

مقاله پژوهشی

DOR: [20.1001.1.24767131.1400.7.1.4.5](https://doi.org/10.1001.1.24767131.1400.7.1.4.5)

درصد همانندی: ۲٪

بررسی تأثیر احداث موج‌شکن نخل‌ناخدا در الگوی جریان و کدورت در منطقه

مجید زارع‌زاده^۱، مریم راه‌بانی^{۲*}، صمد حمزه‌یی^۳، مازیار خسروی^۴

^۱ دانشجوی دکتری فیزیک دریا، دانشکده علوم و فنون دریایی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس
^{۲*} نویسنده مسئول، دانشیار دانشکده علوم و فنون دریایی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس
^۳ استادیار مرکز اقیانوس‌شناسی خلیج فارس، بندرعباس
^۴ مربی، مرکز اقیانوس‌شناسی خلیج فارس، بندرعباس

majid_zarezadeh_nu@yahoo.com
 m_rahbani@hormozgan.ac.ir
 s_hamzei@inio.ac.ir
 mazyar.khosravi@inio.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۸/۱۸

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۶/۱۵

چکیده

در هیدرودینامیک سواحل، سازه‌های دریایی نقش مؤثری در تغییرات مورفولوژی ساحل و شرایط طبیعی جریان‌ها در منطقه دارند. اغلب، ساخت سازه‌هایی مانند اسکله، به تغییر الگوی جریان‌های ساحلی و دیگر عوامل مرتبط با آن نظیر نرخ رسوب‌گذاری، کدورت آب و شوری منجر خواهد شد. در پژوهش پیش‌رو، با استفاده از اندازه‌گیری‌های میدانی جریان‌های ساحلی با شبیه‌سازی عددی و استفاده از نرم‌افزار ROMS، تأثیر ساخت اسکله نخل‌ناخدا در الگوی جریان‌های ساحلی بررسی شده است. اندازه‌گیری‌های میدانی سرعت جریان‌های ساحلی با دستگاه ADCP، در یک دوره ۳۰ روزه، در دولایه سطحی و عمقی انجام شد. همچنین تعیین مقدار کدورت و شوری با CTD انجام شد. برای بررسی اثرات ساخت اسکله، شبیه‌سازی در دو حالت، با و بدون در نظر گرفتن اسکله انجام و با داده‌های میدانی کالیبره شده‌اند. بر اساس نتایج، احداث این سازه موجب تغییر در خط ساحل و افزایش 40×10^4 مترمربع به منطقه ساحلی شده است. همچنین بر اساس نتایج شبیه‌سازی، تغییر در سرعت و جهت جریان در غرب اسکله می‌تواند عامل تغییر کدورت در این منطقه باشد.

واژه‌های کلیدی: اسکله نخل‌ناخدا، اندازه‌گیری میدانی، جریان ساحلی، شبیه‌سازی عددی، ROMS

۱. مقدمه

احداث سازه‌های ساحلی اغلب بر روند طبیعی اثر متقابل دریا و ساحل تأثیر گذاشته و به تغییر هیدرودینامیک و مورفولوژی منطقه منجر می‌شود. این تغییرات به علت برهم خوردن تعادل موجود بین تمامی عوامل و پدیده‌های جاری، بر

طبیعت منطقه ساحلی که در سالیان متمادی شکل گرفته، رخ می‌دهد [۱]. بررسی چگونگی ایجاد این تغییرات و مطالعه شیوه تغییر شکل ساحل پیش از احداث سازه‌ها اهمیت بسیاری دارد. ساحل بندرعباس به دلیل قرار گرفتن در فرورفتگی شمالی تنگه هرمز به‌طور طبیعی، به منطقه‌ای نیمه

جهت زاویه ساخت اسکله، به بهبود مشکل و کاهش تغییرات مورفولوژی منجر می‌شود.

یکی از سازه‌هایی که در سالیان گذشته در ساحل بندرعباس ساخته شده، اسکله نخل‌ناخدا است. این اسکله در ضلع شرقی ساحل بندرعباس و در موقعیت عرض جغرافیایی ۲۷٫۱ درجه و طول جغرافیایی ۵۶٫۳ درجه قرار گرفته است. ساخت فاز اول این سازه، (شکل ۱-ج)، به طول تقریبی ۳۶۴۰ متر، طول دستک بلند ۴۵۰ متر، طول دستک کوچک ۲۵۰ متر و طول قوس ۱۵۰ متر در ساحل نخل‌ناخدا، از سال ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۴ به طول انجامید. اسکله یادشده برای دسترسی آسان و نزدیک‌تر از بندرعباس به جزیره هرمز طراحی شده است. تصاویر ماهواره‌ای (شکل ۱) که در دوره‌های زمانی متفاوت گرفته شده، نشان از تغییرات قابل ملاحظه خط ساحل و به تبع آن، تغییر مورفولوژی در این نواحی می‌دهد؛ بنابراین به نظر می‌رسد این تغییرات ناشی از ساخت اسکله نخل‌ناخدا بوده و در صورت ادامه این فرایند یا تکمیل فاز ۲ پروژه که بیش از ۳ کیلومتر به طول اسکله افزوده خواهد شد، به تبعات زیست‌محیطی می‌انجامد.

بازدیدهای میدانی صورت گرفته و نمونه‌برداری‌های انجام‌شده، نشان از رسوب‌گذاری در اطراف اسکله نخل‌ناخدا و باتلاقی شدن منطقه دارد و از سویی بستر رسوبی مناطق ساحلی همواره تحت تأثیر تنش‌های برشی ناشی از جریان‌های ساحلی هستند. همچنین به دلیل قرار گرفتن این منطقه در مجاورت تنگه هرمز سرعت جریان در آن قابل ملاحظه است و بر اساس اندازه‌گیری‌های میدانی گاه به حدود ۱ متر بر ثانیه می‌رسد (شکل ۶). از آنجا که هر بحثی در مورد مسائلی همچون رسوب‌گذاری یا نرخ انتقال رسوب، نیازمند شناخت و محاسبه دقیق فرایندهای دخیل در رخداد است و با توجه به این فرض که ساخت اسکله نخل‌ناخدا باعث تغییر جریان‌های ورودی از تنگه هرمز به ساحل بندرعباس است، به نظر می‌رسد که عامل اصلی تغییرات مورفولوژی، چنانچه در شکل (۱-ج) مشاهده می‌شود، تغییرات جریان‌های ساحلی است.

بسته تبدیل شده است که این امر باعث تبادل اندک آب‌های ساحلی با آب‌های دور از ساحل می‌شود [۲]. در کنار این عامل طبیعی، عوامل انسانی متعدد دیگری شرایط طبیعی سواحل بندرعباس را تغییر داده است. ساخت بندرگاه‌ها، موج‌شکن‌ها و اسکله‌ها در سرتاسر این ساحل که گاهی طول آن‌ها تا چندین کیلومتر می‌رسد، شرایط طبیعی جریان، کشند، امواج و انتقال رسوب را تغییر داده است [۳]. یکی از مهم‌ترین مسائل در مهندسی سازه‌های دریایی، جانمایی مناسب سازه برای بهره‌برداری ایمن و به حداقل رساندن مشکلات احتمالی زیست‌محیطی است. محققان، مطالعات زیادی در این راستا درباره تغییرات خط ساحلی و الگوی جریان انجام داده‌اند. در مطالعه‌ای که کرم‌خانگی و همکاران، درباره الگوی جریان در اطراف جتی‌های منطقه کیشهر انجام دادند، پس از برداشت داده‌های میدانی، اثر این جتی‌ها با مدل مایک ۲۱ شبیه‌سازی شد که نتایج آن نشان داد احداث جتی‌ها، جریان کلی دهانه را مختل کرده و سبب تولید گردابه‌هایی در اطراف و دهانه بند می‌شود [۴]. همچنین اسماعیلی و همکاران در شبیه‌سازی جریان کرانه‌ای در منطقه کیشهر با استفاده از مدل مایک ۲۱ الگوی جریان قبل و پس از احداث جتی شبیه‌سازی کردند و نتایج حاصل از آن نشان داد سرعت جریان در اطراف ورودی حدود ۳۵٪ کاهش یافته است [۵]. همچنین در پژوهشی که میلیتو^۱ و همکاران در خلیج شینکوک انجام دادند، اثر ساخت جتی بر تغییر الگوی جریان خروجی کانال به سمت اقیانوس اطلس بررسی شد که اندازه‌گیری و شبیه‌سازی عددی نشان داد الگوی جریان در نوک جتی، کاهش محسوسی می‌یابد و به ایمن شدن مسیر کانال برای کشتیرانی منجر می‌شود [۶]. همچنین ماسیرا در مطالعه‌ای دیگر نشان داد که ساخت اسکله و موج‌شکن در رود نیل به افزایش نرخ رسوب‌گذاری و تغییر الگوی جریان منجر شده است [۷]. آن‌ها به کمک اندازه‌گیری میدانی و محاسبات عددی با استفاده از مدل CMS^۲، تغییر نرخ رسوب‌گذاری در اثر ساخت اسکله که به تغییر الگوی جریان در دماغه روزتا منجر شده بود را بررسی کردند، نتایج محاسبات شبیه‌سازی نشان داد تغییر طول و

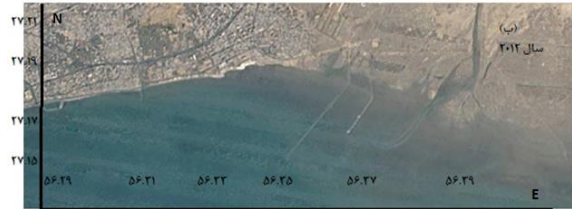
تحقیقات پیشین محققان متفاوتی، در دماغه روزتا [V]، به کمک مدل‌سازی CMS، و در خلیج شینکوک با افزایش طول جتی و بدون آن [5]، با مدل‌سازی عددی برنامه CPP⁵، انجام شده است.

برای انتخاب مکان مناسب نصب دستگاه ADCP، مکانی با شرایطی مناسب اندازه‌گیری مانند مسطح بودن محل نصب، دوری از وجود پستی و بلندی، داشتن حداقل سرعت جریان 8cm/s ، و دور بودن از میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی [8]، باید مدنظر قرار گیرد که پس از انتخاب مکان و موقعیت مناسب، ADCP مورد اشاره در عمق ۷ متری نصب شد و به مدت ۳۰ روز و با در نظر گرفتن وجود دو مهکشند و کهکشند در این بازه زمانی، اندازه‌گیری انجام شد. با توجه به عمق منطقه و تغییرات سطح آب از دستگاه ADCP با فرکانس 60kHz استفاده شده است [8]. به‌منظور ثبت جریان در دو راستای افقی X و Y، تنظیمات دستگاه ADCP در بازه‌های زمانی ۱۰ دقیقه در دو لایه با ضخامت ۲ متر پیکره‌بندی شده‌اند.



شکل ۲. موقعیت ایستگاه نصب ADCP و مکان پایش توسط CTD و مرزهای شبیه‌سازی در مدل Roms

در یک دوره ۳۰ روزه اندازه‌گیری، بیش از ۴۳۰۰ داده سرعت جریان به دست آمد. مقادیر به دست آمده برای جریان، مقدار میانگین در بازه زمانی و بازه مکانی تعیین شده در تنظیمات دستگاه است. به‌منظور پایش و کنترل داده‌های جریان کشندی و حذف داده‌های احتمالی پرت، از بسته نرم‌افزاری T-Tide استفاده شده است. دامنه و فاز هارمونیک‌های مختلف در سطح اطمینان ۹۵٪ به دست آمد.



شکل ۱. منطقه مورد مطالعه در گذر زمان (الف) سال ۲۰۰۸ پیش از شروع پروژه، (ب) سال ۲۰۱۲ در حین خاکریزی و زیرسازی اسکله، (ج) سال ۲۰۱۶ پس از اتمام فاز اول پروژه

با این حال این فرضیه برای تأیید نیاز به بررسی و تحقیق دارد. هدف از این مطالعه، بررسی اثر ساخت این اسکله بر جریان‌های منطقه با استفاده از مدل عددی ROMS³، به‌منظور ارزیابی شرایط کنونی منطقه است.

۲. مواد و روش کار

۲-۱. اندازه‌گیری میدانی

برای اندازه‌گیری سرعت جریان، یک دستگاه ADCP⁴ متعلق به شرکت RD Instrument (جدول ۱) بستر نشین، در ضلع جنوبی اسکله و به فاصله ۵۰۰ متر از دستک بلند در موقعیت جغرافیایی $56^{\circ}35'$ درجه شرقی و $27^{\circ}16'$ درجه شمالی نصب شد (شکل ۲). مزیت ADCP نسبت به دیگر جریان‌سنج‌ها این است که می‌تواند سرعت جریان را در یک ستون و در یک پروفایل عمودی پایش و اندازه‌گیری کند. هدف از این اندازه‌گیری، پایش سرعت جریان و بررسی اثر آن در دو سوی اسکله نخل‌ناخدا و کالیبره نمودن مدل عددی بوده که به کمک مدل Roms موقعیت اسکله و الگوی جریان با حضور اسکله و بدون آن، شبیه‌سازی و اثر ساخت این اسکله در تغییر الگوی جریان بررسی شده است. این روش در

در ۱۱ ایستگاه با CTD (جدول ۲) اندازه گیری و پایش شد. همچنین، روی این داده‌ها آزمون داده‌های پرت و آزمون نرمال انجام شد که در سطح اطمینان ۹۵٪ داده‌ها پرت نبوده و دارای توزیع نرمال بودند.

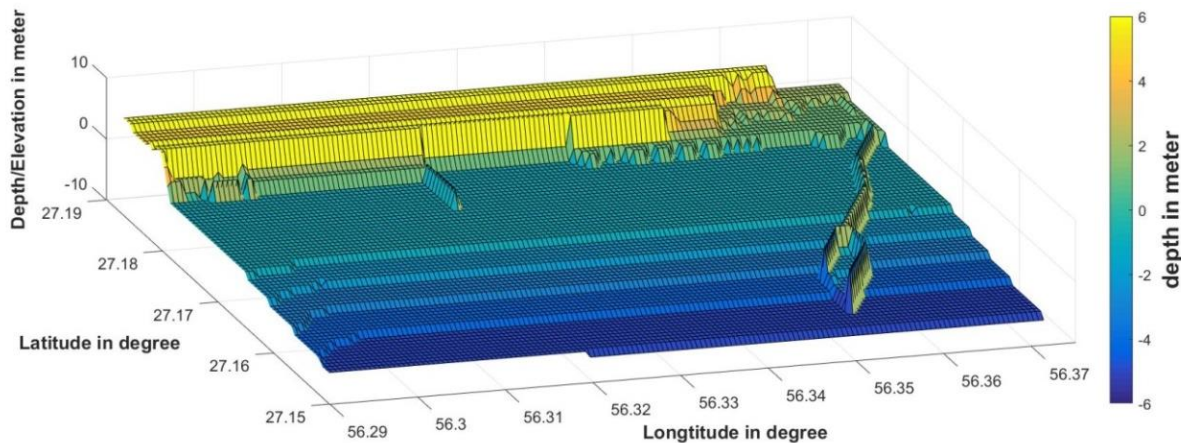
جدول ۱. مشخصات فنی دستگاه ADCP

مقدار	مشخصه
۲,۵ mm/s	درستی سرعت
۱ mm/s	ریزننگری سرعت
± 20000 mm/s	گستره اندازه گیری

داده‌های مورد نیاز برای عمق منطقه از پایگاه داده GEBCO^۶ با ریزنگری ۲۵۰۰ متر در ۲۵۰۰ متر و داده‌های سازمان نقشه برداری، با ریزنگری ۵۰۰ متر در ۵۰۰ متر، اخذ شد. این داده‌ها پردازش شده و پس از درون‌یابی آن‌ها با یکدیگر، در مدل ROMS 3.9 به‌عنوان داده‌های عمق بارگذاری شده است (شکل ۳). علاوه بر اندازه گیری سرعت جریان با ADCP، به منظور صحت‌سنجی، کالیبراسیون و بررسی دقیق‌تر تأثیر اسکله در جریان‌های ساحلی و به تبع آن، اثرات زیست‌محیطی متأثر از آن، در اطراف اسکله نخل‌ناخدا، دیگر پارامترهایی مانند شوری، چگالی، کدورت آب و دما

جدول ۲. مشخصات فنی دستگاه CTD

ثابت زمانی	ریزننگری	درستی	گستره کاری	کمیت
۵۰ ms	0.00025 mS cm ⁻¹	0.003 mS cm ⁻¹	$0-70$ mS cm ⁻¹	رسانش
۰٫۱ S	0.005 NTU	0.1 NTU	$0-25$ NTU	کدورت



شکل ۳. عمق منطقه مورد مطالعه بر اساس داده‌های بین‌المللی و سازمان نقشه‌برداری در کل منطقه شبی‌سازی

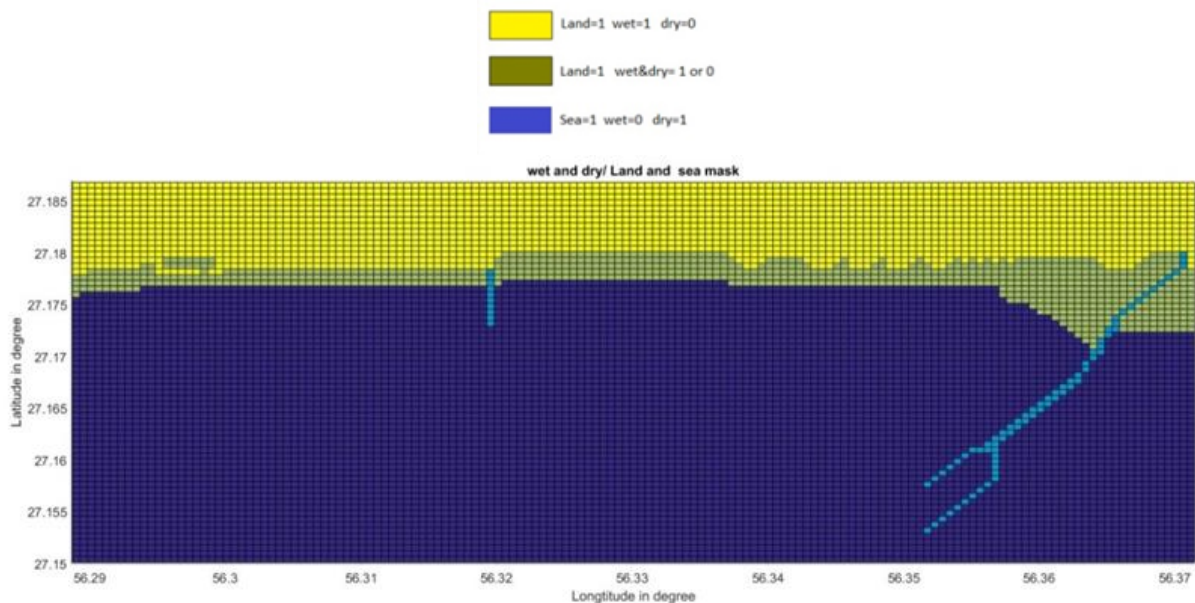
شده است. مدل با استفاده از داده‌های میدانی جریان با معادله‌های سه‌بعدی رینولدز تحلیل و تخمین زده شده است. به‌منظور شبیه‌سازی منطقه مورد مطالعه، در راستای افقی گستره ۵ کیلومتری ساحل بندرعباس و در راستای عمود به ساحل فاصله ۹ کیلومتری در نظر گرفته شد. به‌این ترتیب مدل دارای یک مرز خشک در ساحل بندرعباس و سه مرز آبی باز است (شکل ۲). از آنجا که داده‌های میدانی تنها در مرز باز شماره ۲ اندازه‌گیری شده‌اند، بنابراین برای به دست آوردن جریان در مرزهای ۳ و ۴ ابتدا مدل با داده‌های اولیه، برای کل خلیج فارس اجرا شده و پس از رسیدن به حالت پایدار و

۲-۲. مدل عددی ROMS

در این مطالعه، برای شبیه‌سازی اسکله و بررسی تأثیر ساخت آن در هیدرودینامیک منطقه از مدل عددی ROMS استفاده شده است. این مدل با توجه به نوع الگوریتم آن و کارایی زیاد و صحت مناسب نتایج خروجی و گستردگی کاربرد آن، به شکل چشمگیری محققان سرتاسر دنیا از آن استفاده می‌کنند. از آنجا که ROMS مدلی با منع آزاد است، با توجه به شرایط موجود هر منطقه، رویدادهای نوین و کاربرد عملیاتی دائماً به‌روزرسانی شده و الگوریتم آن بهبود می‌یابد که این امر به پایداری مدل و استواری نتایج خروجی منجر

دیوار اسکله نخل‌ناخدا، ریزنگری سلول‌ها تا حد امکان و تا حدی که CFL^۹ و پایداری شبیه‌سازی اجازه داده، کوچک در نظر گرفته شده‌اند. در نقاط نزدیک به اسکله مورد مطالعه و ساحل، از سلول‌های با طول و عرض ۵۰ متر استفاده شده و در دیگر نقاط سلول‌هایی با طول و عرض به ترتیب ۵۰۰ متر و ۱۰۰۰۰ متر استفاده شده است (جدول ۳).

اجرای کامل از داده‌های گردش جریان برای مرزهای باز ۳ و ۴ استفاده شده است. با توجه به نوع منطقه و وجود مناطق تحت تأثیر کشند، شبکه تودرتو (آشپانه‌ای^۷) در کل منطقه شبیه‌سازی به کار گرفته شد (جدول ۳)، همچنین برای قابلیت همپوشانی^۸ در نزدیکی مرز خشکی و مکانی که تحت تأثیر جریان‌های کشندی است، از قابلیت wet/dry استفاده شده است (شکل ۴) [۱۰]. در نزدیکی مناطق ساحلی و کناره



شکل ۴. استفاده از قابلیت Land/Sea و wet/dry در مدل‌سازی

(جدول ۳) که پس از تعریف کلیه پارامترهای ورودی به مدل، مقایسه داده‌های میدانی و اطمینان از کالیبره بودن آن (شکل ۱۰ و جدول ۵)، مدل به منظور استخراج سرعت جریان‌های افقی (ii و v) در منطقه اجرا شده است. برای بررسی تأثیر ساخت اسکله نخل‌ناخدا بر مورفولوژی منطقه و نوع جریان و تغییرات آن، مدل در دو حالت، با وجود اسکله و بدون وجود آن اجرا شده و نتایج آن مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته است.

برای تخمین صحت شبیه‌سازی در منطقه مورد بررسی، از داده‌های اندازه‌گیری میدانی جریان ADCP استفاده شده است. پس از تنظیم ورودی‌های ابتدایی، مدل کالیبره شده و برای صحت‌سنجی نتایج در مرزهای باز، داده‌های کشندی مورد استفاده قرار گرفته‌اند. همچنین، پس از شبکه‌سازی، تعیین مرزها و شرایط مرزی، داده‌های کشندی ایجاد و اطلاعات آن به مدل ROMS وارد شده است. مدت زمان شبیه‌سازی ۳۰ روز و با گام زمانی ۶۰۰ ثانیه تعریف شده

جدول ۳. متغیرهای موجود در شبکه‌بندی تودرتو شبیه‌سازی

نام شبکه مدل	گستره طول جغرافیایی	گستره عرض جغرافیایی	ریزنگری مکان (m)	ریزنگری زمان (ثانیه)
شبکه‌سازی ۱	۵۶,۳۴E-۵۶,۳۶E	۲۷,۱۶N-۲۷,۱۸N	۵۰	۶۰۰
شبکه‌سازی ۲	۵۶,۲۸E-۵۶,۳۴E	۲۷,۱۴N-۲۷,۱۷N	۵۰۰	۶۰۰
شبکه‌سازی ۳	۵۰,۰۱E-۵۶,۶۱E	۲۴,۰۹N-۳۰,۱۱N	۱۰۰۰۰	۳۶۰۰

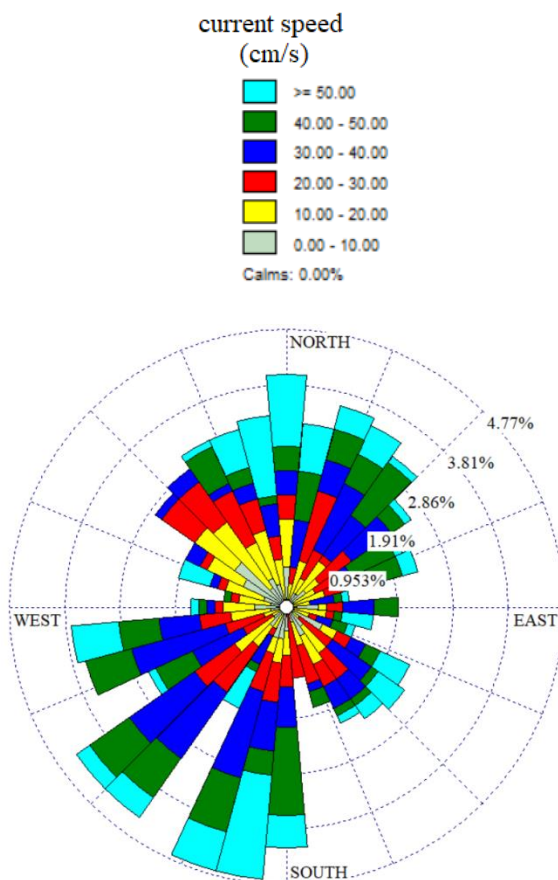
۳. نتایج و بحث

۳-۱. تحلیل داده‌های میدانی

جریان‌های ساحلی کشندی در ساعت‌های مختلف سرعت و جهت‌های متفاوتی دارند. با توجه به الگوی جریان شبیه‌سازی شده در منطقه، مقادیر بیشینه سرعت‌های جریان در طی یک ماه اندازه‌گیری، 89.59 cm/s در لایه بستر و 93.81 cm/s سطحی است (شکل ۶). طبق انتظار، مقادیر سرعت‌های بیشینه در بازه‌های زمانی مه‌کشند و ماه کامل رخ داده است. برای رسم نمودار گل‌جریان، از نرم‌افزار Lake Software WRplot، از مجموعه نرم‌افزارهای Products and Services که برای ایجاد داده‌های آماری گل‌باد و گل‌جریان و رسم آن‌ها به کار می‌رود (شکل ۵) برای تهیه گل‌جریان داده‌های جریان مربوط به بازه ۳۰ روزه اندازه‌گیری استفاده شده است. نمودار گل‌جریان نشان از وجود دو جریان غالب می‌دهد که در شکل ۵ می‌توان دید، این جریان‌های غالب شمال و جنوب غرب هستند، باین‌حال جریانات پراکنده نیز در محل اندازه‌گیری ثبت شده که نزدیکی دستگاه اندازه‌گیری به ساحل و تردد شناورها در بازه زمانی اندازه‌گیری در منطقه را می‌توان از دلایل ایجاد پراکندگی در گل‌جریان برشمرد. جریان مدی به سمت شمال، ساحل بندرعباس و جریان جزر به سمت جنوب ساحل بندرعباس است. با توجه به جهت‌گیری و زاویه اسکله نخل ناخدا نسبت به ساحل بندرعباس، این جهت جریان غالب را می‌توان عاملی احتمالی در ایجاد تغییرات ژئومورفولوژیکی و خط ساحلی در اطراف اسکله دانست.

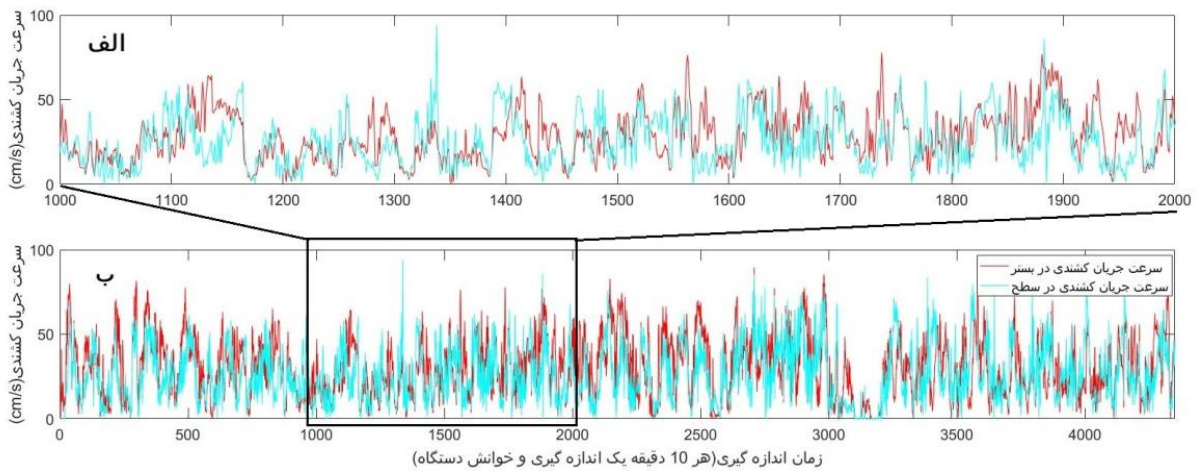
شکل ۶، نمودار سرعت در بستر و سطح را در بازه زمانی ۳۰ روزه نشان می‌دهد. روند زمانی سرعت‌ها مطابق با دوره کشندی یک ماه در منطقه است. همچنین به‌خوبی می‌توان دید که سرعت جریان در منطقه مورد مطالعه نسبتاً قابل ملاحظه بوده که دلیل آن همان‌طور که گفته شد می‌تواند مربوط به نزدیکی منطقه مورد مطالعه به تنگه هرمز باشد. شکل ۷ توزیع جهتی جریان کشندی، در راستای محور x یا شرق سو، با توجه به دوره تناوب را نشان داده و همان‌طور که مشاهده می‌شود تغییرات اندازه و جهت سرعت به شکل دوره‌ای و

متناسب با هارمونیک‌های کشندی منطقه تغییر می‌کند که علت این عدم تقارن در سرعت و سطح آب، اختلاف فاز جریان کشندی است. بیشینه سرعت‌های جریان جزر و جریان مدی به ترتیب 93.81 cm/s و 81.60 cm/s است. این اختلاف ناشی از عدم تقارن سرعت جریان کشندی است که می‌تواند به تغییر توازن و انتقال رسوب در بلندمدت منجر شود که در وضعیت حاضر به نظر می‌رسد، این انتقال احتمالی به سمت خلیج باعث افزایش آهنگ رسوب‌گذاری و افزایش رسوبات در منطقه شود [۶]. برای بررسی غالب بودن جزر یا مد، جریان کشندی اندازه‌گیری شده و با در نظر گرفتن این نکته که داده‌های اندازه‌گیری مربوط به یک دوره ۳۰ روزه است، عدم تقارن در جریان کشندی و وجود قله در نمودار نشان می‌دهد که جریان جزر نسبت به جریان مدی غالب است (شکل ۷)، به عبارتی می‌توان منطقه مورد مطالعه را جزر غالب در نظر گرفت.

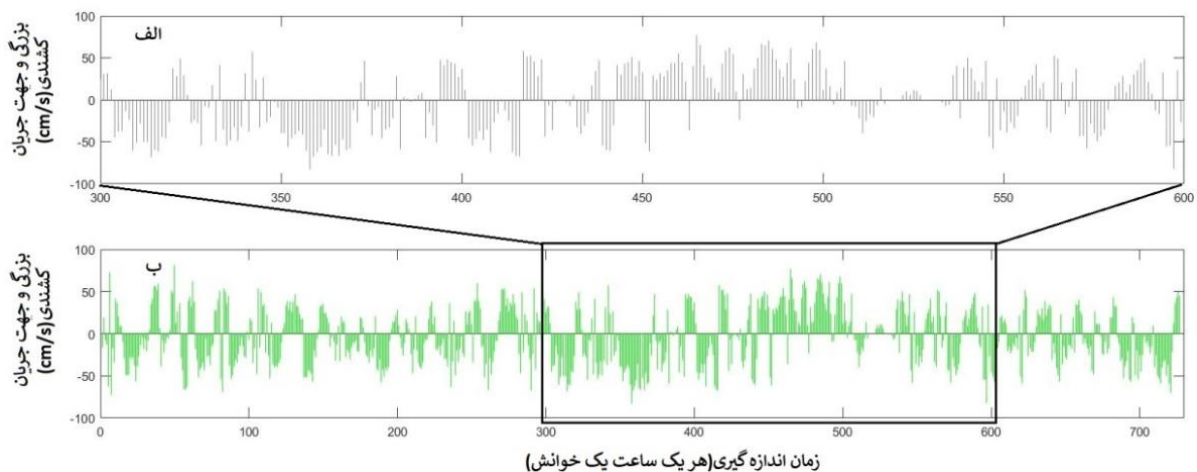


شکل ۵. نمودار گل‌جریان سرعت جریان نسبت به شمال جغرافیایی

از طرفی برای بررسی همسان بودن داده‌های اندازه‌گیری در دولاویه، اقدام به آزمون آماری بر داده‌ها شده که جدول ۴ نشان می‌دهد نتایج اندازه‌گیری در سطح و بستر همبستگی مناسبی با یکدیگر دارند و گستره این داده و انحراف معیار آن‌ها تقریباً یکسان است.



شکل ۶. سری زمانی تغییرات سرعت در بستر طی یک ماه اندازه‌گیری (ب) و یک پنجره زمانی کوچک‌تر (الف)



شکل ۷. نمودار جهت‌ی سرعت در راستای x جریان کشتی طی یک ماه اندازه‌گیری (ب) و یک پنجره زمانی کوچک‌تر (الف)

انتقال مواد معلق و کدورت بیشتر از سوی ساحل با جریان جزری به سمت خلیج است.

شکل ۹ توزیع شوری و کدورت (به ترتیب الف و ب) را بر اساس درون‌یابی داده‌های ثبت‌شده توسط CTD اطراف اسکله نشان می‌دهد. همه محاسبات آماری و تخمین‌های موردنیاز و آزمون‌های فرض با نرم‌افزار مینی تب ۱۹^{۱۰} انجام شده است. با ملاحظه شکل ۹ مشخص می‌شود میزان کدورت در شرق اسکله نخل‌ناخدا در محدوده ۹ تا ۱۲ NTU^{۱۱} است، درحالی‌که این مقدار در بخش غربی اسکله افزایش یافته و در محدوده ۱۵ تا ۲۱ NTU است.

جدول ۴. اطلاعات آماری اندازه‌گیری جریان در سطح و بستر

گستره	انحراف معیار	میانگین (cm/s)	پیشینه (cm/s)	
۷۵,۱۲	۱۷,۵۳	۳۰,۳۶	۸۹,۵۹	جریان سطح
۷۸,۴۵	۱۶,۳۱	۲۶,۱۹	۹۳,۸۱	جریان بستر

از بررسی تابع توزیع جریان کشتی در جزر و مد می‌توان برای تحلیل نحوه انتقال مواد معلق و کدورت در دو سوی اسکله استفاده کرد [۶ و ۷].

شکل ۸ نشان می‌دهد توزیع سرعت جریان جزر نیز بیشتر از توزیع سرعت جریان مد است که این مورد تأکید بر غالب بودن جریان جزر در منطقه را دارد، بدین معنا که احتمالاً

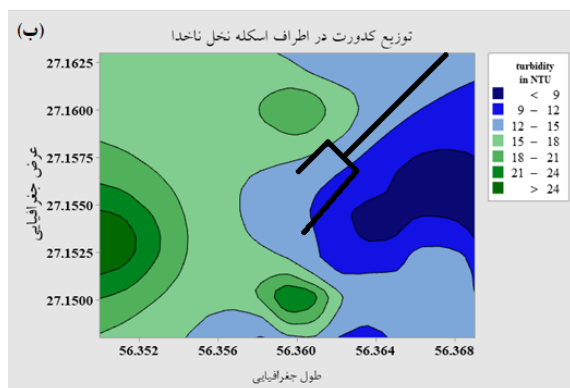
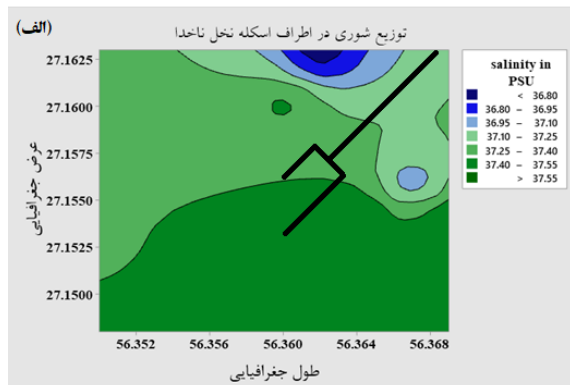
ذرات معلق در پشت اسکله و در نتیجه افزایش کدورت در این قسمت است.

۲-۳. صحت‌سنجی نتایج شبیه‌سازی

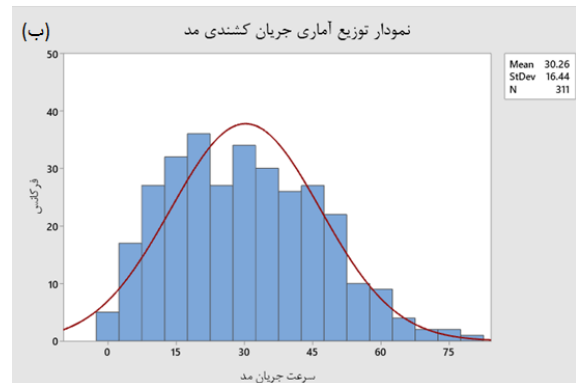
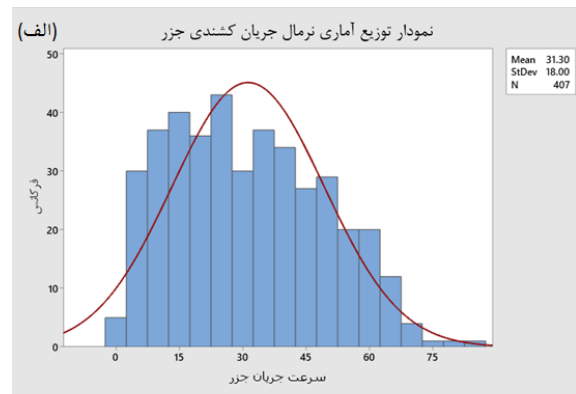
با توجه به انجام اندازه‌گیری میدانی و وجود داده‌های شبیه‌سازی مدل ROMS نیاز است که این داده‌ها از لحاظ آماری با یکدیگر مقایسه شوند. برای مقایسه نتایج از پارامترهای آماری مانند اریبی، ضریب همبستگی و ریشه میانگین مربعی داده‌ها و مقایسه آن‌ها با یکدیگر استفاده شده و محل برداشت داده‌ها از مدل همان ایستگاه نصب ADCP در نظر گرفته شده است.

بر اساس محاسبات آماری، مدل به خوبی قادر به شبیه‌سازی شرایط منطقه بوده، طوری که ضریب همبستگی $r=0.886$ ، و مقدار خطای RMSE حدود 14 cm/s ، و بایاس هم $1/2$ است (جدول ۵).

همچنین نمودار پراکندگی با معادله $Y = 1.042 + 0.7739X$ نشان‌دهنده انطباق خوب نتایج حاصل از مدل با داده‌های میدانی است (شکل ۱۰).



شکل ۹. توزیع شوری (الف) و کدورت (ب) در اطراف اسکله نخل ناخدا



شکل ۸. توزیع آماری جریان کشتندی در حال جزر (الف) و مد (ب)

برای بررسی میزان تغییرات کدورت در دو سوی اسکله از آزمون فرض آماری استفاده شده است. با فرض صفر، μ_0 ، عدم اختلاف بین داده‌های میدانی اندازه‌گیری شده در دو سوی اسکله و فرض متقابل، μ_1 ، وجود اختلاف در بین داده‌ها، آزمون آماری انجام شده و نتایج نشان داده که در سطح اطمینان ۹۵٪ برای کدورت تفاوت معناداری وجود دارد، اما بین داده‌های شوری در دو سوی اسکله تفاوت معناداری وجود ندارد. تفاوت معنادار در کدورت دو سوی اسکله نشان از وجود ذرات معلق بیشتر در غرب اسکله است. با وجود آنکه آزمون کدورت پیش از احداث اسکله انجام نشده بود و معیاری برای افزایش کدورت در سمت غرب اسکله وجود ندارد، با این حال شکل (۹ ب) به خوبی نشان می‌دهد که قرار گرفتن اسکله در محل فعلی موجب تجمع کدورت در پشت بازوی اصلی اسکله (سمت غرب) شده و این در حالی است که چنین تغییر معناداری در انتشار شوری دیده نشده است (شکل ۹ الف). بعلاوه قرار گرفتن خور درست در پشت این بازو عامل دیگری برای به دام افتادن

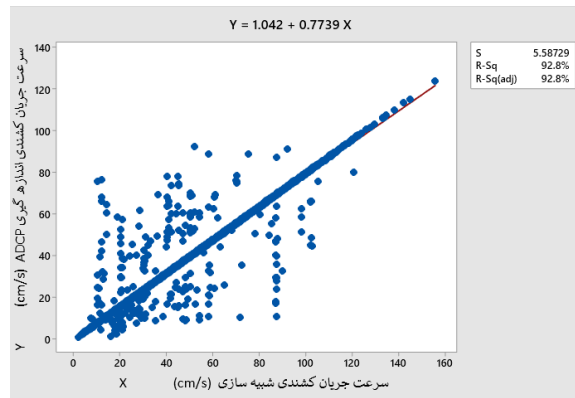
۳-۳. تحلیل نتایج شبیه‌سازی

برای بررسی دقیق‌تر شرایط منطقه و اینکه وجود اسکله چه تأثیری بر الگوی جریان گذاشته و موجب ایجاد تغییرات شوری، کدورت در دو سوی اسکله و رسوب‌گذاری در منطقه شده است، مدل کالیبره شده به مدت ۳۰ روز با دو سناریو، شامل سناریو (الف) بدون در نظر گرفتن اسکله و سناریو (ب) با در نظر گرفتن سازه اسکله اجرا شد که نتایج در ادامه آورده شده است.

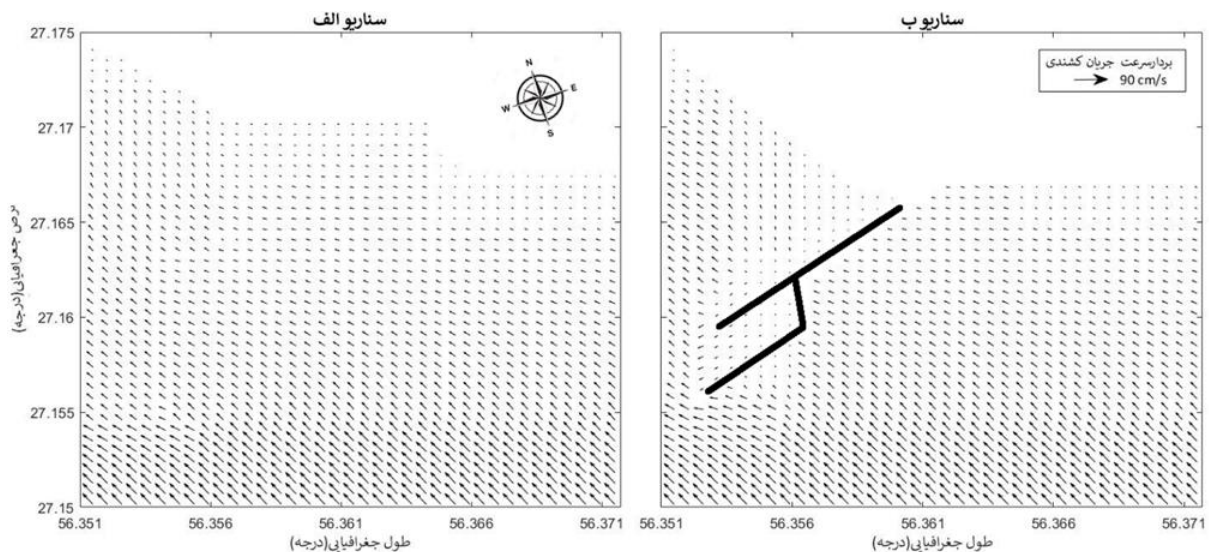
پس از اجرای مدل‌ها و استخراج نتایج با یکدیگر، مشاهده شده که الگوی کلی جریان پیش و پس از احداث اسکله کاملاً با هم متفاوت هستند (شکل ۱۱). نتایج خروجی شبیه‌سازی برای الگوی جریان میانگین در شکل ۱۱ ارائه شده که شکل‌های یادشده نحوه توزیع سرعت جریان در ساحل بندرعباس و اطراف اسکله نخل‌ناخدا را نشان می‌دهد.

جدول ۵. مقایسه آماری نتایج شبیه‌سازی و اندازه‌گیری میدانی

پارامتر آماری	مقدار	دیمانسیون
RMSE	۱۳٫۷۰	cm/s
ضریب همبستگی	۰٫۸۸۶	بدون بعد
بایاس (اریبی)	۱٫۲	بدون بعد
MAE	۱۱٫۹۲	cm/s



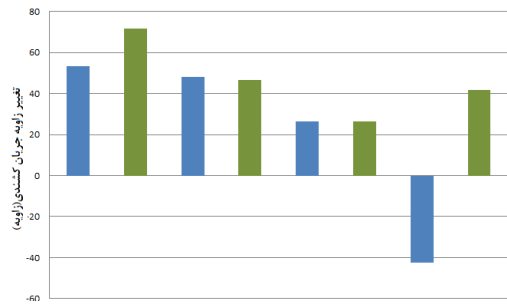
شکل ۱۰. نمودار بررسی میزان پراکندگی داده‌های میدانی و شبیه‌سازی در محل نصب ADCP



شکل ۱۱. الگوی میانگین جریان (الف) بدون وجود اسکله نخل‌ناخدا و (ب) با وجود اسکله

باشد، جنوب اسکله (منطقه ۲) جایی که انتظار می‌رود در انتهای دستک اسکله بوده و جریان در آن منطقه کمتر تحت تأثیر ساخت اسکله قرار گرفته باشد و در ناحیه شرق اسکله (منطقه ۳) جایی که انتظار می‌رود به دلیل ورودی رودخانه مجاور (شکل ۱)، الگوی جریان تغییر قابل ملاحظه‌ای داشته باشد و در نهایت (منطقه ۴) ناحیه درونی

به‌منظور پایش میزان تغییرات اندازه و جهت سرعت جریان، چهار منطقه ۱، ۲، ۳ و ۴ انتخاب شد و مورد بررسی آماری قرار گرفت (شکل ۱۲). این مناطق به ترتیب در ناحیه غرب اسکله (منطقه ۱)، جایی که ساخت اسکله به شکل مانعی در جهت جریان در امتداد ساحل است و با ساخت اسکله انتظار می‌رود سرعت جریان تغییرات قابل ملاحظه‌ای را تجربه کرده



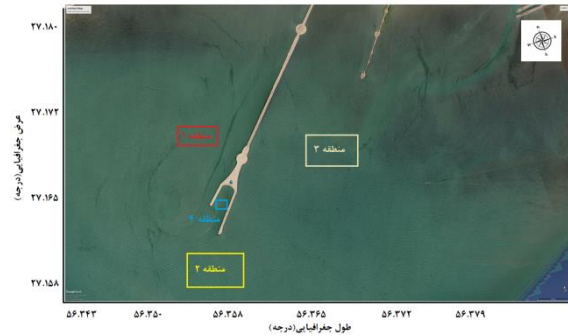
شکل ۱۴. تغییرات جهت سرعت جریان بر اثر ساخت اسکله در نواحی متفاوت اطراف اسکله نخل ناخدا

همچنین بر اساس شکل‌های ۱۳ و ۱۴، مناطق ۱ و ۴ یعنی در ناحیه غرب اسکله و به سمت ساحل بندرعباس و ناحیه آرامش درون اسکله شاهد بیشترین تغییرات جریان ناشی از ساخت اسکله است. ساخت اسکله به کاهش ۲۰٪، در اندازه سرعت (شکل ۱۳) و در حدود ۳۰٪ تغییر در جهت جریان در منطقه ۱ (غرب اسکله) منجر شده است و در منطقه آرامش نعلی شکل (منطقه ۴) سرعت جریان کشندی با ساخت اسکله بیش از ۶۰٪ کاهش یافته و جهت جریان به طور کامل تغییر کرده است.

با توجه به موارد مطرح شده و برای اطمینان از وجود اختلاف معنادار بین داده‌ها در سناریوی الف و ب، روی داده‌ها آزمون فرض انجام شده است، با فرض صفر، M_0 ، عدم اختلاف بین داده‌های سناریوی الف و ب، و فرض متقابل، M_1 ، وجود اختلاف در بین داده‌های سناریوی الف و ب در مناطق سه گانه و منطقه آرامش نعلی شکل اسکله، آزمون آماری در سطح اطمینان ۹۵٪ انجام شده است. خروجی نتایج نشان داده که در کلیه موارد و مناطق تعیین شده، اختلاف معناداری بین داده‌های سناریوی الف و ب وجود داشته و در نتیجه می‌توان گفت ساخت اسکله به تغییرات الگوی جریان و در نهایت تغییر در مورفولوژی منطقه منجر شده است.

با توجه به تغییر سرعت و جهت جریان در منطقه غرب اسکله چنین به نظر می‌رسد که در الگوی جریان اغتشاش ایجاد کرده که موجب ایجاد کدورت نسبتاً بالا (شکل ۹ الف) در این منطقه شده است. همچنین پس از بررسی تغییرات اندازه و زاویه سرعت جریان، بررسی میزان اثر ساخت اسکله روی

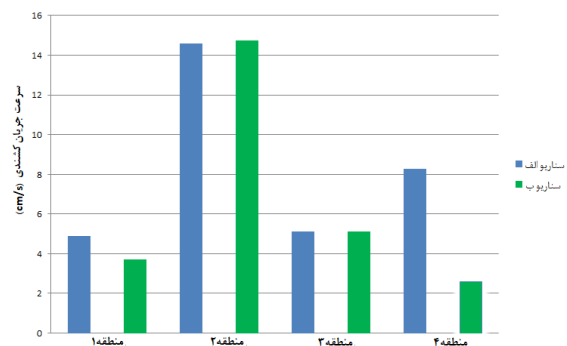
اسکله که منطقه آرامش نامیده می‌شود قرار گرفته‌اند. با توجه به وجود داده‌های اندازه‌گیری شده در انتهای دستک، برای بررسی این داده‌ها از خروجی شبیه‌سازی استفاده شده و برای صحت‌سنجی نتایج از مقایسه این داده‌ها با بسته t-tide استفاده شده است.



شکل ۱۲. مناطق تعیین شده برای بررسی میزان تغییرات سرعت

اندازه سرعت و جهت جریان‌ها در هر یک از این مناطق ۱ تا ۴ بررسی آماری شده است و میزان یکنواختی و نرمال بودن داده‌ها بررسی شد. هر یک از مناطق ۱ تا ۳ شامل ۳۰ سلول است و مساحتی در حدود ۷۵۰۰۰ مترمربع را در بر دارند و منطقه ۴ دارای ۶ سلول است. با توجه به نتایج مناسب هر چهار منطقه در آزمون یکنواختی و نرمال، برای پایش میزان تغییرات سرعت و جهت جریان و مقایسه آن‌ها در مناطق از میانگین داده‌ها استفاده شده است.

میزان تغییرات اندازه و جهت سرعت جریان در نواحی انتهای دستک (منطقه ۲) و سمت شرق اسکله (منطقه ۳)، بسیار کم و جزئی و در حد ۱٪ است (شکل ۱۳ و ۱۴).



شکل ۱۳. تغییرات اندازه سرعت جریان بر اثر ساخت اسکله در نواحی متفاوت اطراف اسکله نخل ناخدا

کاهش سرعت جریان جزر شده و عامل اصلی افزایش خط ساحلی در سمت غربی اسکله شده است.

مقایسه نتایج این تحقیق با مقاله‌های مشابه نشان می‌دهد انطباق مناسبی بین روند کار و نتایج خروجی وجود دارد. در تحقیقی که بر امکان‌سنجی استفاده از جریان‌های ساحلی در سازه‌های تولید انرژی در سواحل ولز، ضمن بررسی جریان کشندی طی یک ماه، با دو کلهکشند و مهکشند، توسط ADCP و مدل‌سازی با ROMS طی همان بازه زمانی، انجام شده و وجود همبستگی ۹۰٪ بین داده‌های اندازه‌گیری و مدل‌سازی، بیانگر این است که جریان کشندی در برخورد با این سازه‌ها انرژی خود را از دست داده و ساخت این سازه به تغییر اقلیم و تغییراتی در خطوط ساحلی آن منطقه منجر شده است [۱۱]. در تحقیقی دیگر توسط سولانو و همکاران در سال ۲۰۱۸، اثر وجود دماغه در ساحل جزیره ویرجین آمریکایی و پورتوریکو با مدل ROMS و با ریزنگری ۱۰۰ متر در ۱۰۰ بررسی شد که نتایج اندازه‌گیری جریان کشندی میدانی و مدل مقدار RMSE، 10 cm/s را نشان داده، و جریان کشندی را به نحو مناسبی پایش و پیش‌بینی نموده است [۱۲]. همچنین در یک تحقیق [۱۳] به منظور ایجاد کانال‌هایی برای تغییر جریان کشندی، داده‌های میدانی به‌وسیله ۴ دستگاه ADCP اندازه‌گیری شده و انطباق آن‌ها با مدل‌سازی توسط ROMS نشان داده که انحراف استاندارد داده‌ها در آب‌های کم‌عمق ساحلی در حدود ۰/۱ و در آب‌های عمیق دور از ساحل بیش از ۰/۲ است و خطای میانگین 8 cm/s اعلام شده که این موضوع نیز با اندازه‌گیری انجام‌شده در این تحقیق انطباق مناسبی دارد.

سپاسگزاری

از ریاست محترم مرکز ملی اقیانوس‌شناسی بندرعباس و کارشناسان محترم آن مرکز که در انجام این پروژه و اندازه‌گیری‌های میدانی با استفاده از امکانات آن مرکز کمک شایانی داشتند، کمال تقدیر و تشکر را داریم.

مراجع

[1] Bolanos R, Tornfeldt J V, Benetazzo A. Modeling ocean currents in the northern Adriatic

نواحی تحت تأثیر جریان کشندی و تغییر این نواحی نیز انجام شده است. با شمارش نقاط و سلول‌های تر/خشک شیب‌سازی، مشاهده شده که پس از ساخت اسکله نخل‌ناخدا، اثر جریان کشندی در ساحل به کاهش 43×10^4 مترمربع سطح اثر جریان کشندی منجر شده است که در شکل ۱۱ به خوبی قابل مشاهده است. سطح اثر پیش از ساخت اسکله در مهکشندها، بیش از 50×10^4 مترمربع بوده و این اثر در کلهکشند، کمتر و در حدود 20×10^4 مترمربع بوده است.

۴. نتیجه‌گیری

با توجه به مشاهدات میدانی، اندازه‌گیری‌ها، و مدل‌سازی عددی که در حیطه ساحل بندرعباس و اطراف سازه اسکله نخل‌ناخدا انجام شده است، می‌توان نتیجه‌گیری کرد که ساخت این سازه تأثیرات قابل ملاحظه‌ای بر جریان‌های ساحلی و رسوب‌گذاری در منطقه داشته است. اندازه‌گیری‌های میدانی نشان داده که کدورت در منطقه غرب اسکله نخل‌ناخدا به علت تغییر در سرعت و جهت جریان تغییر می‌یابد، زیرا این تغییر به بیشتر شدن تحرک رسوب و ذرات معلق منجر می‌شود، و در نتیجه کدورت این ناحیه افزایش می‌یابد. ساخت اسکله، تغییر در اندازه و جهت جریان کشندی در آن منطقه باعث شده سطح مناطق خشک و دور از دسترس جریان کشندی افزایش یابد و با افزایش زمان شیب‌سازی، این خشک شدن افزایش می‌یابد. کاهش چشمگیر سرعت در منطقه آرامش درون اسکله و ناحیه نعلی شکل، علاوه بر اینکه به ایجاد منطقه‌ای مناسب برای تردد شناورها منجر خواهد شد، به مضاعف شدن رسوب‌گذاری در این منطقه نیز می‌انجامد. منطقه‌ای در ناحیه غربی اسکله، شوری کاهش یافته، که این امر با توجه به افزایش کدورت و رابطه مستقیم کدورت و شوری، انطباق ندارد. پس با توجه به وجود منطقه کاشت درختچه‌های مانگرو با وسعتی در حدود 27×10^3 مترمربع و خاصیت زیستی این گیاهان به نظر می‌رسد که موجب تغییرات اکولوژی منطقه و تغییرات در پارامترهایی مانند شوری شده است. با توجه به این نکته که منطقه جزر غالب است، چنین به نظر می‌رسد که احداث این سازه و به هم زدن طبیعت جریان در آن منطقه، موجب

Islands. Journal of Ocean Engineering and Science. 2018 Sep 1;3(3):223-36.

[13] Carvlho GV, Soares F, Cabral M, Lucas M. San Bernardino Strait Hydrodynamic Modeling for yield assessment and optimization. ICOE Conference ;2018 June12-14; Normandie, France.

پی نوشتها

1. Militello
2. Coastal Modeling System
3. Regional Ocean Model System
4. Acoustic Doppler Current Profiler
5. C++ Program
6. Genera Bathymetric Chart of the Ocean
7. Nested
8. Overlap
9. Courant-Friedrichs-Lewy codition
10. MiniTab 19
11. Nephelometric Turbidity Units

Sea. Continental Shelf Research. 2014;(87):54-72.

[2] Hunter J.R. The physical oceanography of Persian Gulf, a review and theatrical interpretation of previous observation. First Gulf Conference on Environment and Pollution;1982 February 7-9 ,Kuwait

[3] Azizpour Jafar, Siadatmousavi Seyed Mostafa, Chegini Vahid. Measurement of tidal and residual currents in the Strait of Hormuz. Estuarine, Coastal and Shelf Science. 2016;(178): 101-109

[۴] کرم خانیکی علی، قاضی سید حسین، دقیق حمیده، دقیق یونس. بررسی جریان در اطراف جتی های کیشهر، هشتمین همایش بین المللی مهندسی سواحل، بنادر و سازه های دریایی؛ ۶-۴ آذر ۱۳۸۷؛ تهران.

[۵] اسماعیلی مهدی، آرم سا سید علی، کرمی خانیکی علی. شبیه سازی جریان های کرانه ای با استفاده از مدل عددی MIKE21 بررسی موردی منطقه کیشهر. مجله فیزیک زمین و فضا. ۱۳۸۸؛ (۳۵): ۱۵۶-۱۳۹.

[6] Militello A, Hughes SA .Circulation Pattern at Tidal Inlets with Jetties. US Army Corps of Engineers; 2000 September; Report No.:ERDC/CHL CETN-IV-2.

[7] Masria A, Negm A, Iskander M, Saavedra O C. Numerical Investigation of the Impact of Jetties on Accretion Problem at Rosetta Promontory Egypt. International Journal of Environmental Science and Development, 2014; 5(6): 510-6.

[8] Mueller D S, Wagner C R, Rehmel M S, Oberg K A, Rainville F. application of hydrodynamic , Measuring Discharge with Acoustic Doppler Current Profilers from a Moving Boat, 3th ed, science for changing word USGS; 2013;73-75

[9] Agoshkov VI, Ambrosi D, Pennati V, Quarteroni A, Saleri F. Mathematical and numerical modelling of shallow water flow. Computational Mechanics. 1993 Sep;11(5):280-99.

[10] Warner JC, Defne Z, Haas K, Arango HG. A wetting and drying scheme for ROMS. Computers & geosciences. 2013 Aug 1;58:54-61.

[11] Togneri M, Lewis M, Neill S, Masters I. Comparison of ADCP observations and 3D model simulations of turbulence at a tidal energy site. Renewable Energy. 2017 Dec 1;114:273-82.

[12] Solano M, Canals M, Leonardi S. Development and validation of a coastal ocean forecasting system for Puerto Rico and the US Virgin