نشریه علمی- ترویجی مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی ، دوره هفتم ، شماره ۲ ، خرداد ماه ۱۳۹۵

کاهش اثرات غیر جزر و مدی با استفاده از آنالیز اختلاف ارتفاع نقاط همجوار مشاهدات ارتفاع‌سنجی ماهواره‌ای در منطقه خلیج فارس

ایرج جزیرئیان*[1]، عادل شریفی[2]

[1]دانشجوی دکتری ژئودزی - دانشکده مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی - پردیس دانشکده‌های فنی - دانشگاه تهران
[1]مربی دانشکده مهندسی نقشه‌برداری - دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
jazirian@kntu.ac.ir

[2]دانشجوی کارشناسی ارشد سنجش از دور - گروه مهندسی نقشه‌برداری - دانشکده مهندسی عمران - دانشگاه شهید رجایی
sharifi.lonar@yahoo.com

(تاریخ دریافت بهمن ۱۳۹۴، تاریخ تصویب بهمن ۱۳۹۴)

چکیده

با توجه به تصحیحات اعمال شده بر روی اندازه گیری های ارتفاع سطح دریاها حاصل از ارتفاع سنجی ماهواره‌ای هنوز هم یک سری اثرات غیر جزر و مدی بر روی این اطلاعات وجود دارد. می‌توان با استفاده از عبور سریع ماهواره‌های ارتفاع سنجی از دو نقطه هم جوار متوالی در یک گذر (که در زیر یک ثانیه فاصله اثر رد پای زمینی آن به طول ۶ کیلومتر می‌باشد) از اختلاف ارتفاع مشاهدات آن‌ها جهت حذف اثرات غیر جزر و مدی استفاده نمود. در این تحقیق یک روش نسبی برای بکارگیری آنالیز هارمونیک جزر و مد در طول یک گذر ازماهواره‌های ارتفاع سنجی جیسون و توپکس[1] که داده های سطح آب را در خلیج فارس پوشش می دهد ارائه شده است. آنالیز های جزر و مدی بر روی نقاط هم جوار و مقایسه اختلاف ارتفاع های مشاهده شده آن‌ها برای مقایسه آنالیز هارمونیک جزر و مد در طول مسیر و تعیین ثابت های هارمونیک استفاده گردیده است که نشان می‌دهد الگوریتم می تواند به طور کار آمدی تاثیرات غیر جزرو مدی را در مشاهدات ارتفاع سنجی از بین ببرد و دقت پارامتر های جزرو مد را افزایش دهد.

واژگان کلیدی: ارتفاع سنج ماهواره‌ای، توپکس و جیسون ۱، آنالیز هارمونیک، جزر و مد، نقاط هم جوار

---

* نویسنده رابط

۱ TOPEX,JASON

۱- مقدمه

ارتفاع سنجی ماهواره‌ای یکی از روش‌های اندازه گیری ارتفاع لحظه‌ای سطح اب دریاها و اقیانوس‌ها می‌باشد که توسط آن مدلسازی جزر و مد و تعیین سطح متوسط دریا و ژئویید در دریاها را با دقت بالایی امکان پذیر نموده است. ماهواره‌های آلتیمتری با تکرار اندازه گیری ارتفاع نقاط سطح دریا در طول یک گذر می‌توانند تغییرات ارتفاع آب را با دقت بالایی تعیین کنند. مشاهدات ارتفاع سنجی ماهواره‌ای را می‌توان به وسیله آنالیز هارمونیک پردازش و مولفه های جزر و مدی را از آن‌ها بدست آورد. هدف اصلی در آنالیز جزر و مدی ایجاد آن دسته از پارامترهای وابسته زمانی است که رژیم جزر و مدی را در محل مورد مشاهده توصیف کند.

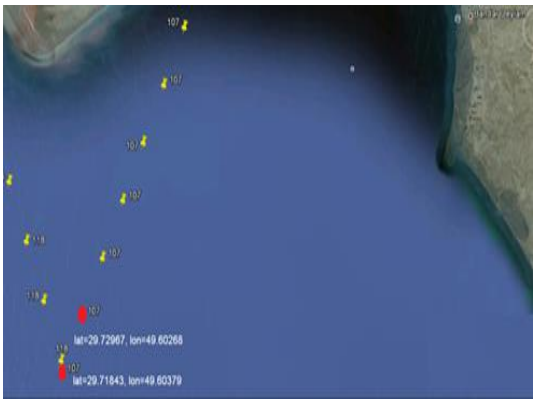
در این تحقیق داده های ماهواره های آلتیمتری TOPEX , JACON-1 در بیش از ۱۶ سال جمع آوری شده است که می‌توان به وسیله آن‌ها مدل‌های جزر و مدی و مولفه‌های جزر و مدی در طول مسیر گذر را برآورد نمود.

نتایج منتشر شده نشان می دهد که پارامترهای دقیق جزرومد را می‌توان به وسیله تحلیل هارمونیک آن‌ها در طول مسیر، نه تنها در عمق اقیانوس‌ها بلکه در دریاهای کم عمق نیز بدست آورد. برای نقاط تقاطع گذرهای ماهواره، داده‌های دوبل و قانون نمونه برداری پیشرفته می‌تواند تخمین دقیق تری از پارامترهای جزر ومدی را بدست آورد.

اصول آنالیز جزر و مدی شامل برازش مدل جزر و مدی بر روی مشاهدات ارتفاع سطح اب دریا بر اساس قوانین کمترین مربعات و تخمین پارامترهای جزر و مدی است.

مقدار خطای برازش مدل جزر و مد بر روی مشاهدات منعکس کننده توزیع اثرات غیر جزر و مدی (شامل خطای مداری و تصحیحات شرایط جوی و ...) است که روی دقت و اطمینان پارامتر های براورد شده تاثیر می‌گذارد.

گذر و نقاط مورد مطالعه در این تحقیق را در شکل۱ قابل مشاهده است. نقاط در این تصویر با رنگ قرمز مشخص شده اند.



شکل ۱- گذر ۱۰۷ از ماهواره جیسون۱ و توپکس و نقاط مجاور مورد مطالعه قابل مشاهده به رنگ قرمز

۲- آنالیز هارمونیک

در این آنالیز به جای استفاده از توابع پایه سینوسی از توابع پایه کروی یا همان هارمونیک‌ها استفاده شده است. در این روش مدل ارتفاع لحظه‌ای سطح آب در نقطه‌ای واقع در طول و عرض جغرافیایی (λ,φ) و در زمان t بصورت زیر در نظر گرفته می شود.

$$h(\lambda,\varphi,t) = U_0(\lambda,\varphi) + \sum_{k=1}^{N}\{U_k(\lambda,\varphi)\cos(\omega_k t) + V_k(\lambda,\varphi)\sin(\omega_k t)\} \quad (۱)$$

در این رابطه عدد صحیح N بیانگر تعداد مولفه ها،ω_k فرکانس مولفه k ام،$h(\lambda,\varphi,t)$ ارتفاع لحظه‌ای سطح آب می باشد.

توابع $V_k(\lambda,\varphi)$ و$U_k(\lambda,\varphi)$ به ترتیب ضرایب سینوسی و کسینوسی مدل می باشند و $U_0(\lambda,\varphi)$ نیز ارتفاع سطح متوسط آب به علاوه مولفه دائمی جزر ومد می باشد. ضرایب $V_k(\lambda,\varphi)$، $U_k(\lambda,\varphi)$ و$U_0(\lambda,\varphi)$ مجهولات مدل می‌باشند.

پس از محاسبه مجهولات مدل سطح متوسط آب نسبت به بیضوی مرجع به صورت زیر ارائه می شود.

$$MSL(\lambda,\varphi) = U_0(\lambda,\varphi) \quad (۲)$$

همچنین می توان مدل دامنه و فاز مولفه k ام جزر و مد را به ترتیب زیر ارائه نمود.

$$A_k(\lambda,\varphi) = \sqrt{U_k(\lambda,\varphi)^2 + V_k(\lambda,\varphi)^2} \quad (۳)$$

$$\psi_k(\lambda,\varphi) = 2\tan^{-1}\left(\frac{U_k(\lambda,\varphi)}{A_k(\lambda,\varphi)+V_k(\lambda,\varphi)}\right) \qquad (۴)$$

استفاده نمودن از آنالیز هارمونیک‌های کروی جهت مدل سازی جزرومد و برای ارائه مدل‌های جهانی دقیق تر از مدل‌های محلی خواهد بود.

۳- معادلات تحلیل جزر ومد هارمونیک در طول مسیر و حالت دیفرانسیلی

۳-۱- محاسبه ارتفاع جزر ومدی در یک نقطه معلوم

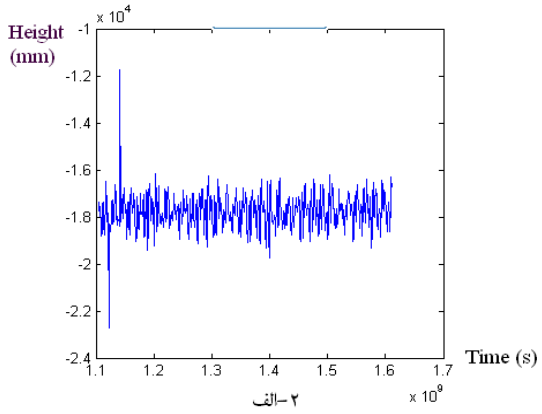
ارتفاع جزر ومد در یک نقطه معلوم بدین صورت نوشته می شود.

$$\begin{aligned} h(t) = \bar{h} + \sum_{i=1}^{m} f_i H_i \cos[X_i(t) + u_i - g_i] + \Delta \\ = \bar{h} \\ + \sum_{i=1}^{m} f_i \cos[X_i(t) + u_i] U_i \\ + \sum_{i=1}^{m} f_i \sin[X_i(t) + u_i] V_i \\ + \Delta \end{aligned} \qquad (۵)$$

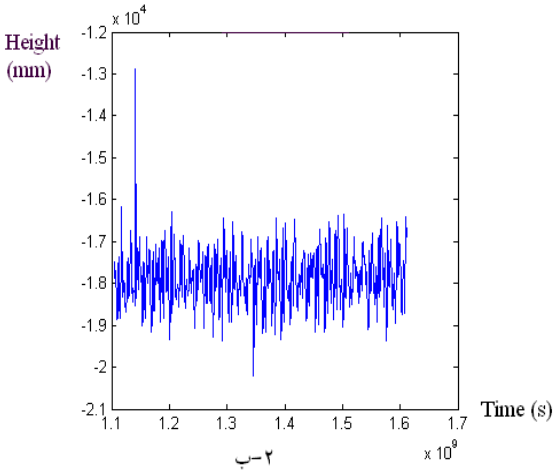
که t در آن زمان نقشه برداری، h ارتفاع مشاهده شده سطح دریا، $\bar{h}$ سطح متوسط دریا، f_i و u_i فاکتورهای نودال،X_i فاز سازنده، m شمارنده، H_i و G_i ثابت‌های هارمونیک هستند ، U_i و V_i در قسمت درون فاز و قسمت ربع ثابت‌ها می‌باشد و Δ کل خطاهای مشاهدات اعم از تاثیرات غیر جزر و مدی و توزیع اجزاء کوچکی که در معادله (۱) لحاظ نشده، می‌باشد. وقتی که مولفه‌های معادله (۵) می‌تواند مولفه‌های جزر و مد در سطح دریا را بیان کند ، سطح آب غیر جزر و مدی مولفه اصلیΔ خواهد بود.

مشاهدات ارتفاع سطح دریا برای یک نقطه در طی چندین سال متوالی تشکیل یک سری زمانی می‌دهد. شکل۲ سری زمانی نقاط مجاور مورد مطالعه که معرف ارتفاع سطح دریا نسبت به بیضوی توپکس بر حسب زمان از سال ۱۹۹۳ تا ابتدای سال ۲۰۰۹ طی ۱۶ سال می‌باشد را نمایش می‌دهد.

کاهش اثرات غیر جزر و مدی با استفاده از آنالیز اختلاف ارتفاع نقاط تعداد n دوره از ارتفاع سطح دریا معادلات مشاهدات را تشکیل می‌دهد. بنابراین ، پارامترهای جزر ومد می تواند به وسیله روش کمترین مربعات تخمین زده شود.



شکل ۲- الف)سری زمانی مربوط به نقطه ۳۳طی۱۶ سال



شکل ۲- ب)سری زمانی مربوط به نقطه ۳۲طی۱۶ سال

۳-۲- محاسبه ارتفاع جزر ومدی درحالت دیفرانسیلی

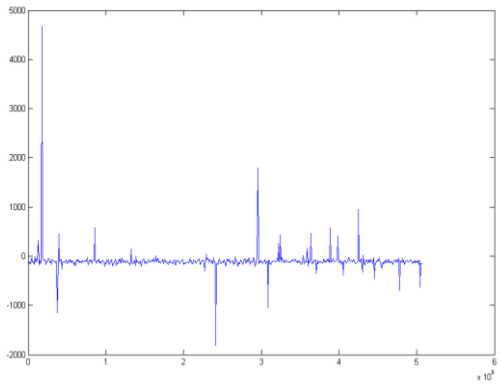
مندرجات بالا اصولی اولیه از تحلیل جزر و مدی در طول مسیر در یک نقطه معلوم را بیان می کند. با توجه به رابطه ارتفاع سطح دریا و پارامترهای جزر ومد در میان نقاط مجاورش در طول مسیر، تفاضل ارتفاع سطح دریا از نقاط مجاورش به عنوان مشاهده در نظرگرفته می‌شود. معادلات این مشاهدات با نتایج تحلیل متقاطع، مقید و محدود می شود .

اگر ارتفاع از سطح دریا برای دو نقطه هم جوار A , B در معادله (۱۱) قرار داده شود،تفاضل آن‌ها طبق رابطه (۶) محاسبه می‌گردد.

$$h_{AB}(t_A, t_B) = \delta\bar{h}_{AB} + \sum_{i=1}^{m}\{f_i \cos[X_i(t_B) + u_i]U_{Bi} - f_i \cos[X_i(t_A) + u_i]U_{Ai}\} + \sum_{i=1}^{m}\{f_i \cos[X_i(t_B) + u_i]V_{Bi} - f_i \cos[X_i(t_A) + u_i]V_{AI}\} + \delta\Delta_{AB} \quad (۶)$$

ماهواره در طول یک مسیر به سرعت حرکت می کند، بنابراین فاصله زمانی بین دو نقطه مجاور خیلی کوچک می‌شود لذا افزایش تغییرات ارتفاع سطح دریا ناشی از تاثیرات اقیانوس سنجی و هوا سنجی می تواند به طور تقریبی مساوی و یکسان در نظر گرفته شود. بنابراین بزرگی $\delta\Delta_{AB}$ در رابطه (۲) کوچکتر از Δ_A و Δ_B در رابطه‌ی(۱) می باشد. بررسی داده‌های دیگر نیز به نتایج مشابه منجر می‌شوند یعنی تاثیرات غیر جزر ومدی از نقاط مجاور تقریبا یکسان است. در معادله (۶) $\delta\Delta_{AB}$ حالت باقیمانده است. اگر بزرگی $\delta\Delta_{AB}$ کاهش یابد، RMS باقیمانده و واریانس پارامترها کاهش می یابد. این به این معناست که در حالت دیفرانسیلی می توان دقت و قابلیت اطمینان پارامترها را ارتقاء داد.

در شکل۳ سری زمانی حاصل تفاضل تغییرات ارتفاع سطح دریا در دو نقطه مجاور ۳۲ و ۳۳ را مشاهده می‌گردد. شکل۳ نشان می دهد که بزرگی $\delta\Delta_{AB}$ کوچکتر از Δ است و اطراف صفر متفاوت است.



شکل۳- نمودار Δ اختلاف ارتفاع سطح دریا در دو نقطه مجاور ۳۳ و ۳۲

در این شکل محور افقی زمان بر حسب ثانیه و محور عمودی ارتفاع بر حسب میلی متر می‌باشد.

۴- نتایج

در این تحقیق از داده‌های بدست آمده طی ۱۶ سال حاصل از ماموریت ماهواره ارتفاع سنجی TOPEX(POSEIDON) , JASON-1 مشتمل بر ۵۹۲ گذر استفاده شده است وتحلیل هارمونیک جزر و مدی کلاسیک که شامل تخمین خطاها می‌باشد بر روی آن‌ها انجام شده است. همچنین لازم به توضیح است که در این تحقیق از مشاهدات ۸ گذر اول این ماموریت به دلیل کیفیت نامناسب داده ها استفاده نشده است. آنالیز داده ها توسط برنامه Foreman انجام شده است. داده‌های استفاده شده شامل ارتفاع سطح آب دریا که بوسیله ارتفاع سنجی ماهواره‌ای حاصل شده برای دو نقطه مجاور ۳۲ و نقطه ۳۳ از گذر ۱۰۷ می‌باشد. همچنین اختلاف بین این دو نقطه نیز آنالیز و در جداول بررسی شده‌اند. نتایج حاصل از آنالیز جزر و مدی برای نقاط مجاور مذکور در قالب جداول و گراف ها برای نمایش نحوه اثر الگوریتم در حذف خطاهای جزر و مدی نمایش داده شده است.

در جداول ستون اول(Tide) نشان دهنده مولفه‌های اصلی جزر و مد و ستون دوم شامل (Freq) فرکانس آنها و ستون سوم (AMP) شامل دامنه بر حسب mm و ستون چهارم (AMP-ERR) شامل خطا در دامنه و ستون پنجم(pha) فاز و ستون ششم (pha_Err) به ترتیب شامل فاز و خطا در محاسبه فاز و ستون آخر نسبت سیگنال به نویزSNR (نسبت مربع شده دامنه(ستون سوم) به خطا در دامنه (ستون چهارم) قابل مشاهده است. در ستون اول جداول مواردی از مولفه‌های اصلی جزرومدی که نسبت سیگنال به نویز آن‌ها بزرگتر از یک شده است با علامت * مشخص گردیده است.

حال برای آنالیز داده‌های جزر و مدی سری زمانی سطح لحظه‌ای آب را برای نقطه ۳۲ بدست آورده و سپس با استفاده از سری‌های زمانی بدست آمده دامنه و فاز برای آن تعیین می‌گردد. با استفاده از نتایج حاصل از سری زمانی بدست آمده در نقطه مذکور در جدول (۱) ویژگی‌های مولفه اصلی جزر و مدی مربوط به نقطه ۳۲ را تعیین نموده و سپس گراف‌های مربوط به آن ترسیم گردیده اند.

جدول ۱- نتایج حاصل از تحلیل مربوط به نقطه ۳۲

tide	freq	amp	amp_err	pha	pha_err	snr
MSF	0.0028544	62.2887	62.780	323.39	61.65	0.98
O1	0.0386981	23.0883	43.749	192.73	125.36	0.28
P1	0.0415525	8.1008	32.179	134.75	199.93	0.063
K1	0.0417808	24.4790	39.722	127.68	117.82	0.38
M2	0.0804789	13.4378	25.556	349.30	130.54	0.28
S2	0.0833333	23.5321	32.824	229.38	87.95	0.51
K2	0.0835616	6.4042	30.799	251.78	238.51	0.043
M3	0.1207184	19.4289	73.778	149.18	212.53	0.069
SK3	0.1251141	1.5919	76.571	69.91	247.22	0.00043
M4	0.1609579	221.2054	285.153	283.02	90.91	0.6
MS4	0.1638123	84.9395	213.238	46.38	154.23	0.16
S4	0.1666667	105.4278	249.008	152.80	167.81	0.18
2MK5	0.2027387	20.0880	62.961	54.28	179.03	0.1
2SK5	0.2084475	50.4997	84.591	225.15	103.97	0.36
*M6	0.2414368	53.2802	46.906	336.88	47.09	1.3
2MS6	0.2442912	18.4650	35.435	191.67	127.25	0.27
2SM6	0.2471456	15.2665	34.999	32.48	160.11	0.19
3MK7	0.2832176	24.2933	26.757	103.96	56.37	0.82
*M8	0.3219157	43.1730	35.057	346.89	46.71	1.5
M10	0.4023947	17.2168	28.185	342.17	118.02	0.37

گراف های حاصل از تحلیل جزر و مدی در نقطه ۳۲ در شکل۴ مشاهده می‌گردد.

در اشکال نیز نتایج تحلیل ها و براورد ها به صورت یک طیف قابل مشاهده است. هر شکل شامل چهار قسمت بوده که در ادامه هر کدام از این قسمت ها مورد بررسی قرار گرفته اند.

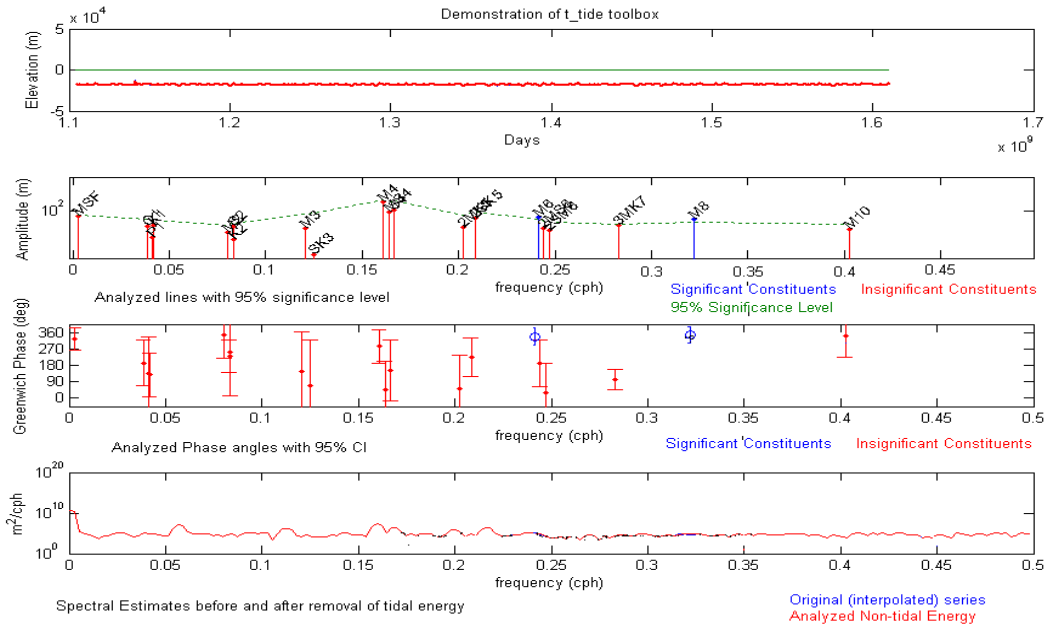
الف)در این قسمت شاهد دو منحنی هستیم که منحنی بالایی سری زمانی بعد از حذف سیگنال‌های جزر و مدی را نمایش می‌دهد و منحنی پایینی حاصل سری زمانی جزر و مدی با استفاده از مولفه‌های اصلی جزر و مدی می‌باشد.

ب)این قسمت نشان دهنده دامنه فرکانس‌های آنالیز شده جزر و مد در سطح اطمینان ۹۵٪ می‌باشد.

ج)این بخش شامل فاز مولفه‌های اصلی جزر و مدی در سطح اطمینان ۹۵٪ می‌باشد.

د)این بخش شامل آنالیز نیرو های غیر جزر و مدی است.

این گراف ها نشان دهنده یک طیف براورد شده اطلاعات جزر و مدی برای نقاط مد نظر مجاور هستند.



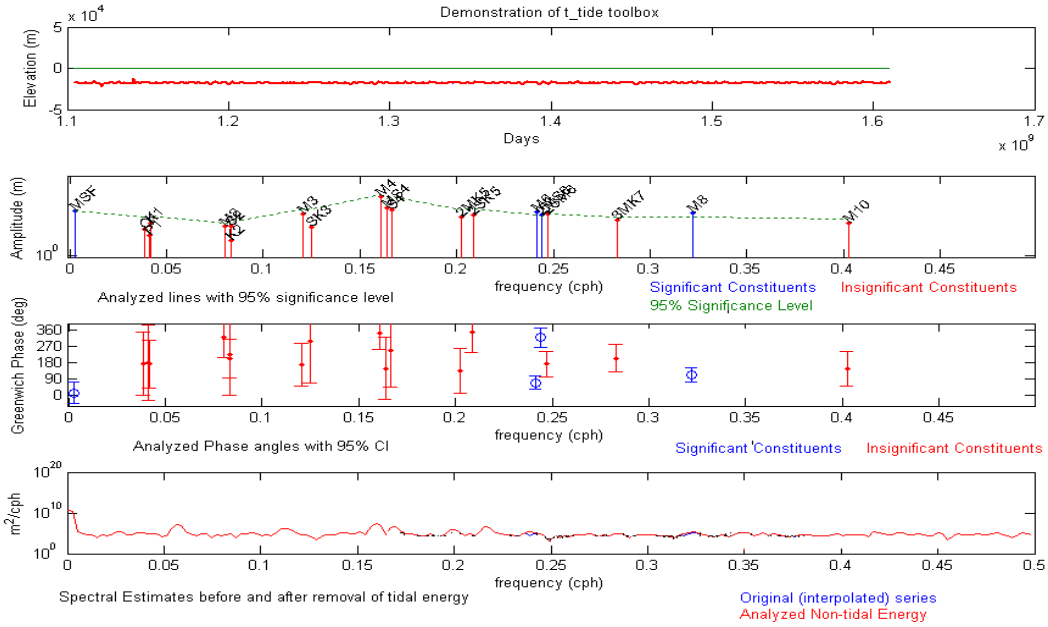
شکل ۴- نتایج حاصل از آنالیز جزرومدی در نقطه ۳۲

همچنین آنالیز داده‌های جزر و مدی در نقطه ۳۳ و دامنه و فاز حاصل از آنالیز در جدول (۲) مشاهده می‌گردد.

جدول ۲- نتایج حاصل از آنالیز مربوط به نقطه ۳۳

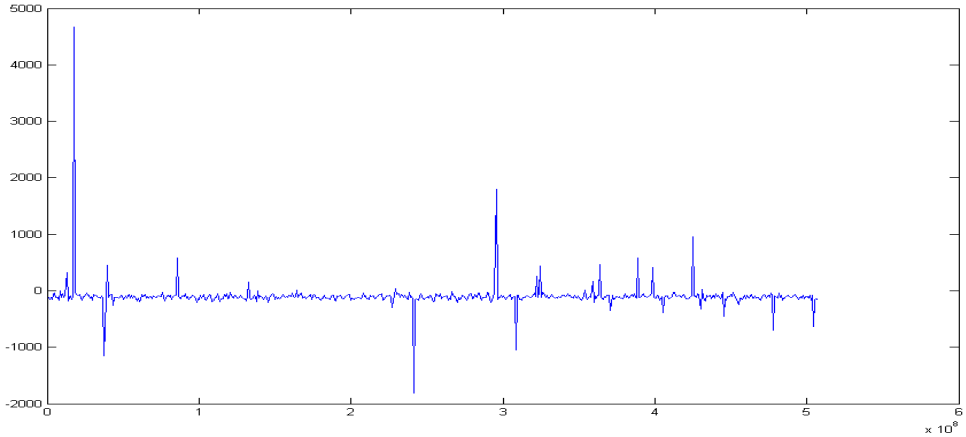
tide	freq	amp	amp_err	pha	pha_err	snr
*MSF	0.0028544	67.0524	64.332	14.64	57.89	1.1
O1	0.0386981	12.2264	35.520	176.20	172.97	0.12
P1	0.0415525	6.6714	30.674	180.04	205.14	0.047
K1	0.0417808	20.1597	40.047	172.97	131.75	0.25
M2	0.0804789	15.2713	20.827	319.54	112.54	0.54
S2	0.0833333	16.0769	23.788	202.76	104.73	0.46
K2	0.0835616	4.3753	23.896	225.16	222.21	0.034
M3	0.1207184	49.8694	78.252	168.79	118.52	0.41
SK3	0.1251141	14.1542	79.855	294.79	224.22	0.031
M4	0.1609579	240.1158	299.688	338.92	87.80	0.64
MS4	0.1638123	85.7387	209.090	149.04	168.78	0.17
S4	0.1666667	69.6252	242.150	246.98	200.65	0.083
2MK5	0.2027387	37.8417	71.330	134.45	122.91	0.28
2SK5	0.2084475	46.6345	76.788	347.67	110.97	0.37
*M6	0.2414368	60.5492	45.719	71.58	37.53	1.8
*2MS6	0.2442912	47.0048	38.419	316.13	51.70	1.5
2SM6	0.2471456	47.3651	47.550	173.53	69.21	0.99
3MK7	0.2832176	28.2738	38.620	203.98	76.05	0.54
*M8	0.3219157	54.7956	38.165	114.76	39.78	2.1
M10	0.4023947	21.7499	31.870	147.48	93.34	0.47

و همچنین گراف حاصل از نتایج مربوط به نقطه ۳۳ در شکل (۵) مشاهده می‌گردد.



شکل ۵- گراف حاصل از آنالیز مربوط به نقطه ۳۳

حال با استفاده از سری‌های زمانی و نتایج آنالیزهای جزر و مدی موجود در هر دو نقطه مجاور، از تفاضل نتایج داده ها در دو نقطه مجاور به منظور کاهش و یا حذف اثرات غیر جزر و مدی استفاده می‌گردد. شکل۶ سری زمانی حاصل از اختلاف ارتفاع در نقاط مجاور ۳۲و ۳۳را نمایش می‌دهد.



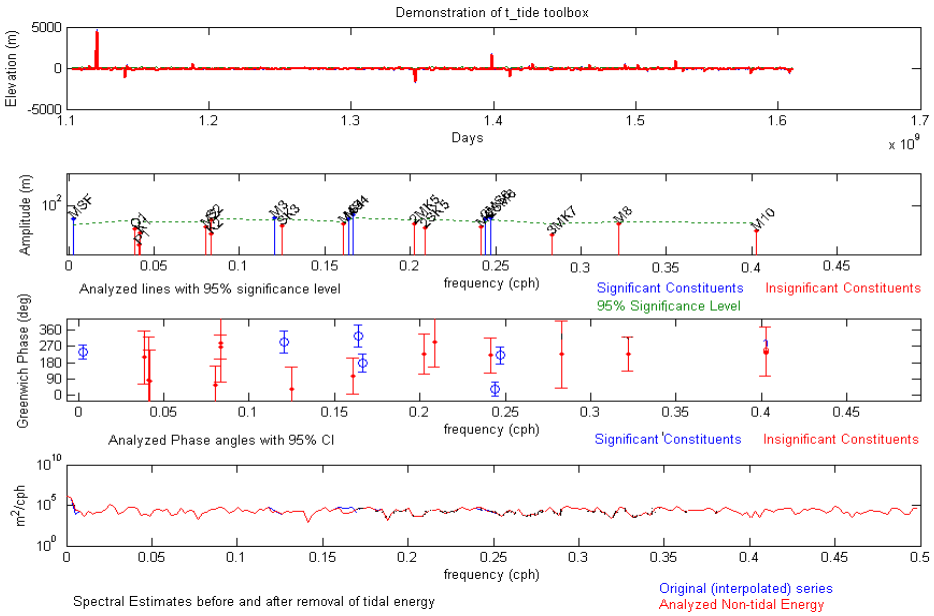
شکل۶- سری زمانی اختلاف ارتفاع نقاط همجوار ۳۲و۳۳ در گذر ۱۰۷ از ماهواره‌های توپکس و جیسون۱ طی ۱۶ سال

در جدول۳ اطلاعات مربوط به آنالیز اختلاف نقاط ۳۲ و ۳۳ را مشاهده می‌گردد.

جدول ۳- اطلاعات مربوط به آنالیز اختلاف ارتفاع نقاط ۳۲ و ۳۳

tide	freq	amp	amp_err	pha	pha_err	snr
*MSF	0.0028544	28.0833	17.063	236.21	38.50	2.7
O1	0.0386981	11.8404	25.800	209.36	145.46	0.21
P1	0.0415525	2.6721	18.764	86.03	235.72	0.02
K1	0.0417808	8.0745	22.796	78.96	169.13	0.13
M2	0.0804789	13.9240	22.676	57.12	102.65	0.38
S2	0.0833333	26.1900	30.063	266.56	66.07	0.76
K2	0.0835616	7.1276	28.101	288.96	215.93	0.064
*M3	0.1207184	32.7105	26.724	294.08	60.68	1.5
SK3	0.1251141	15.4406	29.551	35.79	120.47	0.27
M4	0.1609579	18.9541	22.626	105.78	96.84	0.7
*MS4	0.1638123	30.3051	24.640	325.11	59.49	1.5
*S4	0.1666667	41.8670	31.239	177.50	48.63	1.8
2MK5	0.2027387	17.8419	26.425	226.25	111.47	0.46
2SK5	0.2084475	12.8196	28.157	290.46	135.87	0.21
M6	0.2414368	13.2378	23.044	219.29	96.72	0.33
*2MS6	0.2442912	29.4859	22.663	35.05	39.73	1.7
*2SM6	0.2471456	32.1697	26.433	219.09	46.94	1.5
3MK7	0.2832176	6.6835	18.963	224.38	181.67	0.12
M8	0.3219157	18.1691	22.721	225.82	92.28	0.64
M10	0.4023947	9.8470	20.999	238.54	135.10	0.22

و در ادامه گراف مربوط به آنالیز اختلاف ارتفاع نقاط مجاور مذکور در شکل۷ مشاهده می‌گردد.



شکل ۷- آنالیز اختلاف نقطه ۳۲و۳۳

همانطور که در نتایج آمده و در جدول۳ و گراف مربوط به آن در شکل۷ قابل مشاهده است دامنه و فاز حاصل از سری زمانی روش تفاضلی بین دو نقطه در مقایسه با نتایج حاصل از بررسی دامنه و فاز سری زمانی نقاط به صورت مجزا بسیار نرمتر است و تا حد قابل قبولی مقادیر مربوط به نتایج حاصل از آن تعدیل یافته و مقادیر مولفه‌های جزر و مدی با دقت بالایی براورد شده اند که این نشان از حذف قابل توجه اثرات غیر جزر و مدی در این روش نسبت به بررسی هر یک از نقاط آلتیمتری به صورت مجزا می‌باشد.

۵- نتیجه گیری

حالت دیفرانسیلی می تواند به‌طور کارآمدی تاثیرات غیر جزر ومدی را در مشاهدات ارتفاع سنج حذف کند و دقت پارامترهای جزر و مدی را افزایش دهد. حالت دیفرانسیلی می‌تواند اختلاف ارتفاع سطح دریا در دو نقطه مجاور را به عنوان مشاهده در نظر گرفته و باعث شود که وابستگی بین نقاط مجاور در محاسبات به طور قوی لحاظ شود. بنابر این دامنه و فاز بدست آمده از روش دیفرانسیلی نرمتر از تحلیل هارمونیک نقاط به طور مجزا است. می‌توان بیان کرد که اثرات غیر جزر و مدی با طول موج های بلند و متوسط در منطقه خلیج فارس وجود دارد که حالت دیفرانسیلی به طور عملی می‌تواند دقت براورد پارامترهای جزر و مدی را با استفاده از داده‌های ماهواره آلتیمتری افزایش دهد. بنابر این حالت دیفرانسیلی، برای تخمین زدن پارامترهای جزر و مد با دقت بالا از داده های ارتفاع سنجی کاربرد دارد.

مراجع

[۱] رستمی،غ(۱۳۸۱)"تعیین توپوگرافی سطح آب دریای عمان و خلیج فارس از طریق مشاهدات ماهواره‌ای"، پایان نامه کارشناسی ارشد،گروه مهندسی نقشه برداری ژئودزی دانشکده فنی دانشگاه تهران.

[2] Cartwright, D. E. and Ray R. D. (1990).”Oceanic tides from Geosat altimetry”. Journal of Geophysical Research, 95 (C3), 3069-3090.

[3] David E. Cartwright, Richard D. Ray. (1991). “Energetics of global ocean tides from Geosat altimetry”. Journal of Geophysical Research, 96(C9), 16897-16912.

[4] P. J. G. Teunissen, A. R. Amiri-Simkooei. (2008). “Least-squares variance component estimation”. Journal of geodesy. Vol.82, No.2, pp.65-82.

[5] PO.DAAC, 1996, PO.DAAC Merged GDR (TOPEX/POSEIDON) Users Handbook JPL, D-11007, November.

[6] Wang, Y. (2004).”Ocean Tide Modeling in Southern Ocean”, Department of civil and Environmental Engineering and GeodeticScience, Report No.471, The Ohio state University Columbus.