

بسم تعالی



پردازش سیگنال های الکتروانسفالوگرام

تمرین کامپیوتری ۵

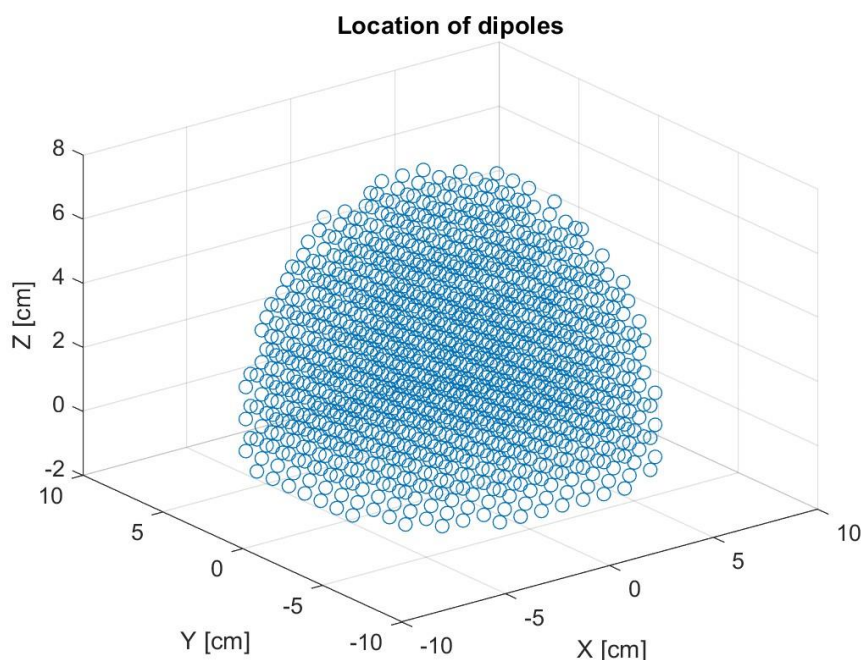
امیرحسین زاهدی ۹۹۱۰۱۷۰۵

پاییز ۱۴۰۲

## بخش الف:

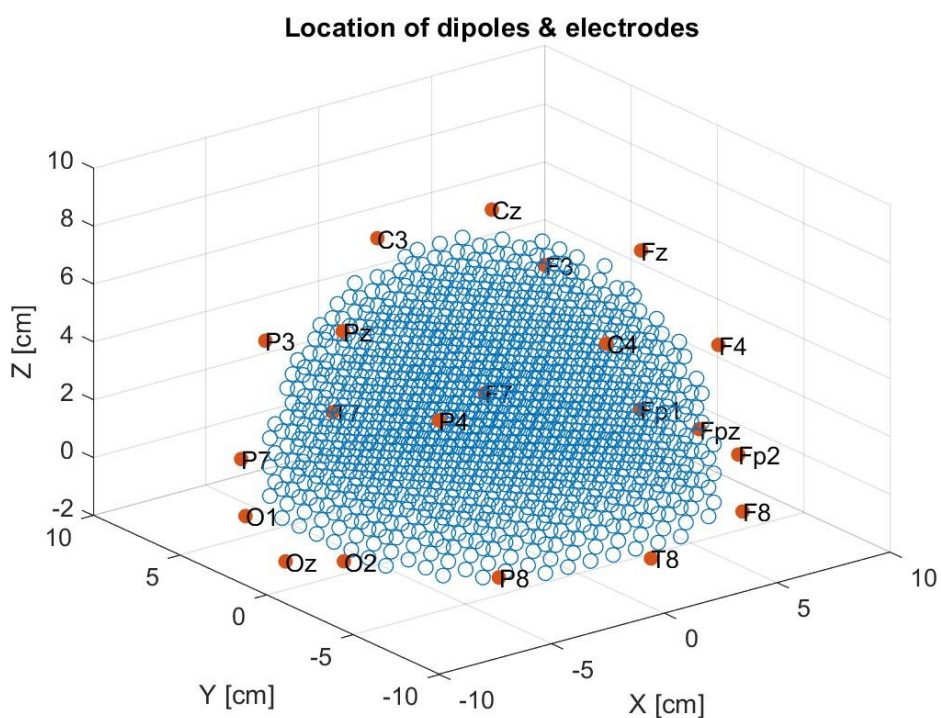
با استفاده از تابع Main.m داده شده و همچنین تابع Scatter3، مکان دو قطبی ها را در سه بعد رسم می کنیم.

ماتریس بهره را نیز ذخیره می کنیم. (GainMat)



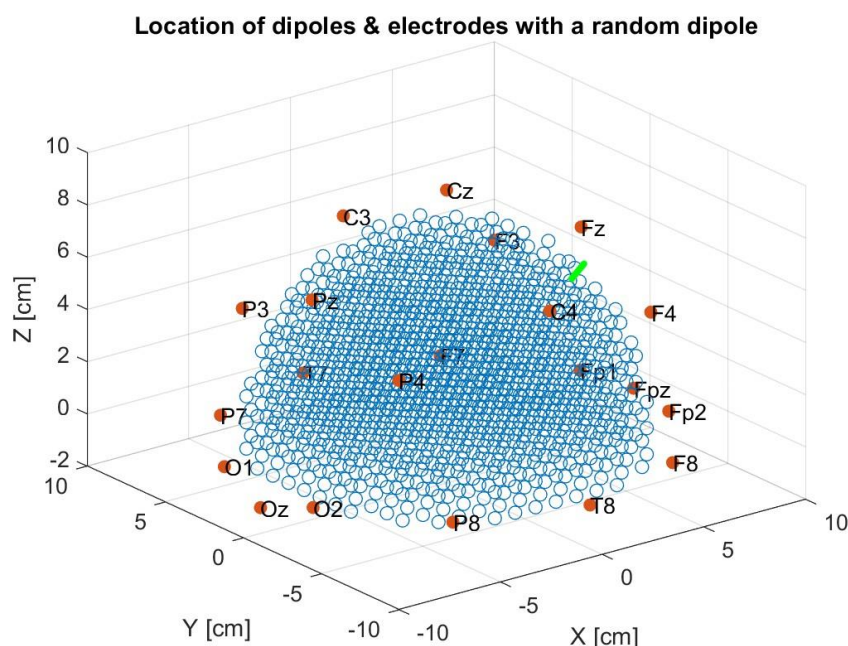
## بخش ب:

در این قسمت الکترودها را نیز به همراه برجسبشان رسم می کنیم. چون که میانه الکترودها داده شده است، نیاز است که میانه های مکانی را در شعاع سر ضرب کنیم تا مکان درست الکترودها بدست آید.



## بخش پ:

در این بخش می خواهیم که یک دو قطبی رندوم را بر روی سطح سر در نظر بگیریم و وکتور جریان شعاعی آن را رسم کنیم. برای اینکار ابتدا شعاع تمام دو قطبی ها را بدست می آوریم و سپس دو قطبی هایی که بیشترین فاصله از مبدا را دارند یا به عبارتی بر روی سطح سر هستند را جدا می کنیم. در نهایت یک دو قطبی سطحی را به صورت رندوم انتخاب می کنیم. در نهایت در مکان بردار انتخاب شده، همان جریان نرمالیزه شده را به صورت شعاعی رسم می کنیم.

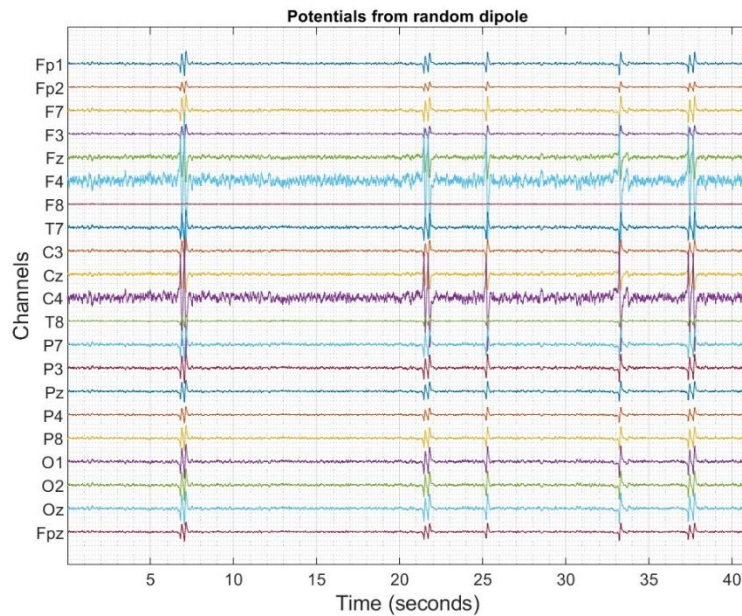


همانطور که مشاهده می شود، بردار سبز نشان دهنده دو قطبی رندوم انتخاب شده است.

## بخش ت:

در این مرحله با استفاده از فایل interictal، از بین ۲۰ فعالیت اسپایکی موجود یکی را به صورت رندوم انتخاب می کنیم و آن را در سه جهت کارتزین به عنوان ممای های جریان در طول زمان در نظر می گیریم. با استفاده از این ممای های جریان ماتریس  $Q$  را تولید می کنیم و با استفاده از ماتریس بهره  $G$ ، بردار های مخصوص دو قطبی در نظر گرفته شده را استفاده می کنیم و پتانسیل القا شده از طریق آن را برای هر ۲۱ الکترود به صورت مسئله مستقیم محاسبه می کنیم.

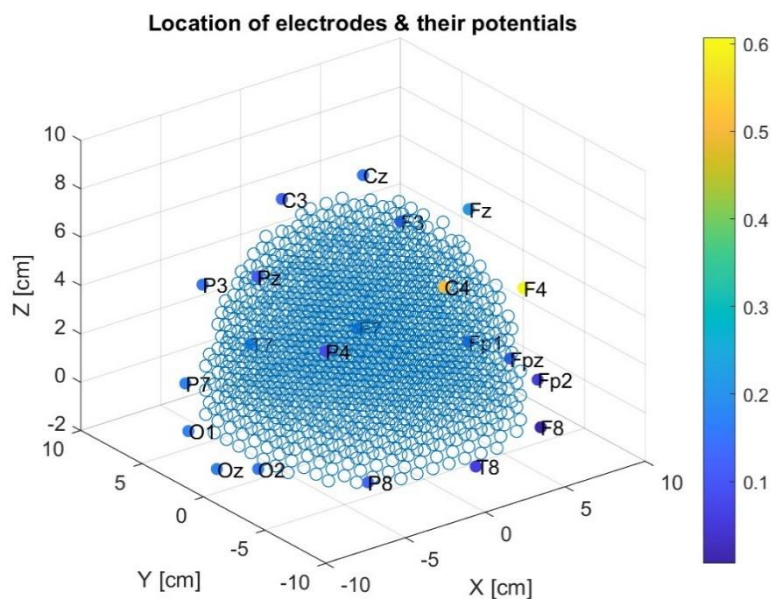
با استفاده از تابع `disp_eeg` پتانسیل موجود در هر الکترود در طول زمان را رسم می کنیم.



فعالیت اسپایکی در الکترودها به خصوص در F4 و C4 دیده می شود که این بزرگی دامنه به دلیل نزدیکی دو قطبی در نظر گرفته شده نسبت به این الکترودها است که در بخش های بعدی بیشتر می بینیم.

### بخش ث:

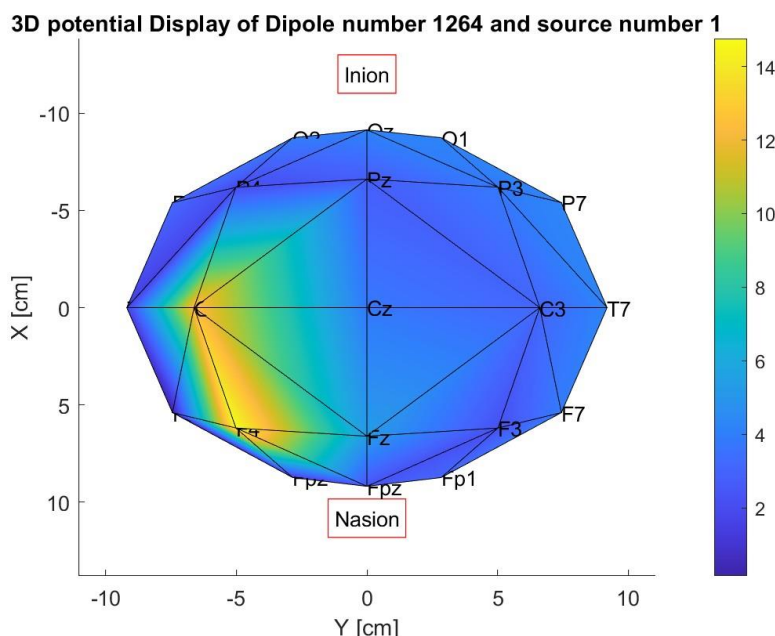
برای اینکه زمان دقیق قله اسپایک ها را متوجه بشویم، حدی را تعیین می کنیم به صورتی که اگر دامنه بیشتر از دو برابر انحراف معیار به علاوه میانگین آن الکترودها شود، اسپایک زده شده است و زمان آن ثبت می شود. سپس با توجه به داشتن زمان اسپایک ها، بازه های ۷ نقطه ای را در نظر گرفته و میانگین می گیریم. این میانگین ها را به عنوان فعالیت نرمالیزه هر الکترودها محاسبه می کنیم. در مرحله بعد همانند بخش پ الکترودها را رسم می کنیم اما اینبار طبق کالر بار، رنگ الکترودها بر حسب میزان فعالیتش تعیین می گردد.



مشاهده می شود که الکترودها F4 و C4 به ترتیب بیشترین فعالیت را داشته و زرد ترند.

## بخش ج:

این بار فعالیت الکترودها را به وسیله تابع `Display_potential_3D` رسم می‌کنیم که به صورت زیر است.



به خوبی مشخص است که با توجه به محل قرار گیری دو قطبی سطحی در نظر گرفته شده، فعالیت در الکترودها  $F4$  و  $C4$  به ترتیب نسبت به بقیه ماکزیمم می‌شوند و این فعالیت در نواحی اطراف این دو الکترودها بیشتر از بقیه مکان‌هاست.

## بخش چ:

در این بخش می‌خواهیم که الگوریتم‌های  $MNE$  و  $wMNE$  را بر روی دیتا پیاده کنیم تا دو قطبی‌های بهینه را تخمین بزنیم. می‌دانیم که الگوریتم  $MNE$  به دنبال منابعی است که همزمان که بهترین تخمین را برای ماتریس مشاهدات تولید می‌کنند، کمترین انرژی را نیز دارند. از فرمول‌های زیر برای انجام الگوریتم استفاده می‌شود.

$$\hat{Q}_{MNE} = \min_Q \left( \|GQ - M\|^2 + \alpha \|Q\|^2 \right)$$

$$\hat{Q}_{MNE} = G^T (GG^T + \alpha I_N)^{-1} M$$

مشاهده می‌شود که در این الگوریتم با عبارتی مواجه هستیم که باید مینیمم شود تا  $Q$  بهینه بدست آید.

البته این الگوریتم به دلیل شرط انرژی بیشتر دو قطبی‌های سطحی را می‌یابد که در ادامه بیشتر می‌پردازیم.

لازم به ذکر است که در طول محاسبات ضریب تیخونوف ۱ در نظر گرفته شده است.



پس از بدست آوردن MNE و Q تخمین زده شده از آن به سراغ wMNE می رویم. این الگوریتم برای اصلاح الگوریتم قبلی درست شده است تا ایراد مربوط به انتخاب الکترودهای سطحی را کاهش دهد و به الکترودهای عمیق نیز شانس انتخاب را بدهد. در این الگوریتم شرط W اعمال شده مهم است که در این جا وزن دهی بر مبنای نرم ستون های ماتریس بهره را ملاک قرار می دهیم. فرمول های این الگوریتم به صورت زیر هستند و به وسیله آن ها امگا و W بدست می آیند.

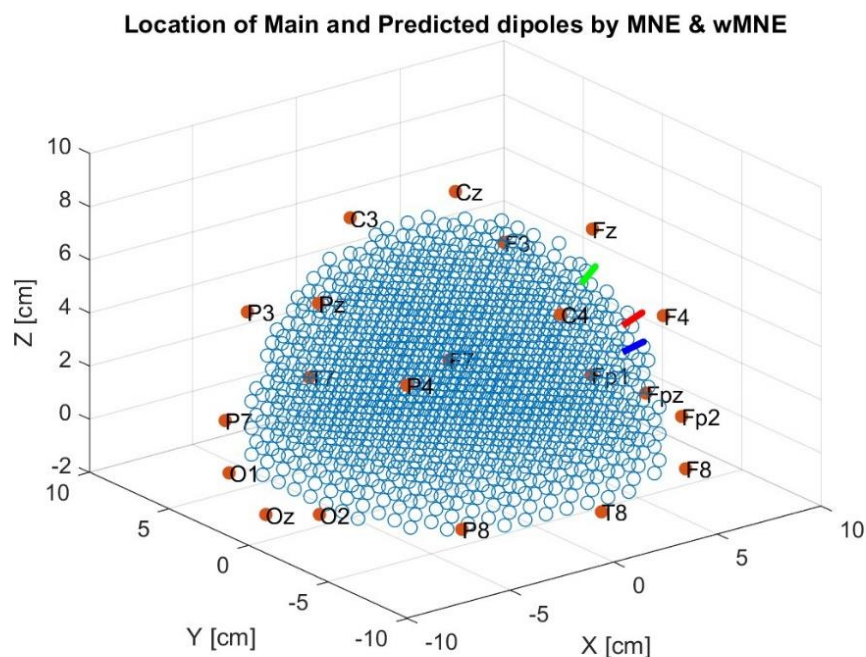
$$\mathbf{W} = \mathbf{\Omega} \otimes \mathbf{I}_3 = \begin{bmatrix} \Omega_{11}\mathbf{I}_3 & \cdots & \Omega_{1P}\mathbf{I}_3 \\ \vdots & & \vdots \\ \Omega_{P1}\mathbf{I}_3 & \cdots & \Omega_{PP}\mathbf{I}_3 \end{bmatrix} \quad L(\mathbf{Q}) = \|\mathbf{W}\mathbf{Q}\|^2$$

$$\hat{\mathbf{Q}}_{WMNE} = (\mathbf{W}^T \mathbf{W})^{-1} \mathbf{G}^T (\mathbf{G}(\mathbf{W}^T \mathbf{W})^{-1} \mathbf{G}^T + \alpha \mathbf{I}_N)^{-1} \mathbf{M}$$

$$\Omega_{\beta\beta} = \sqrt{\sum_{\alpha=1}^N \mathbf{g}(\mathbf{r}_m^\alpha, \mathbf{r}_q^\beta) \cdot \mathbf{g}(\mathbf{r}_m^\alpha, \mathbf{r}_q^\beta)^T}, \text{ for } \beta=1, \dots, P$$

### بخش ح:

برای بدست آوردن دو قطبی اصلی ابتدا انرژی حاصل از هر دو قطبی را حساب کرده و دو قطبی با بیشتری انرژی را می یابیم. با استفاده از خروجی های هر دو الگوریتم دو قطبی با ممان ماکزیمم را می یابیم و در کنار دو قطبی اصلی بر روی سر رسم می کنیم زیرا که این دو، دو قطبی های تخمین زده شده برای دو قطبی اصلی هستند.



ممان قرمز مربوط به MNE و ممان آبی مربوط به wMNE است. ممان سبز نیز دو قطبی اصلی است. مشاهده می شود که در این حالت الگوریتم MNE بهتر عمل کرده است شاید به دلیل آنکه بهتر می تواند منابع سطحی را تخمین بزند. البته هر دو الگوریتم تا حد خوبی توانسته اند ناحیه فعال را تشخیص دهند.

## بخش خ:

به وسیله سنجش فاصله دو قطبی های تخمین زده شده از هر الگوریتم و دو قطبی اصلی، خطای مکانی را محاسبه می کنیم. همچنین با در نظر گرفتن زوایای ممان ها در مختصات کروی، تخمینی برای خطای جهت دو قطبی محاسبه می کنیم که به شرح زیر است.

Dipole distance error for MNE = ۲.۸۲۸۴

Dipole distance error for wMNE = ۳.۶۰۵۶

Dipole fi error for MNE = ۰.۲۵۲۵۵

Dipole fi error for wMNE = ۰.۲۵۲۵۵

Dipole theta error for MNE = -۰.۳۱۱۶

Dipole theta error for wMNE = -۰.۴۲۸۶۸

می بینیم که هم به لحاظ مکانی و هم جهت ممان، در این بخش که دو قطبی سطحی است، MNE عملکرد بهتری داشته است.

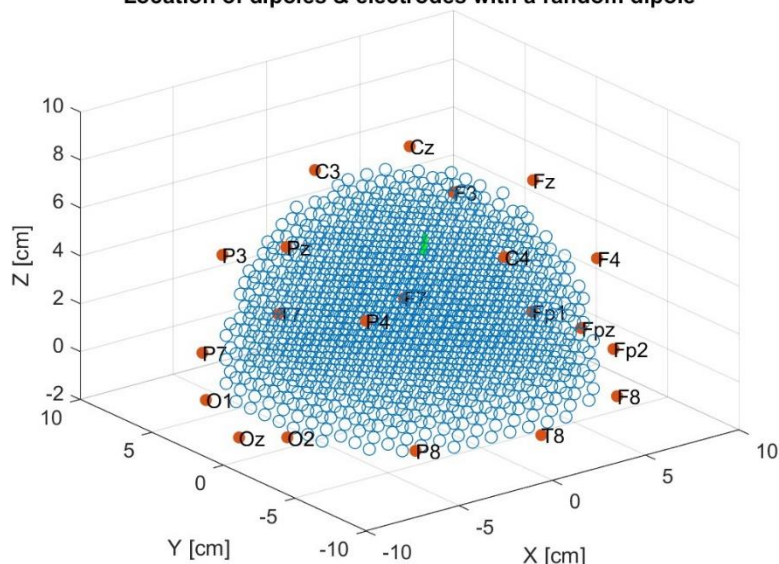
## بخش د:

برای این قسمت بخش های پ تا خ را تکرار می کنیم اما اینبار به جای یک دو قطبی سطحی، دو قطبی ای عمیق را در نظر می گیریم. برای راه اندازی کد مربوط به این بخش کافی است که در ۳ Part مولفه A مساوی ۲ قرار داده شود.

برای بدست آوردن دو قطبی عمیق، محدوده ای درونی برای هر سه جهت جغرافیایی در نظر می گیریم تا صرفاً دو قطبی های موجود در آن ناحیه قابلیت انتخاب داشته باشند. سپس به طور رندوم یک دو قطبی را از میان این دو قطبی ها انتخاب می کنیم و مراحل بعدی را بر روی آن انجام می دهیم. لازم به ذکر است که از توضیحات تکراری پرهیز شده و بیشتر به نتیجه گیری های حاصل پرداخته می شود.

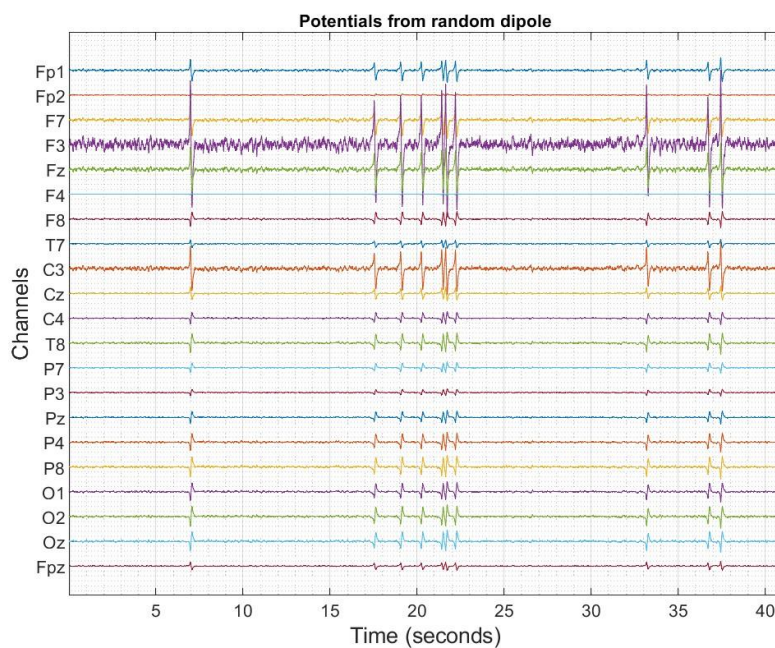
### د-پ:

Location of dipoles & electrodes with a random dipole



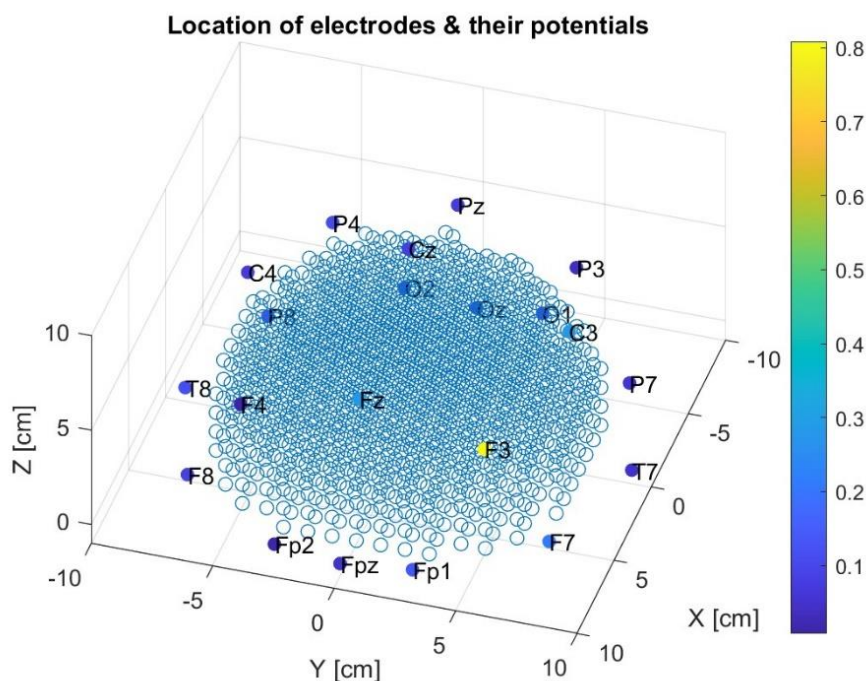
منبع مشاهده شده در پشت و در نزدیکی F۳ قرار دارد که ممکن است سخت دیده شود.

د-ت:



فعالیت های اسپایکی ناشی از این دو قطبی بر روی دو قطبی ها دیده می شود و این اثرگذاری در الکتروود F3 به دلیل نزدیکی بیشترین مقدار بوده است.

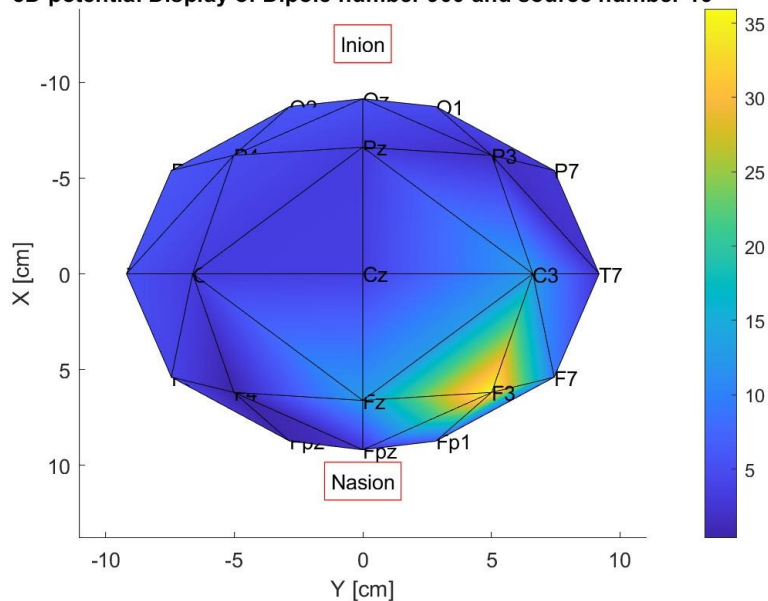
د-ث:



این بار تصویر را چرخانده ایم تا اثر گذاری منبع در الکتروود F3 و پتانسیل زیاد آن دیده شود. رنگ زرد به معنی پتانسیل زیاد و آبی به معنای کم است.



3D potential Display of Dipole number 900 and source number 16



د-ج:

اثر دو قطبی عمیق را به روشی دیگر مشاهده می کنیم.

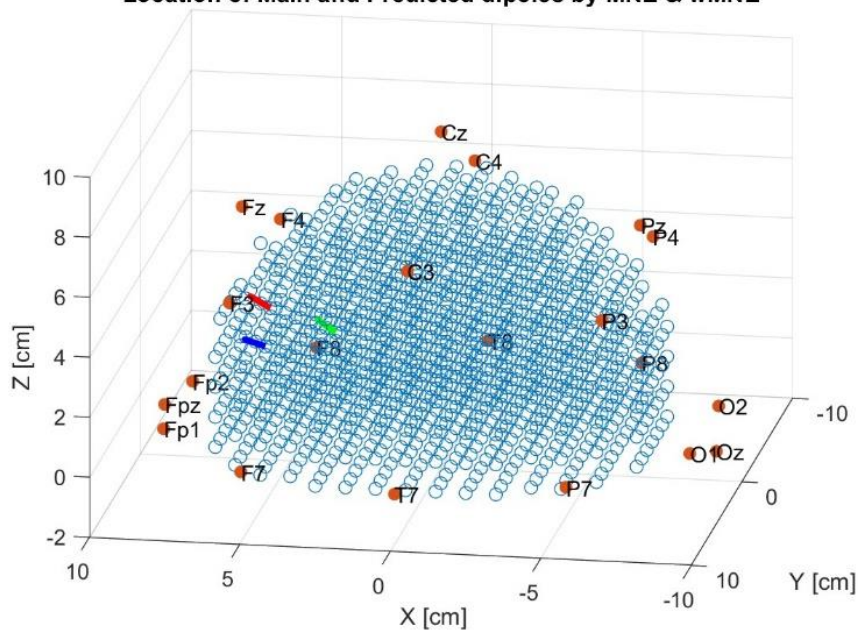
د-چ:

الگوریتم ها را بر روی این دو قطبی نیز پیاده می کنیم و ماتریس های ممان های جریان دو قطبی های تخمین زده شده را بدست می آوریم.

د-ح:

به وسیله ماکزیمم گیری از ممان ها دو قطبی های تخمین زده شده از هر دو الگوریتم را می یابیم.

Location of Main and Predicted dipoles by MNE & wMNE



آبی برای wMNE و قرمز برای MNE است. همانطور که توقع می رفت تخمین حاصل از MNE دو قطبی ای بر روی سطح سراسر است اما دو قطبی حاصل از wMNE عمق بیشتری دارد و به نظر می آید عملکرد بهتری برای این دو قطبی عمیق داشته است.

د-خ:

تخمینی از خطای مکان و جهت ممان بدست می آوریم.

Dipole distance error for MNE = ۲.۴۴۹۵

Dipole distance error for wMNE = ۲.۸۲۸۴

Dipole fi error for MNE = -۰.۱۱۰۶۶

Dipole fi error for wMNE = ۰

Dipole theta error for MNE = -۰.۰۶۵۶۸۱

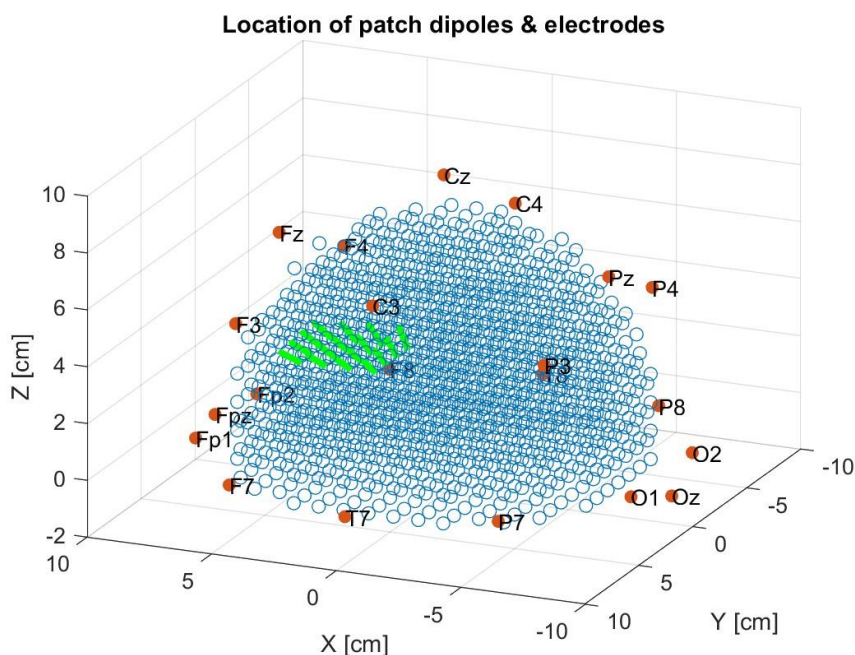
Dipole theta error for wMNE = -۰.۲۲۱۲۴

به نظر می آید که بر خلاف انتظار wMNE تخمین خوبی ارائه نداده است. البته این مسئله به رندوم انتخاب شدن دو قطبی سطحی و عمق آن نیز بستگی دارد و نمی توان با یک آزمایش خوبی یا بدی الگوریتم را تعیین کرد.

هر دو الگوریتم تا حد خوبی تخمین مناسبی داشته اند.

بخش ز:

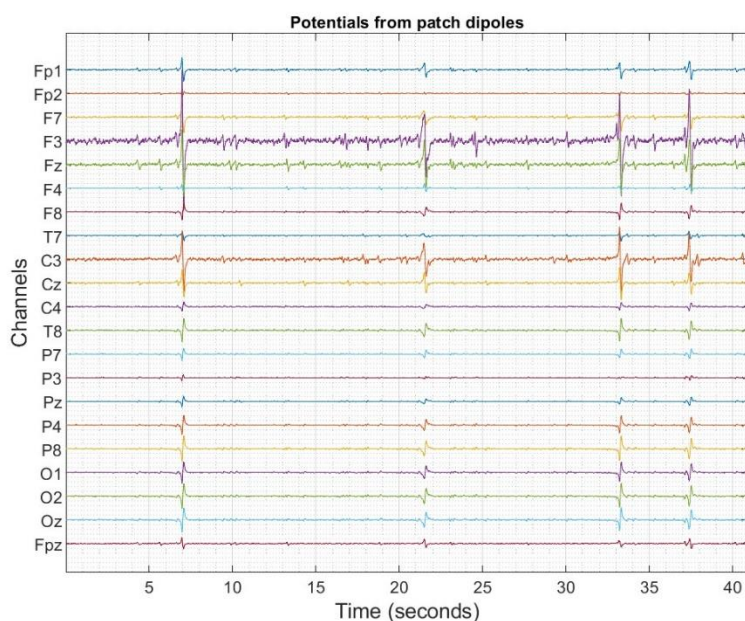
به صورت دستی یک صفحه شامل ۱۶ دو قطبی مجاور را به عنوان یک پیچ فعال از دو قطبی ها در نظر می گیریم و ممان های جریان هر کدام از دو قطبی ها را در آن پیچ و در نمودار سه بعدی مانند بخش پ رسم می کنیم.



بخش ژ:

ژ-ت:

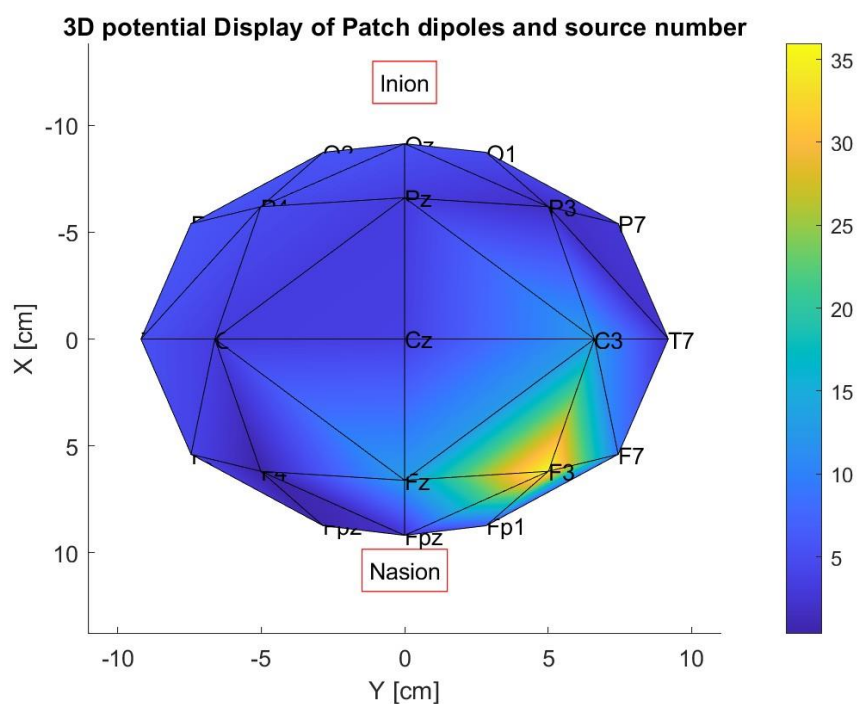
به ۱۶ دو قطبی در نظر گرفته شده در این پیچ، به صورت رندوم ۱۶ فعالیت اسپایکی از ۲۰ فعالیت نسبت داده می شود. فعالیت این دو قطبی ها را به صورت مسئله مستقیم بر روی پتانسیل الکترودها مشاهده می کنیم.



فعالیت های اسپایکی به خصوص در الکترودهای F۳ و C۳ دیده می شود.

ژ-ج:

پتانسیل ها را به صورت سه بعدی رسم می کنیم.



ژ-چ:

در این بخش با استفاده از دو الگوریتم مطرح شده، تخمین هایی از فعالیت دو قطبی ها بدست می آوریم.

بخش س:

در این بخش دامنه جریان های حاصل از هر دو قطبی را که به وسیله الگوریتم های MNE و wMNE تخمین زده شده اند را به صورت مرتب به صورت برداری ذخیره می کنیم.

بخش ش:

در این مرحله می خواهیم که با استفاده از ممان های جریان های تخمین زده شده برای دو قطبی ها و مقایسه آن ها با فعالیت دو قطبی های فرض شده در پیچ ۱۶ تایی، عملکرد الگوریتم ها را با استفاده از نمودار ROC بسنجیم.

برای بدست آوردن نمودار ROC، حد تخمین فعالیت دو قطبی را از ۰ تا ۱ می لغزانیم. در هر پله ممان ها را با حد مشخص شده می سنجیم و برچسب فعالیت یا عدم فعالیت بر آن دو قطبی میزنیم. سپس با استفاده از این لیبل ها و لیبل های فعالیت بر دو قطبی های در نظر گرفته شده در پیچ ۱۶ تایی، تعداد منابع درست تخمین زده شده و تعداد منابع اشتباه تخمین زده شده را حساب می کنیم.

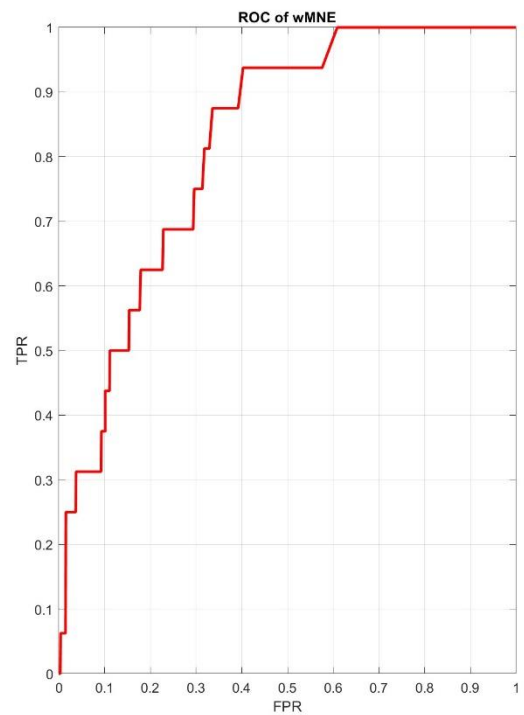
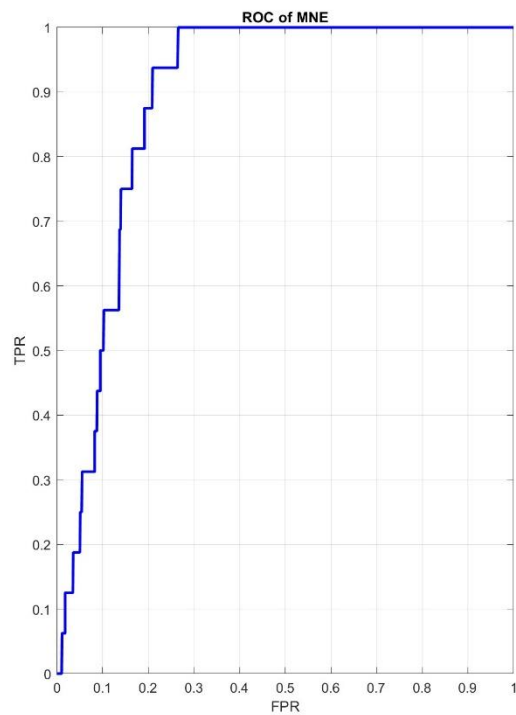
برای هر پله از ترشولد، TPR و FNR را حساب می کنیم و در نهایت نمودار های ROC برای هر الگوریتم را بدست می آوریم.

TPR و FNR به وسیله فرمول های زیر بدست می آیند.

predicted→ real↓	Class_pos	Class_neg
Class_pos	TP	FN
Class_neg	FP	TN

$$\text{TPR (sensitivity)} = \frac{\text{TP}}{\text{TP} + \text{FN}}$$

$$\text{FPR (1-specificity)} = \frac{\text{FP}}{\text{TN} + \text{FP}}$$



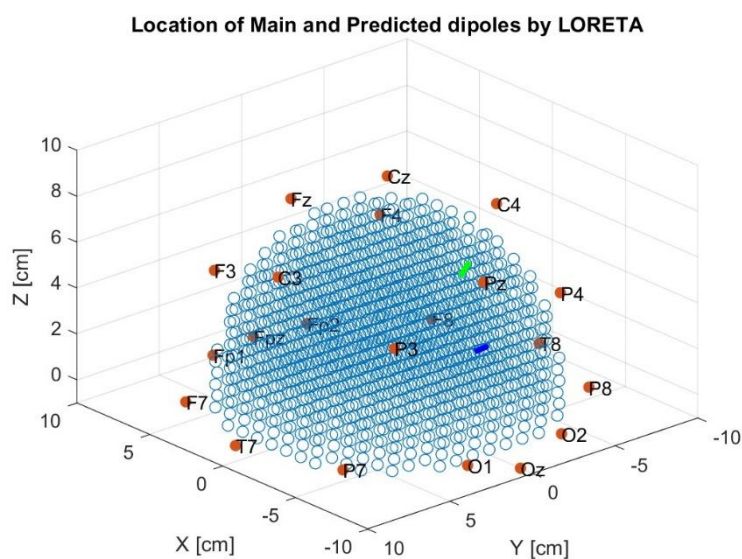
با دقت  $0.00002$  برای آستانه، نمودارهای ROC بالا برای دو الگوریتم بدست می آید. همانطور که مشاهده می شود در این شبیه سازی الگوریتم MNE برای این پیچ و تحلیل غیر پارامتری عملکرد بهتری داشته است و مساحت این نمودار ها معیار خوبی از توانایی الگوریتم ها در تخمین زدن دو قطبی ها است.



## بخش ذ: (امتیازی)

روش LORETA را به اجرا می گذاریم. فرق این روش در این است که لاپلاسن فضایی را نیز به عنوان شرط بهینه سازی در نظر می گیرد که به هموار کردن توزیع فضایی کمک می کند. ابتدا سعی می کنیم فرمول های زیر را پیاده سازی کنیم و با بدست آوردن  $A_0$  و  $A_1$ ،  $B$  را بدست آوریم و در نهایت  $W$  را محاسبه کنیم تا بتوانیم برآوردی از میزان فعالیت هر دو قطبی بدست آوریم.

با توجه به میزان فعالیت دو قطبی ها، آن را که فعال تر بوده است به عنوان تخمینی از منبع فعال در نظر گرفته و در فضای سه بعدی به همراه دو قطبی اصلی رسم می کنیم.



بردار ممان اصلی بردار سبز و بردار تخمین زده شده آبی است.

خطای مکانی و زاویه ای ممان جریان را محاسبه می کنیم که به شرح زیر است.

Dipole distance error for LORETA = ۳.۱۶۲۳

Dipole fi error for LORETA = ۰

Dipole theta error for LORETA = -۰.۴۰۲۱۸

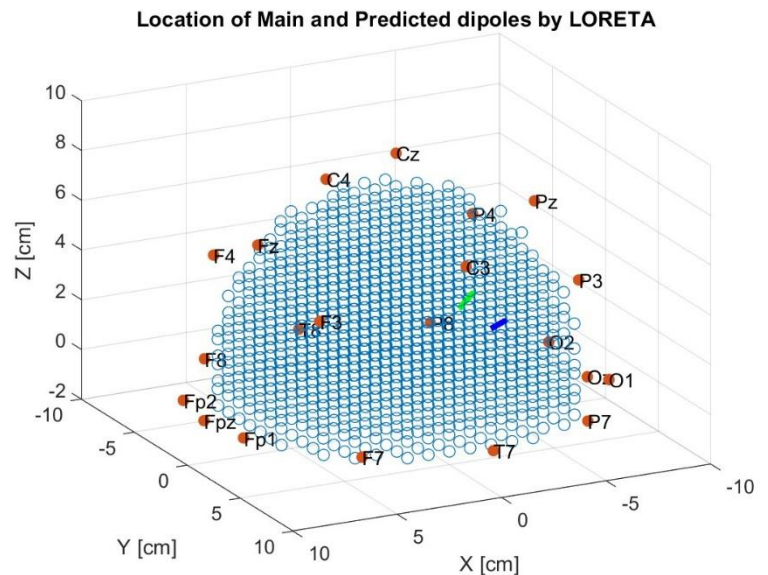
نمی شود گفت که تخمین خیلی خوبی داشته است اما تا حدی توانسته است که مکان و جهت دو قطبی را تخمین بزند. تخمین زده شده نزدیک به دو الگوریتم MNE و wMNE است که در بخش های قبل محاسبه شده است.

موارد بالا را برای یک منبع عمقی نیز تخمین می زنیم.

Dipole distance error for LORETA = ۲

Dipole fi error for LORETA = -۰.۴۰۴۸۹

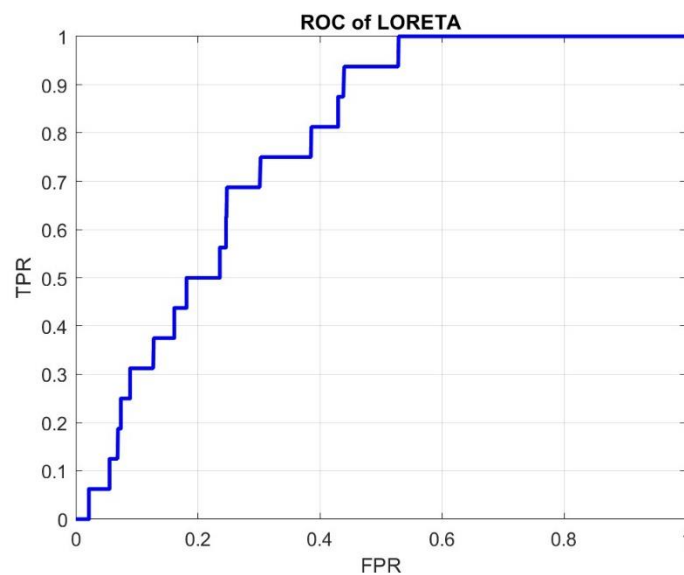
Dipole theta error for LORETA = -۰.۳۱۰۷۹



با توجه به میزان خطا های بدست آمده و شکل مشاهده شده که در آن بردار آبی دو قطبی تخمین زده شده است، مشاهده می کنیم که این بار بسیار بهتر از قبل و بهتر از الگوریتم های قبلی از دو قطبی اصلی تخمین زده شده است. این نشان می دهد که الگوریتم LORETA می تواند الگوریتم بهتری از دو تای قبلی برای تخمین منابع عمقی باشد.

### بخش ص: (امتیازی)

همان پچ فعالیتی شامل ۱۶ دو قطبی را در نظر گرفته و پتانسیل حاصل از فعالیت آن ها را بدست می آوریم. سپس با استفاده از الگوریتم LORETA تخمینی از ممان های جریان همه دو قطبی ها بدست می آوریم. در ادامه همانند بخش ز گفته شده در قبل، با تعیین ترشولد متغیر، میزان دقت الگوریتم در تخمین صحیح منابع را به وسیله نمودار ROC نشان می دهیم.



می توان گفت که این الگوریتم نسبت به دو الگوریتم قبلی ضعیف تر است اما نتایج نشان می دهند که برتری ای بر آن ها ندارد و شاید حتی بهتر باشد از آن ها استفاده کرد.