

بسم تعالی



آزمایشگاه پردازش سیگنال ها و تصاویر پزشکی

گزارش آزمایش ۴ : الگوهای سیگنال EEG و روش های تشخیص آن ها

امیرحسین زاهدی ۹۹۱۰۱۷۰۵

آرشام لولوهری ۹۹۱۰۲۱۵۶

پاییز ۱۴۰۲

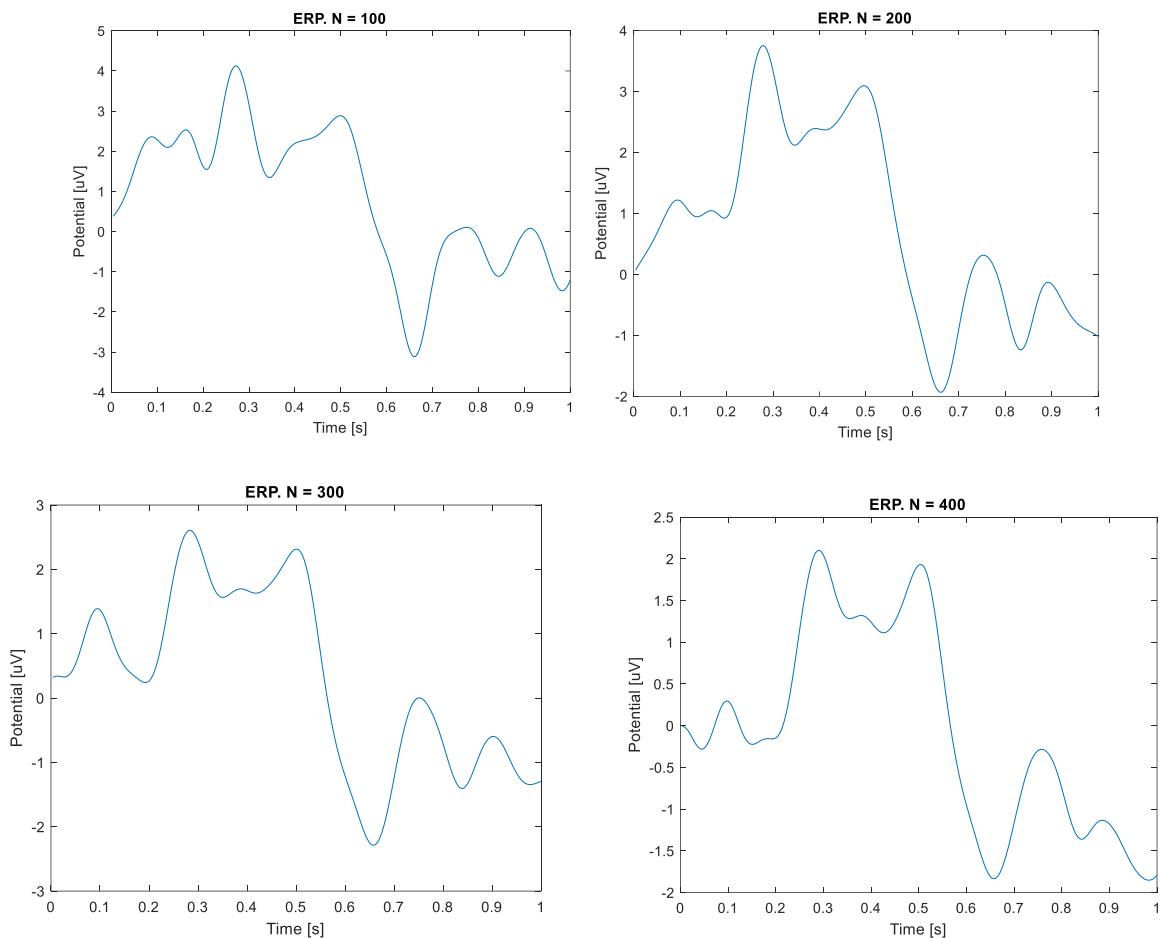
## بخش اول: پتانسیل وابسته به رخداد

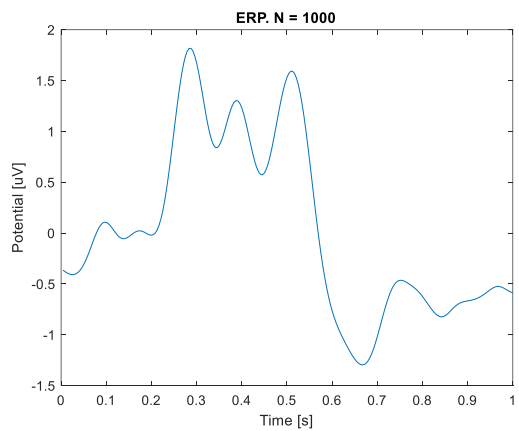
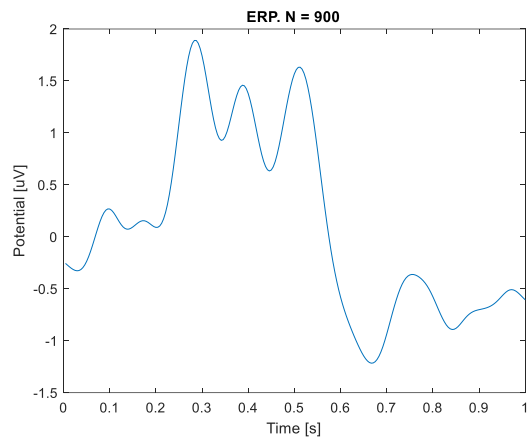
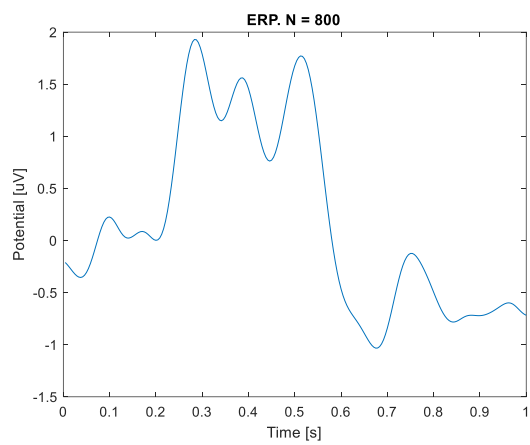
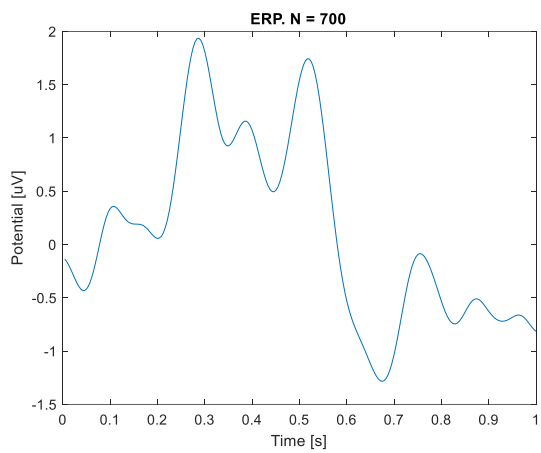
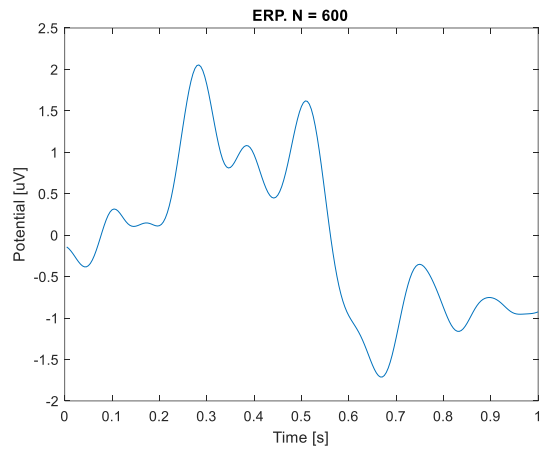
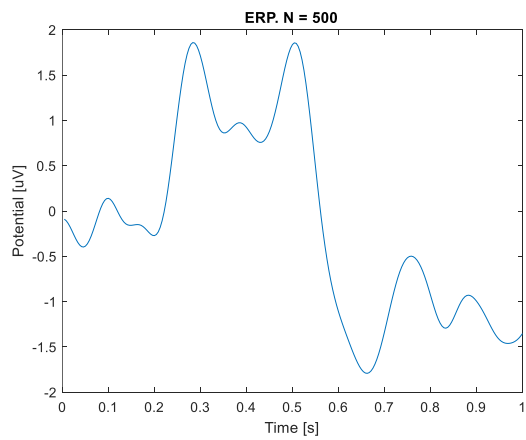
فایل کد این بخش: Lab4\_part1.m

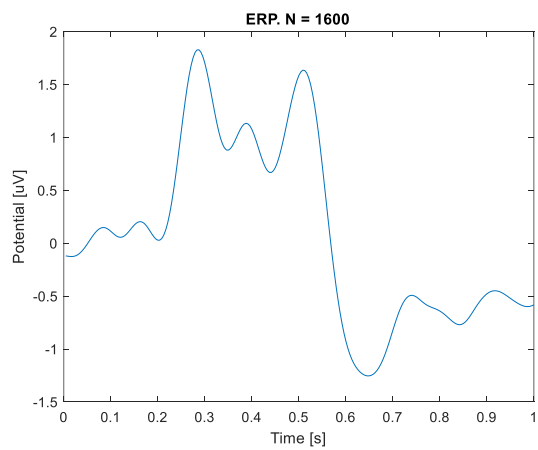
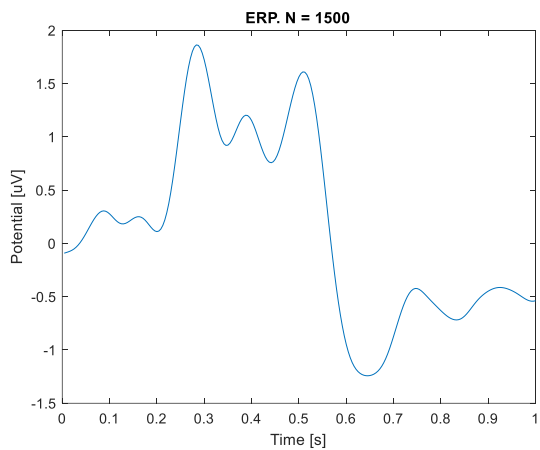
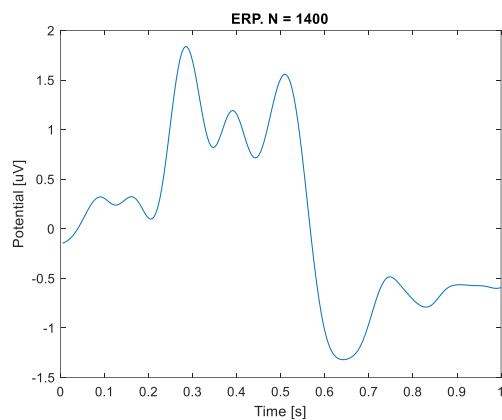
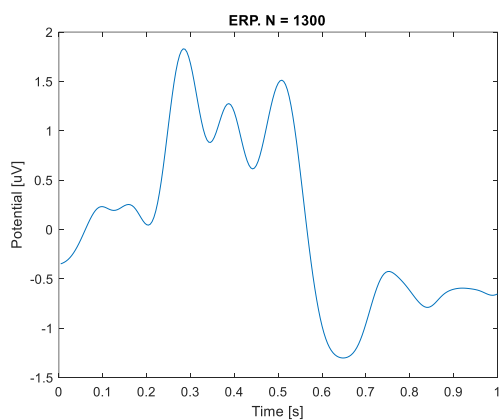
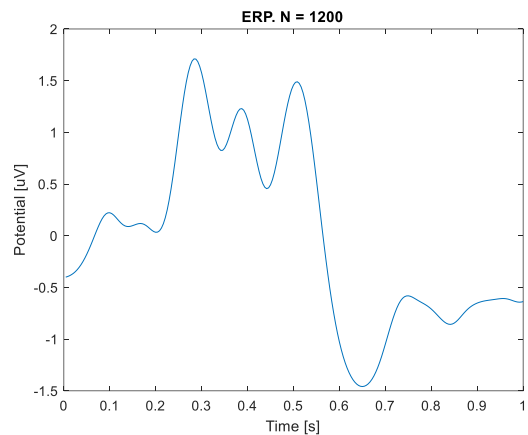
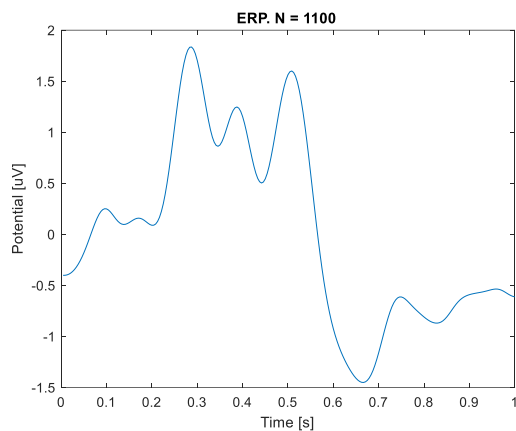
(الف)

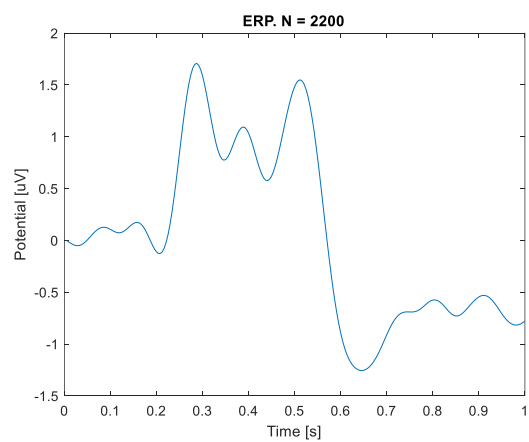
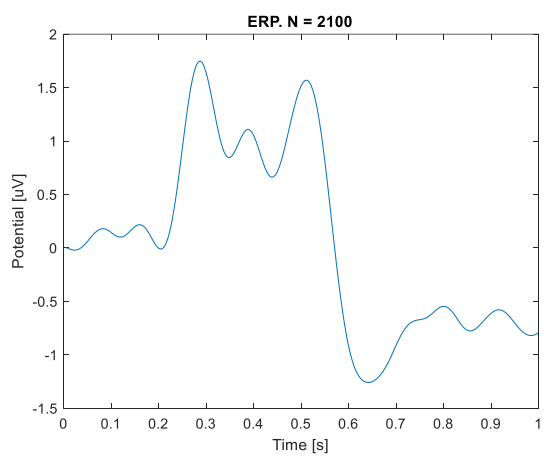
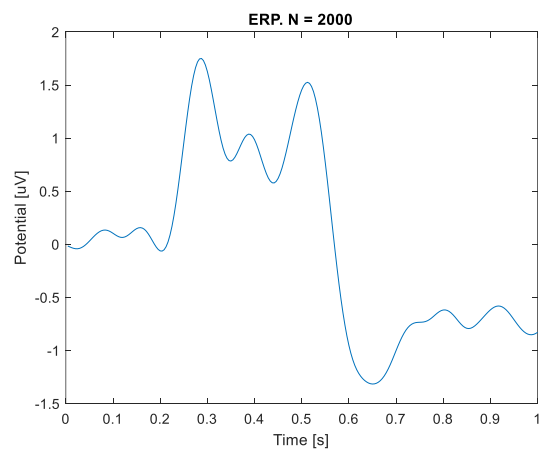
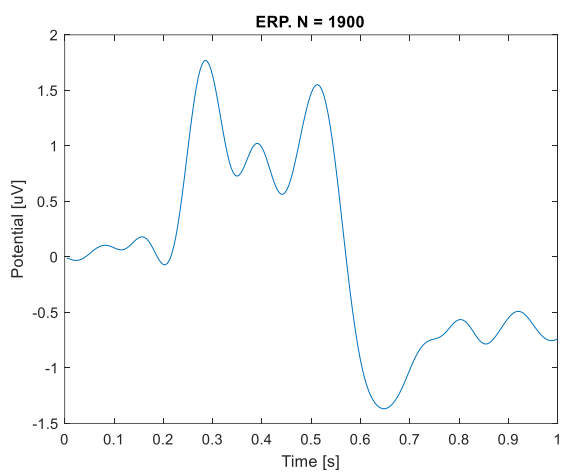
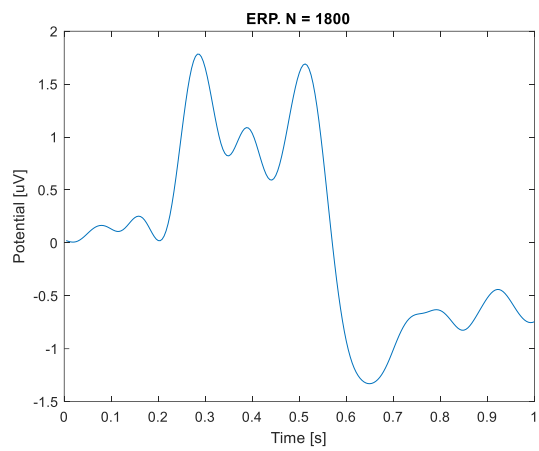
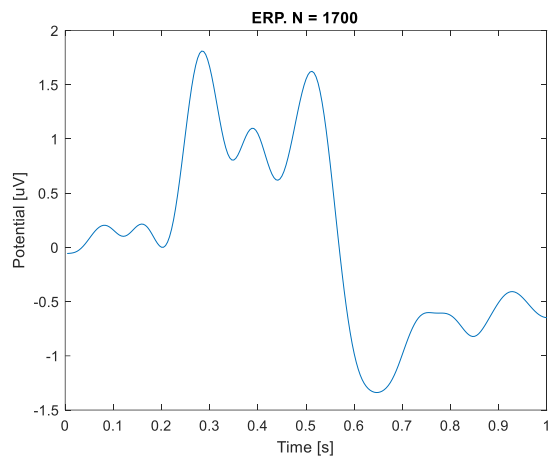
کد این قسمت در سکشن اول از فایل آمده است.

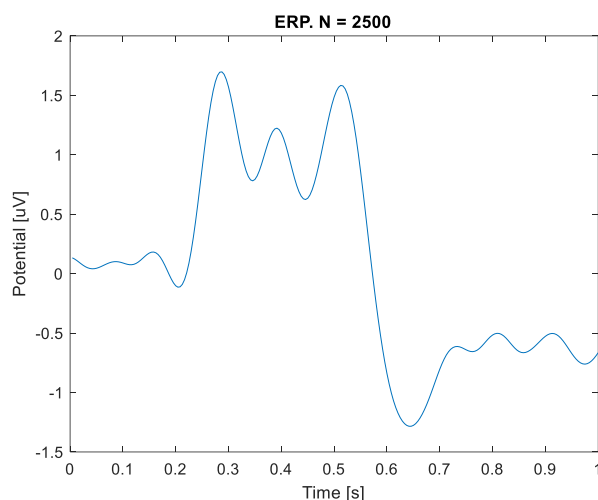
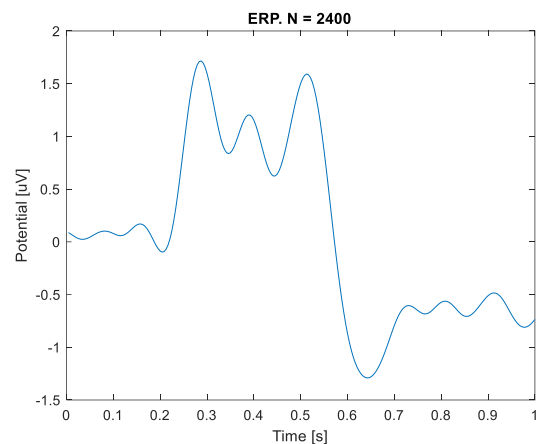
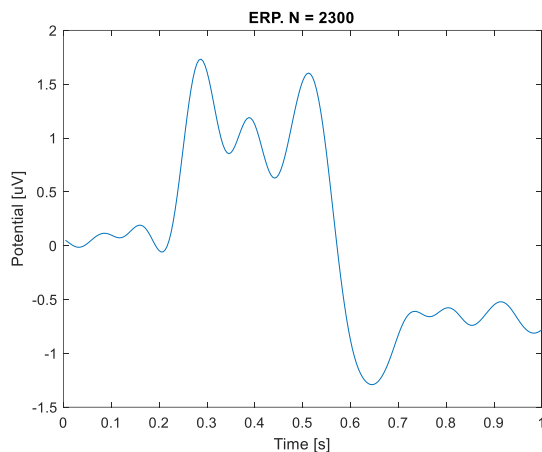
به ازای 25 مقدار مختلف برای  $N$ ، به 25 نمودار زیر میرسیم:









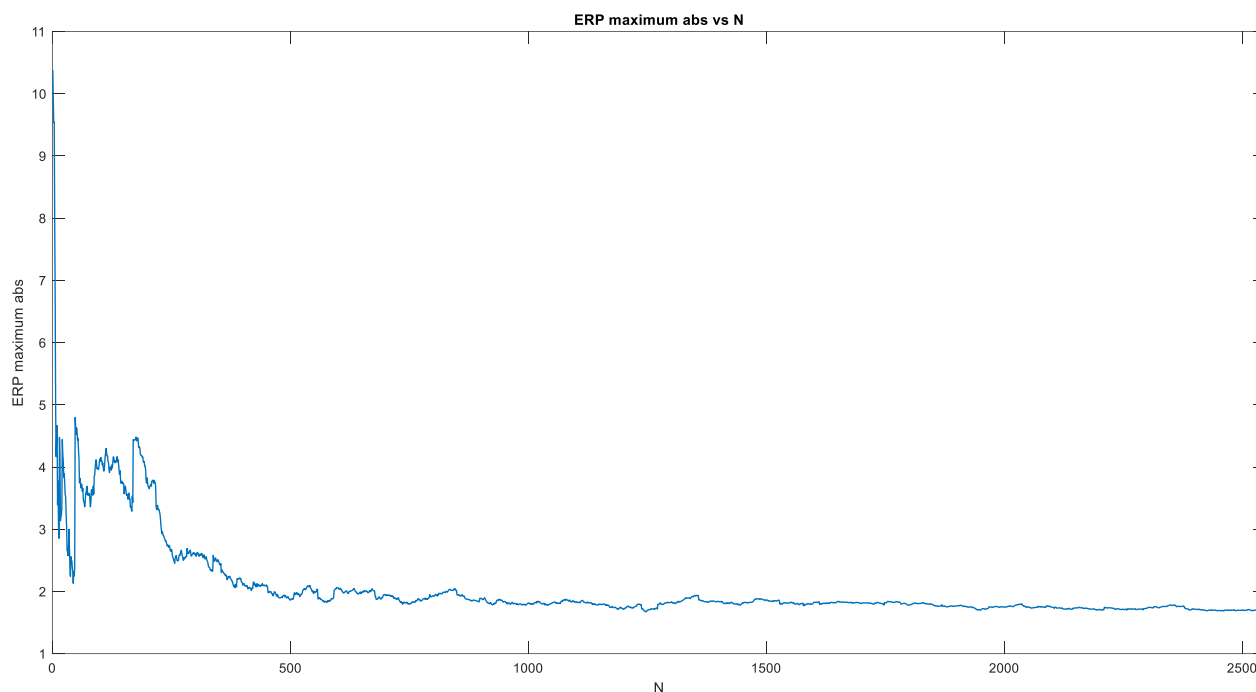


مشاهده میکنیم که شکل و الگوی سیگنال ERP، به تدریج با افزایش N پدیدار میشود و فرم کامل خود را پیدا میکند. بعنوان مثال، در  $N=100$ ، اصلی ترین مشخصه ها، دو ماکزیمم محلی هستند که یکی در حدود 300ms و دیگری در حدود 500ms بعد از شروع تحریک رخ داده است و البته دامنه ی دومی کمتر است. با افزایش N تا 400، دامنه 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).

(ب)

کد این قسمت در section دوم از فایل آمده است.

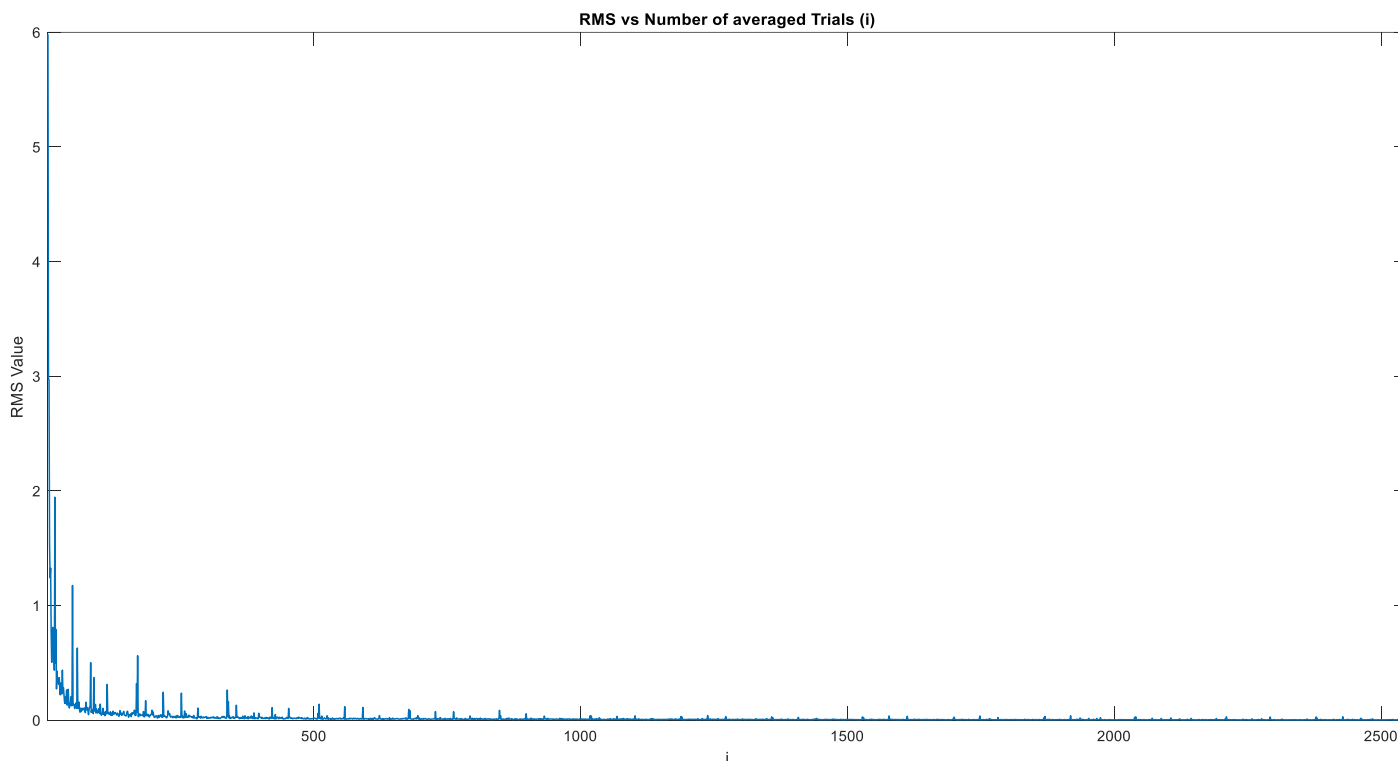
ماکزیمم قدر مطلق سیگنال برحسب مقدار  $N$  (تعداد trial های میانگین گیری شده برای محاسبه ERP) در زیر رسم شده است:



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 2500، اضافه شدن یک تریال تقریباً تاثیر 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)

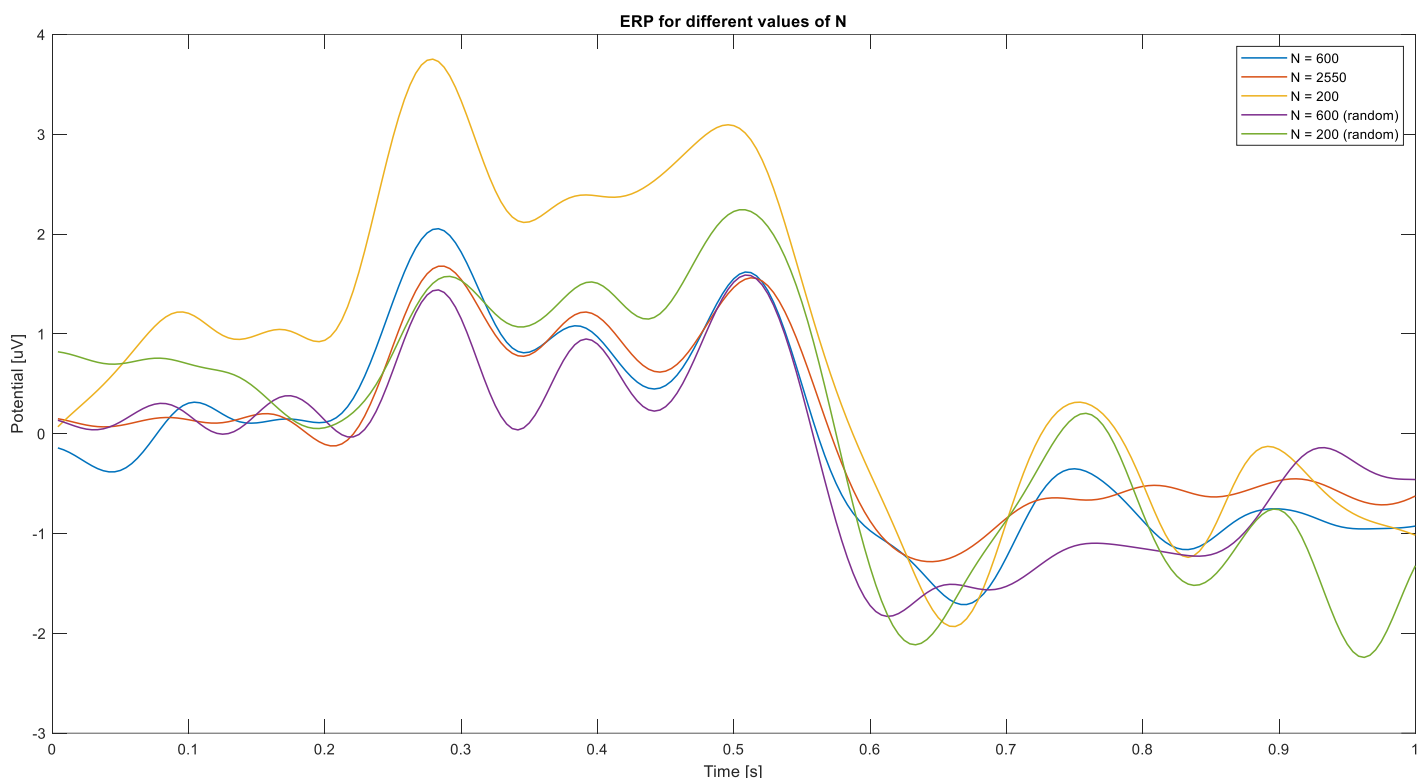
باید بدنبال N0 ای باشیم که به ازای آن، سیگنال ERP شباهت خوبی به ERP نهایی دیتا (با 2550 ترايال) باشد، قدر مطلق ماکزیمم دامنه سیگنال (که همان مقدار سیگنال در P300 است) تقریباً با این مقدار در  $N=2550$  برابر باشد، و مقدار RMS نیز در آن تقریباً به صفر میل کند.

با توجه به اینکه بدنبال حداقل تعداد ترايال هستیم،  $N0 = 600$  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  $N0$  پدیدار شده است و میتوان گفت پاسخ فرم اصلی پاسخ P300، شکل گرفته است. از طرفی دامنه ی پیک P300 طبق بخش ب، در  $N0=600$  شباهت خوبی به دامنه نهایی این پیک دارد. در نهایت طبق نمودار بخش ج، RMS خطا به ازای این تعداد ترايال، ناچیز و در حدود 0.01 است که نشان میدهد سیگنال ERP به ثبات خوبی رسیده است.

البته بسته به اینکه برای ما، کمینه کردن تعداد ترايال مهمتر باشد یا دقت بالاتر در استخراج P300، انتخاب  $N0$  میتواند متفاوت شود. برای مثال اگر شباهت بسیار بالای P300 هدف اصلی ما باشد، طبق نمودار بخش ب، میتوان  $N0$  را در حدود 1000 قرار داد تا از شباهت پیک P300 به پیک نهایی مطمئن شویم. اما ما فعلاً در یک مصالحه، همان  $N0 = 600$  را انتخاب میکنیم.

(ه)

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

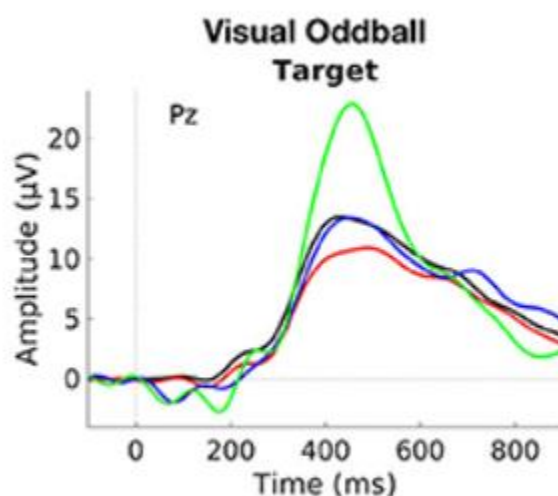


در legend مشخص شده که هر رنگ، نمودار ERP به ازای چه دسته ترایال هایی است. عبارت random به معنای انتخاب رندوم تعداد ترایال مذکور در محاسبه ERP میباشد.

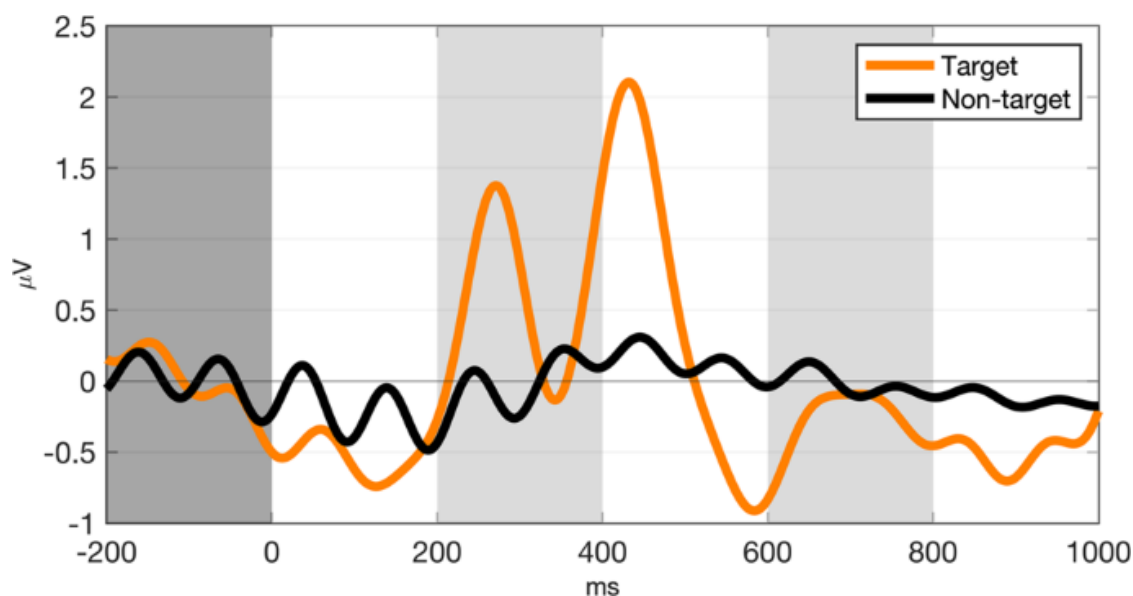
هدف این است که نمودار ERP به ازای  $N = 600$ ، چه با انتخاب رندم ترایالها و چه به ترتیب (نمودار های آبی و بنفش رنگ)، شکل P300 ای مشابه با نمودار ERP به ازای تمام ترایالها (نمودار قرمز رنگ) تولید کنند، که در اینجا این شباهت تایید میشود و این سه نمودار در پاسخ P300 به خوبی یکدیگر را دنبال میکنند. دو نمودار 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).<sup>1</sup> 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.<sup>2</sup>



دلیل زیاد بودن تعداد ترايال 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 ترايال بیشتری نیاز داریم. بعلاوه، تعداد ترايال مورد نیاز، فرد به فرد نیز متفاوت است.

رفرنس ها

**1:** <https://doi.org/10.3389/fpsyt.2021.591127>

**2:** EEG Dataset for RSVP and P300 Speller Brain-Computer

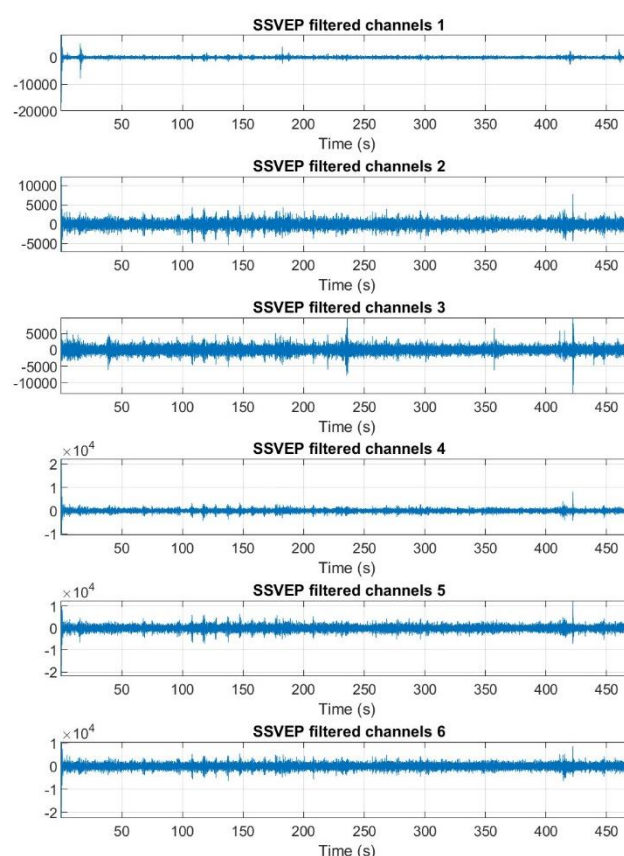
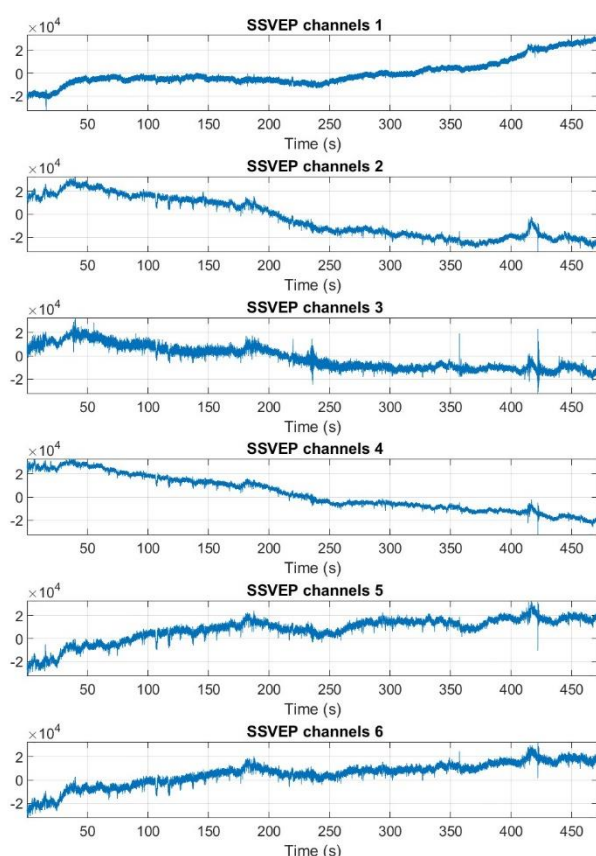
Interfaces

## بخش دوم: پتانسیل برانگیخته بینایی حالت دائم

الف) 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.

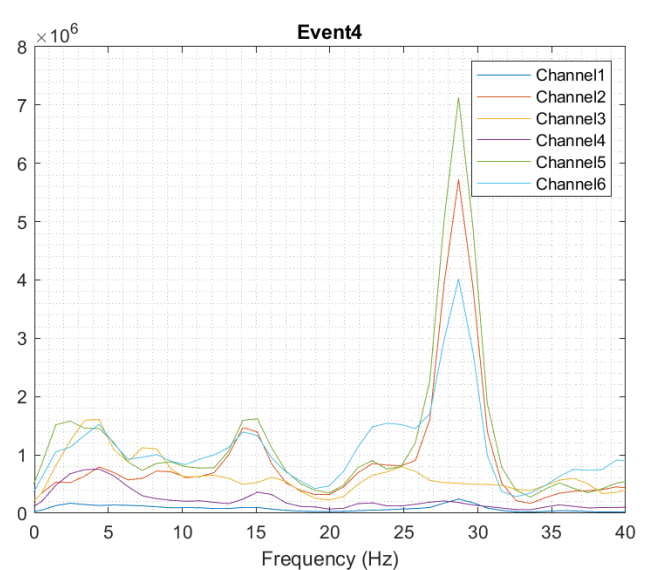
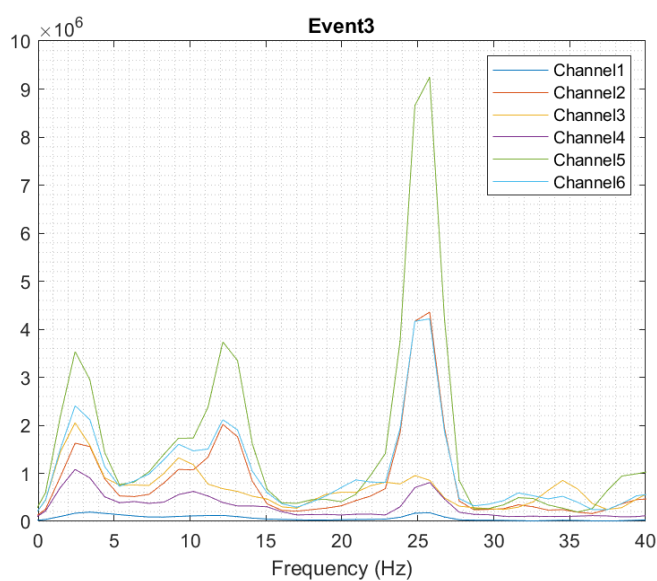
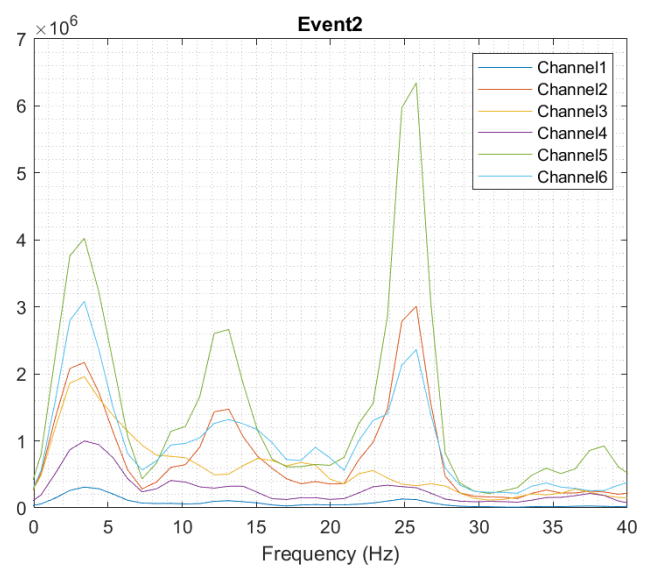
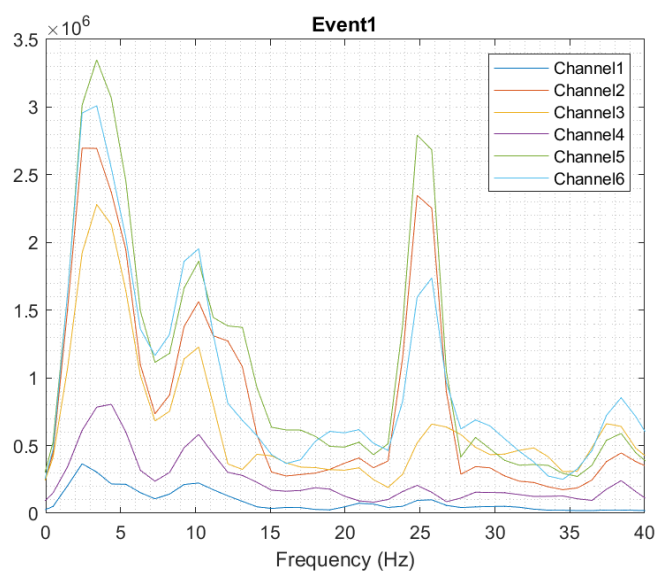


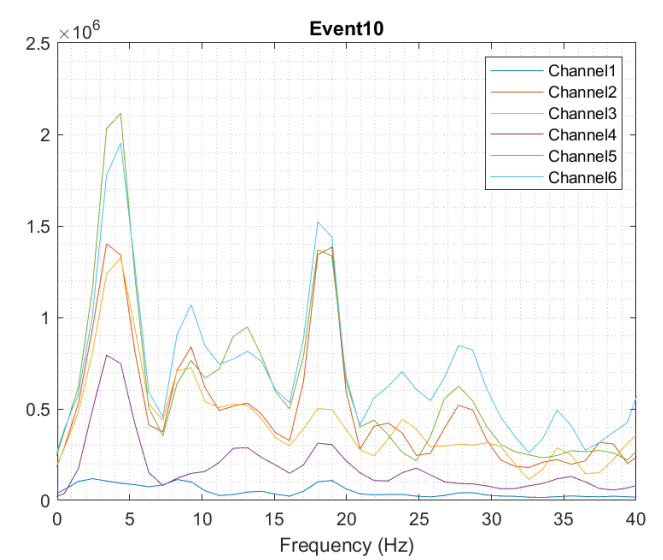
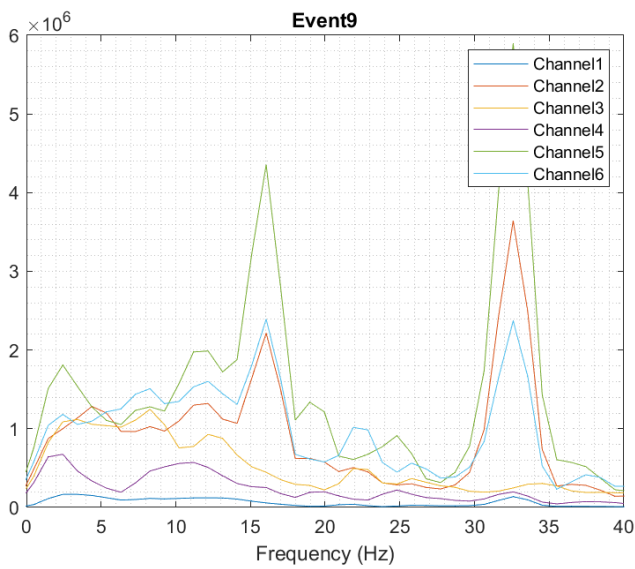
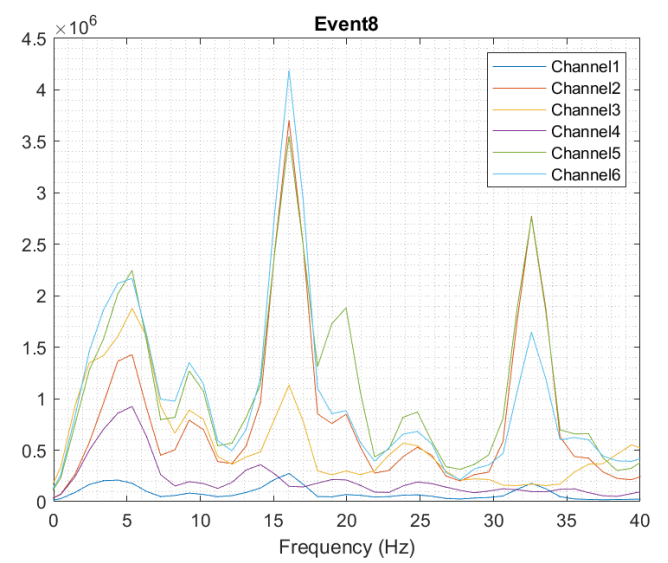
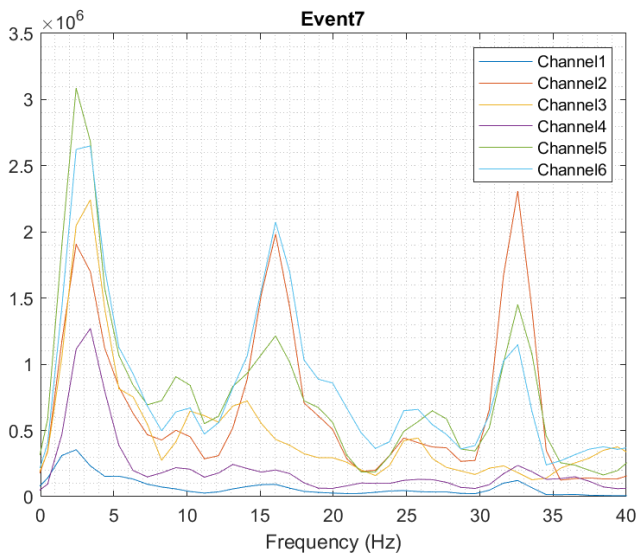
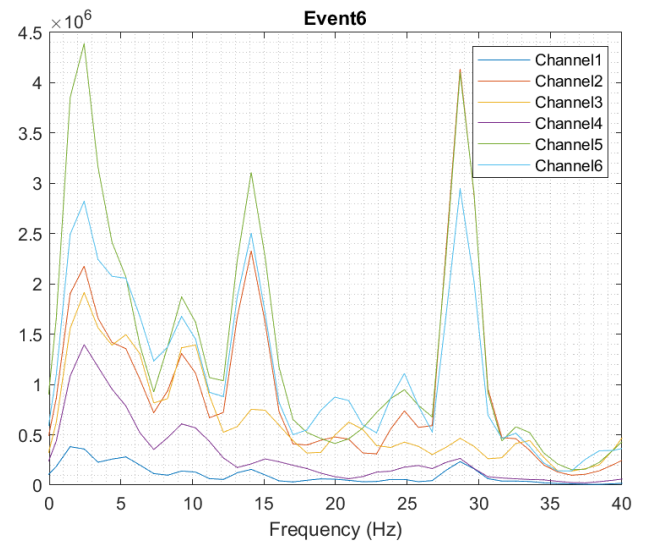
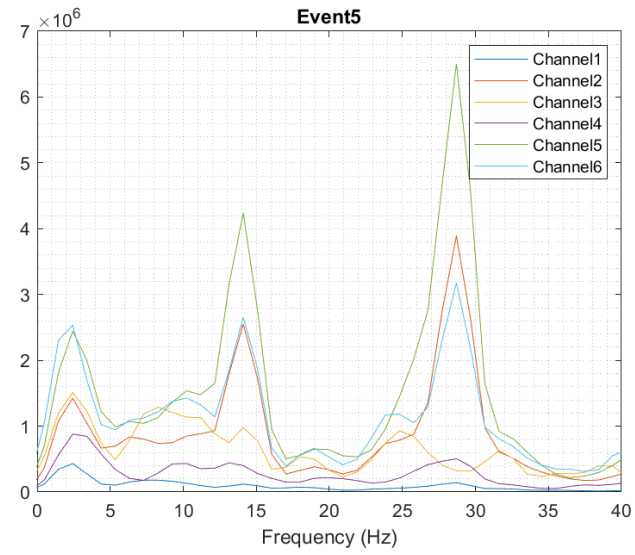
مشاهده می کنیم که فرکانس های بسیار پایین که اتفاقا دامنه بزرگی داشتند حذف شده اند. همچنین فرکانس های بالای ۴۰ هرتز نیز حذف شده اند اما با توجه به حدود ۴۷۰ ثانیه ای بودن پلات رسم شده، این مسئله مشخص نیست.

ب) 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.

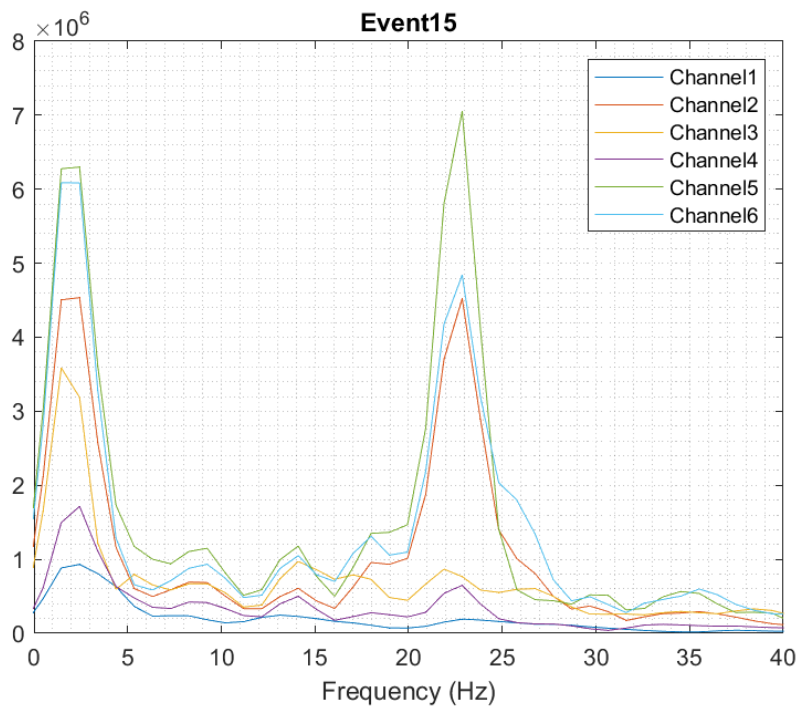
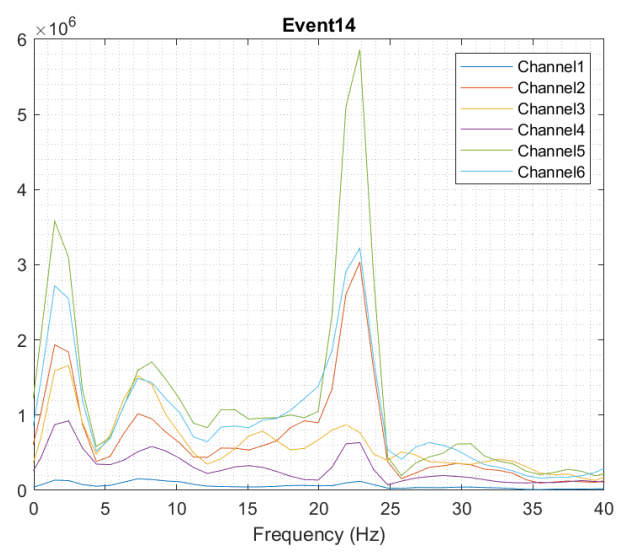
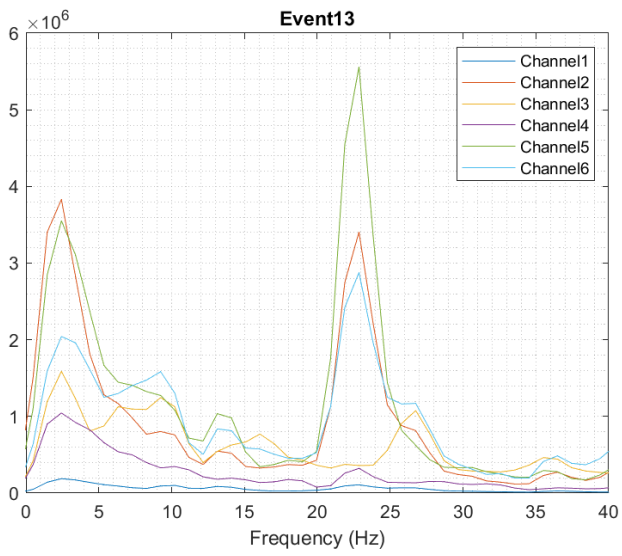
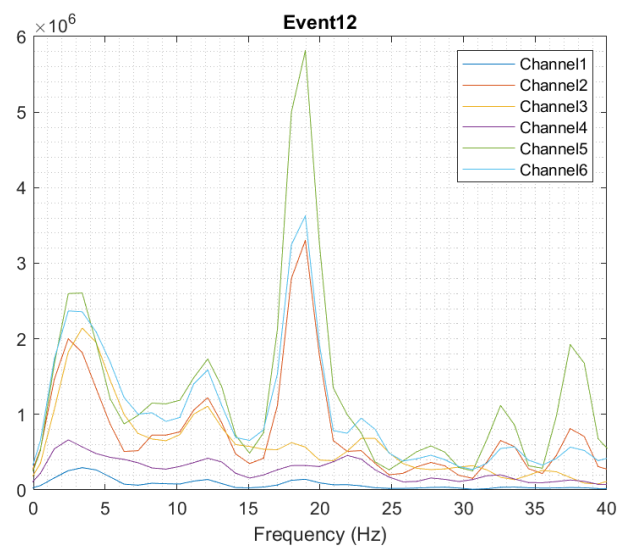
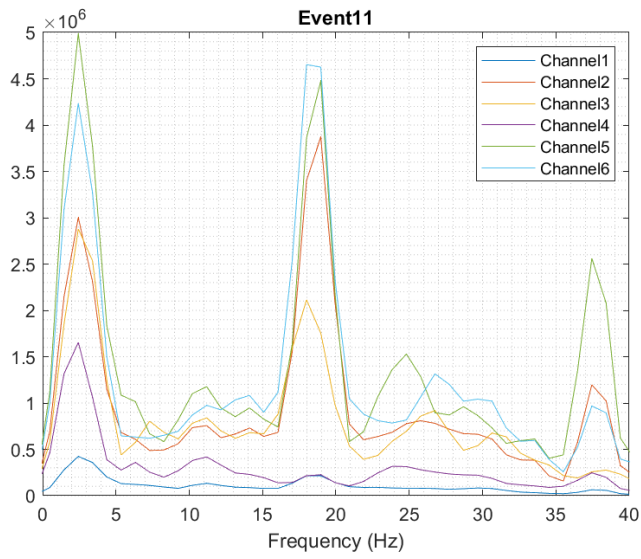
```
for i = 1:6
    for j = 1:15
        events_channels(i,j,:) = filtered_SSVEP_Signal(i,Event_samples(j) +
            1:Event_samples(j) + 5*fs);
    end
end
```

ج) 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.









## بخش سوم:

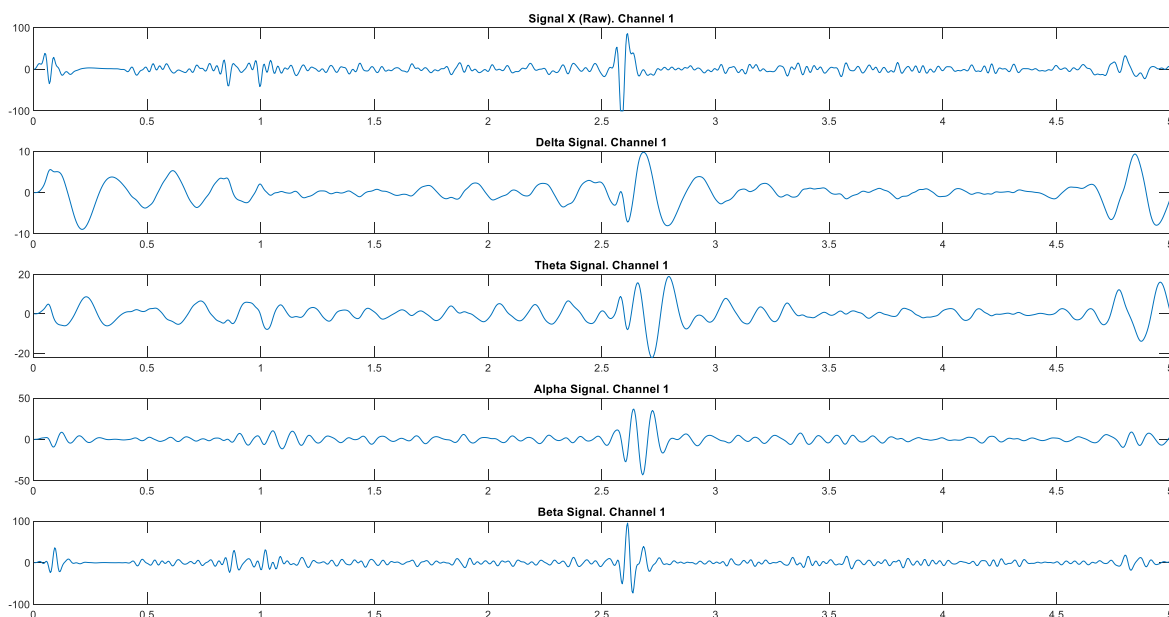
### سنکرون سازی / ناسنکرون سازی وابسته به رخداد

(الف)

کد این بخش در section اول با نام Part3: a آمده، اما توابع مورد استفاده در سکشن آخر با نام functions قرار دارند.

در این بخش پس از load کردن دیتا و تعیین پارامترهای فیلتر، از تابع دست نویس BP\_filt برای فیلتر کردن استفاده شده، که سیگنال ورودی، و پارامترهای فیلتر را گرفته، و سیگنال فیلتر شده حول بازه مد نظر را خروجی میدهد.

فیلتر روی تمام باند های مذکور انجام شده، و سپس نمودار سیگنال بدون فیلتر، و سیگنال های فیلتر شده را در کانال اول، و در پنج ثانیه ی اول رسم میکنیم:



مشخصاً نمودار اول (سیگنال بدون فیلتر) فرکانس های مختلفی را در بر دارد و با حرکت از نمودار دلتا به سمت بتا، فرکانس سیگنال بیشتر میشود. پس فیلتر ها به درستی کار میکنند.

(ب)

برای این بخش از یک تابع جدید به نام `epoching` استفاده شده که ورودی های آن به ترتیب سیگنال فیلتر شده، زمان شروع ترایال ها (همان بردار `trial` در دیتای موجود)، فرکانس نمونه برداری و بازه زمانی مد نظر برای نگه داشتن در `trial` (که اینجا 10 ثانیه است) میباشد. یکبار روی  $X$  و سپس روی دیتا های فیلتر شده، این `epoch` ها را میسازیم.

(ج)

در سکشن سوم کد، این کار انجام شده است. توجه داریم چون سیگنال ها حقیقی هستند، مربع دامنه، معادل با مربع خود سیگنال است.

(د)

مشابه کد نمونه ی این بخش، ماتریس های مطلوب در نام های `Delta_X_avg` و ... قرار دارند. به ازای هر یک از 5 کلاس، ترایالهایی که مربوط به آن کلاس هستند از روی  $Y$  استخراج میشوند، روی آنها میانگین گرفته شده و مقادیر حاصل در ماتریس های خروجی ریخته میشوند.

د) 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.

ه) 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:

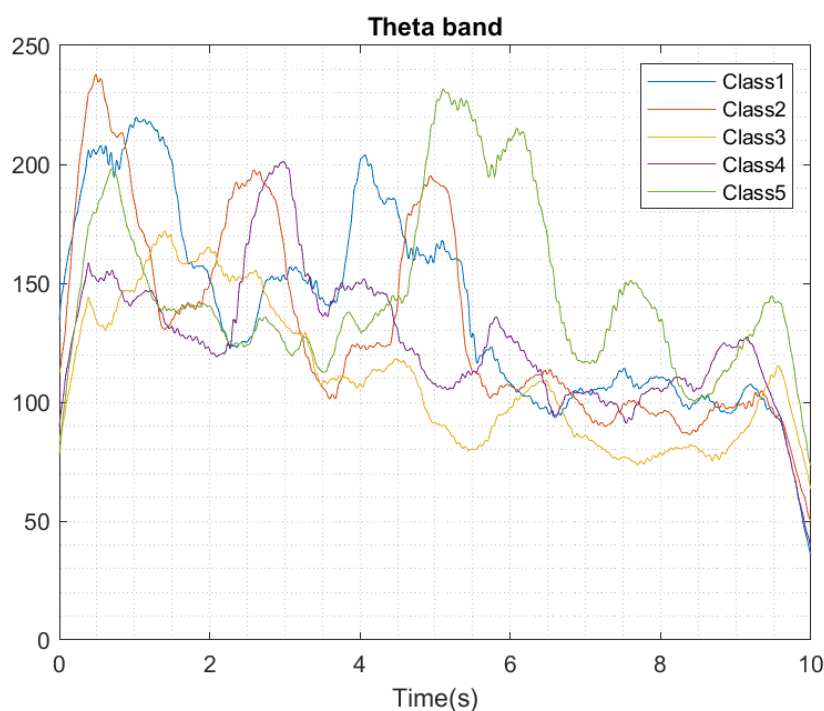
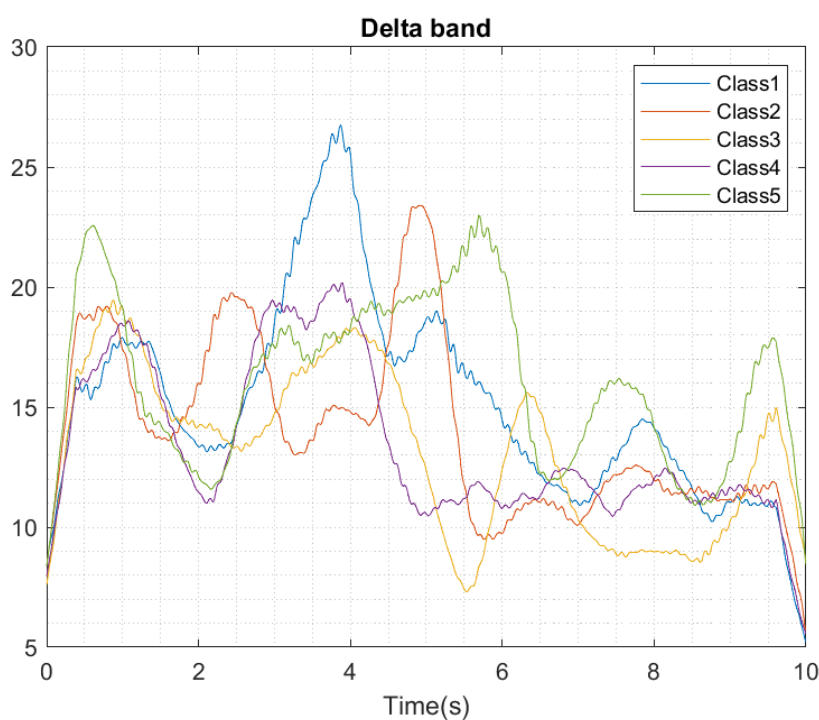
|     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |       |       |       |       |       |       |
|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| آز  | ۱ آز | ۲ آز | ۳ آز | ۴ آز | ۵ آز | ۶ آز | ۷ آز | ۸ آز | ۹ آز | ۱۰ آز | ۱۱ آز | ۱۲ آز | ۱۳ آز | ۱۴ آز | ۱۵ آز |
| فرک | ۳    | ۲۵   | ۲۵   | ۲۸   | ۲۸   | ۳    | ۳    | ۱۶   | ۳۳   | ۴     | ۳     | ۱۸    | ۲۲    | ۲۲    | ۲۳    |

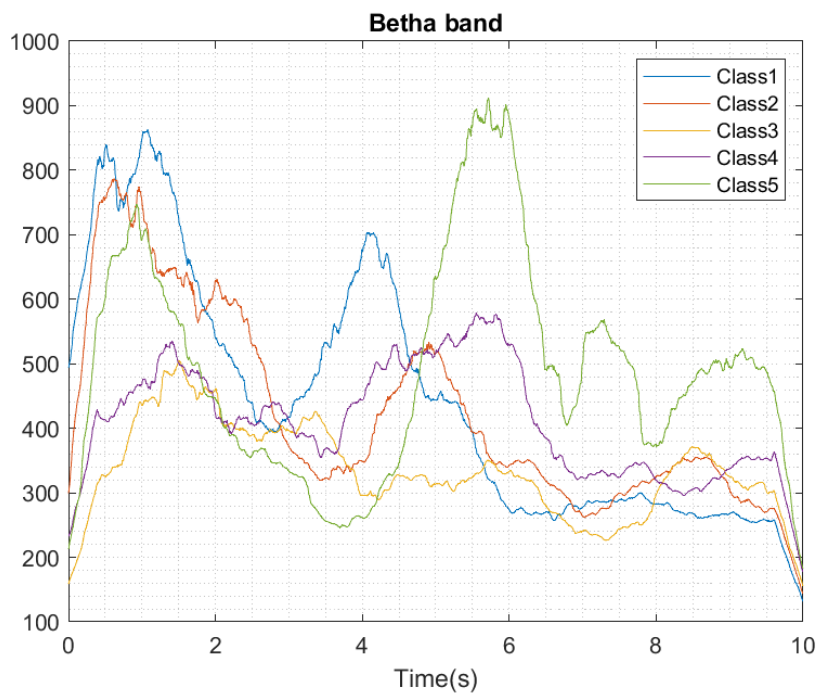
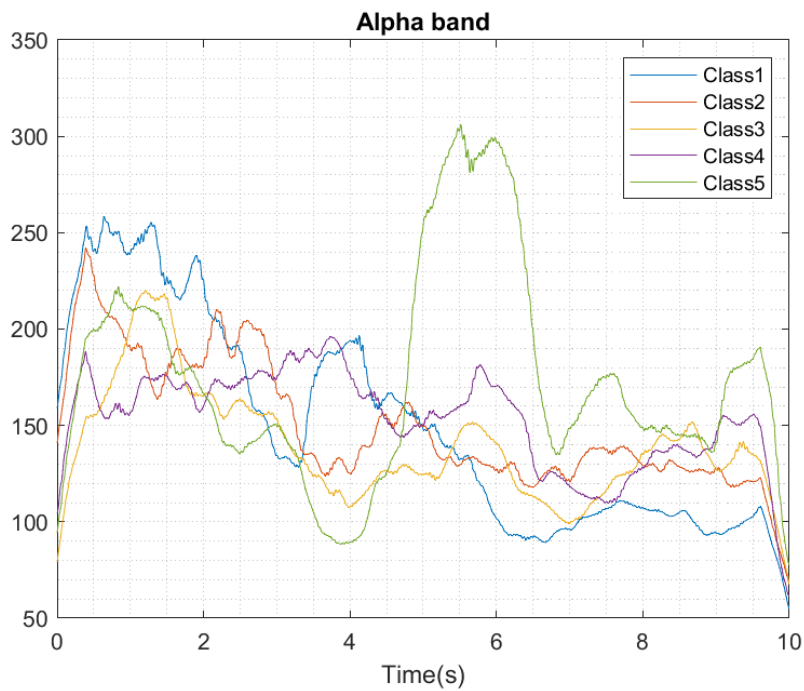
و) برای پیدا کردن فرکانس غالب در سیگنال SSVEP روش های متفاوتی وجود دارد که متداول ترین آن ها بدست آوردن چگالی طیف توان به وسیله fft یا welch است که همان روش مطرح شده در این بخش است. اما روش های EMD، RQM ، frequency and phase-encoded SSVEP و CCA نیز هستند که می توان از این روش ها برای این هدف استفاده کرد.

روش های مختلف با توجه به نیاز مسئله می توانند خوب باشند و لزوماً نمی توان گفت که کدام بهتر است. برای مثال در روش CCA، کورولیشن سیگنال SSVEP با سیگنال هایی با فرکانس مشخص بررسی می شود که در صورت کورولیشن فرکانس غالب با فرکانس سیگنال تست، می توانیم به وجود آن فرکانس و میزان دامنه اش پی ببریم. اینگونه می توان فرکانس غالب را تعیین کرد. شاید بتوان گفت این روش که خروجی عددی دارد، به نسبت روش چشمی مطرح شده خروجی بهتر و دقیق تری دارد.

ه) با استفاده از پنجره داده شده که حاوی ثابت های  $1/\sqrt{200}$  است، سیگنال های هر ۵ کلاس و هر ۳۰ کانال را با استفاده از conv فکانوالو و فیلتر می کنیم. برای اینکه تعداد نقاط با کانولوشن افزایش پیدا نکنم عبارت "same" در این تابع استفاده شده است. تبدیل فوریه پنجره داده شده در تبدیل فوریه سیگنال ها ضرب می شود که به فرکانس های پایینتر وزن بیشتری می دهد زیرا که تبدیل فوریه پنجره شبیه سیگنال ضربه در فرکانس های پایین است. به همین دلیل با وزن دهی بیشتری به فرکانس های پایین، سیگنال ها هموار تر می شوند.

و) از کانال ۱۶ استفاده کرده و موارد را برایش رسم می کنیم. پلات های رسم شده برای باند های فرکانسی به صورت زیر هستند:





و دوم) در کلاس اول، در باند های دلتا و تتا در ثانیه ۴ پیک هایی مشاهده می کنیم که نشان دهنده فعالیت در این باند ها در این زمان است. در کلاس دوم نیز پیک هایی را در باند های دلتا و تتا و همچنین بتا در ثانیه ۵ مشاهده می کنیم. در کلاس سوم، در ثانیه های ۴ و ۷ پیک هایی را در باند دلتا می بینیم اما در باند های دیگر چندان مشهود نیستند. در کلاس چهارم عمده فعالیت در باند های دلتا و تتا در ثانیه سوم و در باند بتا در ثانیه ۵ مشاهد می شود. در کلاس پنجم که کلاس آخر باشد اما پیک در هر چهار باند در ثانیه حدودی ۵ الی ۶ باشد دیده می شود و این پیک ها بخصوص در باند های آلفا و بتا بسیار معلوم هستند و با کلاس های دیگر متفاوتند.

به دلیل آنکه باند ها را از هم جدا کرده ایم، از روی دامنه سیگنال کلاس ها در زمان های مختلف در این باند ها می توانیم درباره باند فرکانسی غالب در سیگنال ها نظر دهیم.