نشربه علمي مهندسي فناوري اطلاعات مكاني

سال دهم، شماره چهارم، زمستان ۱۴۰۱ Vol.10, No.4, Winter 2023 ۱۷ –۳۷

مقاله پژوهشی DOR: <u>20.1001.1.20089635.1401.10.4.2.2</u>



ارزیابی روش بازتعقیب اولین موجک شکل موج بهمنظور بهبود صحت مشاهدات ارتفاعسنجی ماهوارهای در مناطق ساحلی (مطالعه موردی: منطقه ساحلی خلیجفارس)

پریسا آگار ^۱®، بهزاد وثوقی^۲، شیرزاد روحی^۲، آرش امینی[†]

۱ - دانشجوی کارشناسی ارشد ژئودزی، دانشکده مهندسی نقشهبرداری، دانشگاه صنعتی خواجهنصیرالدین طوسی

۲- دانشیار گروه ژئودزی، دانشکده مهندسی نقشهبرداری، دانشگاه صنعتی خواجهنصیرالدین طوسی

۳- استادیار گروه نقشهبرداری، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران جنوب

۴- دانشآموخته کارشناسی ارشد ژئودزی، دانشکده مهندسی نقشهبرداری، دانشگاه صنعتی خواجهنصیرالدین طوسی

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۰۴/۱۶ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۰۷/۰۶

چکیدہ

ارتفاعسنجی ماهوارهای روشی سنجشازدوری است که برای پایش ارتفاعی نواحی آبی استفاده میشود. در سواحل شکل موجهای ارتفاعسنج راداری به سبب شرایط ژئوفیزیکی و سطوح غیرآبی در ردپای ارتفاعسنج، از مدل ایدهآل اقیانوسی (مدل براون) فاصله میگیرند و اندازه گیریهای تعقیب گر ماهواره که بر مبنای شکل موجهای منطبق بر این مدل است از اعتبار کافی برخوردار نخواهند بود. لذا باز تعقیب شکل موجهای بازگشتی در این نواحی ضروری است. در این پژوهش، پایش ارتفاعی سطح آب در فواصل ۲ و ۲۰ کیلومتری ساحل خلیج فارس شکل موجهای بازگشتی در این نواحی ضروری است. در این پژوهش، پایش ارتفاعی سطح آب در فواصل ۲ و ۲۰ کیلومتری ساحل خلیج فارس شکل موجهای بازگشتی در این نواحی ضروری است. در این پژوهش، پایش ارتفاعی سطح آب در فواصل ۲ و ۲۰ کیلومتری ساحل خلیج فارس مرابزه زمانی ۲۰۱۸/۰۱/۱۷ ای ۲۰۱۸/۰۹/۲۰ صورت پذیرفت. بدین منظور از ارتفاع سنج رادار دریچه مصنوعی مأموریت سنتینل-۳ با مزیت قدرت تفکیک مکانی بالا در امتداد برداشت (۲۰۰ متر)، در سه گذر ۲۵، ۱۳۹ و ۲۸۹ استفاده گردید. سریهای زمانی ارتفاع سطح آب منطقه مطالعاتی با رویکرد باز تعقیب اولین موجک معنادار و کل شکل موج با استفاده از الگوریتم حد آستانه و همچنین پردازش دادههای مراح حاصل شد. جهت ارزیابی سریهای زمانی حاصل، از دادههای نوسان نگار محلی ایستگاههای بندر بوشهر و کنگان و پارامتر جذر خطای مربعی برای سه گذر ۲۵، ۱۳۹ و ۲۶۸ (با درصد شکل موجهای چندپیکی به ترتیب ۲۱٪، ۲۷٪ و ۲۷٪) *RMS نسبت* به باز تعقیب کل شکل موج به ترتیب ۲۷٪، ۲۹٪ و ۲۷٪ و نسبت به دادههای سطح دو به ترتیب ۲۱٪، ۲۱٪ و ۲۱٪ بهبود یابد. همچنین در فاصله ۲ کیلومتری از ساحل رای سه گذر ۲۵ و ۱۳۹ (با درصد شکل موجهای چندپیکی به ترتیب ۲۱٪، ۲۱٪ و ۲۱٪) *RMS نسبت* به باز تعقیب کل شکل موج به برای دو گذر ۲۵ و ۱۳۹ (با درصد شکل موجهای چند پیکی به ترتیب ۶۹٪، ۲۵٪) نسبت به باز تعقیب کل شکل موج به ترتیب ۲۱٪ و ۲۸ برای دو گذر ۲۵ و ۱۳۹ (با درصد شکل موجهای چند پیکی به ترتیب ۶۹٪، ۲۵٪) نسبت به باز تعقیب کل شکل موج به ترتیب ۲۱٪ و ۲۸ زسبت به دادههای سطح دو به ترتیب ۴۶٪ و ۲۸٪ بهبود صدت حاصل گردد. در گذر ۲۶۹ به دلیل پایین برصد کل موجهای چندپیکی معنادار را نیز معرفی میکند.

کليد واژهها : ارتفاعسنجي ماهوارهاي، مناطق ساحلي، سنتينل-۳، رادار با دريچه مصنوعي، بازتعقيب اولين موجک معنادار .

^{*} نویسنده مکاتبه کننده: تهران- خیابان ولیعصر- تقاطع میر داماد غربی- دانشکده مهندسی نقشه برداری دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی تلفن: ۲۱۱-۸۸۷۷۶۶۲۱۲

۱– مقدمه

تقریباً نیمی از ۷ میلیارد نفر در جهان به دلایا مختلف، در ۱۰۰ کیلومتری سواحل زندگی می کنند [۱]. در این مناطق، مـردم در معـرض خطـرات جـدی مانند خطر سیلزدگی، فرسایش زمینهای کشاورزی و همچنین نفوذ آبشور به سفرههای زیرزمینی و رودخانهها قرار دارند. این خطرات با افزایش ارتفاع سطح آب دریا (*SSH*) افزایش می یابند. ازاین رو نظارت بر ارتفاع سطح آب در مناطق ساحلی ضروری است [۲]. از دیرباز استفاده از ایستگاههای نوساننگار محلی برای اندازه گیری ارتفاع سطح آب رایج بوده است اما این روش با محدودیت هایی همچون: توزیع مکانی نابرابر در جهان، پوشش زمانی غیر یکسان، فقدان سطح مرجع مشترک اندازه گیری، هزینهبر بودن ابزار و نگهداری و وابسته به حرکات عمودی زمین، روبهرو است. با توسعه ارتفاعسنجی ماهوارهای از سال ۱۹۹۳ بهعنوان یک روش سنجش از دوری ۲ تکراریذیر و با دقت، تحولی بزرگ در پایش آبهای کره زمین به وجود آمد. ماهوارههای ارتفاعسنجی یک پوشش مکانی و زمانی ایدهآل را تحت هر شرایط آبوهوایی از ارتفاع سطح آب بهصورت جهانی و رایگان ارائه میدهند [۳، ۴ و ۵]. در مناطق ساحلی به دلیل قرار گرفتن محیطهای غیرآبی نظیر جزایر، زمین و مصنوعات ساحلی در ردپ^۳ ارتفاعسنج و همچنین شرایط حاکم بر این مناطق نظیر جریانهای جزر و مدی شدید، موجهای طوفانی و عمق کم نسبت به اقیانوس آزاد، شکل موجهای بازگشتی ارتفاعسنج که مشاهدات اساسی در ارتفاعسنجی هستند بهشدت مغشوش می شوند و از مدل تئوری بروان[†][7] کـه شـکل مـوجهـای اقیانوسـی را توصـیف می کند، فاصله می گیرند لذا باید از الگوریتمهای

* Brown

بازتعقیب^۵ شکل مـوج بـرای تحلیـل شـکل مـوجهـای مغشوش استفاده کرد [۷].

در طی سال های اخیر با ظهور فن آوری های جدید مانند ارتفاعسنجهای رادار با دریچه مصنوعی (SAR⁹)، پیشرفت چشمگیری در بحث ارتفاعسنجی ساحلی حاصل شده است. این فن آوری برای اولین بار بر روی ارتفاع سنج کرایوست-۲^۷ در سال ۲۰۱۰ و پسازآن در سال ۲۰۱۶ بر روی ماهواره سنتینل-۳ ارائـه شـد. ایـن ارتفاعسنجها که به ارتفاعسنجهای تأخیر داپلر (/DDA) نیز شناخته می شوند بر اساس پردازش حالت SAR که برای اولین بار توسط رنی^۹[۸] در سال ۱۹۹۸ ارائه شد، انبوهی از پالسها را بهصورت گروهی^{۱۰} به سمت زمین ارسال میکنند که هرکدام از این پالسها بخشی از ردپا ارتفاعسنج را برداشت کرده و به ارتفاعسنج منعکس می شوند. با توجه به ثبت فرکانس های داپلر متفاوت برای هر کدام، با پردازش دایلر در امتداد برداشت^{۱۱}، ردیا ارتفاعسنج به نوارهای باریک در امتداد عرض برداشت^{۱۲} تقسیم میشوند که در این صورت قدرت تفکیک مکانی^{۱۳} در امتداد برداشت (۳۰۰ متر) افزایش می یابد. برخلاف ماهوارههای ارتفاعسنجی نسل قدیم با قدرت تفکیک مکانی پایین (*LRM*^{۱۴}) که در فاصله ۷-۱۰ کیلومتری ساحل در هر دو امتداد برداشت و عمود بر آن ردیای آن ها آلوده به خشکی می شود، ار تفاع سنج های SAR دو قدرت تفکیک مکانی متفاوت در امتداد و عرض برداشت ارائه میدهند. با توجه به این ییشرفت در قدرت تفکیک مکانی در امتداد برداشت،

- [^] Delay Doppler Altimeter
- ۹ Raney
- [•] Burst
- " Along track
- ¹¹ Across track
- ¹^r Spatial resolution
- ¹^{*f*} Low resolution mode

[`] Sea Surface Height

^r Remote sensing

[&]quot; Footprint

^a Re-tracking

[°] Synthetic Aperture Radar

^v CryoSat-۲

وقتی مسیر زمینی ماهواره عمود بر خط ساحلی باشد، برخلاف ارتفاع سنجهای نسل قدیم احتمال آلودگی ردپا ارتفاع سنج به خشکی کاهش مییابد. از دیگر ویژگیهای این ارتفاع سنجها نیز میتوان به فرکانس تکرار پالس بالا^۱ و برداشت چندمنظری^۲ آنها اشاره مرد که به تبع افزایش تعداد مشاهدات و دقت را به ممراه خواهد داشت. با توجه به این که قدرت تفکیک مکانی در عرض برداشت کماکان مانند ارتفاع سنجهای نسل قدیم است لذا زمانی که مسیر زمینی این ماهواره ها موازی با خط ساحلی باشد ردپای آنها آلوده به خشکی شده و شکل موجها مغشوش می شوند ازاین رو باز تعقیب شکل موجهای بازگشتی همچنان ضروری به نظر می رسد (۹ و ۱۰).

بازتعقیب شکل موج بر اساس الگوریتمهای فیزیکی و تجربی صورت می گیرد. الگوریتمهای فیزیکی بر مبنای انطباق یک مدل خاص بر شکل موج و در نظر گرفتن خصوصیات فیزیکی سطح بازتابدهنده به بازتعقیب شکل موج می پردازند. بااینوجود روشهای تجربی صرفا شکل ظاهری شکل موج را در نظر گرفته و خصوصیات فیزیکی سطح بازتابدهنده را در محاسبات خود دخیل نمی کنند. الگوریتمهای تجربی نیز خود به دودسته تقسیم می شوند. دسته اول الگوریتمهایی هستند که رویکردی کاملا آماری دارند و دسته دوم الگوریتمهایی که بر مبنای برازش یک تابع ریاضی به بازتعقیب شکل موج می پردازند [۱۱].

الگوریتم بازتعقیب شیفت مرکز ثقل ("OCOG) بر مبنای تعریف یک مستطیل که مرکز ثقل آن منطبق بر مرکز ثقل شکل موج است توسط وینگهام و همکاران معرفی شد. از این الگوریتم که یک الگوریتم آماری است، بیشتر برای تعیین مقادیر اولیه سایر الگوریتمهای بازتعقیب استفاده میشود [۱۲]. در سال ۱۹۹۵

الگوریتم بازتعقیب حدآستانه^۴ توسط داویس و همکاران ارائه شد. این الگوریتم رویکردی کاملاً آماری دارد و بر مبنای ابعاد مستطیل تعریفشده توسط الگوریتم شیفت مرکز ثقل به بازتعقیب شکل موج می پردازد [۱۳]. داویس و همکاران در سال ۱۹۹۷ با استفاده از شکل موجهای بازگشتی ارتفاع سنج ژئوست^۵ و الگوریتم حد -آستانه به مطالعه تغییرات صفحات یخی پرداختند که نتایج آنها نشان داد این الگوریتم با حد آستانه ۱۰٪ از دیگر الگوریتمهای موجود در داده سطح دو در مطالعه صفحات یخی بهتر عمل می کند [۱۴].

محققین زیادی در طی سال های اخیر به توسعه رویکردهای بازتعقیب بر مبنای این الگوریتمها یرداختهاند که در ادامه به تعدادی از آنها مـیــردازیم. هوانـگ و همكاران الگوريتم بازتعقيب حـد آسـتانه بهبودیافته^۶ که بر مبنای بازتعقیب موجکهای معنادار^۲ در شکل موج است را با استفاده از شکل موجهای ارتفاع سنج ژئوست برای محاسبه آنامولی^۸ جاذبه در ۱۰ کیلومتری سواحل تایوان ارائه دادند. نتایج این روش برتری این رویکرد نسبت به الگوریتم بتا-۵ و اعمال الگوریتم حد آستانه بر کل شکل موج ۱ را نشان داد [۱۵]. لی و همکاران با استفاده از الگوریتم بازتعقیب حد آستانه اصلاحشده ۲۰ که بر مبنای بازتعقیب بر اساس مقدار کمینه و بیشینه توان در لبه پیشین شکل موج است با استفاده از ۴ گذر ارتفاعسنج جیسون-۱۲ به مطالعه ارتفاع سطح آب در مناطق ساحلی كاليفرنيا يرداختند. نتايج نشان داد اين الگوريتم نسبت بـه بازتعقیـبگرهـای موجـود در داده سـطح دو^{۱۲} و

- ^{*} Improved Threshod Re-tracker
- ^v Meaningful Sub-waveform
- ^ Anomaly
- [•] Full waveform
- ^{1.} Modified Threshold Re-tracker
- 11 Jason-۲
- ¹ On-board Re-tracker

[\] Pulse repetition frequency

^Y Multi looking

^{*} Offset Center of Gravity Re-tracker

^{*} Threshold Re-tracker

[△] GeoSat

همچنین بازتعقیب حد آستانه در مناطق کمعمق ساحلی بهتر عمل میکند [۱۶]. گو و همکاران برای بهبود کیفیت دادههای ارتفاعسنجی ماهواره ژئوست برای بازیابی آنامولی جاذبه در اطراف جزیره تایوان رویکرد بازتعقیب پارامتری چندموجکی (MSPR) را ارائه کردند که بر مبنای بازتعقیب موجک های معنادار با استفاده از الگوريتم بازتعقيب بتا-۵ است. نتايج نشان داد این رویکرد نسبت به بازتعقیب کل شکل موج با استفاده از الگوریتم بتا-۵ و دادههای سطح دو بهتر عمل می کند [۱۷]. یانگ و همکاران برای محاسبه ارتفاع سطح آب و ارتفاع موج در سواحل چین با استفاده از شکل موجهای ارتفاعسنج جیسون-۱، رويكرد بازتعقيب اقيانوسي-سي-اس^۲ را ارائه دادند. اين رویکرد که بر مبنای طبقهبندی شکل موج به شکل موجهای اقیانوسی و ساحلی با استفاده از پارامترهای بهدست آمده از بازتعقيب شيفت مركز ثقل عمل كرده، موجکهای معنادار را با استفاده از الگوریتم اقیانوسی بازتعقیب می کند. نتایج ارزیابی این رویکرد با استفاده از دادههای نوساننگار محلی و بویه ۳ برتری این رویکرد نسبت به الگوریتمهای بازتعقیب شیفت مرکز ثقل، بتا-۵، حد آستانه و بازتعقیب گرهای اقیانوسی و آیس-۴۲ موجود در داده سطح دو در هر دو اقیانوس عمیق و کمعمق را نشان داد [۱۸]. عرب صاحبی و همکاران در فاصله ۵-۰، ۱۰-۵ و ۱۵-۱۰ کیلومتری تنگه هرمـز بـا استفاده از دو گذر ماهواره جیسون-۲ رویکردی بر مبناى يافتن نقطه عطف شكل موج براى بازتعقيب شـکل مـوج بازگشـتی ارائـه دادنـد و همچنـین از الگوریتمهای تجربی متداول نظیر شیفت مرکز ثقل، حد آستانه، بتا یارامتر و بازتعقیب گر ALES موجود در داده سطح دو نیز برای محاسبه ارتفاع سطح آب

استفاده کردند. نتایج برتری رویکرد ارائه شده را به خصوص برای • تا ۵ کیلومتری ساحل نسبت به دیگر الگوريتمهاي بازتعقيب نشان داد [١٩]. روحي و همکاران چندین دریاچه با ابعاد و شرایط محیطی گوناگون را با استفاده از ارتفاعسنج کرایوست-۲ موردمطالعه قراردادند. در این پژوهش رویکرد میانگین بازتعقیب موجکهای معنادار^۶ در یک شکل موج معرفی شد و از الگوریتمهای مختلف تجربی و فیزیکی برای باز تعقیب موجکهای معنادار و همچنین کل شکل موج استفاده شد. نتایج بهدست آمده حاکی از آن بود که بازتعقيب اولين موجك معنادار ٧ و ميانگين بازتعقيب موجکهای معنادار در یک شکل موج با استفاده از الگوریتم حد آستانه و ساموسا-۳۸ برای بازیابی سطح آب دریاچههای کوچک مناسب هستند. درحالیکه در دریاچههای بزرگ بازتعقیب کل شکل موج منجر به نتايج بهتر مي شود [۲۰].

مطالعـاتی در خصـوص پـایش ارتفـاعی سـطح آب در مناطق ساحلی خلیجفارس انجام شده است [۲۱ و ۲۲] اما آنها از مأموریتهای ارتفاعسنجی نسل قدیم، که ردپای آنها بیشتر تحت تأثیر عوامل مغشوش کننده شکل موج قرار می گیرند برای این منظور استفاده کردهاند. در پژوهش حاضر برای اولین بار از ارتفاعسنج رادار با دریچه مصنوعی مأموریت سنتینل-۳ با مزیت قدرت تفکیک مکانی بالا در امتداد برداشت (۳۰۰متر) برای پایش ارتفاعی سطح آب منطقه ساحلی خلیج-فارس استفاده شده است. همچنین کارایی روشها و رویکردهای بازتعقیب مختلف تابعی از وضعیت شکل موجها و آن نیز تابعی از منطقه مطالعاتی و شرایط ژئـوفيزيكى حـاكم بـر آن اسـت. ازايـنرو يـک روش بازتعقيب براى تمامى مناطق مطالعاتي نمىتوان تجويز کـرد. لـذا در ایـن پـژوهش سـعی شـده اسـت کـارایی باز تعقیب اولین موجک معنادار که بر روی نواحی

^{&#}x27; Multi Sub-waveform Parametric Re-tracker

^r Ocean-Cs

[&]quot; Buoy

^{*} Ice-۲ Re-tracker

^A A multi-mission adaptive sub-waveform re-tracker

[°] Mean-all Meaningful Sub-waveform

^v First Meaningful Sub-waveform

[^] SAMOSA-۳

ساحلی تاکنون ارزیابی نشده است، با بهره گیری از الگوریتم بازتعقیب حد آستانه در برآورد ارتفاع سطح آب در فواصل بسیار نزدیک به سواحل (۲ و ۱۰ کیلومتری) کمعمق خلیجفارس مورد ارزیابی قرار گیرد. ۲ – دادهها و منطقه مطالعاتی

در این پژوهش ارتفاع سطح آب مناطق ساحلی بندر بوشهر و کنگان با استفاده از دادههای ارتفاعسنج سرال (SRAL) مأموریت سنتینل–۱۳ موردمطالعه قرارگرفته است. دلیل انتخاب این مأموریت در این پژوهش، مزیت بالا بودن قدرت تفکیک مکانی در امتداد برداشت (۳۰۰ متر) است که در این حالت ارتفاعسنج در امتداد برداشت کم تر تحت تأثیر عوامل مغشوش کننده شکل موج قرار می گیرد؛ لذا ارتفاع سطح آب صحیحتری در فاصله نزدیک به ساحل نسبت به ارتفاعسنجهای نسل فاصله نزدیک به ساحل نسبت به ارتفاع سطح آب بهدست آمده، از دادههای نوسان نگار موجود در این دو منطقه استفادهشده است.

۲-۱- دادههای ار تفاعسنجی ماهوارهای

مأموریت سنتینل-۱۳ از سری مأموریتهای سنتینل است که به طور مشترک توسط ایسا (ESA^{1}) و اویمتست (EUMETSAT) به عنوان بخشی از برنامه کوپرنیک کمیسیون اروپا اداره می شود. ماهواره سنتینل-۱۳ در ۱۶ فوریه ۲۰۱۶ به فضا پرتاب شد. این ماهواره که در ارتفاع مداری ۸۱۴٫۵ کیلومتر و در یک مدار خورشید آهنگ-شبه قطبی پرواز می کند، سنجنده سرال ($SRAL^{4}$) را برای پایش آبهای کره زمین با خود حمل می کند. سرال یک ارتفاع سنج راداری دو فرکانسه است که در دو بانید Ku کیگاهرتز) و O (A٫۵ گیگاهرتز) کار می کند. از باند O برای تصحیح تأخیر یونسفری استفاده می شود و همچنین توسط رادیومتر

SAR Radar Altimeter

مایکروویو برای تصحیح تأخیر ناشی از ترویسفر تر و مجموعهای از ابزارهای تعیین مدار دقیق^۵ مانند گیرنده سیستم ناوبری ماهوارهای جهانی (GNSS^e)، دوریـس^۷ و رفلکتور لیزری (*LRR*^۸) پشتیبانی می شود. سرال یک ارتفاعسنج رادار با دریچه مصنوعی است که از مزیتهای آن میتوان به فرکانس تکرار پالس بالا، برداشت چندمنظری^۹ و کوچک بودن اندازه ردیا (۳۰۰ متر) در امتداد برداشت اشاره كرد. این ارتفاعسنج اولین ارتفاع سنج رادار با دریچه مصنوعی است که برخلاف ارتفاعسنج ماهواره کرایوست-۲ تقریباً کل کره زمین را در حالت رادار با دریچه مصنوعی پوشـش مـیدهـد. در این مطالعه از دادههای این ارتفاعسنج در دو سطح داده یک (SR_1_SRA) و دو (SR_T_LAN) استفاده شده است [۹]. گذرهای ۲۵، ۱۳۹ و ۴۶۸ کـه از نزدیکـی دو ایستگاه نوساننگار محلبی بوشبهر و کنگان عبور می کنند، انتخاب شده است.

جدول (۱) تعدادی از مشخصات این مأموریت را ارائه میدهد.

[٩]	, ۳۳	سنتينل	بأموريت	مشخصات ه	:1	جدول
-----	------	--------	---------	----------	----	------

مقدار	عنوان پارامتر
۲۷	دوره تکرار مداری (روز)
۹۸٫۶۵	میل مداری (درجه)
	فركانس تكرار پالس
	(كيلوهرتز)
13/180	طول پالس (نانوثانيه)
١٢٨	تعداد گیت
۴۳	گیت اسمی

^r European Space Agency

[&]quot; European Org. for the Exploitation of

Meteorological Satellites

⁺ SAR Radar Altimeter

^a Precise orbit determination

[°] Global Navigation Satellite System

^v DORIS

[^] Laser Retro-Reflector

Multi-look tracking

نشریہ علمی – مہندسی فناوری اطلاعات مکانی

سال دهم • شماره چهارم • زمستان ۱۴۰۱

۲-۲- دادههای نوساننگار محلی

جهت ارزیابی صحت ارتفاع سطح آب حاصل از مأموریت ارتفاعسنجی از داده های نوسان نگار محلی ایستگاه بندر بوشهر و کنگان استفاده شده است. از آنجایی که نرخ برداشت این نوسان نگارها هر ۱۵ دقیقه و نرخ برداشت ارتفاع سنج ماهواره سنتینل-۱۳ هر ۲۷ روزه است؛ لذا برای مقایسه این دودسته داده، داده های نوسان نگار محلی در زمان برداشت ارتفاع سنج درون یابی

خطی شدند [۱۹]. دلیل استفاده از درونیابی خطی این است که نوساننگار ها چندین بار در روز به برداشت داده می پردازند. ازاینرو اختلافزمانی بین دودسته داده بسیار کم و لذا انتظار می رود در این فاصله زمانی کم، سطح آب تغییرات زیادی نداشته باشد.

جدول (۲) اطلاعات مربوط به این نوساننگارها را بیان می کند.

دورههای نظیر سنتینل-۳ آ	فاصله مستقیم تا گذر ماهواره (کیلومتر)	تاريخ داده	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	ایستگاه	گذر
۲۷_۴۵	۴	7 • 1 / / • 1 / 1 Y	۲۸° ۵۹'	۵.° ۵.'	.0	۲۵
	'	۲۰۱۹/۰۵/۱۸	177 60 1		بوسهر	100
4C K0	۲.	۲・۱۸/・۹/۲۱	~~~ /		المراقبة والمراجع	149
17-11	١	7 • 1 9/ • 9/77		140. 11		11 (
WC \$1	×	۲・۱۸/۱۰/۰۳	1 1 0 0 0		لنكان	SC I
17-17	• / ٢	۲・۱۹/۰۸/۲۳				170

جدول ۲: اطلاعات مربوط به ایستگاههای نوساننگار محلی مستقر در خلیجفارس

۲-۳- منطقه مطالعاتی

خلیجفارس یک محیط آبی نیمه بسته است که از طریق تنگه هرمز و دریای عمان به دریای عرب متصل میشود. خلیجفارس با مساحت ۲۵۱۰۰۰ کیلومترمربع و متوسط عمق ۳۰ متر، محیطی پهناور و کمعمق محسوب میشود. این منطقه در معرض آبوهوای خشک و نیمه گرمسیری قرار دارد بهطوری که دمای هوا در زمستان تا صفر درجه سانتی گراد پایین می آید و در تابستان ممکن است به ۵۰ درجه سانتی گراد برسد که این امر سبب ایجاد نوسانات در سطح آب می شود [۲۳]. خلیجفارس به دلیل داشتن ذخایر نفت و گاز ازنظر سیاسی، نظامی و اقتصادی بسیار موردتوجه است

و یکی از شلوغترین آبراههای اقیانوس جهانی است. این محیط آبی شهرهای بزرگ ساحلی پرجمعیت را در خود جایداده است که در معرض طغیان ناشی از افزایش ارتفاع سطح آب قرار دارند /۲۴]. در این پژوهش آبهای سواحل شمالی خلیجفارس، جایی که ایران قرار دارد در فواصل ۲ و ۱۰ کیلومتری از ساحل برای مطالعه انتخابشدهاند. لازم به ذکر است از تمامی مشاهدات (شکل موجهای ارتفاعسنج) گذرهای مربوطه در فاصله ۲ و ۱۰ کیلومتری ساحل استفاده شده است. شکل(۱) موقعیت گذرهای انتخاب شده و ایستگاههای نوسان نگار محلی مورداستفاده در این پژوهش را نشان میدهد. پریسا آگار و همکار ان



شکل ۱: موقعیت گذرهای انتخابی مأموریت سنتینل-۱۳ و نوساننگار های محلی در منطقه ساحلی خلیجفارس

۳-روش تحقيق

در این بخش ابتدا به مبانی ارتفاع سنجی ماهوارهای و سپس به رویکردهای مورداستفاده برای بازتعقیب شکل موجهای بازگشتی در این پژوهش پرداخته می شود. در پایان نیز مراحل ایجاد سری زمانی ارتفاع سطح آب شرح داده می شود.

۳-۱- مبانی ارتفاعسنجی ماهوارهای

ارتفاع سنجهای ماهواره ای پالس های منظم با توان معین در محدوده الکترومغناطیس را به صورت پیوسته به سمت زمین می فرستند و توان های منعکس شده از سطح را توسط آنتن دریافت می کنند. توان دریافت شده که ناشی از تعامل پالس با سطح بازتاب دهنده است در فواصل معین (تحت عنوان گیت^۱) در یک پنجره زمانی با طول ثابت نمونه برداری می شود که به این توالی نمونه های جمع آوری شده شکل موج گویند [۲۵]. این شکل موج در اقیانوس آزاد از یک شکل استاندارد پیروی می کند که شامل یک لبه پیشین^۲ با

پسین^۳ که توان آن به دلیل الگوی حصول آنتن سنجنده و خروج از نادیر به تدریج کاهش می یابد. این فرم استاندارد با مدل تئوری براون که شکل موجهای اقیانوسی را توصیف می کند منطبق است [۲۶]. هدف اصلی ارتفاع سنجی ماهواره ای اندازه گیری فاصله از ماهواره تا سطح آب است. نقطه میانی در لبه پیشین شکل موج بازگشتی زمان بازگشت پالس از سطح آب را نشان می دهد. ازاین رو فاصله بین ارتفاع سنج و سطح آب از مدت زمان رفت وبرگشت پالس ارسالی و مقیاس با سرعت نور طبق رابطه (۱) برآورد می شود. رابطه (۱)

در رابطه (۱)، *R* فاصله بین ماهواره تا سطح آب، *C* سرعت نور و Δ*t* زمان رفتوبرگشت پالس ارسالی است [۲۷].

۳-۲- باز تعقیب شکل موج

همانطور که در مقدمه اشاره شد در اقیانوس آزاد شکل موجهای بازگشتی از یک شکل استاندارد تحـت عنـوان مدل براون پیروی میکنند.

^{&#}x27; Gate

^{*} Leading edge

^r Trailing edge



شکل ۲: نمونه شکل موجهای منطقه مطالعاتی (آ) گذر ۱۳۹، دوره ۴۰ و (ب) گذر ۲۵، دوره ۳۰

رابطه(۲)

 $C_{ret} = (G_r - G_0) \times \frac{C}{2} \times \tau$

درنهایت ارتفاع سطح دریا تصحیح شده SSH_{Corr}از رابطه (۳) به دست می آید.

$$SSH_{Corr} = H - (R + C_{ret}) - \Delta C$$
 (رابطه (۳)
در رابطه (۳)، H ارتفاع مداری ماهواره نسبت به یک
بیضوی مرجع، R فاصله حاصل از تعقیب گر ماهواره بر
مبنای گیت اسمی ارتفاع سنج و ΔC مجموعه ای از
تصحیحات شامل: تروپسفر تر و خشک، یونسفر، بایاس
وضعیت دریا²، جزر و مد (شامل اقیانوسی، بارگذاری^۲،
زمین صلب^۸ و قطبی^۹) و دینامیک اتمسفر است (۲۹].
 $R - T -$ باز تعقیب گرهای موجود در داده های سطح
دو ارتفاع سنج سرال

در دادههای سطح دو ارتفاعسنج سرال ۴ فاصله (فاصله بین ارتفاعسنج و سطح آب) حاصل از الگوریتمهای بازتعقیب اقیانوسی ۱۰، شیفت مرکز ثقل، آیس-شیت ۱۰ و

- ۹ Pole
- ^{\.} Ocean
- ¹¹ Ice-sheet

در این شکل استاندارد (مدل براون)، به گیت متناظر با نقطه میانی لبه پیشین که لحظه صحیح بازگشت پالس از سطح را نشان میدهد، گیت اسمی^۲ ارتفاعسنج گویند. در مناطق ساحلی به دلیل آلوده شدن ردیا ارتفاعسنج به خشكي و همچنين شرايط خاص اين مناطق، شكل موجها از مدل براون فاصله مي گيرند؛ لـذا گیت اسمی ارتفاعسنج دیگر معرف نقطه میانی لبه پیشین شکل موج نمی باشد. درنتیجه گیت اسمی منجر به فاصله نادرستی از سطح می شود. ازایــنرو بازتعقیـب شكل موج بهمنظور تعيين نقطه مياني لبه پيشين و اعمال تصحيح بازتعقيب^٣ به فاصله تعقيب گر⁴ ماهواره که بر مبنای گیت اسمی بهدست آمده است، ضروری است (۷ و ۲۸]. تصحيح بازتعقيب Cret از اختلاف بين گيت بازتعقيب شده⁶ و گیت اسمی ارتفاعسنج، با ضربدر عرض گیت نمونهبرداری طبق رابطه (۲) به دست می آید. G_r در رابطه(۲)، C سرعت نور، τ طول پالس ارسالی، گیت بازتعقیب شده و G. گیت اسمی است [۱۹].

^A Re-tracked Gate

[°] Sea State Bias

^v Load tide

[^] Solid earth tide

[`] Mid point

^v Nominal Gate

[&]quot; Re-tracking correction

^{*} Tracker

و سی-آیس ارائهشده است. بازتعقیب گر اقیانوسی موجود در دادههای سطح دو سرال که مدل تغییریافته الگوريتم بازتعقيب ساموسا است مدل رياضي شكل موجهای حاصل از برداشت چندمنظری ارتفاع سنجهای رادار با دریچه مصنوعی را توصیف میکند. مدل مذکور با در نظر گرفتن خصوصیات سطح بازتابدهنده و مشخصات خود ارتفاع سنج تعريف مى شود و درنهايت با انطباق این مدل به شکل موجهای بازگشتی، پارامترهای شکل موج استخراج می شود. الگوریتم های بازتعقیب آیس-شیت و سی-آیس که به ترتیب برای شکل موجهای منعکس از صفحات یخی و مناطق یخی-آبی طراحی شدہ اند بر اساس برازش کمترین مربعات یک مدل نیمه تحلیلی بافرم گوسی اصلاح شده^۲ بر شکل موج، به بازتعقیب شکل موج می پردازند. شکل موج در الگوریتم آیس-شیت با استفاده از ینج تابع پیوسته تکهای مدل می شود و در الگوریتم سی-آیس با یک تابع سه ضابطهای، به این صورت که لبه پیشین شکل موج با یک تابع گوسی، لبه پسین با یک تابع نمایی نزولی و بخش میانی شکل موج که مرتبط كننده لبه پیشین با لبه پسین است با یک تابع واسطه مدل می شود [۳۰].

۳–۴–الگوریتم شناسایی موجکهای معنادار شکل موجهای ساحلی معمولاً چندپیکی هستند که هرکدام از این پیکها خود میتوانند یک شکل موج کوچک باشند که به آنها موجک معنادار گفته می شود. این موجکهای معنادار را می توان با الگوریتمهای مختلف باز تعقیب کرد و بهترین تصحیح باز تعقیب را تعیین کرد (۳۱]. در این پژوهش برای شناسایی موجکهای معنادار از الگوریتم ارائه شده توسط هوانگ در سال ۲۰۰۶ استفاده شده است (۱۵]. برای تعیین موجکهای معنادار در یک شکل موج، ابتدا توانهای تفاضلی یگانه و دوگانه و همچنین انحراف

ارزیابی روش بازتعقیب اولین موجک شکل موج به منظور... پریسا آگار و همکاران

معیارهای آنها طبق رابطههای (۴) الی (۲) محاسبه میشود. $d_i^i = P_{i+1} - P_i \quad i = 1, 2, ..., N - 2$ (بابطه(۴)

$$d_2^i = P_{i+2} - P_i$$
 $i = 1, 2, ..., N - 2$ (۵) رابطه

$$S_{1} = \sqrt{\frac{(N-1)\sum_{i=1}^{N-1} (d_{1}^{i})^{2} - (\sum_{i=1}^{N-1} d_{1}^{i})^{2}}{(N-1)(N-2)}}$$
(8)

$$S_{2} = \sqrt{\frac{(N-2)\sum_{i=1}^{N-2} (d_{2}^{i})^{2} - (\sum_{i=1}^{N-2} d_{2}^{i})^{2}}{(N-2)(N-3)}} \qquad (Y)$$

 $E_1 = BS_1$ (٨) رابطه (٨)

$$E_2 = CS_2$$
 (۹) رابطه (۹)

در روابط (۴) الی (۹): P_i توان گیت i ام، d_r^i , d_r^i به ترتیب تفاضلیهای یگانه و دوگانـه، S_1 و S_1 به ترتیب انحراف معیارهای تفاضلی یگانه و دوگانـه و F_1 و F_2 و F_3 و بهعنوان ضرایبی از انحراف معیارهای تفاضلی یگانـه و دوگانه تعریف میشود. ضرایب B و C میتوانند مقادیر بین صفر تا یک را اختیار کنند. رویه از گیت شماره یک شروع میشود. اگر نصف توان تفاضلی دوگانه این گیت بزرگتر از F_1 باشد، گیت موردنظر بهعنوان گیت ابتدایی احتمالی موجک معنادار شناسایی میشود؛ حال ابتدایی احتمالی موجک معنادار شناسایی میشود؛ حال پس ازایـن گیت، بـزرگتـر از F_1 باشـند؛ موجـک شناسـاییشـده موجـک معنـادار خواهـد بـود [۵]. پرا (۲۵) موجـکهای معنـادار در گـذر ۲۵ بـه همـراه شروع و پایان لبه پیشین آنها کـه بـهوسـیله الگـوریتم شخیص موجک شناساییشده است را نشان میدهد.

Sea-ice

^{*} Modified gaussian



شکل ۳: موجکهای شناسایی شده در شکل موجی از گذر ۲۵، دوره ۲۷

۵-۳-رویکردهای بازتعقیب شــکل مــوج در ایــن پژوهش

با توجه به پیشینه پژوهش، یک الگوریتم بازتعقیب واحد را نمی توان برای بازتعقیب همه شکل موجها در نظر گرفت. زیرا با توجه به موقعیت منطقه مطالعاتی و شرایط حاکم، شکل موجها اشکال متفاوتی خواهند داشت. بر اساس پیشینه پژوهش، بازتعقیب موجکهای معنادار با استفاده از الگوریتم حد آستانه عملکرد خوبی داشته است. لذا در پژوهش حاضر نیز از این الگوریتم و با به کارگیری حد آستانههای ۱۰ الی ۹۰ درصد با گام ده واحدی استفاده شد.

۳-۵-۱-باز تعقیب کل شکل موج

بهعنوان اولین رویکرد مورداستفاده در این پژوهش، کل شکل موج با استفاده از الگوریتم حد آستانه بازتعقیب شد. الگوریتم بازتعقیب حد آستانه رویکردی کاملاً آماری دارد که از ابعاد مستطیل تعریفشده در الگوریتم بازتعقیب شیفت مرکز ثقل برای یافتن گیت بازتعقیب استفاده می کند. اجرای این الگوریتم آسان بوده اما به توپوگرافی سطح حساس است. معمولاً از این الگوریتم برای بازتعقیب شکل موج در مناطق ساحلی و دریاچهها استفاده می شود [۱۳ و ۳۱]. جزئیات الگوریتم بازتعقیب حد آستانه در روابط (۱۰) الی (۱۳) تشریح شده است.

$$A = \sqrt{\sum_{i=l+n_1}^{N-n_2} P_i^4(t)}$$

$$\sqrt{\sum_{i=l+n_1}^{N-n_2} P_i^2(t)}$$
(1.1)

$$P_{\rm N} = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^{5} P_i$$
 (11)

$$Th = P_N + q(A - P_N)$$
 (۱۲) رابطه (۱۲)

$$G_{R} = (K-1) + \frac{Th - P_{K-1}}{P_{K} - P_{K-1}}$$
(۱۳)

در روابط (۱۰) الی (۱۳): A دامنه کل شکل موج $n_1 = n_T = \delta$ (بدست آمده از الگوریتم شیفت مرکز ثقل)، $f = n_T = n_T$ تعداد گیتها، f توان شکل موج تعداد گیتهای شکل موج، N تعداد گیتها، F_i توان شکل موج انتهای شکل موج، N تعداد گیتها، F_i توان شکل موج c,گیت i ام، N نویز حرارتی، Th توان حد آستانه، pمقدار حد آستانه، K اولین گیتی که توان آن از توان حد آستانه فراتر می رود و G_R نیز گیت باز تعقیب است [17].

شکل (۴-الف) نمونهای از شکل موج اقیانوسی را نشان میدهد که در این حالت گیت بازتعقیب شده با الگوریتم حد آستانه با گیت بازتعقیب اسمی برابر است. ارتفاعسنج در این شکل موج تحت تأثیر عوامل مغشوش کننده شکل موج قرار نگرفته است. شکل (۴-ب) نمونهای از شکل موج مغشوش را نشان میدهد که گیت اسمی ارتفاعسنج منطبق بر نقطه میانی لبه پیشین شکل موج نیست.

[`]Aliasing



شکل ۴: باز تعقیب کل شکل موج با استفاده از الگوریتم حد آستانه با آستانه ۸۰ درصد در گذر ۱۳۹ (آ) دوره ۴۰ و (ب) دوره ۴۶

۳–۵–۲–باز تعقیب اولین موجک معنادار برای هرکدام از موجکهای معنادار شناسایی شده در شکل موج یک تصحیح حاصل از باز تعقیب به دست می آید. طبق نتایج حاصل از مطالعات پیشین که اولین موجک معنادار معمولاً ارتفاع سطح آب صحیح تری در آب های درون سرزمینی تولید می کند (۴ و ۳۲ ار این پژوهش نیز از رویکرد باز تعقیب اولین موجک معنادار طبق رابطه (۱۴) با استفاده از الگوریتم حد آستانه، استفاده شده است.

در رابطه (۱۴)، (*MS(i)* موجک معنادار *i* ام و *n* تعداد موجکهای معنادار شناسایی شده در یک شکل موج است /۳۳]. شکل (۵) نمونه ای از شکل موج چندپیکی به همراه گیتهای حاصل از باز تعقیب هر موجک را نشان می دهد. شکلهای (۶-الف) و (۶-ب) گیتهای باز تعقیب حاصل از دو رویکرد کل شکل موج و اولین موجک معنادار با استفاده از الگوریتم حدآستانه برای دو شکل موج از گذر های ۴۶۸ و ۲۵ را نمایش می دهند.

First sub-waveform : $MS(i) = \{1, 2, ..., n\}$ Selected sub-waveform = MS(1) (۱۴) رابطه (۱۴)



شکل ۵: باز تعقیب موجکهای معنادار شناسایی شده در گذر ۲۵ دوره ۴۳ با الگوریتم حدآستانه با آستانه ٪۹۰



شکل ۶: رویکردهای باز تعقیب اولین موجک معنادار و رویکرد بازتعقیب کل شکل موج با استفاده از الگوریتم حد آستانه (آ) گذر ۴۶۸ دوره ۳۱ (ب) گذر ۲۵ دوره ۳۱

۳–۶–محاسبه سری زمانی ارتفاع سطح آب و ارزیابی آن با نوساننگار محلی برای ایجاد یک سری زمانی از ارتفاع سطح آب و ارزیابی آن با سری زمانی ارتفاع سطح آب بهدستآمده از مشاهدات نوساننگار محلی مراحل ۱ تا ۵ در این پژوهش انجامشده است /۲۰ و ۳۱/ پژوهش انجامشده است /۲۰ و ۲۱/ ا-تشکیل سری زمانی ارتفاع سطح آب لحظهای سری زمانی ارتفاع سطح آب لحظهای برای هر گذر در هر دوره با استفاده از رویکردهای بازتعقیب شکل موج

شرح داده شده در روش تحقیق و پردازش دادههای

سطح دو با بهره گیری از رابطه (۳) تشکیل شد. با این تفاوت که برای ایجاد سری زمانی از بازتعقیب گرهای موجود در داده سطح دو در رابطه (۳) تصحیح حاصل از بازتعقیب وجود ندارد.

۲-حذف مشاهدات پرت در سری زمانی ارتفاع سطح آب لحظهای

با استفاده از مقدار میانگین سری زمانی ارتفاع سطح آب لحظهای در هر دوره (شکل (۲-الف)) و با سطح اطمینان ۹۵ درصد، دادههای پرت از سری زمانی ارتفاع سطح آب لحظهای خارج شدند (شکل (۲-ب)).



شکل ۷: (آ) سری زمانی ارتفاع سطح آب لحظهای بهدستآمده از گذر ۴۶۸ دوره ۳۹ به همراه میانگین ارتفاع سطح آب لحظهای (ب) اختلاف ارتفاع سطح آب لحظهای از میانگین و دادههای پرت شناسایی شده

ارزیابی روش بازتعقیب اولین موجک شکل موج به منظور ... یریسا آگار و همکار ان

(۱۶) استفادهشده است. ((۱۶) رابطه (۱۶) (
$$IMP^{r}$$
)

$$RMSE_{x,y} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} (X_{i} - Y_{i})^{2}}{n}}$$
(۱۵) رابطه (۱۵)

$$IMP = \frac{R_{base} - R_{comp}}{R_{base}} \times 100$$
 (۱۶) (۱۶)

در روابط (۱۵) و (۱۶)، *x* نتایج حاصل و *y* دادههای مرجع (نوسان نگار محلی)، *n* تعداد دادهها، *Rbase الم RMSE* سری زمانی ارتفاع سطح آب حاصل از به کارگیری روش مبنا (پردازش دادههای سطح دو و باز تعقیب کل شکل موج) و *RMSE Rcomp سر*ی زمانی ارتفاع سطح آب حاصل از رویکرد پیاده شده در این پژوهش (باز تعقیب اولین موجک معنادار) است.

۴- نتایج عددی و بحث

در این بخش نتایج عددی و نموداری سریهای زمانی ارتفاع سطح آب حاصل از پردازش دادههای سطح دو، بازتعقیب کل شکل موج و اولین موجک معنادار با استفاده از الگوریتم حد آستانه ارائهشده است. از آنجایی که رسالت رویکرد بازتعقیب موجکهای معنادار برخورد با شکل موجهای چندپیکی است، لذا برای بررسی کارایی این رویکرد، تحلیلی بر تعداد و درصد شکل موج های چندپیکی با استفاده از الگوریتم تشخیص موجکهای معنادار در هر دو فاصله ۲ و ۱۰ کیلومتری از ساحل صورت پذیرفت که نتایج در جدول (۳) ارائه شده است.

^{*} Improvement percentage

با کنار هم قرار دادن مقدار میانه سـری زمـانی ارتفـاع سطح آب لحظهای متناظر با هر دوره^۱، سری زمانی ارتفاع سطح آب هر گذر تشکیل شد. دلیل استفاده از میانه به جای میانگین این است که پارامتر میانه متأثر از مقادیر بسیار بزرگ یا بسیار کوچک در میان دادههای موردبررسی نیست و چون در رویه بکار گرفتهشده در این پژوهش و بسیاری از پژوهشهای مرتبط، دادههای ارتفاعی بخش نسبتاً بزرگی از گذر ماهواره بهمنظور افزایش تعداد مشاهدات (اعتمادیدیری بالاتر) در نظر گرفته شده است و با توجه به آنک نوسان نگار ارتفاع سطح آب لحظهای را ارائه می کند بدیهی است میانگین تطابق خوبی با آن نخواهد داشت و این در حالی است که میانه یک نماینده ارتفاع سطح آب لحظهای را معرفی می کند. در [۳۱] و [۳۴] نیز نشان داده شده است که استفاده از میانه در هر دوره منجر به نتایج بهتری نسبت به میانگین سری زمانی ارتفاع سطح آب می شود.

۳– سری زمانی ارتفاع سطح آب هر گذر

۴-جبران بایاس ناشی از اختلاف سطحمبنای ارتفاعی ارتفاعسنج و نوساننگار محلی

با توجه به اینکه سطحمبنای ارتفاعی دادههای ارتفاع سنجی مأموریت موردمطالعه بیضوی WGSA۴ بوده [۳۰] و سطحمبنای دادههای نوساننگار مورداستفاده محلی است، با استفاده از میانگین دو سری زمانی، اختلاف این دو سطحمبنا جبران شد.

۵- ارزیابی سری زمانی ارتفاع آب هر گذر حاصل از روشهای ذکرشده نسبت به سری زمانی حاصل از مشاهدات نوساننگار محلی با استفاده از پارامتر جزر خطای مربعی متوسط (۳*MSE*) (رابطه (۱۵)) بهعنوان شاخص معرفی کننده صحت نتایج صورت پذیرفت. برای بررسی میزان بهبود رویکردهای مورداستفاده نسبت به دادههای سطح دو از پارامتر درصد بهبود

[\] Cycle

^r Root Mean Square Error

۱۰ کیلومتر			ر	كيلومت	٢	فاصله تا ساحل
468	١٣٩	۲۵	468	١٣٩	۲۵	پارامتر /گذر
415	۳۹۱	٩٨٢	٧۴	178	۲۹۵	کل شکل موجھا
۵۰	۵۸	۶۲۹	۲۰	۳۳	209	شکل موجهای چند پیکی
١٢	۱۵	54	۲۷	۲۷	٧١	درصد (./)

جدول ۳: آنالیز شکل موجهای چند پیکی

طبق جدول (۳) گذر ۲۵ در هر دو فاصله ۲ و ۱۰ کیلومتری ساحل درصد شکل موجهای چندپیکی قابل توجه ای دارد که نشان می دهد ارتفاعسنج در هر دو فاصله در این گذر تحت تأثیر عوامل مغشوش کننده شکل موج قرار گرفته است ولی در دو گذر دیگر در فاصله ۱۰ کیلومتری تعداد شکل موجهای چندپیکی کم است. همچنین در فاصله ۲ کیلومتری نیز در این دو

گذر درصد شکل موجهای چندپیکی نسبت به گذر ۲۵ بسیار کمتر است.

در جدول (۴) نتایج عددی ارزیابی سریهای زمانی ارتفاع سطح آب حاصل از تعقیب گر و بازتعقیب گرهای موجود در داده سطح دو در مقایسه با نوسان نگار محلی با پارامتر RMSE ارائه شده است.

جدول ۴: مقدار (RMSE(cm سری زمانی ارتفاع سطح آب به دست آمده از تعقیب گر و باز تعقیب گرهای موجود در داده سطح دو در گذرهای انتخاب

در ندرهای انتخابی	

تر	۱ کیلوم	•	ر	كيلومت	فاصله تا ساحل	
491	١٣٩	۲۵	491	١٣٩	۲۵	بازتعقيب گر/گذر
١٣	17	٣٢	18	۲۷	۵۲	شيفت مركز ثقل
18	14	۳۹	18	22	180	اقيانوسى
78	۲۸	۵۷	۲۵	759	-	سى-آيس
14	17	۳۷	-	-	۵١	آيس-شيت
۴٨	۷۵	۴.	۴٨	777	٣٩	تعقيبكر

نتایج جدول (۴) نشان می دهد، باز تعقیب گرهای موجود در داده سطح دو در فاصله ۲ کیلومتری ساحل در گذر ۲۵ عملکرد خوبی ندارند. به طوری که تعقیب گر ماهواره که بر مبنای گیت اسمی شکل موج به محاسبه فاصله تا سطح می پردازد با مقدار ۳۹ *RMSE* سانتی متر عملکرد بهتری دارد. در گذر ۱۳۹ باز تعقیب اقیانوسی با مقدار ۲۲ *RMSE* مانتی متر و در گذر ۴۶۸ باز تعقیب شیفت مرکز ثقل و اقیانوسی با مقدار ۶۸۶ باز تعقیب سانتی متر نتایج بهتری حاصل کرده اند دلیل بهتر عمل کردن باز تعقیب گر اقیانوسی در این دو گذر تعداد پایین شکل موجهای چند پیکی است که در این صورت با

پیش فرض های این باز تعقیب گر همخوانی بیشتری دارد. همچنین در این فاصله نتایج نشان می دهد باز تعقیب گرهای آیس-شیت در دو گذر ۱۳۹ و ۴۶۸، سی-آیس در گذر ۲۵ فاقد اطلاعات ارتفاعی هستند لذا در این فاصله نمی توان از آنها استفاده کرد. در فاصله ۱۰ کیلومتری ساحل باز تعقیب گر شیفت مرکز ثقل بهترین عملکرد را در سه گذر ۴۶۸،۱۳۹،۲۵ با مقادیر RMSE به ترتیب ۳۲، ۱۲ و ۱۳ سانتی متر در میان باز تعقیب گرهای دیگر داشته است که نشان می دهد شکل موج-های این سه گذر در این فاصله همخوانی بیشتری با پیش فرض های این الگوریتم دارند. پریسا آگار و همکار ان

جدول (۵) مقادیر *RMSE* سریهای زمانی ارتفاع سطح آب بهدستآمده از الگوریتم حد آستانه بـا رویکردهـای اعمال این الگوریتم بر کل شکل مـوج و اولـین موجـک

	۱۰ کیلومتر			۲ کیلومتر	فاصله تا ساحل	
468	١٣٩	۲۵	467	١٣٩	۲۵	حد آستانه (./)/گذر
14/14	10/711	51/04	31/211	۱۸/۳۵۳	70/49	١.
10/10	14/08	۲ ۱/۳ ۱	13/427	18/871	۱۹/۵۰	۲.
14/14	۱۳/۳۸	۲۰/۲۶	18/298	18/779	۲۱/۵۱	٣٠
14/14	14/14	۲۰/۲۸	11/188	۱۵/۸۶	27/28	۴.
10/18	13/13	۲۰/۲۹	17/110	10/51	80/18	۵۰
14/14	13/15	۲۰/۳۱	17/32	10/51	۳۰/۳۸	۶.
10/14	17/17	۱۹/۳۲	17/18	۱۵/۲۸	8.148	٧٠
18/18	17/17	۱۹/۳۲	17/10	18/78	۲۹/۵۲	٨٠
10/18	11/17	۱۸/۳۲	11/10	17/78	۲۹/۵۲	٩٠

جدول ۵: مقدار (RMSE(cm سریهای زمانی ارتفاع سطح آب بهدست آمده از اعمال الگوریتم باز تعقیب حد آستانه برکل شکل موج و اولین موجک معنادار با مقادیر آستانه مختلف در گذر های انتخابی (RMSE: First sub-waveform/Full waveform)

۹۰٪ با مقدار ۲۳۸۶۶ ۱۲ سانتیمتر و در گذر ۴۶۸ به ازای ۵۰٪، ۸۰٪ و ۹۰٪ با ۱۳ *RMSE* سانتیمتر حاصل شده است؛ همچنین نتیجه بهینه با رویکرد باز تعقیب اولین موجک معنادار با استفاده از الگوریتم حد آستانه در گذر ۲۵ به ازای آستانه ۹۰٪ با *RMSE* مدا استانی متر، در گذر ۱۳۹ به ازای آستانه ۹۰٪ با مقدار ۱۱ *RMSE* مقدار ۶۰٪ با ازای آستانه ۹۰٪ با استانههای ۱۰٪، ۳۰٪، ۴۰٪ و ۶۰٪ با ۲۰ سانتیمتر حاصل شده است.

جدول (۶) مقادیر RMSE سریهای زمانی ارتفاع سطح آب بهینه بهدستآمده از رویکردهای پردازش داده سطح دو، بازتعقیب کل شکل موج و اولین موجک معنادار با استفاده از الگوریتم حد آستانه به همراه درصد بهبودهای حاصل شده از رویکرد بازتعقیب اولین موجک معنادار نسبت به رویکرد کل شکل موج و پردازش داده سطح دو را ارائه میدهد. نتایج جدول (۵) در فاصله ۲ کیلومتری نشان می دهد: نتیجه بهینه با رویکرد بازتعقیب کل شکل موج با استفاده از الگوریتم حد آستانه در گذر ۲۵ به ازای آستانههای ۴۰٪ و ۵۰٪ با ۲۶ RMS۶ سانتیمتر، در گذر ۱۳۹ به ازای ۵۰٪ و ۶۰٪ با مقدار SN گذر ۱۳۹ به ازای ۵۰٪ و ۶۰٪ با مقدار ۲۹ RMSE به ازای ۵۰٪ و ۶۰٪ با مقدار ۲۹ الکوریتم حد آستانه در گذر ۲۵ به ازای آستانه ۲۰٪ با الگوریتم حد آستانه در گذر ۲۵ به ازای آستانه ۲۰٪ با الگوریتم حد آستانه در گذر ۲۵ به ازای آستانه های الگوریتم حد آستانه در گذر ۱۳۹ به ازای آستانههای ۱۹ RMSE به ازای آستانههای ۲۰٪ و ۶۰٪ با مقدار ۶۰٪ ۱۱ RMSE به ازای آستانههای ۲۰٪ و ۶۰٪ با مقدار ۲۰ مانتیمتر حاصلشده است.

بازتعقیب کل شکل موج با استفاده از الگوریتم حد آستانه در گذر ۲۵ به ازای آستانه ۳۰٪ با ۲۶ RMSE سانتیمتر، در گذر ۱۳۹ به ازای آستانههای ۶۰٪ تا

۱۰ کیلومتر			نر	۱ کیلوما	٢	فاصله تا ساحل
468	١٣٩	۲۵	467	١٣٩	۲۵	بازتعقيب گر/گذر
۱۳	17	٣٢	18	77	٣٩	سطح دو
۱۳	17	79	۱۵	21	78	کل شکل موج
14	11	١٨	11	۱۵	۱۹	اولين موجك معنادار
$-\lambda$	٨	۳١	۲۷	29	۲۷	درصد بهبود (٪) (كل شكل موج)
-λ	٨	44	۳١	٣٢	۵١	درصد بهبود (٪) (سطح دو)

جدول ۶: مقدار (*cm* سریهای زمانی ارتفاع سطح آب بهینه حاصل از پردازش داده سطح دو و رویکردهای بازتعقیب کل شکل موج و اولین موجک معنادار با الگوریتم حدآستانه

طبق جدول (۶)، نتایج نشان میدهد رویکرد بازتعقیب اولین موجک معنادار با استفاده از الگوریتم حد آستانه در فاصله ۲ کیلومتری ساحل در هر سه گذر ۲۵، ۱۳۹ و ۴۶۸ مقدار *RMSE* را نسبت به بازتعقیب کل شکل موج با استفاده از الگوریتم حد آستانه به ترتیب ۲۷٪، موج با استفاده از الگوریتم حد آستانه به ترتیب ۲۵٪، ۲۹٪ و ۲۷٪ و نسبت به داده سطح دو به ترتیب ۱۵٪، ۳۲٪ و ۳۱٪ بهبود داده است. در فاصله ۱۰ کیلومتری ساحل نیز این رویکرد در دو گذر ۲۵ و ۱۳۹ مقدار *RMSE* را نسبت به بازتعقیب کل شکل موج با استفاده از بازتعقیب حد آستانه به ترتیب ۳۱٪ و ۸٪ و ۱۰۰ مقدار داده سطح دو به ترتیب ۴۴٪ و ۸٪ بهبود داده است. لازم به ذکر است در دو گذر ۱۳۹ و ۴۶۸ در فاصله ۱۰ کیلومتری ساحل به دلیل درصد پایین شکل موجهای

است. همچنین نتایج نشان میدهد رویکرد بازتعقیب کل شکل موج نیز با استفاده از الگوریتم حد آستانه در فاصله ۲ کیلومتری ساحل، درگذر های ۲۵، ۱۳۹ و ۴۶۸ صحت سری زمانی سطح آب را به ترتیب ۱۳، ۱ و ۱ سانتیمتر نسبت به پردازش دادههای سطح دو بهبود داده است. و در فاصله ۱۰ کیلومتری در گذر ۲۵ سبب بهبود ۶ سانتیمتر و در دو گذر دیگر نتایجی یکسان با پردازش داده سطح دو حاصل کرده است.

نمودارهای میلهای نمایش دادهشده در شکل (۸) بهصورت بصری مقادیر RMSE سریهای زمانی ارتفاع سطح آب حاصل از سه رویکرد پردازش دادههای سطح دو، بازتعقیب کل شکل موج و اولین موجک معنادار با استفاده از الگوریتم حد آستانه، در سه گذر و در دو فاصله ۲ و ۱۰ کیلومتری از ساحل را نمایش میدهند.



شکل ۸: مقدار (RMSE (cm سریهای زمانی ارتفاع سطح آب در سه گذر انتخابی (الف) ۲ کیلومتری (ب) ۱۰ کیلومتری ساحل

Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2025-07-05

از ساحل کاملاً مشهود است. در شکلهای (۱۰) و (۱۱) سازگاری در فاصله ۲ کیلومتری از ساحل به خوبی نمایان است به این دلیل که در فاصله ۱۰ کیلومتری در این گذرها به سبب درصد شکل موجهای چندپیکی پایین رویکرد بازتعقیب اولین موجک معنادار با دو رویکرد دیگر یعنی پردازش دادههای سطح دو و بازتعقیب کل شکل موج نتایجی مشابه حاصل کرده است.

شکلهای (۹) الی (۱۱) سریهای زمانی ارتفاع سطح آب بهینه به ازای سه رویکرد انجامشده در این پژوهش در فاصله ۲ و ۱۰ کیلومتری ساحل را نشان میدهند. همان طور که در اشکال گویا است، سریهای زمانی ارتفاع سطح آب که از رویکرد بازتعقیب اولین موجک معنادار حاصل شدهاند، سازگاری بیشتری با سری زمانی ارتفاع سطح آب حاصل از نوسان نگار محلی دارند. در شکل (۹-الف) و (۹-ب) این سازگاری در هر دو فاصله



شکل ۹: سریهای زمانی بهینه ارتفاع سطح آب حاصل از پردازش دادههای سطح دو، باز تعقیب اولین موجک معنادار و باز تعقیب کل شکل موج در گذر ۲۵، (آ) ۲ کیلومتری (ب) ۱۰ کیلومتری ساحل



شکل ۱۰: سریهای زمانی بهینه ارتفاع سطح آب حاصل از پردازش دادههای سطح دو، باز تعقیب اولین موجک معنادار و باز تعقیب کل شکل موج در گذر ۱۳۹، (آ) ۲ کیلومتری (ب) ۱۰ کیلومتری ساحل



شکل ۱۱: سریهای زمانی بهینه ارتفاع سطح آب حاصل از پردازش دادههای سطح دو، باز تعقیب اولین موجک معنادار و باز تعقیب کل شکل موج در گذر ۴۶۸، (آ) ۲ کیلومتری (ب) ۱۰ کیلومتری ساحل

۵- خلاصه و نتیجهگیری

خلیجفارس ازنظر اقتصادی، سیاسی و نظامی یک آبراه مهم در جهان بشمار میآید، همچنین جمعیت زیادی را در سواحل خود جایداده است، لذا پایش ارتفاعی سطح آب در این ناحیه ضروری است. ازاینرو در این پژوهش پایش ارتفاعی سطح آب در مناطق ساحلی خلیجفارس در بازه زمانی ۲۰۱۸/۰۱/۱۷ اللی نطح داده یک و دو ارتفاع سنج ماهواره سنتینل-۱۳ که سطح داده یک و دو ارتفاع سنج ماهواره سنتینل-۱۳ که پوشش می دهد، استفاده شد. ۳ گذر ۲۵، ۱۳۹ و ۴۶۸ پوشش می دهد، استفاده شد. ۳ گذر زمینی ارتفاع سنج به ایستگاههای نوسان نگار محلی بندر بوشهر و کنگان در ایس منطقه برای پردازش انتخاب شدند.

جهت محاسبه ارتفاع سطح آب، دادههای ارتفاعسنجی سطح دو و یک با رویکردهای بازتعقیب کل شکل موج و اولین موجک معنادار با الگوریتم حد آستانه پردازش شدند. از آنجایی که رسالت رویکرد بازتعقیب موجکهای معنادار در شکل موج برخورد با شکل موجهای چند-پیکی است لذا در این پژوهش توانایی این رویکرد در مناطقی بسیار نزدیک به ساحل (۲ و ۱۰ کیلومتر) جایی که عوامل مغشوش کننده شکل موج وجود دارد بررسیشده است. سری زمانی ارتفاع سطح آب حاصل

از این رویکردها با دادههای نوساننگار محلی و پارامتر RMSE ارزیابی شد. خلاصه نتایج را میتوان به شرح زیر بیان نمود:

- نتایج پردازش دادههای سطح دو در فاصله دو کیلومتری برای گذر ۲۵ نشان داد که این بازتعقیب گرها توانایی بازیابی ارتفاع سطح آب در این گذر با درصد شکل موجهای چند-پیکی زیاد (۲۱٪) را ندارند. چهبسا در این فاصله ارتفاع سطح آب حاصل از تعقیب گر ماهواره از بازتعقیب گرهای موجود در داده سطح دو بهتر عمل کرده است؛ لذا می توان استنتاج کرد که لزوماً هر بازتعقیب گری سبب بهبود صحت سری زمانی ارتفاع سطح آب نمی شود.
- در فاصله ۱۰ کیلومتری ساحل بازتعقیب گر شیفت مرکز ثقل موجود در داده سطح دو در هر سه گذر نتایج بهینه نسبت به سایر بازتعقیب گرهای موجود در داده سطح دو حاصل کرده است که می توان استدلال کرد شکل موجها در این فاصله همخوانی بیشتری با پیشفرضهای این الگوریتم دارند.
- رویکرد اولین موجک معنادار در فاصله ۲ کیلومتری
 از ساحل در هر سه گذر ۲۵، ۱۳۹ و ۴۶۸ با درصـد
 شکل موجهای چندپیکی قابلتوجـه (بـه ترتیـب
 ۷۱٪، ۲۷٪ و ۲۷٪) از دو رویکرد دیگـر بهتـر عمـل

ارزیابی روش بازتعقیب اولین موجک شکل موج به منظور ... پریسا آگار و همکار ان

در فاصله ۱۰ کیلومتری رویکرد بازتعقیب اولین موجک معنادار در دو گذر ۱۳۹ و ۴۶۸ با دو رویکرد دیگر نتایج مشابهی حاصل کرده است که این امر به دلیل درصد پایین شکل موجهای چندپیکی در دو گذر (به ترتیب ۱۵٪ و ۱۲٪) است. البته استفاده از الگوریتمهای بازتعقیب دیگر نظیر ساموسا [۱۰] در این دو گذر ممکن است نتایج را بهبود دهد.

- [1] L. D. Wright, J. Syvitski, and C. R. Nichols, "Coastal systems in the Anthropocene", in Tomorrow's Coasts: Complex and Impermanent, ed: Springer, 2019, pp. 85-99.
- [2] J. Benveniste, A. Cazenave, S. Vignudelli, L. Fenoglio-Marc, R. Shah, R. Almar, et al., "Requirements for a Coastal Hazards Observing System", Frontiers in Marine Science, vol. 6, p.348, 2019-July-17 2019.
- [3] P. Cipollini, F. M. Calafat, S. Jevrejeva, A. Melet, and P. Prandi, "Monitoring Sea Level in the Coastal Zone with Satellite Altimetry and Tide Gauges", Surveys in Geophysics, vol. 38, pp. 33-57, 2017/01/01 2017.
- [4] S. Roohi, A. Amini, B. Voosoghi, and D. Battles, "Lake Monitoring from a Combination of Multi Copernicus Missions: Sentinel-1 A and B and Sentinel-3A", J Hydrogeol Hydrol Eng 8:3, 2019.
- [5] G. Feng and S. Jin, "Sea level changes along global coasts from satellite altimetry, GPS and tide gauges", Satellite positioning: methods, models and applications. Rijeka, Croatia: InTech-Publisher, 2015, pp. 97-113.
- [6] G. Brown, "The average impulse response of a rough surface and its applications", IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 25, pp. 67-74, 1977.
- [7] S. Vignudelli, F. Birol, J. Benveniste, L.-L. Fu, N. Picot, M. Raynal, et al., "Satellite

کرده و مقدار *RMSE* را بهطور قابل توجهای نسبت به داده سطح دو به ترتیب ۵۱٪، ۳۲٪ و ۳۱٪ بهبود داده است در فاصله ۱۰ کیلومتری نیز در گذر ۲۵ با توجه به درصد شکل موجهای قابل توجه (۶۴٪) نسبت به دو رویکرد دیگر بهتر عمل کرده است که این توانایی این رویکرد را در برخورد با شکل موج-های چندپیکی نشان میدهد.

مراجع

Altimetry Measurements of Sea Level in the Coastal Zone" Surveys in Geophysics, vol. 40, pp. 1319-1349, 2019/11/01 2019.

- [8] R. K. Raney, "The delay/Doppler radar altimeter" IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, vol. 36, pp. 1578-1588, 1998.
- [9] Sentinel-3 and Team, Sentinel-3 User Handbook, EUMETSAT, 2013.
- [10]N. H. Idris, S. Vignudelli, and X. Deng, "Assessment of retracked sea levels from Sentinel-3A Synthetic Aperture Radar (SAR) mode altimetry over the marginal seas at Southeast Asia" International Journal of Remote Sensing, vol. 42, pp. 1535-1555, 2021/02/16 2021.
- [11]C. Gommenginger, P. Thibaut, L. Fenoglio-Marc, G. Quartly, X. Deng, J. Gómez-Enri, et al., "Retracking Altimeter Waveforms Near the Coasts" in Coastal Altimetry, S. Vignudelli, A. G. Kostianoy, P. Cipollini, and J. Benveniste, Eds., ed Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2011, pp. 61-101.
- [12]Wingham, D. J., C. G. Rapley, and H. Griffiths. "New techniques in satellite altimeter tracking systems", In Proceedings of IGARSS, vol. 86, pp. 1339-1344. 1986.
- [13]C. H. Davis, "Growth of the Greenland ice sheet: a performance assessment of altimeter retracking algorithms", IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, vol. 33, pp. 1108-1116, 1995.

- [14]C. H. Davis, "A robust threshold retracking algorithm for measuring ice-sheet surface elevation change from satellite radar altimeters", IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, vol. 35, pp. 974-979, 1997.
- [15]C. Hwang, J. Guo, X. Deng, H.-Y. Hsu, and Y. Liu, "Coastal Gravity Anomalies from Retracked Geosat/GM Altimetry: Improvement, Limitation and the Role of Airborne Gravity Data", Journal of Geodesy, vol. 80, pp. 204-216, 2006/07/01 2006.
- [16]H. Lee, C. K. Shum, W. Emery, S. Calmant, X. Deng, C.-Y. Kuo, et al., "Validation of Jason-2 Altimeter Data by Waveform Retracking over California Coastal Ocean", Marine Geodesy, vol. 33, pp. 304-316, 2010/08/16 2010.
- [17]J. Guo, Y. Gao, C. Hwang, and J. Sun, "A multi-subwaveform parametric retracker of the radar satellite altimetric waveform and recovery of gravity anomalies over coastal oceans", Science China Earth Sciences, vol. 53, pp. 610-616, 2010/04/01 2010.
- [18]L. Yang, M. Lin, Q. Liu, and D. Pan, "A coastal altimetry retracking strategy based on waveform classification and subwaveform extraction", International Journal of Remote Sensing, vol. 33, pp. 7806-7819, 2012/12/20 2012.
- [19]R. Arabsahebi, B. Voosoghi, and M. J. Tourian, "The Inflection-Point Retracking Algorithm: Improved Jason-2 Sea Surface Heights in the Strait of Hormuz", Marine Geodesy, vol. 41, pp. 331-352, 2018/07/04 2018.
- [20]S. Roohi, N. Sneeuw, J. Benveniste, S. Dinardo, E. A. Issawy, and G. Zhang, "Evaluation of CryoSat-2 water level derived from different retracking scenarios over selected inland water bodies",

Advances in Space Research, vol. 68, pp. 947-962, 2019/07/02/2019.

- [21]M. Khaki, E. Forootan, M. A. Sharifi, and A. Safari, "Using new approach 'ExtR method'to retrack satellite radar altimetry; case study: Persian Gulf", Journal of the Earth and Space Physics, vol. 41, pp. 257-271, 2015.
- [22]K. Lari and M. Abrehdary, "Combination T/P and jason-1 satellite altimetry data for determination of sea surface topography in Persian Gulf and Oman Sea", Journal of Marine Science and Technology, vol. 11, pp. 31-41, 2012.
- [23]E. Forootan, R. Rietbroek, J. Kusche, M. A. Sharifi, J. L. Awange, M. Schmidt, et al., "Separation of large scale water storage patterns over Iran using GRACE, altimetry and hydrological data", Remote Sensing of Environment, vol. 140, pp. 580-595, 2014/01/01/2014.
- [24]Christopher G Piecuch, Ichiro Fukumori, and R. M. Ponte, "Intraseasonal Sea-Level Variability in the Persian Gulf", Earth and Space Science Open Archive, 2020.
- [25]S. Vignudelli, A. Scozzari, R. Abileah, J. Gómez-Enri, J. Benveniste, and P. Cipollini, "Chapter Four - Water surface elevation in coastal and inland waters using satellite radar altimetry", in Extreme Hydroclimatic Events and Multivariate Hazards in a Changing Environment, V. Maggioni and C. Massari, Eds., ed: Elsevier, 2019, pp. 87-127.
- [26]R. Arabsahebi, B. voosoghi, and M.-J. Tourian, "Sensitivity Analysis of Brown Model Waveform in Radar Altimetry", Journal of Geospatial Information Technology, vol. 8, pp. 21-38, 2020.
- [27]D. Chelton, J. Ries, B. Haines, L. Fu, and P. Callahan, "Satellite Altimetry", In Satellite Altimetry and Earth Sciences: A

ارزیابی روش بازتعقیب اولین موجک شکل موج به منظور...

پریسا آگار و همکار ان

Handbook for Techniques and Applications. Edited by L.-L. Fu and A. Cazenave, ed: Academic Press, San Diego, 2001, pp. 1-122.

- [28]N. H. Idris, "Regional validation of the Coastal Altimetry Waveform Retracking Expert System (CAWRES) over the largest archipelago in Southeast Asian seas", International Journal of Remote Sensing, vol. 41, pp. 5680-5694, 2020/08/02 2020.
- [29]J. Yuan, J. Guo, Y. Niu, C. Zhu, Z. Li, and X. Liu, "Denoising Effect of Jason-1 Altimeter Waveforms with Singular Spectrum Analysis: A Case Study of Modelling Mean Sea Surface Height over South China Sea", Journal of Marine Science and Engineering, vol. 8, p. 426, 2020.
- [30]Satellites CL. Surface Topography Mission (STM) Sral/Mwr L2 Algorithms Definition, Accuracy and Specification. S3PAD-RS-CLS-SD03-00017; 2011.
- [31]Roohi, S., "Capability of pulse-limited satellite radar altimetry to monitor inland water bodies" Master Thesis, University of Stuttgart, 2015.
- [32]D. Ganguly, S. Chander, S. Desai, and P. Chauhan, "A Subwaveform-Based Retracker for Multipeak Waveforms: A Case Study over Ukai Dam/Reservoir", Marine Geodesy, vol. 38, pp. 581-596, 2015/09/10 2015.
- [33]A. Amini, P. Agar, M. Mostafavi, A. Sabilian, and S. Roohi, "A New Approach of Waveform Re-Tracking for Monitoring Sea Surface Topography in the Strait of Hormuz", presented at the Modern

Geomatics Technologies and Applications Conference, Tabriz, Iran, 2021

[34]A. Amini, "Monitoring lakes water variations using satellite altimetry observations and radar SAR images", Master Thesis, Faculty of Geodesy and Geomatics, K.N. Toosi University of Technology, 2019.



Journal of Geospatial Information Technology Vol.10, No.4, Winter 2023

Research Paper

Evaluation of the First Sub-waveform Re-tracking method to improve the accuracy of satellite altimetry observations in coastal areas (Case Study: Coastal Area of the Persian Gulf)

Parisa Agar^{1*}, Behzad Voosoghi², Shirzad Roohi³, Arash Amini⁴

Abstract

Radar satellite is a kind of remote sensing techniques for monitoring water bodies. In coastal areas due to the presence of non-water objects inside the footprint, the radar waveforms are deviated from the so-called ocean model, i.e. Brown shape. This makes the ranges and consequently water level measurements erroneous. Therefore, re-tracking the waveforms in this area is necessary to provide reliable products. In this study, water level variations at 2 and 10 km distance from the coast from 2018/01/17 to 2019/09/27 have been investigated. To this end, L2 and L1b data of SRAL altimeter sensor of Sentinel-3 along the tracks of 25,139 and 468 have been used. We estimated the water level variation from re-tracking the first meaningful sub-waveform, from re-tracking the whole waveform with the threshold re-tracker and from L2 products. These water levels have been validated against in-situ gauge data from Boshahr and Kangan tide gauge stations. We found that at 2 km distance from the coast, the re-tracking of the first meaningful sub-waveform with an improvement of RMSE of 27%, 29% and 27% with respect to the re-tracking the whole waveform shows a better performance for the three mentioned tracks (with 71%, 27% and 27% multi-peak waveforms) respectively. The RMSEs improvement of this scenario are about 51%, 32% and 31% with respect to the L2 products for the three tracks. At 10 km from the coast, over tracks of 25 and 139 with 64% and 15% multipeak waveforms, the first sub-waveform scenario has an improvement of 31% and 8% with respect to the whole waveform scenario. It outperforms the L2 products with an improvement of 44% and 8% for these two tracks respectively at this distance from the cost. In the case of track 468 due to the lower number of multipeak waveforms (about 12%) we came up with the same result for L1b and L2 products. While the results express the necessity of re-tracking coastal waveforms, they introduce the optimal performance of the first meaningful sub-waveform re-tracking.

Key words: Radar Altimeter, Sentinel-r, Coastal area, SAR, First meaningful Sub-waveform Re-tracking.

¹⁻ M.sc Student of Faculty of Geodesy and Geomatics Engineering, K. N. Toosi University of Technology, Tehran, Iran

Associate Professor of Faculty of Geodesy and Geomatics Engineering, K. N. Toosi University of Technology, Tehran, Iran
 Assistant Professor in Department of Geomatics Engineering, South Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

⁴⁻ Graduated in Master Degree, Department of Geodesy and Geomatics Engineering, K. N. Toosi University of Technology

Correspondence Address: No. 1346, ValiAsr Street, Mirdamad cross, Geomatics Engineering Faculty, K.N. Toosi University of Technology, Tehran, Iran. Tel: 021-88786212 Email: parisaagar1995@email.kntu.ac.ir