

بسم تعالی



پردازش سیگنال های الکتروانسفالوگرام

تمرین کامپیوتری ۴

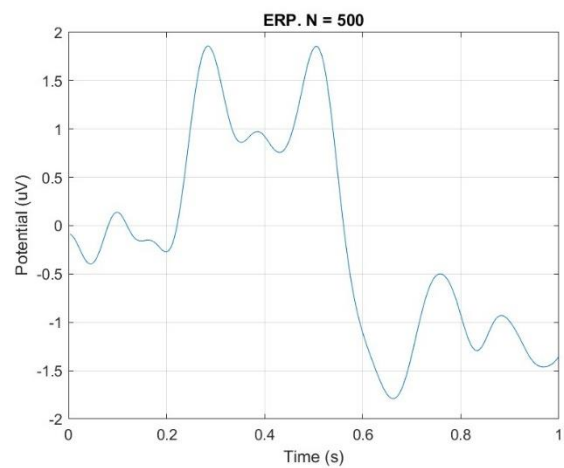
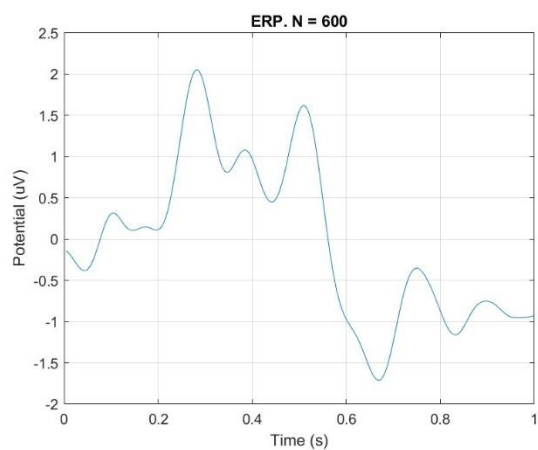
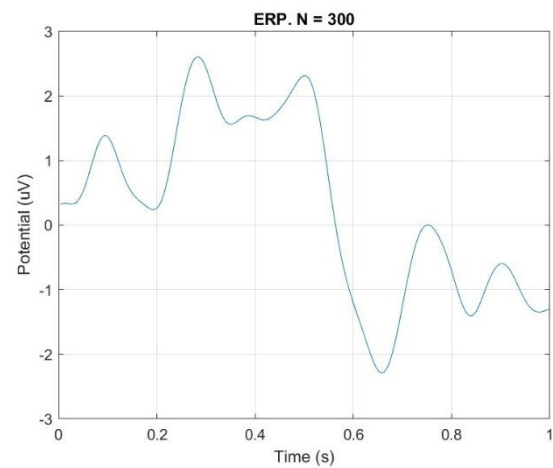
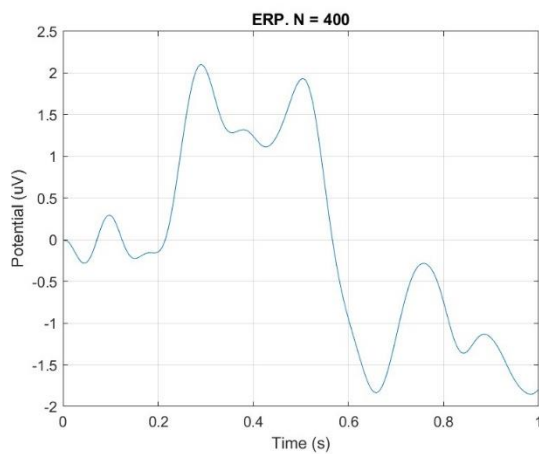
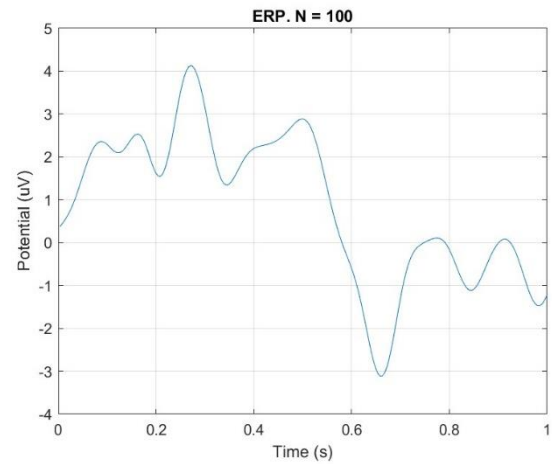
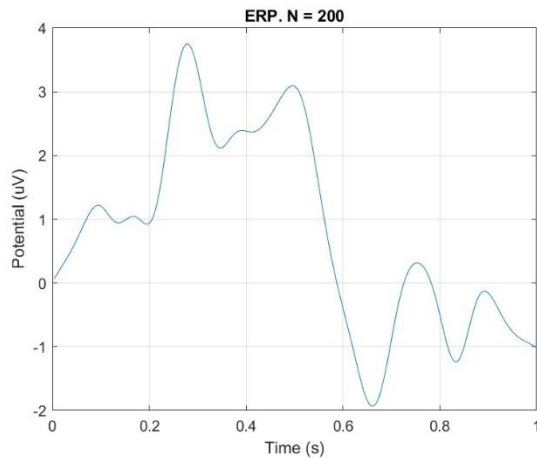
امیرحسین زاهدی ۹۹۱۰۱۷۰۵

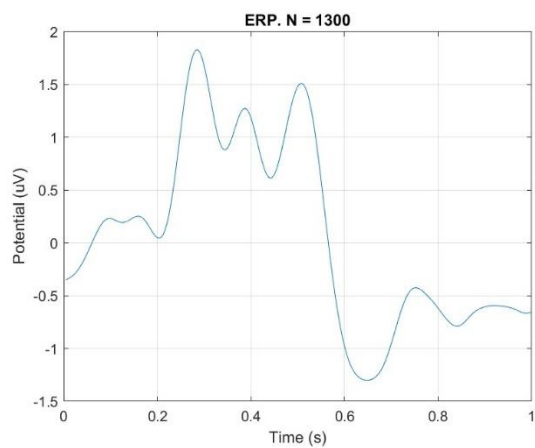
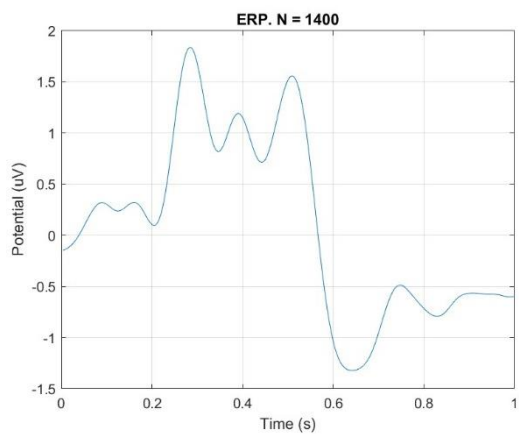
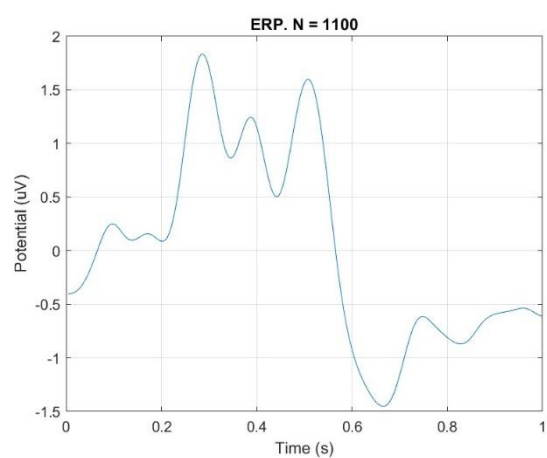
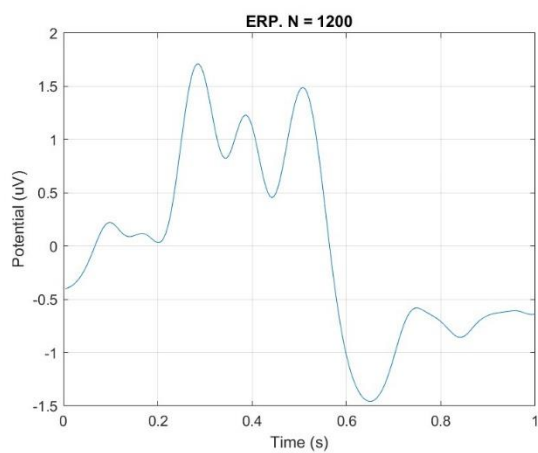
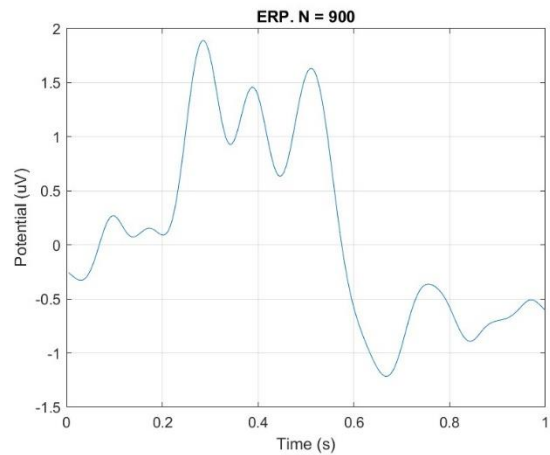
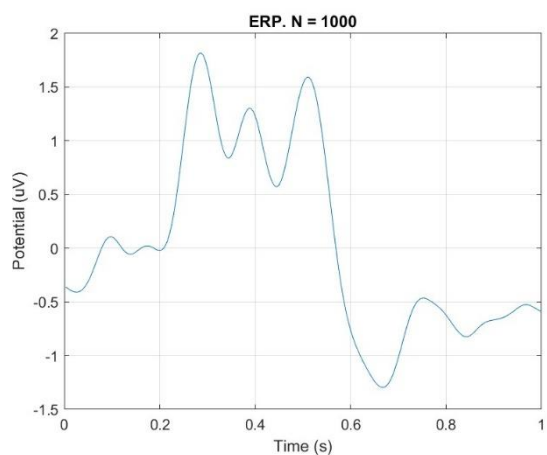
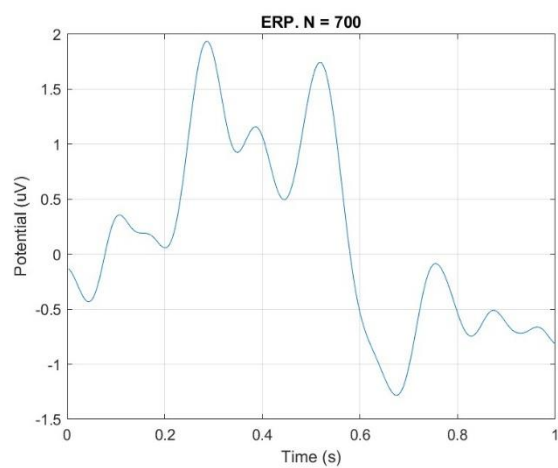
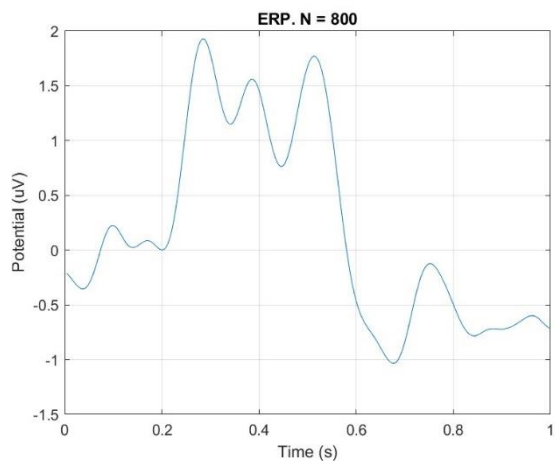
پاییز ۱۴۰۲

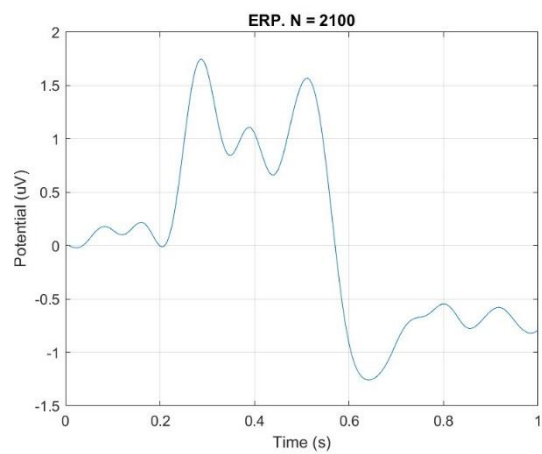
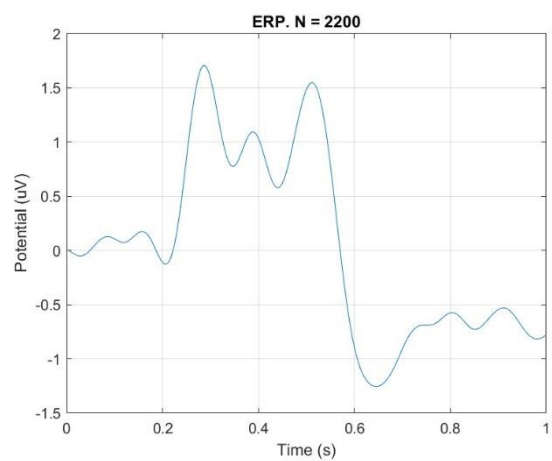
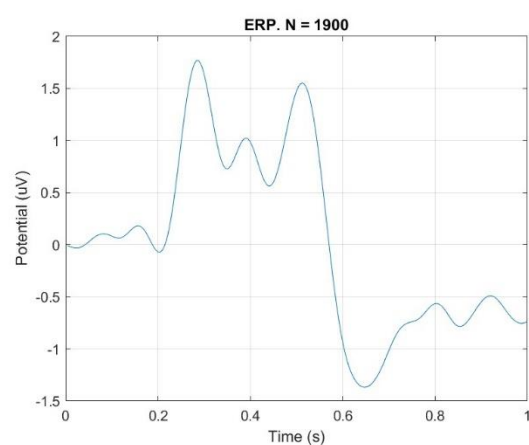
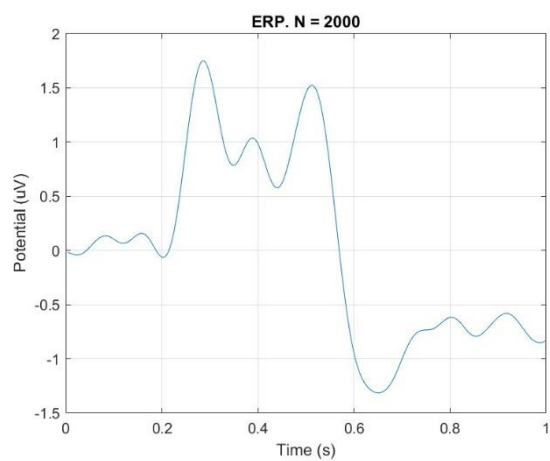
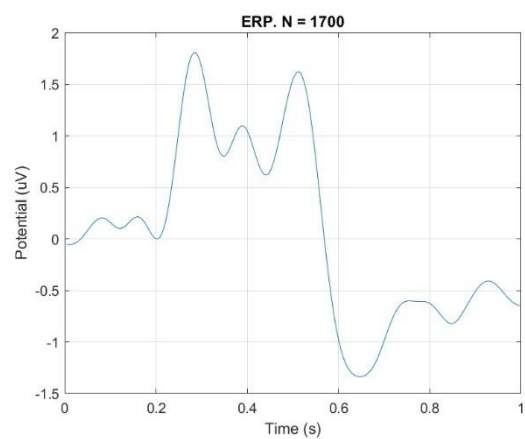
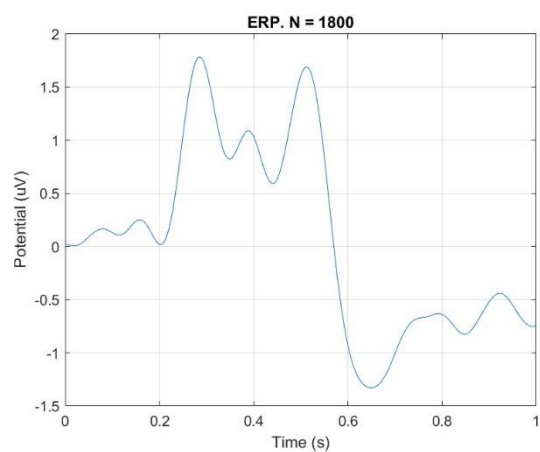
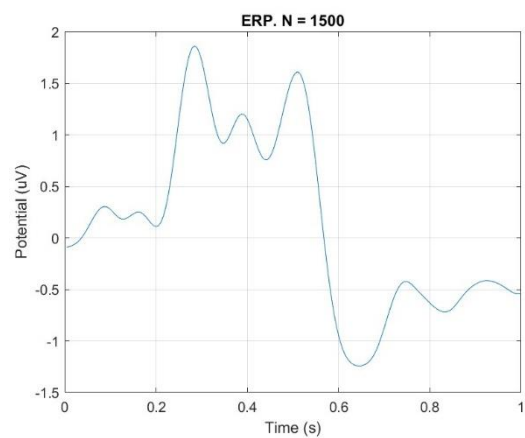
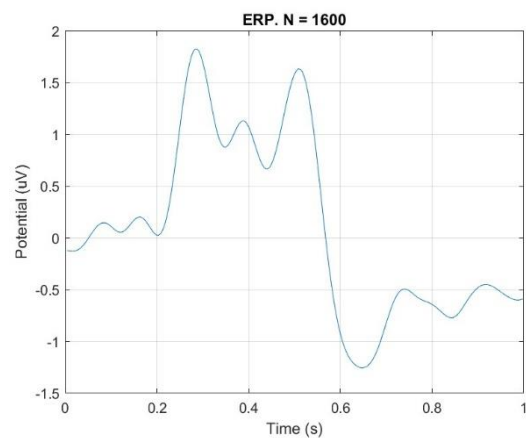
سوال ۱:

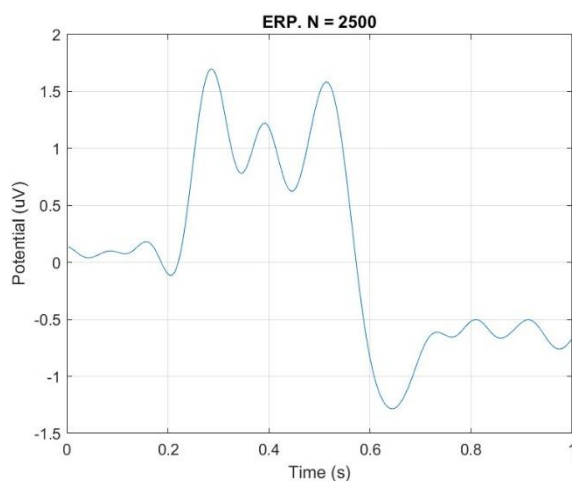
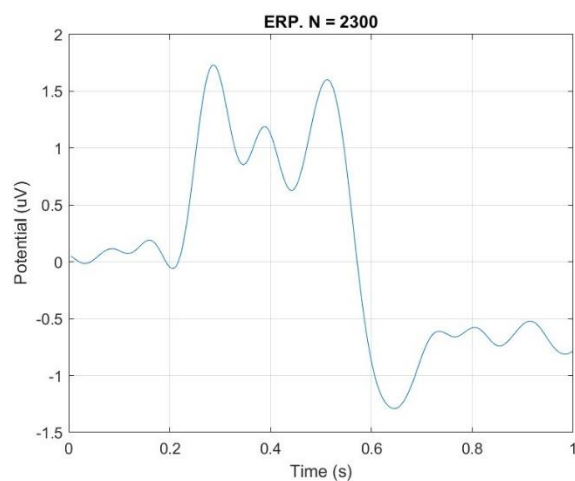
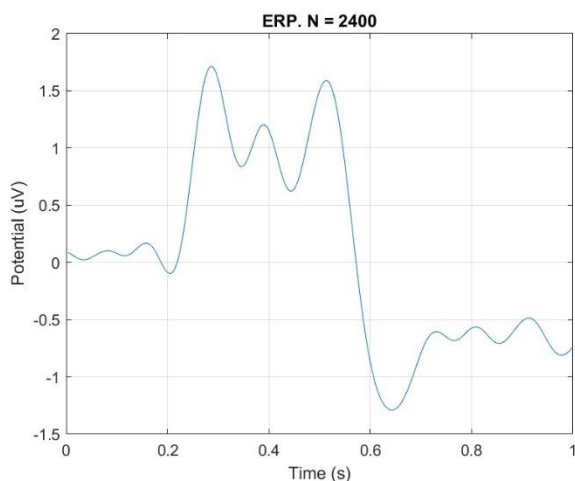
الف) همانطور که در سوال گفته است، ۲۵۵۰ بار تست به مدت یک ثانیه انجام شده است. پس می‌توانیم با تعیین تعداد تست‌ها، ERP را بدست آوریم.

به ازای ۲۵ مقدار مختلف برای N ، به ۲۵ نمودار زیر می‌رسیم:



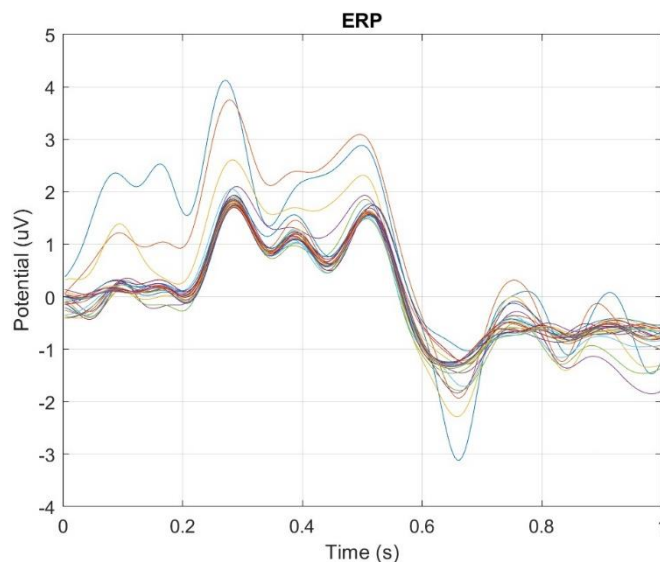




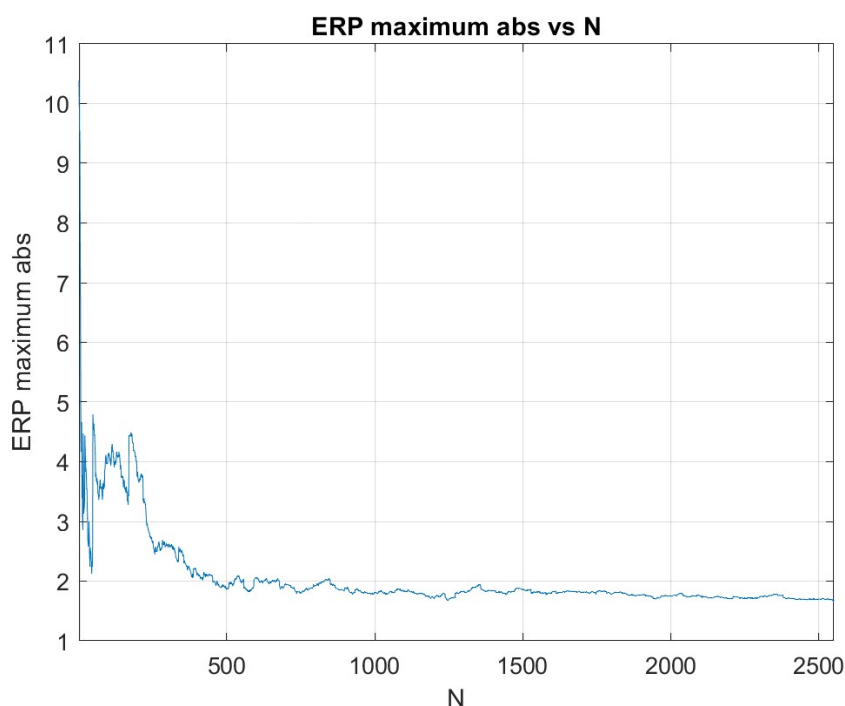


مشاهده میکنیم که شکل و الگوی سیگنال ERP، به تدریج با افزایش N پدیدار میشود و فرم کامل خود را پیدا میکند. بعنوان مثال، در $N=100$ ، اصلی ترین مشخصه ها، دو ماکزیمم محلی هستند که یکی در حدود 300ms و دیگری در حدود 500ms بعد از شروع تحریک رخ داده است و البته دامنه ی دومی کمتر است. با افزایش N تا 400 ، دامنه ی قله ی دوم نیز به تدریج زیاد میشود و از حدود $N=500$ به بعد، یک ماکزیمم محلی در میان دو ماکزیمم قبلی شکل واضح پیدا کرده و به تدریج دامنه اش زیادتر میشود. در نهایت در $N = 2500$ ، هر سه ماکزیمم به وضوح وجود دارند و شکل کلی ERP در سایر زمان ها نیز تقریباً حفظ میشود و با افزایش N تغییر چشمگیری نمیکند (مثل مینیمم نسبی در حدود زمان 650ms).

در نهایت نیز همه نمودارها را روی هم رسم می کنیم تا ERP مشخص گردد.

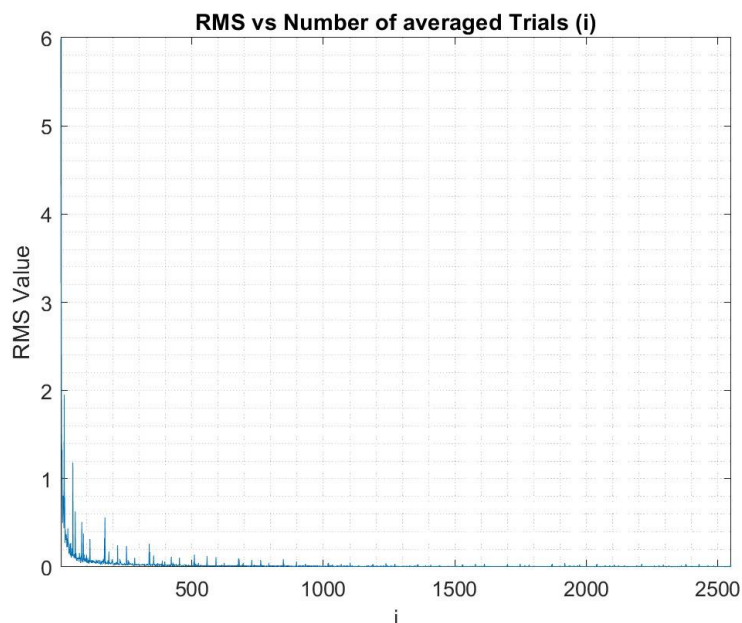


ب) ماکزیمم قدر مطلق سیگنال بر حسب مقدار N (تعداد trial های میانگین گیری شده برای محاسبه ERP) در زیر رسم شده است:



مشاهده میکنیم که مقدار پیک سیگنال ERP، در اوایل و وقتی تعداد تریال مورد استفاده کم است، نوسانات زیادی دارد و با اضافه شدن هر تریالی، تغییر محسوس میکند. اما کم کم با افزایش تعداد تریال ها، این پیک مقدار ثابت تری میگیرد، به طوری که در N های نزدیک به ۲۵۰۰، اضافه شدن یک تریال تقریباً تأثیر خاصی در پیک اصلی سیگنال (که همان $P300$ است) نمیگذارد.

ج) نمودار مطلوب در زیر رسم شده است:



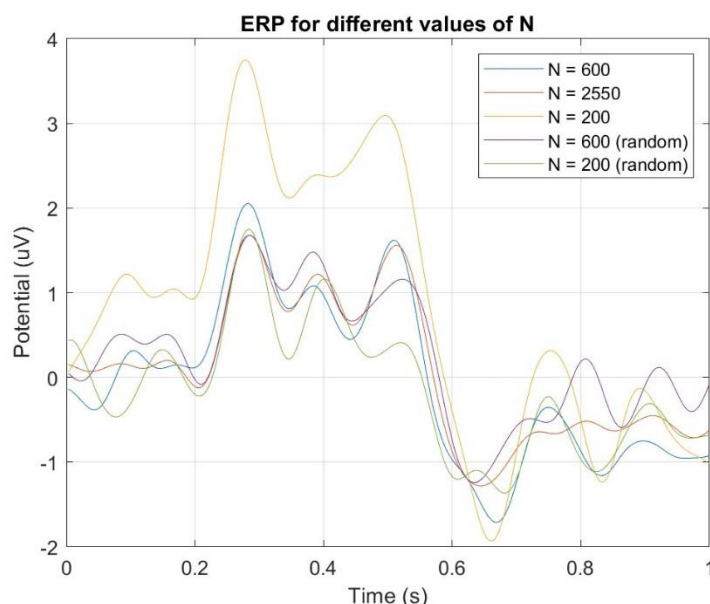
همانطور که در سوال ذکر شده، مقدار RMS بین دو سیگنال ERP با تعداد تریال مورد استفاده‌ی متوالی، بر حسب تعداد تریال مورد استفاده رسم شده است. طبیعتاً هرچه این دو سیگنال به هم شباهت بیشتری داشته باشند، خطای RMS بینشان کمتر است. مشاهده میکنیم که در ابتدای کار، اضافه شدن یک تریال میتواند سیگنال ERP را به نحو محسوسی تغییر دهد که RMS قابل ملاحظه‌ای ایجاد شود. اما در تعداد تریال‌های بالا، مقدار RMS به صفر میل میکند.

(د) باید بدنبال $N=0$ ای باشیم که به ازای آن، سیگنال ERP شباهت خوبی به ERP نهایی دیتا (با ۲۵۵۰ تریال) باشد، قدر مطلق ماکزیمم سیگنال (که همان مقدار سیگنال در $P300$ است) تقریباً با این مقدار در $N=2550$ برابر باشد، و مقدار RMS نیز در آن تقریباً به صفر میل کند.

با توجه به اینکه بدنبال حداقل تعداد تریال هستیم، $N=600$ میتواند انتخاب خوبی باشد. در نمودارهای بخش الف، دیدیم که سیگنال ERP در $N=600$ ، شامل هر سه ماکزیمم محلی بود (هرچند مقدار این سه peak اندکی با ERP نهایی متفاوت است). یعنی ماکزیمم محلی سوم نیز در این $N=600$ پدیدار شده است و میتوان گفت پاسخ فرم اصلی پاسخ $P300$ ، شکل گرفته است. از طرفی دامنه‌ی پیک $P300$ طبق بخش ب، در $N=600$ شباهت خوبی به دامنه نهایی این پیک دارد. در نهایت طبق نمودار بخش ج، RMS خطا به ازای این تعداد تریال، ناچیز و در حدود ۰.۰۱ است که نشان میدهد سیگنال ERP به ثبات خوبی رسیده است.

البته بسته به اینکه برای ما، کمینه کردن تعداد تریال مهمتر باشد یا دقت بالاتر در استخراج $P300$ ، انتخاب $N=0$ میتواند متفاوت شود. برای مثال اگر شباهت بسیار بالای $P300$ هدف اصلی ما باشد، طبق نمودار بخش ب، میتوان $N=0$ را در حدود ۱۰۰۰ قرار داد تا از شباهت پیک $P300$ به پیک نهایی مطمئن شویم. اما ما فعلاً در یک مصالحه، همان $N=600$ را انتخاب میکنیم.

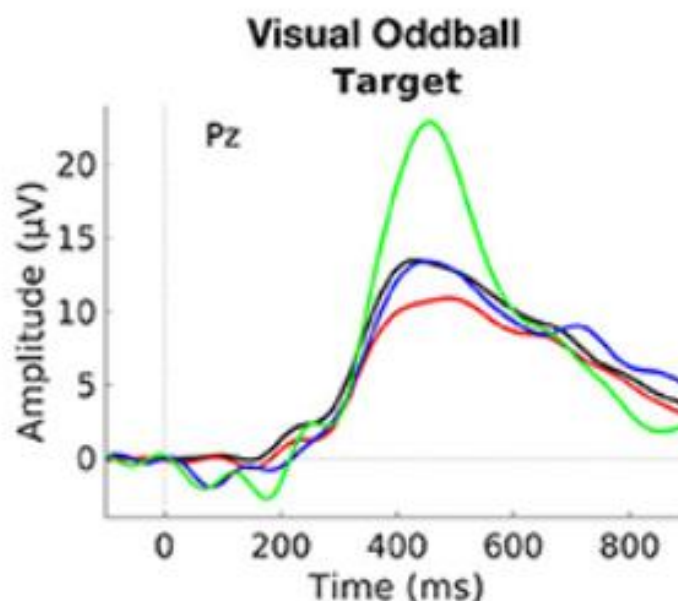
(ه) در زیر، سیگنال ERP به ازای تمام N ‌های خواسته شده، به ترتیب رسم شده است:



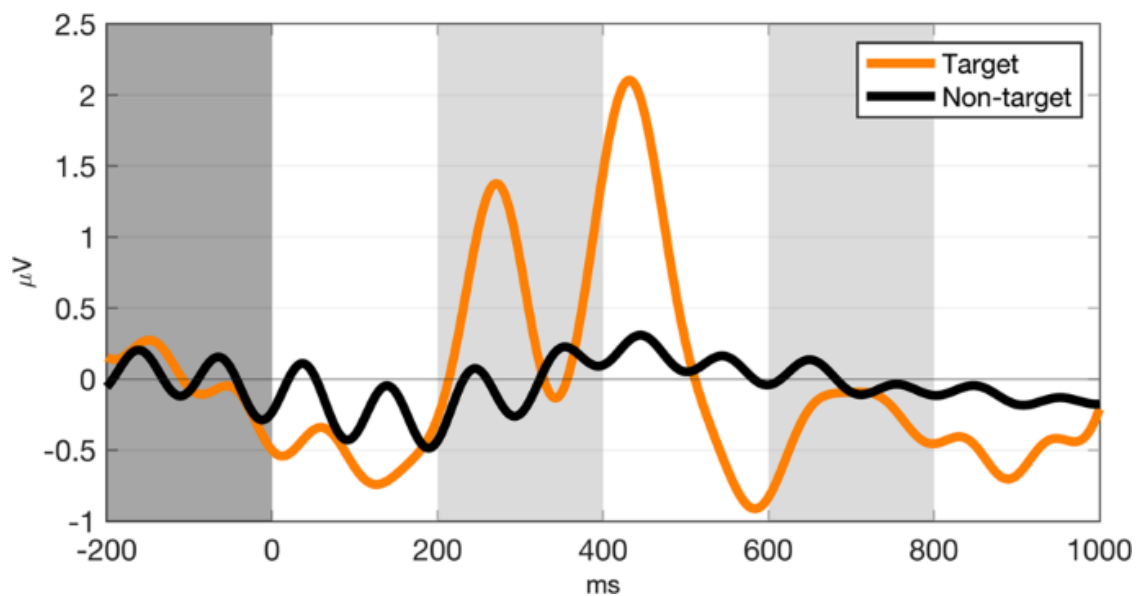
در legend مشخص شده که هر رنگ، نمودار ERP به ازای چه دسته ترایال هایی است. عبارت random به معنای انتخاب رندوم تعداد ترایال مذکور در محاسبه ERP میباشد.

هدف این است که نمودار ERP به ازای $N = 600$ ، چه با انتخاب رندم ترایالها و چه به ترتیب (نمودارهای آبی و بنفش رنگ)، شکل $P300$ ای مشابه با نمودار ERP به ازای تمام ترایالها (نمودار قرمز رنگ) تولید کنند، که در اینجا این شباهت تایید میشود و این سه نمودار در پاسخ $P300$ به خوبی یکدیگر را دنبال میکنند. دو نمودار دیگر که تعداد ترایالشان تنها 200 تا است (زرد و سبز)، فاصله مشهودی با این سه نمودار دارند. پس میتوان گفت $N0 = 600$ انتخاب نسبتاً درستی بوده است.

و) تعداد ترایال مورد نیاز برای مشاهده پاسخ $P300$ ، به مقدار زیادی به نوع تسک دیداری وابسته است. در برخی تسک ها که ساده تر هستند و پردازش کمتری توسط مغز نیاز دارند، حتی با حدود 20 ترایال نیز میتوان به پاسخ $P300$ در سیگنال ERP دست یافت. برای نمونه، سیگنال زیر، یک سیگنال ERP است که حین تسک دیداری ساده ای از نوع oddball بدست آمده است (بدون ثبت هیچ گونه پاسخی توسط شخص). این سیگنال از میانگین گیری روی 15 ترایال بدست آمده است و به راحتی فرم پاسخ $P300$ از آن استخراج شده است:



در یک تسک دیگر که کمی پیچیده تر است، شخص باید از میان حروفی که به سرعت در صفحه نمایشگر نشان داده شده و سپس محو میشوند، یک حرف مشخص را پیدا کند. به دلیل سخت تر بودن تسک، برای مشاهده $P300$ از 40 ترایال استفاده شده است:



دلیل زیاد بودن تعداد تریال مورد نیاز در دیتای داده شده، میتواند پیچیدگی یا سختی تسک بینایی باشد. هرچه مقدار پردازش مورد نیاز توسط مغز بیشتر باشد، برای مشاهده P300 مناسب به تعداد تریال بیشتری نیاز داریم. بعلاوه، تعداد تریال مورد نیاز، فرد به فرد نیز متفاوت است.

رفرنس ها

۱: <https://doi.org/10.3389/fpsy.2021.591127>

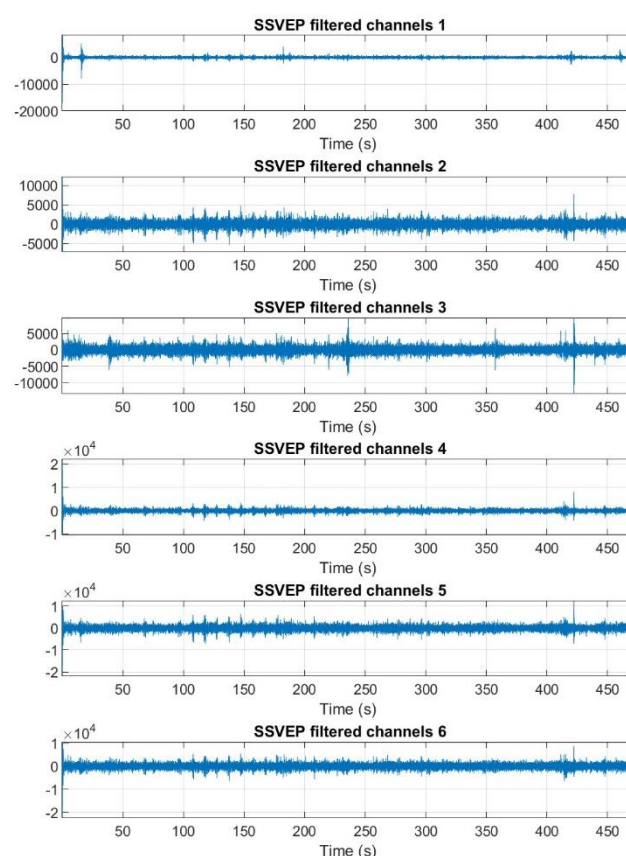
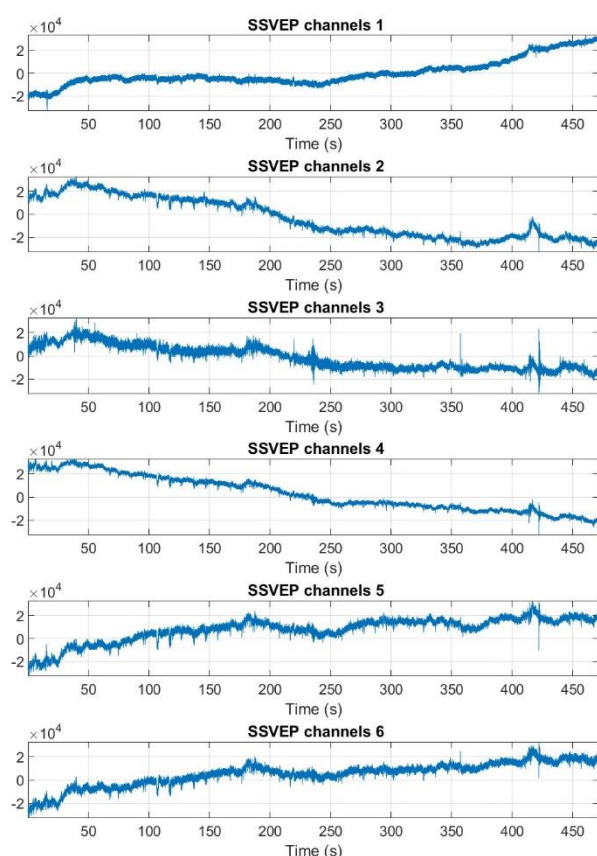
۲: EEG Dataset for RSVP and P300 Speller Brain-Computer Interfaces

سوال ۲:

الف-۱) با استفاده از فیلترهای پایین گذر و بالاگذر باتروورث با درجات متفاوت، هر ۶ کانال را فیلتر می کنیم تا ترکیب این دو فیلتر، فرکانس های بالای ۴۰ هرتز و پایین ۱ هرتز را فیلتر کنند.

```
[b1,a1] = butter(30,40/(fs/2),'low'); % Butterworth lowpass filter of order 30  
[b2,a2] = butter(6,1/(fs/2),'high'); % Butterworth highpass filter of order 6
```

سپس کانال ها را قبل و پس از فیلتر در حوزه زمان رسم می کنیم.

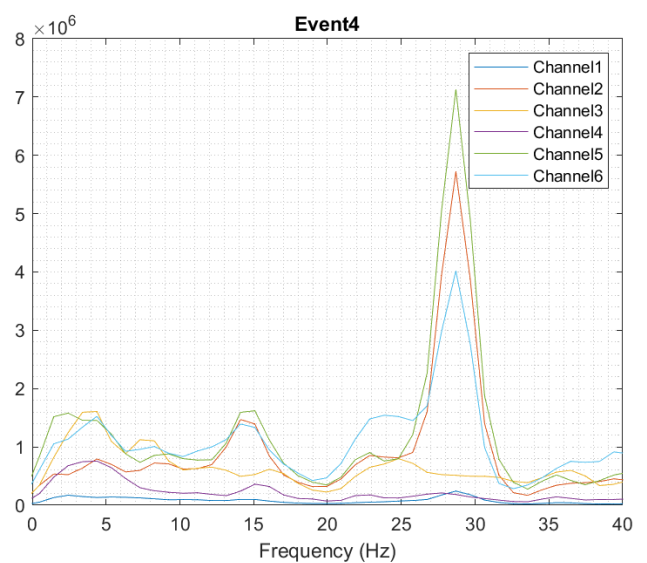
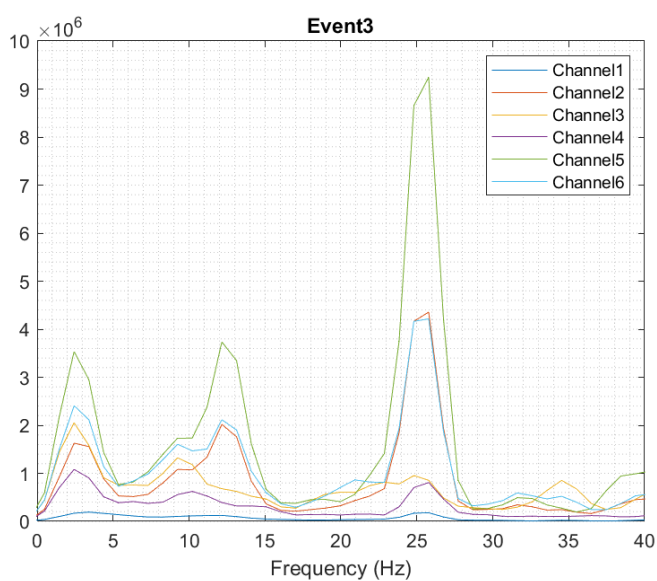
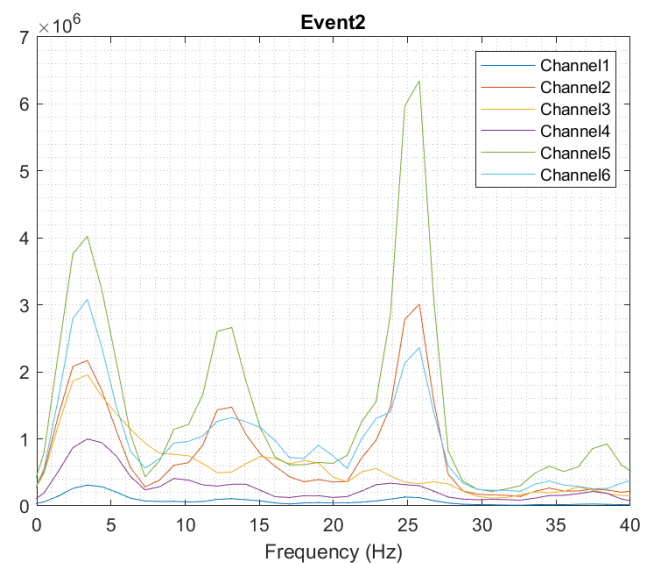
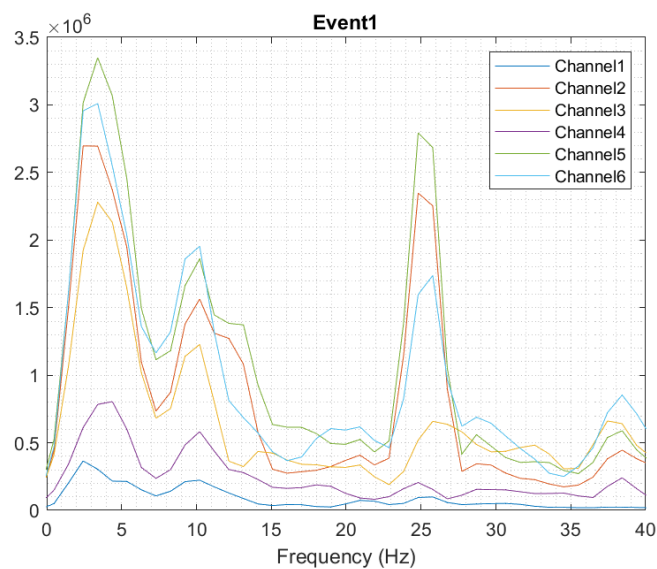


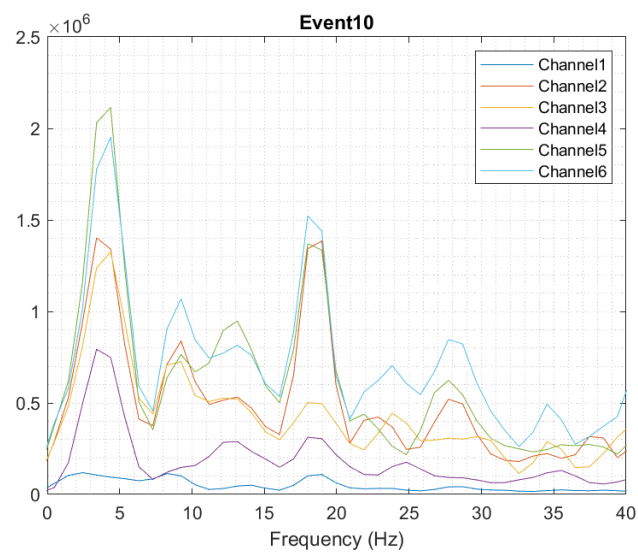
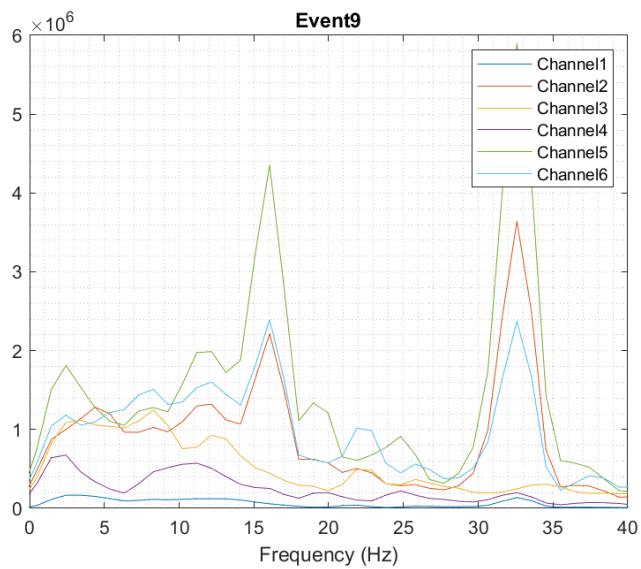
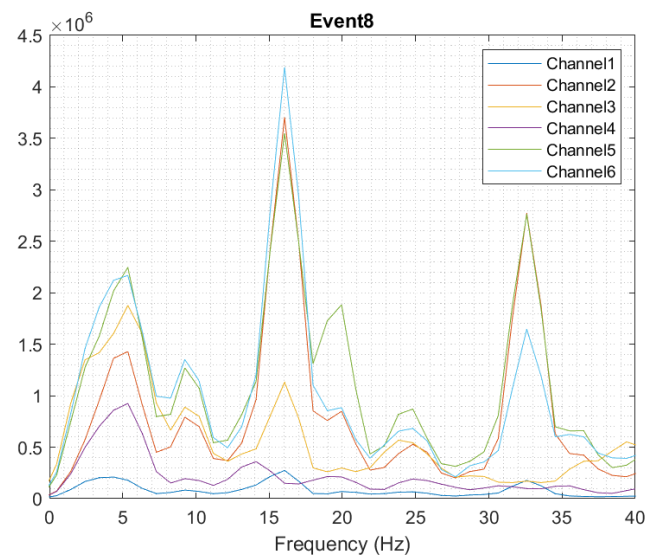
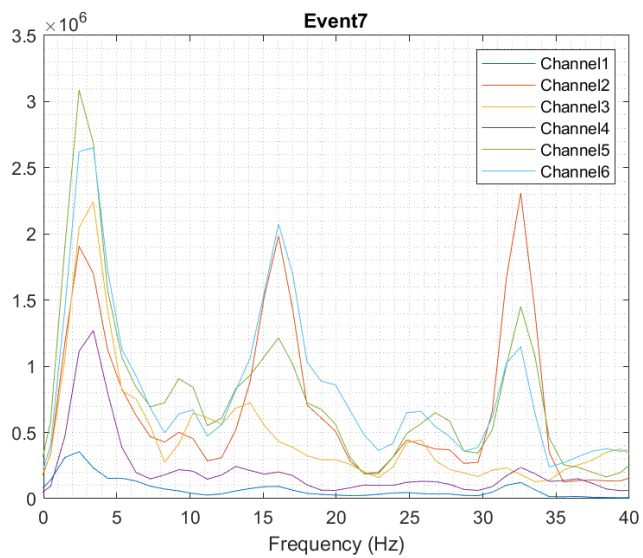
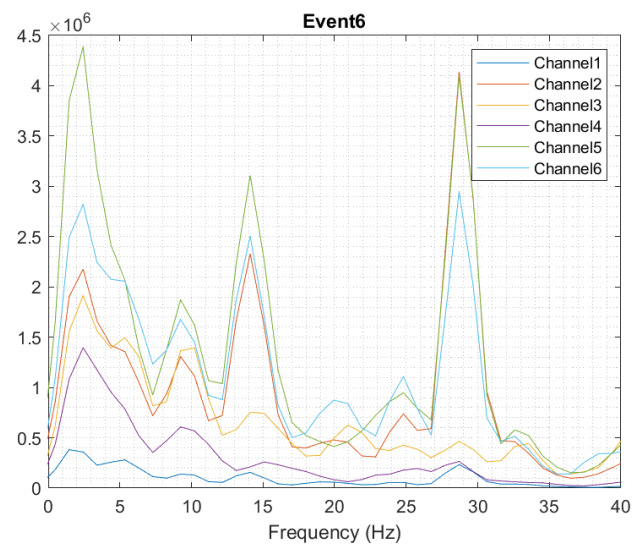
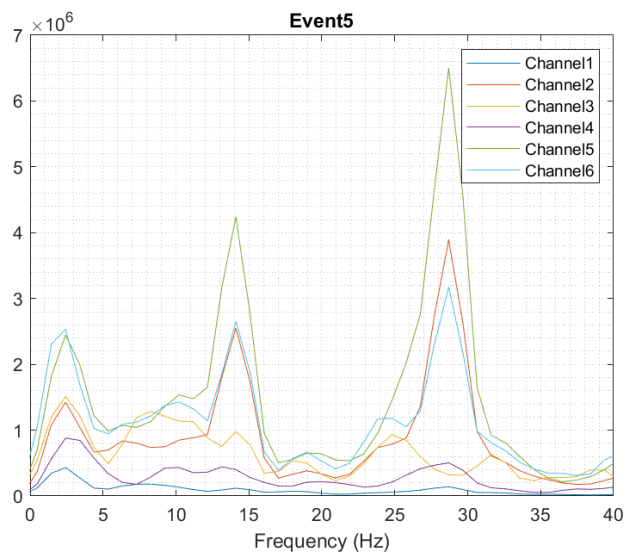
مشاهده می کنیم که فرکانس های بسیار پایین که اتفاقا دامنه بزرگی داشتند حذف شده اند. همچنین فرکانس های بالای ۴۰ هرتز نیز حذف شده اند اما با توجه به حدود ۴۷۰ ثانیه ای بودن پلات رسم شده، این مسئله مشخص نیست.

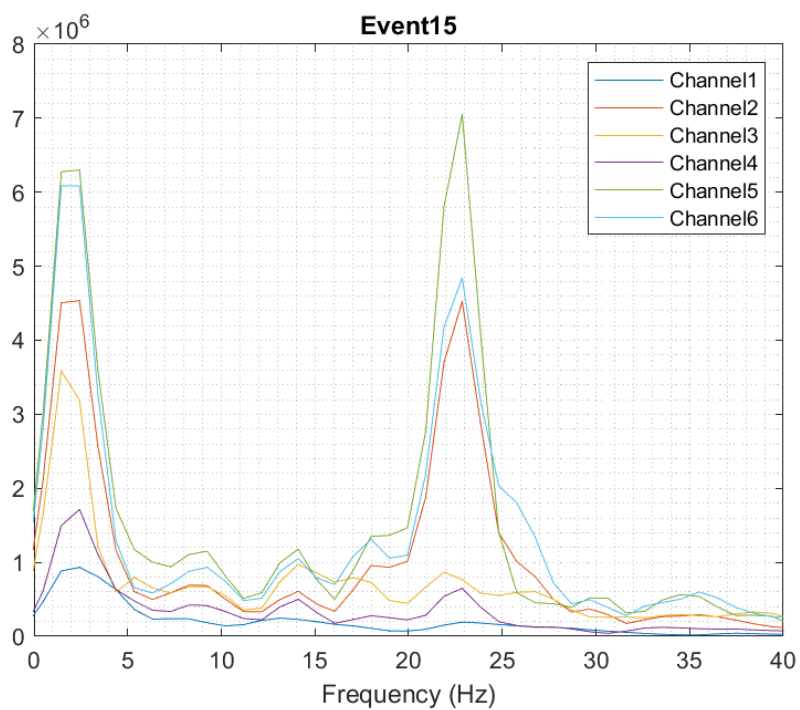
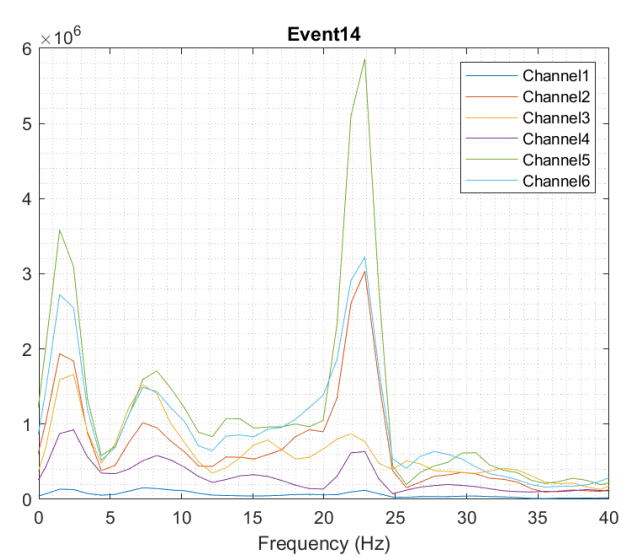
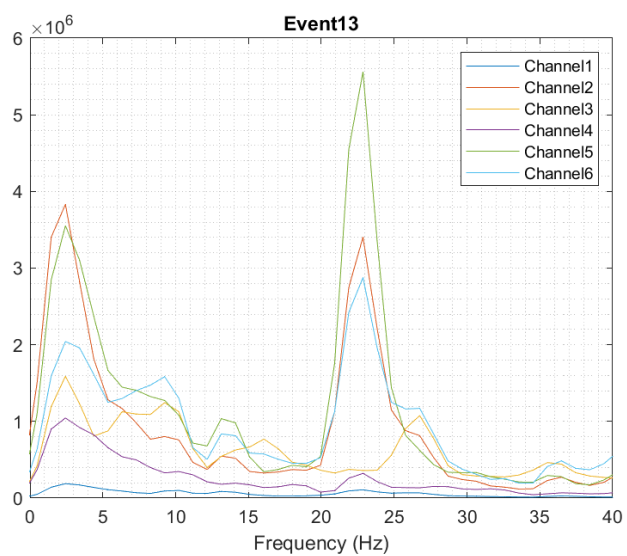
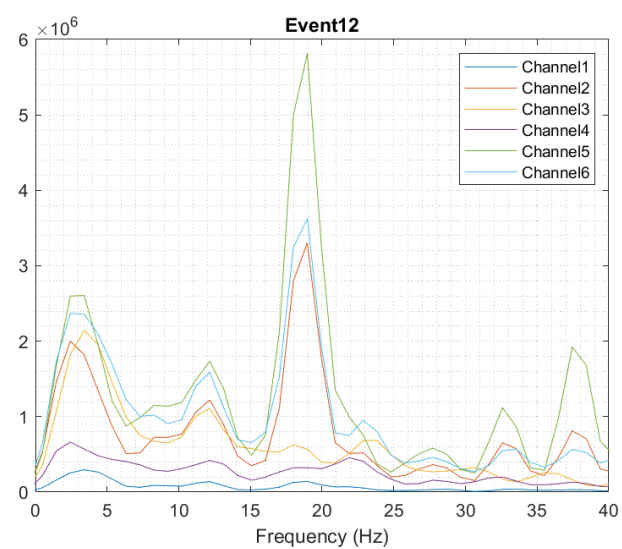
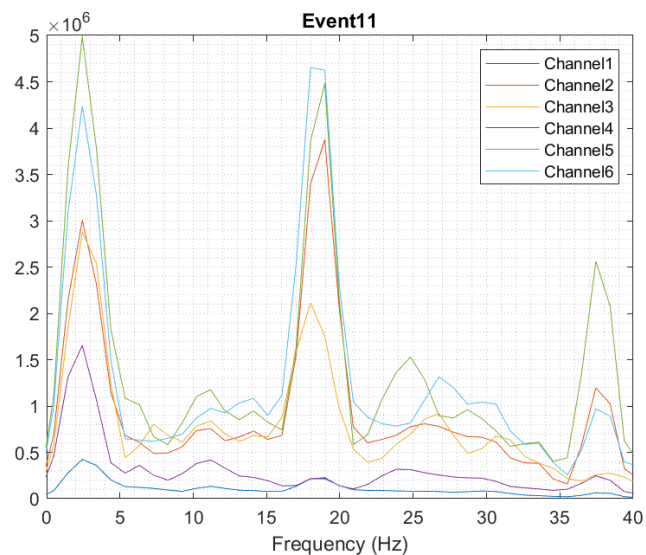
الف-۲) ۱۵ سیگنال ۵ ثانیه ای تحریک را که در سیگنال اصلی بودند، استخراج می کنیم و به وسیله قطعه کد زیر نگه داری می کنیم.

```
for i = 1:6
    for j = 1:15
        events_channels(i,j,:) = filtered_SSVEP_Signal(i,Event_samples(j) +
            1:Event_samples(j) + 5*fs);
    end
end
```

الف-۳) برای هر ۱۵ تحریک که هر کدام ۶ کانال دارد، Pwelch را حساب کرده و ۶ کانال را روی هم رسم می کنیم. ۱۵ تحریک به شکل زیر هستند.







الف-۴)

البته که بستگی به آزمایش دارد اما به طور میانگین، تعدادی از ۶ کانال هستند که محتوای فرکانسی پیک در بعضی فرکانس های بخصوص دارند. بین کانال هایی که در این فرکانس ها پیک دارند نیز تفاوت دامنه دیده می شود. در بعضی از سیگنال ها هم این پیک یا بسیار کم است یا دیده نمی شود. به صورت کلی محتوای فرکانسی کانال ها لزوماً با هم یکسان نیست زیرا که در قسمت های مختلف سر قرار گرفته اند و دریافتی یکسانی ندارند. اما اینطور هم نیستند که کانال ها از یکدیگر پرت باشند و به وضوح می توان فرکانس های پیک زده شده را مشاهده کرد. به نحوی می توان گفت بعضی کانال ها محتوای فرکانسی آزمایش را تعیین کرده و بقیه تاثیر کمتری دارند.

الف-۵)

با استفاده از بررسی محتوای فرکانسی و از طریق پیک های مشاهده شده می توان فرکانس غالب و همچنین هارمونیک های آن را مشاهده کرد. که قله یا قله های اصلی به این دلیل ایجاد شده اند که فرکانس تحریک نیز برابر همان فرکانس یا فرکانس های پیک زده شده بوده است. بقیه قله ها که دامنه کمتری دارند نیز احتمالاً هارمونیک فرکانس غالب باشند و به آزمایش ربطی نداشته باشند. فرکانس غالب به نظر رسیده را در هر آزمایش به صورت تقریبی تعیین می کنیم:

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|
| آز | آز۱ | آز۲ | آز۳ | آز۴ | آز۵ | آز۶ | آز۷ | آز۸ | آز۹ | آز۱۰ | آز۱۱ | آز۱۲ | آز۱۳ | آز۱۴ | آز۱۵ |
| فرک | ۱۳ | ۱۳ | ۱۳ | ۱۴ | ۱۴ | ۱۴ | ۱۶ | ۱۶ | ۱۶ | ۴.۵ | ۱۹ | ۱۹ | ۲۲ | ۲۲ | ۲۲ |

ب-۱)

۱۵ سیگنال ۵ ثانیه ای تحریک را که در سیگنال اصلی بودند، استخراج می کنیم و به وسیله قطعه کد زیر نگه داری می کنیم.

```
for i = 1:6
    for j = 1:15
        events_channels(i,j,:) = filtered_SSVEP_Signal(i,Event_samples(j) +
            1:Event_samples(j) + 5*fs);
    end
end
```

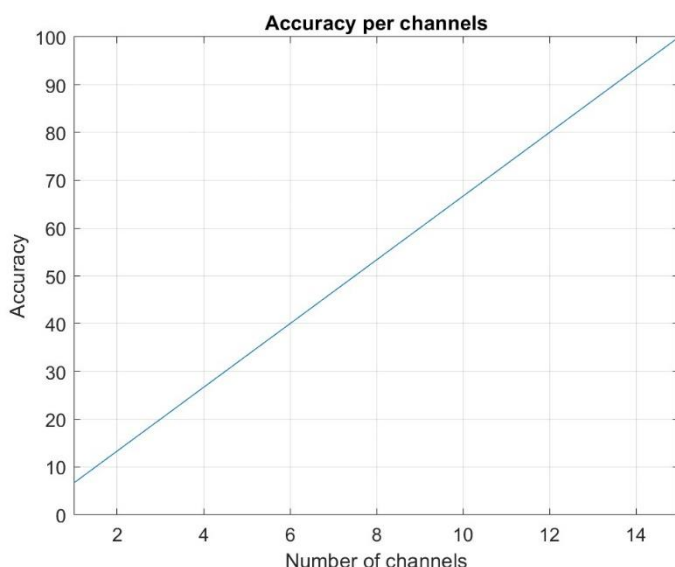
ب-۲) در این بخش ابتدا با توجه به فرکانس های مشخص شده (۶.۵، ۷.۳۵، ۸.۳، ۹.۶، ۱۱.۶۱) ماتریس های سینوسی کسینوسی های متناظر را تولید می کنیم. سپس با استفاده از این ماتریس های تولید شده و کانال های ۱۵ حرکت انجام شده، CCA را اجرا می کنیم.

ماتریس های سینوسی تولید شده هارمونیک فرکانس ها را تا ۴۰ هرتز شامل هستند و پس از هر بار اعمال تابع ccacorr، ضرایب همبستگی کانال های سیگنال اصلی با کانال های ماتریس تولید شده بدست می آیند که از آن ها ماکسیمم گرفته می شود. در نهایت نیز از همان همبستگی ها ماکسیمم نهایی گرفته می شود و مشخص می شود که آن کلاس منطبق با کدام فرکانس تحریک بوده است.

پس از پیدا کردن همبستگی همه ۱۵ کلاس، لیبل های پیش بینی شده با لیبل های واقعی مقایسه می شوند که دقت ۱۰۰ درصدی را می دهد.

"Accuracy of CCA is : ۱۰۰"

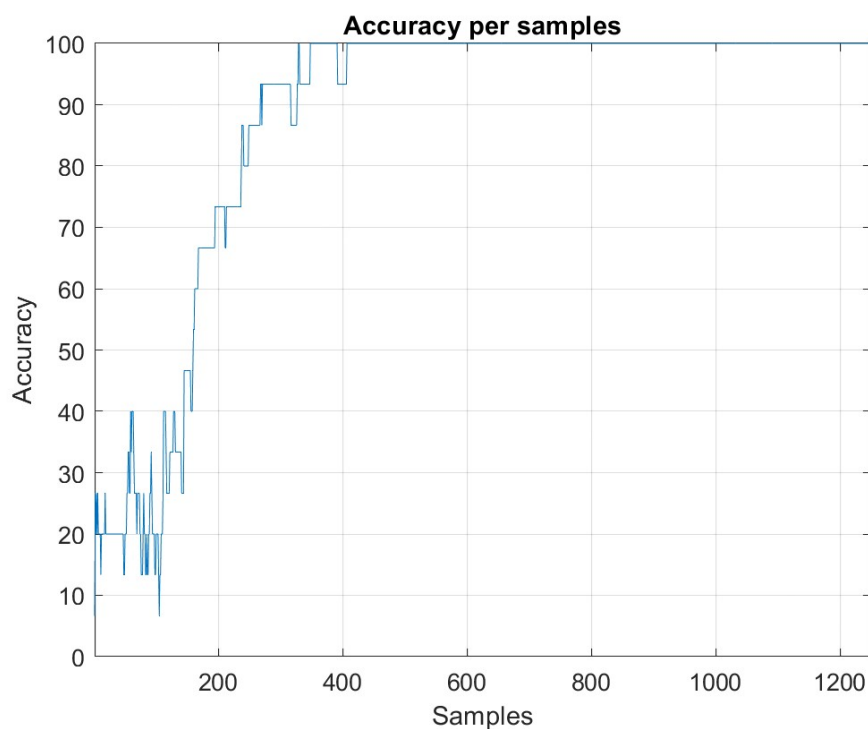
ب-۳) در این بخش CCA را برای تعداد کانال های مختلف از ۱ تا ۱۵ بررسی می کنیم و دقت را مورد سنجش قرار می دهیم.



مشاهده می کنیم که میزان دقت با تعداد کانال های استفاده شده در CCA رابطه خطی دارد.

پس نمی توان همان صحت را حفظ کرد و این صحت کاهش پیدا می کند.

ب-۴) در این بخش CCA را برای تعداد نمونه های زمانی مختلف بررسی می کنیم و دقت را مورد سنجش قرار می دهیم.



همانطور که مشاهده می شود تا حدود ۴۰۰ نمونه زمانی، دقت لزوماً ۱۰۰ درصد نیست اما اگر بالاتر از آن و تا ۱۲۵۰ باشد دقت ۱۰۰ درصد است. از ۴۰۰ نمونه تا ۱ نمونه هر چه کمتر می شود می توان گفت که دقت کاهش پیدا می کند. با کاهش طول پنجره تا یک لیمیتی می توان دقت را حفظ کرد اما اگر کمتر شود دقت نیز کمتر می شود.

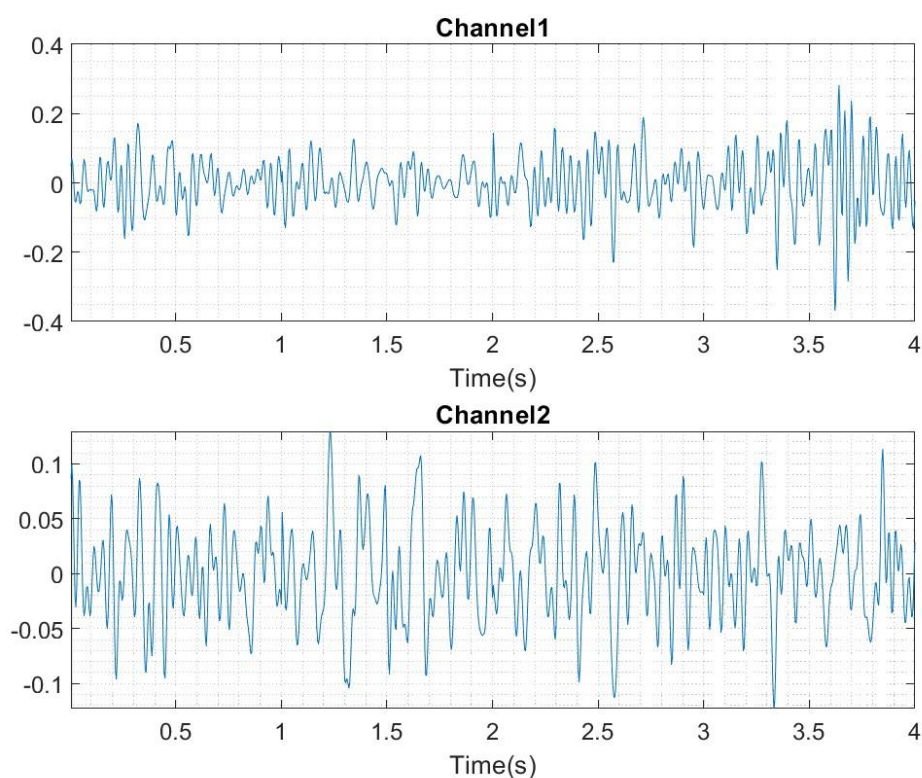
سوال ۱:

الف) در ابتدا میانگین داده های آموزشی و آزمون را ۰ می کنیم. سپس با جدا کردن داده های هر کلاس، جمع کوواریانس مرتبه های تکرار هر کلاس را بدست می آوریم تا با آن کسری را بسازیم که می خواهیم ماکسیمم کنیم. این کسر را با استفاده از GEVD می توانیم مکس کنیم و W ای که آن را مکس می کند بدست آوریم. از این W می توان در فیلتر کردن داده ها به جهت ماکسیمم امکان جداسازی واریانس کانال ها به عنوان ویژگی در داده ها برای طبقه بندی استفاده کرد.

برای اینکار تعداد برابری فیلتر از ابتدا و انتهای W جدا می کنیم و W_{csp} را می سازیم. با ضرب کردن ترانهاده این ماتریس در ماتریس مشاهدات، ماتریس فیلتر شده ای بدست می آید که راحت تر می تواند کلاس ها را طبقه بندی کند.

در اینجا پس از بدست آوردن W صرفا بردار اول و آخر آن را برمی داریم زیرا که این بردارها کسر حساب شده را مکس و مین می کنند. اینگونه واریانس کلاس های ۱ و ۲ جداشونده تر می شوند.

سیگنال فیلتر شده آموزش را حساب و سپس ۴ نمونه تست (۴ ثانیه) از آن را رسم می کنیم.



همانطور که مشخص است چیز زیادی نمی توان از حوزه زمان متوجه شد. ۲ ثانیه اول مربوط به کلاس ۰ و ۲ ثانیه دوم مربوط به کلاس ۱ هستند. شاید بتوان گفت اگر در کانال ۱ بنگریم، سیگنال در زمان مربوط به کلاس ۰ تضعف شده و کلاس ۱ دامنه بیشتری دارد و مهار نشده است. شاید اگر داده ها را با Scatter نشان می دادیم قابلیت جدا سازی از طریق واریانس این دو کانال بهتر دیده می شد.

ج) در این بخش ابتدا داده های آموزش را به ۴ بخش حاوی ۴۱ تریال تقسیم می کنیم. می خواهیم با استفاده از تکنیک ۴-fold-classification سه مجموعه داده را برای آموزش و ۱ مجموعه را برای تست استفاده کنیم و جایگشت آن ها را نیز انجام دهیم.

پس از آنکه به ۴ بخش تقسیم کردیم، داده های تست و ترین در همه جایگشت ها را بدست آورده و توسط فیلتر CSP ای که از داده های آموزش هر جایگشت بدست می آید، هر دو را فیلتر می کنیم. به عبارتی ۴ دسته دیتای ترین فیلتر شده و ۴ دسته دیتای تست فیلتر شده داریم که هر کدام توسط فیلتر مخصوص خودشان فیلتر شده اند.

در بخش بعد لوگاریتم واریانس همه کانال های هر تریال را به عنوان ویژگی محاسبه می کنیم و بر روی همه مجموعه داده ها اعمال می کنیم. ماتریس ویژگی های بدست آمده برای هر مجموعه، به تعداد تریال ها سطر و به تعداد کانال های فیلتر شده ویژگی واریانسی دارد.

با استفاده از مجموعه داده های ترین و لیبیل های آن ها، ۴ مدل KNN یا همان طبقه بند k نزدیک ترین همسایه را ترین می کنیم. در نهایت پس از ترین شدن با مجموعه آموزش، داده های تست را به مدل می دهیم تا داده های تست لیبیل بخورند.

پس از لیبیل خوردن همه مجموعه های تست، به وسیله لیبیل های مجموعه تست که خود جزوی از مجموعه آموزش اولیه بودند، می توانیم دقت طبقه بند را محاسبه کنیم. در نهایت از ۴ دقت بدست آمده، میانگین گرفته و به عنوان دقت نهایی گزارش می کنیم.

در قسمتی از سول بیان شده که بهترین تعداد فیلتر را بدست آورید. برای اینکار تعداد فیلتر را به صورت زوج از ۲ تا ۳۰ تغییر می دهیم و برای هر تعداد فیلتر، فرایند های بالا را تکرار می کنیم و دقت هارا محاسبه می کنیم. در نهایت بهترین میانگین دقت را پیدا کرده و بهینه ترین فیلتر را نیز گزارش می کنیم.

با استفاده از فیلتر CSP و طبقه بند KNN با ۷ همسایگی، دقت و بهترین تعداد فیلتر به شرح زیر بوده است:

Maximum accuracy is = ۸۱.۰۹۷۶% with ۱۱ filters.

دقت بسیار خوب ۸۱ درصد را داده است. همچنین تعداد ۱۱ زوج فیلتر به عنوان بهینه ترین تعداد فیلتر بدست آمده ست.

د) با استفاده از مدل طبقه بند استفاده شده در بخش قبل و تعداد فیلتر ۱۱، ابتدا با داده های آموزش فیلتر را بدست می آوریم. سپس هر دو دیتای آموزش و آزمون را فیلتر می کنیم. از هر دو دیتا فیچر بدست می آوریم و با داده های آموزش و لیبیل هایش، طبقه بند را ترین می کنیم. در نهایت داده های تست را به مدل می دهیم و لیبیل های پیش بینی شده از هر تریال داده های آزمون را ذخیره می کنیم.