

دهمین همایش بین‌المللی سواحل، بنادر و سازه‌های دریایی
۲۹ آبان لغایت ۱ آذر ۹۱ (تهران- ایران)



کنترل کیفی داده‌های هواشناسی و اقیانوس‌شناسی داده‌های بویه موج نگار آستارا در آب عمیق

سید مصطفی نوربخش^۱، احمد رضا زمانی^۲، مهرداد اکبری^۳

کلید واژه: بویه موج نگار، کنترل کیفی داده‌ها، دریای خزر

چکیده

بویه‌های موج نگار نقش مؤثری در جمع‌آوری اطلاعات پایه‌ای در محیط دریا دارند. اطلاعات این بویه‌ها در زمینه‌های گوناگونی نظیر مدل‌سازی امواج، طراحی سازه‌های دریایی، تحلیل‌های آماری، و ارزیابی داده‌های ماهواره‌ای استفاده می‌شوند. شرایط سخت کارکرد بویه‌های موج نگار در محیط دریا و احتمال وقوع خطا از یک طرف، و لزوم برخورداری از داده‌های مطمئن از طرف دیگر، لزوم کنترل کیفی داده‌های ثبت شده را ضروری می‌سازد. بنابراین پیاده‌سازی و اجرای الگوریتم‌های کنترل کیفی برای بررسی صحت داده‌های بویه‌های موج‌نگاری بسیار ضروری می‌باشد. این مقاله به معرفی الگوریتم‌های کنترل کیفی داده‌های موج‌نگاری و بیان نتایج اعمال این الگوریتم‌ها روی داده‌های عملی بویه موج‌نگار آستارا در آب‌های عمیق دریای خزر اختصاص دارد.

مقدمه

داده‌های موج‌نگاری و اقیانوس‌شناسی معمولاً سه مجموعه زیر را تشکیل می‌دهند:
(الف) داده‌های خام یا سری‌های زمانی که دنباله خروجی سنسورهای مختلف نصب شده بر بویه می‌باشند؛ از قبیل زاویه‌های انحراف از تراز چرخش و پیچش، حرکت عمودی بویه نسبت به سطح متوسط دریا، زاویه دوران افقی بویه نسبت به دستگاه مختصات مغناطیسی زمین. سری‌های زمانی معمولاً در نرخهایی مانند ۱ یا ۲ نمونه بر ثانیه ارائه شده و ضبط می‌گردند.
(ب) مقادیر طیفی که با برخی تبدیلهای زمان به فرکانس روی سری‌های زمانی بدست می‌آیند؛ از قبیل طیف حرکت عمودی موج، متوسط زاویه موج در هر فرکانس، پراکندگی زاویه‌ای موج در هر فرکانس. مقادیر طیفی در واقع، توابعی بر حسب فرکانس هستند که با رزولوشنی مانند ۰/۰۱ یا ۰/۰۵ هرتز محاسبه می‌شوند. حداکثر فرکانس قابل پوشش، نصف نرخ نمونه برداری می‌باشد.
(ج) مقادیر bulk که به ازاء هر دوره داده برداری، یک نمونه ارائه می‌شوند. این مقادیر شامل سنسورهای هواشناسی و اقیانوس‌شناسی مانند دمای آب و هوا، سرعت و جهت باد، سرعت و جهت جریانهای زیرسطحی ... و همچنین حاصل پردازشهای مختلف روی سری‌های زمانی و مقادیر طیفی می‌باشند، از قبیل ارتفاع مؤثر موج، پریود عبور از صفر، و ...
اطلاعات موج‌نگاری و اقیانوس‌شناسی در خلال مدت فعالیت بویه در دریا ممکن است هر چندگاه دچار خطا بشوند. برخی علل خطا عبارتند از:
(الف) استهلاک و معیوب شدن سنسورها به مرور زمان، (ب) شرایط سخت استقرار بویه در دریا و تلاطم‌های آب در طول زمان، (ج) وقوع زمانهایی

^۱ عضو هیئت علمی - دانشگاه صنعتی اصفهان، پژوهشکده علوم و تکنولوژی زیر دریا - mostafanoorbakhsh@gmail.com

^۲ عضو هیئت علمی - دانشگاه صنعتی اصفهان، پژوهشکده علوم و تکنولوژی زیر دریا - arzamani@cc.iut.ac.ir

^۳ - کارشناس ارشد سازه‌های دریایی - شرکت نفت خزر - m.akbari@cepcو.ir

که بویه توسط لنگر خود کشیده شده و آزادی حرکت همراه با امواج دریا را ندارد، د) خطا در ارسال داده‌ها. بنابراین پیاده سازی الگوریتمهای کنترل کیفی برای شناسایی موارد خطا ضروری است که در ادامه، این الگوریتمها معرفی می شوند.

الگوریتمهای کنترل کیفی روی داده‌های موج نگاری

الگوریتمهای کنترل کیفی برای هر یک از سه دسته داده سری‌های زمانی، مقادیر طیفی، و پارامترها بصورت مجزا تعریف می‌شوند [۱-۵]. در این الگوریتمها در مورد معتبر یا نامعتبر بودن داده‌های موج نگاری و میزان قابلیت اعتماد به آنها تصمیم گیری می‌شود. الگوریتمهای کنترل کیفیت در مورد داده‌های تحلیل شده یکی از سه حالت زیر را در نظر می‌گیرد: ۱- صحیح و معتبر (OK)، ۲- کیفیت نامطلوب ولی قابل استفاده با صلاحدید (soft flag)، ۳- نامعتبر و غیر قابل استفاده (hard flag). برخی الگوریتمهای کنترل کیفی برای سری‌های زمانی عبارتند از:

(T۱) آزمون جهش غیر مترقیه^۴: طی الگوریتمی جهشهای نامعمول که در سری زمانی رخ می‌دهد، شناسایی و با درونیایی تصحیح می‌گردد. روش الگوریتم به این صورت است که متوسط و انحراف استاندارد داده های سری زمانی، σ محاسبه می شود. هر نمونه داده ای که به اندازه $M\sigma$ از میزان متوسط فاصله داشته باشد، به عنوان جهش نامربوط در نظر گرفته شده و مقدار جدیدی برای آن بوسیله درون یابی یا برون یابی n نقطه ای از مرتبه $0 < n$ مشخص می شود. ($n = 2$) بیانگر مقدار متوسط نمونه قبل و بعد است. اگر $\%N$ نقاط به عنوان جهش نامربوط شناخته شدند، قطعه داده کلاً مردود در نظر گرفته شده و hard flag اعلام می شود. در صورت وجود نقاط جهش نامربوط کمتر از $\%N$ ، روند کنترل جهشهای نامربوط حداکثر تا P مرتبه تکرار می شود. اگر پس از P تکرار، باز هم جهش نامربوط وجود داشت، برای قطعه داده hard flag، و در غیر این صورت، soft flag اعلام می شود.

(T۲) آزمون محدوده (range): در این آزمون قرار گرفتن داده های سری زمانی در یک محدوده مورد انتظار کنترل می شود. این محدوده با توجه به شرایط فیزیکی و یا با توجه به خصوصیات سنسور مشخص می شود. برای هر یک از داده هایی که محدوده مشخص شده را نقض کند، بوسیله درون یابی یا برون یابی N نقطه ای از مرتبه $0 < N$ ، مقداری برای آن تهیه شده و جایگزین مقدار اولیه می شود. در صورت رخداد نقض محدوده مشخص شده، soft flag اعلام می شود.

(T۳) آزمون جهش مقدار متوسط: روند طبیعی متوسط سری زمانی طی الگوریتمی کنترل می‌گردد؛ به این صورت که قطعه داده ها به N زیر قطعه M نقطه ای تقسیم می شود. متوسط این قطعات با متوسط قطعات مجاور مقایسه می شود. اگر تفاوت بیش از P بود، داده ها کلاً مردود اعلام شده و hard flag اعلام می شود.

(T۴) آزمون ثابت ماندن بیش از حد داده‌ها: ثابت ماندن بیش از حد داده‌ها که غیر طبیعی است، شناسایی می‌گردد؛ به این صورت که برای هر یک از انواع داده ها، یک زمان T تعیین می شود که داده ها حداکثر در آن زمان می توانند ثابت بمانند. قالب داده ای که شرط ثابت ماندن داده ها به میزان حداکثر T را نقض کند، مردود اعلام شده و برای آن hard flag اعلام می شود.

(T۵) آزمون گوسی بودن حرکت عمودی موج: انتظار می‌رود که نمونه‌های حرکت عمودی موج از توزیع چگالی گوسی پیروی کنند. در این آزمون، برای هر قالب داده حرکت عمودی، هیستوگرام M نقطه‌ای استخراج شده، و با تابع چگالی احتمال گوسی $f_z(z) = (2\pi P)^{-1/2} \exp(-z^2/(2P))$ با پارامتر $P = E\{Z_i^2\}$ که از آن قالب داده تخمین زده می‌شود، مقایسه می‌گردد (بصورت متوسط مربعات تفاوت دو تابع). $f_z(\cdot)$ تابع چگالی احتمال، Z حرکت عمودی موج با متوسط صفر، و P واریانس حرکت عمودی می باشد. اگر تفاوت بین هیستوگرام و توزیع گوسی بیش از خطای مجاز بود، soft flag اعلام می‌شود.

برخی الگوریتمهای کنترل کیفی برای مقادیر طیفی عبارتند از:

(S۱) انطباق بین سری زمانی و طیف: میزان مشابهت طیف فرکانسی موج از روی سری زمانی حرکت عمودی موج تخمین زده شده است، با طیف موج که سیستم بویه ارائه می‌کند، کنترل می‌گردد. برای این منظور طیف سری زمانی حرکت عمودی موج، $S'(f_i)$ ، تخمین زده شده و با طیف ارائه شده توسط نرم افزار مرتبط با بویه، $S(f_i)$ ، مقایسه می گردد. برای تخمین طیف، از همان پارامترهای فرکانس نمونه برداری و تعداد فرکانسها که در تخمین $S(f_i)$ بکار رفته است، استفاده می شود. روش تخمین $S'(f_i)$ ، محاسبه تبدیل فوریه تخمین تابع خود همبستگی حرکت عمودی است. این روش نسبت به مجموعه روشهای پرپودوگرام^۵، مزیت خطا و نوسانات^۶ کمتر را دارد. مقایسه $S(f_i)$ و $S'(f_i)$ بصورت بررسی
$$\sum_i |S(f_i) - S'(f_i)| / \sum_i S'(f_i)$$
 می باشد که اگر از آستانه $\Delta=0.48$ بیشتر باشد، soft flag اعلام می شود.

spike

Periodogram

(S2) آزمون محدوده فرکانسی طیف: طیف *heave* بصورت طبیعی در یک محدوده فرکانس حداقل f_{min} و فرکانس حداکثر f_{max} مقدار دارد. در این آزمون این محدوده برای طیف ارائه شده توسط سیستم بویه، $S(f_i)$ ، مورد بررسی قرار می گیرد. (الف) برای تمام فرکانسهای f_i زیر f_{min} ، شرط $S(f_i) \leq 0.05 \text{ mean } S(f_k)$ چک می شود. (ب) برای تمام فرکانسهای f_i بالای f_{max} ، شرط $S(f_i) \leq 0.05 \text{ mean } S(f_k)$ چک می شود. در صورت عدم برآورده شدن شرطهای فوق، برای قالب داده طیف تحت آزمون، *soft flag* اعلام می شود. (S3) آزمون جهت امواج دور دست: بر اساس داده طیفی موج که حاوی اطلاعات جهت موج هستند، این موضوع که امواج دور دست از سمت دریای باز می توانند وارد شوند نه از سمت خشکی، کنترل می گردد. این داده طیفی عبارت است از « جهت متوسط موج در هر فرکانس » که عبارت است از [4]:

$$\bar{\theta}(f) = \tan^{-1} \frac{Q_{13}(f)}{Q_{12}(f)} \quad (1)$$

در رابطه (1)، $\bar{\theta}$ جهت متوسط موج، f فرکانس بر حسب Hz، و عبارتهای Q_{12} و Q_{13} به ترتیب، بخشهای موهومی طیفهای متقابل « Z و $\partial Z/\partial X$ » و « Z و $\partial Z/\partial Y$ » را نشان می دهد. Z حرکت عمودی موج، و $\partial Z/\partial X$ و $\partial Z/\partial Y$ به ترتیب شیبهای موج نسبت به محورهای افقی X و Y می باشند. در این آزمون، محدوده فرکانسی امواج دور دست 0.1 - 0.3 Hz در نظر گرفته می شود. در این محدوده فرکانسی، جهت متوسط موج باید در محدوده زاویه ای که مشخصات جغرافیایی بویه نسبت به ساحل تعیین می کند، قرار داشته باشد. در صورت نقض این شرط، برای جهت متوسط موج، *soft flag* اعلام می شود.

(S4) آزمون Check Ratio: طبیعت امواج دریا اقتضا می کند که تابع $\sqrt{(C_{22}(\omega) + C_{33}(\omega)) / C_{11}(\omega)}$ با مقدار عدد موج $k(\omega)$ در هر فرکانس ω برابر باشد [4]. در این آزمون نزدیک بودن نسبت « مقدار تابع یاد شده به عدد موج » به مقدار واحد با لحاظ یک تولرانس $1\% \leq \epsilon$ در فرکانسهای مختلف چک می شود. C_{11} ، C_{22} ، C_{33} و به ترتیب عبارتند از طیف حرکت عمودی موج، طیف شیب موج نسبت به محور X، و طیف شیب موج نسبت به محور Y. عدد موج از حل معادله $\omega^2 = kg \tanh(kh)$ بر حسب فرکانس ω (rad/s) بدست می آید [4]؛ h عمق دریا بر حسب متر، و $g = 9.8 \text{ m/s}^2$ شتاب جاذبه زمین است. در صورت نقض تولرانس $1\% \leq \epsilon$ در این آزمون، برای کل مقادیر طیفی، *soft flag* اعلام می شود.

(S5) آزمون گستردگی زاویه ای در فرکانس پیک طیف: گستردگی زاویه ای یک تابع طیفی است که نشان می دهد در هر فرکانس، امواج آب چقدر پراکنش زاویه ای دارد. این تابع بصورت زیر تعریف می شود [5]:

$$\sigma_0(\omega) \text{ (deg)} = (180/\pi) \sqrt{2 \left(1 - \frac{\sqrt{Q_{12}^2(\omega) + Q_{13}^2(\omega)}}{k(\omega)C_{11}(\omega)} \right)} \quad (2)$$

ω فرکانس بر حسب (rad/s) بوده و توابع $Q_{12}(\omega)$ ، $Q_{13}(\omega)$ ، $k(\omega)$ ، $C_{11}(\omega)$ در فوق تعریف شده اند. مقدار گستردگی زاویه ای در فرکانس پیک طیف باید حداقل باشد. در این آزمون مقدار گستردگی زاویه ای در فرکانس پیک طیف با آستانه $\Theta = 30^\circ$ مقایسه می شود. در صورت تجاوز از این آستانه، برای کل داده های طیفی یاد شده، *soft flag* اعلام می شود.

(S6) آزمون جهش غیر مترقبه روی طیف موج: این آزمون برای تشخیص جهش غیر مترقبه در طیف نسبت به زمانهای قبل و بعد انجام می شود؛ به این صورت که برای هر فرکانس f_i بالای $f_i = 0.08 \text{ Hz}$ ، تغییرات طیف $S(f_i)$ در طی یک ساعت باید از $0.06 f_i^{-4}$ کمتر باشد. فرکانس بر حسب Hz و $S(f)$ بر حسب m^2/Hz می باشد. در صورت عدم برآورده شدن شرط فوق، برای قالب داده طیف تحت آزمون، *soft flag* اعلام می شود.

برخی الگوریتمهای کنترل کیفی برای مقادیر *bulk* عبارتند از:

(B1) آزمون محدوده معتبر (*range*): برای هر یک از پارامترهای موج نگاری، هواشناسی، و اقیانوس شناسی، محدوده معتبر تعیین شده و مقدار هر نمونه پارامتر با این محدوده آزموده می شود. در صورت نقض محدوده معتبر، *hard flag* اعلام می گردد.

(B2) آزمون حداکثر مجاز تغییرات: حداکثر تغییراتی که داده های *bulk* می توانند در دوره های مجاور اندازه گیری داشته باشند، کنترل می گردد؛ به این صورت که برای هر یک از پارامترهای موج نگاری، حداکثر میزان تغییر Δ که می توانند با نمونه قبلی داشته باشند، تعیین شده و تفاوت مقدار هر نمونه پارامتر با نمونه قبلی با این میزان آزموده می شود. در صورت تجاوز از محدوده، *hard flag* اعلام می گردد.

(B۳) آزمون ثابت ماندن بیش از حد پارامترها: ثابت ماندن بیش از حد و نامعمول داده‌های bulk کنترل می‌گردد؛ به این صورت که برای هر یک از پارامترهای موج نگاری، یک زمان T تعیین می‌شود که مقادیر پارامترها حداکثر در آن زمان می‌توانند ثابت بمانند. هرگاه شرط ثابت ماندن داده‌ها به میزان حداکثر T را نقض شود، hard flag اعلام می‌شود.

برخی آزمونهای خاص: روابطی خاص بین برخی داده‌های bulk موج نگاری برقرار است. برخی آزمونهای خاص برای کنترل این گونه روابط، پیاده سازی شده است. به عنوان نمونه به موارد زیر اشاره می‌شود:

(B۴) شرط شکست موج: طبیعت امواج دریا اقتضا می‌کند که نسبت به ارتفاع به مربع پریود موج از حدی کمتر باشد. در غیر این صورت، شکست موج رخ می‌دهد. در این آزمون، شرط « $H_s / T_z^2 < K$ » برای نمونه‌های همزمان ارتفاع مؤثر موج، H_s (m) و پریود عبور از صفر موج، T_z (sec) اجرا می‌شود ($K=0,22$). ارتفاع مؤثر موج عبارت است از متوسط یک سوم بزرگترین ارتفاع موج. در صورت نقض این شرط، برای مقادیر H_s و T_z ، hard flag اعلام می‌شود.

(B۵) آزمون مقایسه ارتفاع مؤثر موج با حداکثر ارتفاع موج: صحت شرط « $0 \leq H_s \leq H_{max} \leq r H_s$ » برای نمونه‌های همزمان ارتفاع مؤثر موج، H_s و حداکثر ارتفاع موج، H_{max} آزموده می‌شود ($r=2,5$). در صورت نقض این شرط، برای نمونه‌های ذکر شده، hard flag اعلام می‌گردد.

(B۶) آزمون هماهنگی ارتفاع با پریود موج: ارتفاع مؤثر موج، H_s (متر) باید در هماهنگی با پریود متوسط موج، T_{avg} (ثانیه) در نامساوی زیر صدق کند [۲]:

$$\begin{aligned} H_s &\leq 2,55 + T_{avg} / 4 && \text{if } (T_{avg} \leq 5 \text{ s}) \\ H_s &\leq 1,16 T_{avg} - 2 && \text{if } (T_{avg} \geq 5 \text{ s}) \end{aligned} \quad (3)$$

پریود متوسط موج عبارت است از معکوس فرکانسی که سطح زیر طیف موج را به دو بخش برابر تقسیم می‌کند. در صورت نقض شرط فوق، برای H_s ، soft flag اعلام می‌گردد.

مسأله تنظیم پارامترهای کنترل کیفی

همانطور که در معرفی آزمونهای کنترل کیفی دیده می‌شود، عموم این آزمونها، یک یا تعدادی پارامتر کنترلی دارند که باید تنظیم گردد. پارامترهای کنترلی را می‌توان به پنج دسته تقسیم کرد:

دسته اول، پارامترهایی هستند که به سادگی با توجه به مشخصات برگه فنی^۸ سنسورها تعیین می‌شوند. به عنوان مثال اگر در برگه فنی سنسور فشار هوا قید شود که محدوده اندازه گیری بصورت ۸۰۰ تا ۱۱۰۰ μPa می‌باشد، پارامترهای مینیمم و ماکزیمم آزمون کنترل محدوده (B۱) طبق این مقادیر تعیین می‌شوند.

دسته دوم، پارامترهایی هستند که با توجه به مقادیر پیشنهادی در مراجع بصورت سراسر تعیین می‌شوند. به عنوان نمونه، آستانه حداکثر میزان پراکندگی زاویه ای در فرکانس پیک، $\Theta=30^0$ ، طبق مرجع [۳] معرفی شده است و همین مقدار نیز استفاده می‌شود (آزمون S۵). همچنین آستانه شرط شکست موج، $K=0,22$ ، در همین مرجع مشخص شده و مورد استفاده می‌باشد (آزمون B۴).

دسته سوم، پارامترهایی هستند که بصورت شهودی یا با برخی تحلیلهای ساده روی داده‌های شبیه سازی شده قابل تعیین می‌باشند. به عنوان نمونه، ضریب M در آزمون جهش غیر مترقبه (T۱) با یک شبیه سازی ساده روی داده‌های با توزیع گوسی برابر با $M=6$ تصمیم گیری می‌شود. در واقع، حساسیتی روی یک مقدار دقیق از آنها وجود ندارد؛ کما اینکه دیده شده است در برخی موارد، مستندات کنترل کیفی، مقادیر متفاوتی برای پارامترها پیشنهاد می‌کنند. به عنوان نمونه ضریب M در آزمون جهش غیر مترقبه در مرجع [۱] برابر با ۴ و در مرجع [۳] برابر با ۶ پیشنهاد شده است. نمونه‌های دیگر از چنین پارامترها عبارتند از مرتبه درونیابی در آزمونهای محدوده (T۲) و کشف جهش غیر مترقبه (T۱)؛ و نیز آستانه‌های مشابهت سنجی توزیع گوسی برای سری زمانی حرکت عموی موج و آستانه $\Delta=0.48$ در آزمون انطباق بین سری زمانی و طیف (S۱).

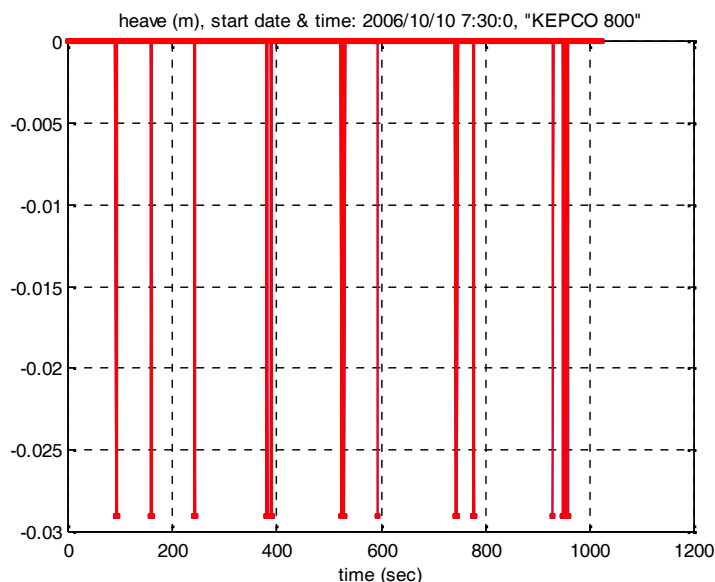
دسته چهارم، پارامترهایی هستند که برای کنترل دقیقتر داده‌ها با توجه به مکانها یا زمانهای مختلف تعیین می‌شوند. به عنوان نمونه با توجه به تغییرات دمایی طبیعی در منطقه دریایی خلیج فارس و دریای عمان، محدوده دمایی ۱۰ تا ۴۰ درجه برای آزمون کنترل محدوده (B۱) انتخاب می‌گردد. برای منطقه دریای خزر، همین محدوده بصورت ۱- تا ۳۶ درجه انتخاب می‌گردد. همینطور محدوده شوری آب در منطقه آبهای جنوب بصورت ۳۵ تا ۴۰ PSU، و برای منطقه دریای خزر بصورت ۳۰ تا ۳۳ PSU قرار داده می‌شود [۶]. محدوده زوایای مجاز برای ورود امواج دوردست نیز که وابسته به منطقه جغرافیایی است، در این دسته قرار می‌گیرد (آزمون S۳).

دسته پنجم، پارامترهایی هستند که به هیچ کدام از روشهای فوق نمی توان بصورت مناسبی آنها را تعیین نمود. در این حالت، روش تعیین پارامترها، روش تجربی است. منحنی های داده های ضبط شده در خلال دوره های اندازه گیری در مناطق مختلف مشاهده شده و پس از تأیید شهودی سالم بودن آنها، مقادیری برای این پارامترها با در نظر گرفتن یک حاشیه مناسب انتخاب می شود. به عنوان نمونه، آستانه میزان ثابت ماندن بیش از حد داده های از نوع سری زمانی (T^۴) و از نوع bulk (B^۳) در این دسته است. طبیعت برخی پارامترها که تغییرات کندی داشته و توسط سنسور نیز با دانه بندی درشت، کوانتیزه شده اند، ایجاب می کند که مقدار آستانه بزرگتر انتخاب شود. برخی دیگر از پارامترها دائماً در حال تغییر هستند و لذا این آستانه برای آنها باید کوتاهتر انتخاب شود. به عنوان مثال برای میزان شارژ خورشیدی باطری که در طی شب مقدار ثابت صفر می ماند، آستانه مذکور برابر با ۴۸ ساعت قرار داده می شود. این آستانه برای کمیت جهت باد، برابر با ۱۰ ساعت انتخاب می شود.

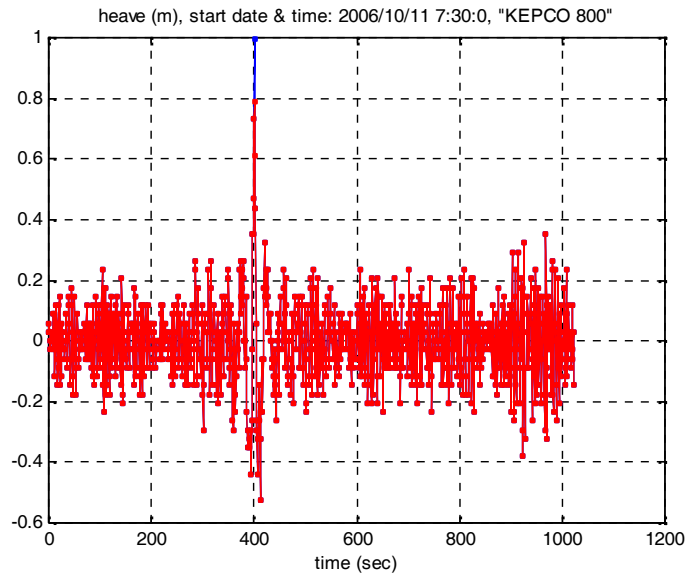
نتایج اعمال الگوریتمهای کنترل کیفی روی داده های موج نگاری

در ادامه برخی نتایج اعمال الگوریتمهای کنترل کیفی روی داده های موج نگاری ثبت شده ارائه می شود. این نتایج نشان می دهد که نرم افزار تهیه شده برای کنترل کیفی داده های موج نگاری می تواند انواع داده های ثبت شده توسط بویه های موج نگاری را کنترل نماید. در این داده ها سری های زمانی ۱۰۲۴ نمونه ای با نرخ نمونه برداری ۱ Hz به ازاء هر ساعت دریافت می شوند. به ازاء هر کدام از این قالبهای ۱۰۲۴ نمونه ای، مقادیر طیفی و مقادیر bulk از قبیل حداکثر ارتفاع موج و ... تخمین زده می شود.

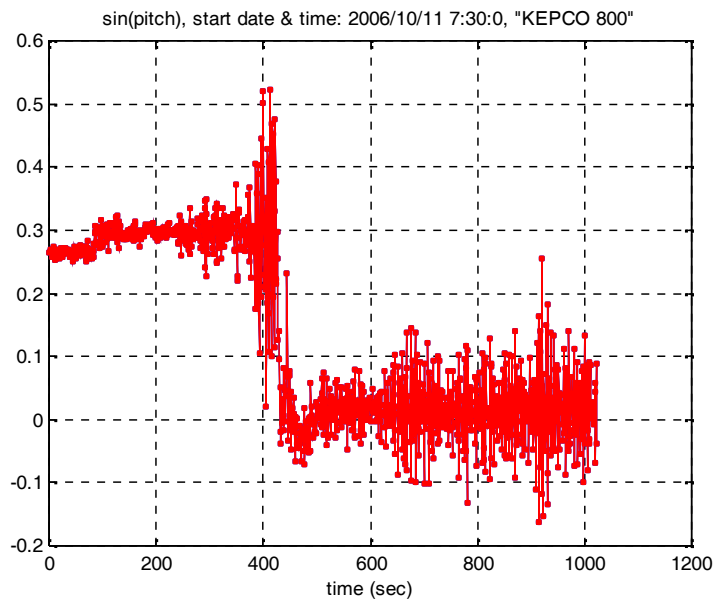
الف) برخی نتایج اعمال الگوریتمهای کنترل کیفی بر سری های زمانی، داده های بویه آب عمیق آستارا:



شکل ۱) کشف ثابت ماندن بیش از حد داده ها و غیر گوسی بودن حرکت عمودی موج

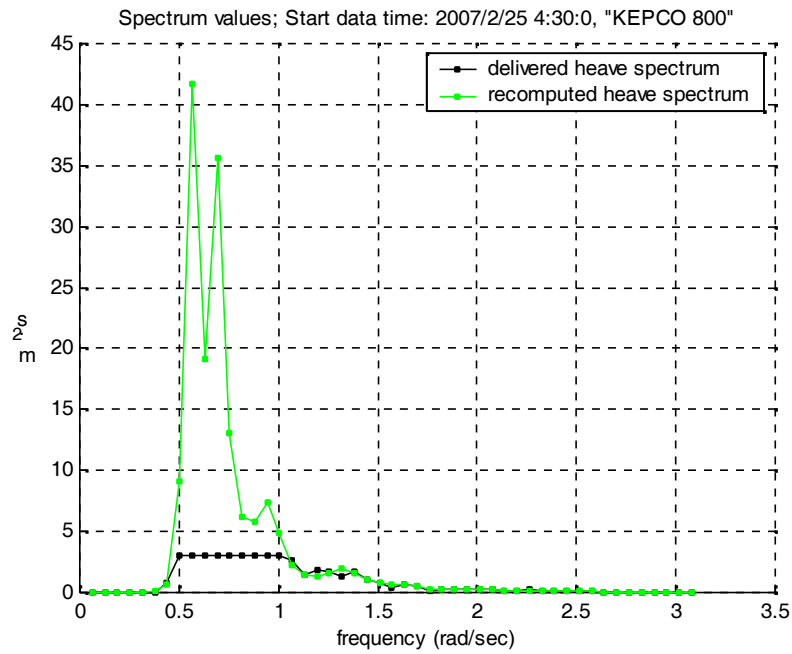


شکل ۲) کشف جهش غیر مترقبه در حرکت عمودی موج

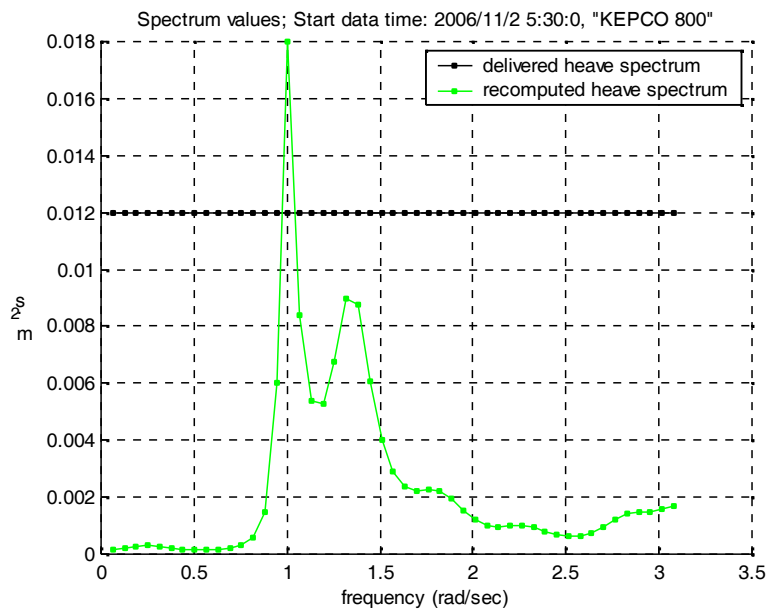


شکل ۳) کشف شیفت مقدار متوسط در سری زمانی زاویه پیچش

ب) برخی نتایج اعمال الگوریتمهای کنترل کیفی بر مقادیر طیفی، داده های بویه آب عمیق آستارا:

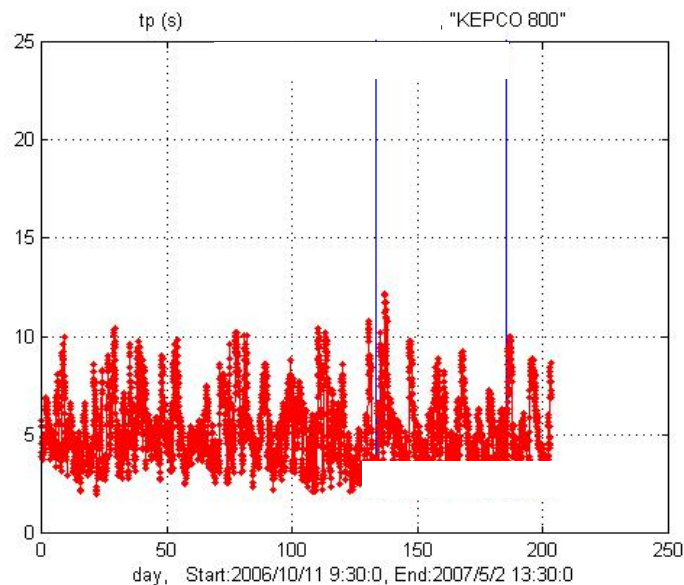


شکل ۴) کشف عدم انطباق بین سری زمانی و طیف حرکت عمودی موج

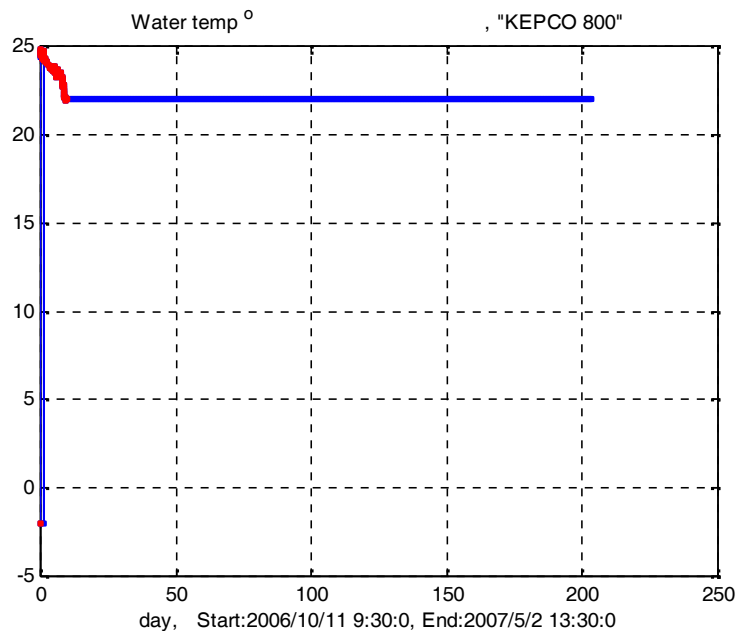


شکل ۵) کشف برآورده نشدن شرط محدوده فرکانسی طیف ($S(f_i) \leq 0.05 \text{ mean } S(f_k)$, $f_i < f_{\min} = 0.2 \text{ Hz}$)

ج) برخی نتایج اعمال الگوریتمهای کنترل کیفی بر مقادیر bulk، داده های بویه آب عمیق آستارا:



شکل ۶) کشف عدم رعایت حداکثر تغییرات مجاز (پارامتر پریود بیک (tp)



شکل ۷) کشف ثابت ماندن بیش از حد (پارامتر دمای آب)

نتیجه گیری

آزمونهای کنترل کیفی داده‌های موج نگاری بصورت یک نرم افزار در محیط Matlab پیاده سازی گردیده است. تحقق این نرم افزار شامل دو بخش ۱) انتخاب و تدوین آزمونهای کنترل کیفی و ۲) تعیین پارامترهای آزمونهای کنترل کیفی می باشد. تعیین این پارامترها بصورتیهای شهودی، تحلیل ریاضی، استفاده از برگه های فنی سنسورها و مستندات کنترل کیفی داده ها، و بررسی داده های تجربی انجام شده است. نتایج اعمال الگوریتمهای کنترل کیفی بر داده‌های موج نگاری نشان می‌دهد که می توان با چندین آزمون متفاوت، موارد رخداد داده‌های نادرست را کشف نمود تا در نهایت مجموعه داده‌های معتبر و قابل اعتمادی را برای استفاده فراهم آورد.

مراجع

- [۱] "Real-Time Quality Control Tests for In Situ Ocean Surface Waves", (۲۰۰۷) Recommended by the Quality Assurance of Real-Time Oceanographic Data (QARTOD) Workshops and The Waves Technical Workshop.
- [۲] NDBC Technical Document ۰۳-۰۲, (۲۰۰۹), "Handbook of Automated Data Quality Control Checks and Procedures of the National Data Buoy Center", National Data Buoy Center, Stennis Space Center.

- [٣] Intergovernmental Oceanographic Commission, Commission of the European Communities, (١٩٩٣), "Manual and Guides ٢٦, Manual of Quality Control Procedures for Validation of Oceanographic Data", Section ٢,٢, Appendix A١-A٤: "Wave Data".
- [٤] M. K. Ochi, "Ocean Waves: The Stochastic Approach", Cambridge Ocean Technology Series, ٢٠٠٥.
- [٥] "Geni ٢٠٠٠ Data Acquisition Unit", Oceanor Company, Users Manual rev. ١,٣٣.
- [٦] "World Ocean Atlas ٢٠٠٥", Ocean Climate Laboratory of the National Oceanographic Data Center (U.S.) Annual Report.