

به نام خدا

گزارش پروژه ی دوم درس ژئودزی ماهواره ای

حسن رضوان – ۸۱۰۳۹۶۰۷۹

این پروژه شامل ۵ فایل m است:

۱. فایل HW_2.m که فایل اصلی پروژه است.
۲. فایل extract.m که برای استخراج پارمترهای فایل راینکس نوشته شده است.
۳. فایل read_header.m که برای خواندن header فایل راینکس است.
۴. فایل line_length.m برای محاسبه ی طول خطوط فایل راینکس مورد استفاده قرار می گیرد و در تابع extract به کار رفته است.
۵. فایل time_calc.m برای محاسبه تاریخ ژولین و هفته ی gps و ثانیه از هفته به کار می رود.

ابتدا با استفاده از وبسایت sopac داده ی موردنظر را دانلود می کنیم. این داده مربوط به ایستگاه North Liberty می باشد. سپس باید آنرا از حالت فشرده خارج کرده و پسوند d. را به پسوند o. تبدیل کنیم. این کار به کمک برنامه ی crx2rnx و محیط cmd انجام گرفت.

شکل ۱. دانلود داده

```
Administrator: Command Prompt
Microsoft Windows [Version 10.0.19041.928]
(c) Microsoft Corporation. All rights reserved.

C:\Users\Hassan.R>d:

D:\>cd D:\Documents\GPS\Projects\2\RNXCMP_4.0.7_Windows_bcc\bin

D:\Documents\GPS\Projects\2\RNXCMP_4.0.7_Windows_bcc\bin>crx2rnx nlib2500.17d
```

شکل ۲. تبدیل پسوند d. به o.

سوال (۱)

۱-۱: در این قسمت می خواهیم اطلاعات فایل راینکس observation را در متلب استخراج کرده و داخل ماتریس بریزیم تا بتوانیم در محاسبات از آنها استفاده کنیم. فایل راینکس از دو قسمت header و content که در شکل زیر نشان داده شده اند، تشکیل می شود.

```

2.11      OBSERVATION DATA      G (GPS)      RINEX VERSION / TYPE
teqc 2017Jul18      gpsops      20170908 00:25:10UTCPGM / RUN BY / DATE
Linux 2.6.32-573.12.1.x86_64|x86_64|gcc -static|Linux 64|=+ COMMENT
BIT 2 OF LLI FLAGS DATA COLLECTED UNDER A/S CONDITION      COMMENT
NLIB      MARKER NAME
40465M001      MARKER NUMBER
GGN      JPL      OBSERVER / AGENCY
IR2200716008      ASHTECH UZ-12      CQ00      REC # / TYPE / VERS
383-0154      TPSCR.G3      SCIS      ANT # / TYPE
-130934.4493 -4762291.7386 4226854.6638      APPROX POSITION XYZ
0.6127      0.0000      0.0000      ANTENNA: DELTA H/E/N
1 1      WAVELENGTH FACT L1/2
7 L1 L2 P1 P2 C1 S1 S2      # / TYPES OF OBSERV
30.0000      INTERVAL
This data is provided as a public service by NASA/JPL.      COMMENT
No warranty is expressed or implied regarding suitability      COMMENT
for use. For further information, contact:      COMMENT
Dave Stowers, NASA/JPL m/s 238-600      COMMENT
4800 Oak Grove Drive, Pasadena CA 91109 USA      COMMENT
Forced Modulo Decimation to 30 seconds      COMMENT
SNR is mapped to RINEX snr flag value [0-9]      COMMENT
L1 & L2: min(max(int(snr_dBHz/6), 0), 9)      COMMENT
pseudorange smoothing corrections not applied      COMMENT
2017 9 7 0 0 0.0000000 GPS      TIME OF FIRST OBS
END OF HEADER
17 9 7 0 0 0.0000000 0 6G10G18G20G21G15G24
-7047859.53548 -5454165.02847 21734593.8714 21734599.7784 21734593.243
52.0004 47.0004
-15005765.69648 -11657493.72748 20823145.0274 20823148.7044 20823146.131
52.0004 48.0004
-2546955.45247 -1934187.55146 23080947.0354 23080953.3914 23080948.733
43.0004 38.0004
-13065091.91948 -10168286.84348 21153285.1454 21153289.8894 21153286.201
53.0004 48.0004

```

برای محاسبات قسمت های بعدی سوال نیاز داریم اطلاعات موجود در قسمت content را جدا کنیم. اما پیش از آن باید قسمت header را بخوانیم. این کار را به کمک تابع read_header که خودمان نوشته ایم انجام می گیرد. در این تابع هر خط از فایل راینکس را به کمک fgetl خوانده و رد می کنیم. از قسمت header فایل تنها ممکن است به مختصات تقریبی ایستگاه نیاز داشته باشیم. با دستور srtfind می توانیم بگوییم که زمانی که به عبارت APPROX POSITION XYZ رسید، مختصات را در یک ماتریس بریزد. در نهایت هنگامی که به END OF HEADER رسیدیم، از حلقه و قسمت header خارج می شویم.

در گام بعدی وارد قسمت **content** میشویم. استخراج اطلاعات این قسمت در تابع **extract** نوشته شده است. ابتدا ماتریس **epoch** را میسازیم که شامل داده های زمانی مربوط به هر اپک زمانی است که برای آن داده داریم. در داده ای که در اختیار داریم، فاصله ی زمانی اپک ها ۳۰ ثانیه است. نحوه ی چینش المان های ماتریس **epoch** به صورت زیر است:

ثانیه	دقیقه	ساعت	روز	ماه	سال
-------	-------	------	-----	-----	-----

پس از زمان هر اپک مشاهده، تعداد ماهواره ها و شماره ماهواره هایی را داریم که در این اپک از آنها مشاهده انجام شده است. به کمک حلقه ی **for** شماره ی ماهواره ها، تعداد آنها و مشاهداتشان را استخراج می کنیم. سپس باید شماره ی ماهواره هایی که برای آنها در هر اپک داده داریم، جدا کنیم. در نهایت باید ستون های ماتریس مشاهدات را که تمام داده هایمان در آن قرار دارند، مشخص کنیم. چینش ستون های ماتریس **data** به صورت زیر است:

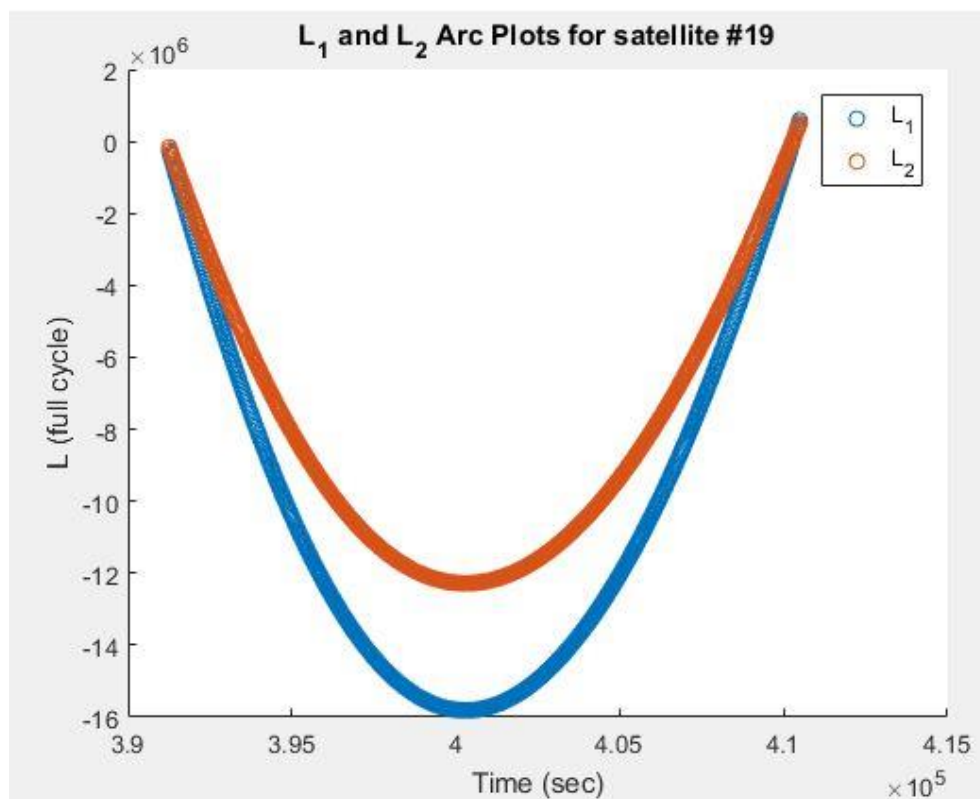
GPS Week	GPS SEC	Satellite number	L1	L2	P1	P2	C1	S1	S2
----------	---------	------------------	----	----	----	----	----	----	----

در پایان ماتریس مشاهدات با ابعاد $۱۰ * ۱۹۲۹۹$ ساخته می شود که شامل داده برای تمامی ماهواره ها و در تمام اپک ها می باشد.

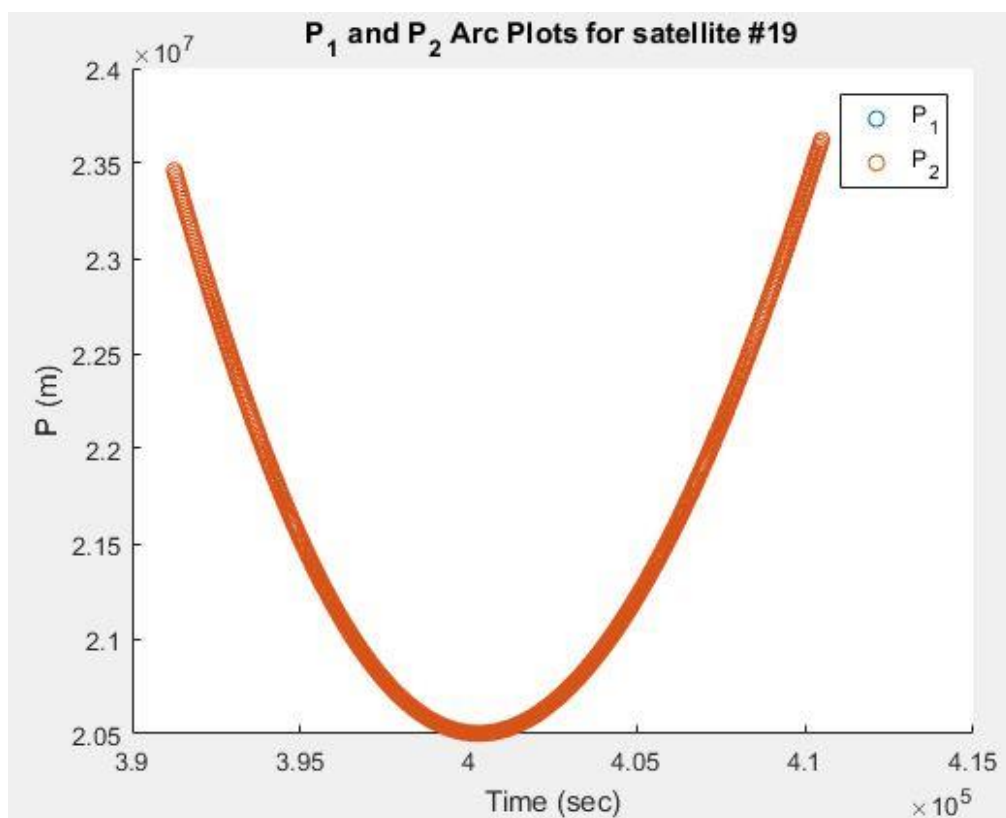
انواع مشاهدات در فایل راینکس به صورت زیر هستند:

۱. مشاهدات کد C در واحد متر.
۲. مشاهدات فاز P در واحد سیکل.
۳. مشاهدات فرکانس داپلر در واحد هرتز.
۴. مشاهدات قدرت سیگنال.

۲-۱: در این قسمت باید تغییرات مشاهدات را برحسب زمان ترسیم کنیم. ابتدا به کمک دستور **find** داده های مربوط به یک ماهواره را پیدا کرده و با توجه به شماره ی ستونشان که در جدول ۲ آمده است، جدا می کنیم. گام بعدی آن است که مقادیر موجود در ستون های **L1** و **P1** و **L2** و **P2** را برحسب زمان که همان ثانیه از هفته است، رسم کنیم. در پایین نمودار های مربوط به برای ماهواره ی شماره ی ۱۹ آمده است:



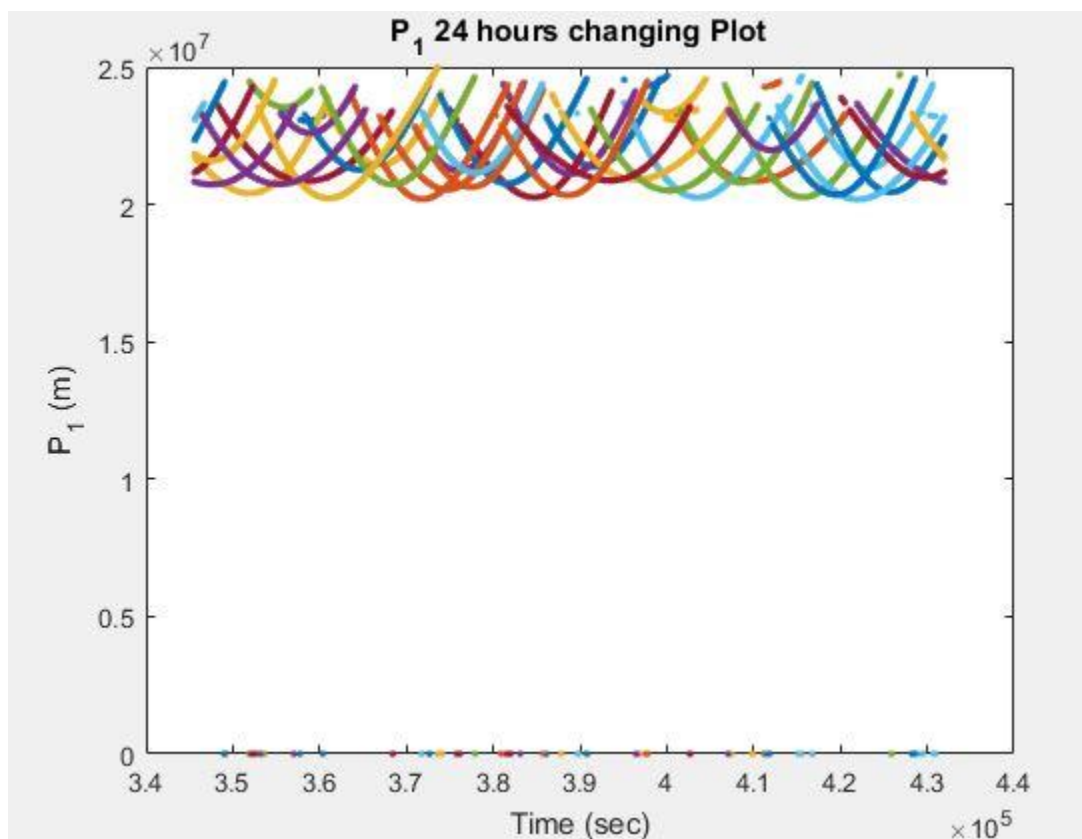
شکل ۳. آرک مربوط به مشاهدات L



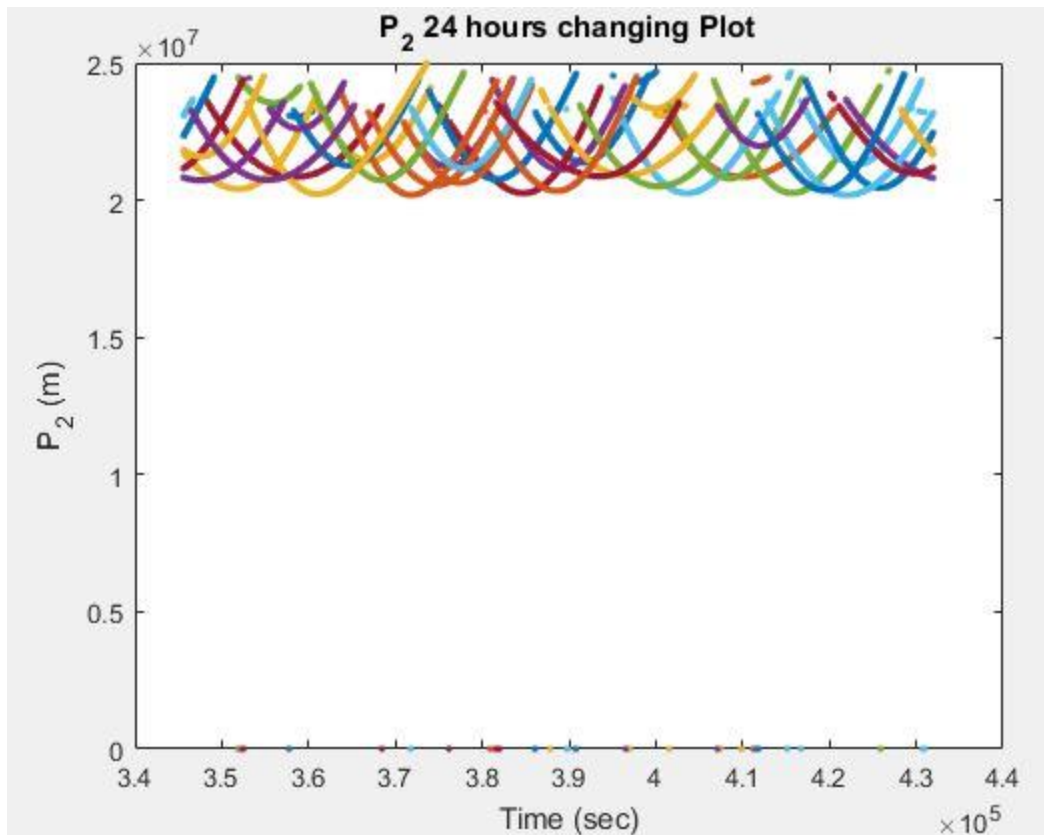
شکل ۴. آرک مربوط به مشاهدات P

همانطور که مشاهده می شود نمودار های مربوط به P_1 و P_2 روی هم افتاده اند.

۳-۱: در این قسمت قصد داریم تا مشاهدات کد را برای تمام ماهواره ها در طول ۲۴ ساعت رسم کنیم. ابتدا باید به کمک ستون شماره ی ماهواره ها، داده های لازم را به ازای هر ماهواره جدا کرده و هر کدام را در ماتریسی با شماره ی ماهواره ی موردنظر بریزیم. علاوه بر این تمام این ماتریس به عنوان سلول در یک ماتریس بزرگتر ذخیره شده اند. اکنون باید از ستون های مربوط به P_1 و P_2 نسبت به ستون مربوط به زمان به ازای هر عضو این سلول یعنی به ازای هر ماهواره پلات بگیریم.



شکل ۵. مشاهده ی کد P_1 در طول ۲۴ ساعت



شکل ۶. مشاهده ی کد P₂ در طول ۲۴ ساعت

تغییرات مشاهده ی کد ناشی از حرکات ماهواره ها در مدارهای خود و تغییرات شبه فاصله ی اندازه گیری شده نسبت به ایستگاه های کنترل است. همانطور که از شکل مشخص است بعضی از ماهواره ها در زمان های خاصی داده دارند. این نشان دهنده ی حرکت ماهواره در مدارهای خود است که نسبت به ایستگاه موردنظر دید ندارند.

سوال (۲)

در این سوال می خواهیم ترکیبات عاری از یونوسفر، مستقل از هندسه، wide lan و Narrow lan را محاسبه کنیم. ابتدا لازم است مقادیر فرکانس را در باندهای L₁ و L₂ داشته باشیم. در سوال ۴ تمرین اول درس ژئودزی ماهواره ای، در مورد GPS گفتیم که در ۳ باند فرکانسی اندازه گیری دارد و فرکانس هر باند هم ذکر شد:

$$\begin{cases} L_1 : f_1 = 1575.42 \\ L_2 : f_2 = 1227.60 \\ L_5 : f_5 = 1176.45 \end{cases}$$

به دلیل اینکه در فایل راینکس داندود شده، مشاهدات L_1 و L_2 را داریم، به f_1 و f_2 برای محاسباتی که در ادامه می آید، نیاز خواهیم داشت.

سپس باید ستون های مربوط به L_1 و L_2 و P_1 و P_2 را از ماتریس حاوی تمام داده ها که در ابتدای برنامه ساختیم، جدا کنیم. هر کدام از چهار ماتریس نامبرده دارای ابعاد 1×19299 هستند. در نهایت به کمک روابط زیر موارد خواسته شده را به ازای هر درایه محاسبه کنیم.

• ترکیب عاری از یونوسفر:

$$\Phi_c = \frac{f_1^2 \Phi_1 - f_2^2 \Phi_2}{f_1^2 - f_2^2}$$

$$R_c = \frac{f_1^2 R_1 - f_2^2 R_2}{f_1^2 - f_2^2}$$

این روابط برای یک گیرنده ولی با دو فرکانس مختلف انجام می شود.

• ترکیب مستقل از هندسه:

$$\Phi_I = \Phi_1 - \Phi_2$$

$$R_I = R_1 - R_2$$

اگر مشاهده ی فاز و شبه فاصله ی کد را در دو فرکانس مختلف انجام داده و از هم کم کنیم، نتیجه ی حاصل ترکیب مستقل از هندسه است.

• ترکیب wide lan:

$$\Phi_w = \frac{f_1 \Phi_1 - f_2 \Phi_2}{f_1 - f_2}$$

$$R_w = \frac{f_1 R_1 - f_2 R_2}{f_1 - f_2}$$

• ترکیب Narrow lan:

$$\Phi_N = \frac{f_1 \Phi_1 + f_2 \Phi_2}{f_1 + f_2}$$

$$R_N = \frac{f_1 R_1 + f_2 R_2}{f_1 + f_2}$$

در تمام روابط بالا، منظور از R همان مشاهدات P است. تمامی محاسبات در متلب انجام و نتایج در ماتریس های R_I و R_N و R_w و R_c و phase_c و phase_I و phase_N و phase_w ذخیره شده است

سوال (۴)

در این قسمت می خواهیم به کمک انتشار خطا، دقت را برای هر کدام از ترکیب های محاسبه شده در سوال ۲ بدست آوریم. با توجه به قانون انتشار خطا داریم:

$$f = f(x, y) \rightarrow \sigma_f = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x} \sigma_x\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y} \sigma_y\right)^2}$$

قانون انتشار خطا را روی روابط سوال ۲ اعمال می کنیم. با توجه به اینکه دقت پارامترهای مشاهداتی کد و فاز را در اختیار داریم، باید از روابط ترکیبات نسبت به این پارامترها مشتق بگیریم.

• ترکیب عاری از یونسفر:

$$\Phi_c = \frac{f_1^2 \Phi_1 - f_2^2 \Phi_2}{f_1^2 - f_2^2} \rightarrow \begin{cases} \frac{\partial \Phi_c}{\partial \Phi_1} = \frac{f_1^2}{f_1^2 - f_2^2} \\ \frac{\partial \Phi_c}{\partial \Phi_2} = \frac{-f_2^2}{f_1^2 - f_2^2} \end{cases}$$

$$R_c = \frac{f_1^2 R_1 - f_2^2 R_2}{f_1^2 - f_2^2} \rightarrow \begin{cases} \frac{\partial R_c}{\partial R_1} = \frac{f_1^2}{f_1^2 - f_2^2} \\ \frac{\partial R_c}{\partial R_2} = \frac{-f_2^2}{f_1^2 - f_2^2} \end{cases}$$

• ترکیب مستقل از هندسه:

$$\Phi_I = \Phi_1 - \Phi_2 \rightarrow \begin{cases} \frac{\partial \Phi_I}{\partial \Phi_1} = 1 \\ \frac{\partial \Phi_I}{\partial \Phi_2} = -1 \end{cases}$$

$$R_I = R_1 - R_2 \rightarrow \begin{cases} \frac{\partial R_I}{\partial R_1} = 1 \\ \frac{\partial R_I}{\partial R_2} = -1 \end{cases}$$

• ترکیب wide lan:

$$\Phi_w = \frac{f_1 \Phi_1 - f_2 \Phi_2}{f_1 - f_2} \rightarrow \begin{cases} \frac{\partial \Phi_w}{\partial \Phi_1} = \frac{f_1}{f_1 - f_2} \\ \frac{\partial \Phi_w}{\partial \Phi_2} = \frac{-f_2}{f_1 - f_2} \end{cases}$$

$$R_w = \frac{f_1 R_1 - f_2 R_2}{f_1 - f_2} \rightarrow \begin{cases} \frac{\partial R_w}{\partial R_1} = \frac{f_1}{f_1 - f_2} \\ \frac{\partial R_w}{\partial R_2} = \frac{-f_2}{f_1 - f_2} \end{cases}$$

• ترکیب Narrow lan:

$$\Phi_N = \frac{f_1 \Phi_1 + f_2 \Phi_2}{f_1 + f_2} \rightarrow \begin{cases} \frac{\partial \Phi_N}{\partial \Phi_1} = \frac{f_1}{f_1 + f_2} \\ \frac{\partial \Phi_N}{\partial \Phi_2} = \frac{f_2}{f_1 + f_2} \end{cases}$$

$$R_N = \frac{f_1 R_1 + f_2 R_2}{f_1 + f_2} \rightarrow \begin{cases} \frac{\partial R_N}{\partial R_1} = \frac{f_1}{f_1 + f_2} \\ \frac{\partial R_N}{\partial R_2} = \frac{f_2}{f_1 + f_2} \end{cases}$$

در نهایت با جایگذاری مشتق ها در رابطه ای که در ابتدای حل سوال آمده، میتوان دقت هر ترکیب را با توجه به رابطه ی زیر محاسبه کرد:

$$\sigma_{\Phi_x}^2 = \sigma_{\Phi}^2 \left(\left(\frac{\partial \Phi_x}{\partial \Phi_1} \right)^2 + \left(\frac{\partial \Phi_x}{\partial \Phi_2} \right)^2 \right)$$

$$\sigma_{R_x}^2 = \sigma_R^2 \left(\left(\frac{\partial R_x}{\partial R_1} \right)^2 + \left(\frac{\partial R_x}{\partial R_2} \right)^2 \right)$$

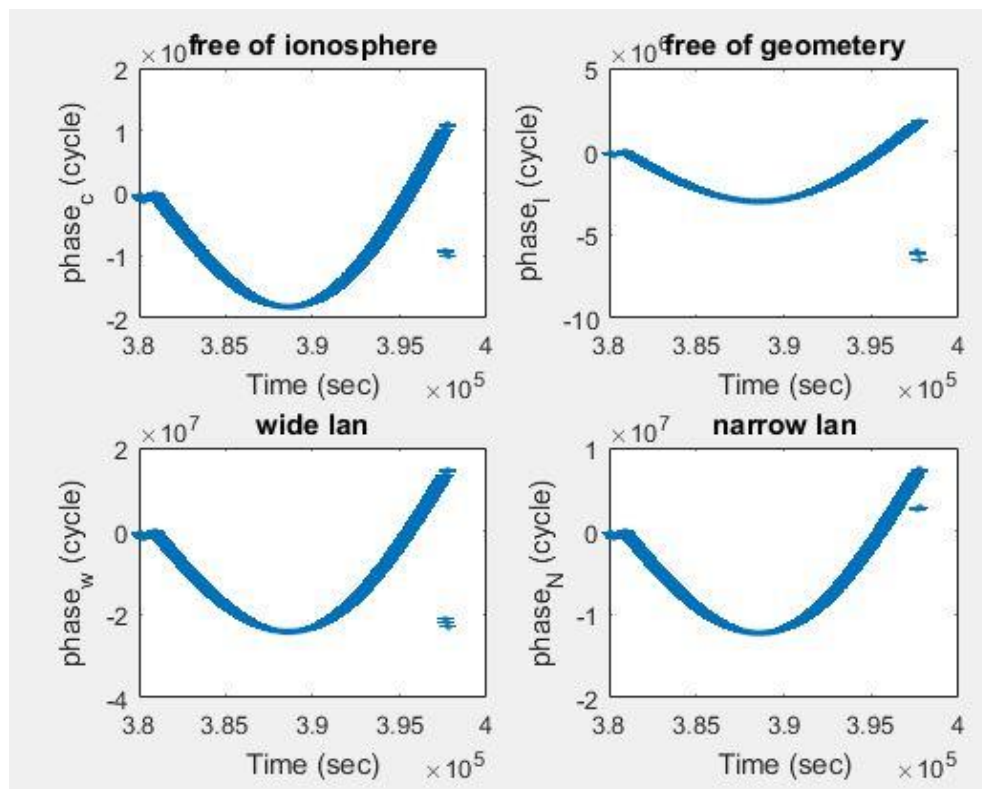
در پایان، دقت های بدست آمده در جدول زیر گنجانده شده است:

دقت کد (متر)	دقت فاز (سیکل)	
۰.۵۹۵۶	۰.۰۵۹۶	ترکیب عاری از یونسفر
۰.۲۸۲۸	۰.۰۲۸۳	ترکیب مستقل از هندسه
۱.۱۴۸۴	۰.۱۱۴۸	ترکیب wide lan
۰.۱۴۲۵	۰.۰۱۴۳	ترکیب narrow lan

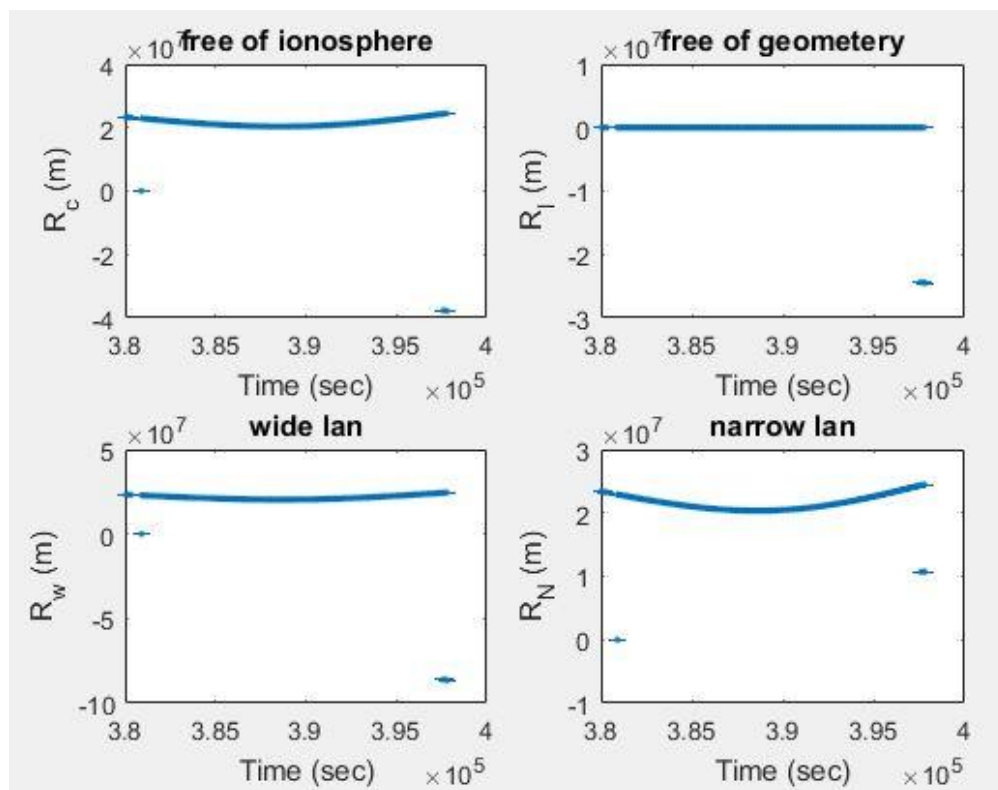
جدول ۶. دقت ترکیب ها

با توجه به اینکه امکان رسم مشاهدات و errorbar ها برای همه ی ماهواره ها در یک پلات امکان پذیر نیست، یک ماهواره را انتخاب کرده و ترسیمات را برای آن انجام می دهیم. یعنی با جدا کردن سلول مورد نظر از ماتریس satellites و استفاده از ستون های مربوط به مربوط به پارامترهای L1 و L2 و P1 و P2 ترکیب های محاسبه شده در سوال ۲ را مجدداً برای این ماهواره محاسبه کرده و با توجه به ستون شامل زمان هایی که مشاهده انجام شده و با توجه به دقت های محاسبه شده، پلات errorbar را رسم می کنیم.

در شکل های زیر دقت مشاهدات برای ماهواره ی شماره ی ۳۰ به کمک errorbar نشان داده شده است:



شکل ۷. نمودار دقت مربوط به مشاهدات فاز



شکل ۸. نمودار دقت مشاهدات کد

اگر بخواهیم روند محاسبه برای ترکیب عاری از یونسفر بنویسیم، داریم :

$$\sigma_{\Phi_c} = \sqrt{\sigma_{\Phi}^2 \left(\left(\frac{\partial \Phi_x}{\partial \Phi_1} \right)^2 + \left(\frac{\partial \Phi_x}{\partial \Phi_2} \right)^2 \right)} = \sqrt{(0.02)^2 * (2.5457^2 + 1.5457^2)} = 0.0596$$

$$\sigma_{R_c} = \sqrt{\sigma_R^2 \left(\left(\frac{\partial R_x}{\partial R_1} \right)^2 + \left(\frac{\partial R_x}{\partial R_2} \right)^2 \right)} = \sqrt{(0.2)^2 * (2.5457^2 + 1.5457^2)} = 0.5956$$

سوال (۳)

برای حل این قسمت داده ی دیگری برای ایستگاه goldstone را که در نزدیکی ایستگاه بررسی شده در سوال های قبل قرار دارد را دانلود و همچنین پسوند آنرا به O تبدیل کردیم.

یکی از روشهای از بین بردن خطاهای موجود در معادله ی شبه فاصله که در پایین آمده، استفاده از تکنیک های تفاضلی است.

$$p = \rho + d\rho + c(dt - dT) + d_{ion} + d_{trop} + \epsilon_{mp} + \epsilon_p$$

$$\Phi = \rho + d\rho + c(dt - dT) + N\lambda - d_{ion} + d_{trop} + \epsilon_{m\Phi} + \epsilon_{\Phi}$$

یکی از انواع تکنیک های تفاضلی، تفاضلی یگانه است. این تکنیک، خود از سه تکنیک مجزا تشکیل شده است:

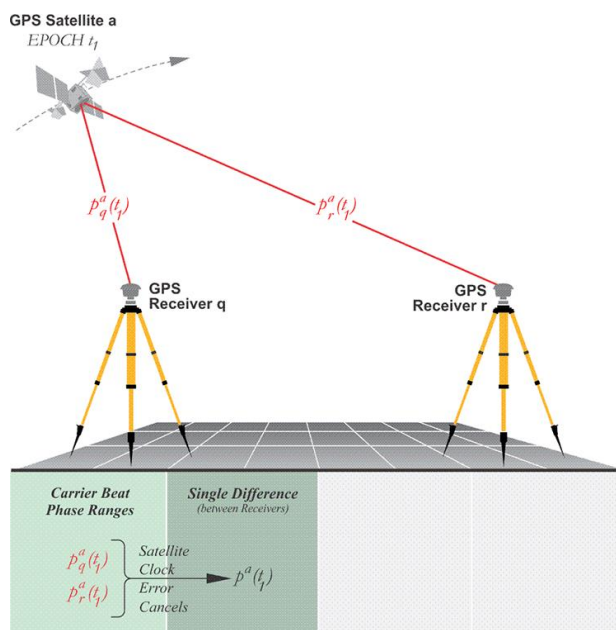
۱. تکنیک تفاضلی بین مشاهدات: این تکنیک شامل اندازه گیری از دو گیرنده به یک ماهواره در یک زمان مشخص و یکسان است.

۲. تکنیک تفاضلی بین ماهواره ها: یعنی از دو ماهواره به یک گیرنده در یک زمان اندازه گیری داشته باشیم.

۳. تکنیک تفاضلی بین اپک ها: یعنی از یک گیرنده به یک ماهواره در دو زمان t_1 و t_2 اندازه گیری داشته باشیم.

تفاضل یگانه:

روشی که برای حل مسئله ی تفاضلی یگانه استفاده خواهیم کرد، تکنیک تفاضلی بین مشاهدات است.



شکل ۹. تفاضل یگانه

برای این کار نیاز به یک فایل داده ی ثانویه که در نزدیکی ایستگاه مربوط به سوالات قبل قرار دارد استفاده می کنیم. به کمک توابعی که در بالا توضیح داده شده، پارامترهای این فایل را هم استخراج می کنیم. ستون های مربوط به زمان را که ثانیه از هفته هستند، برای هر دو داده به جهت سهولت در محاسبات به ثانیه از همان روز تبدیل می کنیم.

روش کار به این صورت است که به کمک حلقه ی **while** یک شرط تعیین می کنیم تا به تعداد اپک هایی که در اختیار داریم، این حلقه پیموده شود. تعداد اپک هایی که در فایل راینکس در اختیار داریم، ۲۸۷۹ اپک است. پس در هر اپک از فایل راینکس آنچه در حلقه ی **while** آمده را انجام می دهیم. اکنون یک اپک مشترک از دو گیرنده که باهم اختلاف فاصله دارند، در اختیار داریم. آنچه اکنون نیاز داریم، یک ماهواره ی مشترک است.

$$f = \Delta \blacksquare = receiver_2 - receiver_1$$

اطلاعات مربوط به هر اپک از هر فایل راینکس در ماتریس های `epoch_for_first_data` و `epoch_for_second_data` ریخته شده است که شامل ثانیه از روز، شماره ی ماهواره و پارامترهایی که برای محاسبات تفاضلات به آنها نیاز خواهیم داشت، یعنی L_1 و L_2 و P_1 و P_2 . اکنون نیاز داریم تا ماهواره ی مشترک را از این دو ماتریس پیدا کنیم. این کار به کمک دستور **intersect** انجام می شود. سپس سطر مربوط به ماهواره ی مشترک را بیرون کشیده و از ستون های مربوط به L_1 و L_2 به محاسبه ی تفاضل یگانه می پردازیم. به این صورت که یک مقدار P_1 برای داده ی اول و یک مقدار P_1 برای داده ی دوم که هر دو مربوط به یک ماهواره ی مشترک هستند، در اختیار داریم. اگر این دو مقدار را از هم کم کنیم به تفاضلی یگانه خواهیم رسید. همین اتفاق هم برای فاز های L_1 و L_2 رخ می دهد. اگر

مقادیر مشاهده ی L را که از یک ماهواره هستند، از هم کم کنیم به تفاضل یگانه می رسیم. نتایج حاصل از تفاضل یگانه در ماتریس های single_difference_p و single_difference_phi ذخیره شده است.

برای محاسبه ی دقت تفاضلی یگانه، مانند سوال ۴ از قانون انتشار خطا استفاده می کنیم. معادلات را به صورت زیر داریم:

تفاضلی یگانه برای مشاهده ی کد:

$$\begin{aligned} f &= \Delta \blacksquare = p_2 - p_1 && \blacksquare \text{ معادله:} \\ \frac{\partial f}{\partial p_2} &= 1 ; \quad \frac{\partial f}{\partial p_1} = -1 && \blacksquare \text{ مشتقات جزئی:} \\ \sigma_f^2 &= \left(\frac{\partial f}{\partial p_2} * \sigma_p \right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial p_1} * \sigma_p \right)^2 && \blacksquare \text{ محاسبه ی دقت با قانون انتشار خطا:} \end{aligned}$$

با توجه به اینکه دقت مشاهدات p با توجه به سوال ۴، ۰.۲ متر ذکر شده، داریم:

$$\begin{aligned} \sigma_f &= \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial p_2} * \sigma_p \right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial p_1} * \sigma_p \right)^2} = \sqrt{(1 * 0.2)^2 + (-1 * 0.2)^2} = \sqrt{0.08} \\ &= 0.2828 \text{ meters} \end{aligned}$$

تفاضلی یگانه برای مشاهده ی فاز:

$$\begin{aligned} f &= \Delta \blacksquare = \Phi_2 - \Phi_1 && \blacksquare \text{ معادله:} \\ \frac{\partial f}{\partial \Phi_2} &= 1 ; \quad \frac{\partial f}{\partial \Phi_1} = -1 && \blacksquare \text{ مشتقات جزئی:} \\ \sigma_f^2 &= \left(\frac{\partial f}{\partial \Phi_2} * \sigma_\Phi \right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial \Phi_1} * \sigma_\Phi \right)^2 && \blacksquare \text{ محاسبه ی دقت با قانون انتشار خطا:} \end{aligned}$$

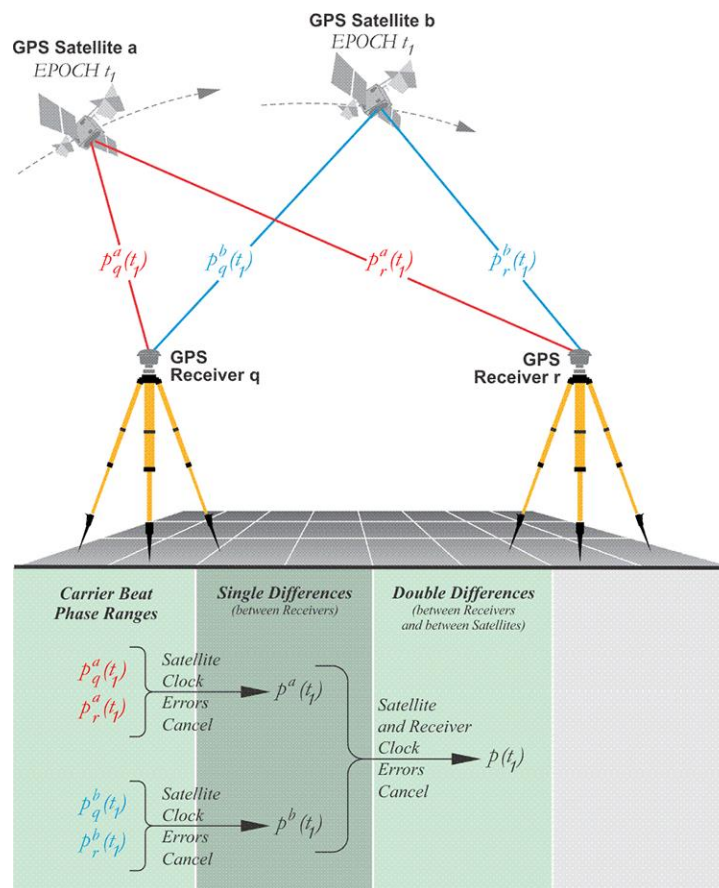
با توجه به اینکه دقت مشاهدات p با توجه به سوال ۴، ۰.۲ متر ذکر شده، داریم:

$$\begin{aligned} \sigma_f &= \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial \Phi_2} * \sigma_\Phi \right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial \Phi_1} * \sigma_\Phi \right)^2} = \sqrt{(1 * 0.02)^2 + (-1 * 0.02)^2} = \sqrt{0.0008} \\ &= 0.02828 \text{ cycle} \end{aligned}$$

تفاضل دوگانه

همان تکرار تکنیک های تفاضلی یگانه است و سه حالت می تواند داشته باشد:

۱. تکنیک تفاضلی گیرنده و زمان: مشاهده براساس دو گیرنده به یک ماهواره در دو اپک زمانی است که حاصل اختلاف گیری نوع اول و سوم از ترکیب های تفاضلی یگانه که در بالا توضیح داده شده است، می باشد.
۲. تکنیک تفاضلی ماهواره و زمان: مشاهده از یک گیرنده به دو ماهواره در دو اپک زمانی. در واقع حاصل اختلاف تکنیک های تفاضلی یگانه ی ماهواره ها و اپک هاست.
۳. تکنیک تفاضلی بین ماهواره و گیرنده: انجام دو مشاهده ی تفاضلی یگانه بین گیرنده و ماهواره. درواقع یکبار تکنیک تفاضلی یگانه بین ماهواره و یکبار تکنیک تفاضلی یگانه بین گیرنده ها انجام می شود.



شکل ۱۰. تفاضل دو گانه

برای حل مسئله ی تفاضل دو گانه از تکنیک سوم یعنی تفاضلی بین ماهواره و گیرنده استفاده می کنیم. پس باید از ماتریس های حاصل شده از تفاضل یگانه استفاده کنیم. ماتریس های بدست آمده از تفاضل یگانه، شامل سه ستون بودند؛ مقادیر تفاضل، زمان و شماره ی ماهواره. روند کار به این صورت است که باید ابتدا اپک های زمانی را جدا کرده و محاسبات را در هر اپک زمانی انجام می دهیم. تفاضلات یگانه را در هر اپک زمانی برای یک ماهواره محاسبه کردیم و داریم.

1	2	3
7.1389e+05	0	10
-1.9907e+06	0	15
-5.2667e+05	0	18
-5.2415e+05	0	21
-1.8932e+06	0	24
7.0532e+05	30	10
-1.9939e+06	30	15
-5.3477e+05	30	18
-5.2425e+05	30	21
-1.8952e+06	30	24
6.9673e+05	60	10

ماهواره ای که در سطر اول هر ایک قرار دارد را به عنوان مرجع در نظر گرفته و سایر ماهواره ها را نسبت به آن می سنجیم. مثلاً در شکل بالا در زمان های ۰ و ۳۰ ثانیه، ماهواره ی شماره ی ۱۰ را به عنوان ماهواره ی مرجع در نظر می گیریم. یعنی تفاضلات یگانه ی سایر ماهواره ها را از تفاضل یگانه ی حاصل از ماهواره ی مرجع کم می کنیم تا تفاضل دوگانه حاصل شود. نتایج نهایی در ماتریس های $\text{double_difference_p}$ و $\text{double_difference_phi}$ به ترتیب برای شبه فاصله و فاز ذخیره شده است.

برای محاسبه ی دقت، باید توجه داشته باشیم که برای رسیدن به تفاضل دوگانه، دو تفاضل یگانه را از هم کم کردیم. پس معادله ی آن به صورت زیر می شود:

$$\text{double difference} = \text{first single difference} - \text{second single difference}$$

$$\nabla \Delta p = \Delta p_1 - \Delta p_2$$

بنابراین باید از معادله ی فوق نسبت به دو پارامتر حاصل از تفاضل یگانه مشتق بگیریم.

$$\frac{\partial \nabla \Delta p}{\partial \Delta p_1} = 1 ; \frac{\partial \nabla \Delta p}{\partial \Delta p_2} = -1$$

با توجه به انتشار خطا و دقت های بدست آمده از تفاضل یگانه ($\sigma_{\Delta p} = 0.2828$) داریم:

$$\sigma_{\nabla \Delta p} = \sqrt{\left(\frac{\partial \nabla \Delta p}{\partial \Delta p_1} * \sigma_{\Delta p_1}\right)^2 + \left(\frac{\partial \nabla \Delta p}{\partial \Delta p_2} * \sigma_{\Delta p_2}\right)^2} = \sqrt{0.1570} = 0.4 \text{ meters}$$

به همین ترتیب برای فاز هم داریم:

$$\nabla \Delta \Phi = \Delta \Phi_1 - \Delta \Phi_2$$

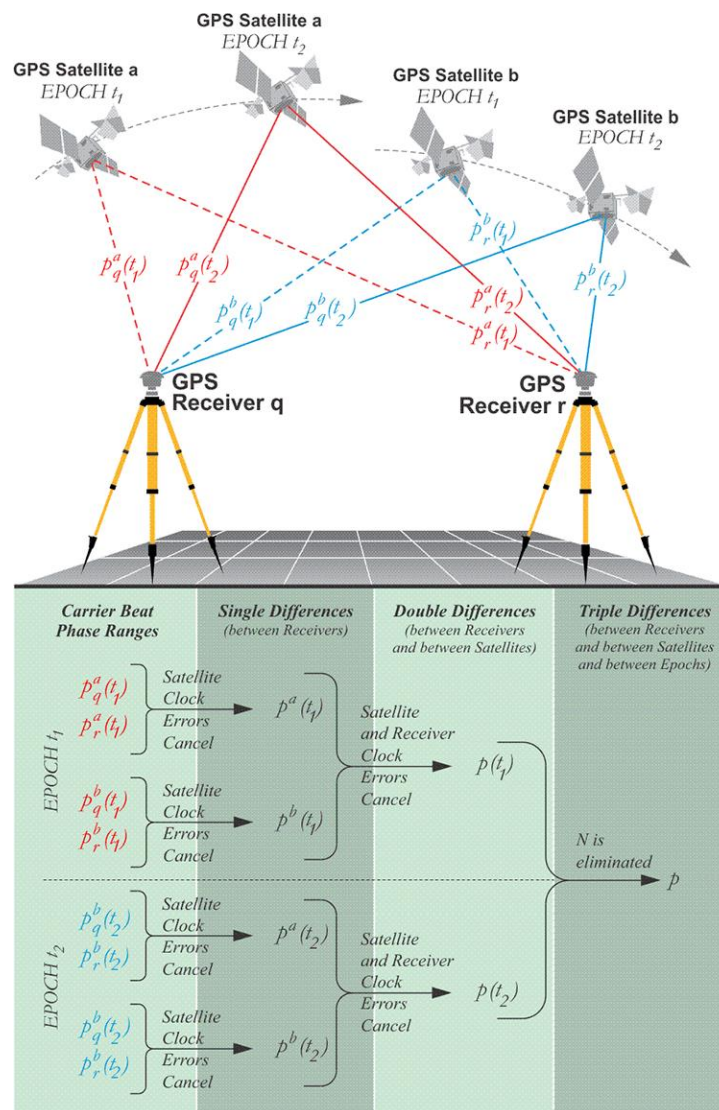
$$\frac{\partial \nabla \Delta \Phi}{\partial \Delta \Phi_1} = 1 ; \frac{\partial \nabla \Delta \Phi}{\partial \Delta \Phi_2} = -1$$

با توجه به انتشار خطا و دقت های بدست آمده از تفاضل یگانه ($\sigma_{\Delta p} = 0.0283$) داریم:

$$\sigma_{\nabla \Delta \Phi} = \sqrt{\left(\frac{\partial \nabla \Delta \Phi}{\partial \Delta \Phi_1} * \sigma_{\Delta \Phi_1}\right)^2 + \left(\frac{\partial \nabla \Delta \Phi}{\partial \Delta \Phi_2} * \sigma_{\Delta \Phi_2}\right)^2} = \sqrt{0.0016} = 0.04 \text{ cycle}$$

تفاضل سه گانه:

ترکیب نفاضلی یگانه ی ماهواره، گیرنده و اپک زمانی است و یا تکنیک تفاضلی گیرنده و ماهواره را در دو اپک زمانی انجام می دهیم.



شکل ۱۱. تفاضل سه گانه

روش کار به این صورت است که از ماتریس های حاصل از تفاضل دو گانه، هر اپک با اپک بعد از خود را جدا می کنیم. یعنی دو اپک متوالی را انتخاب کرده و در ماتریس های دیگری میریزیم. پس لازم است همانند کاری که در تفاضل یگانه انجام دادیم، یک حلقه ی **while** با شرط پیمایش حلقه با پارامتر $i-1$ به تعداد اپک هایی که در اختیار داریم بنویسیم؛ چراکه داریم هر دو اپک را با هم مقایسه میکنیم لازم است شرط حلقه $i-1 < 2879$ باشد. اکنون دو ماتریس با دو اپک متفاوت داریم. لازم است که ماهواره ی مشترک بین این دو ماتریس را به کمک دستور **intersect** بیابیم و در نهایت مشاهدات کد و فاز را از هم کم کنیم. نتایج حاصل از تفاضل سه گانه در ماتریس های **triple_difference_p** و **triple_difference_phi** ریخته شده است.

با توجه به آنکه برای محاسبه ی تفاضل سه گانه، از نتایج حاصل از تفاضل دوگانه استفاده کردیم، برای محاسبه ی دقت لازم است که از نتایج حاصل از دقت تفاضل دوگانه استفاده کنیم. برای محاسبه ی دقت از روش انتشار خطا بهره میبریم:

$$\delta \nabla \Delta p = \nabla \Delta p_1 - \nabla \Delta p_2$$

$$\frac{\partial \delta \nabla \Delta p}{\partial p_1} = 1 ; \frac{\partial \delta \nabla \Delta p}{\partial p_2} = -1$$

طبق قانون انتشار خطا داریم:

$$\sigma_{\delta \nabla \Delta p} = \sqrt{\left(\frac{\partial \delta \nabla \Delta p}{\partial p_1} * \sigma_{\nabla \Delta p_1}\right)^2 + \left(\frac{\partial \delta \nabla \Delta p}{\partial p_2} * \sigma_{\nabla \Delta p_2}\right)^2}$$

با توجه به آنکه در بالا دقت تفاضل دوگانه را برای شبه فاصله ی کد ۰.۴ متر محاسبه کردیم داریم:

$$\sigma_{\delta \nabla \Delta p} = \sqrt{(1 * 0.4)^2 + (-1 * 0.4)^2} = 0.5657 \text{ meters}$$

همینطور برای حالت موج حامل داریم:

$$\delta \nabla \Delta \Phi = \nabla \Delta \Phi_1 - \nabla \Delta \Phi_2$$

$$\frac{\partial \delta \nabla \Delta \Phi}{\partial \Phi_1} = 1 ; \frac{\partial \delta \nabla \Delta \Phi}{\partial \Phi_2} = -1$$

دقت تفاضل دوگانه برای حالت موج حامل در بالا ۰.۰۴ سیکل بدست آمده بود. بنابراین خواهیم داشت:

$$\sigma_{\delta \nabla \Delta \Phi} = \sqrt{\left(\frac{\partial \delta \nabla \Delta \Phi}{\partial \Phi_1} * \sigma_{\nabla \Delta \Phi_1}\right)^2 + \left(\frac{\partial \delta \nabla \Delta \Phi}{\partial \Phi_2} * \sigma_{\nabla \Delta \Phi_2}\right)^2}$$

$$\sigma_{\delta \nabla \Delta \Phi} = \sqrt{(1 * 0.4)^2 + (-1 * 0.4)^2} = 0.0566 \text{ cycle}$$

به نام خدا

گزارش پروژه ی سوم درس ژئودزی ماهواره ای

حسن رضوان – ۸۱۰۳۹۶۰۷۹

این پروژه شامل ۱۲ فایل m. است:

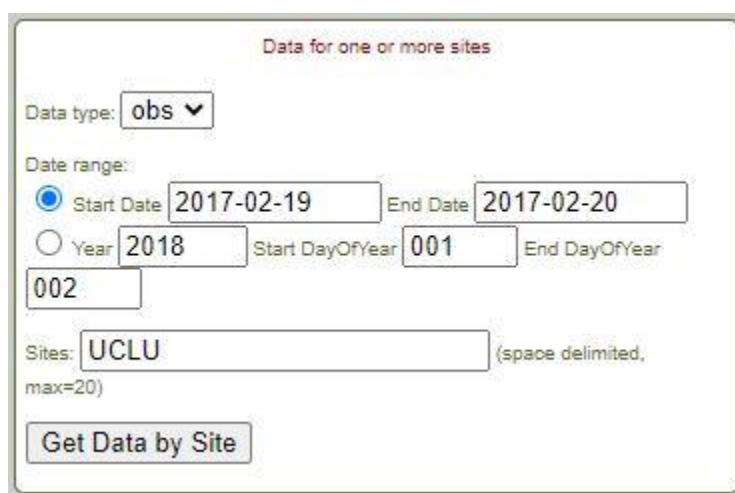
۱. فایل HW_3.m که فایل اصلی پروژه است.
۲. فایل extract.m که برای استخراج پارامترهای فایل راینکس observation است.
۳. فایل read_header.m برای خواندن header فایل ها.
۴. فایل time_calc.m برای محاسبه ی زمان ها و تاریخ های مربوط به gps.
۵. فایل line_length.m برای محاسبه ی طول خطوط فایل های راینکس.
۶. فایل extract_nav برای استخراج پارامترهای فایل ناوبری.
۷. فایل validation.m برای اعتبارسنجی پارامترهای فایل ناوبری از نظر کاراکتری.
۸. فایل ECEF_finder.m برای محاسبه ی مختصات های ECEF ماهواره ها.
۹. فایل Rotation.m برای محاسبه ی ماتریس دوران برای تابع ECEF_finder.
۱۰. فایل convert2geodetic.m برای محاسبه ی مختصات های ژئودتیک.

۱۱. فایل **collins.m** که تابع مربوط به الگوریتم کالینز در آن نوشته شده است.

۱۲. فایل **Klobuchar.m** برای تابع مرتبط به مدل کلوبوچار.

سوال ۱:

ابتدا فایل های راینکس **navigation** و **observation** را برای ایستگاه یوکلوت در کانادا دانلود می کنیم.



شکل ۱. دانلود فایل های داده

برای خواندن این فایل ها، از توابعی که در تمرینات ۱ و ۲ نوشتیم استفاده می کنیم. در مورد این توابع در زیر به طور خلاصه توضیح داده شده است:

- **extract_nav**: این تابع برای جداسازی پارامترهای فایل ناوبری استفاده می کنیم. در یک حلقه **while** هر خط فایل ناوبری را به کمک **fgetl** خوانده و به کمک تابع **extract_nav** پارامترهای موجود در هر خط را جدا می کنیم. در نهایت تمام پارامترهای کپلری را در ماتریس **kepler_elements** میریزیم.
- **validation**: در این تابع پارامترهای استخراج شده را جهت استفاده در محاسبات اعتبارسنجی می کنیم. به این صورت که پارامترها باید به صورت **double** باشند و اگر به صورت **string** هستند، به **double** تبدیل شوند.
- **ECEF_finder**: یکی از سوالات تمرین اول، محاسبه ی مختصات ماهواره در سیستم پریفوکال و در نهایت سیستم **ECEF** بود که به کمک یک الگوریتم ۱۱ مرحله ای انجام می شد. اکنون الگوریتم نوشته شده در آن تمرین را به صورت یک تابع درآورده ایم.
- **rotation**: برای محاسبه ی دوران که در تابع **ECEF_finder** استفاده شده است.

- **extract**: از این تابع برای استخراج پارامترهای فایل راینکس **observation** استفاده می کنیم. در این تابع ابتدا زمان را در ماتریس اپک میریزیم. سپس به کمک حلقه ی **for** هر خط فایل را خوانده و در نهایت پارامترهای جداشده را در ماتریس **data** میریزیم.
- **read_header**: برای خواندن قسمت **header** فایل راینکس از آن استفاده می شود. پارامتری که از این قسمت استخراج می شود، مختصات تقریبی ایستگاه است.
- **line_length**: جهت محاسبه ی طول هر خط استفاده می شود.
- **time_calc**: برای محاسبه ی تاریخ ژولین و زمان **gps** نوشته شده که در تابع **extract** از آن استفاده می شود.

قسمت اول)

برای پاسخ به این قسمت از سوال، ابتدا لازم است که مختصات ۳۱ ماهواره ای را که در اختیار داریم، بدست آوریم. این کار به کمک الگوریتم ۱۱ مرحله ای که در تمرین اول به طور کامل شرح داده شده است، صورت می گیرد. این الگوریتم در تابع **ECEF_finder** انجام می شود. خروجی این تابع مختصات های **x** و **y** و **z** ماهواره ها در سیستم **ECEF** است. روند این الگوریتم در پایین آمده:

۱. محاسبه ی اختلاف زمان با زمان مرجع: این پارامتر با اختلاف زمان گذشته از ابتدای روز از **toe** محاسبه می شود. ماتریس **t** همان ماتریس ثانیه های گذشته در یک روز با گام های ۳۰ ثانیه است. **toe** هم از فایل ناوبری برای هر ماهواره بدست می آید. مقدار **toe** را در این الگوریتم از کم کردن مقدار **toe** ماهواره ی اول از مقدار **toe** سایر ماهواره ها که در زمان بعد از اولین مشاهده اندازه گیری شده اند، کم می کنیم.

$$t_k = t - toe$$

۲. **t_k** ی بدست آمده یک ماتریس **1*2881** است. به ازای هر عضو این ماتریس باید آنومالی متوسط را محاسبه کنیم.

$$M = M_0 + \left(\sqrt{\frac{GM}{a^3}} + \Delta n \right) * t$$

۳. سپس باید آنومالی خروج از مرکزیت (**E_k**) را محاسبه کنیم. معادله ی کپلر به صورت $E = M + e \sin E$ است. به دلیل آنکه **E** را در این معادله در اختیار نداریم، باید از روش های تکراری در محاسبات عددی استفاده کنیم. یکی از این روش های عددی، روش نیوتن رافسون است. شرط رسیدن به جواب نهایی برای **E_k** آن است که اختلاف **E_k** ی نهایی با جواب قبل آن از 10^{-6} کوچکتر شود.

۴. محاسبه ی آنومالی حقیقی:

$$v = \tan^{-1} \left(\frac{E \sqrt{1 - e^2}}{\cos E - e} \right)$$

۵. محاسبه ی آرگومان پریجی:

$$\omega = \omega_0 + v + C_{wc} \cos 2(v + \omega_0) + C_{ws} \sin 2(v + \omega_0)$$

۶. محاسبه ی فاصله ی شعاعی:

$$r = a(1 - e \cos E) + C_{rc} \cos 2(v + \omega_0) + C_{rs} \sin 2(v + \omega_0)$$

۷. محاسبه ی زاویه ی میل مداری:

$$i = i_0 + it + C_{ic} \cos 2(v + \omega_0) + C_{is} \sin 2(v + \omega_0)$$

۸. محاسبه ی طول نقطه ی گرهی صعودی:

$$\Omega = \Omega_0 + (\dot{\Omega} - \omega_e)t - \omega_e t_{oe}$$

مقدار ω_e برابر است با $7.292115147 \times 10^{-5}$.

۹. محاسبه ی مختصات در سیستم ECEF:

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix}_{ECEF} = R_3(-\Omega) R_1(-i) R_3(-\omega) \begin{pmatrix} r_k \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

۱۰. محاسبه ی مختصات در سیستم پریفوکال:

$$\begin{cases} x_{PF} = r \cos \theta \\ y_{PF} = r \sin \theta \end{cases}$$

۱۱. تبدیل به سیستم اینرشیال:

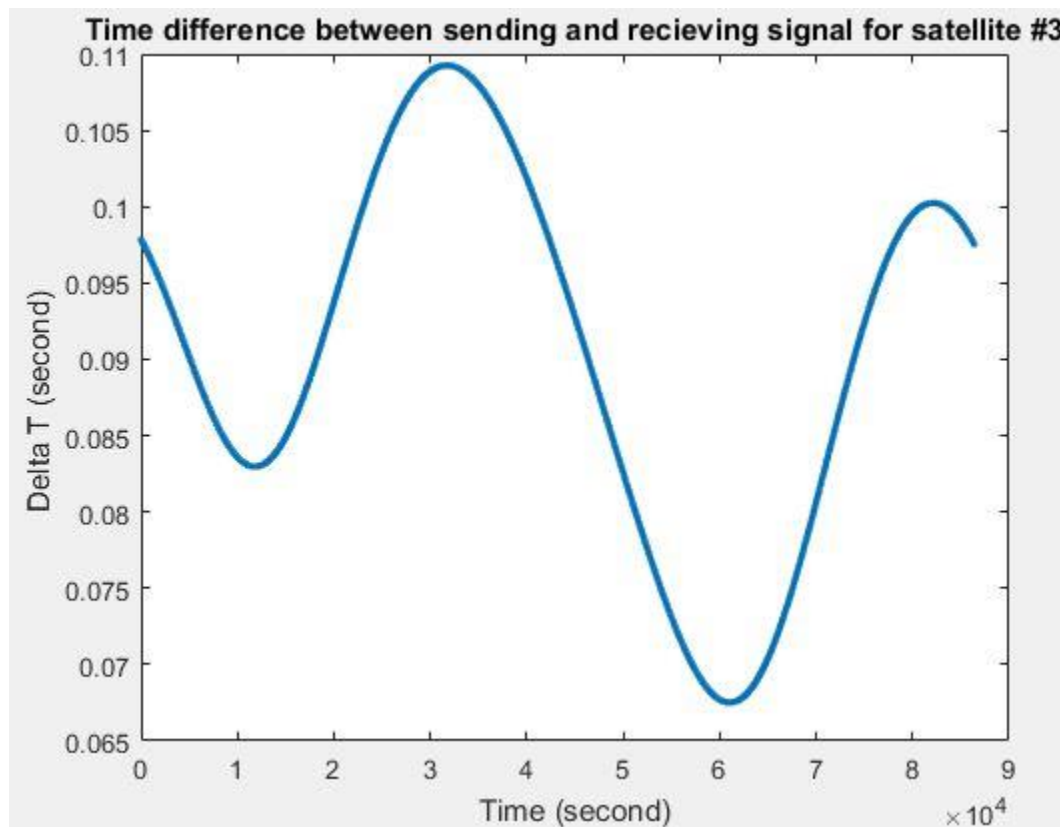
$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix}_{ECI} = R_3(-\Omega) R_1(-i) R_3(-\omega) \begin{pmatrix} x \\ y \\ 0 \end{pmatrix}_{PF}$$

سپس باید اختلاف زمان بین ارسال و دریافت سیگنال را بدست آوریم. این کار به کمک رابطه ی زیر انجام می شود:

$$\Delta t = \frac{t_{sat} - t_{reciver}}{c} ; \text{ which } c = 3 * 10^8$$

به کمک $t = t_{receiver} - \Delta t$ بدست آمده، زمان ارسال سیگنال را تخمین میزنیم. اکنون با پارامتر زمان جدیدی (t) که داریم، دوباره الگوریتم ۱۱ مرحله ای را تکرار کرده و مختصات های جدیدی را بدست می آوریم. سپس وارد یک حلقه **while** می شویم و شرط خروج حلقه کوچکتر شدن اختلاف مختصات ماهواره ها در دو مرحله ی متوالی از 10^{-6} است. با روش آزمون و خطا، به این نتیجه رسیده ایم که با ۳ بار تکرار حلقه، شرط مذکور ارضا می شود. در این حلقه هر بار یک Δt محاسبه شده و با اعمال Δt ، t جدید را بدست آورده و با آن مختصات های جدید را بدست می آوریم. بردار فاصله بین مختصات های جدید و مختصات های اولیه را محاسبه کرده و اختلافشان پارامتر Δr را میدهد. زمانی که این پارامتر به حد کافی کوچک شد از حلقه خارج می شویم. مختصات های نهایی در ماتریس های $x_sat_coordinates$ ، $y_sat_coordinates$ و $z_sat_coordinates$ ذخیره شده است.

برای رسم اختلاف بین زمان ارسال و دریافت برای ماهواره ی شماره ی ۳ از آخرین ماتریس بدست آمده ی Δt از حلقه استفاده می کنیم. این ماتریس را برحسب ۲۴ ساعت شبانه روز با طول گام ۳۰ ثانیه ترسیم می کنیم.



شکل ۲. اختلاف بین زمان ارسال و زمان دریافت برای ماهواره ی شماره ۳

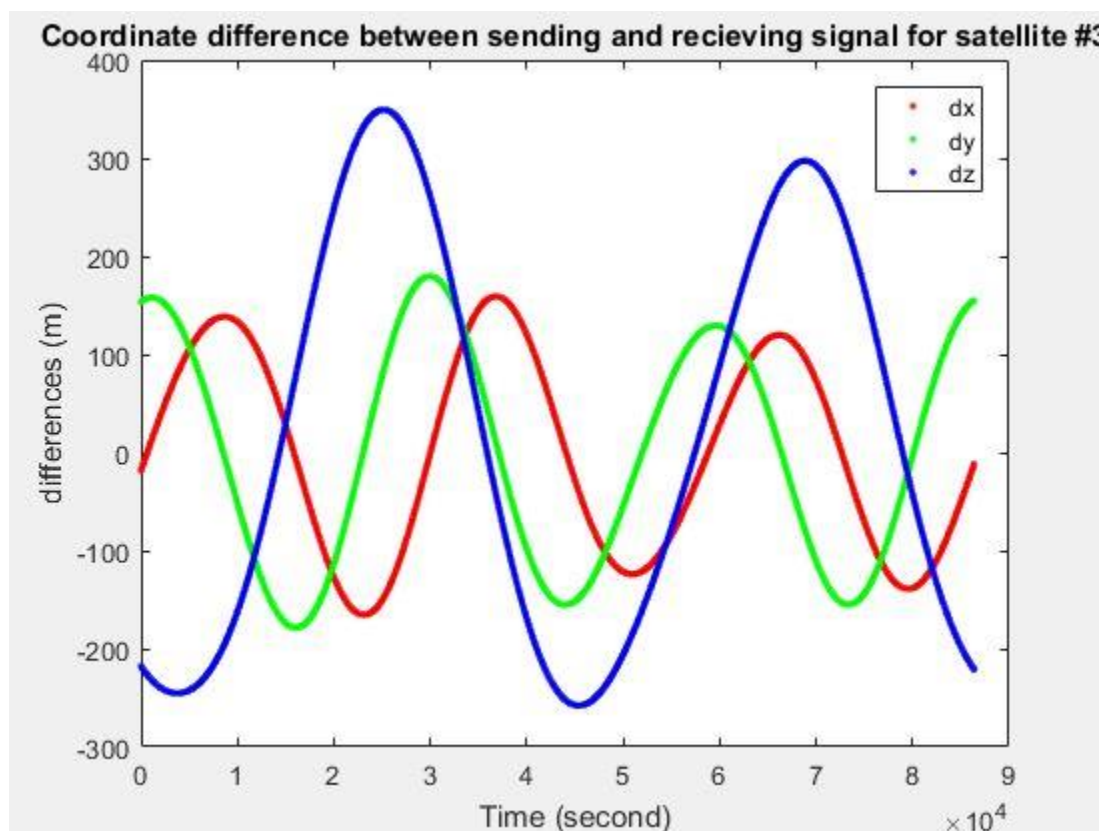
در نهایت برای محاسبه ی مختصات های نهایی به پارامتر θ برای دوران حول محور Z نیاز داریم؛ چراکه در حین سیر سیگنال، زمین در حال دوران است. برای بدست آوردن θ از رابطه ی زیر استفاده می کنیم.

$$\theta = \omega_e * \Delta t$$

با بدست آوردن و دوران مختصات های بدست آمده از حلقه ی **while**، مختصات های نهایی جدید ماهواره ها حاصل می شود.

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}_{new} = \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta & 0 \\ -\sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}_{satellite}$$

در نهایت مختصات های اولیه را از مختصات های جدیدی که بدست آوردیم، کم کرده و این اختلاف مختصات را برحسب ۲۴ ساعت شبانه روز رسم می کنیم.



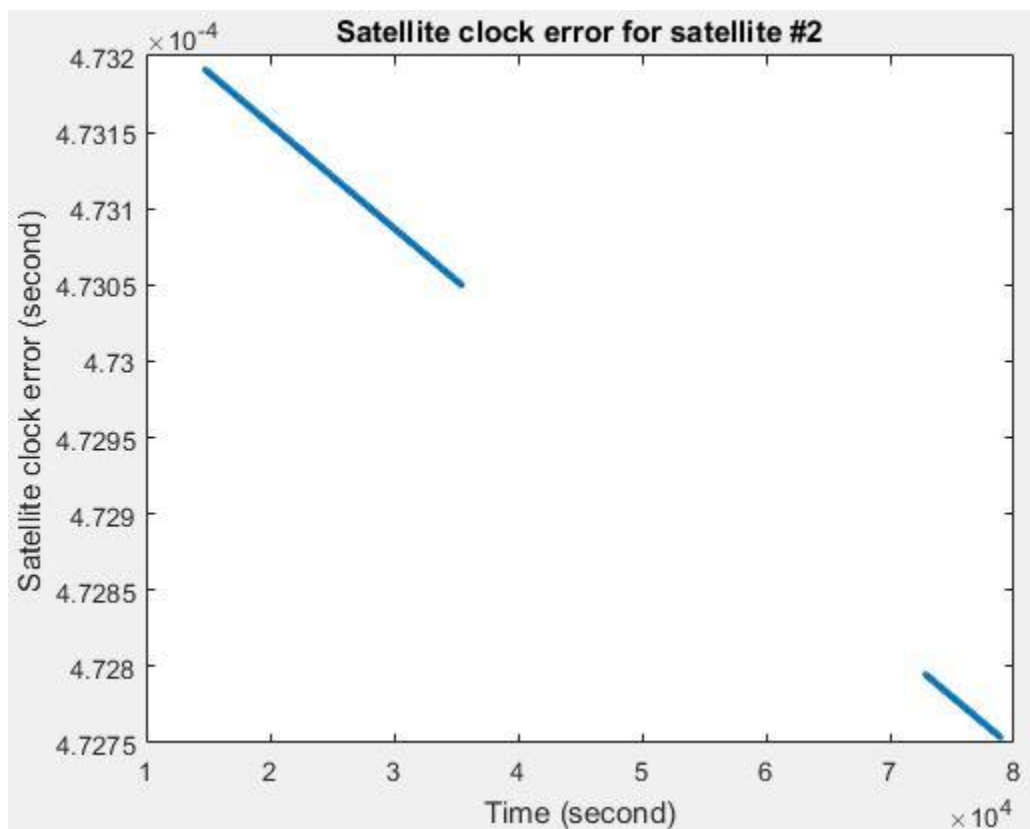
شکل ۳. اختلاف بین مختصات های ماهواره در زمان ارسال و زمان دریافت برای ماهواره ی شماره ۳

قسمت دوم)

یکی از خطاهای موجود در معادله ی مربوط به فاصله، خطای ساعت ماهواره است که ناشی از اختلاف ساعت ماهواره با زمان **gps** است. به دلیل ثبات ساعت ماهواره، رفتار این زمان قابلیت مدل سازی دارد. ارتباط بین زمان ساعت ماهواره و زمان **gps** توسط کنترل زمینی سامانه ی **gps** از طریق ارسال ضرایب یک مدل چندجمله ای در اطلاعات ناوبری معین می گردد. این مدل به صورت زیر است:

$$\Delta t_{sv} = a_0 + a_1(t - t_0) + a_2(t - t_0)^2$$

که در آن Δt_{sv} اختلاف بین زمان ماهواره و gps، t زمان gps در لحظه ی اندازه گیری، t_0 زمان مرجع پیام های ناوبری و a_0 و a_1 و a_2 ضرایب موجود در پیام های ناوبری است. مقادیر t را از فایل راینکس observation با توجه به ستون مربوط به شماره ی ماهواره ها استخراج می کنیم و مقادیر مربوط به t_0 را از ستون ۱۷ فایل ناوبری برداشته و برای هر لحظه که ماهواره اندازه گیری دارد، خطای ساعت ماهواره را محاسبه می کنیم. با توجه به ضرایب موجود که در ماتریس sat وجود داشته، مدل فوق را برای هر لحظه و به ازای هر ماهواره اجرا می کنیم. در نهایت ماتریس حاصل برای هر ماهواره را در یک از درایه های سلول delta_t_sv میریزیم. همچنین نمایش این خطا برای ماهواره ی شماره ی ۲ به صورت زیر می شود:



شکل ۴. خطای ساعت ماهواره برای ماهواره ی شماره ۲

قسمت سوم)

برای محاسبه ی میزان خطای لایه ی تروپوسفر از مدل کالینز استفاده می کنیم. این مدل را در تابعی با نام collins نوشته ایم که ورودی های آن زاویه ی ارتفاعی و ارتفاع گیرنده و مقادیر ۵ پارامتر هواشناسی است.

پیش از پرداختن به این مدل، لازم است در مورد نحوه ی بدست آوردن زاویه ی ارتفاعی و آزیموت صحبت کنیم. ابتدا به کمک مختصات تقریبی ایستگاه، و تابع `convert2geodetic` (تابعی که در تمرین اول توضیح داده شد) مختصات ژئودتیک ایستگاه را بدست می آوریم و پس از آن به مختصات `enu` تبدیل می کنیم.

روش محاسبه ی مختصات های ژئودتیک، این روند در فایل `convert2geodetic` و برای درس ژئودزی هندسی نوشته شده بود.

$$\lambda = \tan^{-1} \left(\frac{y}{x} \right)$$

$$\varphi_0 = \tan^{-1} \left(\frac{z}{\sqrt{x^2 + y^2}} \left(1 + \frac{e^2}{1 - e^2} \right) \right)$$

$$\varphi_i^{i=1:n} = \tan^{-1} \left(\frac{z}{\sqrt{x^2 + y^2}} \left(1 + \frac{e^2 N \sin \varphi}{z} \right) \right)$$

$$h = \frac{z}{\sin \varphi} - N(1 - e^2)$$

نحوه ی بدست آوردن مختصات `enu`:

$$\hat{e} = (-\sin \lambda, \cos \lambda, 0)$$

$$\hat{n} = (-\cos \lambda \sin \varphi, -\sin \lambda \sin \varphi, \cos \varphi)$$

$$\hat{u} = (\cos \lambda \cos \varphi, \sin \lambda \cos \varphi, \sin \varphi)$$

گام بعدی آن است که تفاوت فاصله بین مختصات ایستگاه و مختصات ماهواره را که در قسمت اول حساب کردیم، بدست آوریم. در نهایت بردار را به صورت زیر بدست می آوریم:

$$\rho = \frac{r^{sat} - r_{rcv}}{\|r^{sat} - r_{rcv}\|}$$

در نهایت به کمک مختصات های `enu` و بردار فوق و با ضرب داخلی، مختصات های هر لحظه ی ماهواره را خواهیم داشت:

$$E = \sin^{-1}(\rho \cdot u)$$

$$A = \tan^{-1} \left(\frac{\rho \cdot e}{\rho \cdot n} \right)$$

اکنون با داشتن E و A وارد الگوریتم می شویم.

الگوریتم این مدل به صورت زیر است:

۱. محاسبه ی پارامترهای هواشناسی: ابتدا با توجه به عرض جغرافیایی گیرنده، پارامتر D_{min} را بدست می آوریم. برای نیمکره ی شمالی، مقدار D_{min} برابر ۲۸ و برای نیمکره ی جنوبی ۲۱۱ است. با توجه به اینکه ایستگاه موردنظر ما در نیمکره ی شمالی قرار دارد، مقدار D_{min} را برابر ۲۸ در نظر می گیریم. گام بعدی آن است که با توجه به جدول زیر و رابطه ی $\varepsilon(\Phi, D) = \varepsilon_0(\Phi) - \Delta\varepsilon(\Phi) \cos\left(\frac{2\pi(D-D_{min})}{365.25}\right)$ مقادیر هر یک از ۵ پارامتر هواشناسی را محاسبه کنیم. با توجه به مقدار عرض جغرافیایی گیرنده، میتوان مقادیر پارامترها را درونیابی کرد.

Latitude (°)	Average				
	P_0 (mbar)	T_0 (K)	e_0 (mbar)	β_0 (K/m)	λ_0
15 or less	1013.25	299.65	26.31	$6.30 \cdot 10^{-3}$	2.77
30	1017.25	294.15	21.79	$6.05 \cdot 10^{-3}$	3.15
45	1015.75	283.15	11.66	$5.58 \cdot 10^{-3}$	2.57
60	1011.75	272.15	6.78	$5.39 \cdot 10^{-3}$	1.81
75 or more	1013.00	263.65	4.11	$4.53 \cdot 10^{-3}$	1.55

Latitude (°)	Seasonal variation				
	ΔP (mbar)	ΔT (K)	Δe (mbar)	$\Delta \beta$ (K/m)	$\Delta \lambda$
15 or less	0.00	0.00	0.00	$0.00 \cdot 10^{-3}$	0.00
30	-3.75	7.00	8.85	$0.25 \cdot 10^{-3}$	0.33
45	-2.25	11.00	7.24	$0.32 \cdot 10^{-3}$	0.46
60	-1.75	15.00	5.36	$0.81 \cdot 10^{-3}$	0.74
75 or more	-0.50	14.50	3.39	$0.62 \cdot 10^{-3}$	0.30

محاسبات و درونیابی های مربوط به هر کدام از ۵ پارامتر به صورت زیر انجام شده است:

$$\varepsilon = \varepsilon_0 - 0.9292 \Delta\varepsilon$$

$$P = P_0 - 0.9292 \Delta P \rightarrow P = 1017 - 0.9292(-2.08) = 1018.93$$

$$T = T_0 - 0.9292 \Delta T \rightarrow T = 279.48 - 0.9292(12.33) = 268.02$$

$$e = e_0 - 0.9292 \Delta e \rightarrow e = 10.03 - 0.9292(6.61) = 3.88$$

$$\beta = \beta_0 - 0.9292 \Delta \beta \rightarrow \beta = 5.51 * 10^{-3} - 0.9292(0.48 * 10^{-3}) = 5.06 * 10^{-3}$$

$$\lambda = \lambda_0 - 0.9292 \Delta\lambda \rightarrow \lambda = 2.31 - 0.9292(0.55) = 1.79$$

۲. محاسبه ی $Tr_{z0,w}$ و $Tr_{z0,d}$

$$Tr_{z0,d} = \frac{10^{-6}k_1R_dP}{g_m} \quad ; \quad Tr_{z0,w} = \frac{10^{-6}k_2R_d}{(\lambda + 1)g_m} \frac{e}{T}$$

$$k_1 = 77.604 ; k_2 = 382000 ; R_d = 287.054 ; g_m = 9.784 ; g = 9.80665$$

۳. محاسبه ی تاخیر تروپوسفری خشک و تر در راستای زنیت ($Tr_{z0,w}$ و $Tr_{z0,d}$)

$$Tr_{z,d} = \left[1 - \frac{\beta H}{T}\right]^{\frac{g}{R_d\beta}} * Tr_{z0,d} \quad ; \quad Tr_{z,w} = \left[1 - \frac{\beta H}{T}\right]^{\frac{(1+\lambda)g}{R_d\beta}-1} * Tr_{z0,w}$$

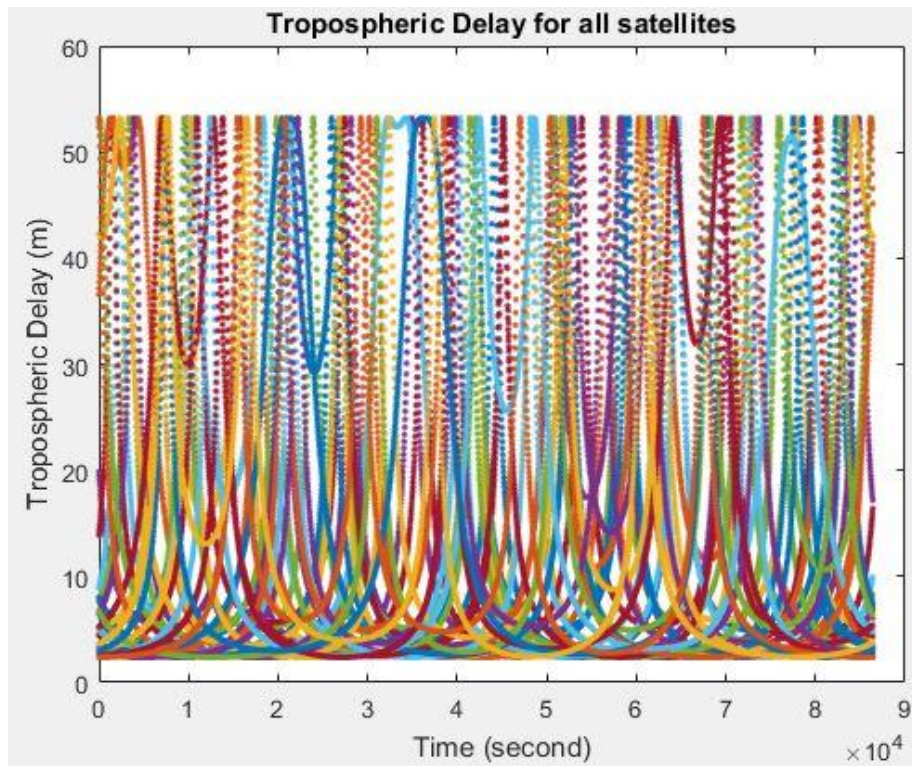
۴. محاسبه ی تابع تصویر

$$M(E) = \frac{1.001}{\sqrt{0.002001 + \sin^2 E}}$$

۵. محاسبه ی مقدار خطای تروپوسفری

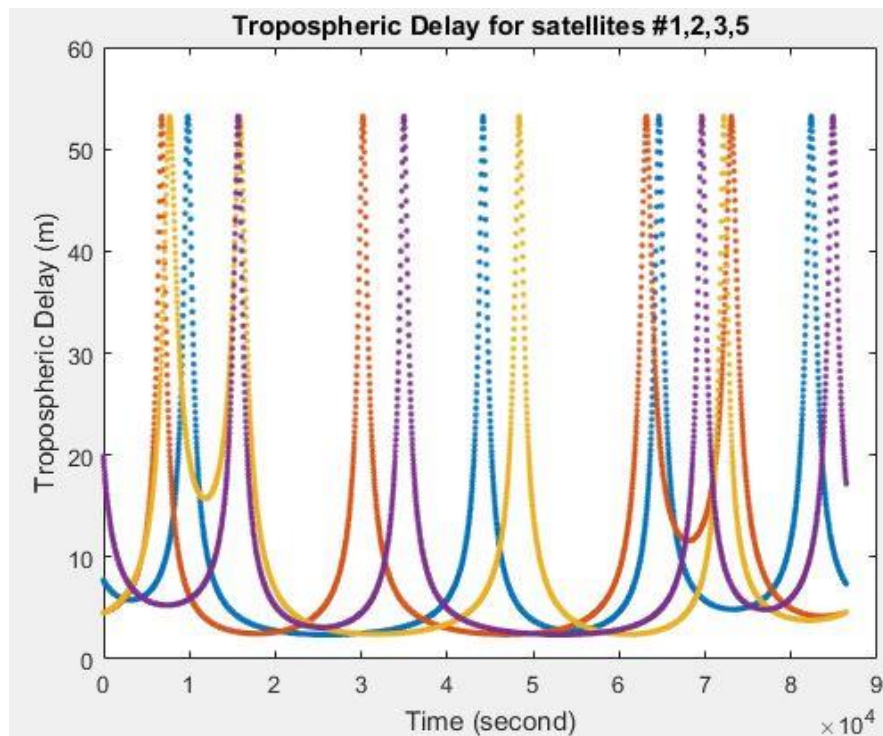
$$Tr(E) = d^{trop}(E) = (Tr_{z,d} + Tr_{z,w}) * M(E)$$

در نهایت مقادیر این خطا را برای تمام ۳۱ ماهواره به صورت زیر نمایش می دهیم:



شکل ۵. تاخیر تروپوسفری برای تمام ماهواره ها

از آنجایی که شکل فوق واضح نیست و اطلاعات خوبی در اختیار ما قرار نمی دهد، یک پلات دیگر از نتایج مربوط به ماهواره های ۱ و ۲ و ۳ و ۵ تهیه می کنیم که در پایین آمده است.



شکل ۶. تاخیر تروپوسفری برای ماهواره های ۱ و ۲ و ۳ و ۵

قسمت چهارم)

یکی از مدل های تصحیح یونسفری، مدل کلوبوچار است که برای گیرنده های تک فرکانسه به کار می رود و یک منحنی کسینوسی را به تغییرات روزانه ی تاخیر یونسفری برازش می دهد. برای این قسمت، الگوریتم کلوبوچار را در داخل یک تابع نوشته و تابع را Klobuchar نام گذاری می کنیم. ورودی های این تابع عبارتند از E ، A ، مختصات ایستگاه و ضرایب a_n و β_n که در فایل راینکس قرار دارد. روند مدل کلوبوچار به صورت زیر است:

۱. محاسبه ی زاویه ی مرکزی

$$\psi = \frac{\pi}{2} - E - \sin^{-1} \left(\frac{R_E}{R_E + h} \cos E \right)$$

که $R_E=6378$ و $h=350$.

۲. محاسبه ی عرض جغرافیایی IPP

$$\Phi_I = \sin^{-1}(\sin \varphi_u \cos \psi + \cos \varphi_u \sin \psi \cos A)$$

۳. محاسبه ی طول جغرافیایی IPP

$$\lambda_I = \lambda_u + \frac{\psi \sin A}{\cos \Phi_I}$$

۴. محاسبه ی عرض مغناطیسی نقطه ی IPP

$$\Phi_m = \sin^{-1}(\sin \Phi_I \sin \Phi_P + \cos \Phi_I \cos \Phi_P \cos(\lambda_I - \lambda_P))$$

$$\lambda_P = 291.10^\circ ; \Phi_P = 78.3^\circ$$

۵. محاسبه ی زمان لوکال IPP

$$t = \frac{43200 \lambda_I}{\pi} + t_{GPS} \rightarrow \begin{cases} t > 86400 & t = \frac{t}{86400} \\ t < 86400 & t = t + 86400 \end{cases}$$

۶. محاسبه ی دامنه ی یونسفری

$$A_I = \sum_{n=0}^3 a_n \left(\frac{\Phi_m}{\pi} \right)^n \xrightarrow{A_I < 0} A_I = 0$$

۷. محاسبه ی پریود تاخیری

$$P_I = \sum_{n=0}^3 \beta_n \left(\frac{\Phi_m}{\pi} \right)^n \xrightarrow{P_I < 72000} P_I = 72000$$

۸. محاسبه ی فاز تاخیری یونسفری

$$X_I = \frac{2\pi(t - 50400)}{P_I}$$

۹. محاسبه ی تابع تصویر یونسفری

$$F = \left[1 - \left(\frac{R_E}{R_E + h} \cos E \right)^2 \right]^{-\frac{1}{2}}$$

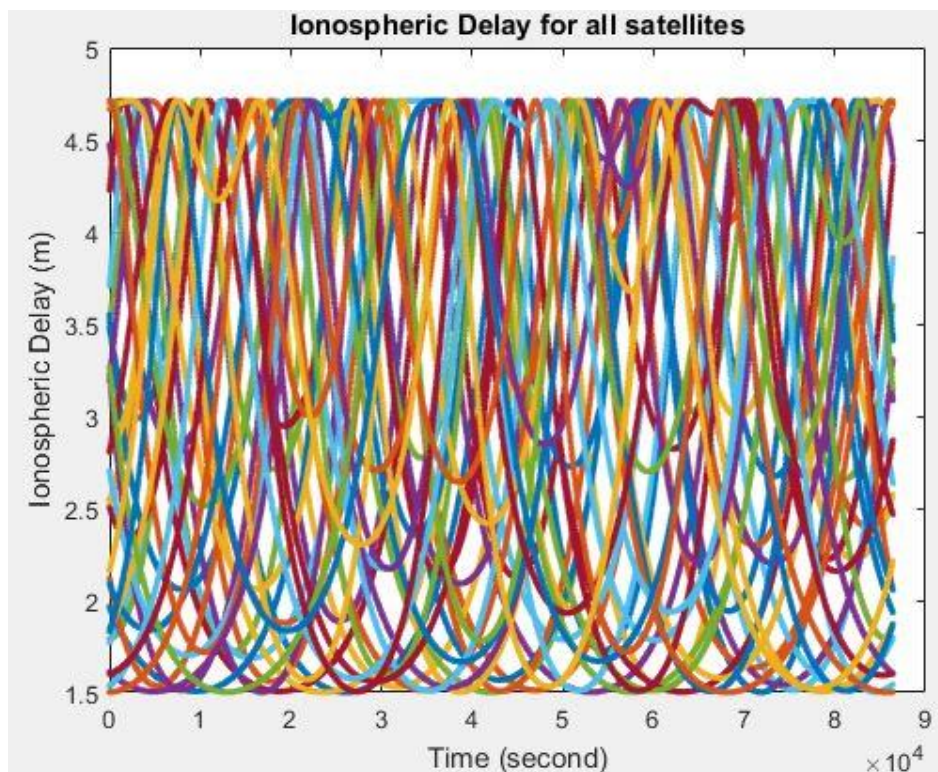
۱۰. محاسبه ی تاخیر زمانی یونسفری برای L_1

$$I_1 = \begin{cases} [5 * 10^{-9} + A_I \cos X_I] * F & |X_I| < \frac{\pi}{2} \\ 5 * 10^{-9} * F & |X_I| \geq \frac{\pi}{2} \end{cases}$$

در نهایت با ضرب I_1 در سرعت نور، مقدار خطای یونسفری در واحد متر بدست می آید.

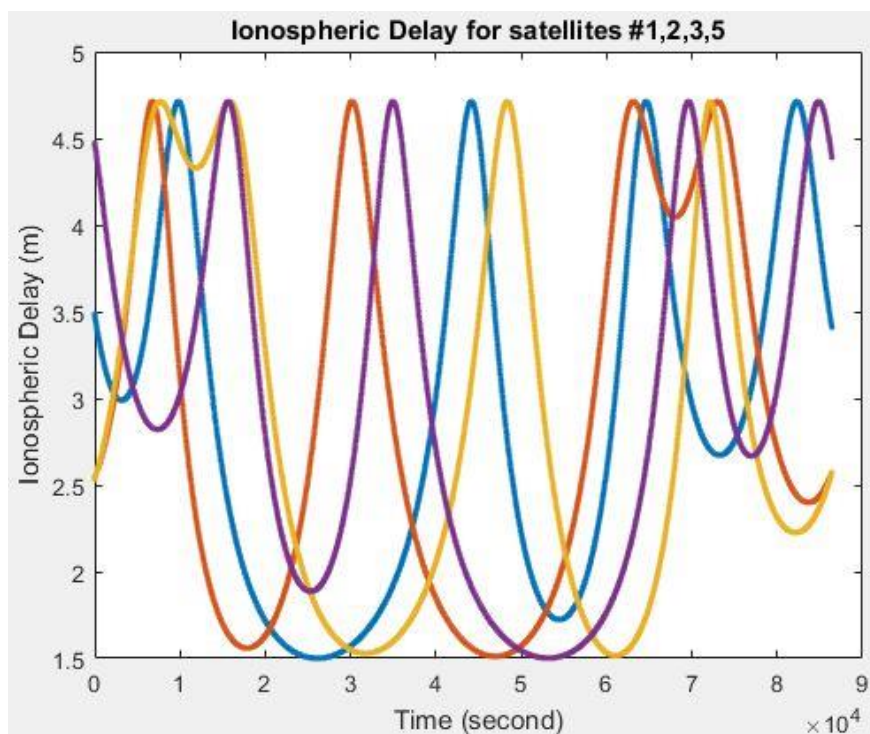
$$d_{ion} = I_1 * c$$

این الگوریتم را برای هر اپک اجرا کرده و برای ۳۱ ماهواره به صورت زیر نمایش می دهیم:



شکل ۷. تاخیر یونسفیری برای تمام ماهواره ها

از آنجایی که شکل فوق واضح نیست و اطلاعات خوبی در اختیار ما قرار نمی دهد، یک پلات دیگر از نتایج مربوط به ماهواره های ۱ و ۲ و ۳ و ۵ تهیه می کنیم که در پایین آمده است.



شکل ۹. تاخیر یونسفیری برای ماهواره های ۱ و ۲ و ۳ و ۵

به نام خدا

گزارش پروژه ی چهارم درس ژئودزی ماهواره ای

حسن رضوان – ۸۱۰۳۹۶۰۷۹

برای انجام این پروژه از داده های پروژه های قبل که آنها را به صورت یک ماتریس واحد درآورده بودیم، خروجی گرفته و استفاده می کنیم.

سوال (۱)

۱-۱: ابتدا لازم است نویز را از مشاهدات p_1 حذف کنیم. برای حل این سوال از خطاهای مربوط به اتمسفر نظیر یونسفر و تروپوسفر صرف نظر می کنیم. معادلاتی که در اختیار داریم به صورت زیر است:

$$\rho_j - c\delta T^j = \sqrt{(x^j - x)^2 + (y^j - y)^2 + (z^j - z)^2} + c\delta t$$

در نهایت معادله مشاهده ای تشکیل می دهیم به صورت زیر است:

$$l = \rho + c\delta T - r_0$$

که ρ مشاهدات موجود در فایل راینکس است. همچنین رابطه ی r_0 به صورت زیر است:

$$r_0 = \sqrt{(x^j - x)^2 + (y^j - y)^2 + (z^j - z)^2}$$

از آنجایی که در رابطه ی فوق رادیکال وجود دارد، مدل مسئله پارامتریک خطی است. پس باید رابطه ای را که به عنوان معادله مشاهده در اختیار داریم را خطی کنیم. با خطی سازی به معادله ی زیر می رسیم.

$$p^j = \rho_0^j - D^j = \frac{x_0 - x^j}{\rho_0^j} dx + \frac{y_0 - y^j}{\rho_0^j} dy + \frac{z_0 - z^j}{\rho_0^j} dz + c\delta t$$

در نهایت می توانیم ماتریس ها را به صورت زیر تشکیل دهیم:

$$A = \begin{bmatrix} \frac{x_0 - x^1}{\rho_0^1} & \frac{y_0 - y^1}{\rho_0^1} & \frac{z_0 - z^1}{\rho_0^1} & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \frac{x_0 - x^n}{\rho_0^n} & \frac{y_0 - y^n}{\rho_0^n} & \frac{z_0 - z^n}{\rho_0^n} & 1 \end{bmatrix} ; \quad X = \begin{bmatrix} dx \\ dy \\ dz \\ c\delta t \end{bmatrix}$$

ماتریس مشاهدات که در بالا توضیح داده شد، هم به صورت زیر تشکیل می شود:

$$\delta \hat{l} = \begin{bmatrix} P^1 - \rho_0^1 - D^1 \\ \vdots \\ P^n - \rho_0^n - D^n \end{bmatrix}$$

ماتریس های مربوط به تمام معادلات و مشاهداتی را که در اختیار داریم را تشکیل می دهیم و در نهایت به کمک رابطه ی کمترین مربعات یعنی $X = (A^T A)^{-1} A^T l$ مجهولات را برآورد می کنیم. روند حل کمترین مربعات و تشکیل ماتریس ها در تابع `leastSquare_Part_1` نوشته شده است.

برای روش ترتیبی نیز یک حلقه ی `for` به تعداد مشاهدات که ۲۸۸۱ عدد است تشکیل داده و در هر تکرار یک مشاهده را اضافه می کنیم و در هر مرحله مجهولات را برآورد می کنیم و به مجهولات برآورد شده در مرحله ی قبل اضافه می کنیم.

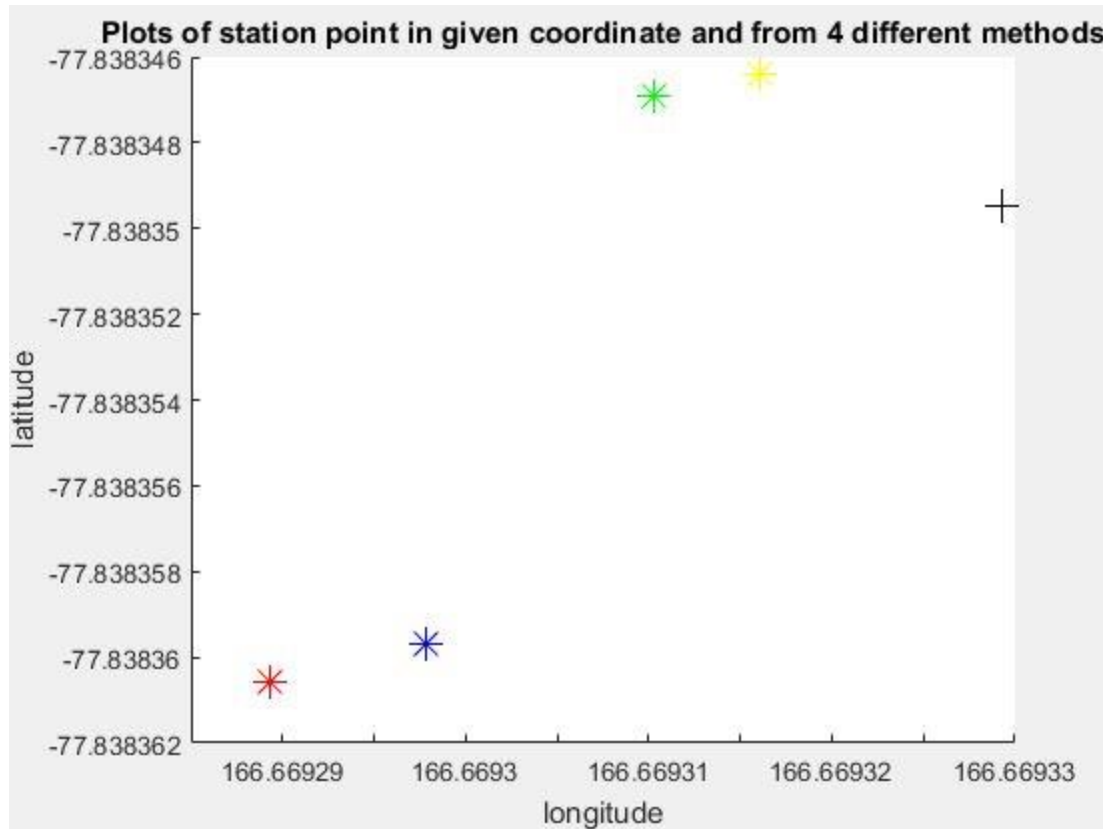
۲-۱: در این قسمت می خواهیم همان روندی را که در قسمت ۱-۱ طی کردیم، انجام می دهیم با این تفاوت که می خواهیم خطاهای یونسفر و تروپوسفر را تاثیر دهیم. در نتیجه معادلات ما به شکل زیر خواهد بود:

$$\rho_j - c\delta T^j + d_{trop} - d_{ion} = \sqrt{(x^j - x)^2 + (y^j - y)^2 + (z^j - z)^2} + c\delta t$$

معادله مشاهده به شکل زیر می شود:

$$l = \rho + c\delta T - r_0 - d_{trop} - d_{ion}$$

ادامه ی کار برای روش های یکجا و ترتیبی همانند قسمت ۱-۱ است.



۳-۱: برای پاسخ به این سوال باید از یک معیار برای سنجش استفاده کنیم. این معیار را می توانیم فاصله ی سه بعدی تا مختصات اولیه ی ایستگاه قرار دهیم. با مقایسه ی فاصله های سه بعدی در حالتی که اتمسفر را اعمال کرده ایم و در حالتی که اعمال نکرده ایم می توان در مورد اثر آن بحث کرد.

با اجرای برنامه در حالت یکجا با اعمال اثرات اتمسفر و بدون اعمال آن به نتایج زیر می رسیدیم:

$$dist_{oneplace-nonatmosphere} = 20.3612 \text{ m}$$

$$dist_{oneplace-atmosphere} = 17.8392 \text{ m}$$

و در حالت ترتیبی:

$$dist_{sequential-nonatmosphere} = 18.9126 \text{ m}$$

$$dist_{sequential-atmosphere} = 16.3280 \text{ m}$$

در هر دو حالت یکجا و ترتیبی شاهد هستیم که فاصله ی اقلیدسی با مختصات اولیه ی ایستگاه در حالتی که اثرات اتمسفر را در معادلات اعمال کرده ایم کمتر از حالتی است که این اثرات حذف شده اند. در نتیجه می توان گفت اعمال اثرات اتمسفر در معادلات سبب می شود به برآورد بهتری از موقعیت ایستگاه مورد نظر برسیم.

سوال ۲)

۱-۲: در این قسمت می خواهیم مختصات گیرنده را به کمک مشاهدات کد در دو فرکانس برآورد کنیم. ابتدا لازم است که مشاهدات نویز یعنی مشاهداتی را که مقادیر p_1 و p_2 برای آنها صفر است، حذف می کنیم. سپس از روش های یکجا و ترتیبی در حالت های بدون اعمال اثرات اتمسفر و اعمال اثرات اتمسفر همانند سوال قبل با این تفاوت که از مشاهدات p_1 و p_2 برای تعیین موقعیت استفاده می کنیم.

در حالت تعیین موقعیت تابعی با نام `oneplace_matrix_arrange` جهت چپنش ماتریس ها نوشته شده است. ادامه ی روند حل سوال مانند سوال ۱ است و از توابع `leastSquare_nonatmosphere` و `leastSquare_atmosphere` برای انجام حل کمترین مربعات به ترتیب برای حالت اعمال اثر اتمسفر و اعمال ندادن اثر آن استفاده می شود. این مختصات ها در پایین آمده اند:

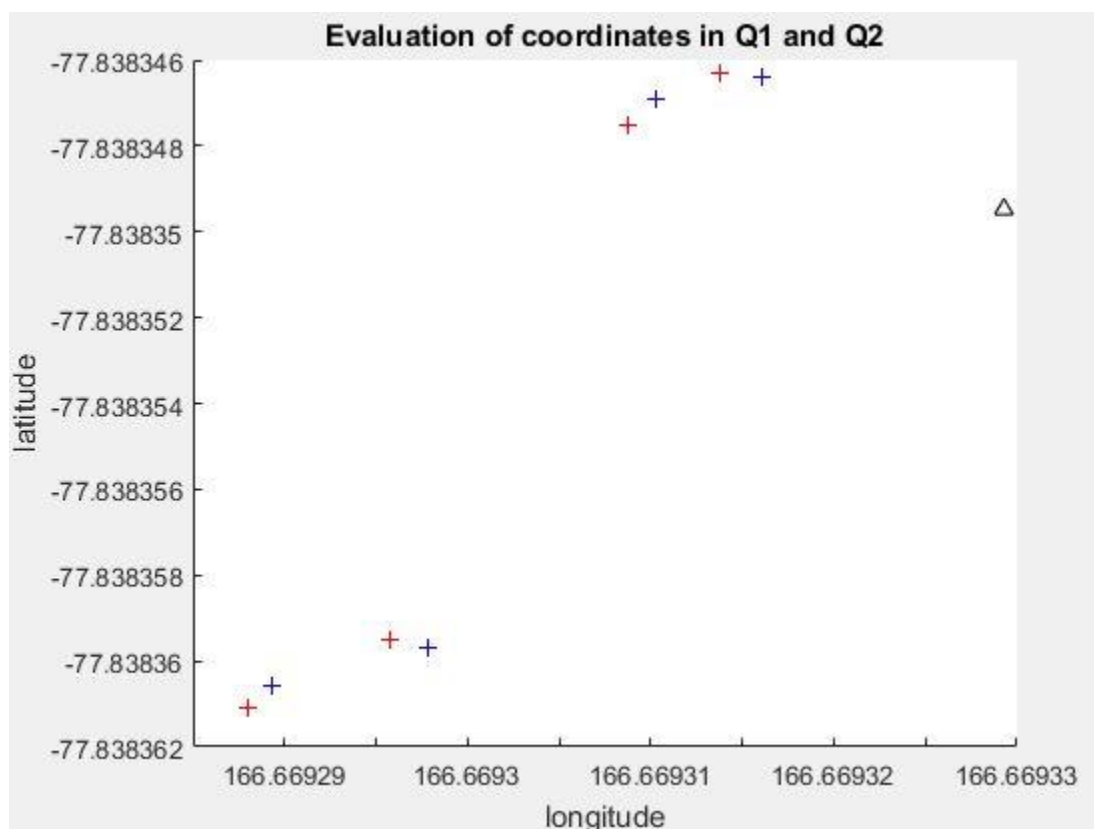
تک فرکانس			دو فرکانس			
-۱.۳۱۱۷×۱۰^{-۶}	۳.۱۰۸۱×۱۰^{-۵}	-۶.۲۱۳۳×۱۰^{-۶}	-۱.۳۱۱۷×۱۰^{-۶}	۳.۱۰۸۲×۱۰^{-۵}	-۶.۲۱۳۳×۱۰^{-۶}	روش یکجا و بدون اتمسفر
-۱.۳۱۱۶×۱۰^{-۶}	۳.۱۰۸۱×۱۰^{-۵}	-۶.۲۱۳۲×۱۰^{-۶}	-۱.۳۱۱۷×۱۰^{-۶}	۳.۱۰۸۱×۱۰^{-۵}	-۶.۲۱۳۲×۱۰^{-۶}	روش یکجا و با اتمسفر
-۱.۳۱۱۷×۱۰^{-۶}	۳.۱۰۸۱×۱۰^{-۵}	-۶.۲۱۳۲×۱۰^{-۶}	-۱.۳۱۱۷×۱۰^{-۶}	۳.۱۰۸۲×۱۰^{-۵}	-۶.۲۱۳۳×۱۰^{-۶}	روش ترتیبی و بدون اتمسفر
-۱.۳۱۱۷×۱۰^{-۶}	۳.۱۰۸۱×۱۰^{-۵}	-۶.۲۱۳۳×۱۰^{-۶}	-۱.۳۱۱۷×۱۰^{-۶}	۳.۱۰۸۱×۱۰^{-۵}	-۶.۲۱۳۲×۱۰^{-۶}	روش ترتیبی و با اتمسفر

همچنین فواصل تا مختصات اولیه ی ایستگاه نیز در پایین آمده است:

روش یکجا و بدون اتمسفر	تک فرکانس	دو فرکانس
۲۰.۳۵۹۵		۲۱.۳۱۵۱
۱۷.۸۳۶۸		۱۶.۸۱۹۶

۱۹.۷۲۴۵	۱۸.۹۱۱۸	روش ترتیبی و بدون اتمسفر
۱۵.۲۴۱۸	۱۶.۱۴۲۳	روش ترتیبی و با اتمسفر

۲-۲: پس از آن مختصات ها را به مختصات ژئودتیک تبدیل کرده و نقشه ی آن به صورت زیر می شود:



نقاط آبی مربوط به مختصات های بدست آمده از سوال ۱ و نقاط قرمز مربوط به مختصات های بدست آمده از سوال ۲ است.

با توجه به جدول های قسمت ۱-۲ می توان گفت که مختصات ها در دو حالت تک فرکانس و دوفرکانس بسیار به هم نزدیک هستند و در بیشترین حالت ۱۰۰ متر فاصله دارند.

۲-۳: برای مقایسه ی حالت تک فرکانس و دو فرکانس می توان از ماتریس وریانس کووریانس استفاده کرد.

ماتریس وریانس کووریانس در حالت تک فرکانس- ترتیبی و با اعمال اثرات اتمسفر:

0.0106	-3.1909e-04	0.0062	-0.0036
-3.1909e-04	0.0087	-0.0038	0.0020
0.0062	-0.0038	0.0707	-0.0336
-0.0036	0.0020	-0.0336	0.0193

ماتریس وریانس کووریانس در حالت دو فرکانس - ترتیبی و با اعمال اثرات اتمسفر:

0.0053	-1.5954e-04	0.0031	-0.0018
-1.5954e-04	0.0044	-0.0019	9.7632e-04
0.0031	-0.0019	0.0354	-0.0168
-0.0018	9.7632e-04	-0.0168	0.0097

یا در حالت دیگر مقایسه کنیم. ماتریس وریانس کووریانس در حالت تک فرکانس - یکجا و بدون اعمال اثرات اتمسفر:

3.8510e-06	-2.0929e-07	2.9623e-06	-1.7566e-06
-2.0929e-07	3.4280e-06	-1.1245e-06	6.3870e-07
2.9623e-06	-1.1245e-06	3.0519e-05	-1.4998e-05
-1.7566e-06	6.3870e-07	-1.4998e-05	8.6383e-06

ماتریس وریانس کووریانس در حالت دو فرکانس - یکجا و بدون اعمال اثرات اتمسفر:

4.8217e-05	-2.6271e-06	3.6968e-05	-2.1944e-05
-2.6271e-06	4.2907e-05	-1.4215e-05	8.0862e-06
3.6968e-05	-1.4215e-05	3.8292e-04	-1.8831e-04
-2.1944e-05	8.0862e-06	-1.8831e-04	1.0848e-04

همانطور که از مقادیر ماتریس های وریانس و کووریانس مشخص است، در حالت دو فرکانس نتایج برآورد دارای دقت بیشتری نسبت به حالت تک فرکانس هستند. پس می توان گفت دقت کار اهمیت بسیار زیادی دارد لازم است از دو فرکانس استفاده کرد. اما در مسئله ی ما با توجه به شکل و از آنجا که اختلاف نتایج حاصل از تک فرکانس و دو فرکانس کمتر از مرتبه ی 10^{-5} است، می توان از مشاهدات در دو فرکانس صرف نظر کرد.

سوال (۳)

۳-۱: در این قسمت می خواهیم علاوه بر مشاهدات کد از مشاهدات فاز هم استفاده کنیم. روند حل در این قسمت مشابه دو سوال قبل است. حل کمترین مربعات برای حالت اعمال اثر اتمسفر و بدون اعمال اثر آن، در توابع `leastSquare_atmosphere_Part3` و `leastSquare_nonatmosphere_Part3` نوشته شده است. در این توابع نحوه ی تشکیل ماتریس های مشاهدات و طرح نوشته شده است. همانطور که می دانیم در حالت مشاهده ی

فاز علاوه بر مشاهده ی کد مجهول دیگری داریم که همان ابهام فاز (N) است. معادلات ما در این حالت به صورت زیر می شوند:

$$\Phi(t) = \rho(t) + \lambda N + c\delta t(t)$$

به دلیل وجود رادیکال در ρ معادله غیرخطی است؛ پس از خطی کردن رابطه ی فوق داریم:

$$\Phi(t) - \rho(t) = -\frac{X(t) - X_0}{\rho_0(t)} \Delta X_i - \frac{Y(t) - Y_0}{\rho_0(t)} \Delta Y_i - \frac{Z(t) - Z_0}{\rho_0(t)} \Delta Z_i + \lambda N_i + c\delta t_i$$

در نتیجه ماتریس طرح به صورت زیر می شود:

ماتریس مربوط به مختصات ها:

$$A_1 = \begin{bmatrix} -\frac{X^1(t) - X_0}{\rho_0^n(t)} & -\frac{Y(t) - Y_0}{\rho_0(t)} & -\frac{Z(t) - Z_0}{\rho_0(t)} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ -\frac{X^n(t) - X_0}{\rho_0^n(t)} & -\frac{Y(t) - Y_0}{\rho_0(t)} & -\frac{Z(t) - Z_0}{\rho_0(t)} \end{bmatrix}$$

ماتریس مربوط به زمان ماهواره:

$$A_2 = \begin{bmatrix} 1 \\ \vdots \\ 1 \end{bmatrix}$$

ماتریس مربوط به مشاهدات کد که همگی ضرایب صفر دارند:

$$A_3 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & \ddots & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

ماتریس مربوط به مشاهدات فاز (ضرایب ابهام فاز):

$$A_4 = \begin{bmatrix} \lambda & 0 & 0 \\ 0 & \ddots & 0 \\ 0 & 0 & \lambda \end{bmatrix}$$

در نهایت ماتریس طرح کلی عبارت است از:

$$A = [A_1 \quad A_2 \quad A_3 \quad A_4]$$

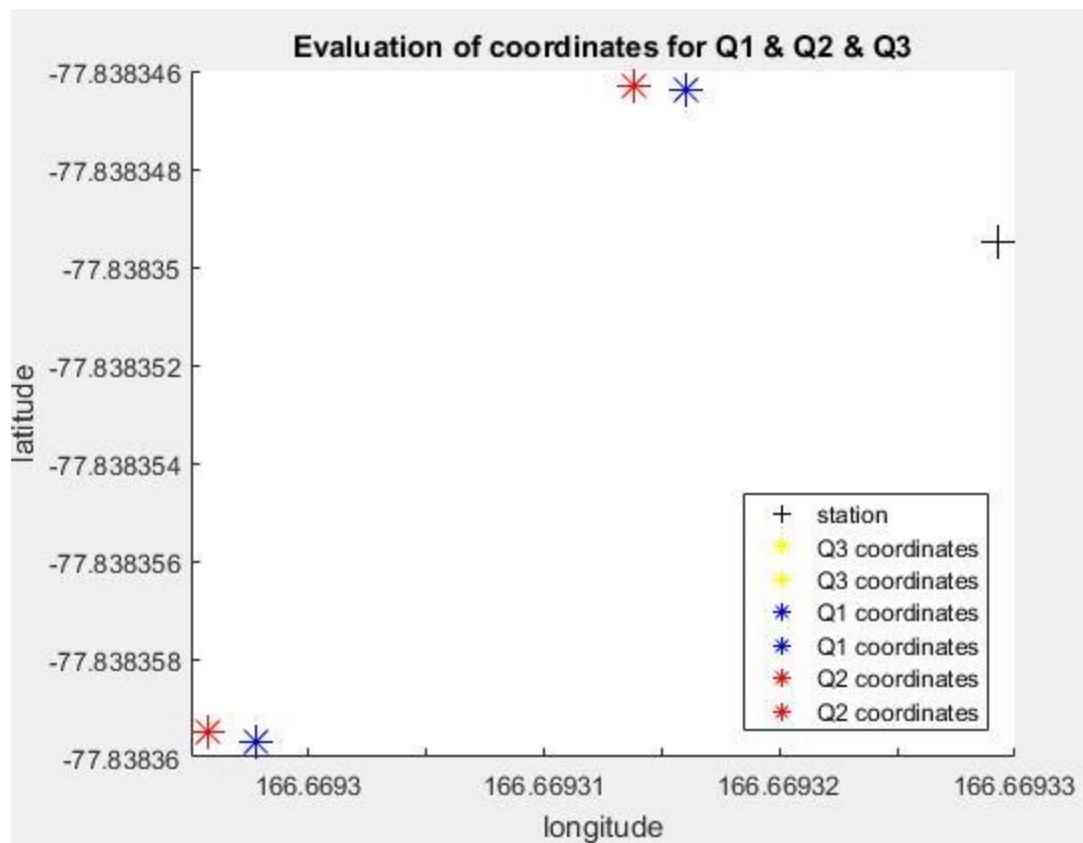
در نهایت مختصات هایی که از حل مسئله به کمک مشاهدات کد و فاز بدست می آوریم، به همراه ماتریس دقتشان در پایین آمده است:

Z				Y				X							
-۶.۲۱۳۳*۱۰ ^{۰۶}				۳.۱۰۸۲*۱۰ ^{۰۵}				-۱.۳۱۱۷*۱۰ ^{۰۶}				روش ترتیبی بدون اتمسفر			
0.0106	-3.1909e-04	0.0062	-0.0036	-3.4679e-08	1.4190e-08	-4.4272e-08	-2.4953e-08	4.0227e-08	-2.3192e-08	-3.6794e-08	3.6221e-08	2.0477e-08	-1.0230e-08	1.8310e-08	4.4695e-08
-3.1909e-04	0.0087	-0.0038	0.0020	1.7944e-08	-2.6788e-08	6.6822e-10	3.1516e-08	1.5008e-08	-3.5308e-08	-1.5794e-08	-2.4565e-08	-5.1091e-08	3.0578e-08	3.3112e-08	2.4720e-08
0.0062	-0.0038	0.0707	-0.0336	6.8647e-08	-5.8515e-08	-8.1581e-08	-1.2309e-07	-2.6342e-08	3.1533e-08	-7.1796e-08	-2.6738e-09	1.2701e-07	1.3770e-07	-5.6229e-08	5.5336e-08
-0.0036	0.0020	-0.0336	0.0193	-4.6939e-08	8.4315e-09	2.3714e-08	4.2313e-08	-7.7191e-09	-3.1257e-08	1.8346e-08	-1.9175e-08	-7.9199e-08	-8.0718e-08	8.0769e-09	-4.6076e-08
-3.4679e-08	1.7944e-08	6.8647e-08	-4.6939e-08	1.4843e-12	-1.1997e-13	1.5429e-13	9.3679e-14	-7.1895e-14	1.4240e-13	9.6121e-14	-1.2205e-13	6.4351e-14	4.1375e-13	1.9746e-14	5.4515e-14
1.4190e-08	-2.6788e-08	-5.8515e-08	8.4315e-09	-1.1997e-13	1.3882e-12	1.0091e-13	7.8756e-14	1.4826e-13	1.3429e-13	1.6186e-13	2.5204e-13	1.6110e-13	-1.9926e-13	7.7449e-14	2.5596e-14
-4.4272e-08	6.6822e-10	-8.1581e-08	2.3714e-08	1.5429e-13	1.0091e-13	1.4299e-12	2.7568e-13	-4.1020e-14	1.6638e-13	2.9632e-13	-2.9218e-14	-6.9867e-14	-5.5262e-16	5.7789e-14	-1.3133e-13
-2.4953e-08	3.1516e-08	-1.2309e-07	4.2313e-08	9.3679e-14	7.8756e-14	2.7568e-13	1.5039e-12	1.1746e-13	-2.4549e-14	2.0257e-13	-2.7359e-14	-2.7188e-13	-4.6093e-15	2.4514e-13	2.0497e-14
4.0227e-08	1.5008e-08	-2.6342e-08	-7.7191e-09	-7.1895e-14	1.4826e-13	-4.1020e-14	1.1746e-13	1.4087e-12	-8.3386e-14	-4.1923e-14	2.0849e-13	1.3909e-14	6.4541e-15	2.5956e-13	2.8463e-13
-2.3192e-08	-3.5308e-08	3.1533e-08	-3.1257e-08	1.4240e-13	1.3429e-13	1.6638e-13	-2.4549e-14	-8.3386e-14	1.4106e-12	2.1659e-13	9.4217e-14	2.9937e-13	6.1006e-14	-1.1198e-13	-9.5753e-14
-3.6794e-08	-1.5794e-08	-7.1796e-08	1.8346e-08	9.6121e-14	1.6186e-13	2.9632e-13	2.0257e-13	-4.1923e-14	2.1659e-13	1.4077e-12	4.0996e-14	3.6927e-14	-6.7668e-14	8.9889e-15	-1.4924e-13
3.6221e-08	-2.4565e-08	-2.6738e-09	-1.9175e-08	-1.2205e-13	2.5204e-13	-2.9218e-14	-2.7359e-14	2.0849e-13	9.4217e-14	4.0996e-14	1.4017e-12	2.5020e-13	-1.0537e-13	9.1224e-14	1.5436e-13
2.0477e-08	-5.1091e-08	1.2701e-07	-7.9199e-08	6.4351e-14	1.6110e-13	-6.9867e-14	-2.7188e-13	1.3909e-14	2.9937e-13	3.6927e-14	2.5020e-13	1.6640e-12	1.2041e-13	-1.4379e-13	8.4519e-14
-1.0230e-08	3.0578e-08	1.3770e-07	-8.0718e-08	4.1375e-13	-1.9926e-13	-5.5262e-16	-4.6093e-15	6.4541e-15	6.1006e-14	-6.7668e-14	-1.0537e-13	1.2041e-13	1.6850e-12	6.5263e-14	2.3481e-13
1.8310e-08	3.3112e-08	-5.6229e-08	8.0769e-09	1.9746e-14	7.7449e-14	5.7789e-14	2.4514e-13	2.5956e-13	-1.1198e-13	8.9889e-15	9.1224e-14	-1.4379e-13	6.5263e-14	1.4016e-12	2.3827e-13
4.4695e-08	2.4720e-08	5.5336e-08	-4.6076e-08	5.4515e-14	2.5596e-14	-1.3133e-13	2.0497e-14	2.8463e-13	-9.5753e-14	-1.4924e-13	1.5436e-13	8.4519e-14	2.3481e-13	2.3827e-13	1.4884e-12

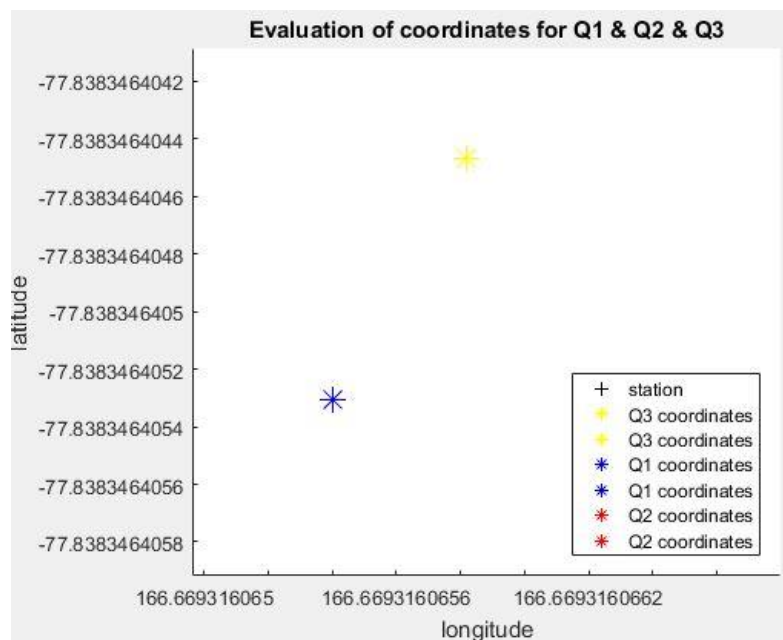
Z	Y				X				روش ترتیبی با اتمسفر			
-۶.۲۱۳۳×۱۰^{-۶}	۳.۱۰۸۱×۱۰^{-۵}				-۱.۳۱۱۷×۱۰^{-۶}							

0.0106	-3.1909e-04	0.0062	-0.0036	-3.4679e-08	1.4190e-08	-4.4272e-08	-2.4953e-08	4.0227e-08	-2.3192e-08	-3.6794e-08	3.6221e-08	2.0477e-08	-1.0230e-08	1.8310e-08	4.4695e-08
-3.1909e-04	0.0087	-0.0038	0.0020	1.7944e-08	-2.6788e-08	6.6823e-10	3.1516e-08	1.5008e-08	-3.5308e-08	-1.5794e-08	-2.4565e-08	-5.1091e-08	3.0578e-08	3.3112e-08	2.4720e-08
0.0062	-0.0038	0.0707	-0.0336	6.8647e-08	-5.8515e-08	-8.1581e-08	-1.2309e-07	-2.6342e-08	3.1533e-08	-7.1796e-08	-2.6738e-09	1.2701e-07	1.3770e-07	-5.6229e-08	5.5336e-08
-0.0036	0.0020	-0.0336	0.0193	-4.6939e-08	8.4316e-09	2.3714e-08	4.2313e-08	-7.7190e-09	-3.1257e-08	1.8346e-08	-1.9175e-08	-7.9199e-08	-8.0718e-08	8.0770e-09	-4.6076e-08
-3.4679e-08	1.7944e-08	6.8647e-08	-4.6939e-08	4.0000e-04	-1.1997e-13	1.5429e-13	9.3680e-14	-7.1895e-14	1.4240e-13	9.6121e-14	-1.2205e-13	6.4351e-14	4.1375e-13	1.9746e-14	5.4514e-14
1.4190e-08	-2.6788e-08	-5.8515e-08	8.4316e-09	-1.1997e-13	4.0000e-04	1.0091e-13	7.8756e-14	1.4826e-13	1.3429e-13	1.6186e-13	2.5204e-13	1.6110e-13	-1.9926e-13	7.7449e-14	2.5596e-14
-4.4272e-08	6.6823e-10	-8.1581e-08	2.3714e-08	1.5429e-13	1.0091e-13	4.0000e-04	2.7568e-13	-4.1020e-14	1.6638e-13	2.9632e-13	-2.9218e-14	-6.9867e-14	-5.5265e-16	5.7789e-14	-1.3133e-13
-2.4953e-08	3.1516e-08	-1.2309e-07	4.2313e-08	9.3680e-14	7.8756e-14	2.7568e-13	4.0000e-04	1.1746e-13	-2.4549e-14	2.0257e-13	-2.7359e-14	-2.7188e-13	-4.6093e-15	2.4514e-13	2.0497e-14
4.0227e-08	1.5008e-08	-2.6342e-08	-7.7190e-09	-7.1895e-14	1.4826e-13	-4.1020e-14	1.1746e-13	4.0000e-04	-8.3386e-14	-4.1923e-14	2.0849e-13	1.3909e-14	6.4541e-15	2.5956e-13	2.8463e-13
-2.3192e-08	-3.5308e-08	3.1533e-08	-3.1257e-08	1.4240e-13	1.3429e-13	1.6638e-13	-2.4549e-14	-8.3386e-14	4.0000e-04	2.1659e-13	9.4217e-14	2.9937e-13	6.1006e-14	-1.1198e-13	-9.5754e-14
-3.6794e-08	-1.5794e-08	-7.1796e-08	1.8346e-08	9.6121e-14	1.6186e-13	2.9632e-13	2.0257e-13	-4.1923e-14	2.1659e-13	4.0000e-04	4.0996e-14	3.6927e-14	-6.7668e-14	8.9890e-15	-1.4924e-13
3.6221e-08	-2.4565e-08	-2.6738e-09	-1.9175e-08	-1.2205e-13	2.5204e-13	-2.9218e-14	-2.7359e-14	2.0849e-13	9.4217e-14	4.0996e-14	4.0000e-04	2.5020e-13	-1.0537e-13	9.1224e-14	1.5436e-13
2.0477e-08	-5.1091e-08	1.2701e-07	-7.9199e-08	6.4351e-14	1.6110e-13	-6.9867e-14	-2.7188e-13	1.3909e-14	2.9937e-13	3.6927e-14	2.5020e-13	4.0000e-04	1.2041e-13	-1.4379e-13	8.4519e-14
-1.0230e-08	3.0578e-08	1.3770e-07	-8.0718e-08	4.1375e-13	-1.9926e-13	-5.5265e-16	-4.6093e-15	6.4541e-15	6.1006e-14	-6.7668e-14	-1.0537e-13	1.2041e-13	4.0000e-04	6.5263e-14	2.3481e-13
1.8310e-08	3.3112e-08	-5.6229e-08	8.0770e-09	1.9746e-14	7.7449e-14	5.7789e-14	2.4514e-13	2.5956e-13	-1.1198e-13	8.9890e-15	9.1224e-14	-1.4379e-13	6.5263e-14	4.0000e-04	2.3827e-13
4.4695e-08	2.4720e-08	5.5336e-08	-4.6076e-08	5.4514e-14	2.5596e-14	-1.3133e-13	2.0497e-14	2.8463e-13	-9.5754e-14	-1.4924e-13	1.5436e-13	8.4519e-14	2.3481e-13	2.3827e-13	4.0000e-04

۲-۳: پس از آنکه مختصات های نهایی بدست آمد، آنها را به مختصات های ژئودتیک تبدیل کرده و روی نقشه نمایش می دهیم.



در شکل بالا، نقاط زرد رنگ به دلیل نزدیکی به نقاط آبی رنگ قابل تمایز نیستند. تمایز این دو نقطه با بزرگنمایی نقشه قابل مشاهده است.



پس همانطور که مشاهده می شود نتایج حاصل از استفاده از کد و فاز بیشترین دقت را دارا هستند.

به نام خدا

پروژه ی پنجم درس ژئودزی ماهواره ای (نرم افزار LGO)

حسن رضوان – ۸۱۰۳۹۶۰۷۹

برای انجام این ابتدا یک پروژه در برنامه ی Leica geo Office ایجاد می کنیم. اطلاعات پروژه را به صورت زیر تعریف می کنیم.

New Project

General Coordinates Dictionary Background Image CAD Files Codelist Template

Project Name: HassanRezvan_Project

Location: D:\Documents\GPS\Projects\5\HassanRezvan_Project

Automatic Coordinate Averaging:

Max. Distance between different solutions (Position): 0.075 m

Max. Distance between different solutions (Height): 0.075 m

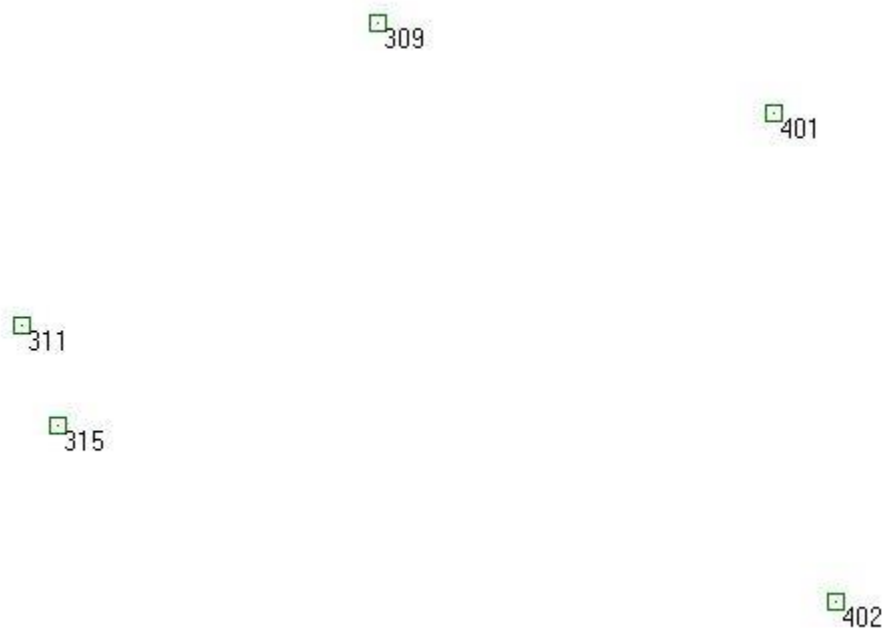
Averaging Method: Weighted

Time Zone: 3 h 30 min

OK Cancel

شکل ۱

سیستم مختصات را هم روی WGS 1984 قرار می دهیم. OK می کنیم و پروژه ساخته می شود. سپس باید داده ها را اضافه کنیم. برای این پروژه از داده های خود برنامه ی LGO استفاده می کنیم. برای اضافه کردن داده ها، از قسمت import گزینه ی raw data را انتخاب می کنیم. داده های ۱ و ۲ را اضافه می کنیم.



شکل ۲

یکی از نقاط را باید به عنوان نقطه ی کنترل در نظر بگیریم. نقطه ی ۴۰۲ را به عنوان نقطه ی کنترل انتخاب کرده و انحراف معیار مختصات های این نقطه را صفر می کنیم.

Point Properties

General Stochastics Thematical Data Images

Point Id: 402 ☒ Activated

Point Class: Control

Point Subclass: Fixed in Position and Height

Coordinate Type: Geodetic ☒ WGS84 ☐ Local

Coordinate Format: Latitude, Longitude, Height

Height Mode: ☒ Ellipsoidal ☐ Orthometric

Latitude: 47° 22' 45.11804" N Standard deviation: 0.0 m

Longitude: 9° 40' 13.25823" E Standard deviation: 0.0 m

Height: 459.6286 m Standard deviation: 0.0 m

OK Cancel Apply

شکل ۳

می بینیم که علامت نقطه ی ۴۰۲ عوض می شود.

309

401

311

315

402

شکل ۴

گام بعدی تعیین پارامترهای پردازش است.

Configure GPS-processing Parameters

General Auto. Processing

Cut-off angle: 15°

Ephemeris: Broadcast

Solution type: Automatic

GNSS type: Automatic

Active satellites

- ☒ G04
- ☒ G05
- ☒ G06
- ☐ G09
- ☒ G10
- ☒ G14
- ☒ G16
- ☒ G17
- ☒ G21
- ☒ G24
- ☒ G25
- ☒ G30

☐ Show advanced parameters

Defaults

OK Cancel

شکل ۵

Configure GPS-processing Parameters

General Auto. Processing

Min. time for common data: 300 sec

Max. baseline length: 50 km

Processing mode: All baselines

Coordinate seeding strategy: Time

☐ Session by session

☐ Use float solutions as reference

☒ Re-compute already computed baselines

☐ Compute baselines between control triplets

Defaults

OK Cancel

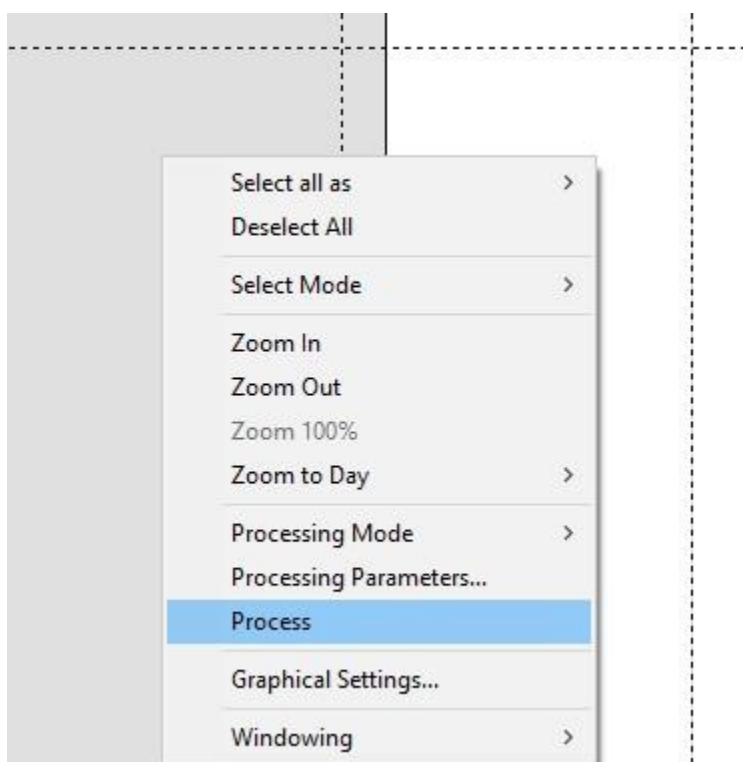
شکل ۶

می خواهیم پردازش های بیس لاین ها را به صورت دستی انجام دهیم. سپس نقاط مرجع و rover را تعیین می کنیم.



شکل ۷

سپس راست کلیک کرده و گزینه ی process را انتخاب می کنیم. وارد سربرگ results شده و در آنجا روی گزینه ی store کلیک می کنیم.



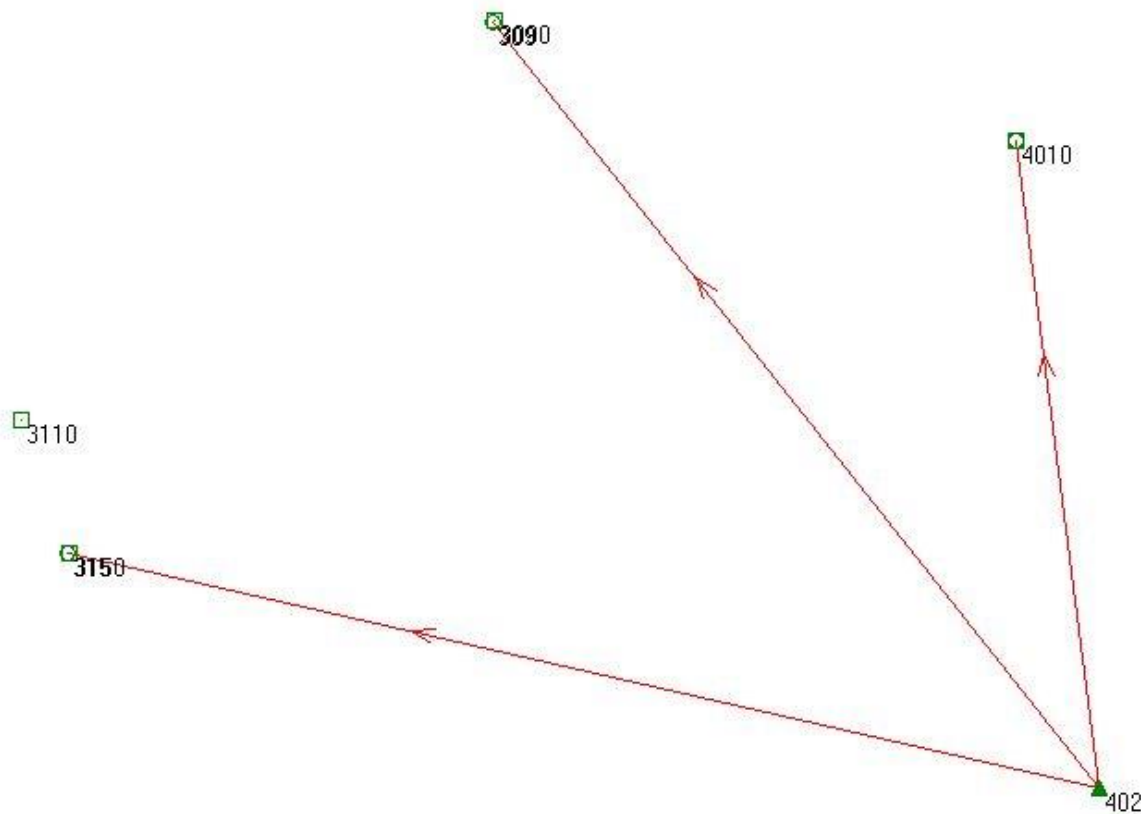
شکل ۸

همانطور که مشاهده می شود ابهامات مربوط به هر سه پردازش حل شده است.

Poi...	Epoch	Stored St...	Ambiguity ...	GNSS Type	Type	Solut...	Freq...	X	Y	Z	Posn....
315	01/30/2004 12:19:17	Yes	yes	GPS	Static	Phase:...	L1+L2	4265595.8508	724452.5527	4671116.4171	0.0005
401	01/30/2004 12:38:32	Yes	yes	GPS	Static	Phase:...	L1+L2	4264537.2968	726484.7802	4671756.4526	0.0005
309	01/30/2004 12:56:02	Yes	yes	GPS	Static	Phase:...	L1+L2	4264539.9411	725265.1156	4671939.6740	0.0006

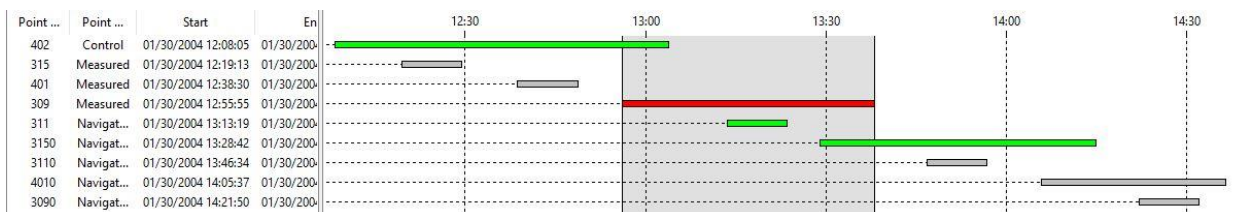
شکل ۹

اگر به سربرگ view مراجعه کنیم می بینیم که نقاط ۳۱۵ و ۳۰۹ و ۴۰۱ با نقطه ی کنترل baseline تشکیل داده اند.



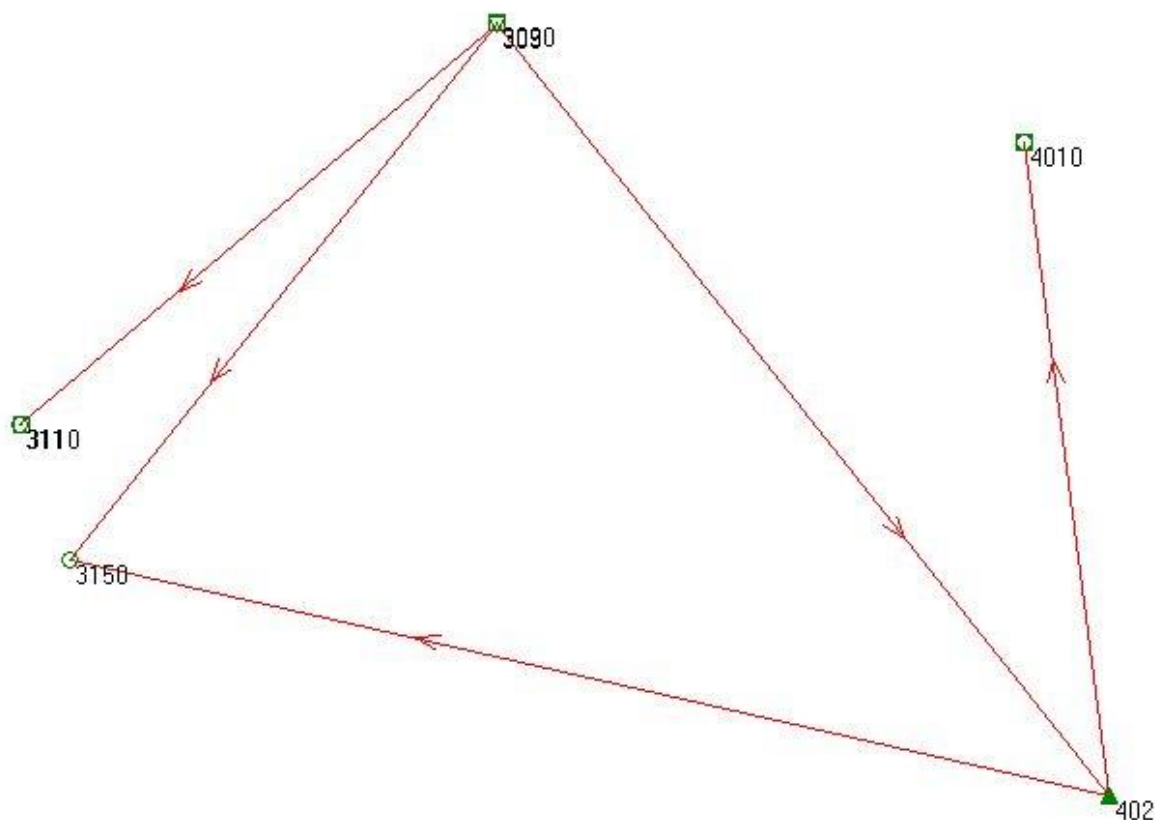
شکل ۱۰

اکنون در سربرگ پردازش گزینه ی deselect all را انتخاب کرده و نقاط را به صورت زیر انتخاب می کنیم(قرمز: نقاط مرجع ، سبز: نقاط rover).



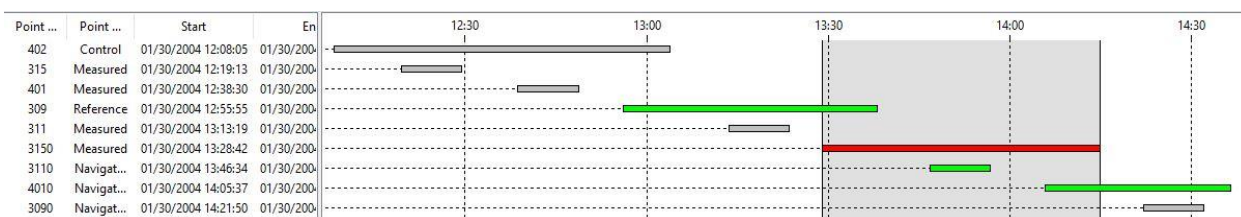
شکل ۱۱

دوباره مانند حالت قبل راست کلیک کرده و گزینه ی process را انتخاب کرده و در نهایت حالت stored را روی yes قرار می دهیم. اگر به صفحه ی view برگردیم می بینیم که تعداد بیس لاین ها بیشتر شده است.

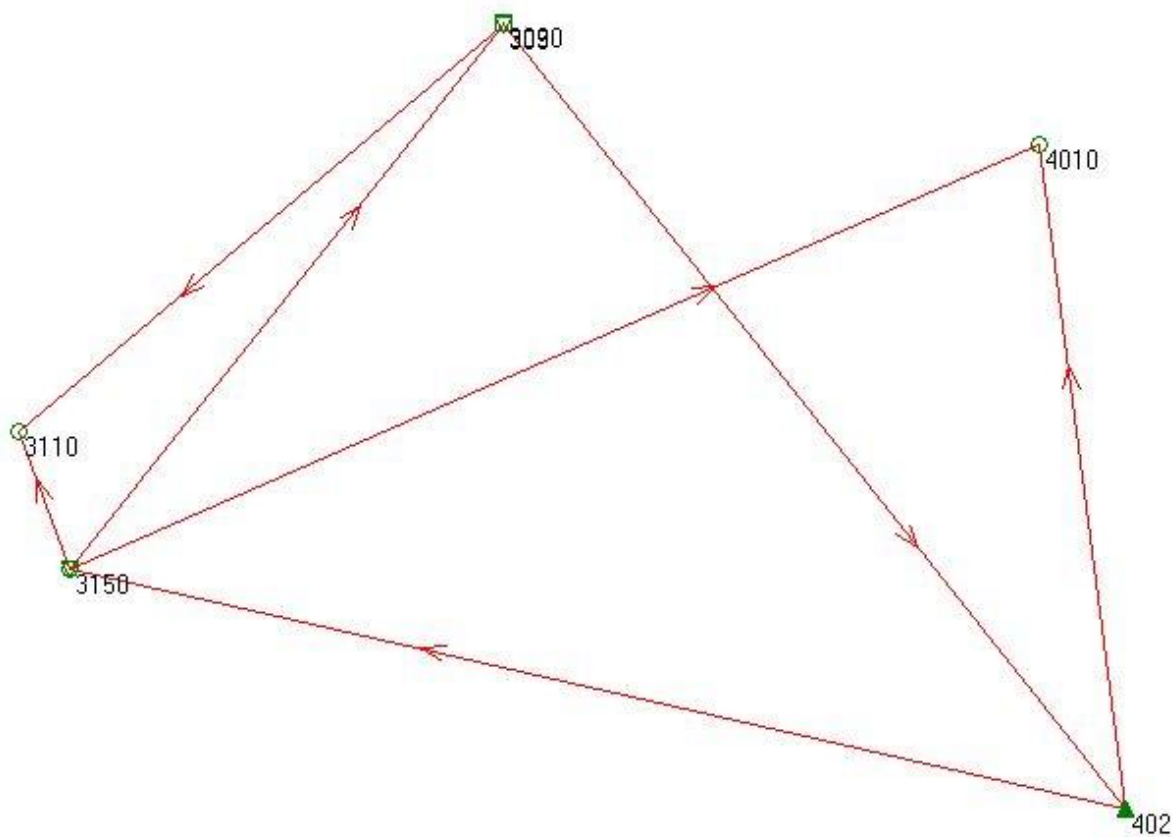


شکل ۱۲

حالت دیگر:

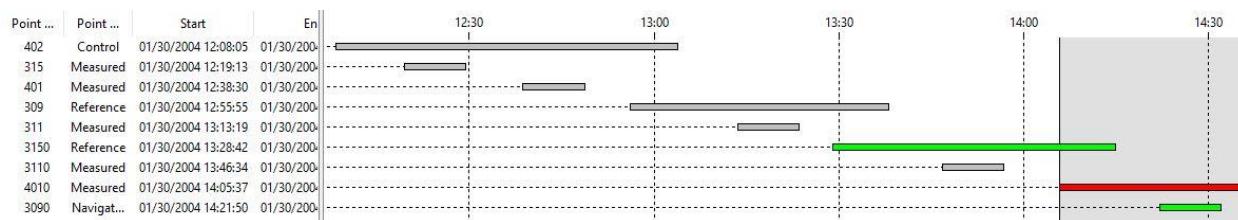


شکل ۱۳



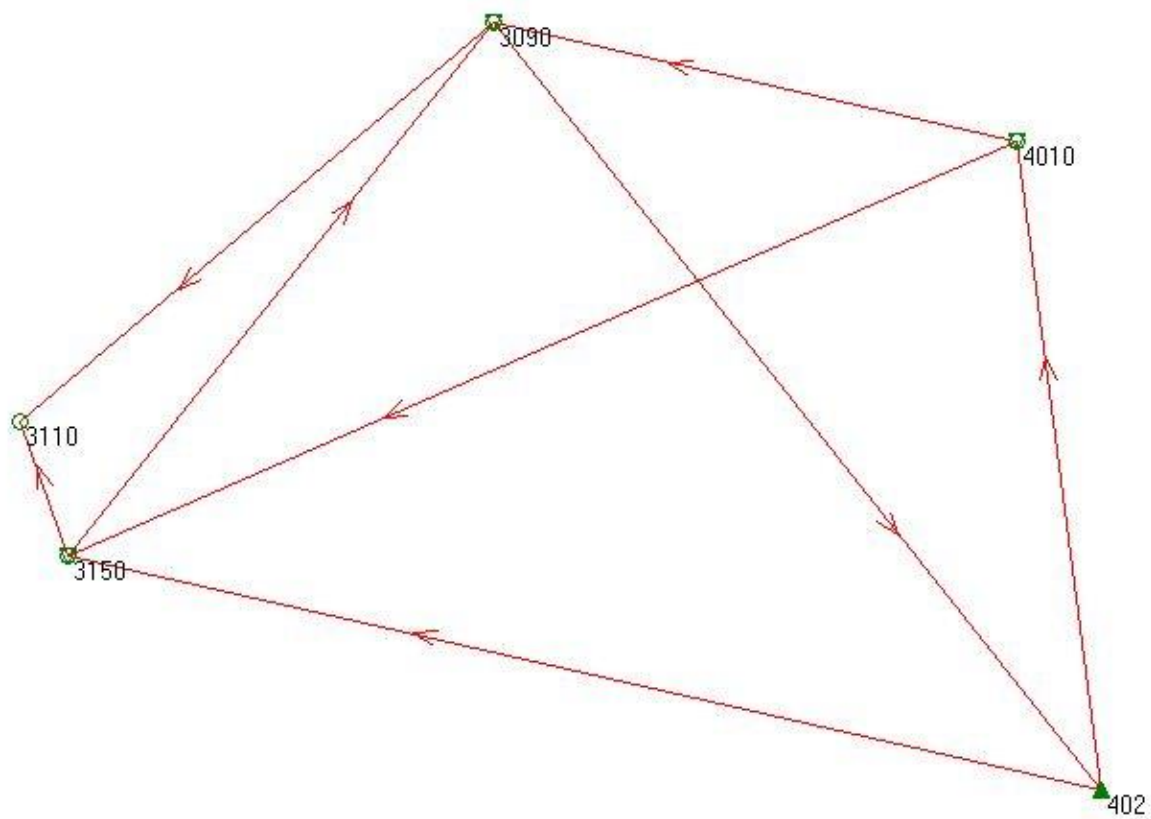
شکل ۱۴

در نهایت آخرین رفرنسی که می توانیم انتخاب کنیم:



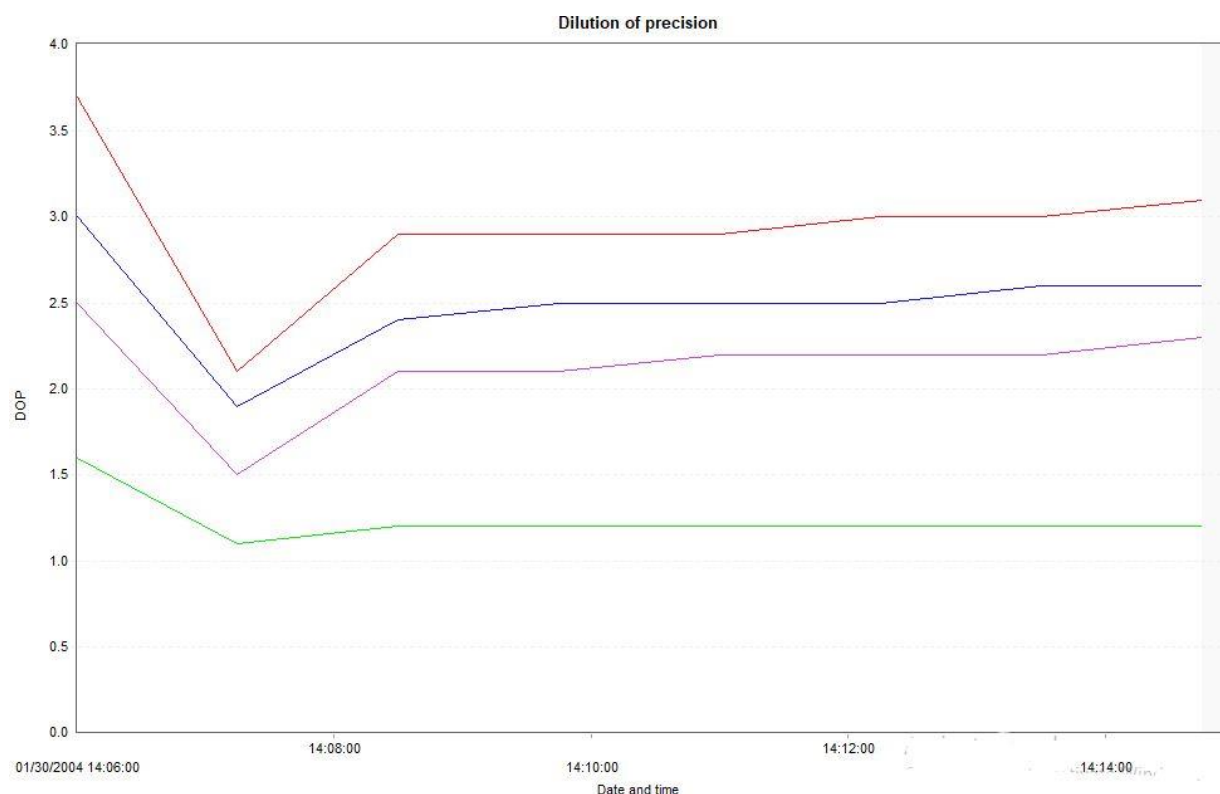
شکل ۱۵

در پایان می بینیم که تمام بیس لاین های ممکن تشکیل شده است:



شکل ۱۶

در صفحه ی results می توانیم نتایج حاصل از هر بیس لاین را ببینیم. اگر روی بیس لاین راست کلیک کرده و آنالیز را انتخاب کنیم، می توانیم اطلاعات مربوط به DOP ها را ببینیم.



شکل ۱۷

وارد سربرگ سرشکنی می شویم. در این قسمت باید پیش پردازش، سرشکنی شبکه و حلقه را انجام دهیم. پیش از اینها لازم است پارامترهای سرشکنی را مشخص کنیم. برای اینکار روی صفحه راست کلیک کرده و از قسمت configuration، گزینه ی پارامترهای کلی را انتخاب می کنیم. تمام قسمت ها را روی حالت پیش فرض نرم افزار قرار می دهیم. قسمت های data creation و terrestrial parameters را روی حالت های پیش فرض قرار می دهیم. با راست کلیک روی صفحه و انتخاب به ترتیب گزینه های pre-analysis، network adjustment و loop adjustment را انتخاب می کنیم.

در نهایت نتایج هر قسمت در پایین آمده است:

Adjustment Pre-Analysis

www.MOVE3.com
(c) 1993-2012 Grontmij

Created: 13-07-2021 02:00:13

Project Information

Project name: HassanRezvan_Project
Processing kernel: MOVE3 4.1

General Information

Type: 3D free network -- Projection : None -- Ellipsoid : WGS 84

Stations

Number of (partly) known stations:	1
Number of unknown stations:	8
Total:	9

Observations

GPS coordinate differences:	24 (8 baselines)
Known coordinates:	3
Total:	27

Unknowns

Coordinates:	27
Total:	27

Degrees of freedom: 0

Check of Input Data

Possibly Coinciding Stations

Minimum station distance is 2.0 m

Station	Station	Distance
309	3090	0.01 m
311	3110	0.01 m
315	3150	0.01 m
401	4010	0.02 m

Network Adjustment

www.MOVE3.com
 (c) 1993-2012 Grontmij
 Licensed to Leica Geosystems AG

Created: 07/13/2021 02:09:47

Project Information

Project name: HassanRezvan_Project
 Date created: 07/12/2021 21:09:39
 Time zone: 3h 30'
 Coordinate system name: WGS 1984
 Application software: LEICA Geo Office 8.4
 Processing kernel: MOVE3 4.1

General Information

Adjustment

Type: Minimally constrained
 Dimension: 3D
 Coordinate system: WGS 1984
 Height mode: Ellipsoidal

Number of iterations: 1
 Maximum coord correction in last iteration: 0.0000 m  (tolerance is met)

Stations

Number of (partly) known stations: 1
 Number of unknown stations: 8
 Total: 9

Observations

GPS coordinate differences: 24 (8 baselines) (including 8 baselines as free observations)
 Known coordinates: 3
 Total: 27 (including 24 free observations)

Unknowns

Coordinates: 27
 Total: 27

Degrees of freedom: 0

Testing

Alfa (multi dimensional): 1.0000
 Alfa 0 (one dimensional): 5.0 %
 Beta: 80.0 %
 Sigma a-priori (GPS): 10.0

Critical value W-test: 1.96
 Critical value T-test (2-dimensional): 2.42
 Critical value T-test (3-dimensional): 1.89
 Critical value F-test: 0.00
 F-test: 0.00  (rejected)

Results based on a-posteriori variance factor

Adjustment Results

Coordinates

Station		Coordinate	Corr	Sd
309	Latitude	47° 23' 42.11387" N	0.0001 m	0.0054 m
	Longitude	9° 39' 06.75188" E	-0.0001 m	0.0027 m
	Height	454.0135 m	0.0002 m	0.0081 m
3090	Latitude	47° 23' 42.11400" N	-0.0015 m	0.0091 m
	Longitude	9° 39' 06.75172" E	-0.0019 m	0.0053 m
	Height	454.0173 m	0.0001 m	0.0160 m
311	Latitude	47° 23' 12.43180" N	0.0001 m	0.0102 m
	Longitude	9° 38' 14.81593" E	-0.0001 m	0.0046 m
	Height	454.2734 m	0.0002 m	0.0141 m
3110	Latitude	47° 23' 12.43195" N	-0.0011 m	0.0084 m
	Longitude	9° 38' 14.81572" E	-0.0009 m	0.0045 m
	Height	454.2651 m	0.0005 m	0.0123 m
315	Latitude	47° 23' 02.50611" N	0.0000 m	0.0042 m
	Longitude	9° 38' 20.12332" E	0.0000 m	0.0023 m
	Height	460.7030 m	0.0000 m	0.0069 m
3150	Latitude	47° 23' 02.50614" N	-0.0011 m	0.0076 m
	Longitude	9° 38' 20.12338" E	-0.0009 m	0.0038 m
	Height	460.7104 m	0.0005 m	0.0107 m
401	Latitude	47° 23' 33.28285" N	0.0000 m	0.0040 m
	Longitude	9° 40' 04.10409" E	0.0000 m	0.0021 m
	Height	455.9376 m	0.0000 m	0.0064 m
4010	Latitude	47° 23' 33.28296" N	-0.0015 m	0.0088 m
	Longitude	9° 40' 04.10442" E	-0.0019 m	0.0049 m
	Height	455.9509 m	0.0001 m	0.0144 m
402	Latitude	47° 22' 45.11804" N	0.0000 m	-
	Longitude	9° 40' 13.25823" E	0.0000 m	-
	Height	459.6286 m	0.0000 m	-

Observations and Residuals

	Station	Target	Adj obs	Resid	Resid (ENH)	Sd
DX	309	402	1046.7689 m	0.0000 m	0.0000 m	0.0056 m
DY			1593.2416 m	0.0000 m	0.0000 m	0.0029 m
DZ			-1187.6786 m	0.0000 m	0.0000 m	0.0079 m
DX	4010	3150	1058.5527 m	0.0000 m	0.0000 m	0.0078 m
DY			-2032.2331 m	0.0000 m	0.0000 m	0.0033 m
DZ			-640.0415 m	0.0000 m	0.0000 m	0.0070 m
DX	4010	3090	2.6394 m	0.0000 m	0.0000 m	0.0050 m
DY			-1219.6757 m	0.0000 m	0.0000 m	0.0021 m
DZ			183.2148 m	0.0000 m	0.0000 m	0.0055 m
DX	3150	3110	-208.0826 m	0.0000 m	0.0000 m	0.0052 m
DY			-148.2635 m	0.0000 m	0.0000 m	0.0026 m
DZ			202.8170 m	0.0000 m	0.0000 m	0.0044 m
DX	3150	309	-1055.9136 m	0.0000 m	0.0000 m	0.0053 m
DY			812.5608 m	0.0000 m	0.0000 m	0.0030 m
DZ			823.2509 m	0.0000 m	0.0000 m	0.0070 m
DX	309	311	847.8392 m	0.0000 m	0.0000 m	0.0061 m
DY			-960.8184 m	0.0000 m	0.0000 m	0.0041 m
DZ			-620.4310 m	0.0000 m	0.0000 m	0.0130 m
DX	402	401	-1049.4132 m	0.0000 m	0.0000 m	0.0047 m
DY			-373.5769 m	0.0000 m	0.0000 m	0.0023 m
DZ			1004.4569 m	0.0000 m	0.0000 m	0.0059 m
DX	402	315	9.1408 m	0.0000 m	0.0000 m	0.0053 m
DY			-2405.8044 m	0.0000 m	0.0000 m	0.0026 m
DZ			364.4215 m	0.0000 m	0.0000 m	0.0060 m

GPS Baseline Vector Residuals

	Station	Target	Adj vector [m]	Resid [m]	Resid [ppm]
DV	309	402	2246.0463	0.0000	0.0
DV	4010	3150	2379.1088	0.0000	0.0
DV	4010	3090	1233.3627	0.0000	0.0
DV	3150	3110	326.2134	0.0000	0.0
DV	3150	309	1566.1898	0.0000	0.0
DV	309	311	1423.7058	0.0000	0.0
DV	402	401	1499.9205	0.0000	0.0
DV	402	315	2433.2655	0.0000	0.0

Absolute Error Ellipses (2D - 39.4% 1D - 68.3%)

Station	A [m]	B [m]	A/B	Phi	Sd Hgt [m]
309	0.0055	0.0026	2.1	5°	0.0081
3090	0.0092	0.0053	1.7	5°	0.0160
311	0.0104	0.0041	2.5	13°	0.0141
3110	0.0085	0.0044	1.9	6°	0.0123
315	0.0042	0.0023	1.8	-5°	0.0069
3150	0.0077	0.0037	2.1	8°	0.0107
401	0.0040	0.0021	1.9	0°	0.0064
4010	0.0088	0.0049	1.8	6°	0.0144
402	0.0000	0.0000	1.0	90°	0.0000

Testing and Estimated Errors

Observation Tests

	Station	Target	MDB	Red	BNR	W-Test	T-Test
DX	309	402					
DY							
DZ							
DX	4010	3150					
DY							
DZ							
DX	4010	3090					
DY							
DZ							
DX	3150	3110					
DY							
DZ							
DX	3150	309					
DY							
DZ							
DX	309	311					
DY							
DZ							
DX	402	401					
DY							
DZ							
DX	402	315					
DY							
DZ							

همانطور که در بالا مشاهده شد، آزمون فیشر رد شد. علت این موضوع می تواند دو مورد باشد:

۱. نزدیک بودن نقاط به یکدیگر.

۲. نبود حلقه ی بسته بین نقاط.

به دلیل آنکه هیچ حلقه ی بسته ای بین نقاط نداشتیم، سرشکنی ای روی حلقه ها نداریم.

Geosystems

Loops and Misclosures

www.MOVE3.com
(c) 1993-2012 Grontmij
Licensed to Leica Geosystems AG

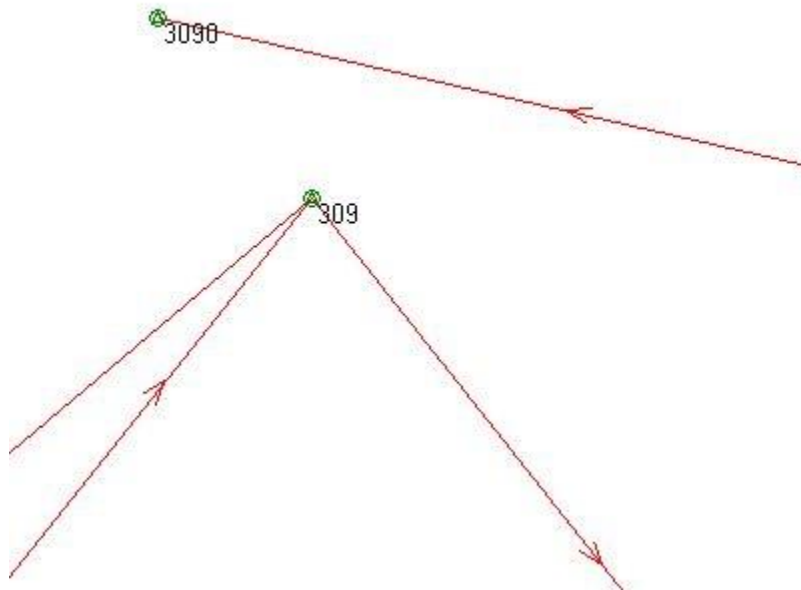
Created: 07/13/2021 02:12:32

Project Information

Project name:	HassanRezvan_Project
Date created:	07/12/2021 21:09:39
Time zone:	3h 30'
Coordinate system name:	WGS 1984
Application software:	LEICA Geo Office 8.4
Processing kernel:	MOVE3 4.1
Dimension:	3D

No loops found

با زوم کردن روی نقشه می توانیم ببینیم که لوپ بسته نداریم.



شکل ۱۸