



## یادگیری ماشین

پاییز ۱۴۰۴

استاد: دکتر علی شریفی زارچی

مسئول پروژه: امیررضا آذری

مهلت ارسال نهایی: ۳۰ دی

## پروژه

- پروژه، ۳+۱ نمره درس می‌باشد.
- ابتدا، با دقت کامل، تمامی پروژه‌ها را مطالعه بفرمایید، سپس در فرم قرار داده شده، اولویت خود را از یک تا نه مشخص بفرمایید تا یک پروژه به شما تعلق بگیرد. توجه بفرمایید ظرفیت هر پروژه، تنها ۷ تیم می‌باشد.
- معیار تصمیم‌گیری نهایی برای هر تیم، زمان پر کردن فرم می‌باشد. بنابراین این کار را به زمان دیگر موکول نکنید زیرا در این صورت اولویت‌های پایانی به شما خواهند رسید و جای اعتراضی وجود نخواهد داشت.
- یک نمره امتیازی پروژه، شامل ۰.۵ نمره بخش رقابتی پروژه و ۰.۵ نمره دیگر برای بخش خلاقیت می‌باشد.
- بخش رقابتی: هر پروژه، یک معیار رقابت دارد. تیم اول ۰.۵، تیم دوم ۰.۳ و تیم سوم ۰.۲ نمره اضافه بر روی نمره پروژه و درس دریافت خواهد کرد. تیم‌های برتر بر اساس نظر مسئول مربوط به هر پروژه انتخاب خواهند شد.
- بخش خلاقیت: در این بخش هرگونه خلاقیت و ایده نو و جدید که قابل بحث و تاثیرگذار باشد، نمره خواهد گرفت. تشخیص میزان خلاقیت با مسئول پروژه انتخاب شده می‌باشد.
- هر پروژه مسئول مشخص دارد که بعد از مشخص شدن پروژه‌های تیم‌ها، معرفی خواهند شد. شما در حین انجام دادن پروژه با ایشان در ارتباط خواهید بود و هر گونه ابهام و سوالی را می‌توانید با ایشان در میان بگذارید.
- گزارش نهایی: گزارش نهایی هر پروژه متفاوت می‌باشد. اما در تمامی گزارش‌ها باید میزان همکاری اثرگذار هر شخص مشخص شده باشد. همچنین در صورت استفاده از ابزارهای LLM، بخشی که از ابزارها استفاده شده است باید مشخص شود و همچنین پرامپت استفاده شده ذکر شود.
- هر تیم موظف است یک مخزن گیت‌هاب برای پروژه خود ایجاد کند. نکته حیاتی این است که هر عضو تیم باید منحصراً با اکانت شخصی خود فعالیت کند و تمام تغییرات و ارسال کد (Commit) خود را به صورت جزئی و مستمر در مخزن ثبت نماید. میزان همکاری اعضا در تاریخچه کامیت‌ها به دقت بررسی خواهد شد و انتظار می‌رود که مشارکت تمامی اعضای تیم در پیشبرد پروژه عادلانه و متوازن باشد؛ چرا که این شفافیت، بخشی از فرآیند ارزیابی نهایی خواهد بود.
- توجه بفرمایید هرگونه عدم تطابق تحویل و گزارش تیم‌ها با نکات ذکر شده توسط مسئول پروژه، سبب نمره منفی خواهد شد.
- دقت بفرمایید نمره هر پروژه از ۱۰۰ می‌باشد، اما بعضی پروژه‌ها بنا به سختی آن‌ها، نمرات امتیازی دارند که این نمره امتیازی، تنها بر روی خود نمره پروژه اعمال خواهد شد. به این معنی که نمره ۱۱۰ با ۱۰۰ فرقی نخواهد داشت.

## پروژه‌ها

## پروژه شماره ۱ (۱۰۵ نمره)

## تعریف مسئله

## سیگنال‌های الکتروانسفالوگرام (EEG)

سیگنال‌های EEG ثبت‌کننده فعالیت الکتریکی مغز هستند که از طریق الکترودهایی روی پوست سر اندازه‌گیری می‌شوند. این سیگنال‌ها اطلاعات ارزشمندی درباره وضعیت‌های ذهنی، فعالیت‌های شناختی و عملکرد بخش‌های مختلف مغز فراهم می‌کنند و به‌طور گسترده در علوم اعصاب، تشخیص‌های بالینی و واسطه‌های مغز-رایانه مورد استفاده قرار می‌گیرند.

در این پروژه، با داده‌های EEG آشنا می‌شویم و روش‌های پیش‌پردازش، حذف نویز و تمیز سازی داده‌ها را بررسی می‌کنیم. سپس به استخراج ویژگی‌های مناسب از سیگنال‌ها پرداخته و داده‌ها را دسته‌بندی و خوشه‌بندی خواهیم کرد.

## تصویرسازی حرکتی (Motor Imagery)

تصویرسازی حرکتی فرآیندی است که در آن از فرد خواسته می‌شود بدون انجام یک حرکت، صرفاً انجام آن حرکت را در ذهن خود تصور کند؛ برای مثال تصور حرکت دست یا پا. در این پروژه، از داده‌های EEG ثبت شده از افراد سالم در حین انجام تصویرسازی حرکتی استفاده می‌کنیم. سیگنال‌های EEG با قرار دادن ۵۹ الکترود روی نواحی مختلف مجموعه داده‌های اندازه‌گیری شده اند و تغییرات پتانسیل الکتریکی مغز را به صورت تابعی از زمان نشان می‌دهند. مجموعه داده‌های مورد استفاده، دارای سه کلاس «دست چپ»، «دست راست» و «پا» می‌باشد. در طی ثبت داده‌ها، از نشانه‌های بصری (مانند فلش‌ها) برای مشخص کردن نوع حرکت مورد تصور استفاده شده و فرد مورد آزمایش، در بازه‌های زمانی مشخص، تصویرسازی حرکت نمایش داده شده را انجام داده است.

انتظار می‌رود هنگام تصور یک حرکت خاص، الگوهای متمایزی در فعالیت نواحی مختلف مغز ایجاد شود که بتوان آن‌ها را در سیگنال‌های EEG تشخیص داد. هدف این پروژه، پردازش سیگنال‌های EEG و پیش‌بینی نوع حرکت تصور شده در هر پنجره‌ی زمانی با استفاده از روش‌های یادگیری ماشین است.

### ساختار داده‌های ورودی

فایل دیتاست را از [این لینک](#) دانلود کنید. در ادامه از فایل BCICIV\_calib\_ds1a.mat استفاده می‌کنیم که فرآیند تصویرسازی حرکتی را توسط دو کلاس «دست چپ» و «پا» انجام داده است. برای درک ساختار داده‌های مورد استفاده به [این لینک](#) مراجعه کنید.

### ۱. پیش پردازش داده (۳۰ نمره)

#### ۱.۱. (۱۵ نمره) بارگذاری داده

فرآیند تصویرسازی حرکتی برای یک فرد به صورت پشت سر هم و مطابق توضیحات ارائه شده در لینک توضیحات صورت می‌گیرد. به منظور تفکیک بازه‌های زمانی متناسب با هر حرکت، نیاز است که سیگنال پیوسته‌ی ورودی را پنجره بندی کنیم. طول هر پنجره‌ی زمانی را با توجه به بازه‌ی نمایش نشانه‌های بصری و فرکانس نمونه برداری به دست آورده و از متغیر pos به عنوان نقطه‌ی شروع هر پنجره استفاده کنید.

کدی بنویسید که بخش‌های مورد نیاز از دیتاست را خوانده و پردازش کند. خروجی این مرحله باید یک دیتاست در قالب معمول مسائل یادگیری ماشین باشد که فیچرها و برجسب‌های متناظر با هر نمونه را شامل می‌شود. ۷۵٪ داده‌ها را به آموزش و ۲۵٪ را به تست اختصاص دهید.

نمودار مربوط به یکی از نمونه‌های دیتاست به دست آمده را به ازای چنل‌های ۰، ۱۵، ۳۰، ۴۵ و ۵۹ به صورت تابعی از زمان رسم کنید.

#### ۲.۱. (۵ نمره) فیلترهای زمانی

سیگنال‌های مغزی بر اساس بازه‌های فرکانسی به چندین دسته تقسیم می‌شوند. در کاربرد فعلی، سیگنال‌های Mu، در بازه‌ی فرکانسی ۸ تا ۱۳ هرتز و سیگنال‌های Beta در بازه‌ی فرکانسی ۱۳ تا ۳۰ هرتز بیشترین کاربرد را دارند. با اعمال یک فیلتر band-pass، اطلاعات فرکانسی مربوط به این دو دسته را حفظ کرده و باقی فرکانس‌ها را حذف کنید.

#### ۳.۱. (۱۰ نمره) استخراج ویژگی‌ها

با توجه به نزدیکی مکانی الکترودها، سیگنال‌های چنل‌های مختلف، در سطح مجموعه با یکدیگر ترکیب می‌شوند. به این منظور از فیلترهای مکانی مختلفی برای استخراج ویژگی‌ها و کاهش بُعد استفاده می‌شود. یکی از روش‌های متداول در کاربرد فعلی الگوریتم common spatial patterns (CSP) می‌باشد. روش کار این الگوریتم را به صورت کامل توضیح داده و آن را بر روی داده‌ها اعمال کنید.

توسط TSNE، نمودار scatter plot نمونه‌ها را در فضای دو بُعدی، قبل و بعد از اعمال این الگوریتم رسم کرده و عملکرد این گام را در استخراج ویژگی‌ها بررسی کنید.

### ۲. دسته بندی (۶۰ نمره)

#### ۱.۱. (۴۰ نمره) پیاده سازی Kernel SVM

در این بخش، دیتاست پردازش شده‌ی حاصل از مراحل قبل را دسته بندی می‌کنیم. به این منظور روش SVM با کرنل RBF را پیاده‌سازی کرده و توسط آن دسته بندی دو کلاسه انجام دهید. برای اطمینان از صحت پیاده سازی خود می‌توانید عملکرد نهایی مدل خود را با نسخه‌ی آماده از scikit-learn مقایسه کنید.

#### ۲.۲. (۱۰ نمره) ارزیابی

به منظور ارزیابی عملکرد، متریک‌های  $\text{precision}$ ,  $\text{recall}$ ,  $\text{F1}$ ,  $\text{accuracy}$  و همچنین نمودار ROC و confusion matrix را گزارش کنید.

### ۳.۲. (نمره ۱۰) مقایسه با روش‌های دسته بندی دیگر

به انتخاب خود سه روش یادگیری ماشین دیگر را انتخاب کرده و توسط آن‌ها نیز دسته بندی را انجام داده و نتایج را مقایسه کنید. دقت کنید که برای این بخش نیازی به پیاده سازی وجود ندارد و می‌توانید از مدل‌های آماده‌ی scikit-learn استفاده کنید.

### ۳. (نمره ۱۵) خوشه بندی

توسط الگوریتم  $k$ -means داده‌ها را خوشه بندی کرده و scatter plot آن را در فضای دو بُعدی رسم کنید. تعداد خوشه‌های بهینه را توسط رسم کردن نمودار معیارهای silhouette score و WCSS به ازای  $k$  های مختلف به دست آورید.

### ۴. معیار رقابت

علاوه بر فایل BCICIV\_calib\_ds1a.mat که تا به این جا از آن استفاده کردیم، توسط پایپلاین پیاده سازی شده، فایل BCICIV\_calib\_ds1c.mat را نیز دسته بندی کرده و نتایج را مقایسه کنید. میانگین دقت به دست آمده روی این دو فایل به عنوان معیار رقابت در نظر گرفته می‌شود و به تیمی که بالاترین دقت را به دست آورده باشد نمره‌ی امتیازی تعلق خواهد گرفت.

به منظور بالاتر بردن دقت نهایی، مجاز به استفاده از هر تکنیک دلخواه برای پیش پردازش، تنظیم هایپر پارامترها و یا انتخاب مدل می‌باشید.