



## کالیبراسیون سری زمانی مشاهدات تاییدگیج و بویه GPS

علی سلطانپور<sup>۱</sup>، محمود پیروزنا<sup>۲\*</sup>، سعید امین جعفری<sup>۳</sup>

- ۱- مدیر مدیریت آینه‌گاری و امور جزو مردمی سازمان نقشه‌برداری کشور
- ۲- کارشناسی ارشد هیدروگرافی، سازمان نقشه‌برداری کشور
- ۳- کارشناسی ارشد هیدروگرافی، سازمان نقشه‌برداری کشور

### چکیده:

بویه GPS نقش مهمی در تعیین ارتفاع لحظه‌ای سطح آب در دریاها و اقیانوس‌ها دارد و همچنین می‌توان با دست یافتن به دقت مناسب این فناوری نو، از آن جهت کالیبراسیون داده‌های ماهواره‌های ارتفاع سنتجی استفاده نمود. رسیدن به این هدف طی سال‌های اخیر مورد توجه و پشتیبانی سازمان نقشه‌برداری کشور قرار گرفته و تلاشهای گوناگونی در جهت بکارگیری بویه GPS در آبهای جنوبی کشور فراهم شده است. به همین منظور تلاش برای ساخت بویه GPS در سازمان نقشه‌برداری کشور صورت گرفت. بدلیل جدید بودن فناوری اندازه‌گیری ارتفاع سطح آب توسط بویه GPS داخلی، مقایسه و ارزیابی داده‌های بویه GPS ضروری می‌باشد و به همین دلیل در طی یک دوره اندازه‌گیری همزمان بویه GPS، تاییدگیج و تاییدپل مورد ارزیابی همزمان واقع شدند. کالیبراسیون، اندازه‌گیری و تعیین صحت وسیله اندازه‌گیری در مطابقت با مرجع تایید شده می‌باشد که در این مطالعه مرجع تایید شده تاییدپل است. تاییدگیج وسیله‌ای برای اندازه‌گیری سطح لحظه‌ای آب می‌باشد. تاییدگیج‌ها شامل انواع مختلفی هستند که از جمله آن‌ها می‌توان به تاییدگیج‌های راداری، فشاری و فرماحتوتی اشاره کرد. مقاله حاضر به کالیبراسیون سری زمانی مشاهدات تاییدگیج و بویه GPS با استفاده از مشاهدات تاییدپل می‌پردازد. در این مطالعه در گام اول با هماهنگی با مدیریت زمینی سازمان نقشه‌برداری مختصات دقیق به دست آمده برای ایستگاه‌های موردي بوشهر با نرم افزار GAMIT-GLOBK پردازش شدند و در ادامه با انتخاب این ایستگاه‌ها به عنوان نقاط کنترل و ثابت، پردازش بویه GPS با استفاده از نرم افزار LGO انجام گردید. با انجام پردازش صورت گرفته سطح لحظه‌ای آب نسبت به بیضوی WGS84 در اپک‌های مشخص تعیین و با حذف نقاطی که ابهام فاز آن‌ها حل نشده است مشاهدات با کیفیت بالا استخراج شدند. در گام دوم با توجه به ترازیابی انجام شده بین ایستگاه‌ها، مشاهدات تاییدگیج و تاییدپل نسبت به بیضوی WGS84 بدست آمدند. علت این امر مرجع کردن ارتفاعی تاییدگیج، تاییدپل و بویه GPS می‌باشد. در گام سوم کالیبراسیون بین تاییدپل و بویه GPS و همچنین بین تاییدپل و تاییدگیج صورت پذیرفت، بوسیله‌ی مدل سرشکنی پارامتریک مقدار تقریبی ضرائب کالیبراسیون بدست آمد که با کمک این مقادیر، مدل سرشکنی ترکیبی به منظور کالیبراسیون مشاهدات بویه GPS و تاییدگیج استفاده گردید.

واژه‌های کلیدی: کالیبراسیون، بویه GPS، تاییدگیج، مدل سرشکنی ترکیبی، سازمان نقشه‌برداری کشور

## ۱- مقدمه

کالیبراسیون مقایسه دو سیستم یا وسیله اندازه گیری است (یکی با عدم قطعیت معلوم و دیگری با عدم قطعیت نامعلوم) به منظور محاسبه عدم قطعیت وسیله‌ای که عدم قطعیت آن نامعلوم است.

تعریف دیگری که در ایزو ۱۰۰۱۲ آمده است کالیبره کردن را چنین معرفی کرده است: مجموعه‌ای از عملیات که تحت شرایط مشخصی برقرار می‌شود و رابطه‌ای بین مقادیر نشان داده شده توسط وسیله اندازه گیری و مقادیر متناظر آن کمیت توسط استاندارد مرجع را مشخص می‌نماید. دستگاه‌های اندازه گیری باید به طور دوره‌ای کالیبره شوند. گذشت زمان، فرسودگی، حوادث غیر قابل پیش‌بینی، باعث می‌شوند تا قابلیت ردیابی نتایج آنها تا استانداردها زیر سوال رفته و نیازمند تایید مجدد باشند.

هدف کالیبراسیون ایجاد نظامی موثر به منظور کنترل صحت و دقت پارامترهای متrolوژیکی دستگاه‌های آزمون و وسائل اندازه گیری و کلیه تجهیزاتی است که عملکرد آنها بر کیفیت مشاهدات تاثیرگذار می‌باشد.

علت انجام کالیبراسیون، اعتبار اندازه گیری‌ها مربوط به تحقیقات بستگی به درستی برآورد پدیده‌های تحت مطالعه و عدم قطعیت‌های به دست آمده دارد. کالیبراسیون وسیله‌هایی که در تحقیقات مورد استفاده قرار می‌گیرند، عدم قطعیت و کنترل رشد عدم قطعیت را مشخص می‌نماید و به محقق کمک می‌کند که به نتایج حاصل از تحقیقات خود اطمینان داشته باشد که این نتایج ناشی از تغییرات واقعی پدیده هاست نه ناشی از عدم درستی در تخمین عدم قطعیت‌های اندازه گیری است.

با توجه به آنچه که پیشتر گفته شد، تاییدگیج‌ها به علت کارکرد چندین ساله و همچنین بویه GPS به دلیل بررسی صحت نتایج بایستی کالیبره شوند. تاییدگیج وسیله‌ای برای اندازه گیری سطح لحظه‌ای آب می‌باشد. تاییدگیج‌ها شامل انواع مختلفی هستند که از جمله آن‌ها می‌توان به تاییدگیج‌های راداری، فشاری و فرماحتی اشاره کرد. برروی تاییدگیج باید کالیبراسیون مداوم صورت گیرد و داده‌های آن چک و بررسی شوند. مشاهدات تاییدگیج باید به شبکه محلی بنج مارک‌ها متصل و سپس به شبکه ملی ترازیابی ثابت شوند و سپس به شبکه جهانی متصل گردد که این عمل تکنیک مدرن ژئودتیکی می‌باشد. داده‌های ثبت شده باید ذخیره، سند سازی و محافظت صورت گیرد که بتوان از آن‌ها به عنوان یک منبع ارزشمند برای مطالعه پژوهش‌های مختلف استفاده کرد (Jcomm 2006).

بویه GPS امکان اندازه گیری سطح آب در دیتوم مطلق اپک به اپک با نرخ نمونه برداری مشخص را فراهم می‌کند. زمینه‌های کاربردی بویه GPS بر اساس اندازه گیری سطح آب در حال حاضر شامل کالیبراسیون ماهواره‌ای ارتفاع سنجی (Bonnefond et al., 2003)، نظرارت بر سطح رودخانه (Moore et al., 2002)، تحقیقات سونامی (Kato et al., 2001) می‌باشد.

بویه GPS بدليل انعطاف در نمونه برداری، تعیین مطلق سطح آب دریا در دیتوم مشخص و همچنین دارا بودن این قابلیت که به راحتی در مجاورت سواحل مستقر گردد و لازم نیست همانند تاییدگیج‌ها به شدت به سواحل وصل شوند دارای مزیت بیشتری نسبت به روش‌های سنتی تعیین سطح آب دریا دارد.

ایستگاه بوشهر دارای تاییدگیج شناوری بوده که برای انجام عملیات کالیبراسیون، تایید پل در کنار آن استقرار داده شد. در ادامه دو ایستگاه GPS به منظور قرائت ۲۴ ساعته همزمان این ایستگاهها با بویه GPS و تایید پل تاسیس گردید. مختصات دقیق دو ایستگاه GPS بوشهر با پردازش به وسیله نرم افزار GAMIT-GLOBK محاسبه شدند و با انتخاب این ایستگاهها به عنوان نقاط کنترل و ثابت، پردازش بویه GPS با استفاده از نرم افزار LGO انجام گردید. با انجام پردازش صورت گرفته سطح لحظه‌ای آب نسبت به بیضوی WGS84 در اپک‌های مشخص تعیین و با

حذف نقاطی که ابهام فاز آن‌ها حل نشده است مشاهدات با کیفیت بالا استخراج شدند. در گام دوم با توجه به ترازیابی انجام شده بین ایستگاهها، مشاهدات تاییدگیج و تاییدپل نسبت به بیضوی WGS84 بدست آمدند. علت این امر مرجع کردن ارتفاعی تاییدگیج، تاییدپل و بويه GPS می‌باشد. در گام سوم کالیبراسیون بین تاییدپل و بويه GPS و همچنین بین تاییدپل و تاییدگیج صورت پذیرفت، بوسیله‌ی مدل سرشکنی پارامتریک مقدار تقریبی ضرائب کالیبراسیون به دست آمد که با کمک این مقادیر، مدل سرشکنی ترکیبی به منظور کالیبراسیون مشاهدات بويه GPS و تاییدگیج استفاده گردید.

## ۲- متودولوژی

### ۱-۲- مدل سرشکنی

با حذف مشاهدات اشتباه از سری زمانی مشاهدات بويه GPS (شکل ۲-۲)، در ادامه کالیبراسیون تاییدگیج و بويه GPS انجام می‌شود. در اینجا می‌توان کالیبراسیون با یک مدل خطی ساده انجام شود (Watson, Coleman and Handsworth 2008). رابطه (۱-۲)، رابطه (۲-۲).

$$SLH_{Tide\ Pole} = \alpha * SLH_{Tide\ Gauge} + \beta \quad (1-2)$$

$$SLH_{Tide\ Pole} = \alpha * SLH_{GPS\ Buoy} + \beta \quad (2-2)$$

رابطه (۱-۲) کالیبراسیون تاییدگیج و رابطه (۲-۲) کالیبراسیون بويه GPS، که در این روابط  $\alpha$  مقیاس خطی و  $\beta$  افست عمودی می‌باشد. حل روابط بالا با استفاده از روش سرشکنی ترکیبی حل می‌شود. مدل ریاضی سرشکنی ترکیبی به صورت  $f(x, l) = 0$ ;  $C_r \cong C_l$  می‌باشد در اینجا  $x$  مجھولات و  $l$  مشاهدات است و فرم کلی مدل ترکیبی به صورت  $A\delta + Br + w = 0$  می‌باشد، اجزای آن عبارتند از:  $W$  اختلاف بسط مدل،  $A$  ماتریس ژاکوبین معادلات نسبت به مجھولات،  $B$  ماتریس ژاکوبین معادلات نسبت به مشاهدات،  $r$  بردار باقیمانده‌ها و  $\delta$  بردار مجھولات، اگر غیر خطی باشد با بسط سری تیلور حول یک نقطه تقریبی آن را خطی می‌کنیم.

رابطه (۳-۲)

$$MATH.\ MODEL: \quad f(x, l) = 0; \quad C_r \equiv C_l$$

LINEARISATION :

$$f(x, l) = \underbrace{f(x^{(0)}, l^{(0)})}_{W} + \underbrace{\frac{\partial f}{\partial x} \Big|_{\substack{x=x^{(0)} \\ l=l^{(0)}}} (x - x^{(0)})}_{A} + \underbrace{\frac{\partial f}{\partial l} \Big|_{\substack{x=x^{(0)} \\ l=l^{(0)}}} (l - l^{(0)})}_{B} + \dots$$

$$A\delta + Br + w = 0 \quad LINEARIZED \quad MATH.\ MOD$$

$W$  نیز اختلاف بسط مدل می‌باشد که با جایگذاری مقدار اولیه مجھولات و همچنین مشاهدات در معادلات بدست می‌آید. برای انتخاب مقدار اولیه مجھولات در مدل سرشکنی ترکیبی ابتدا با استفاده از مدل پارامتریک مقادیر اولیه ضرائب کالیبراسیون محاسبه نمودیم.

$$SLH_{Tide\ Pole} = \alpha * SLH_{Tide\ Gauge} + \beta \quad (4-2)$$

$$\underbrace{\begin{bmatrix} SLH_{Tide Pole1} \\ SLH_{Tide Pole2} \\ \vdots \\ SLH_{Tide Polen} \end{bmatrix}}_{L_{n*1}} = \underbrace{\begin{bmatrix} SLH_{Tide Gauge1} & 1 \\ \vdots & \vdots \\ SLH_{Tide Gaugen} & 1 \end{bmatrix}}_{A_{n*2}} \underbrace{\begin{bmatrix} \alpha \\ \beta \end{bmatrix}}_{X_{2*1}}$$

رابطه (۵-۲)

$$\hat{X} = (A^T A)^{-1} A^T L$$

رابطه (۶-۲)

در رابطه بالا  $A$  ماتریس طرح ،  $L$  بردار مشاهدات و  $X$  بردار مجہولات می باشد. با حل رابطه (۶-۲) مقدار اولیه مجہولات بدست می آید. (Giordano and Hsu 1985)

پس از تنظیم بردارهای مشاهدات و مجہولات و تعیین مقادیر اولیه تقریبی برای مجہولات(رابطه (۶-۲)) و تشکیل مدل ریاضی ترکیبی و فرم خطی آن به حل مدل ریاضی به روش کمترین مربعات و تعیین پارامترهای مجہول می پردازیم. البته باید در نظر بگیریم که وزن مشاهدات را یکسان در نظر گرفتیم.

برای بدست آوردن مجہولات باید  $\hat{\delta}$  را بدست آورده و به مقدار اولیه مجہولات اضافه کنیم. (Anderssen and Osborne 1969)

رابطه (۷-۲)

*SOLUTION FOR  $\hat{\delta}$ :*

$$Br = -\tilde{r}, C_{\tilde{r}} = BC_r B^T$$

رابطه (۸-۲)

$$\min_{\delta \in X} \tilde{r}^T C_{\tilde{r}}^{-1} \tilde{r} \Rightarrow \hat{\delta}$$

$$\min_{\delta \in X} \tilde{r}^T C_{\tilde{r}}^{-1} \tilde{r} = \min_{\delta \in X} [(A\delta + w)^T C_{\tilde{r}}^{-1} (A\delta + w)]$$

رابطه (۹-۲)

$$\Rightarrow \frac{\partial}{\partial \delta} [(A\delta + w)^T C_{\tilde{r}}^{-1} (A\delta + w)] = 0 \quad (\text{NORMAL EQNS.})$$

رابطه (۱۰-۲)

$$\Rightarrow A^T C_{\tilde{r}}^{-1} A \hat{\delta} + A^T C_{\tilde{r}}^{-1} w = 0$$

رابطه (۱۱-۲)

$$\underbrace{(A^T (BC_r B^T)^{-1} A)}_N \hat{\delta} + \underbrace{A^T (BC_r B^T)^{-1} w}_u = 0$$

رابطه (۱۲-۲)

$$\hat{X} = X^{(0)} + \hat{\delta} \quad \hat{\delta} = -N^{-1} u \quad \Rightarrow$$

بدین صورت مجھولات بدست می آید البته باید فرآیند تکرار آنقدر ادامه یابد که .  $\hat{\delta} \rightarrow \hat{\delta}$  ویا شرط توقف  $\max(\text{abs } \hat{\delta}) < \epsilon$  انجام پذیرد و در هر مرحله فرآیند تکرار A,B,W و در نتیجه  $\hat{\delta}$  و  $\hat{l}$  نیز تغییر می‌کند.

همچنین پس از تعیین مجھولات باید دقت آن‌ها نیز داشته باشیم که ماتریس وریانس کواریانس مجھولات بصورت زیر می‌باشد.

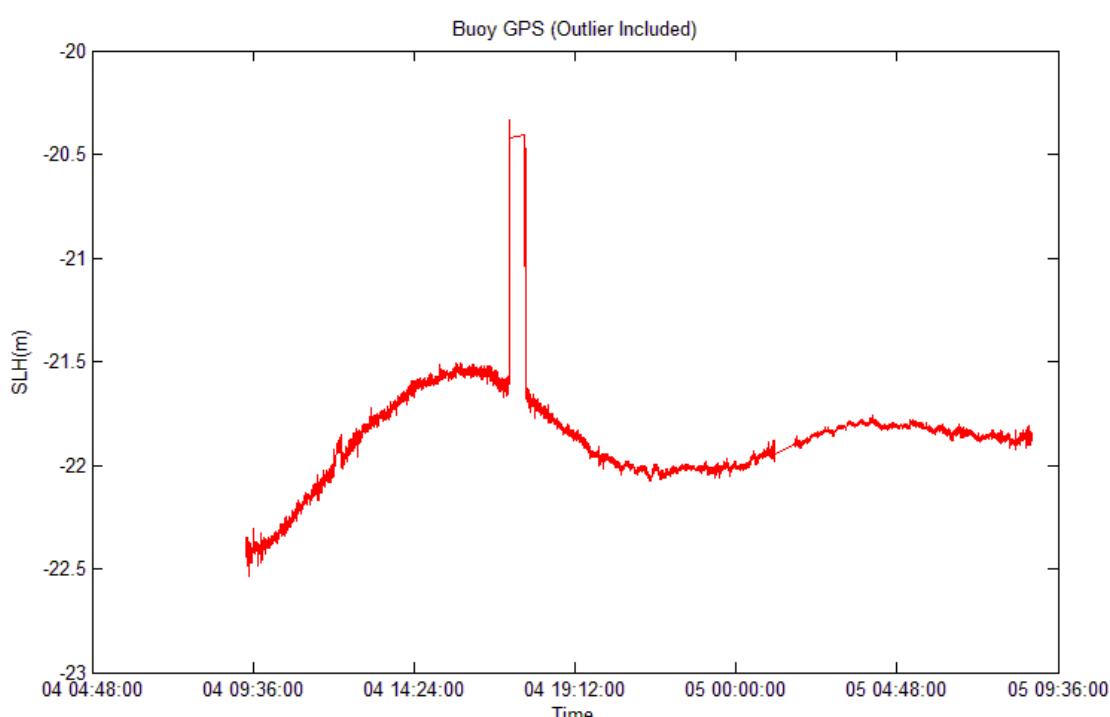
(Kaplan 1980)

$$C_w = BC_r B^T$$

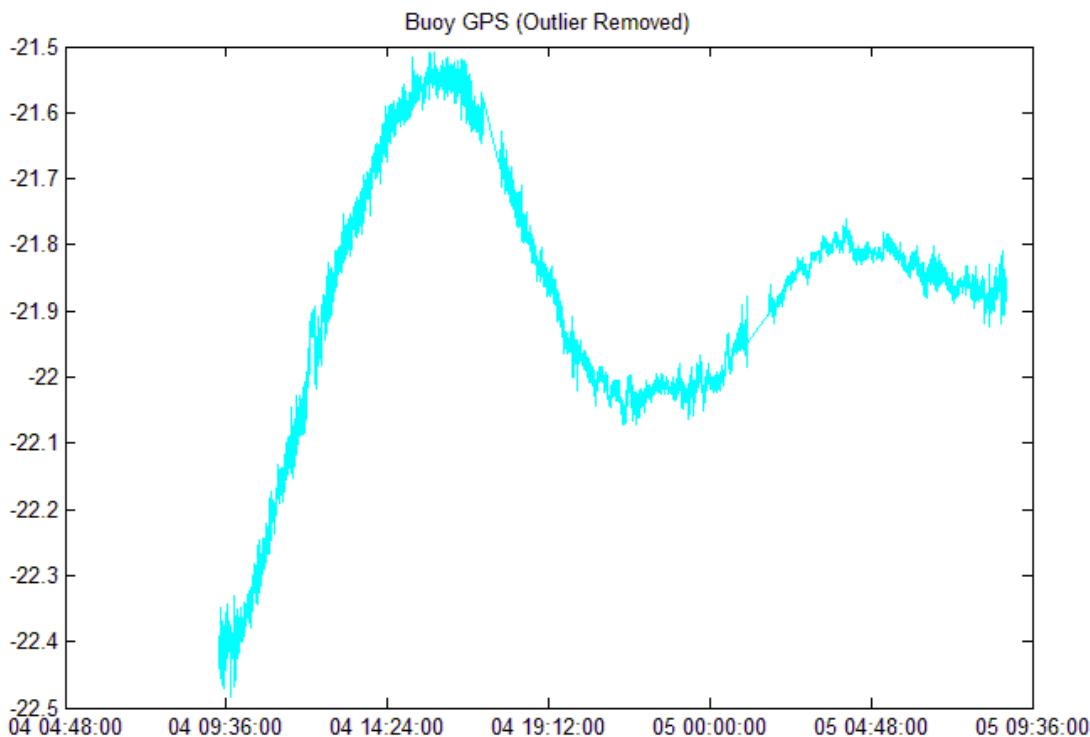
رابطه(۱-۱۳-۲)

$$C_{\hat{x}} = N^{-1} = (A^T C_w^{-1} A)^{-1}$$

رابطه(۲-۱۳-۲)



شکل ۲: سری زمانی مشاهدات بویه GPS همراه با outlier



شکل ۲-۲: سری زمانی مشاهدات بویه GPS پس از حذف outlier

## ۲-۲- فیلترینگ سری زمانی مشاهدات بویه GPS به روش SGolay<sup>۱</sup> و مدلسازی سری زمانی مشاهدات بویه GPS با روش فوریه

برای کاهش نویزهای موجود در سری زمانی بویه GPS از یک فیلتر پایین گذر استفاده گردید (شکل ۲-۳). فیلتر Savitzky-Golay یک فیلتر دیجیتال است که می‌توان به مجموعه‌ای از نقاط داده‌های دیجیتال بهمنظور نرم کردن داده‌ها اعمال شود. از خصوصیات این فیلتر افزایش نسبت سیگنال به نویز بدون تخریب سیگنال می‌باشد. این فیلتر در سال ۱۹۶۴ میلادی توسط آقایان ساویتچی و گولی ارائه شد. (Krishnan and Seelamantula 2013)

ایده اصلی فیلتر Sgolay برآش یک چند جمله‌ای با درجه خاص به نقاط می‌باشد و همچنین یک فیلتر میانگین حرکتی وزن دار (Weighted Moving Average) است. کار این فیلتر بدین صورت می‌باشد که پنجره حرکت می‌کند و به هر نقطه مرکزی یک چند جمله‌ای مناسبی با درجه K که بتواند با توجه به نقاط همسایه برآش یابد را پیدا می‌کند. (Press and Teukolsky 1990)

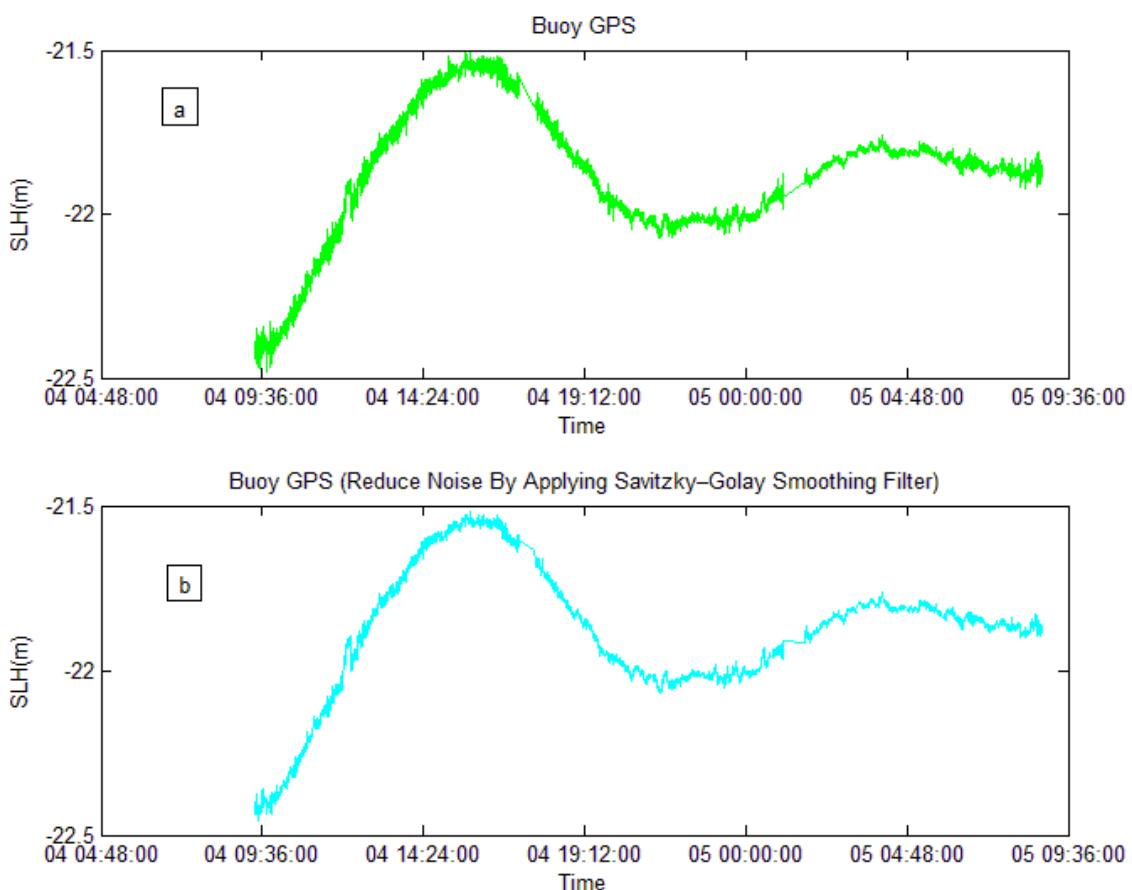
پس از اعمال فیلتر و کاهش نویزهای موجود، سری زمانی مشاهدات بویه GPS مدلسازی می‌شوند. مدلسازی توسط معادله فوریه با درجه ۸ (رابطه ۱۴-۲) صورت گرفت (Rafajłsowicz, 1989) که میزان RMSE در حدود ۱.۴ سانتی متر شد. (شکل ۴-۲)

(۱۴-۲) رابطه

$$y(t) = a_0 + a_1 \cos(t^*w) + a_2 \sin(t^*w) + a_3 \cos(2*t^*w) + a_4 \sin(2*t^*w) + a_5 \cos(3*t^*w) + a_6 \sin(3*t^*w) + a_7 \cos(4*t^*w) + a_8 \sin(4*t^*w) + a_9 \cos(5*t^*w) + a_{10} \sin(5*t^*w) + a_{11} \cos(6*t^*w) + a_{12} \sin(6*t^*w) + a_{13} \cos(7*t^*w) + a_{14} \sin(7*t^*w) + a_{15} \cos(8*t^*w) + a_{16} \sin(8*t^*w)$$

<sup>۱</sup>. Savitzky-Golay

در اینجا ،  $a$  و  $b$  ضرائب فوریه،  $w$  فرکانس زاویه ای و  $t$  زمان مشاهدات می باشد. (Asher 2013) در رابطه (۱۴-۲) مجهولات ضرائب فوریه می باشد که با روش کمترین مربعات حل می شوند. با حل رابطه (۱۴-۲) برای سری زمانی مشاهدات بویه GPS بوشهر مقادیر ضرائب بدست آمده در فاصله اطمینان ۹۵ درصد محاسبه شدن دجدول (۱-۲).

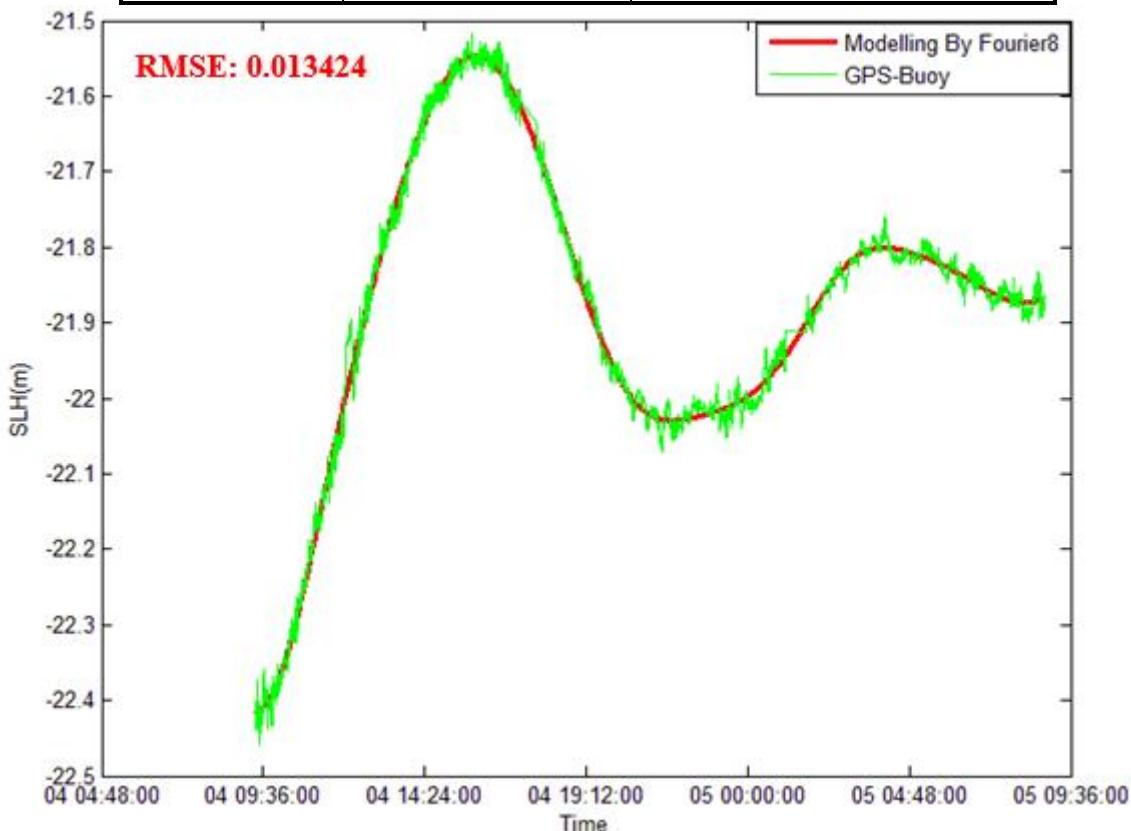


شکل ۲-۳:- سری زمانی مشاهدات بویه GPS همراه با نویز(a)، سری زمانی مشاهدات بویه GPS با اعمال فیلتر پایین گذر و Sgolay

کاهش نویزهای موجود(b)

جدول ۱-۲: ضرائب فوريه درجه ۸ بدست آمده در فاصله اطمینان ۹۵ درصد

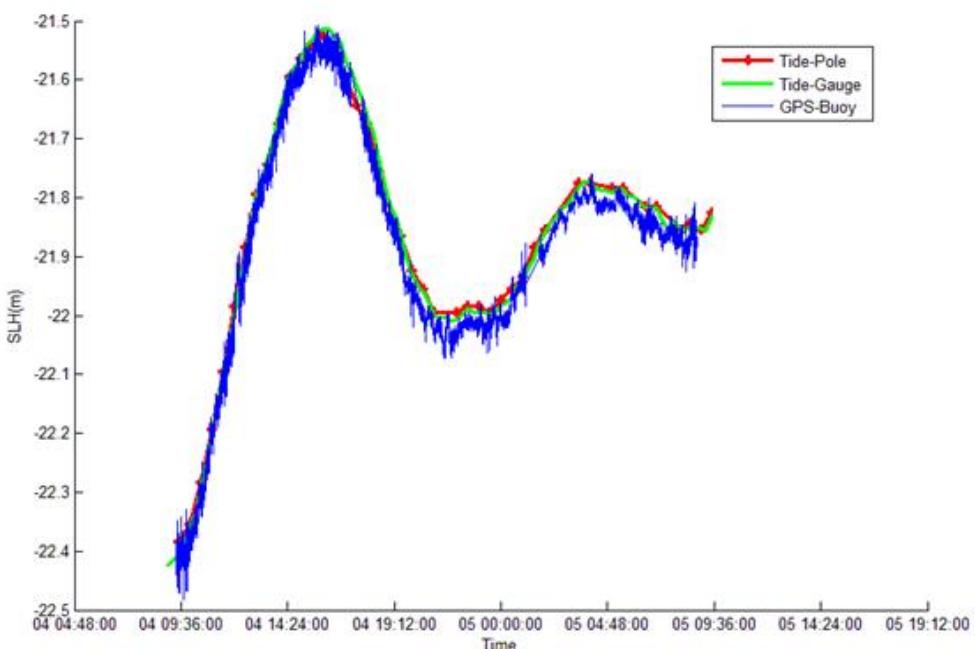
Coefficients	value	(with 95% confidence bounds)
a0	-22.25	(-23.56, -20.93)
a1	0.4954	(-1.907e+05, 1.907e+05)
b1	-0.5131	(-1.841e+05, 1.841e+05)
a2	-0.07472	(-4.369e+05, 4.369e+05)
b2	0.5878	(-5.555e+04, 5.555e+04)
a3	-0.2679	(-1.016e+05, 1.016e+05)
b3	-0.09115	(-2.987e+05, 2.987e+05)
a4	0.2868	(-2.472e+05, 2.472e+05)
b4	-0.1663	(-4.264e+05, 4.264e+05)
a5	-0.05305	(-4.095e+05, 4.095e+05)
b5	0.2203	(-9.859e+04, 9.859e+04)
a6	-0.0828	(-2.362e+05, 2.362e+05)
b6	-0.1059	(-1.847e+05, 1.847e+05)
a7	0.05785	(-4.53e+04, 4.53e+04)
b7	0.01741	(-1.505e+05, 1.505e+05)
a8	-0.01394	(-3.683e+04, 3.683e+04)
b8	0.01239	(-4.146e+04, 4.146e+04)



شکل ۴-۲: سری زمانی مشاهدات بویه GPS(رنگ سبز)، مدلسازی سری زمانی مشاهدات بویه GPS توسط معادله فوريه با درجه ۸(رنگ قرمز)

### ۳- نتایج عددی

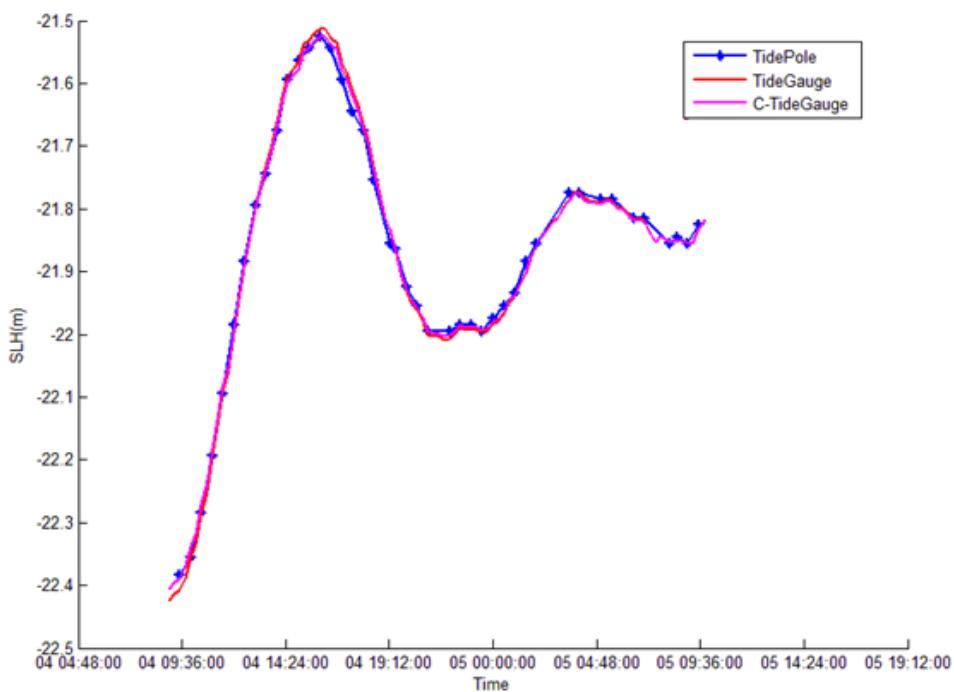
در این مطالعه همانطور که گفته شد برای کالیبراسیون بویه GPS و تاییدگیج از تاییدپل استفاده شده است بدین صورت که به طور همزمان حدود ۲۴ ساعت مشاهدات تاییدپل، بویه GPS و تاییدگیج انجام گردید (شکل (۱-۳)). زمان شروع مشاهدات در تاریخ، روز چهارم ماه اول سال ۲۰۱۶ میلادی و زمان پایان روز پنجم ماه اول سال ۲۰۱۶ میلادی می باشد. نمایش کلی از مشاهدات تاییدپل، تاییدگیج، بویه GPS و مشاهدات کالیبره شده تاییدگیج و بویه GPS را می توانید در شکل (۳-۵) مشاهده کنید.



شکل ۳-۱: مشاهدات تاییدپل(رنگ قرمز)، مشاهدات تاییدگیج(رنگ سبز)، مشاهدات بویه GPS(رنگ آبی)

### ۳-۱- کالیبراسیون تاییدگیج ایستگاه بوشهر

مدل کالیبراسیون تاییدگیج رابطه ۱-۲ می باشد که پس از تنظیم بردارهای مشاهدات و مجہولات و تعیین مقادیر اولیه تقریبی برای مجہولات با استفاده از رابطه‌ی (۲-۶)، پارامترهای مجہول که همان ضرائب کالیبراسیون هستند با استفاده از سرشکنی مدل ترکیبی تعیین می گردد (جدول (۱-۳)).



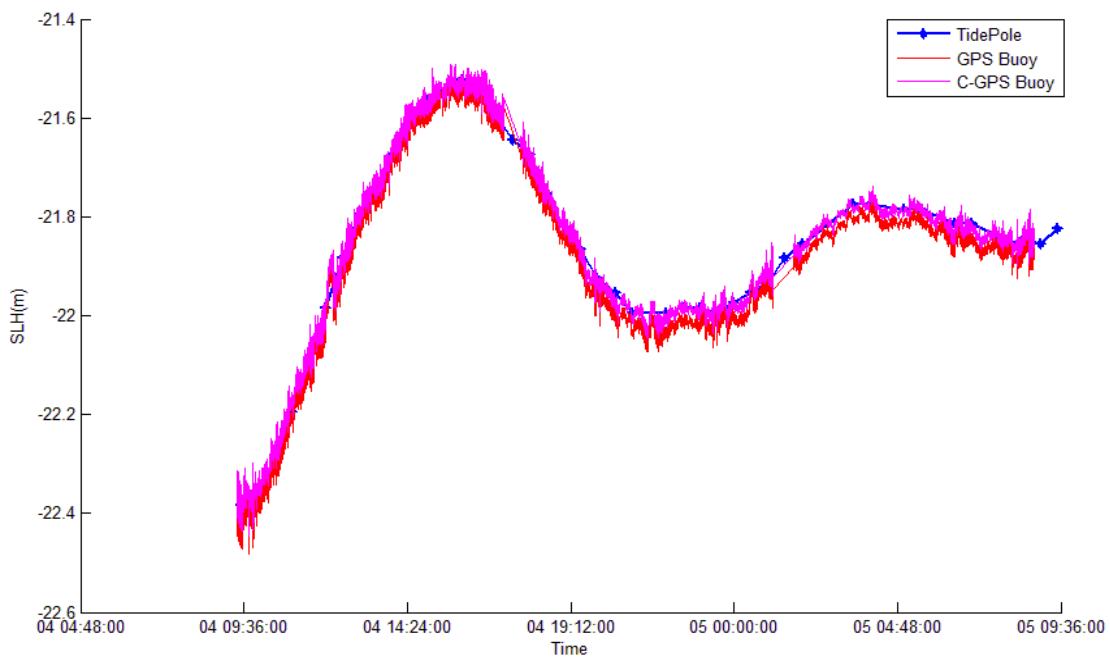
شکل ۳-۲: مشاهدات تایدپل(رنگ آبی)، مشاهدات تایدگیج(رنگ قرمز)، مشاهدات کالیبره شده تایدگیج (رنگ ارغوانی)، اعمال ضرائب کالیبراسیون به مشاهدات تایدگیج

جدول ۳-۱- ضرائب کالیبراسیون تایدگیج ایستگاه بوشهر

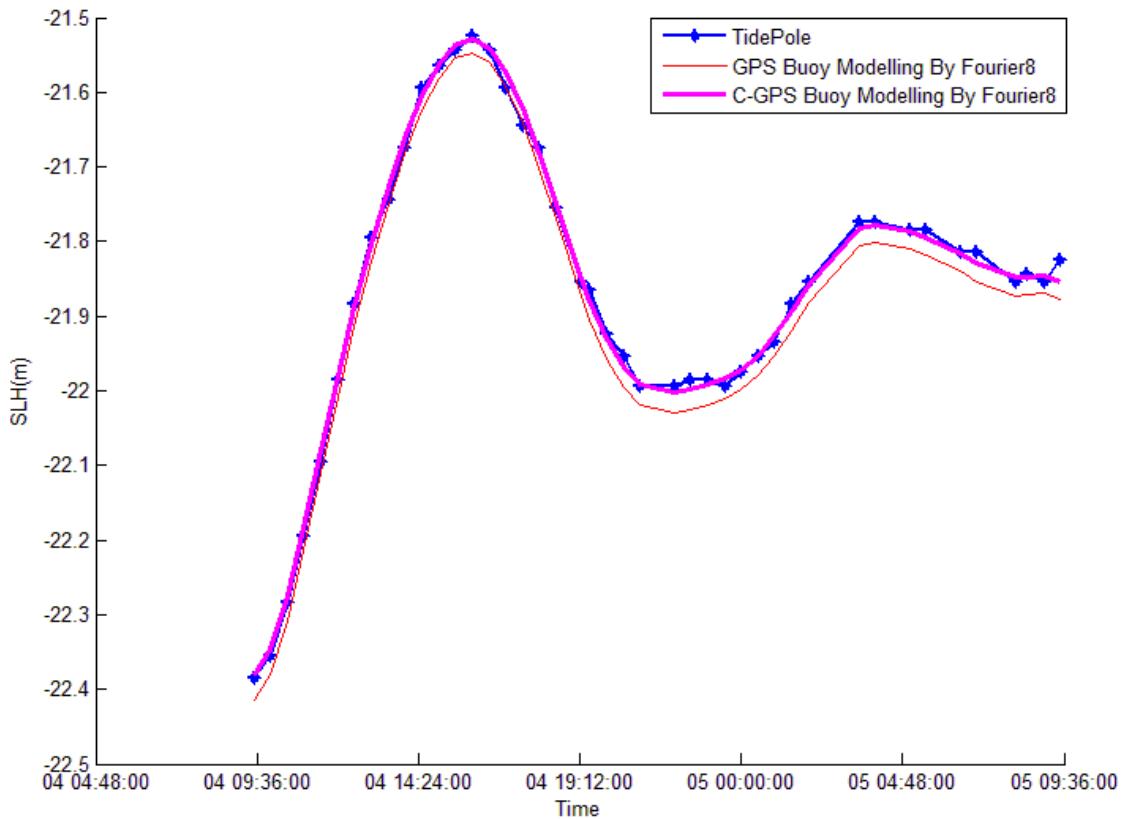
توضیحات	$\alpha$	$\beta$
مقدار اولیه بدست آمده از سرشکنی مدل پارامتریک	0.9652850295034590	-0.7588391019726050
مقادیر مجھولات بدست آمده از سرشکنی مدل ترکیبی	0.9652850295034580	-0.7588391019726100

### ۲-۳- کالیبراسیون بویه GPS

همانند کالیبراسیون تایدگیج، بویه GPS با استفاده از رابطه ۲-۲ کالیبره می‌شود که پس از تنظیم بردارهای مشاهدات و مجھولات و تعیین مقادیر اولیه تقریبی برای مجھولات با کمک رابطه‌ی (۶-۲)، پارامترهای مجھول که همان ضرائب کالیبراسیون هستند با استفاده از سرشکنی مدل ترکیبی تعیین می‌گردد(جدول ۲-۳). برای حل معادلات کالیبراسیون، برای اینکه در زمان هایی که مشاهدات تایدپل قرائت شده است بتوان مشاهدات بویه GPS به دست آورد می‌باشد مشاهدات بویه GPS مدلسازی شده و مقادیر بویه GPS در زمان هایی که مشاهدات تایدپل قرائت شده است محاسبه شود بدین منظور با استفاده از سری فوریه درجه ۸، رابطه (۱۴-۲) مدلسازی انجام می‌گردد. علت انتخاب سری فوریه با درجه ۸ انطباق بالای آن با مشاهدات بویه GPS می‌باشد. باید توجه داشت برای مدلسازی نیز در ابتدا بایستی با اعمال فیلتر پایین گذر نویز های موجود در مشاهدات کاهش یابد و سپس به مدلسازی پرداخت زیرا در روند مدلسازی اختلال ایجاد کرده و باعث عدم انطباق مدل با مشاهدات می‌شود. در این مطالعه از فیلتر پایین گذر به منظور کاهش نویز استفاده گردیده است.



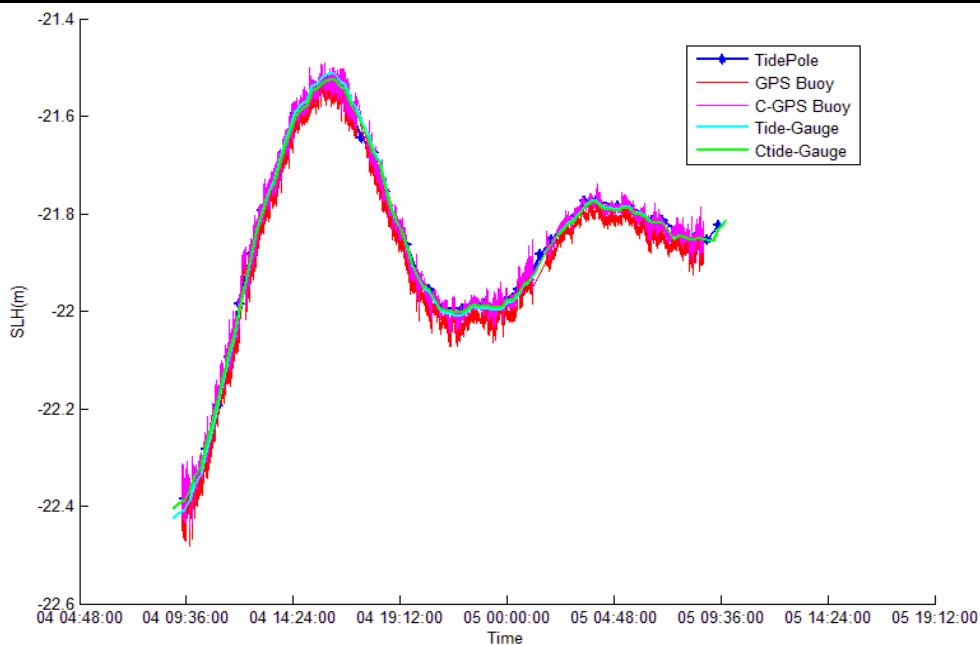
شکل ۳-۳: مشاهدات تاییدپل(رنگ آبی)، مشاهدات بویه GPS (رنگ قرمز)، مشاهدات کالیبره شده بویه GPS (رنگ ارغوانی)، اعمال ضرائب کالیبراسیون به مشاهدات بویه GPS



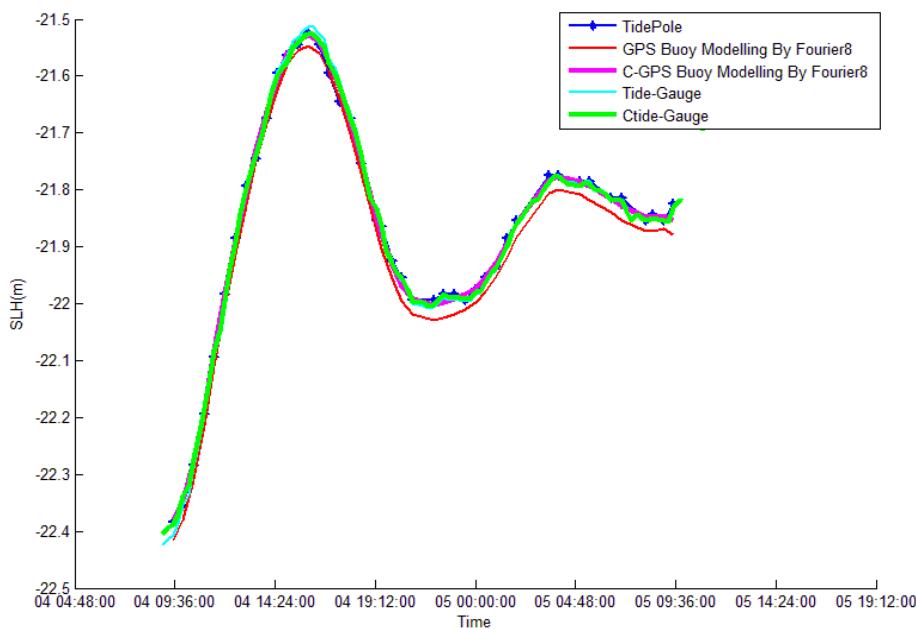
شکل ۴-۳: مشاهدات تاییدپل(رنگ آبی)، مشاهدات بویه GPS مدلسازی شده با سری فوریه درجه ۸ (رنگ قرمز)، مشاهدات کالیبره شده بویه GPS مدلسازی شده با سری فوریه درجه ۸ (رنگ ارغوانی)، اعمال ضرائب کالیبراسیون به مشاهدات بویه GPS

جدول ۳-۲- ضرائب کالیبراسیون بویه GPS

توضیحات	$\alpha$	$\beta$
مقدار اولیه به دست آمده از سرشکنی مدل پارامتریک	0.9801951357772620	-0.4089017086846750
مقدادیر مجهولات بدست آمده از سرشکنی مدل ترکیبی	0.9801951357772610	-0.4089017086846640



شکل ۳-۵: مشاهدات تایدپل(رنگ آبی)، مشاهدات بویه GPS (رنگ قرمز)، مشاهدات کالیبره شده بویه GPS (رنگ ارغوانی) اعمال ضرائب کالیبراسیون به مشاهدات بویه GPS، مشاهدات تایدگیج(رنگ فیروزه‌ای)، مشاهدات کالیبره شده تایدگیج (رنگ سبز)، اعمال ضرائب کالیبراسیون به مشاهدات تایدگیج



شکل ۳-۶: مشاهدات تایدپل(رنگ آبی)، مشاهدات بویه GPS مدلسازی شده با سری فوریه درجه ۸ (رنگ قرمز)، مشاهدات کالیبره شده بویه GPS مدلسازی شده با سری فوریه درجه ۸ (رنگ ارغوانی)، اعمال ضرائب کالیبراسیون به مشاهدات بویه GPS، مشاهدات تایدگیج(رنگ فیروزه‌ای)، مشاهدات کالیبره شده تایدگیج (رنگ سبز)، اعمال ضرائب کالیبراسیون به مشاهدات تایدگیج

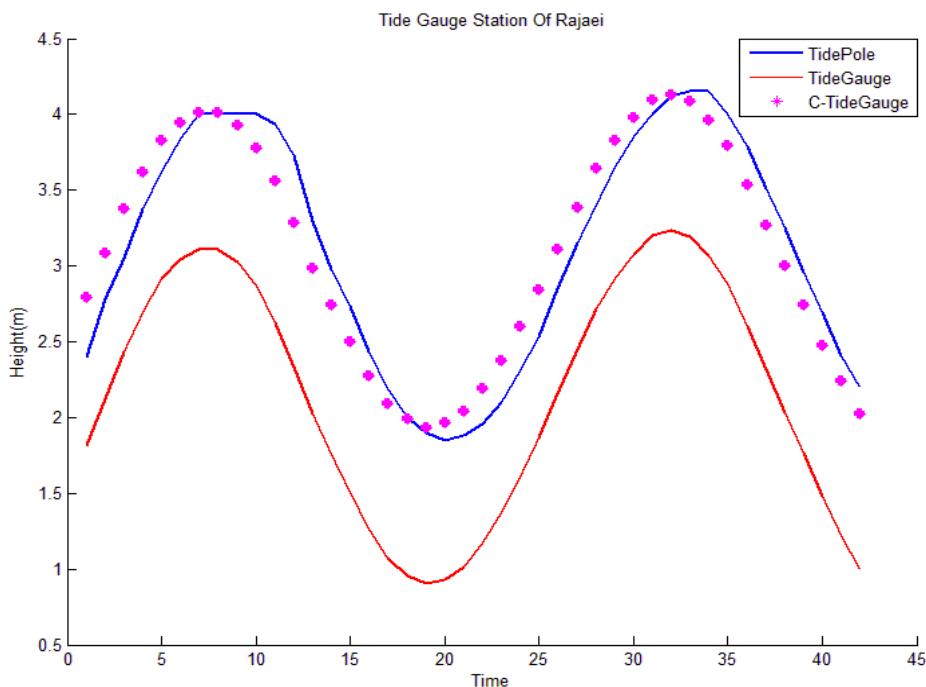
### ۳-۳- کالیبراسیون ایستگاههای تایدگیج رجائی، قشم، لنگه و جاسک

کالیبراسیون ایستگاههای تایدگیج رجائی، قشم، لنگه و جاسک نیز همانند بخش ۱-۳ صورت می‌گیرد.

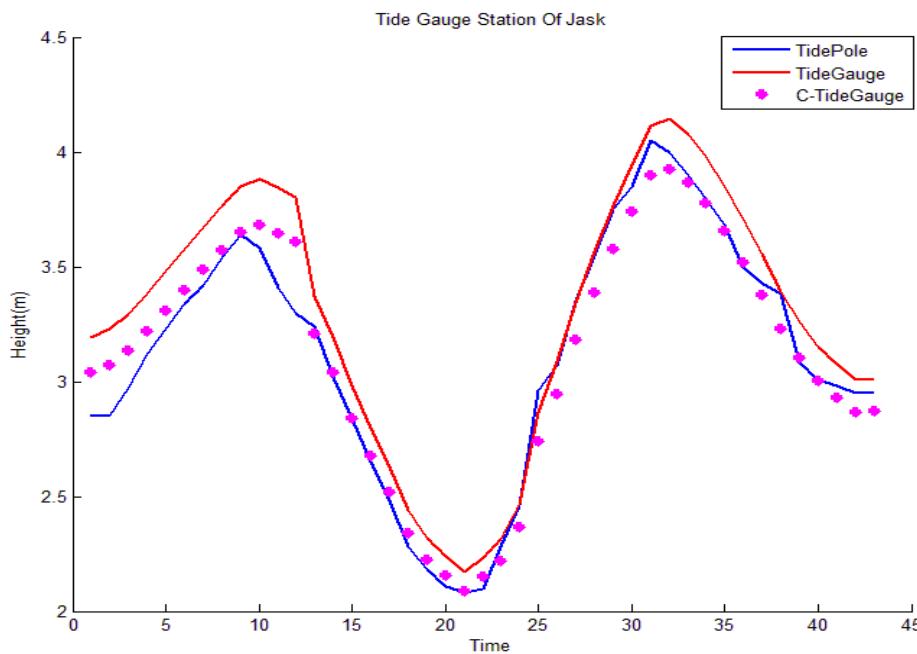
نتایج حاصل از ضرائب کالیبراسیون این ایستگاهها در جدول (۳-۳) نشان داده شده است.

جدول ۳-۳: ضرائب کالیبراسیون ایستگاههای تایدگیج

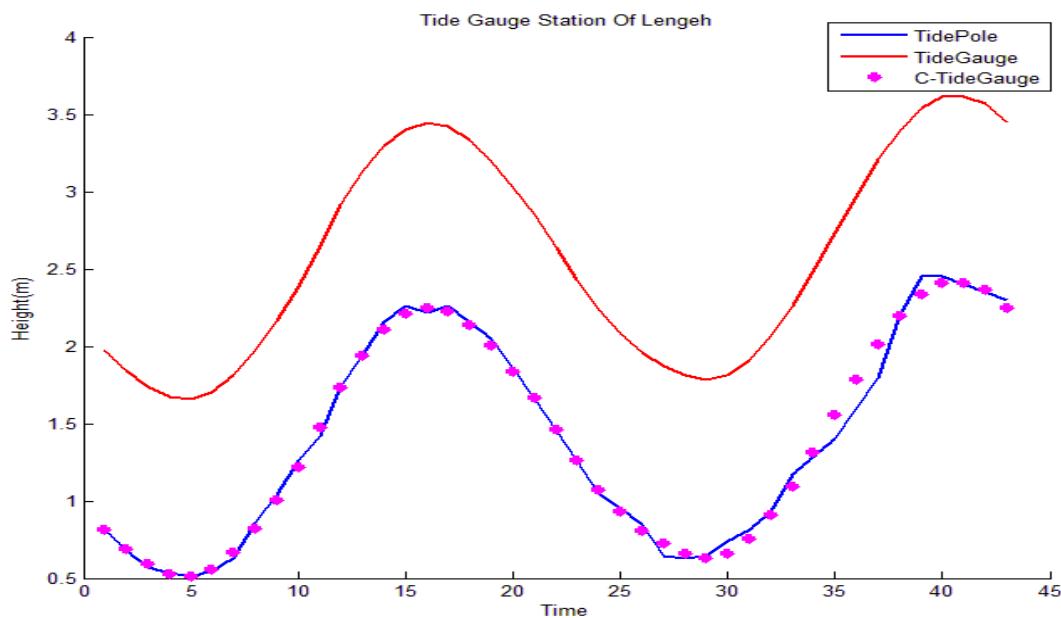
ایستگاههای تایدگیج	$\alpha$	$\beta$
رجائی	0.939033443	1.087857881
جاسک	0.931803921	0.065214318
لنگه	0.971384077	-1.100303725
قشم	1.015091773	0.186395309



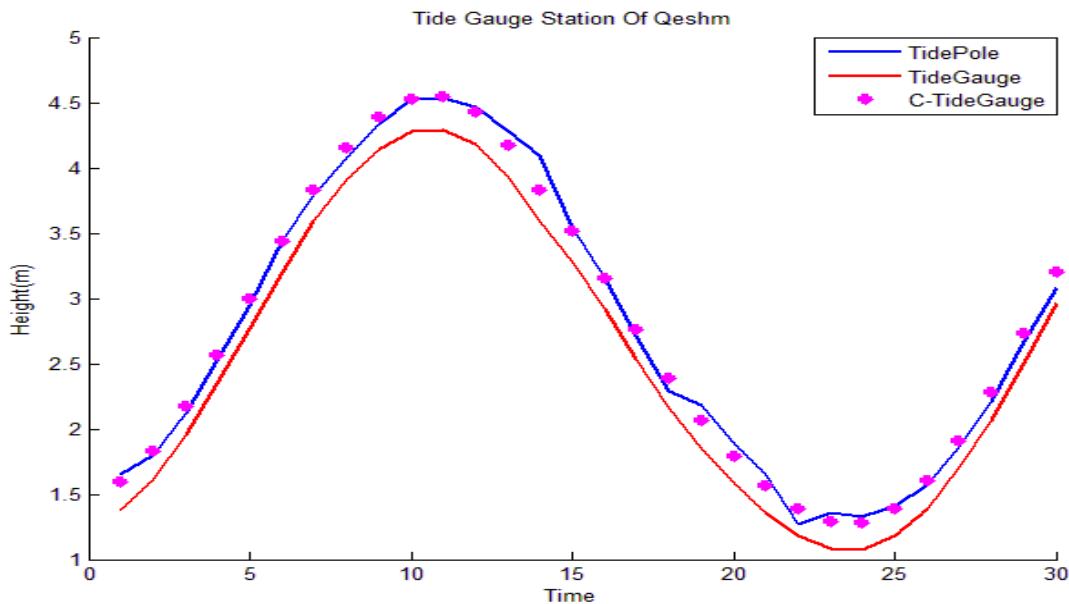
شکل ۳-۷: ایستگاه رجائی، مشاهدات تایدپل(رنگ آبی)، مشاهدات تایدگیج(رنگ قرمز)، مشاهدات کالیبره شده تایدگیج (رنگ ارغوانی)، اعمال ضرائب کالیبراسیون به مشاهدات تایدگیج



شکل ۳-۸: ایستگاه جاسک، مشاهدات تایدپل(رنگ آبی)، مشاهدات تایدگیج(رنگ قرمز)، مشاهدات کالیبره شده تایدگیج(رنگ ارغوانی)، اعمال ضرائب کالیبراسیون به مشاهدات تایدگیج



شکل ۳-۹: ایستگاه لنگه، مشاهدات تایدپل(رنگ آبی)، مشاهدات تایدگیج(رنگ قرمز)، مشاهدات کالیبره شده تایدگیج(رنگ ارغوانی)، اعمال ضرائب کالیبراسیون به مشاهدات تایدگیج



شکل ۳-۱۰: ایستگاه قشم، مشاهدات تاییدپل(رنگ آبی)، مشاهدات تاییدگیج(رنگ قرمز)، مشاهدات کالیبره شده تاییدگیج (رنگ ارغوانی)، اعمال ضرائب کالیبراسیون به مشاهدات تاییدگیج

#### ۴- بحث و نتایج

ایستگاههای تایید گیج باید به دقت کالیبره شوند و در صورت امکان با روش‌های وزن دهی به مشاهدات و همچنین با تلفیق چندین تایید گیج در کنار هم مشاهدات تایید گیج دارای دقت شوند. برای یکسان سازی ارتفاعی ایستگاههای تایید گیج نیز مشاهدات تایید گیج باید به شبکه محلی بنج مارک ها متصل و سپس به شبکه ملی ترازیابی ثابت شوند و سپس به شبکه جهانی متصل گردد که این عمل تکنیک مدرن ژئودتیکی می باشد. برای یکسان سازی ارتفاعی ایستگاههای تایید گیج یک امر ویژه و مهم می باشد.

در این مطالعه عمدۀ خطای موجود در ایجاد نویزهای قابل توجه مشاهدات بویه GPS خطای چند مسیری و جهش فاز می باشد. بدلیل موقعیت ساحلی استقرار بویه GPS و همچنین عدم وجود کلاهک برای رفع mirror شدن سیگنانل پس از برخورد با آب دریا و تجهیزات و وسائل اطراف می باشد.

با توجه به زمان اندازه قرات مشاهدات تاییدپل بدلیل هزینه بالای اکیپ عملیات کالیبراسیون بررسی مدل کالیبراسیون ارائه شده (رابطه (۱-۲)) میسر نمی باشد، در صورت وجود زمان بیشتری از مشاهدات با بررسی باقیمانده ها و آنالیز طیفی آن ها می توان مدل مورد نظر ارزیابی قرار داد.

#### مراجع

- [1] Anderssen, R. S and M. R Osborne. Least Square Methods in Data Analysis. St. Lucia, Qld,: University of Queensland Press, 1969.
- [2] Asher, Mr. Karan. "Fourier Series and Fourier Transform". IOSR Journal of Mathematics 4.6 (2013): 73-76.
- [3] Giordano, Arthur A and Frank M Hsu. Least Square Estimation with Applications to Digital Signal Processing. New York: Wiley, 1985.
- [4] JCOMM, Intergovernmental Oceanographic Commission. Manual on Sea Level Measurement and Interpretation. JCOMM, 2006.

- [5] BONNEFOND, P.; EXERTIER, P.; LAURAIN, O.; MENARD, Y.; ORSONI, A.; JAN, G., and JEANSOU, E., 2003. Absolute calibration of Jason 1-and TOPEX/Poseidon altimeters in Corsica. *Marine Geodesy*. 26(3–4), 261–284.
- [6] Kaplan, Ali. *Error Analysis of Hydrographic Positioning and the Application of Least Squares*. Ft. Belvoir: Defense Technical Information Center, 1980.
- [7] Kato, T.; Terada, Y.; Kinoshita, M.; Kakimoto, H.; Isshiki, H.; Moriguchi, T.; Takada, M.; TANNO, T.; KANZAKI, M., and JOHNSON, J., 2001. A new tsunami monitoring system using RTK-GPS. In: U.S. National Tsunami Hazard Mitigation Program Review and International Tsunami Symposium, 7–10 August 2001, Seattle, Washington.
- [8] Krishnan, Sunder Ram and Chandra Sekhar Seelamantula. "On The Selection of Optimum Savitzky-Golay Filters". *IEEE Transactions on Signal Processing* 61.2 (2013): 380-391.
- [9] MOORE, T.; ROBERTS, G.; VENEBOER, T.; PATTINSON, M.; CLOSE, G., and MOORE, R., 2002. New developments in river level monitoring using GPS heighting. In: ION GPS-02, 24–27 September 2002, Portland, Oregon. Fairfax, Virginia: Institute of Navigation.
- [10] JPress, William H. and Saul A. Teukolsky. "Savitzky-Golay Smoothing Filters". *Computers in Physics* 4.6 (1990): 669.
- [11] Rafajłsowicz, Ewaryst. Fourier series Expansions of Noisy Signals —Consistent Estimation of the Whole Spectrum. *Int. J. Adapt. Control Signal Process.* 3.1 (1989): 75-79.
- [12] Watson, Christopher, Richard Coleman, and Roger Handsworth. "Coastal Tide Gauge Calibration: A Case Study at Macquarie Island Using GPS Buoy Techniques". *Journal of Coastal Research* 244 (2008): 1071-1079