

شبیه سازی عددی جریان‌های ساحلی ناشی از باد در سواحل بندر آستارا

شراره حضرتی^۱، مسعود ترابی آزاد^{۲*}، کامران لاری^۳، عباسعلی علی‌اکبری بیدختی^۴

^۱ دانش آموخته کارشناسی ارشد فیزیک دریا-دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات تهران

^۲ دانشیار دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال

^۳ دانشیار دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال

^۴ استاد موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران

تاریخ دریافت: ۹۸/۰۳/۲۹، تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۶/۳۰

چکیده

با استفاده از مدل مایک ۲۱ الگوی زمانی و مکانی جریان‌های ناشی از باد در بندر آستارا و سواحل اطراف این بندر مورد بررسی قرار گرفت. موج ناشی از باد در منطقه شکست با توجه به افزایش ارتفاع آن ریزش می‌کند و نتیجه آن ایجاد تنش برشی روی سطح آب و جریان خواهد بود. به منظور شبیه‌سازی مدل از شبکه‌های نامنظم با محدوده درشت‌نمایی بین ۰/۰۲ تا ۰/۲۵ درجه استفاده شد. برای منطقه آستارا از شبکه با ابعاد ریزتر استفاده به عمل آمد. بزرگ‌ترین ابعاد شبکه ۷ کیلومتر و کوچک‌ترین آن ۱۰۰ متر طول دارد و در مجموع از ۸۶۲۲ گره و ۱۶۲۷۵ المان تشکیل شده است. با جمع‌آوری داده‌های موردنیاز و صحت‌سنجی باد دریافتی از ECMWF به مدل‌سازی امواج برای منطقه خزر پرداخته شد. ابتدا مدل موج ناشی از باد برای کل منطقه خزر اجرا شد و در ادامه مدل‌سازی جریان برای کل منطقه خزر برای میانگین زمانی ۱۰ سال (۲۰۰۳ تا ۲۰۱۳) به عمل آمد. سپس از نتایج مدل بزرگ مقیاس جریان، شرایط مرزی استخراج و جریان در منطقه آستارا شبیه‌سازی شد. نتایج بررسی نشان داد که در فصل پاییز شدیدترین جریان ساحلی رخ خواهد داد و در تابستان جریان آرام در منطقه حاکم خواهد شد. ۹۳ درصد ایام سال امواج از سمت شمال شرقی و جریان غالب از سمت شمال به جنوب است. الگوی جریان برای جریان‌های ضعیف‌تر با جاری شدن گرداب‌های کوچک در منطقه همراه می‌باشد.

کلمات کلیدی: آستارا، جریان ساحلی، مایک ۲۱، شکست موج

با توجه به کمبود اطلاعات اندازه‌گیری داده‌های جریان‌های دریایی، در محدوده آبی کشور و فقر مدل‌سازی قابل اتکا در این زمینه، بسیاری از طراحی‌های مهندسی بر اساس پارامترهای طراحی غیر دقیق صورت می‌گیرد و بعلاوه موارد زیادی از عدم درک صحیح از چگونگی روند تغییرات مورفولوژی و تغییرات خط ساحل در اثر احداث سازه‌های دریایی نیز مشاهده می‌شود که به کاهش راندمان پروژه‌ها منجر می‌شود. همچنین حفظ محیط زیست یکی از دغدغه‌های مهم بشر در دهه‌های اخیر می‌باشد. آلودگی نفتی و آلودگی مواد شیمیایی از جمله پیامدهای اجتناب ناپذیری می‌باشند که بر اثر فعالیت‌های بشری به وقوع می‌پیوندد. جریان‌های ساحلی عواملی مؤثر بر انتقال آلودگی‌ها می‌باشند و شناخت دقیق آن‌ها کمک شایانی به جلوگیری از انتشار آلودگی و تبعات جبران ناپذیر بعدی می‌نماید. بیشتر جریان‌های ساحلی بر اثر حضور موج و شکست آن ایجاد می‌شوند. این جریان‌ها می‌توانند حجم زیادی از رسوب را حمل کنند و باعث فرسایش سواحل و تغییر شکل آن‌ها می‌شوند. همچنین جریان‌های موازی با ساحل که مسئول انتقال رسوب به موازات ساحل هستند زمانی که به مانعی مثل موج‌شکن و سازه‌های دریایی برخورد می‌کنند، رسوب را بر جای می‌گذارند و مشکلات جدی را برای سازه‌های دریایی ایجاد می‌کنند. با توجه به مطالب بیان شده اطلاع از الگوی جریان در سواحل دارای اهمیت فراوانی می‌باشد که به دلیل هزینه‌بر بودن و همچنین زمان‌بر بودن اندازه‌گیری‌های میدانی انجام این امر توسط مدل عددی ضروری می‌باشد. جریان‌های سطحی در دریاچه‌های بزرگ از آنجا که باعث انتقال مواد مغذی می‌شوند برای کیفیت آب و فرآیندهای اکوسیستم مهم هستند. اثرات باد و لایه بندی بر روی جریان‌های سطحی با استفاده از مدل عددی در دریاچه بزرگی مثل انتاریو تجزیه و تحلیل شد. لایه بندی آب دریاچه باعث افزایش سرعت جریان سطحی در مناطق دور از ساحل و کاهش سرعت جریان آب در مناطق نزدیک ساحل گردید (Hui and etal.2019). در مطالعه ای، برای بررسی

پویایی ماهیانه و شرایط دینامیکی گردش آب در دریاچه میشیگان، از یک سیستم مدل‌سازی سه بعدی با وضوح بالا، به همراه تاثیر جریان موج استفاده شد. نتایج نشان داد که مدل با وضوح بالا ناشی از واداشت باد بهتر می‌تواند دینامیک حرکت دریاچه را شبیه‌سازی نماید. اگرچه دبی رودخانه، تبادل آب در تنگه، امواج، ابعاد شبکه بر توزیع و تغییر گردش ماهانه تأثیر می‌گذارند، اما تأثیرات آنها از جریان‌های باد کمتر اهمیت دارد (Mao and Xia, 2020). کومار و اینمن (۱۹۷۵) رابطه‌ای برای محاسبه‌ی سرعت جریان‌های نزدیک ساحل بر اساس مفهوم تنش تابشی معرفی نمودند که می‌تواند سرعت جریان‌های ناشی از شکست موج را در منطقه‌ی نزدیک ساحل برآورد کند. بابو و همکاران (۲۰۰۵) با استفاده از مدل هیدرودینامیکی MIKE21 جریان‌های جزر و مدی در خلیج کچه واقع در جنوب غربی هندوستان را شبیه‌سازی کردند. این مطالعه نشان داد که برای هر رژیم جزر و مدی نظیر خلیج کچه، نیروی باد نقش مهمی را در تعیین هیدرودینامیک و انتقال رسوب بازی می‌کند. در تحقیقی توسط Lebedev، نتایج حاصل از روش‌های ارتفاع سنجی ماهواره‌ای برای بررسی تغییرات سالانه گردش آب دریا در مناطق مختلف دریای خزر ارائه شده است. از داده‌های ماهواره‌های ارتفاع سنجی Jason-1، TOPEX / Poseidon، Jason-2 و Jason-2 در این تحقیق استفاده شده است. تجزیه و تحلیل تاوایی جریان‌های ژئوستروفیک وجود گردش سیکلونیک در دریای خزر شمالی و میانی و گردش آنتی سیکلونیک در دریای خزر جنوبی را تأیید می‌کند. از سال ۱۹۹۳ تا ۲۰۰۷، تاوایی حرکات دریای خزر کاهش و میانگین سرعت جریان با نرخ $11/06 \pm 0/10$ سانتی متر بر ثانیه در سال افزایش یافته است. پس از سال ۲۰۰۸ تاوایی حرکات در دریای خزر افزایش، اما سرعت جریان‌ها با نرخ $0/19 \pm 0/47$ - سانتی متر بر ثانیه در سال کاهش پیدا کرده است (Lebedev, 2018). سطح دریای خزر تحت تأثیر رودخانه‌ها از عرض‌های جغرافیایی زیاد نیمکره شمالی قرار دارد و بنابراین هرگونه تغییر در حوضه آبریز

آن از جمله دما و میزان بارش به طور مستقیم در خزر و حرکات آن تأثیر می‌گذارد. سطح دریای خزر تحت تأثیر رویدادهای جهانی و منطقه ای است (Kakroodi and etal. 2015).

لیلا یزدانی (۱۳۸۴) در تحقیقی تحت عنوان مدل عددی جریان‌های سواحل جنوبی خزر در محدوده آستارا تا بندر انزلی، ضمن بررسی ویژگی‌های ساحلی، به توصیف معادلات حاکم بر این جریان‌ها در خزر جنوبی و برآورد سرعت و نحوه شکل‌گیری آن‌ها با فصل‌های سال به روش عددی و برنامه نویسی به زبان فرترن پرداخت. بر اساس نتایج این بررسی میانگین سرعت جریان ساحلی در نواحی نزدیک ساحل خزر جنوبی در فصل پاییز حداقل مقدار را داشته است. توفیقی و همکاران (۱۳۸۵) در تحقیقی تحت عنوان شبیه‌سازی دو بعدی هیدرودینامیکی دریاچه ارومیه، برای تعیین الگوی جریان، هیدرودینامیک دریاچه را با نرم افزار MIKE21 به صورت دو بعدی در سطح مورد بررسی قرار دادند و الگوی جریان را در یک سال شاخص در شرایط محیطی تعیین کردند. با توجه به مقادیر سرعت و تراز آب به دست آمده، مدل دو بعدی برای هیدرودینامیک دریاچه مدل مناسبی عنوان شده است. همچنین در شرایط متعارف، باد اصلی ترین عامل به وجود آورنده‌ی جریان‌ها بوده است. برای به دست آوردن پارامترهای طراحی وابسته به جریان در دریاچه، توجه به آن ضروری است. مهدی اسماعیلی (۱۳۸۹) در تحقیقی تحت عنوان تجزیه و تحلیل انتقال رسوبات چسبیده در بندر کیشهر با استفاده از مدل عددی MIKE21، برای الگوی انتشار امواج، جریان‌های کرانه‌ای و انتقال رسوبات معلق در دهانه مرداب بندر کیشهر شبیه سازی انجام داد. نتایج این بررسی نشان داد که مدل MIKE21 قابلیت ارائه الگوی واقعی انتشار امواج، جریان‌ها و انتقال رسوب را در مناطق ساحلی دارا می‌باشد. ترابی آزاد و همکاران (۱۳۹۳) با استفاده از داده‌های میدانی دما، شوری و چگالی دریای خزر در ایستگاه‌های نزدیک غرب خزر جنوبی، مربوط به دو گشت میدانی، جریان‌های بزرگ مقیاس خزر جنوبی را بررسی کردند. پس از

تجزیه و تحلیل داده‌ها، سرعت و جهت این نوع جریان‌ها با استفاده از تصاویر ماهواره ای محاسبه گردید. ناحیه جنوب غرب خزر، متوسط اندازه سرعت این جریان‌ها برای داده‌های میدانی در فصل تابستان ۵/۸۵ سانتی متر بر ثانیه و در فصل زمستان ۱۵ سانتی متر بر ثانیه محاسبه شده است. همچنین جهت این جریان‌ها بطور متوسط در فصل تابستان ۲۸۵ درجه و در فصل زمستان ۴۴ درجه به دست آمده است. همچنین ترابی آزاد و همکاران (۱۳۹۷) در تحقیقی دیگر تحت عنوان مطالعه جریان‌های ساحلی ناشی از شکست موج در خلیج فارس سواحل خلیج نایبند با استفاده از روابط تحلیلی، نشان دادند که سرعت میانگین جریان در امتداد ساحل خلیج نایبند ۰/۳ متر بر ثانیه می‌باشد و جهت غالب موج شمال غربی است و ناحیه شکست در منطقه خلیج نایبند ۶۵/۸ متر برآورد شده است. مصطفی سلگی (۱۳۹۱) در تحقیقی تحت عنوان بررسی الگوی جریان‌های ساحلی ناشی از شکست موج در بندر نوشهر با استفاده از نرم افزار MIKE21 نشان داد که امواج عمود بر ساحل مهم‌ترین نقش را در جریان‌های ساحلی و هندسه ساحل دارند. قادر یگانه و همکاران در سال ۱۳۹۱ جریان آب ناشی از انتقال اکمن را با استفاده از داده‌های میدانی و ماهواره ای در خزر جنوبی محاسبه کردند. با استفاده از داده‌های ماهواره ای در یک دوره شش ساله ۲۰۰۵-۲۰۰۰ و پنج ایستگاه هواشناسی همدیدی خزر جنوبی میزان انتقال جرم اکمن را بدست آوردند. در فصل تابستان مقادیر انتقال اکمن به طور قابل ملاحظه ای نسبت به سایر فصل‌ها بیشتر است. این احتمالاً به دلیل وزش بادهای شدید در اثر اختلاف دمای بین خشکی و دریا است. ابرایوف و همکاران (۲۰۱۰) یک مدل برهمکنش نیروهای هیدروستاتیکی هوا-دریا برای شبیه‌سازی تغییرات سالیانه گردش آب دریای خزر و نوسان سطح آن ارائه کردند. عدم تقارن دمایی غرب به شرق که در تابستان و زمستان عکس می‌شود، در پاسخ به تغییرات فراجوشی ساحلی و دینامیک اختلاط و عدم تقارن در توزیع شوری بعثت ورودی آب شیرین رودخانه‌ها است. آنها همچنین نتیجه گرفتند که یک

موجود بوده و نشان‌دهنده اخیرترین تغییرات خط ساحلی است، از خط ساحل استخراج شده از این نقشه‌ها در ساخت شبکه محاسباتی استفاده شده است.

داده‌های هیدروگرافی موجود شامل چند سری اطلاعات بوده‌اند. دسته اول شامل داده‌های ارائه شده در برنامه محیط دریای خزر است. همان‌طور که پیش‌تر اشاره شد، این داده‌ها بر اساس رقومی نمودن نقشه‌های کاغذی و اصلاح آن‌ها با عکس‌های ماهواره‌ای به دست آمده‌اند. این داده‌ها به صورت خطوط تراز ۱۰، ۲۰، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ تا ۱۰۰۰ متر هستند. عملیات رقومی نمودن نقشه‌های کاغذی و اصلاح آن‌ها با عکس‌های ماهواره‌ای در سال ۱۹۹۹ و با استفاده از نرم‌افزار Arc View ArcGIS 10.3 انجام گرفته است.

نقشه‌های هیدروگرافی تهیه شده در سازمان نقشه‌برداری کشور مرجع دیگر تهیه داده‌های عمق‌سنجی هستند. این نقشه‌ها با مقیاس‌های مختلف (۱:۱۰۰۰۰۰، ۱:۲۵۰۰۰، ۱:۱۰۰۰۰) برای سواحل جنوبی خزر وجود داشته و تهیه شده‌اند. نقشه‌های هیدروگرافی روسی با مقیاس‌های ۱:۱۰۰۰۰۰، ۱:۲۵۰۰۰ و ۱:۱۰۰۰۰۰ نیز برای سواحل کشورهای حاشیه دریای خزر و مناطق میانی این دریا در دسترس بوده‌اند. علاوه بر منابع فوق اطلاعات عمق‌سنجی موجود در پایگاه داده‌های C-MAP نروژ که توسط نرم‌افزار MIKE C-Map قابل استخراج است، نیز می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. تمامی این اطلاعات با هم ترکیب شده‌اند. در بعضی از قسمت‌ها عمق یکسان و در نقاطی دیگر اعماق مختلفی گزارش شده است که برای این نقاط، عمق دقیق‌تر بر اساس اعتبار و دقت منابع انتخاب شده است. شکل (۱) اطلاعات عمق آب در دریای خزر را نشان می‌دهد. با توجه به شکل مشخص است که دو چاله عمیق در قسمت مرکزی و جنوبی دریای خزر وجود دارد.

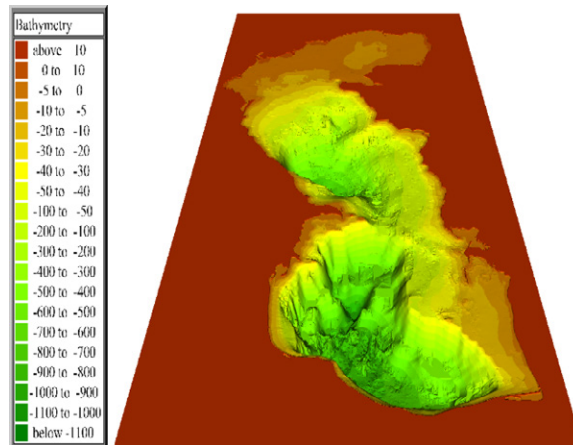
یکی از معروف‌ترین و در عین حال در دسترس‌ترین داده‌های هواشناسی، داده‌های مدل عددی مرکز اروپایی پیش‌بینی میان مدت هوا ECMWF است. این داده‌ها از زمان ۱۹۷۹ تا به کنون در دسترس است. در این مطالعه

انتقال جریان زیر سطحی شمال‌گرا در سمت کم عمق شرقی دریا وجود دارد، در صورتی که جریان‌های سطحی اغلب به سمت جنوب هستند. شربتی (۲۰۱۲) یک مدل سه بعدی برای الگوی جریان‌های ناشی از باد با استفاده از نرم‌افزار مایک ۳ ارائه نموده است. نتایج این مدل در حالت مانا با نتایج مدل POM (مدل اقیانوسی دانشگاه پرینستون) مورد مقایسه قرار گرفت. در مناطق ساحلی خزر جنوبی عمق‌های کمتر از ۳۵ متر اغلب جریان‌های ناشی از باد در امتداد ساحل و از سمت شمال بطرف جنوب هستند. هدف از این تحقیق با توجه به اهمیت منطقه آستارا، مطالعه عددی جریان‌های ساحلی و تعیین الگوی مکانی و زمانی این جریان‌ها در این منطقه است. در این تحقیق توسط یک مدل عددی با ابعاد شبکه کوچک‌تر و دقت بیشتر مشخصات جریان‌های ساحلی منطقه آستارا محاسبه می‌شود.

مواد و روش‌ها

در مورد مرز خط ساحلی اطلاعاتی از برنامه محیط زیستی دریای خزر^۱ در دسترس بوده است. این نقاط بر اساس رقومی نمودن نقشه‌های راهنمای دریای خزر که توسط بخش اقیانوس‌شناسی و دریانوردی وزارت دفاع شوروی در سال ۱۹۸۷ ارائه شده، به دست آمده است. این نقشه‌ها در مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰۰ بوده‌اند و نقاط به دست آمده از آن‌ها بر اساس تصاویر ماهواره Resurs اصلاح شده است (عکس‌های ماهواره با دقت ۱۵۰ متر بوده و در سال ۱۹۹۷ تهیه شده‌اند). عملیات رقومی نمودن نقشه‌های کاغذی و اصلاح آن‌ها با عکس‌های ماهواره‌ای در سال ۱۹۹۹ و با استفاده از نرم‌افزار Arc View GIS 3.1 انجام گرفته است.

داده‌های دیگر مربوط به مرز خشکی داده‌هایی بوده‌اند که از سایت ناسا تهیه شده‌اند. این داده‌ها بر اساس تصاویر ماهواره‌ای به دست آمده‌اند. دسته سوم از اطلاعات بر اساس نقشه‌های ماهواره‌ای موجود در نرم‌افزار Google Earth به دست آمده است. از آنجا که نقشه‌های ماهواره‌ای Google Earth جدیدترین نقشه ماهواره‌ای

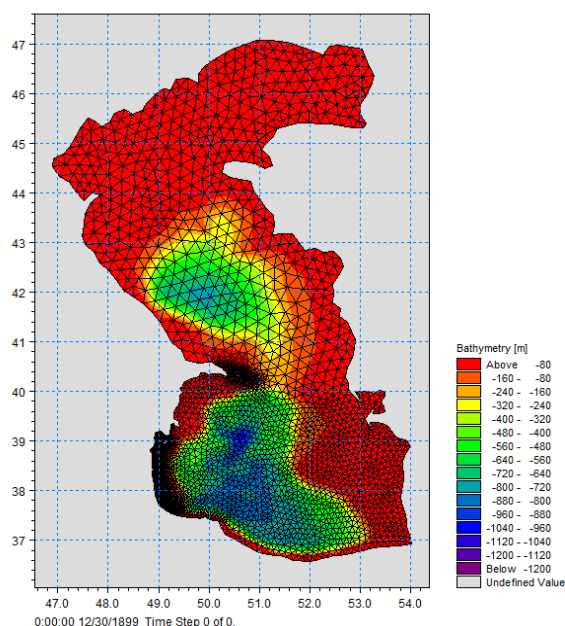


شکل ۱. نمایش عمق آب در دریای خزر

که روش چند بخشی صریح برای پخش امواج بکار می رود، با استفاده از روش گام کوچک صورت می پذیرد. علت اینکه این مدل سازی برای کل دریای خزر انجام می شود، تعیین شرایط مرزی برای مدل جریان کوچک مقیاس در منطقه آستارا می باشد. همان طور که پیش از این نیز گفته شده است هدف از انجام این مطالعه تعیین جریان ناشی از شکست موج در منطقه آستارا است. با استفاده از نتایج به دست آمده از اجرای مدل در مقیاس بزرگ تر برای دریای خزر، شرایط مرزی استخراج و جریان ناشی از شکست موج در شبکه ریزتر شبیه سازی می شود. بنابراین قدم بعدی این مطالعه اجرای مدل موج برای میانگین زمانی ۱۰ سال و برای کل منطقه خزر است. به منظور شبیه سازی در مدل بزرگ مقیاس از شبکه های نامنظم با محدوده درشت نمایی شبکه بین ۰/۰۲ تا ۰/۲۵ درجه استفاده شده است (شکل ۲). شبکه های با ابعاد کوچکتر در مناطق جنوب غربی دریای خزر و به ویژه منطقه آستارا که پیش بینی اطلاعات امواج در این منطقه حائز اهمیت تر است، ایجاد شده است. باد ورودی از مدل ECMWF و همچنین ضرایب کالیبراسیون بر اساس مطالعات^۳ (ISWM) انتخاب شده است (گلشنی و همکاران، ۱۳۸۵). با استفاده از ضرایب کالیبراسیون توصیه شده توسط ISWM، مدل موج با میانگین زمانی ۱۰ سال (۲۰۰۳ تا ۲۰۱۳) برای منطقه خزر اجرا

از داده های باد باز تحلیل ECMWF با قدرت تفکیک مکانی ۰/۵ درجه و بازه زمانی شش ساعت استفاده شده است.

در این تحقیق با استفاده از مدول SW نرم افزار Mike 21، موج ناشی از میدان باد در سطح کل منطقه دریای خزر محاسبه شده است. این مدول نسل جدید طیفی موج ناشی از باد بر اساس مش های ساختار نیافته است. مدل رشد، زوال و انتقال امواج باد رانده و دوراً در مناطق دور و نزدیک ساحل را شبیه سازی می کند. این مدول دارای دو فرمول بندی متفاوت فرمول پارامتری غیر جفت شده جهتی و فرمول کاملاً طیفی است. اولین فرمول، بر اساس پارامترسازی معادله بقای کنش موج است. پارامترسازی در محدوده فرکانس، با معرفی گشتاور صفرم و اول طیف های کنش موج، به عنوان متغیر وابسته انجام می گیرد. فرمول دوم، بر اساس معادله بقای کنش موج، که طیف جهت یافته موج، بر حسب فرکانس، متغیر وابسته است. معادلات اساسی بقا، در مقیاس های کوچک، در دستگاه مختصات کارتزین، و برای کاربردهای بزرگ مقیاس در دستگاه کروی- قطبی، فرمول بندی شده اند. منقطع سازی معادله حاکم در مکان جغرافیایی و طیفی با استفاده از روش حجم محدود سلول مرکزی انجام می گیرد. در محدوده جغرافیایی تکنیک شبکه بندی نامنظم استفاده شده است. انتگرال گیری زمانی در جایی



شکل ۲. شبکه بندی استفاده شده برای مدل سازی امواج و جریان در دریای خزر



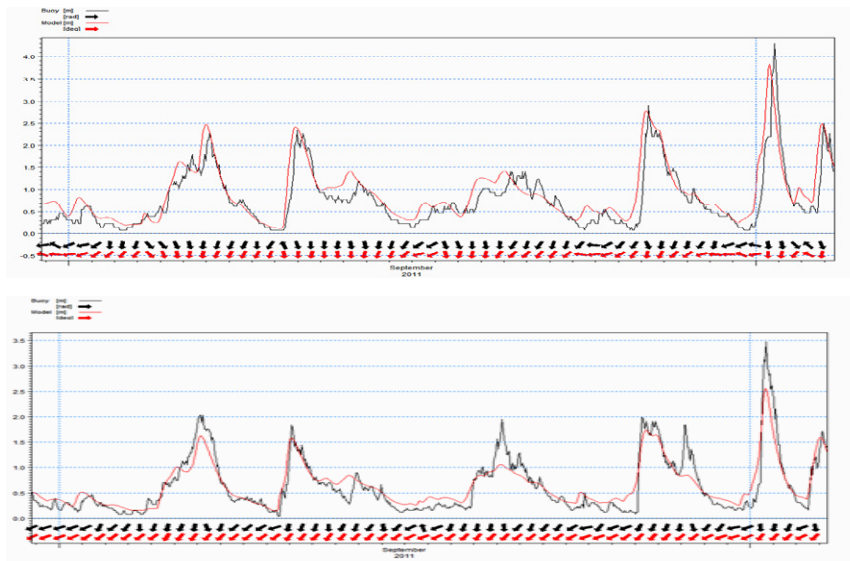
شکل ۳. موقعیت مکانی بویه انزلی

شکست موج برابر با $\alpha = 0.8$ و ضریب اصطکاک بستر شامل زبری ($K_n=0.002$) ضرایب مناسب برای اجرای مدل در مقیاس کوچک تر در نظر گرفته شد. در پروژه ISWM نتایج شبیه سازی امواج برای منطقه ساحلی نیز رضایت بخش می باشد.

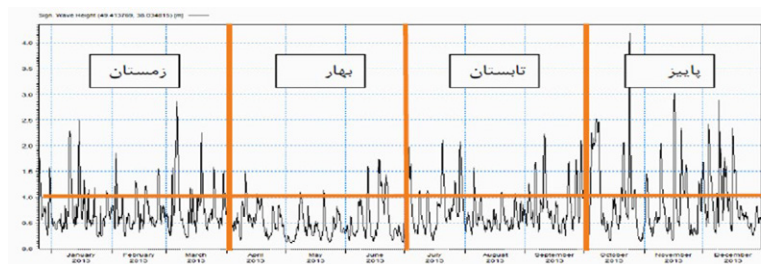
در شکل (۵) سری زمانی امواج برای سال ۲۰۱۳ آورده شده است. همان طور که از این شکل مشخص است غالب طوفان های ایجاد شده در فصل پاییز و زمستان رخ می دهد، و امواج بالای ۱ متر در فصل بهار بندرت دیده می شود.

با توجه به مطالعات قبلی انجام شده باد مهم ترین عامل

شده است. نتایج مدل سازی و مقایسه آن با بویه فرا ساحل نفت خزر با مختصات جغرافیایی (۳۸/۴ شمالی، ۵۱/۲ شرقی) و همچنین بویه انزلی (شکل ۳) در ماه سپتامبر در شکل ۴ آمده است. نتایج نشان می دهد که مدل موج در پیش بینی امواج دریای خزر هم در منطقه فراساحلی و هم در منطقه ساحلی موفق است. اگرچه اندازه گیری میدانی از امواج در دریای خزر برای زمان ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۳ در منطقه آستارا در اختیار نیست، اما نتایج مقایسه امواج مدل اجرا شده برای منطقه فراساحل و ساحل انزلی مورد تایید است. لذا ضرایب انتخاب شده برای اجرای مدل امواج در پروژه ISWM (ضریب



شکل ۴. مقایسه سری های زمانی ارتفاع موج پیش‌بینی شده و اندازه‌گیری شده توسط بویه فرا ساحل (شکل بالا) و بویه انزلی (شکل پایین) برای ماه سپتامبر ۲۰۱۱



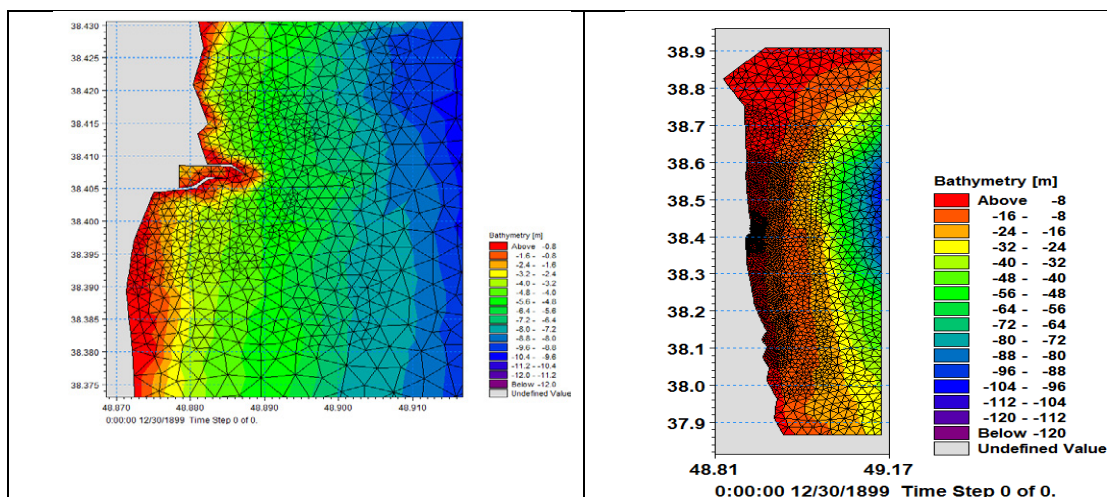
شکل ۵. سری زمان امواج پیش‌بینی شده در سال ۲۰۱۳

سرعت جریان در عمق قابل ملاحظه نباشد و میانگین سرعت با سرعت‌ها در عمق اختلاف چندانی نداشته باشد می‌توان از مدل‌سازی دو بعدی استفاده کرد. استفاده از مدل‌سازی دو بعدی به لحاظ کاهش هزینه زمان به صرفه خواهد بود. با توجه به اینکه معمولاً سرعت‌های ناشی از شکست موج در عمق یکنواخت هستند، از این رو مدل دو بعدی می‌تواند مدل مناسبی برای پیش‌بینی جریان ناشی از باد باشد. (Sharbaty.S. 2012) در معادله دو بعدی تمامی پارامترهای مؤثر به صورت میانگین‌گیری شده در عمق اثر می‌کند و خروجی‌های مدل نیز به صورت میانگین می‌باشد. با بررسی و ارزیابی مدل‌های مختلف به آنالیز حساسیت پارامترهای مؤثر در معادلات

شکل‌گیری جریان در دریای خزر می‌باشد. با توجه به اینکه در این تحقیق هدف بررسی جریان ناشی از شکست موج در منطقه آستارا می‌باشد، بنابراین اثر تنش‌های تابشی ناشی از شکست موج در نظر گرفته می‌شود. از این رو بعد از مدل‌سازی بزرگ مقیاس امواج در دریای خزر به مدل‌سازی بزرگ مقیاس جریان ناشی از شکست موج در دریای خزر پرداخته می‌شود. اولین قدم در مدل‌سازی هر پدیده شناخت آن به لحاظ دو بعدی و یا سه بعدی بودن آن است. در مسائل دو بعدی معمولاً تغییرات پدیده مورد نظر در یکی از جهات قابل ملاحظه نیست و میانگین کمیت مورد نظر در آن جهت نماینده مناسبی برای کل خواهد بود. در مسائل مدل‌سازی جریان، اگر تغییرات

جدول ۱. آنالیز حساسیت پارامترهای مختلف در مدل دوبعدی

حساسیت کم	حساسیت متوسط	حساسیت خیلی حساس
اثر یخبندان	ضریب گردابه ای	ضریب زبری بستر
اثر دبی رودخانه ها	ابعاد شبکه	ضریب زبری باد
	روش های حل	تغییرات خط ساحلی



شکل ۶. شبکه محاسباتی مدل در مقیاس کوچکتر برای سواحل آستارا

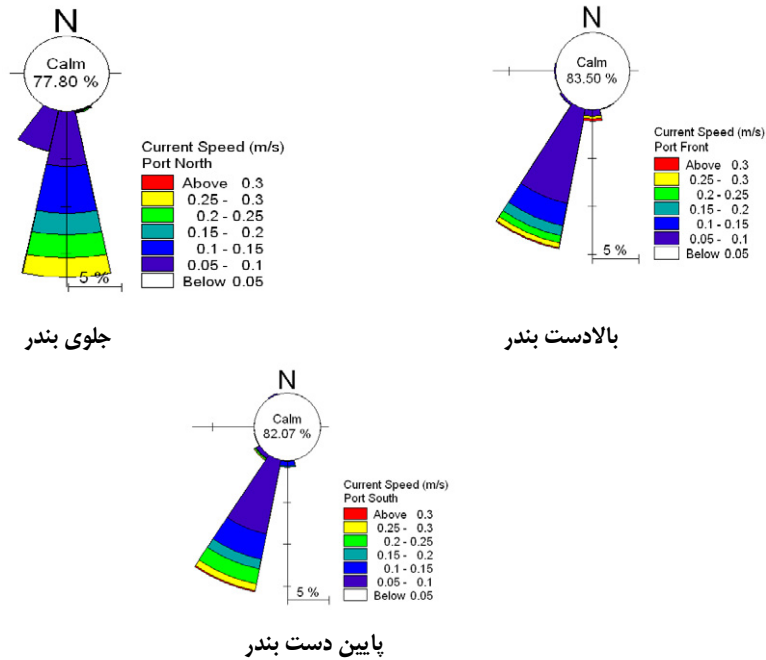
نتایج و بحث

با توجه به اینکه جریان ایجاد شده در سواحل جنوبی خزر ترکیب جریان های مختلف (ناشی از باد، شکست موج، جزر و مد، تغییرات پارامترهای فیزیکی آب و همچنین رودخانه ولگا) می باشد بنابراین تفکیک این جریان ها هنگام اندازه گیری عملاً غیر ممکن است. بعد از اجرای مدل به منظور دقت بیشتر در منطقه آستارا، مدل محلی جریان اجرا شده است. شرایط مرزی به صورت تنش تابشی و تغییرات سطح آب از مدل بزرگ مقیاس اجرا شده استخراج گردیده است شکل ۶ شبکه محاسباتی به کار گرفته شده برای مدل محلی را نشان می دهد. در اطراف بندر آستارا نیز به لحاظ اهمیت مطالعه شبکه ریز حدود ۵۰ متر به کار گرفته شده است.

نتایج ناشی از مدل سازی جریان برای میانگین زمانی ده سال در محدوده آستارا نشان می دهد که جریان قوی ناشی از شکست موج در این منطقه حدود ۰/۵ متر بر ثانیه و جهت غالب جریان جنوب غربی می باشد. شکل

مدل پرداخته شد. نتیجه نشان داده است که در مدل دو بعدی، ضریب زبری بستر، ضریب زبری باد و تغییرات خط ساحلی تأثیر زیادی در تغییرات جواب خواهند داشت. (جدول ۱)

به منظور برپایی مدل کوچکتر برای منطقه آستارا نیاز به اطلاعات خروجی مدل کل دریای خزر برای مرز های باز می باشد. این اطلاعات شامل داده های بتی متری و اطلاعات تنش تابشی ناشی از شکست موج است. قدم بعدی در برپایی مدل کوچک تر، ایجاد شبکه در محدوده مطالعاتی می باشد. به همین منظور از شبکه های مثلثی استفاده می شود. در محدوده ساحلی ایران و به خصوص بندر آستارا به دلیل اهمیت اطلاعات خروجی از ابعاد شبکه ریزتر استفاده می شود. در شبکه ایجاد شده، بزرگترین ابعاد ۷ کیلومتر و کوچکترین ۱۰۰ متر طول دارد. شبکه ساخته شده در مجموع از ۸۶۲۲ گره و ۱۶۲۷۵ المان تشکیل شده است. ابعاد شبکه ها بر اساس شرط همگرایی مدل انتخاب شده اند.

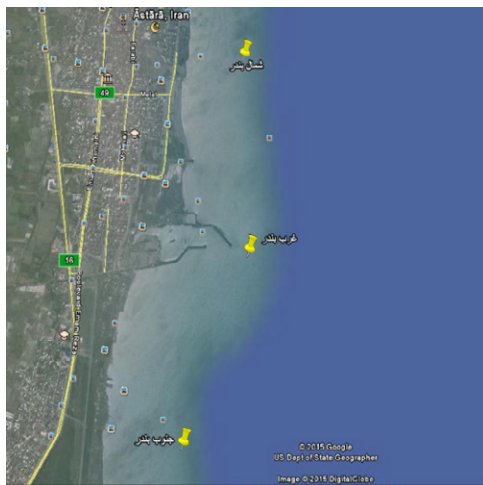


جلوی بندر

بالادست بندر

پایین دست بندر

شکل ۷. گل جریان برای مدت ۱۰ سال در سه موقعیت بالادست، پایین دست و جلوی بندر آستارا



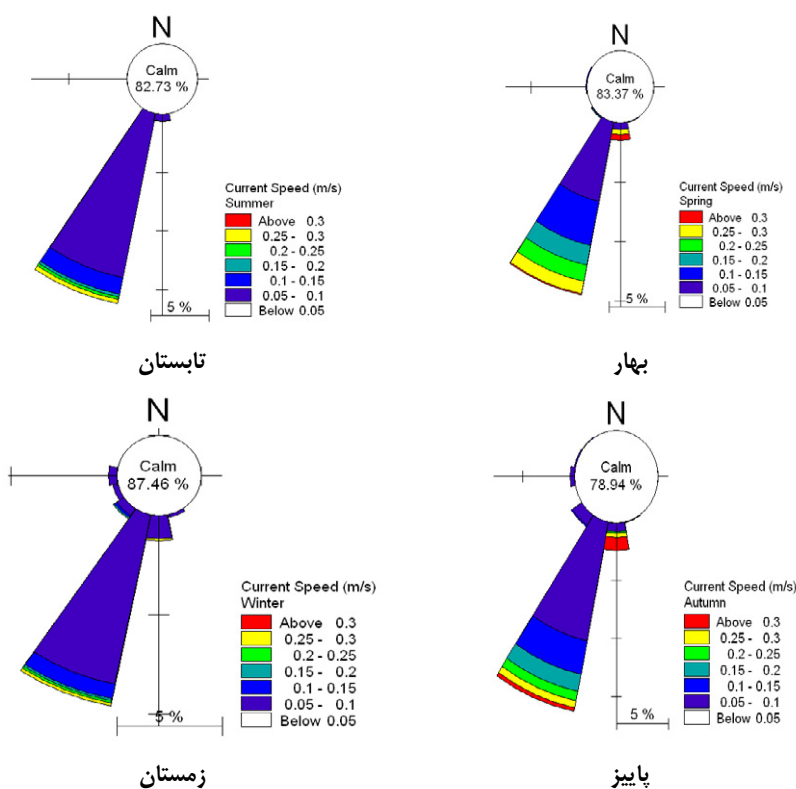
شکل ۸. موقعیت نقاط منتخب جهت بررسی امواج و جریان در سواحل بندر آستارا

۷ به ترتیب گل جریان را برای سه موقعیت بالادست، جلوی بندر و پایین دست بندر از مدل شبیه‌سازی به مدت ۱۰ سال نشان می‌دهد. همان‌طور که از این شکل مشخص است جهت جریان غالب جنوب غربی می‌باشد. این جریان‌ها با توجه به گلباد و گل موج شبیه‌سازی شده انتظار می‌رفت. این جریان‌ها موازی ساحل می‌باشند و سبب جابجایی رسوبات ناشی از شکست موج می‌شوند. بنابراین جریان‌های موازی ساحل از بالا دست به سمت بندر نزدیک می‌شوند. انتقال رسوبات توسط این جریان‌ها می‌تواند تأثیر زیادی در رسوب گذاری بندر آستارا داشته باشند. با توجه به مطالعات انجام شده در این تحقیق ۳ درصد ایام سال جریان‌های موازی ساحل بزرگ‌تر از ۰/۱۵ متر بر ثانیه می‌باشند. شکل (۸) موقعیت ایستگاه‌های منتخب جهت بررسی امواج و جریان در سواحل بندر آستارا را نشان می‌دهد. در جدول (۲) موقعیت سه ایستگاه و نتایج جریان و موج و باد برای سه ایستگاه و برای مدت ۱۰ سال آورده شده است. با توجه به جدول زیر مشخص است که در جلوی بندر مشخصات

امواج و جریان از بالا و پایین آن اندکی متفاوت است. امواج حاصل تحت تأثیر عمق هستند و به همین دلیل امواج با ارتفاع کم در عمق کم دیده شده است. به منظور بررسی فصلی جریان ناشی از شکست موج، نتایج شبیه‌سازی جریان برای چهارماه مشخص

جدول ۲. موقعیت ایستگاه های مختلف و نتایج شبیه سازی شده امواج و جریان در سواحل بندر آستارا

پایین بندر	جلوی بندر	شمال بندر	موقعیت ایستگاه (شرقی و شمالی)
(۴۸.۸۸۲ - ۳۸/۳۸۷۶)	(۴۸.۸۸۶ - ۳۸/۴۰۵۵)	(۴۸.۸۹۰۵ - ۳۸/۴۲۵)	بیشترین ارتفاع موج (متر)
۱/۲	۱/۵۷	۱/۳۵	درصد آرامش
۲۹/۵۵	۲۵/۹۷	۲۸/۸۸	بیشترین سرعت جریان (متر بر ثانیه)
۰/۳۵	۰/۴۵	۰/۳۵	درصد آرامش
۸۲	۸۳/۵۰	۷۷/۸۰	



شکل ۹. گل جریان برای میانگین زمانی ۱۰ سال در فصل های مختلف سال در ناحیه جلوی بندر آستارا

جدول ۳. مقدار میانگین خطای نسبی در نتایج مدل عددی برای سواحل بندر آستارا

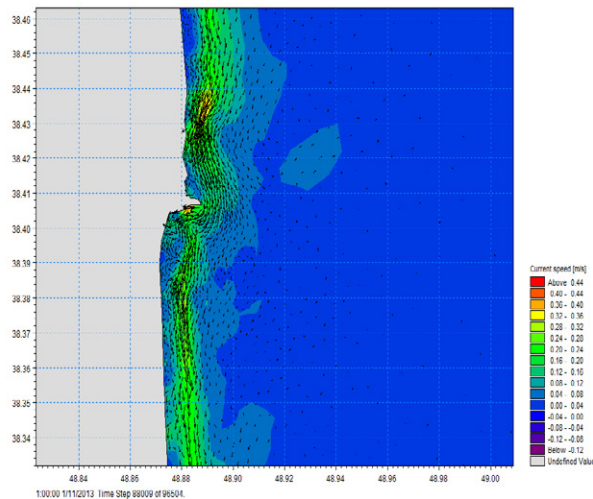
جنوب بندر	بخش میانی بندر	شمال بندر	مقدار پارامتر
۰/۱۲	۰/۱۵	۰/۱	میانگین سرعت جریان (متر بر ثانیه) بر اساس نتایج مدل برای سواحل آستارا
۰/۱	۰/۱۴	۰/۰۸	میانگین سرعت جریان (متر بر ثانیه) بر اساس نتایج مطالعات کلی برای دریای خزر
۱۸	۷	۲۲	میانگین خطای نسبی (درصد)

جریان های قوی تری در منطقه حاکم است و اندازه سرعت این جریان ها عمدتاً به بالای ۰/۳ متر بر ثانیه می رسد. در جدول (۳) مقدار میانگین خطای نسبی در نتایج مدل عددی برای سواحل بندر آستارا در مقایسه با نتایج مدل

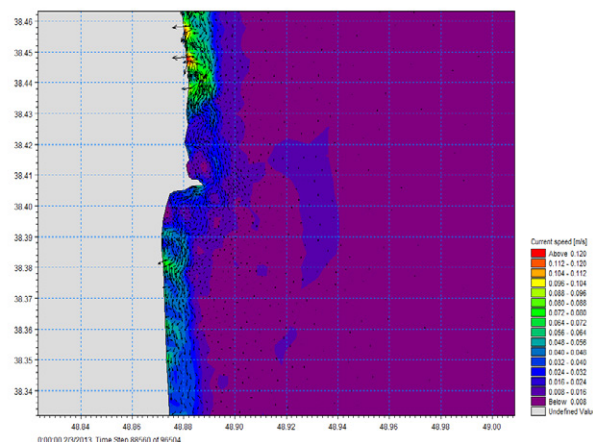
از فصل های سال و میانگین زمانی ۱۰ سال در شکل ۹ ارائه شده است. در همه شکل ها با توجه به موقعیت نقطه انتخاب شده جریان تمایل دارد به سمت ساحل و مجدداً موازی ساحل حرکت کند. در فصل بهار و پاییز

سرعت جریان حدود ۳ در صد سرعت باد منطقه می‌باشد. برای بادی که با سرعت ۱۲ متر بر ثانیه از شمال می‌وزد بیشترین سرعت جریان مشاهده شده در منطقه حدود ۰/۳۲ متر بر ثانیه است. جهت این جریان با توجه به انتظار از سمت شمال به جنوب می‌باشد. شکل ۱۳ نشان می‌دهد که جریان با سرعت حدود ۰/۳ متر بر ثانیه از جلوی بندر عبور می‌کند. جریان ناشی از باد عموماً بر خلاف جریان ناشی از شکست موج که در منطقه ساحلی اتفاق می‌افتد، تمام منطقه را شامل می‌شود. بنابراین می‌توان انتظار داشت که در منطقه ساحلی بیشترین اندازه سرعت جریان حدود ۰/۶ متر بر ثانیه در اثر مجموع

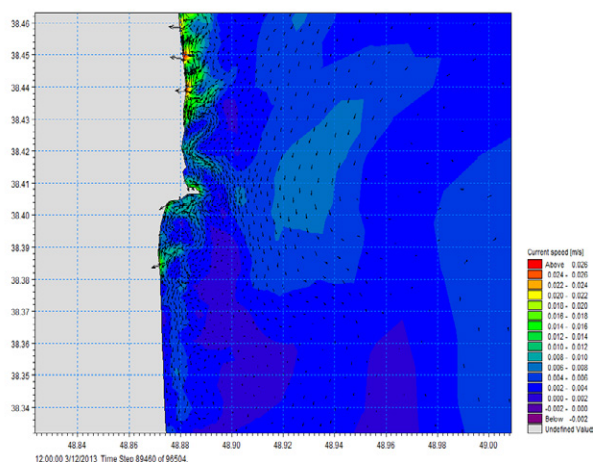
های کلی از دریای خزر ارائه شده است. در شکل های ۱۰ تا ۱۲ الگوی جریان برای حالت های مختلف موج ارائه شده است. با توجه به این شکل‌ها به خوبی مشخص است که الگوی غالب که در بیشتر ایام سال اتفاق می‌افتد در شکل ۱۰ دیده می‌شود. این الگو جهت جنوب غربی جریان را نشان می‌دهد. این الگو در هر چهار فصل اتفاق می‌افتد. الگوی جریان ناشی از شکست موج در نزدیک ساحل به این صورت می‌باشد که در مسیری که به عنوان خط شکست شناخته می‌شود جریان بیشترین مقدار و با فاصله از آن در دو طرف به کمترین مقدار می‌رسد. نتایج بررسی نشان داده است که



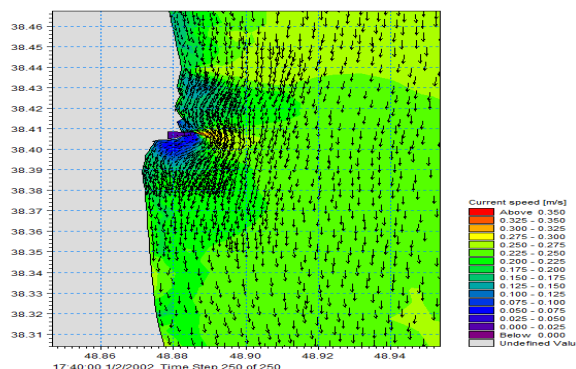
شکل ۱۰. الگوی جریان برای زمانی که امواج از سمت شمال شرقی در منطقه انتشار دارند



شکل ۱۱. الگوی جریان برای زمانی که امواج از سمت شمال در منطقه انتشار دارند



شکل ۱۲. الگوی جریان برای زمانی که امواج در مرز بین منطقه ساحلی و فراساحلی به دو سمت انتشار دارند



شکل ۱۳. الگوی جریان برای باد شمالی با سرعت ۱۲ متر بر ثانیه در سواحل آستارا

سنگی مدل باد و استفاده از ضرایب کالیبراسیون مورد استفاده در پروژه ISWM، شبیه سازی مدل موج بزرگ مقیاس دریای خزر انجام شد. نتایج شبیه سازی موج با اندازه گیری های موجود از بویه منطقه فرا ساحلی و ساحلی مقایسه شده و تطبیق خوبی با داده های بویه فرا ساحلی و بویه بندر انزلی دارد. همچنین بیشترین فراوانی ارتفاع موج در ایستگاه های مورد مطالعه بین ۰/۳ تا ۰/۶ متر در تمام ماه های سال و بیشترین وضعیت دریا در حالت آرامش در فصل تابستان و به میزان ۳۳/۶۴ درصد مشاهده شد. ۹۳ در صد ایام سال امواج از سمت شمال غربی و جریان غالب از سمت شمال به جنوب می باشد. برای جریان های ضعیف تر الگوی جریان با جاری شدن گرداب های کوچک در منطقه همراه است. تنش های

جریان ناشی از شکست موج و باد خواهد بود. در الگوهای مختلف و برای جریان ضعیف تر الگوی جریان ناشی از شکست موج با جاری شدن گردابه همراه است. این گردابه ها به قدر کافی ضعیف هستند که جریان ثانویه تشکیل شده در آن بتواند رسوبی را در مرکز گردابه انباشته کند.

جمع بندی

در این مطالعه با توجه به اهمیت بندر آستار در دریای خزر به بررسی جریان ناشی از باد در این منطقه پرداخته شده است. بعد از جمع آوری داده های فضای محاسباتی، شبکه مربوط به آن ساخته شد. در ابتدا به صحت سنجی مدل باد ECMWF پرداخته شده است. بعد از صحت

تابشی حاصل از مدل موج برای مدل جریان در دریای خزر استفاده شده است. همان طور که انتظار می‌رفت جریان ناشی از شکست موج تنها در منطقه ساحلی دیده شده است. بعد از اجرای مدل بزرگ مقیاس، و با استفاده از نتایج آن، مدل کوچک مقیاسی از جریان منطقه شبیه سازی شده است و بیشترین اندازه سرعت جریان ناشی از شکست موج با مقدار $0/3$ متر بر ثانیه در ایستگاه شمال بندر آستارا برای فصل زمستان مشاهده شده است. جهت غالب جریان در سواحل بندر آستارا، جنوب و جنوب غربی تعیین گردید. در فصل پاییز شدیدترین جریان ساحلی رخ خواهد داد و تابستان جریان آرام در منطقه حاکم خواهد شد. اندازه گیری میدانی در سواحل آستارا از مشخصات جریان جهت مقایسه نتایج وجود ندارد. لذا مقایسه نتایج این تحقیق با مطالعات مدل سازی برای جریان های ناشی از باد توسط بهلولی و همکاران (۲۰۱۸) در جنوب دریای خزر و مفیدی و رشیدی (۲۰۱۸) در کل دریای خزر برای اندازه سرعت جریان های ساحلی بندر آستارا بطور میانگین خطایی نسبی $15/6$ درصد را نشان می دهد. بدلیل اینکه مدل ارائه شده در این تحقیق برای جریان های ساحلی ناشی از باد اجرا شده است و در مناطق مجاور ساحل اثر اصطکاک بستر افزایش می یابد، لذا نتایج مدل با نتایج مدل های کلی از دریای خزر متفاوت است. نتایج این مدل بدلیل ابعاد شبکه ریزتر حدود 50 متر و در نظر گرفتن شرایط خاص منطقه آستارا برای این منطقه دقیق تر است. بر آورد جهت جریان در سواحل آستارا با نتایج مدل ها در جنوب غربی دریای خزر هماهنگی دارد. همچنین در اجرای مدل های عددی اشاره شده، از تقریب ها و شرایط مرزی و اولیه متفاوت استفاده شده است، بنابراین نتایج همواره با خطا همراه است.

مراجع

- اسماعیلی م، آرمسا ع، کرمی خانیکی ع. ۱۳۸۹. شبیه سازی جریان های کرانه ای با استفاده از مدل عددی MIKE 21 بررسی موردی: منطقه کباشهر، مجله فیزیک زمین و فضا دوره ۳۵، شماره ۲، ص ۱۳۹-۱۵۶.
- ترابی آزاد م، لاری ک، روستایی ف. ۱۳۹۳، مطالعه جریان های بزرگ مقیاس در غرب خزر جنوبی با استفاده از داده های میدانی و ماهواره ای، فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سپهر) دوره ۲۳، شماره ۹۲، ۸۱-۹۴
- ترابی آزاد م، لاری ک، کوهی ف. ۱۳۹۷، مطالعه جریان های ساحلی ناشی از شکست موج در خلیج فارس (سواحل خلیج نابیند)، فصلنامه علمی پژوهشی دریافنون، دوره ۵ شماره ۳، ۸۷-۹۵
- توفیقی، م.ع، زین الدینی، م، گلشنی، ع.ا. ۱۳۸۵. شبیه سازی دو بعدی هیدرودینامیک دریاچه ارومیه برای تعیین الگوی جریان. نشریه مهندسی دریا، سال سوم، شماره ۴، ص ۳۷ - ۴۷.
- سلگی، م. ۱۳۹۱. بررسی الگوی جریان های ساحلی ناشی از شکست موج در بندر نوشهر، پایان نامه کارشناسی ارشد فیزیک دریا، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال.
- قادر یگانه، ن. ۱۳۹۱، محاسبه انتقال اکمن با استفاده از داده های میدانی و ماهواره ای خزر جنوبی، پایان نامه کارشناسی ارشد فیزیک دریا، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات.
- گلشنی، ع؛ تابی، س؛ چگینی، و. ۱۳۸۵. مدلسازی و پیش یابی امواج در خلیج فارس و دریای عمان، هفتمین همایش بین المللی سواحل، بندر و سازه های دریایی، تهران، سازمان بنادر و دریانوردی
- یزدانی، ل. ترابی آزاد م. ۱۳۸۴، مدل عددی جریان های ساحلی محدوده سواحل آستارا تا بندر انزلی، ششمین همایش علوم و فنون دریایی و اولین همایش هیدرو گرافی ایران، تهران، ایران
- Babu, M.T., Vethamony, P., Ehrlich Desa. 2005. Modelling Tide-driven Currents and residual eddies in the Gulf of Kachchh and their seasonal variability A marine environmental planning perspective, *Ecological Modelling* 184, pp299-312.
- Bohluhy.A., F.SadatEsfahani, M.Montazeri Namin, F .Chegini. 2018. Evaluation of wind induced currents modeling along the Southern Caspian Sea, *Continental Shelf Research*, Vol.153, 1, pp. 50-63, <https://doi.org/10.1016/j.csr.2017.12.008>
- Hui.Y, Zhu.Z, Atkinson.J.F. 2019. Analyzing the Effects of Wind and Stratification on Surface Currents in a Large Lake. World Environmental and Water Resources Congress. Pittsburgh, Pennsylvania, U.S.A, May 19-23, 268-277, DOI: [10.1061/9780784482346.027](https://doi.org/10.1061/9780784482346.027)
- Ibrayev.R.A , Ozsoy.E, Schrum.C. 2010. Seasonal variability of Caspian Sea three-dimensional circulation, sea level and air-sea interaction. *Ocean Science*. 6, 311-329.
- Kakroodi, A.A, Leroy, S.A.G, Kroonenberg, S.B, Lahijani, H.A.K, Alimohammadian, H, Boomer, I, Goorabi, A .2015. Late Pleistocene and Holocene sea-level change and coastal paleoenvironment evolution along the Iranian Caspian shore, *Marine Geology*, 361, 111-125, <http://dx.doi.org/10.1016/j.margeo.2014.12.007>
- Komar. P. D. and D. L. Inman, 1975. Longshore and transport on beaches, *Journal of Geophysical Research*, vol 75, No. 30, pp 5914-5927.
- Lebedev, S .2018. Climatic variability of water circulation in the Caspian Sea based on satellite altimetry data. *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 39, Issue 13, 4343-4359 doi.org/10.1080/01431161.2018.1441567.
- Mao. M, M. Xia. 2020. Monthly and Episodic Dynamics

Offshore Engineering, Vol.2, No. 1, pp 67-77
Sharbaty.S. 2012. 3-D Simulation of Wind-Induced Currents Using MIKE 3 HS Model in the Caspian Sea, Canadian Journal on Computing in Mathematics, Natural Sciences, Engineering and Medicine Vol. 3 No. 3.PP 45-54.

of Summer Circulation in Lake Michigan, JGR Oceans, American Geophysical Union, Vol 125. Issue 6, <https://doi.org/10.1029/2019JC015932>
Mofidi.J. A. Rashidi Ebrahim Hesari, 2018. Numerical Simulation of the Wind-Induced Current in the Caspian Sea, International Journal of Coastal &

Numerical Simulation of Coastal Current due to wind in the Coasts of Astara

S.Hazrati¹, M. Torabi Azad ^{2,*}, K.Lari³, A.A.Bidokhti⁴

¹ M.Sc Physical Oceanography, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, Iran

² Associate Prof. Faculty of Marine Science and Technology, Islamic Azad University, North Tehran Branch, Iran

³ Associate Prof. Faculty of Marine Science and Technology, Islamic Azad University, North Tehran Branch, Tehran, Iran

⁴ Prof. Institute of Geophysics, Tehran University, Tehran, Iran

*Corresponding Author Email: M_Azad@iau-tnb.ac.ir

Received: 19 June 2019, accepted: 21 September 2019

ABSTRACT

This research sets out to examine spatial-temporal pattern of wind induced currents in Astara port and coastlines adjacent to the port using Mike12 model. Wave breaking occurs when wave amplitude reaches the point that the crest of wave actually overturns, and as a consequence it generates radiation stress and current on the surface of water. In order to simulate the model, irregular grids with a magnification range between 0.02 and 0.25 degrees have been used. For Astara region, a grid with smaller dimensions has been used. The largest dimensions of the network are 7 km and the smallest is 100 meters long and consists of a total of 8622 nodes and 16275 elements. By collecting the required data and validating the wind received from ECMWF, the waves are simulated for the Caspian region. First, the wind wave model was implemented for the whole Caspian region. Then, flow modeling was performed for the whole Caspian region for an average time periods of 10 years (2003 to 2013). Boundary conditions extracted from large scale flow model was used to simulate wave-induced current in the Astara region. The results showed that the current will be severe in autumn, but it will be calm in summer. 93% of the year the waves are from the northeast and the prevailing current is from the north to the south. The flow pattern for weaker currents is associated with the flow of small vortices in the region. Comparing the results of this study with modeling studies for wind-induced currents in the south of the Caspian Sea and the entire Caspian Sea for the current velocity due to wind in Astara region shows an error of about 25%.

Keywords: Astara, Coastal current, Mike21, Wave breaking

HOW TO CITE THIS ARTICLE

Hazrati, S.; Torabi Azad, M.; Lari, K.; Bidokhti, A.A. (2019). Numerical Simulation of Coastal Current due to wind in the Coasts of Astara. *J. Meteorol. Atmos. Sci.*, 2(3): 258-271.

COPYRIGHTS

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to the JMAS Journal. This is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

