پوست سر استانداردهای دیگری نیز استفاده می‌شود که تکمیل کننده روش قدیمی‌تر است مانند استاندارد ۱۰-۱۰ و ۱۰-۵. در تمام این استانداردها هر الکترود بر اساس منطقه‌ای که در آن قرار دارد نام مخصوص به خود را دارد که در نیم‌کره چپ با اعداد فرد و در نیم‌کره راست با اعداد زوج نشان داده می‌شود. شکل ۲-۲ نحوه قرار گرفتن الکترودها در این استاندارد را نشان می‌دهد.




شکل ۲-۲ : نحوه قرار گرفتن الکترودها طبق استاندارد بین‌المللی ۲۰-۱۰ [۶]

با توجه به اینکه نواحی مختلف مغز وظایف تقریبا مشخصی دارند سیگنال‌های به دست آمده از نواحی مختلف پوست سر، می‌توانند برای کاربردهای مختلف اهمیت متفاوتی داشته باشند. به عنوان مثال قسمت پشت سر مسئول اعمال مربوط به بینایی است و اعمال مربوط به شنوایی، بویایی و چشایی در ناحیه گیج‌گاهی کنترل می‌شوند. لوب پیشانی یک منطقه مهم حرکتی محسوب می شود، چرا که سه ناحیه مهم حرکتی مغز در این قسمت قرار دارند. این سه ناحیه عبارتند از: ناحیه حرکتی اولیه[۱]، ناحیه پیش حرکتی[۲] و ناحیه حرکتی تکمیلی[۳]. قشر حرکتی[۴] درست در جلوی شیار مرکزی مغز قرار دارد و هر قسمت از آن وظیفه کنترل ماهیچه‌های قسمتی از بدن را بر عهده دارد [۷]. از آنجایی که دستورات مربوط به کنترل اندام بدن از این ناحیه صادر می‌شود در واسط‌های مغز-رایانه مبتنی بر تصور حرکت اهمیت فراوانی دارد زیرا افرادی که دچار معلولیت جسمی هستند و از مغز سالمی بهره می‌برند می‌توانند با کمک سیگنال‌های ارسالی از این ناحیه، اعضای مصنوعی و پروتز[۵]ها را کنترل کنند تا بخشی از ناتوانی جسمی و حرکتی خود را جبران کرده باشند. در شکل ۲-۳ نقشه مراکز مربوط به کنترل هر قسمت از بدن که آدمک حرکتی[۶] نام دارد را مشاهده می‌کنید.

## ۲-۱-۲ واسط مغز-رایانه

هرگونه حرکت ارادی در بدن انسان، کنترل محیط یا ارتباط با خارج با دستور مغز و زیر نظر آن انجام می‌شود. این اهداف باعث ایجاد یک فرایند پیچیده شده و مناطق خاصی از مغز را فعال می‌کنند، سپس سیگنال‌ها از طریق سیستم عصبی محیطی به ماهیچه‌های مربوطه منتقل شده و حرکت لازم برای برقراری ارتباط و یا کنترل انجام می‌شود.

---

۱ primary motor area

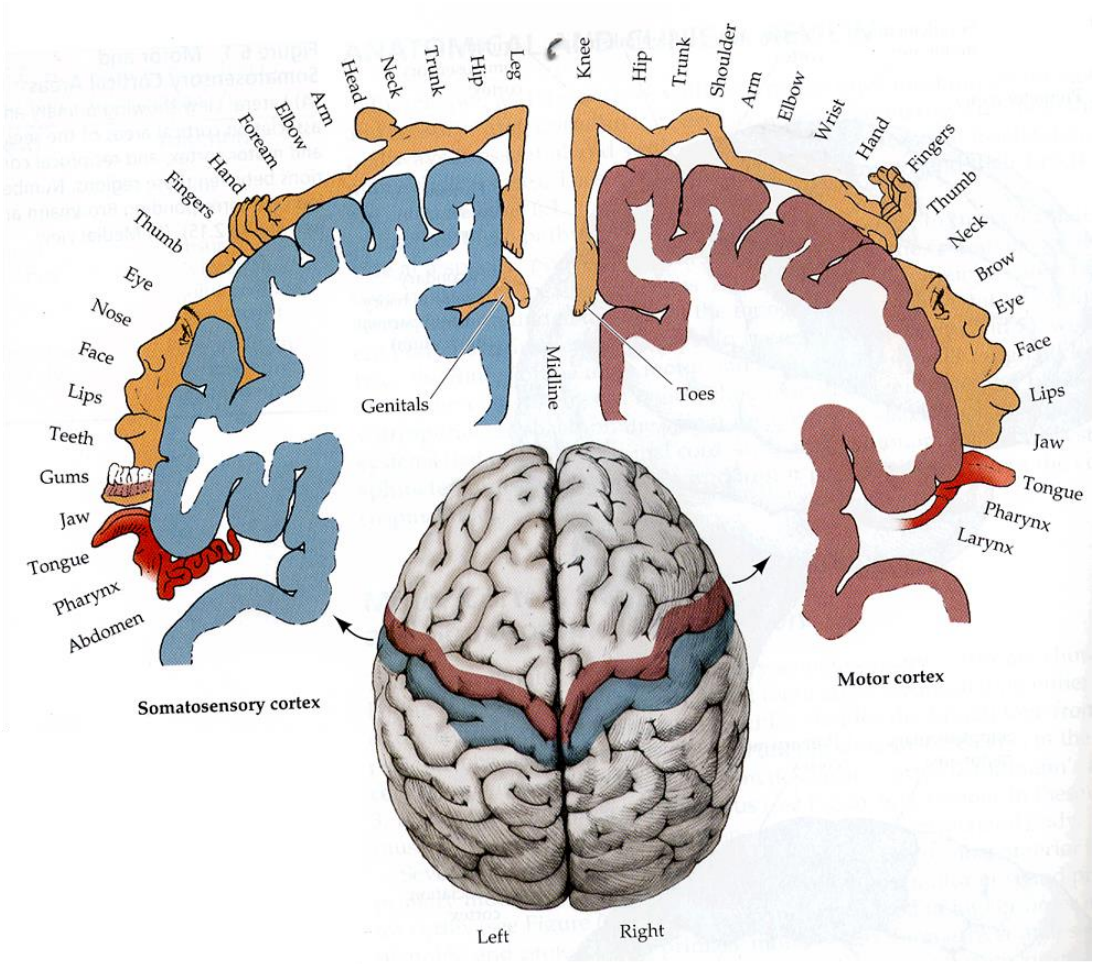
۲ premotor area

۳ supplementary motor area

۴ motor cortex

۵ prosthesis

۶ cortical homunculus




شکل ۲-۳: مراکز مربوط به کنترل اندام بدن در مغز [۸]

واسط مغز-رایانه یک راه جایگزین برای انتقال دستورات مغز به خارج است و وسیله‌ای است که با استفاده از آن و بدون کمک گرفتن از عظلات می‌توان با محیط خارج ارتباط برقرار کرد و یا کنترل یک شیء را در اختیار گرفت [۹].

همچنین واسط مغز-رایانه را می‌توان نوع خاصی از پروتزهای عصبی محسوب کرد. پروتز عصبی[۱] وسیله‌ای است که نه تنها می‌تواند خروجی سیستم عصبی را دریافت کند، بلکه قابلیت انتقال ورودی به این سیستم را نیز دارد. این وسیله از طریق جایگزینی یا تقویت حواس آسیب دیده، به بهبود کیفیت زندگی برای افراد معلول کمک فراوانی می‌کنند [۲].

[۱] neural prosthetics