پيشنهادي جهت تهيه چارتهاي دقيق دريائي با استفاده از مختصات ۳-بعدي GPS و مشاهدات ارتفاع سنجي ماهواره‌اي

عليرضا آزموده اردلان*[۱] و مصطفي سهرابي اطهر[۲]

[۱]دانشيار گروه مهندسي نقشه‌برداري - قطب علمي نقشه‌برداري و مقابله با سوانح طبيعي پرديس دانشكده‌هاي فني - دانشگاه تهران

[۲]دانش آموخته كارشناسي ارشد مهندسي نقشه برداري- پرديس دانشكده‌هاى فنى - دانشگاه تهران

(تاريخ دريافت ۸۳/۳/۲ ، تاريخ دريافت روايت اصلاح شده ۸۵/۶/۶ ، تاريخ تصويب ۸۵/۷/۸)

چكيده

در اين مقاله روشي جديد براي تهيه چارتهاي دقيق دريائي بر اساس مشاهدات GPS و ارتفاع سنجي ماهواره‌اي ارائـه گرديـده اسـت. براي تعيين موقعيت ۳ بعدي دقيق روش تفاضلي دوگانه گيرنده-ماهواره مورد استفاده قرار گرفته است. با استفاده از اطلاعات ۱۰ ساله ماهواره ارتفاع سنجي تويكس-پوزايدون چارت ديتوم نقطه‌اي مطرح و با استفاده از مولفة ارتفاعي GPS (ارتفاع بيضوي) مستقيما عمقهاي اندازه‌گيري شده به عمق نسبت به چارت ديتوم نقطه‌اي تبديل گرديده‌اند. از دستاوردهاي اصلي اين تحقيق مي‌توان به (۱) حذف اثر امـواج لحظـه‌اي (۲) حذف اثر جزر و مد و (۳) تعيين چارت ديتوم در نقاط دور از ساحل اشاره نمود.

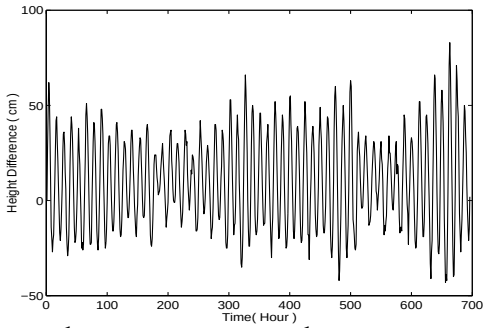
واژه‌هاي كليدي: چارت دريايي - تعيين موقعيت دقيق – GPS - ارتفاع سنجي ماهواره اي - چارت ديتوم

مقدمه

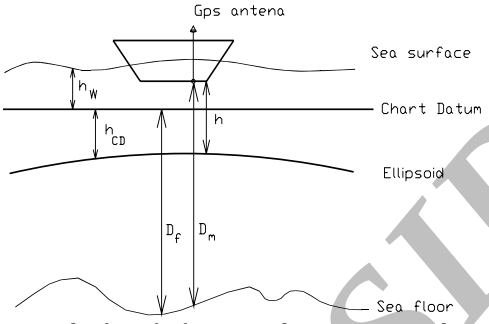
سيستمهاي ماهواره‌اي تعيين موقعيت جهاني GNSS (مانند GPS، GLONASS و GALILEO) به علت سرعت و دقت و نيز سادگي بكارگيري موجب تحولاتي عظيم در امر تعيين موقعيت و ناوبري گرديده‌اند. با وجود توانايي GPS در تعيين موقعيت سه بعدي، در هيدروگرافي تنها از مختصات مسطحاتي GPS استفاده مي‌شود. در اين مقاله نشان داده شده است كه بكارگيري مولفه ارتفاعي چگونه مي‌تواند موجب حذف اثرات جزر و مدي و امواج بر روي عمقهاي اندازه‌گيري شده گردد. به علاوه ايده جديد چارت ديتوم نقطه‌اي براي نخستين بار مطرح و بكار برده شده است.

يكي از مهمترين مراحل عمليات هيدروگرافي، تعيين چارت ديتوم و تبديل عمقهاي اندازه‌گيري شده به اين سطح مبنا مي‌باشد. چارت ديتوم، مبنائي است كه كليه عمقهاي اندازه‌گيري شده به آن تصحيح و در چارتهاي دريائي نمايش داده مي‌شوند. براي انتخاب چارت ديتوم بايستي نوسانات آب دريا در اثر جزر و مد و ساير عوامل مشخص گردد. در روشهاي كنوني هيدروگرافي از تايد گيجهاي نصب شده در سواحل براي اندازه‌گيري تغييرات جزر و مدي سطح آب دريا استفاده شده و نهايتاً چارت ديتوم بر مبناي پايين‌ترين سطح آب در محل نصب تايدگيج تعيين مي‌گردد [۶]. تصحيحات لازم براي تبديل عمقهاي اندازه-گيري شده به چارت ديتوم از تفاوت سطح لحظه‌اي آب دريا با چارت ديتوم محاسبه و اعمال مي‌گردد. در شكل (۱) نشان داده شده كه جزر و مد در دو نقطه به فاصله ۱۱ كيلومتر تا چه حد مي‌تواند متفاوت باشد. همانطور كه در شكل (۱) ملاحظه مي‌شود اختلاف دامنة جزر و مد در دو ايستگاه جزر و مدي دير و كنگان مي‌تواند به ۸۰ سانتيمتر برسد. چنين اختلافي در دامنه جزر و مد نقاط مي‌تواند بين تايدگيج نصب شده در ساحل و منطقه عمليات هيدروگرافي وجود داشته و موجب بروز خطاهاي قابل ملاحظه در تبديل عمقها به چارت ديتوم و نهايتاً كم شدن دقت چارتهاي دريائي حاصل گردد. همچنين در روش معمول هيدروگرافي امواج لحظه‌اي از منابع عمده خطا به شمار مي‌روند. در اين مقاله روشي پيشنهاد خواهد شد كه در آن علاوه بر حذف خطاهاي ذكر شده، مشكل تعيين چارت ديتوم در نقاط دور از ساحل نيز بر طرف خواهد شد. شكل (۲) نشان دهنده نحوه تبديل عمق اندازه‌گيري شده به عمق بر مبناي چارت ديتوم بر مبناي روش پيشنهادي است.

* نويسنده مسئول : تلفن : ۶۱۱۱۴۳۸۳ , فاكس : ۸۸۰۰۸۸۳۷ , Email: ardalan@ut.ac.ir



شكل ۱: اختلاف دامنه جزر و مد در دو ايستگاه جزر و مد سنج دير و كنگان در جولاي و اگوست ۹۹ .



شكل ۲: ارتباط بين عمق اندازه‌گيري شده با عمق نسبت به چارت ديتوم از طريق ارتفاع بيضوي ترانسديوسر حاصل از GPS و ارتفاع بيضوي چارت ديتوم حاصل از ارتفاع سنجي ماهواره‌اي.

با توجه به شكل (۲) داريم:

$$D_f = D_m - (h - h_{CD}) \quad (۱)$$

در رابطه (۱) D_m عمق اندازه‌گيري شده توسط اكوساندر، h ارتفاع بيضوي ترانسديوسر در لحظه عمق‌يابي با استفاده از GPS، h_{CD} ارتفاع بيضوي چارت ديتوم نقطه‌اي حاصل از ارتفاع سنجي ماهواره‌اي، h_w ارتفاع لحظه‌اي سطح آب از چارت ديتوم (تصحيحات لازم براي تبديل عمقهاي لحظه-اي به چارت ديتوم)، D_f عمق نهايي نسبت به چارت ديتوم مي‌باشد. فلوچارت (۱) بيانگر مراحل مختلف تبديل عمقهاي اندازه‌گيري شده به عمق نسبت به چارت ديتوم به روش پيشنهادي مي‌باشد.

تعيين موقعيت دقيق با GPS

از آنجايي كه دقت عمقهاي تبديل شده به چارت ديتوم طبق استانداردهاي IHO[1] بايستي بهتر از ۳۰ سانتيمتر باشد. بنابراين استفاده از روش پيشنهادي نيازمند تعيين موقعيت ارتفاعي كشتي با دقتي بهتر از دقت لازم براي تهيه چارت (يعني ۳۰ سانتيمتر) مي‌باشد. چنين دقتي فقط از طريق مشاهدات تفاضلي دو گانه فاز موج حامل قابل دستيابي است. در اين روش از مشاهدات همزمان دو گيرنده به دو ماهواره براي تعيين موقعيت استفاده مي‌گردد به اين صورت كه مختصات يكي از گيرنده‌ها معلوم فرض شده و با استفاده از معادله ذيل موسوم به معادله تفاضل دو گانه فاز موج حامل، مختصات نقطه مجهول محاسبه مي‌گردد [۲].

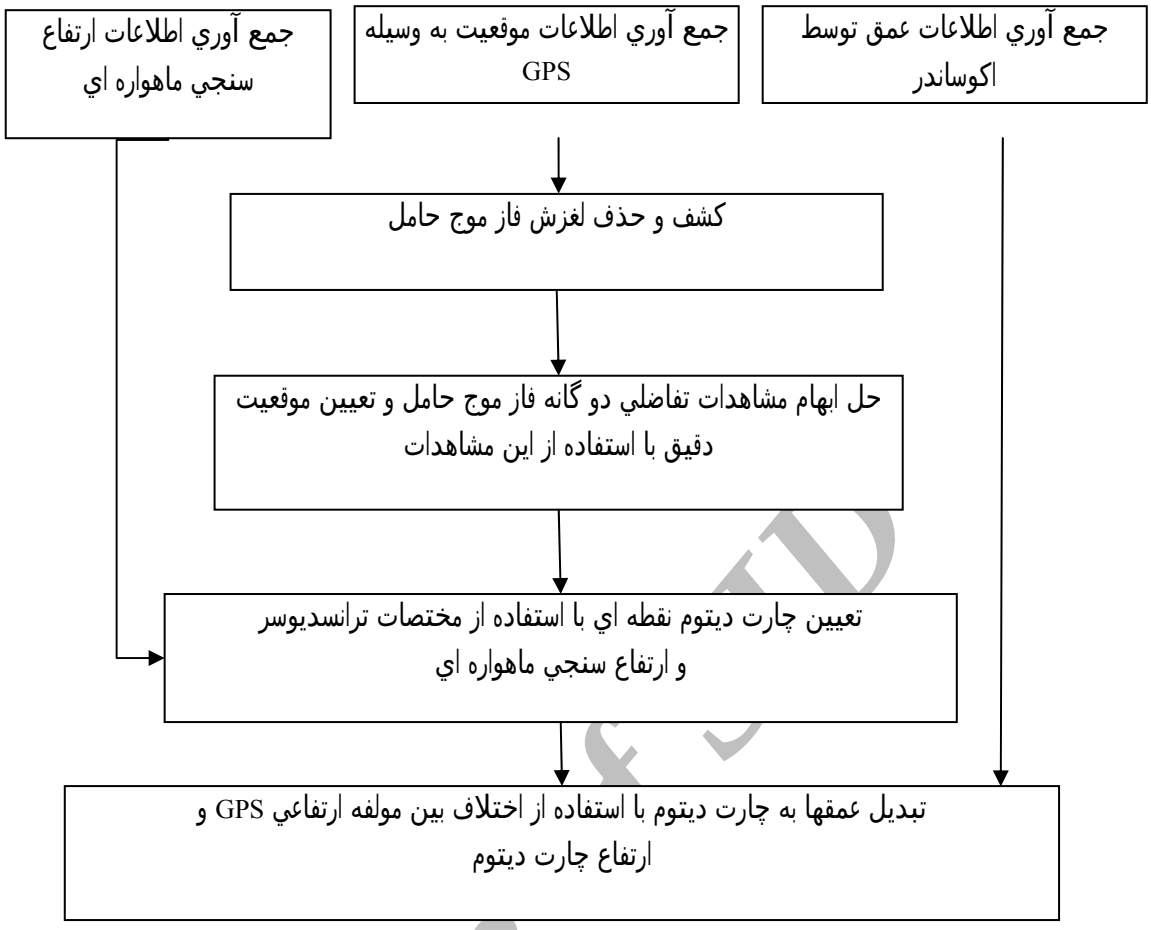
$$\nabla\Delta\Phi = \nabla\Delta\rho + \nabla\Delta d\rho + \lambda\nabla\Delta N + \nabla\Delta d_{trop} - \nabla\Delta d_{ion} + \varepsilon_{\Phi} \quad (۲)$$

براي تعيين موقعيت درست با استفاده از مشاهدات فاز بايستي لغزش فاز اين مشاهدات به درستي كشف و حذف گردد. براي اين منظور از تركيب مشاهدات شبه فاصله كد C/A و مشاهدات فاز موج حامل براي كشف و حذف لغزش فازهاي بيشتر از ۳ سيكل استفاده شده است و براي كشف و حذف لغزش فازهاي كمتر از ۳ سيكل از تركيب مشاهدات فاز موج حامل L_1 و L_2 استفاده شده است [۲].

تعيين موقعيت دقيق در فواصل كوتاه

در صورتيكه فاصله دو گيرنده در حدي باشد كه بتوان تاثير خطاهاي تروپسفر و يونسفر و خطاي مدار ماهواره را در دو ايستگاه برابر فرض نمود، با صرفنظر كردن از اين خطاهاي، معادله (۲) به فرم ذيل تبديل خواهد شد [۲]:

$$\nabla\Delta\Phi = \nabla\Delta\rho + \lambda\cdot\nabla\Delta N + \varepsilon \quad (۳)$$



فلوچارت ۱ : مراحل مختلف تبديل عمقهاي اندازه‌گيري به عمق نسبت به چارت ديتوم نقطه‌اي از طريق مشاهدات GPS و ارتفاع‌سنجي ماهواره‌اي به روش پيشنهادي.

پس از خطي سازي معادله (۳) خواهيم داشت [۷, ۳]:

$$y = A.a + B.b + e \qquad (۴)$$

در رابطه فوق y اختلاف بردار تفاضلي دوگانه مشاهداتي از محاسباتي در فضاي $\mathbb{R}^m$ ، a بردار ابهامهاي صحيح تفاضلي دوگانه در فضاي $\mathbb{Z}^n$ ، b برداري است كه شامل مختصات گيرنده (Rover) با ابعاد p (بعد b در روش استاتيک ۳ و در روش كينماتيک بيشتر از ۳ مي‌باشد)، A ماتريس طراحي مجهولات ابهام فاز با ابعاد $m \times n$ ، B ماتريس طراحي مجهولات مختصات به ابعاد $m \times p$ و e بردار ناسازگاري مدل مي‌باشد.

جوابهاي معادله (۴) از طريق حل كمترين مربعات و با شرط صحيح بودن مقادير $\nabla\Delta N$ بدست مي‌آيد. به اين روش يافتن جواب، كه از حل مسئله زير بدست مي‌آيد روش كمترين مربعات صحيح[۲] مي‌گويند [۳].

$$\min_{a,b} \|y - A.a - B.b\|^2_{Q_y} \quad a \in Z^n, b \in R^p \qquad (۵)$$

در معادله فوق Q_y ماتريس واريانس و كوواريانس مشاهدات فاز مي‌باشد. از آنجايي كه حل مسئله فوق مشكل مي‌باشد عملاً اين مسئله را در سه مرحله زير حل مي‌نمايند.

مرحله اول: صرفنظر از صحيح بودن مقادير ابهام فاز، با استفاده از روش كمترين مربعات، مقادير حقيقي مجهولات ابهام $\hat{a}$ و مجهولات مختصات $\hat{b}$ و ماتريس واريانس - كوواريانس آنها $Q_{\hat{a}}$ را برآورد مي‌شود. در اين حالت، جواب از حل مسئله بهينه يابي ذيل بدست مي‌آيد [۵, ۳]:

$$\min_{a,b} \|y - A.a - B.b\|^2_{Q_y} \quad a \in \mathbb{R}^n \ , \ b \in \mathbb{R}^p \qquad (۶)$$

مرحله دوم: در اين مرحله پس از محاسبه ابهامهاي حقيقي، مقادير صحيح ابهام به گونه اي‌تعيين مي‌گردد كه شرط زير برقرار شود [۹, ۴]:

$$\min_{a}\|\hat{a}-a\|_{Q_{\hat{a}}}=\min_{a}(\hat{a}-a)Q_{\hat{a}}^{-1}(\hat{a}-a),a\in\mathbb{Z}^{n}$$

(۷)

در رابطه فوق a بردار ابهام صحيح واقعي است. در اين مقاله از روش LAMBDA[3] براي برآورد مجهولات ابهامهاي صحيح a استفاده شده است [۸].

مرحله سوم: در اين مرحله با استفاده از ابهامهاي صحيح برآورد شده a، مختصات نهايي b و ماتريس واريانس – كوواريانس آنها با استفاده از رابطه زير محاسبه مي‌گردند [۳].

$$b=\hat{b}-Q_{\hat{b}\hat{a}}Q_{\hat{a}}^{-1}(\hat{a}-a)$$

(۸)

$$Q_{b}=Q_{\hat{b}|a}=Q_{\hat{b}}-Q_{\hat{b}\hat{a}}Q_{\hat{a}}^{-1}Q_{\hat{a}\hat{b}}$$

(۹)

براي بررسي دقت روش در حالت OTF[4] از مشاهدات فاز موج حامل L_1 ۷ ماهواره در ۲۹ اپک با فاصله زماني ۳۰ ثانيه كه به روش استاتيک جمع آوري شده استفاده شده است. نتايج حاصل نشان دهنده دقت ۵ ميليمتر براي عرض جغرافيايي و ۸ ميليمتر براي طول جغرافيايي و ۱۴ ميليمتر براي مولفه ارتفاعي مي‌باشد. در مثال فوق فاصله دو گيرنده ۴۳۸۲ متر است.

تعيين موقعيت در فواصل بلند

هنگامي كه فاصله دو گيرنده زياد است نمي‌توان اثر خطاهاي تروپسفر و يونسفر را در دو ايستگاه برابر فرض كرد و بايد به نحوي اين خطاها مدلسازي شوند. بيشترين خطاي موجود در مشاهدات GPS ناشي از خطاي يونسفر مي‌باشد. به همين علت با استفاده از موج عاري از اين خطا (موج L_3) اثر اين خطا را حذف كرده و خطاي تروپسفر را با استفاده از مدل Hopfield مدلسازي مي‌كنيم. براي حذف خطاي مدار ماهواره از اطلاعات مداري دقيق استفاده شده است. معادله مشاهده موج عاري از خطاي يونسفر در روش تفاضلي دو گانه وقتي اثر خطاهاي مداري و تروپسفر حذف شده باشند به صورت زير خواهد بود [۲]:

$$\nabla\Delta\left[\frac{f_1\phi_1-f_2\phi_2}{f_1^2-f_2^2}\right]=\frac{\nabla\Delta\rho}{C}+\nabla\Delta N_{ion}+\varepsilon$$

(۱۰)

ترم $N_{ion}=f_1N_1-f_2N_2/f_1^2-f_2^2$ در معادله فوق ابهام فاز مشاهدات تفاضلي دو گانه يک عدد حقيقي بوده و ماهيت صحيح بودن خود را از دست داده است. از حل معادله (۱۰) مستقيماً مختصات گيرنده Rover محاسبه مي‌گردد.

پس از پردازش مشاهدات دو گيرنده به فاصله تقريبي ۳۹ كيلومتر، در ۹۳۰ اپک با فواصل زماني ۵ ثانيه، به روش OTF دقت ۱۴ ميليمتر براي عرض جغرافيايي و ۱۲ ميليمتر براي طول جغرافيايي و ۳۳ ميليمتر براي مولفه ارتفاعي بدست آمد.

تعيين چارت ديتوم نقطه اي با استفاده از ارتفاع سنجي ماهواره اي

يكي از مهمترين مراحل عمليات هيدروگرافي، تعيين چارت ديتوم و تبديل عمقهاي اندازه‌گيري شده نسبت به اين سطح مبنا مي‌باشد. در واقع چارت ديتوم، مبنائي است كه كليه عمقهاي اندازه‌گيري شده به آن مبنا تصحيح و در چارتهاي دريائي نمايش داده مي‌شوند. براي انتخاب چنين سطحي بايستي نوسان آب دريا در اثر جزر و مد و ساير عوامل در منطقه مورد نظر مشخص گردد. در روشهاي رايج هيدروگرافي پس از آناليز هارمونيک اطلاعات ايستگاههاي جزر و مدي نصب شده در سواحل، دامنه مولفه هاي اصلي جزر و مد را محاسبه مي‌كنند و در نهايت بسته به رفتار جزر و مد (روزانه و نيم روزانه) در منطقه از روابط رياضي مختلفي نظير رابطه (۱۱) ارتفاع چارت ديتوم را نسبت به صفر تايدگيج ساحلي محاسبه مي‌كنند [۶].

$$h_{CD}=a_0-1.1(A_{m_2}+A_{s_2}+A_{k_1}+A_{o_1})$$

(۱۱)

اما همانگونه كه در شكل (۱) نشان داده شد دامنه جزر و مد در نقاط مختلف با هم متفاوت بوده پس استفاده از چارت ديتوم تعيين شده در ساحل براي منطقه عملياتي كه مي‌تواند دهها كيلومتر دور از ساحل قرار داشته باشد معيار صحيحي نبوده و عمقهاي نمايش داده شده در چارت عمق واقعي آب نخواهد بود. براي حل مشكل فوق در اين مقاله روش جديدي براي تعيين چارت ديتوم در نقطه عمق يابي (چارت ديتوم نقطه اي) با استفاده از اطلاعات ارتفاع سنجي ماهواره اي مطرح و به صورت زير ارائه شده است.

ماهواره هاي ارتفاع سنجي اطلاعات ارتفاعي مفيدي از نقاط مختلف سطح زمين در اختيار ما قرار مي‌دهند. يكي از اين ماهواره ها، ماهواره ارتفاع سنجي توپكس پوزايدون مي-باشد. اين ماهواره در مدارات تعريف شده و در فواصل زماني

تقريباً ثابتي عبور كرده و با دقت ۲ تا ۳ سانتيمتر ارتفاع سطح لحظه‌اي دريا را نسبت به بيضوي مقايسه اندازه‌گيري مي‌كند [۱۰]. يكي از كاربردهاي پيشنهادي در اين مقاله استفاده از داده هاي ارتفاع سنجي در تعيين چارت ديتوم نقطه اي است در اين روش براي تعيين چارت ديتوم در منطقه خليج فارس و درياي عمان تغييرات سطح آب دريا به صورت ذيل مدلسازي مي‌گردند [۱].

$$h(\varphi,\lambda,t) = U_0(\varphi,\lambda) + \sum_{i=1}^{n}\left\{U_i(\varphi,\lambda).\cos(2\pi f_i t) + V_i(\varphi,\lambda).\sin(2\pi f_i t)\right\} \quad (۱۲)$$

در رابطه (۱۲) $h(\varphi,\lambda,t)$ ارتفاع سطح آب از بيضوي مرجع در موقعيت (φ,λ) و در زمان t ، n تعداد مولفه هاي جزر ومدي، f_i ها فركانس مولفه هاي استفاده شده، و $U_i(\varphi,\lambda), V_i(\varphi,\lambda), U_0(\varphi,\lambda)$ به صورت چند جمله اي چهار پارامتري Bi-Linear به شكل زير تشكيل مي‌شوند [۱]:

$$\begin{aligned} U_0(\varphi,\lambda) &= a_0^0 + a_1^0\varphi + a_2^0\lambda + a_3^0\varphi\lambda \\ U_i(\varphi,\lambda) &= a_0^i + a_1^i\varphi + a_2^i\lambda + a_3^i\varphi\lambda \quad (i=1,2,...,n) \\ V_i(\varphi,\lambda) &= b_0^i + b_1^i\varphi + b_2^i\lambda + b_3^i\varphi\lambda \end{aligned} \quad (۱۳)$$

در رابطه (۱۳)، a_k^0, a_k^i, b_k^i ضرايب مجهول مدل مي‌باشد.

براي تشكيل بردار مشاهدات از تمام داده هاي ۱۰ ساله جمع آوري شده توسط ماهواره در منطقه خليج فارس و درياي عمان استفاده شده است. پس از محاسبه مجهولات مدل، چارت ديتوم در موقعيت (φ,λ) از رابطه زير محاسبه گرديده است [۱]:

$$h_{CD}(\varphi,\lambda) = U_0(\varphi,\lambda) - \left[\sum_{i=1}^{4}\sqrt{U_i(\varphi,\lambda)^2 + V_i(\varphi,\lambda)^2}\right] \quad (۱۴)$$

در رابطه (۱۴)، $U_0(\varphi,\lambda)$ سطح متوسط آب دريا در موقعيت ياد شده، $U_i(\varphi,\lambda), V_i(\varphi,\lambda)$ ضرايب محاسبه شده از روابط (۱۲) و (۱۳) براي مولفه هاي نيم روزانه ماه و خورشيد و مولفه روزانه ماه و روزانه ماه-خورشيد و $h_{CD}(\varphi,\lambda)$ ارتفاع چارت ديتوم نسبت به بيضوي مبنا مي‌باشد. مدل جزرومدي مورد استفاده در اين مقاله حاصل محاسبات اردلان و هاشمي بوده كه جزئيات محاسبات آن در مقالة [۱] آورده شده است. جهت حصول دقتهاي بالاتر در مدل جزر و مدي مي‌توان از تلفيق داده‌هاي ايستگاههاي جزر و مدي سواحل و اطلاعات ارتفاع سنجي ماهواره‌هاي ديگر نظير ERS و JASON استفاده كرد.

نمونه‌اي از چارت تهيه شده به روش ذكر شده

با استفاده از مشاهدات ۸ لاين جمع آوري شده به وسيله كشتي هيدروگرافي سازمان نقشه‌برداري كشور، روش پيشنهادي مورد تست قرار گرفت و چارت مشخص شده در شكل (۳) تهيه گرديده است. اين چارت كه در مربوط به خليج‌فارس مي‌باشد، شمالي‌ترين قسمت آن با سواحل بوشهر داراي ۱۵ كيلومتر فاصله مي‌باشد. همچنين شكل (۴) نشان دهنده چارت تهيه شده به روش هيدروگرافي كلاسيک مي‌باشد. اختلاف اين دو چارت در شكل (۵) نشان داده شده است. همانگونه كه ملاحظه مي-گردد اين اختلاف در منطقة تست به ۶۰ سانتيمتر نيز رسيده است كه با توجه به استاندارد IHO در خصوص دقت مورد نياز (۳۰ سانتيمتر) غير قابل اغماض است. لذا، اين مثال نشان مي‌دهد كه در يک پروژة هيدروگرافي با فاصلة متوسط ۲۰ كيلومتر از ساحل، اختلاف بين روش كلاسيک و روش ارائه شده در اين مقاله مي‌تواند تا چه اندازه مي‌تواند قابل ملاحظه گردد. با توجه به دقت مشاهدات GPS و ارتفاع سنجي ماهواره‌اي اختلاف موجود عمدتاً بخاطر اثرات جزر و مدي و امواج لحظه‌اي حذف نشده به روش كلاسيک بوده و نشان دهندة اهميت بكارگيري روش ارائه شده در تصحيح مشاهدات به مبناي چارت مي‌باشد.

نتيجه‌گيري

۱- با بكارگيري مختصات دقيق ۳ بعدي ترنسديوسر در لحظه عمق يابي، مي‌توان مستقيماً عمقهاي اندازه‌گيري شده را به عمق روي چارت ديتوم تبديل نمود و نيز با استفاده از مولفه ارتفاعي GPS ، نيازي به انجام مشاهدات همزمان جزر و مدي در ساحل نمي‌باشد.

۲- با مقايسه دامنه جزر و مد در ايستگاههاي مختلف جزر و مدي با فاصله ۱۱ كيلومتر ملاحظه شد كه اختلاف همزمان دامنه جزر و مد حتي در فواصل نزديک مي‌تواند به ۸۰ سانتيمتر برسد. در نتيجه استفاده از داده هاي جزر و مدي سواحل براي تبديل عمقهاي اندازه‌گيري شده به چارت ديتوم مناسب نبوده و مي‌تواند خطاي قابل ملاحظه اي را در چارتهاي دريائي ايجاد كند.

۳- با استفاده از مولفه ارتفاعي GPS در عمليات

هیدروگرافي خطاهاي ناشي از امواج لحظه اي و تغییرات آبخور[0] کشتي در لحظه عمق یابي قابل حذف مي‌باشد.

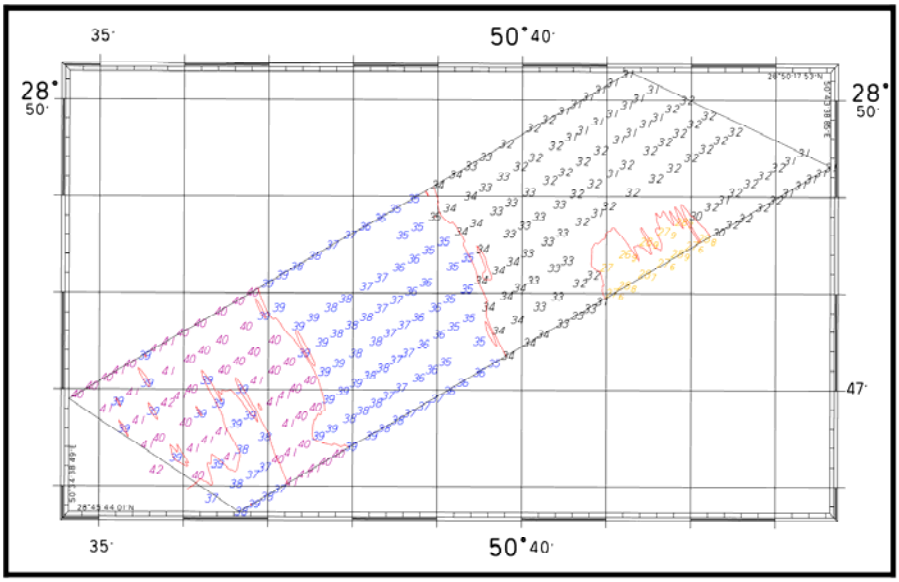
۴- استفاده از تلفیق اطلاعات ایستگاههاي جزر و مدي و اطلاعات ارتفاع سنجي ماهواره‌هاي مختلف و ایجاد یک مدل دقیق براي تعریف چارت دیتوم، نیاز به مشاهدات جزر و مدي در عملیات هیدروگرافي را به طور کامل حذف مي-کند.

پیشنهادات

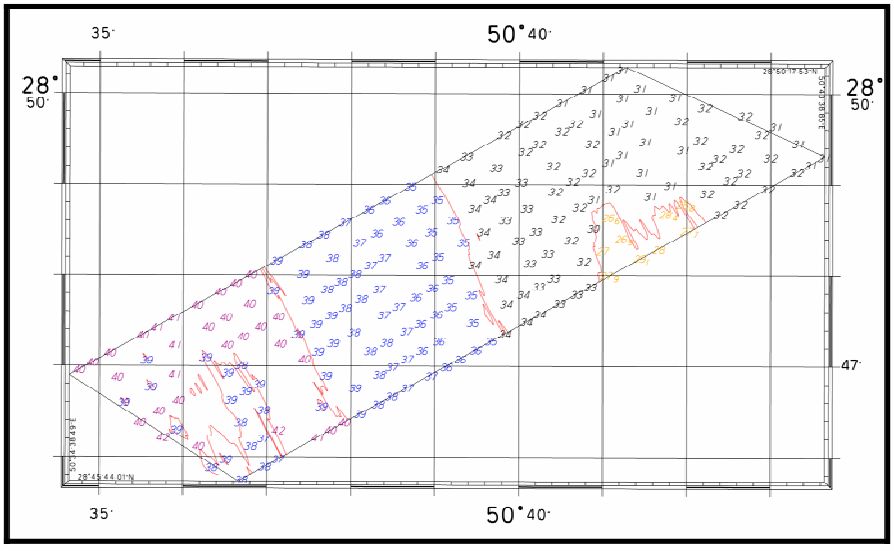
۱- براي افزایش دقت چارتهاي دریائي، مولفه ارتفاعي GPS در عملیات هیدروگرافي مورد استفاده قرار گیرد.

۲- با طراحي یک شبکه GPS در سواحل کشور و اتصال آنها به ایستگاههاي جزر و مدي، امکان دستیابي به مختصات دقیق در عملیات هیدروگرافي فراهم آید.

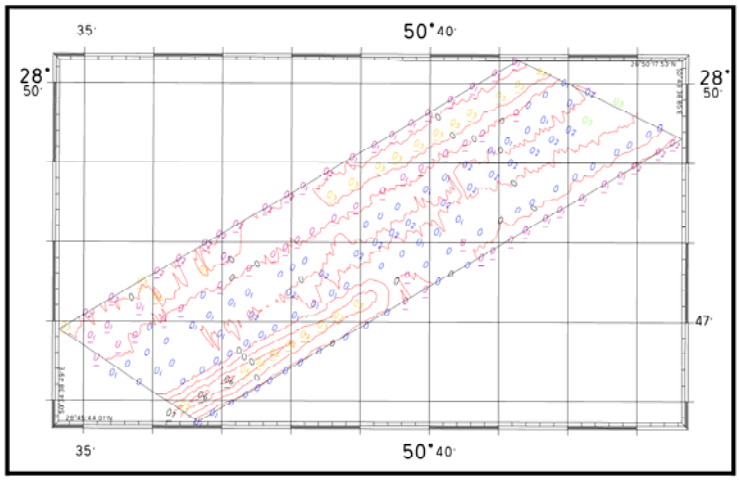
۳- تلفیق اطلاعات ایستگاههاي جزر و مدي سواحل و اطلاعات ارتفاع سنجي ماهواره هایي نظیر ERS و JASON1 به منظور دستیابي به مدل دقیقتري براي تعیین چارت دیتوم نقطه اي.



شکل ۳: چارت تهیه شده به روش پیشنهادي در مقاله (اعداد به متر).



شکل ۴: چارت تهیه شده به روش متداول (اعداد به متر).



شکل ۵: اختلاف بین عمقها به روش ارائه شده در مقاله و روش متداول بر حسب متر (فرمت اعداد طبق استاندارد IHO).

مراجع

1- Ardalan AA, and Hashemi H (2007) A new global ocean tide analysis and computation of Mean Sea Level model based on orthonormal base functions using 11 years of Topex/Poseidon satellite altimetry observations. Journal of Faculty of Engineering, (in Persian).

2 - Hafmann, Wellenhof, B., Lichtenegger, H., and Collins J. (1992). *Global positioning system theory and practice*. Springer Verlag Wien.

3 - Teunissen, P. J. G. (1995). "The least-squares ambiguity decorrelation adjustment: A method for fast GPS integer ambiguity estimation." *Journal of Geodesy,* Vol.70, No. 1-2, PP. 65-82.

4 - Teunissen, P. J. G., de Jonge, P. J., and Tiberius, C. C. J. M. (1994). *On the spectrum of the GPS DD-Ambiguities. Proceedings of ION GPS-94, 7th International Technical Meeting of the Satellite Division of the Institute of Navigation*, Salt Lake City, UT, September 20-23, PP. 115-124.

5 - Jonge, P. and Tiberius, C. (1996). *The LAMBDA method for integer ambiguity estimation: implementation* aspects. http://www.geo.tudelft.nl/mgp/lambda/lila.html.

6 - *The Hydrographer of the navy. Admiralty manual of Hydrographic surveying*, Volume 2, Chapter 2, Tide and Tidal Stream. Crown, 1969.

7 - Golub, G. H. and van Loan, C. F. (1989). *Matrix computations*. Second edition. The Johns Hopkins University Press, Baltimore, Maryland, USA.

8 - Teunissen, P. J. G. (1993). *Least-squares estimation of the integer GPS ambiguities. Invited paper, Section IV Theory and Methodology, IAG General Meeting, Beijing*, China, August, also in Delft Geodetic computing Centre LGR Series, No. 6, PP.16.

9 - Teunissen, P. J. G., de Jonge, P. J. and Tiberius, C. C. J. M. *The Volume of the GPS Ambiguity Search Space and its Relevance for Integer Ambiguity Resolution. Paper to be presented at ION GPS-96*, 9th International Technical Meeting of the Satellite Division of the Institute of Navigation, Kansas City, Missouri, Sept. 17-20.

10 - DAAC, P. O. (1993). *"PO.DAAC Merged Geophysical Data Record Users Handbook*" JPL D-11007, November 1996.

واژه‌هاي انگليسي به ترتيب استفاده در متن

1 - International Hydrography Organization (IHO)
2 - Integer Least Square
3 - Least-squares Ambiguity Decorrelation Adjustment (LAMBDA)
4 - On The Fly (OTF)
5 - Draught