

مدلسازی خیزآب ناشی از طوفان‌های حاره‌ای ناناوک و آشوبا در محدوده سواحل مکران

احمد رضایی مزیک^{۱*}، عقیل حاج مومنی^۲

^۱ کارشناس ارشد سازه‌های دریایی، شرکت مهندسی مشاور سازه پردازی ایران، rezaee_ahmad@yahoo.com
^۲ سرگروه بخش مطالعات دریایی و ساحلی، شرکت مهندسی مشاور سازه پردازی ایران، hajmomeni@gmail.com

اطلاعات مقاله	چکیده
تاریخچه مقاله: تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۹/۱۰/۰۴ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۰۴/۲۲	خیزآب طوفان‌های حاره‌ای یکی از پارامترهای کلیدی در طراحی سازه‌ها و مدیریت نوار ساحلی است. از اینرو در مقاله حاضر به بررسی خیزآب ناشی از طوفان‌های حاره‌ای ناناوک و آشوبا در محدوده سواحل مکران پرداخته شده است. در تحقیق حاضر علاوه بر تحلیل اطلاعات ایستگاه‌های ترازسنجی جهانی، به بررسی اثرات شرایط مرزی و دقت میدان داده‌های بازتحلیل، پارامتریک و مدل WRF در مدلسازی خیزآب پرداخته شده است. بررسی داده‌های اندازه‌گیری ترازسنجی در ایستگاه چابهار نشان دهنده حداکثر مقدار خیزآب ۰/۳۸ و ۰/۳۶ متر پس از اتمام زمان طوفان حاره‌ای مورد بررسی و اثرات ثانویه آن‌ها برای چندین روز در محدوده سواحل مورد مطالعه است. اعمال شرایط مرزی به صورت مغایرت تراز سطح آب منجر به تدقیق مقادیر مدلسازی خیزآب می‌گردد. نتایج حاصل از میدان باد داده‌های بازتحلیل ERA5 و مدل WRF دقت مناسبی در محدوده سواحل مورد مطالعه داشته و از آن‌ها برای شبیه‌سازی خیزآب در محدوده سواحل مکران می‌توان استفاده نمود. حداکثر مقدار خیزآب بدست آمده بر اساس میدان باد ERA5 در ایستگاه چابهار در طوفان ناناوک و آشوبا به ترتیب برابر ۰/۲۵ و ۰/۳۴ متر بوده است.
کلمات کلیدی: سواحل مکران طوفان حاره‌ای اثرات ثانویه خیزآب مغایرت تراز سطح آب میدان باد بازتحلیل	

Numerical Modeling of the Storm Surge of NANAUK and ASHOOBA Tropical Cyclones in the Makran Coasts

Ahmad Rezaee Mazyak^{1*}, Aghil Hajmomeni²

¹ Senior Coastal Engineer, Sazeh Pardazi Iran Consulting Engineers Co.; a.rezaeemazyak@modares.ac.ir

² Department Head of Marine and Coastal study, Sazeh Pardazi Iran Consulting Engineers Co.; hajmomeni@gmail.com

ARTICLE INFO

Article History:

Received: 24 Dec. 2020

Accepted: 13 Jul. 2021

Keywords:

Makran coasts

Tropical cyclone

Secondary effect of storm surge

Sea surface anomaly (SSA)

Reanalysis wind field

ABSTRACT

Tropical cyclone storm surge is one of the key parameters in the design of coastal structures and shoreline management plans. Therefore, the storm surge of the Nanauk and Ashooba tropical cyclone has been investigated on the Makran coasts. In this study, in addition to the analysis of the global sea level monitoring station data, the effects of boundary conditions and wind field accuracy of reanalysis, parametric and WRF model data have been investigated in storm surge modeling. Analysis of water level observations shows that the maximum storm surge (0.38 and 0.36 m) occurred after the tropical cyclone landfall. Furthermore, the secondary effects of tropical cyclones cause the movement of the water body and storm surge for several days. Considering the Sea Surface Anomaly (SSA) as the open boundary condition has led to improved numerical model results. The storm surge results of the ERA5 and WRF wind field have appropriate accuracy in Makran coasts. The maximum value of storm surge obtained based on ERA5 wind field at Chabahar station in Nanauk and Ashooba tropical cyclone is 0.25 and 0.34 m, respectively.

۱ - مقدمه

یکی از پارامترهای موثر در مباحث طراحی سازه‌های ساحلی و مدیریت نوار ساحلی تعیین تغییرات تراز آب در محدوده ساحلی است. به طور کلی تغییرات تراز دریا شامل تغییرات جزر و مدی و تغییرات ناشی از عوامل جوی می‌باشد. عامل اصلی تغییرات تراز ناشی از عوامل جوی، اصطکاک هوا و دریا و تغییرات فشار است. تغییرات تراز سطح آب ناشی از اثر توام وزش باد و تغییرات فشار، مد طوفان یا خیزآب نامیده می‌شود. در طوفان‌های حاره‌ای به دلیل رخداد همزمان افزایش سرعت باد و افت فشار بارومتریک میزان تغییرات تراز سطح آب قابل توجه می‌باشد.

با توجه به اهمیت تعیین مقدار مدطوفان در برنامه‌ریزی مدیریت محدوده ساحلی، تعیین حریم ساخت و ساز و همچنین پیشگیری از خسارات ناشی از آن، در مطالعات زیادی به بررسی این پدیده پرداخته شده است. مشهدی و همکاران (۱۳۹۲) به شبیه‌سازی امواج و خیزآب ناشی از طوفان گونو در محدوده خلیج چابهار پرداخته‌اند. نتایج نشان می‌دهد که بیشترین میزان خیزآب ناشی از طوفان گونو تقریباً برابر ۵۰ سانتی‌متر و در سواحل غربی خلیج چابهار اتفاق افتاده است [۱]. زنگانه (۱۳۹۴) به مدلسازی خیزآب در محدوده سواحل نکا در دریای خزر پرداخته است. در مطالعه وی شبیه‌سازی ۱۲ ساله خیزآب بر اساس داده‌های باد ECMWF انجام شده است. با توجه به تحلیل حدی انجام گرفته، نتایج نشان دهنده میزان ۲۷ سانتی‌متری خیزآب برای دوره بازگشت ۱۰۰ سال است [۲]. نعمتی و همکاران (۱۳۹۵) اثرات طوفان حاره‌ای آشوبا در محدوده سواحل مکران را مورد بررسی قرار داده‌اند. در مطالعه انجام گرفته سرعت و جهت جریان‌های دریایی، تراز سطح آب و دمای آب با استفاده از تئوری موجک مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهد که طوفان آشوبا موجب شکل‌گیری امواج با پریودهای بسیار زیاد در محدوده سواحل مکران گردیده است [۳]. بختیاری و همکاران (۲۰۱۸) در مطالعات فاز ششم پروژه پایش و شبیه‌سازی سواحل کشور به بررسی امواج و خیزآب ۳۲ طوفان حاره‌ای رخ داده در محدوده دریای عرب و اثرات آن‌ها بر سواحل مکران پرداخته‌اند. نتایج این تحقیق نشان از دست پایین بودن مقادیر خیزآب بر اساس مدلسازی‌ها دارد [۴].

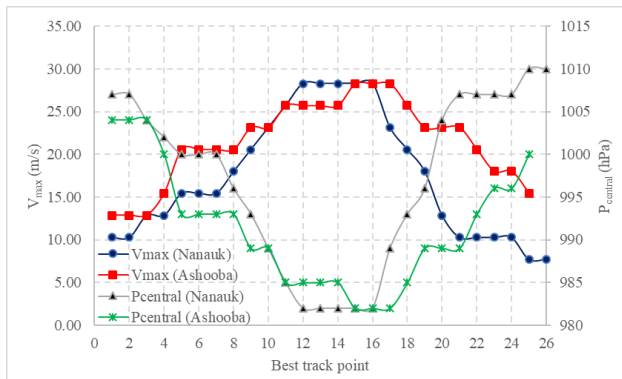
بر اساس تحقیق انجام شده توسط فریتز (۲۰۱۰)، بیشترین میزان خیزآب مشاهده شده ناشی از طوفان گونو حدود ۵ متر در راس‌الحد (شرق عمان) اتفاق افتاده است؛ در حالیکه نتایج مدلسازی خیزآب با مدل ADCIRC نشان دهنده حداکثر میزان خیزآب حدود ۱/۵ متر در محدوده سواحل عمان است. علت اختلاف داده‌های مشاهداتی و مدلسازی، در نظر گرفتن اثر خیزآب ناشی از موج عنوان گردیده است [۵]. همچنین داده‌های

اندازه‌گیری خیزآب در محدوده سواحل خلیج چابهار توسط الله‌دادی و همکاران (۲۰۱۸) مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهد حداکثر میزان خیزآب مشاهداتی در حدود ۰/۴ متر بوده است. تفکیک عوامل ایجاد خیزآب در محدوده سواحل نشان می‌دهد که ۷۵ درصد عامل خیزآب ناشی از افت فشار و مابقی ناشی از تنش برشی باد بوده است. فاصله زیاد بین چشم طوفان گونو تا خلیج چابهار، شیب تند سواحل این محدوده و امواج محبوس شده در خلیج چابهار سبب گردیده است که میزان خیزآب در این محدوده ناچیز باشد [۶].

در دهه‌های اخیر با توجه به توسعه نرم‌افزارهای عددی و امکان کوپل نمودن مدل‌های مختلف اتمسفریک و اقیانوسی، امکان در نظر گرفتن اندرکنش پدیده‌های مختلف دریایی فراهم شده است. از اینرو از کوپل مدل‌های اتمسفریک (مانند WRF و ...)، اقیانوسی (ROMs, POM) و موج (SWAN, WW III) برای مدلسازی خیزآب استفاده گردیده است [۷-۱۱]. پن و لیو (۲۰۱۵) خیزآب ناشی از طوفان و موج طوفان وینی (Winnie) را در خور یانگ سه چین با استفاده از یک مدل کوپل سه‌بعدی مدلسازی کردند. نتایج نشان دهنده افزایش احتمال تراز آب و روگذری در سازه‌های حفاظت از ساحل است [۱۲]. ناکامورا و همکاران (۲۰۱۵) خیزآب ناشی از طوفان یولاندا (سال ۲۰۱۳)، موج و جزر و مد را ارزیابی کردند. در این مدل ابتدا با استفاده از کوپل مدل‌های WRF، FVCOM و SWAN برای تعیین مشخصات هیدرودینامیکی استفاده شده است. نتایج نشان دهنده وقوع حداکثر میزان خیزآب ناشی از باد در تاکلوبان (Tacloban) در حدود ۵ متر بوده است که با مقادیر لندازه‌گیری مطابقت خوبی دارد. در این مطالعه به دلیل بزرگی طوفان و در برگیری تمامی منطقه میزان خیزآب موج برای تمام منطقه ثابت و برابر ۰/۱۶ تعیین شده است [۱۳].

بررسی مطالعات پیشین نشان می‌دهد که پیش‌بینی دقیق میزان خیزآب به دقت پارامترهای ورودی از جمله کیفیت اطلاعات میدان باد، نحوه پارامترسازی اندرکنش جو و اقیانوس، شرایط مرز باز، اصطکاک بستر و کیفیت اطلاعات هیدروگرافی دارد [۱۴]. از اینرو در مطالعه حاضر، اثر کیفیت میدان باد و شرایط مرزی مورد بررسی قرار گرفته است. برای این منظور میدان باد داده‌های بازتحلیل ECMWF(EAR-Interim, ERA5), CFSRV2، نتایج مدلسازی میدان باد فاز ششم مطالعات پایش و شبیه‌سازی سواحل کشور با مدل میان مقیاس WRF و مدل‌های پارامتریک Holland, Rankin و Sobey and Young در هنگام دو طوفان حاره‌ای ناناوک (۲۰۱۴) (NANAUK) و آشوبا (۲۰۱۵) (ASHOoba) مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین شرایط

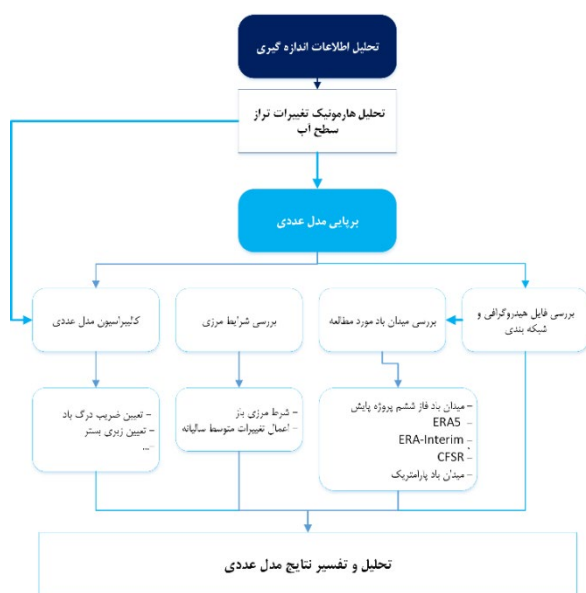
منجر به خیزآب‌های متفاوت در محدوده سواحل مورد مطالعه گردد.



شکل ۲ - تغییرات حداکثر سرعت و فشار مرکز طوفان‌های حاره‌ای ناناوک و آشوبا بر اساس داده‌های JTWC

۳ - متدولوژی مطالعات

متدولوژی انجام مطالعات در شکل ۳ نشان داده شده است. گام اول انجام مطالعات بررسی اطلاعات اندازه‌گیری می‌باشد. بررسی مطالعات پیشین نشان می‌دهد که طوفان‌های حاره‌ای سبب شکل‌گیری امواج با پریشادهای زیاد در پهنه آبی شده و رسیدن این امواج به سواحل موجب خیزآب می‌گردد [۳]. از اینرو در مطالعه حاضر در گام اول اطلاعات اندازه‌گیری تراز سطح آب مورد بررسی قرار گرفته است. در ادامه به برپایی مدل عددی و بررسی میدان بادهای مختلف، شرایط مرزی و کالیبراسیون مدل عددی پرداخته شده است.



شکل ۳ - فلوچارت انجام مطالعات

مرز باز با یک تراز ثابت و اعمال تغییرات متوسط سالیانه (Sea Surface Anomaly (SSA) در نظر گرفته شده است.

۲- محدوده مطالعات

طوفان‌های حاره‌ای بوقوع پیوسته در دریای عرب، سواحل جنوبی و جنوب شرقی ایران را متأثر می‌نماید. سواحل جنوب شرقی کشور تحت عنوان سواحل مکران شناخته می‌شوند. محدوده مطالعات حاضر، در شرق به خلیج گواتر (واقع در مرز ایران و پاکستان) و در غرب به جاسک (واقع در دهلنه تنگه هرمز) منتهی می‌شود. از خصوصیات عمده ساحل مکران این است که به طور مستقیم به اقیانوس هند مرتبط است. از اینرو خیزآب ناشی از طوفان‌های حاره‌ای به صورت مستقیم این سواحل را تحت تأثیر قرار می‌دهند. در شکل ۱ موقعیت محدوده مطالعات نشان داده شده است. مسیر حرکت طوفان‌های حاره‌ای ناناوک و آشوبا بر اساس داده‌های JTWC در محدوده دریای عرب در شکل ۱ نشان داده شده است (مرجع JTWC). حداکثر سرعت باد در این دو طوفان به بیش از ۲۸ متر بر ثانیه (55 kts) می‌رسد. موقعیت وقوع حداکثر سرعت باد در این دو طوفان در شکل ۱ نیز نشان داده شده است.



شکل ۱ - محدوده مطالعات و مسیر حرکت طوفان‌های حاره‌ای ناناوک (۲۰۱۴) و آشوبا (۲۰۱۵) و موقعیت ایستگاه‌های اندازه‌گیری

همچنین در شکل ۲ تغییرات حداکثر سرعت باد و فشار مرکز طوفان‌های حاره‌ای ناناوک و آشوبا نشان داده شده است. همانگونه که در شکل ۲ مشخص می‌باشد، الگوی تغییرات حداکثر سرعت باد و فشار مرکز طوفان در این طوفان متفاوت می‌باشد که می‌تواند

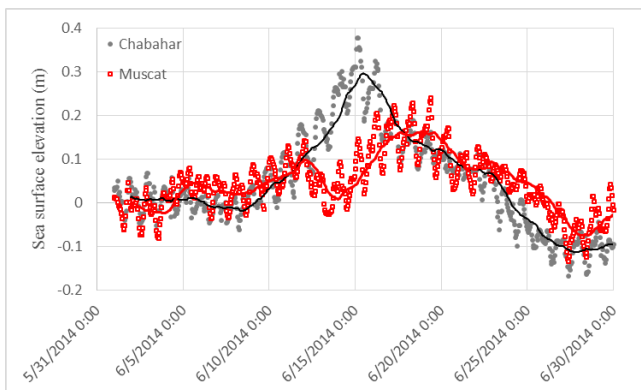
۴- داده‌های اندازه‌گیری

در مطالعه حاضر از داده‌های اندازه‌گیری ترازسنجی جهانی در دو ایستگاه چابهار در سواحل شمالی (واقع شده در عرض جغرافیایی ۲۵.۲۹۷ درجه و طول جغرافیایی ۶۰.۶۰۳ درجه) و ایستگاه مسقط در سواحل جنوبی دریای عمان (واقع شده در عرض جغرافیایی ۲۳.۶۲۸۳ درجه و طول جغرافیایی ۵۸.۵۶۵ درجه) استفاده شده است. در شکل ۱ موقعیت این دو ایستگاه نسبت به مسیر حرکت طوفان‌های مورد بررسی ارائه شده است. با توجه به تحلیل هارمونیک انجام گرفته بر روی داده‌های ترازسنجی، تغییرات تراز ناشی از عوامل جزر و مدی و غیره تفکیک گردیده است [۱۵]. نتایج تحلیل هارمونیک داده‌های اندازه‌گیری در ایستگاه چابهار برای بازه زمانی ۸ ساله (۲۰۰۸-۲۰۱۶) در شکل ۴ نشان داده شده است. همانگونه که در شکل ۴ نشان داده شده است، دو بازه زمانی وقوع حداکثر میزان خیزآب انتخاب گردیده است. انطباق بازه‌های زمانی انتخابی با زمان وقوع طوفان‌های حاره‌ای در محدوده دریای عرب، نشان از وقوع طوفان‌های حاره‌ای نلناوک (۲۰۱۴) و آشوبا (۲۰۱۵) در این بازه‌های زمانی دارد. از اینرو این دو طوفان جهت مدلسازی خیزآب در محدوده سواحل مکران انتخاب گردیده است.

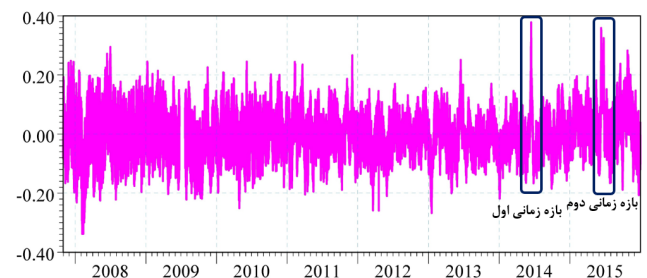
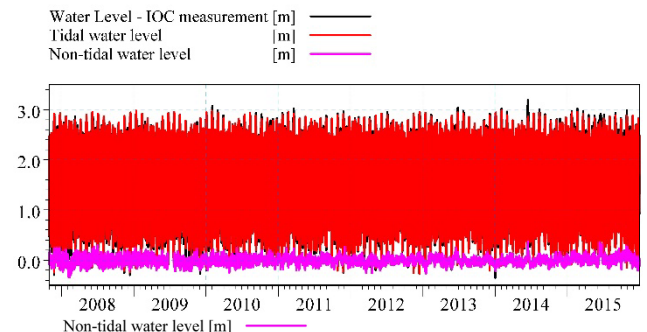
نشان داده شده است. محاسبه نسبت حداکثر تراز ناشی از عوامل غیر جزر و مدی نسبت به کل تراز آب اندازه‌گیری شده در بازه طوفان ناناوک و آشوبا در ایستگاه چابهار به ترتیب نشان دهنده تاثیر ۳۰ و ۲۲ درصدی بر تراز سطح آب است. همچنین در زمان وقوع حداکثر تراز سطح آب اندازه‌گیری شده در ایستگاه چابهار میزان تاثیر خیزآب بر کل تراز سطح آب در طوفان ناناوک و آشوبا به ترتیب در حدود ۱۰ و ۵ درصد بوده است.

بررسی شکل ۵ نشان دهنده گرادیان قابل توجه افزایش تراز سطح آب در یک بازه زمانی و سپس کاهش آن است. در حالیکه بررسی تغییرات تراز سطح ناشی از طوفان آشوبا در شکل ۶ نشان می‌دهد که پس از افزایش تراز سطح آب، مقدار آن به مدت دو هفته در محدوده ایستگاه خلیج چابهار و مسقط حول مقادیر بیش از ۰.۱ متر نوسان کرده است. این اختلاف می‌تواند ناشی از مسیر حرکت، شدت متفاوت این دو طوفان و به طور کلی الگوی متفاوت میدان باشد.

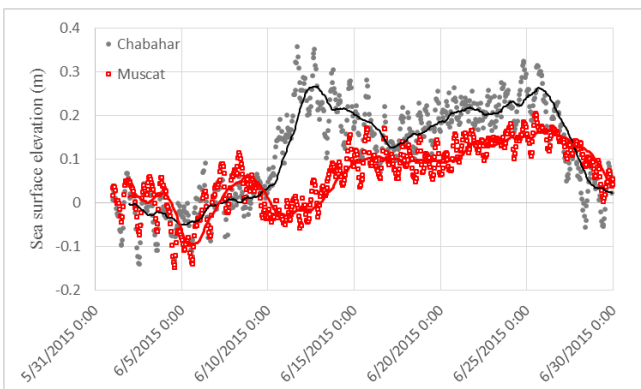
با توجه به ماهیت متفاوت الگوی تغییرات تراز سطح آب ناشی از طوفان حاره‌ای ناناوک و آشوبا، در بخش‌های بعدی به تحلیل نتایج مدلسازی عددی و همچنین علل و عوامل این تفاوت‌ها پرداخته می‌شود.



شکل ۵ - تغییرات تراز سطح آب ناشی از عوامل غیر جزر و مدی در ایستگاه چابهار و مسقط در هنگام طوفان حاره‌ای ناناوک



شکل ۴ - جداسازی تغییرات تراز جزر و مدی و ناشی از عوامل غیر جزر و مدی بر اساس تحلیل هارمونیک در ایستگاه چابهار (مشکی: تراز سطح آب، قرمز: تراز جزر و مدی و بنفش: تغییرات تراز ناشی از عوامل غیر جزر و مدی)



شکل ۶ - تغییرات تراز سطح آب ناشی از عوامل غیر جزر و مدی در ایستگاه چابهار و مسقط در هنگام طوفان حاره‌ای آشوبا

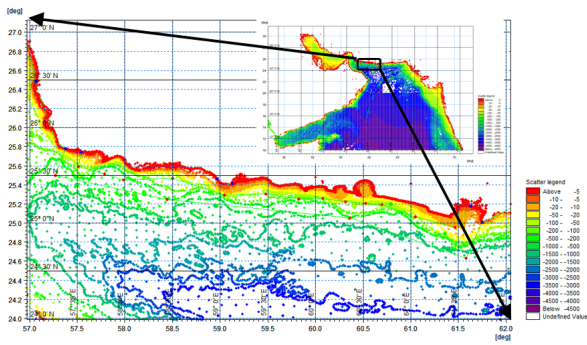
تغییرات تراز سطح آب ناشی از عوامل غیر جزر و مدی در ایستگاه‌های چابهار (Chabahar) و مسقط (Muscat) در هنگام طوفان‌های حاره‌ای ناناوک و آشوبا به ترتیب در شکل ۵ و شکل ۶

۵- برپایی مدل عددی

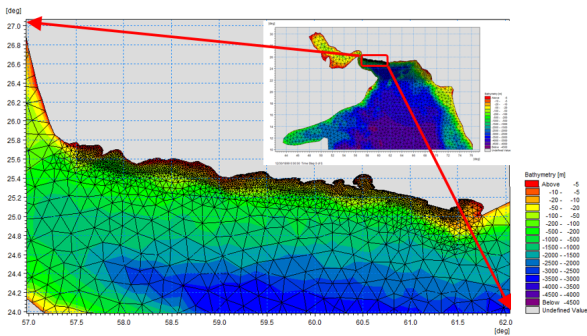
بررسی خیزآب ناشی از طوفان‌های حاره‌ای و باد در اغلب مطالعات انجام گرفته با استفاده از مدل‌های هیدرودینامیک دو بعدی انجام شده است. جهت بررسی خیزآب طوفان، از مدل‌های متعددی مانند HYCOM, POM, ADCIRC, MIKE21 می‌توان استفاده نمود. کلیه مدل‌های عددی توسعه یافته بر اساس معادلات مومنتم آب کم‌عمق، پیوستگی، شوری و دما استوار هستند. نرم‌افزار MIKE از مؤسسه هیدرولیک دانمارک (DHI) یکی از شاخص‌ترین مدل‌های تجاری موجود در زمینه شبیه‌سازی تغییرات خیزآب ناشی از طوفان است. با توجه به این که مدل MIKE21 کاربرد راحت‌تری در برپا کردن تعداد زیاد اجراهای مختلف دارد و تفاوتی عمده‌ای در قابلیت‌های مدل‌های مختلف وجود ندارد، در مطالعه حاضر از آن استفاده گردیده است. در ادامه پارامترهای مختلف مدل انتخاب شده، تعیین می‌گردد.

۵-۱- محدوده شبیه‌سازی و انتخاب مرز مدل

با توجه به بررسی خیزآب ناشی از طوفان‌های حاره‌ای ناناوک و آشوبا در محدوده سواحل مکران، نیاز است محدوده مدلسازی شامل مسیر طوفان‌ها در دریای عرب انتخاب گردد. یکی از مهمترین عوامل تاثیرگذار در نتایج و صحت مدلسازی، انتخاب مناسب محدوده مدلسازی و موقعیت مرزهای مدل می‌باشد. مطابق با توصیه نرم‌افزار، ضروری است محل مرز باز به گونه‌ای انتخاب شود که اثرات محل مرز باز از قبیل تاثیر آب بازگشتی مصنوعی (Artificial Backwater Influence) به حداقل برسد. همچنین مطابق با توصیه راهنمای نرم‌افزار، ضروری است محل مرز باز به گونه‌ای انتخاب شود که در محدوده محل مرز تا ۵ الی ۱۰ گره جلویی آن، الگوی جریان به صورت smooth باشد. از اینرو مرز باز محدوده مدلسازی در عرض جغرافیایی ۱۰ درجه شمالی در نظر گرفته شده است. برای تعریف این گستره از داده‌های عمق‌سنجی MIKE C-Map (با مقیاس ۱:۵۰,۰۰۰ - ۱:۱۵۰,۰۰۰ در کل محدوده خلیج فارس و دریای عمان)، اطلاعات هیدروگرافی ETPO1 (با مقیاس یک دقیقه در کل جهان) و اطلاعات هیدروگرافی‌های انجام گرفته در فاز اول و ششم پروژه پایش و شبیه‌سازی سواحل کشور استفاده گردید. در شکل ۷ تغییرات هیدروگرافی، شبکه‌بندی و درون‌یابی عمق مورد استفاده در مدل عددی نشان داده شده است. مطابق با شکل ۷ در محدوده سواحل مورد مطالعه شبکه‌بندی مدل ریزتر گردیده است تا بتوان تغییرات عمق و در نتیجه میزان خیزآب را با دقت بالایی مدلسازی نمود. البته برای طراحی شبکه‌بندی مدل، از نتایج تحلیل حساسیت نسبت به ابعاد مش استفاده شده است.



(الف)



(ب)

شکل ۷ - (الف) تغییرات هیدروگرافی در محدوده مورد مطالعه، (ب) شبکه‌بندی و درون‌یابی عمق مورد استفاده در مدل

۵-۲- مشخصات مدل عددی

با توجه به تحلیل حساسیت پارامترهای مختلف مانند شبکه‌بندی محدوده محاسباتی، گام زمانی و روش حل یک پیکره‌بندی کلی برای مدل عددی انتخاب گردیده است. مشخصات مدل در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱- مشخصات مدل

مشخصات	پارامتر
تعداد المان: ۱۳۱۱۴	شبکه‌بندی
تعداد گره: ۶۸۸۱	
۲۰۱۴/۰۶/۲۹ - ۲۰۱۴/۰۶/۰۱	بازه زمانی مدلسازی
۲۰۱۵/۰۶/۲۹ - ۲۰۱۵/۰۶/۰۱	
گام زمانی (ثانیه)	۶۰ ثانیه
روش حل	Low order, fast algorithm
شرط اولیه	اعمال نگردیده است
* در مدل‌های با میدان باد پارامتریک این بازه زمانی محدود به زمان شروع و زوال طوفان حاره‌ای گردیده است.	

جهت کالیبراسیون مدل عددی، پارامترهای مختلفی از جمله لزجت گردابه‌ای، اصطکاک بستر، میدان باد، ضرایب اصطکاک باد و شرط مرزی مدل مورد بررسی قرار گرفته است. مشخصات پارامترهای کالیبراسیون در جدول ۲ ارائه شده است.

۶- نتایج

در این بخش نتایج مدلسازی عددی خیزآب در محدوده مورد مطالعه ارائه شده است. نتایج شامل بررسی اثرات شرایط مرزی و منابع مختلف میدان باد است.

جدول ۳- مشخصات میدان بادهای مورد استفاده

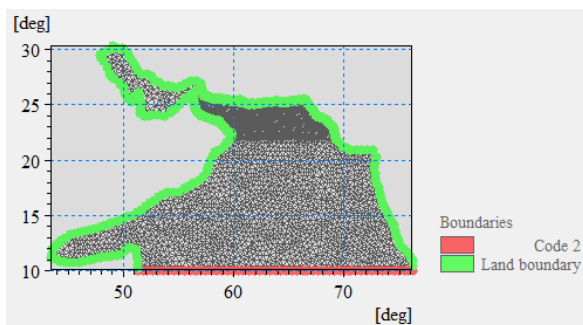
توضیحات	وضوح مکانی (درجه)	وضوح زمانی (ساعت)	مدل‌های پارامتریک
https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/reanalysis-era5-single-levels?tab=form	۰.۲۵*۰.۲۵	۳	ERA5
https://apps.ecmwf.int/datasets/data/interim-full-daily/levtype=sfc/	۰.۱۲۵*۰.۱۲۵	۶	ERA-Interim*
http://tds.hycom.org/thredds/catalog/datasets/force/ncep_cfsv2/netcdf/catalog.html	۰.۳۱*۰.۳۱	۱	CFSR
بر اساس مطالعات فاز شش پروژه پایش و شبیه‌سازی سواحل کشور (سازمان بنادر و دریانوردی)	۰.۱*۰.۱	۱	WRF
بر اساس داده‌های Best track https://www.metoc.navy.mil/jtwc/jtwc.html?north-indian-ocean	۰.۲۵*۰.۲۵	۱	مدل‌های پارامتریک

* وضوح مکانی میدان باد مدل ERA-Interim، ۰.۷۵*۰.۷۵ درجه است ولیکن به صورت درون‌بینایی امکان استخراج میدان باد با وضوح بیشتر است. در مقاله حاضر از میدان باد درون‌بینایی با دقت مکانی ۰.۱۲۵*۰.۱۲۵ درجه استفاده گردیده است.

۶-۱- بررسی شرایط مرزی

در شکل ۸ شرایط مرزی مدل عددی نشان داده شده است. همانگونه که مشخص می‌باشد تنها یک مرز باز (Code 2) جهت اعمال اثرات شرایط مرزی در نظر گرفته شده است. بر اساس جدول ۲، برای شرایط مرز باز سه حالت زیر را می‌توان در نظر گرفت:

- ✓ شرط مرزی به صورت Land
- ✓ شرط مرزی به صورت تراز ثابت (Constant)
- ✓ شرط مرزی به صورت مغایرت‌های تراز سطح آب (SSA)



شکل ۸ - شرایط مرزی مدل عددی

برای اعمال مغایرت‌های تراز سطح در مرز باز مدل عددی، نتایج تغییرات تراز حاصل از داده‌های بازتحلیل Hycom از متوسط سالیانه آن کسر می‌شود. مقادیر بدست آمده، نشان دهنده مقدار مغایرت تراز سطح آب سالیانه در مرز باز مدل عددی است.

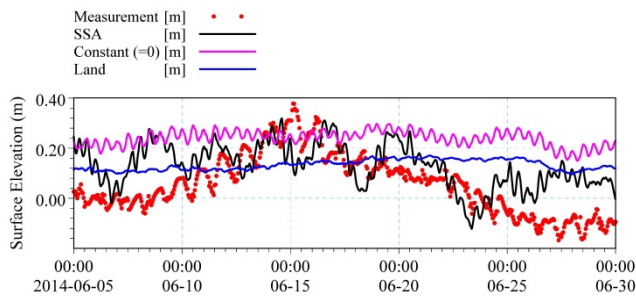
جدول ۲- پارامترهای کالیبراسیون

مشخصات	پارامتر
Smagorinsky formulation, constant:0.28	لزجت گردابه‌ای (m ² /s)
۳۲	اصطکاک بستر (m ^{1/3} /s)
متغیر با سرعت باد: ۰.۰۱۲۵۵ در سرعت 7m/s ۰.۰۲۴۲۵ در سرعت 25m/s	ضریب اصطکاک باد
۷ میدان باد مختلف (شامل سه میدان باد بازتحلیل، سه میدان باد پارامتریک و یک میدان باد (WRF))	میدان باد
- در نظر گرفتن مرز باز با تراز ثابت - در نظر گرفتن مرز بسته (Land) - اعمال مغایرت‌های تراز سطح آب از حالت تعادلی	شرط مرزی
- تصحیح فشار - تصحیح باد	تصحیح شرط مرزی

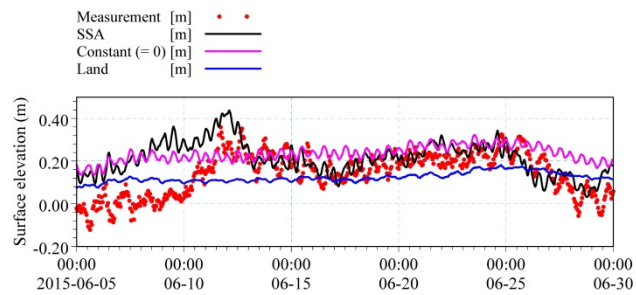
نتایج بررسی و مقایسه نتایج مدل عددی با داده‌های اندازه‌گیری نشان می‌دهد که حساسیت مدل خیزآب به دقت و صحت میدان باد و همچنین شرایط مرزی مدل عددی وابستگی بسیار زیادی دارد. از اینرو هفت میدان باد مختلف مورد بررسی قرار گرفته است. با توجه به میدان باد داده‌های بازتحلیل موجود، در تحقیق حاضر از پایگاه داده‌های European Centre for Medium-Range Weather (ECMWF) Climate و ERA5 و از ویرایش دوم داده‌های بازتحلیل Forecast System Reanalysis (CFSR) استفاده گردیده است. علاوه بر داده‌های بازتحلیل، نتایج مدلسازی میدان باد با مدل WRF فاز ششم پروژه پایش و شبیه‌سازی سواحل کشور نیز لحاظ شده است. همچنین سه میدان باد مدل‌های پارامتریک Holland, Sobey and Young و Rankin در نظر گرفته شده است. مشخصات میدان بادهای مورد بررسی مطابق با اطلاعات ارائه شده در جدول ۳ می‌باشد.

یکی از نکات بسیار مهم در مدلسازی خیزآب در محدوده سواحل مکران، اعمال مغایرت‌های تراز سطح آب از حالت تعادلی (Sea surface anomaly (SSA)) به عنوان شرایط مرزی است. در مطالعه حاضر برای تعیین مغایرت‌های تراز سطح آب از داده‌های HYCOM استفاده گردیده است [16]. برای این منظور اختلاف خروجی‌های تغییرات تراز سطح آب مدل HYCOM نسبت به متوسط سالیانه به عنوان شرایط مرزی در نظر گرفته شده است.

با استفاده از شرایط مرزی SSA می‌توان تغییرات و مقدار حداکثر خیزآب ناشی از طوفان آشوبا را به خوبی مدل‌سازی نمود.



شکل ۱۰ - مقایسه تاریخچه زمانی خیزآب بر اساس شرایط مرزی مختلف با داده‌های اندازه‌گیری ایستگاه چابهار در زمان وقوع طوفان حاره‌ای ناناوک



شکل ۱۱ - مقایسه تاریخچه زمانی مدل‌سازی خیزآب بر اساس شرایط مرزی مختلف با داده‌های اندازه‌گیری ایستگاه چابهار در زمان وقوع طوفان حاره‌ای آشوبا

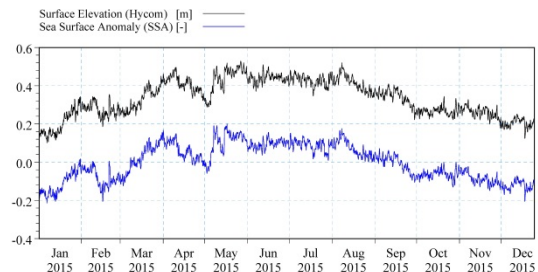
علاوه بر مقایسه تاریخچه زمانی، مقادیر حداکثر خیزآب متناظر با بازه زمانی طوفان حاره‌ای آشوبا در محدوده محاسباتی نیز بر اساس شرایط مرزی مختلف در شکل ۱۲ نشان داده شده است. همانگونه که مشاهده می‌گردد با در نظر گرفتن شرایط مرزی به صورت مغایرت تراز سطح آب، ثلثت و Land، حداکثر مقدار خیزآب در محدوده سواحل شمالی دریای عمان به ترتیب در حدود ۲۰، ۳۰ و ۴۰ سانتی‌متر بدست آمده است. همچنین حداکثر خیزآب در بازه زمانی که سرعت باد طوفان آشوبا به حداکثر خود رسیده است، تنها با در نظر گرفتن SSA به عنوان شرایط مرزی قابل تشخیص است.

بررسی نتایج مدل‌سازی‌ها نشان می‌دهد که یکی از عوامل موثر بر مقدار خیزآب در محدوده سواحل مکران شرایط مرزی است. اعمال شرایط مرزی به صورت مغایرت‌های تراز سطح آب می‌تواند سبب بهبود نتایج در مدل‌سازی خیزآب گردد. از اینرو برای بررسی تاثیر میدان باد بر مدل‌سازی خیزآب، در شرایط مرزی مدل عددی مغایرت‌های تراز سطح آب اعمال گردیده است.

۲-۶- نتایج بررسی میدان باد

بررسی میدان بادهای مختلف در دو بازه زمانی متناظر با وقوع طوفان‌های حاره‌ای نلناوک و آشوبا انجام گرفته است. در ادامه

داده‌های تراز سطح آب Hycom با گام زمانی ۳ ساعته و گام مکانی ۰.۰۸ درجه در دسترس هستند. از اینرو از دقت بسیار بالایی برای مدل‌سازی خیزآب در محدوده مورد مطالعه برخوردار می‌باشند. نمونه‌ای از تاریخچه زمانی تغییرات تراز سطح آب مدل جهانی Hycom و مغایرت تراز سطح آب اعمال شده در مرز باز در شکل ۹ نشان داده شده است.



شکل ۹ - تاریخچه زمانی تغییرات تراز سطح آب ناشی از مدل جهانی Hycom و مغایرت تراز سطح آب (SSA) اعمالی در مرز باز مدلی عددی

برای بررسی تاثیر شرایط مرزی، تمام مفروضات برپایی مدل عددی مانند جدول ۱ و جدول ۲ است. با این تفاوت که تنها میدان باد ERA-Interim برای مدل‌سازی‌ها در نظر گرفته شده است. مقایسه تاریخچه زمانی تغییرات خیزآب بر اساس شرایط مرزی مختلف با داده‌های اندازه‌گیری در ایستگاه چابهار در دو طوفان حاره‌ای ناناوک و آشوبا به ترتیب در شکل ۱۰ و شکل ۱۱ نشان داده شده است.

بررسی تغییرات خیزآب در طوفان ناناوک بر اساس شرایط مرزی مختلف در شکل ۱۰ نشان می‌دهد که در نظر گرفتن مرز به صورت Land سبب خواهد شد که تغییرات تراز سطح آب بسیار ناچیز بوده و نوسانات خیزآب مشاهده نگردد. البته با در نظر گرفتن شرایط مرزی به صورت ثابت، بهبود نسبی در نتایج مشاهده می‌گردد. ولیکن تغییرات خیزآب در این حالت نیز نوسانات ناچیزی نشان می‌دهد. در نظر گرفتن مغایرت‌های تراز سطح آب به عنوان شرایط مرزی سبب گردیده است که نتایج مدل عددی بهبود قابل توجهی بیابد. در این حالت علاوه بر نوسانات روزانه و شبانه تغییرات تراز سطح آب، مقدار حداکثر خیزآب مدل عددی و همچنین روند کاهشی آن پس از طوفان با داده‌های اندازه‌گیری تطابق مناسبی دارد.

نکته قابل توجه در هنگام طوفان حاره‌ای آشوبا، خیزآب قابل توجه در بازه ۱۵ روزه است. نتایج اندازه‌گیری نشان می‌دهد که با وقوع طوفان حاره‌ای آشوبا، میزان خیزآب در ایستگاه چابهار افزایش یافته و پس از آن برای مدت ۱۵ روز مقدار خیزآب همچنان قابل توجه بوده است. بررسی نتایج در شکل ۱۱ نشان می‌دهد که تنها

طوفان بوده است. این موضوعات نشان دهنده اثرات ثانویه طوفان‌های حاره‌ای بر خیزآب است.

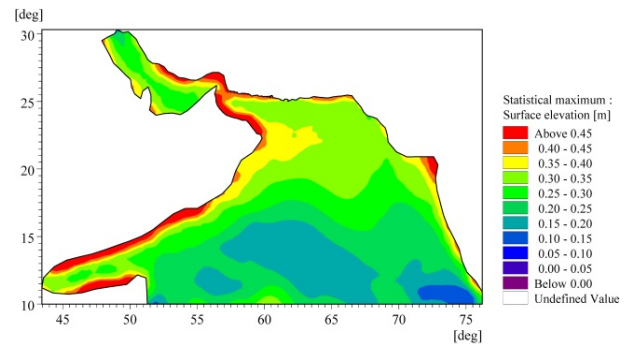
بررسی خیزآب حاصل از مدل‌های پارامتریک در شکل ۱۳ نشان دهنده دست پایین بودن نتایج حاصل از این مدل‌ها است. با توجه به اینکه میدان باد حاصل از مدل‌های پارامتریک محدوده به زمان شروع و خاتمه طوفان است، بنابراین با توجه به محدودیت زمانی زمان میدان باد مقدار حداکثر خیزآب قابل مدل‌سازی نیست.

بررسی نتایج حاصل از میدان بادهای بازتحلیل ERA-Interim، ERA5 و CFSR در شکل ۱۳ نشان از عدم دقت نتایج حاصل از میدان باد CFSR دارد. نتایج حاصل از میدان باد ERA5 نسبت به داده‌های اندازه‌گیری دست پایین است. بر اساس نتایج میدان باد ERA-Interim حداکثر مقدار خیزآب در حدود ۳۰ سانتی‌متر بدست آمده است. مقدار حداکثر خیزآب حاصل از مدل ERA-Interim نسبت به سایر میدان بادهای مورد بررسی، تطابق بیشتری با داده‌های اندازه‌گیری داشته است. نتایج حاصل از میدان باد WRF منطبق بر نتایج داده‌های بازتحلیل ERA5 است.

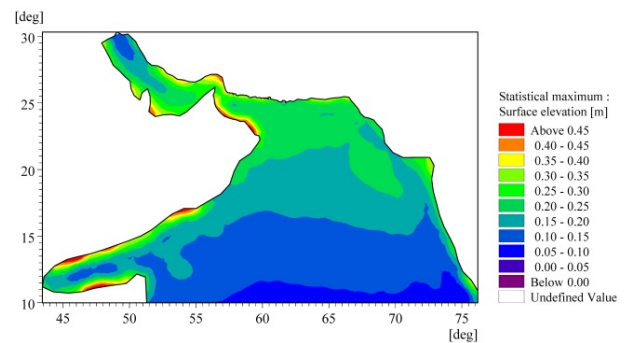
بررسی داده‌های اندازه‌گیری خیزآب در ایستگاه مسقط در بازه زمانی وقوع طوفان نلناوک در شکل ۱۴ نشان دهنده یک روند افزایشی و سپس کاهش می‌باشد. حداکثر مقدار خیزآب در ایستگاه مسقط در بازه زمانی وقوع طوفان در حدود ۱۵ سانتی‌متر بوده است. اما پس از زوال طوفان ناناوک مقدار خیزآب روند افزایشی داشته و به بیش از ۲۰ سانتی‌متر رسیده است.

مقایسه نتایج حاصل از میدان بادهای پارامتریک با داده‌های اندازه‌گیری نشان دهنده دست پایین بودن نتایج مدل‌سازی است. همچنین با توجه به محدود بودن بازه زمانی میدان بادهای پارامتریک، امکان شبیه‌سازی مقادیر حداکثر خیزآب وجود نداشته است.

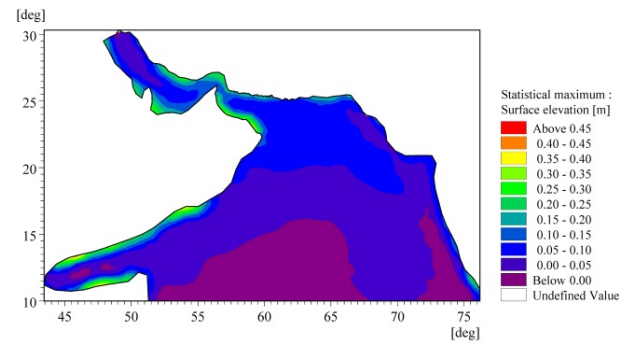
نتایج در هر یک از طوفان‌های حاره‌ای مورد بررسی قرار گرفته است.



(الف)



(ب)



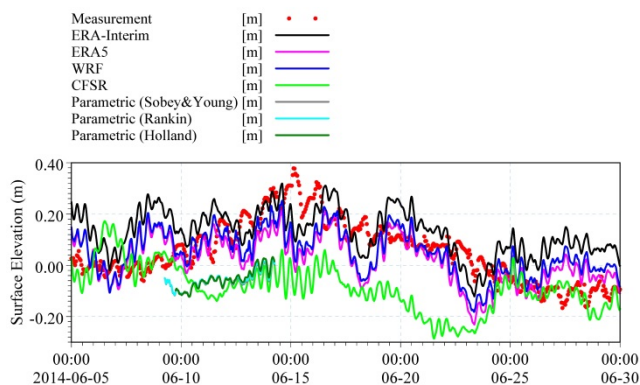
(ج)

شکل ۱۲ - حداکثر مقدار خیزآب متناظر با طوفان حاره‌ای آشوبا در محدوده محاسباتی بر اساس شرایط مرزی (الف) مغایرت‌های تراز سطح آب (ب) ثابت (ج) Land

۱-۲-۶- طوفان حاره‌ای ناناوک

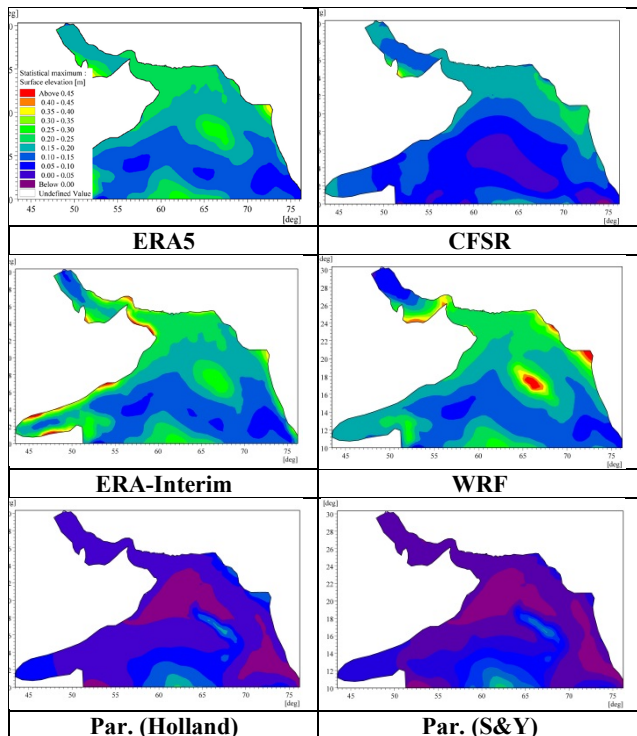
برای بررسی تاثیر میدان بادهای مختلف، مقایسه تاریخی زمانی خیزآب با داده‌های اندازه‌گیری در ایستگاه‌های چابهار و مسقط به ترتیب در شکل ۱۳ و شکل ۱۴ نشان داده شده است. همچنین تغییرات خیزآب در بازه زمانی شروع تا خاتمه طوفان حاره‌ای ناناوک در شکل ۱۳ و شکل ۱۴ مشخص گردیده است.

بررسی تغییرات خیزآب داده‌های اندازه‌گیری در ایستگاه چابهار در شکل ۱۳ نشان می‌دهد که حداکثر مقدار خیزآب در حدود ۴۰ سانتی‌متر و پس از زوال طوفان رخ داده است. همچنین الگوی تغییرات خیزآب نشان می‌دهد که شیب افزایش خیزآب در زمان طوفان تا رسیدن به حداکثر مقدار خیزآب بسیار بیش از زوال



شکل ۱۳ - مقایسه تاریخی زمانی خیزآب بر اساس میدان بادهای مختلف با داده‌های اندازه‌گیری ایستگاه چابهار

خیزآب روند افزایشی داشته است. حداکثر مقدار خیزآب در این بازه بیش از ۳۰ سانتی‌متر بوده است. نکته قابل توجه آن است که پس از زوال طوفان آشوبا مقادیر خیزآب همچنان قابل توجه بوده و به بیش از ۳۰ سانتی‌متر نیز رسیده است. این موضوع نشان دهنده اثرات ثانویه طوفان‌های حاره‌ای در حرکت بدنه آبی است. بررسی نتایج مدل‌های پارامتریک در شکل ۱۶ نشان می‌دهد که روند افزایشی مقدار خیزآب که ناشی از نزدیک شدن طوفان به سواحل مورد مطالعه است، به خوبی مدل‌سازی گردیده است. البته حداکثر مقدار خیزآب بدست آمده از میدان بادهای پارامتریک کمی دست پایین است. نکته قابل توجه دیگر اثرات ثانویه طوفان حاره‌ای است که با توجه به محدود بودن زمان مدل‌های پارامتریک قابل مدل‌سازی نبوده است.



شکل ۱۵ - نقشه دو بعدی حداکثر مقدار خیزآب در محدوده مدل‌سازی بر اساس میدان بادهای مختلف

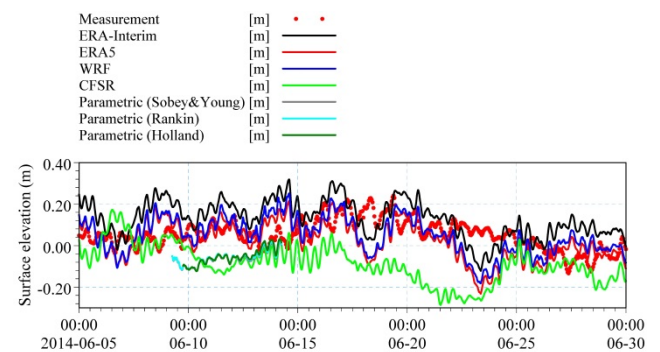
بررسی نتایج داده‌های بازتحلیل در شکل ۱۶ نشان می‌دهد که روند افزایشی مقدار خیزآب ناشی از نزدیک شدن طوفان به خوبی مدل‌سازی گردیده است. در بازه زمانی 2015/06/08 تا 2015/06/10 نتایج حاصل از میدان بادهای بازتحلیل مقادیر خیزآب را دست بالا برآورد نموده است. ولیکن در بازه زمانی بعدی متناظر با وقوع طوفان حاره‌ای آشوبا، نتایج حاصل از میدان باد CFSR و ERA5 انطباق مناسبی با داده‌های اندازه‌گیری دارد. استفاده از میدان باد ERA-Interim در بازه وقوع طوفان منجر به نتایج دست بالا مقدار خیزآب گردیده است. نکته قابل توجه اثرات ثانویه طوفان حاره‌ای آشوبا (بازه زمانی بعد از

بررسی نتایج خیزآب حاصل از میدان بادهای بازتحلیل در شکل ۱۴ نشان می‌دهد که نتایج میدان باد CFSR دقت مناسبی نداشته است. همچنین مقادیر خیزآب بدست آمده بر اساس میدان باد ERA-Interim دست بالا است. نتایج حاصل از میدان باد ERA5 تطابق مناسبی با داده‌های اندازه‌گیری دارد. حداکثر مقدار خیزآب بر اساس نتایج ERA5 در حدود ۲۰ سانتی‌متر است.

رزولوشن مکانی و زمانی میدان باد WRF از داده‌های بازتحلیل مورد استفاده بهتر است. ولیکن همانگونه که در شکل ۱۴ مشخص می‌باشد نتایج حاصل از میدان بادهای ERA5 و WRF تطابق بسیار زیادی با یکدیگر دارند.

جهت درک بهتر الگوی تغییرات تراز آب ناشی از طوفان حاره‌ای، مقدار حداکثر خیزآب حاصل از مدل‌سازی‌ها نیز در شکل ۱۵ نشان داده شده است. مقایسه نتایج شکل ۱۵ با مسیر طوفان ناناوک در نشان می‌دهد که میدان باد مدل‌های پارامتریک الگوی حرکت طوفان را به خوبی مشخص نموده است. ولیکن الگوی حداکثر خیزآب در میدان بادهای ERA-Interim، ERA5 و WRF قابل مشاهده است.

بررسی نتایج خیزآب در دو ایستگاه ترازسنجی چابهار و مسقط و مقادیر حداکثر خیزآب نشان می‌دهد که میدان باد ERA5 و WRF نسبت به سایر میدان بادهای مورد بررسی به خوبی اثرات طوفان حاره‌ای ناناوک را شبیه‌سازی نموده است. البته دقت نتایج حاصل از میدان باد ERA-Interim در ایستگاه چابهار نسبت به سایر میدان بادهای مورد بررسی قابل توجه است.



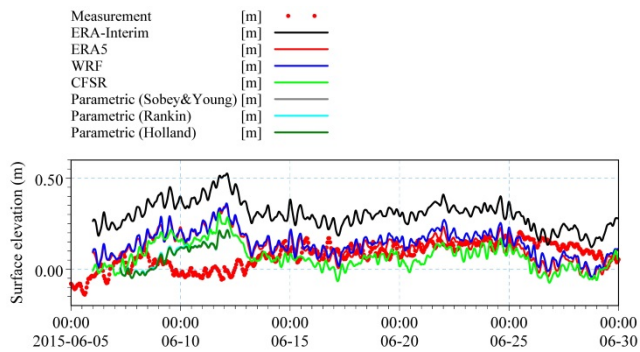
شکل ۱۴ - مقایسه تاریخچه زمانی خیزآب بر اساس میدان بادهای مختلف با داده‌های اندازه‌گیری ایستگاه مسقط

۲-۶-۲- نتایج طوفان حاره‌ای آشوبا

نتایج بررسی خیزآب در بازه زمانی وقوع طوفان حاره‌ای آشوبا، در این بخش ارائه گردیده است. مقایسه تاریخچه زمانی تغییرات خیزآب در دو ایستگاه چابهار و مسقط به ترتیب در شکل ۱۶ و شکل ۱۷ نشان داده شده است.

بررسی داده‌های اندازه‌گیری خیزآب در ایستگاه چابهار در شکل ۱۶ نشان می‌دهد که در بازه زمانی وقوع طوفان آشوبا، مقدار

تا حدودی دست پایین است. بررسی نتایج حاصل از میدان باد مدل WRF در شکل ۱۷ نشان دهنده تطابق کامل با نتایج ERA5 است.



شکل ۱۷ - مقایسه تاریخیچه زمانی خیزآب بر اساس میدان بادهای مختلف با داده‌های اندازه‌گیری ایستگاه مسقط

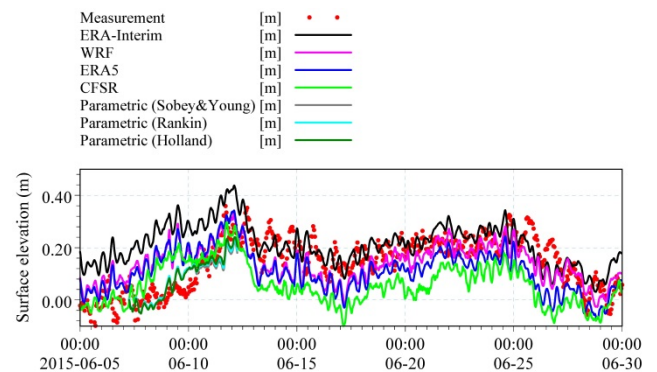
جهت بررسی الگوی حداکثر تغییرات تراز آب ناشی از طوفان حاره‌ای آشوبا در محدوده مورد مطالعه، نقشه مقدار حداکثر خیزآب در بازه زمانی مدل‌سازی در شکل ۱۸ نشان داده شده است. همانگونه که در شکل ۱۸ قابل مشاهده است مسیر حرکت طوفان در نتایج حاصل از مدل‌های پارامتریک به خوبی قابل مشاهده است. البته روند کلی تغییرات خیزآب در مدل‌های پارامتریک نسبت به سایر میدان بادهای مورد بررسی محدودتر می‌باشد. نتایج حاصل از داده‌های ERA-Interim منجر به بیشترین خیزآب در محدوده سواحل شمالی و جنوبی دریای عمان گردیده است. روند تغییرات خیزآب در مسیر طوفان حاره‌ای آشوبا به صورت تقریب در نتایج مدل ERA5 و WRF قابل مشاهده است. البته نتایج مدل WRF مقادیر خیزآب حداکثر بیشتری نسبت به ERA5 در محدوده دریای عمان داشته است.

بررسی نتایج خیزآب در دو ایستگاه ترازسنجی چابهار و مسقط و مقادیر حداکثر خیزآب در طوفان حاره‌ای آشوبا نشان می‌دهد که میدان باد ERA5 و WRF نسبت به سایر میدان بادهای مورد بررسی به خوبی اثرات طوفان و اثرات ثانویه آن را شبیه‌سازی نموده است. البته دقت نتایج حاصل از میدان باد ERA-Interim در ایستگاه چابهار نسبت به سایر میدان بادهای مورد بررسی قابل توجه است. بررسی مقادیر حداکثر خیزآب نیز نشان می‌دهد استفاده از میدان باد ERA-Interim منجر به مقادیر بیشتری در محدوده سواحل شمالی دریای عمان گردیده است.

است که در نتایج ERA5 و ERA-Interim به خوبی قابل مشاهده است و با داده‌های اندازه‌گیری انطباق مناسبی دارد. نتایج حاصل از CFSR در این بخش نسبت به نتایج اندازه‌گیری بسیار دست پایین بوده است.

بررسی نتایج مدل WRF در شکل ۱۶ نشان می‌دهد که نتایج این مدل انطباق زیادی با نتایج میدان باد ERA5 دارد. البته اثرات ثانویه حرکت بدنه آبی با استفاده از میدان باد مدل WRF به ERA5 دست پایین بوده است. ولیکن با استفاده از مدل WRF مقادیر حداکثر خیزآب به خوبی مدل‌سازی گردیده است. بررسی اندازه‌گیری‌ها در ایستگاه مسقط نشان دهنده وقوع فروآب در بازه زمانی وقوع طوفان است. این موضوع در شکل ۱۷ قابل مشاهده است. پس از فروآب قابل مشاهده اثرات ثانویه وقوع طوفان سبب افزایش مقدار خیزآب در ایستگاه مسقط گردیده است. بر این اساس حداکثر مقدار خیزآب به حدود ۲۰ سانتی‌متر رسیده است.

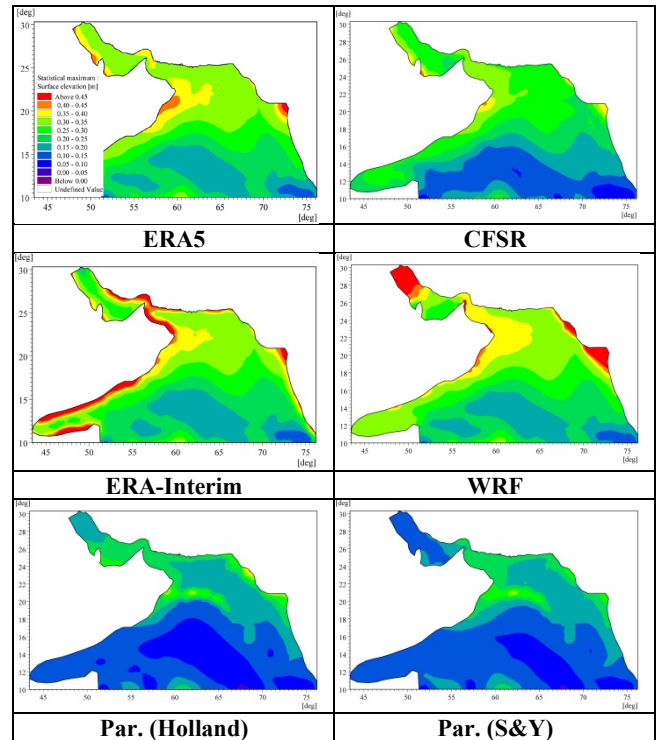
بررسی نتایج حاصل از میدان بادهای پارامتریک در شکل ۱۷ نشان می‌دهد که در بازه زمانی وقوع طوفان مقدار خیزآب روند افزایش داشته است و مانند داده‌های اندازه‌گیری فروآب قابل مشاهده نیست. همچنین با توجه به محدود بودن زمان مدل‌های پارامتریک به بازه وقوع طوفان اثرات ثانویه طوفان قابل مدل‌سازی نبوده است.



شکل ۱۶ - مقایسه تاریخیچه زمانی خیزآب بر اساس میدان بادهای مختلف با داده‌های اندازه‌گیری ایستگاه چابهار

بررسی نتایج میدان باد داده‌های بازتخلیل در بازه زمانی وقوع طوفان در شکل ۱۷ نشان دهنده فروآب در محدوده ایستگاه مسقط نیست. نکته قابل توجه دست بالا بودن نتایج ERA-Interim در ایستگاه مسقط در کل بازه مدل‌سازی شده است. نتایج حاصل از میدان باد CFSR و ERA5 در بازه زمانی وقوع طوفان حاره‌ای آشوبا دست بالا بوده است. اما در بازه پس از طوفان که اثرات ثانویه طوفان حاره‌ای آشوبا سبب خیزآب در ایستگاه مسقط شده است، نتایج ERA5 تطابق مناسبی با نتایج اندازه‌گیری دارد. نتایج حاصل از میدان باد CFSR در این بخش

- با توجه به محدود بودن زمان میدان باد مدل‌های پارامتریک به شروع و زوال طوفان حاره‌ای، امکان مدلسازی اثرات ثانویه خیزآب با این میدان‌های باد وجود ندارد.
- مقایسه نتایج حاصل از میدان باد داده‌های بازتحلیل و مدل WRF نشان می‌دهد که هر چند وضوح مکانی و زمانی داده‌های WRF نسبت به داده‌های بازتحلیل بیشتر است. ولیکن نتایج بازتحلیل ERA5 انطباق کاملی با نتایج WRF دارد. بنابراین با استفاده از میدان باد داده‌های بازتحلیل امکان شبیه‌سازی خیزآب ناشی از طوفان‌های حاره‌ای در محدوده سواحل مکران وجود دارد.
- بررسی مقادیر حداکثر خیزآب در محدوده مورد مطالعه نشان می‌دهد که استفاده از مدل‌های هیبریدی که شامل میدان باد مدل‌های پارامتریک در محدوده چشمه طوفان و داده‌های بازتحلیل در محدوده‌های بیرونی است می‌تواند منجر به نتایج مطلوب خیزآب در کل محدوده مدلسازی گردد.



شکل ۱۸ - نقشه دو بعدی حداکثر مقدار خیزآب در محدوده مدلسازی بر اساس میدان بادهای مختلف

۶ - مراجع

- 1- Mashhadi, L., Hadjizadeh Zaker, N., Soltanpour, M., Moghimi, S., (2013), *Numerical simulation of waves and storm surge induced by the Gonu tropical cyclone in the Chahbahar Bay area*. Journal Of Marine Engineering. 9(17): p. 37-50.
- 2- Zangane, M., (2015), *Estimation of storm surge in Neka*, 14th Iranian Hydraulic Conference, University of Sistan and Baluchestan. (In Persian)
- 3- Nemati, M.H., Koohestani, k., Bagheri, M., Hajisalami, Z., (2016), *Sub-inertial Oscilations due to Cyclone Ashobaa*. 18th Marine Industry Conference, Kish, Iran. (In Persian)
- 4- Bakhtiari, A., Allahyar, M. R., Jedari Attari, M., Haghshenas, S. A., Bagheri, M., (2018), *Modeling of Last Recent Tropical Storms in the Arabian Sea*. Journal of Coastal and Marine Engineering, 1(1): p. 58-66.
- 5- Fritz, H.M., et al., (2010), *Cyclone Gonu storm surge in Oman*. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 86(1): p. 102-106.
- 6- Allahdadi, M.N., et al., (2018), *Cyclone-generated Storm Surge in the Northern Gulf of Oman: A Field Data Analysis during Cyclone Gonu*. American Journal of Fluid Dynamics, 8(1): p. 10-18.
- 7- Alymov, V.V., (2005), *Integrated modeling of storm surges during Hurricanes Isabel, Charley, and Frances*. Ph.D. Thesis University of Florida.
- 8- Liu, H., et al., (2006), *Effect of ocean surface waves on storm surge and coastal flooding*. 27th Conference on Hurricanes and Tropical Meteorology..
- 9- Xie, L., et al., (2010), *Numerical simulation of tropical cyclone intensity using an air-sea-wave coupled prediction system*. in Advances in

۷ - نتایج

- هدف از مطالعه حاضر بررسی اثرات شرایط مرزی و میدان باد بر پیش‌بینی میزان خیزآب ناشی از طوفان‌های حاره‌ای در محدوده سواحل مکران است. برای این منظور داده‌های اندازه‌گیری تغییرات تراز آب در دو ایستگاه ترازسنجی چابهار و مسقط مورد تحلیل قرار گرفته است. همچنین اثرات شرایط مرزی بر مقادیر خیزآب به صورت شرط مرزی Land، تراز ثابت و مغایرت‌های تراز سطح آب (SSA) بررسی شده است. در نهایت اثرات میدان باد داده‌های بازتحلیل CFSR، ERA-interim، ERA5 و مدل‌های پارامتریک Rankin، Holland، Sobey&Young و مدل WRF در بازه زمانی متناظر با طوفان‌های حاره‌ای ناناوک و آشوبا مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج حاصل از ارزیابی‌ها و مدلسازی‌های عددی انجام گرفته عبارتست از:
- بررسی داده‌های اندازه‌گیری نشان می‌دهد حداکثر مقدار خیزآب و یا روند افزایشی آن پس از زوال طوفان حاره‌ای ایجاد می‌شود. اینگونه تغییرات تحت عنوان اثرات ثانویه حرکت بدنه آبی ناشی از طوفان‌های حاره‌ای است که در مطالعات خیزآب در محدوده سواحل مورد مطالعه بایستی مورد توجه قرار گیرد.
 - شرایط مرزی یکی از عوامل تاثیرگذار بر مدلسازی خیزآب است. در نظر گرفتن شرایط مرزی مدلسازی عددی به صورت مغایرت‌های تراز سطح آب (SSA) منجر به نتایج منطبق با اندازه‌گیری‌ها می‌شود.

Geosciences: Volume 18: Ocean Science (OS), World Scientific. p. 19-43.

10- Teng, Y.-C., (2012), *Developing an Unstructured Grid, Coupled Storm Surge, Wind Wave and Inundation Model for Super-regional Applications*.

11- Tasnim, K.M., et al., (2014), *Numerical Simulation of cyclonic storm surges over the Bay of Bengal using a meteorology-wave-surge-tide coupled model*. Coastal Engineering Proceedings, 1(34): p. 26.

12- Pan, Z. and H. Liu, (2015), *Numerical study of typhoon-induced storm surge in the Yangtze estuary of China using a coupled 3D model*. Procedia Engineering, 116: p. 849-854.

13- Nakamura, R., et al., (2015), *Evaluation of storm surge caused by Typhoon Yolanda (2013) and using weather-storm surge-wave-tide model*. Procedia Engineering, 116(1): p. 373-380.

14- Shaji, C., S. Kar, and T. Vishal, (2014), *Storm surge studies in the North Indian Ocean*.

15- Foreman, M.G.G., (1979), *Manual for tidal heights analysis and prediction*. Institute of Ocean Sciences, Patricia Bay.

16- <http://tds.hycom.org/thredds/catalogs/GLBv0.08>