

ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر مشخصات امواج در سواحل خلیج فارس

محسن حاجیوند^۱، مهدی بهداروندی عسکر^{۲*}، عباس حق‌شناس^۳، محمد انصاری قوجقار^۴، احسان پارسى^۵، ایمان بابائیان^۶

۱. کارشناسی ارشد مهندسی عمران، مهندسی سواحل بنادر و سازه‌های دریایی.

۲. استادیار گروه عمران، سازه‌های دریایی، دانشکده مهندسی دریا، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر، خرمشهر، ایران

۳. استادیار دانشکده مهندسی دریا، موسسه ژئو فیزیک دانشگاه تهران.

۴. گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

۵. شرکت مهندسی مشاور آب و انرژی اروند.

۶. استادیار پژوهشکده اقلیم‌شناسی، مشهد.

چکیده

عوامل مختلفی در ایجاد تغییر اقلیم نقش دارند که از آن جمله می‌توان به فرآیندهای اقیانوسی (مانند گردش‌های اقیانوسی)، تغییرات تابش خورشیدی دریافت شده از سوی زمین، فوران آتشفشان‌ها و تغییرات ناشی از فعالیت‌های بشری اشاره کرد. تغییر اقلیم بر روی پدیده‌های جوی و اقیانوسی از قبیل دمای سطحی کره زمین، بارش، تراز آب دریاها، سرعت بادها، ارتفاع امواج، خطوط ساحلی و سایر پدیده‌ها اثر گذاشته و این مشخصات را مورد تغییر قرار داده است. در مطالعه اثرات تغییر اقلیم بر پدیده‌های اقیانوسی، تخمین میزان اثرگذاری تغییر اقلیم در طولانی مدت از اهمیت زیادی برخوردار است. این امر از این جهت مهم است که سازه‌های دریایی موجود در این مناطق تحت تأثیر این تغییرات قرار گرفته و نیاز به اصلاح دستورالعمل استاندارد مهندسی طراحی سازه‌های ساحلی است. در این تحقیق با استفاده مدل تغییرات اقلیمی CGCM3 مقادیر سرعت باد برای خلیج فارس و دریای عمان استخراج گردید. این مقادیر به عنوان ورودی مدل، با استفاده از مدل عددی نسل سوم MIKE21(SW) که با کمترین پیش فرض‌ها به شبیه‌سازی پارامترهای موج می‌پردازد، تبدیل به مشخصات موج گردید و در نهایت میزان تغییرات مشخصات موج از قبیل ارتفاع موج، پریود موج و جهت موج در خلیج فارس، دریای عمان و بخشی از اقیانوس هند که متأثر از تغییر اقلیم منطقه است به دست آمده است. نتایج بررسی‌ها نشان داد که اثر تغییر اقلیم بر روی ارتفاع و پریود موج ناچیز اما در سواحل مکران اثر تغییر اقلیم بر روی زاویه جهت موج قابل تامل است و این امر روی فرآیند رسوب‌گذاری اثرگذار خواهد بود. بنابراین پیشنهاد می‌گردد جهت احداث بنادر و سازه‌های دریایی از قبیل آبگیرهای آب شیرین کن‌ها در این مناطق اثر تغییر اقلیم بر روی جهت موج و اثر آن روی سازه مورد بررسی بیشتر قرار گیرد.

کلید واژه‌ها: تغییر اقلیم، سازه‌های فراساحل، قابلیت اطمینان، خلیج فارس، MIKE21

مقدمه

تغییرات شاخص و پایدار در توزیع آماری الگوهای جوی در دوره‌های زمانی نسبتاً طولانی مدت در بازه زمانی چند دهه تا میلیون‌ها سال را تغییر اقلیم می‌گویند. امروزه یکی از چالش‌های محیط زیست و بشر وجود پدیده‌ای به نام تغییر اقلیم است که عوامل متعددی در آن دخیل هستند. این عوامل به دو دسته کلی داخلی و خارجی تقسیم می‌گردد. عوامل خارجی شامل نوسانات در تابش خورشیدی، گردش (وضعی) زمین، و مقادیر (تمرکز) گاز گلخانه‌ای و عوامل داخلی که بیشتر به دلیل فعالیت بشری و مداخله در طبیعت است. مطالعات زیادی در زمینه اثر تغییر اقلیم بر مشخصات آب و هوایی انجام شده است. هاسلمن (۱۹۷۴) یک مدل نسل سوم به نام NL-EXACT را معرفی کرد که از یک روش صریح برای حل کردن متوسط تبادل انرژی بین اجزای موج در یک طیف استفاده می‌کرد. این مدل بر اساس انتگرال شش بعدی مفهومی که توسط هاسلمن (۱۹۶۲) بیان شده بود بنا شده است. هاسلمن (۱۹۸۵) روش تقریب همبستگی گسسته (DIA) را برای محاسبه انتقال غیرخطی در یک طیف موج سطحی در یک بار تلاش را برای کاهش دادن زمان کل محاسبات به منظور حل تعادل انرژی طیفی معرفی نمودند. کومن و همکاران (۱۹۹۴) مدل موج WAM تولید کردند که ویژگی این مدل، استفاده از الگوریتم DIA و توانایی آن جهت تقریب زدن اندرکش موج در موج با صرف هزینه خیلی کم می‌باشد. ریس (۱۹۹۷) و بوجی (۱۹۹۹) مدل نسل سوم شبیه سازی امواج نزدیک ساحل (SWAN) را برای آب های کم عمق و مناطق محدود شده بادگیر، پیاده سازی کردند. جویس و همکاران (۲۰۰۷) از مدل موج طیفی MIKE21 برای تخمین شرایط موج در قرضه مصنوعی در جنوب مرکزی لوئیزیانا^۱ بهره بردند. مقیاس با تفکیک بالا برای تخمین تضعیف موج روی قرضه و با جزئیات بیشتر در زمان هایی که توفان از روی قرضه گذر می کند استفاده شده است. نتایج نشان می‌دهد که

مدل MIKE21 SW در فصل های توفانی مانند جبهه های سرد و توفانی، تضعیف موج را به وسیله انتقال موج از فراساحل به ساحل ارائه می‌کند. شهیدی و معینی (۲۰۰۷) تفاوت فرمول‌های باد مدل‌های عددی MIKE21 SW و SWAN را مورد بررسی قرار داده‌اند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که تفاوت خروجی دو مدل به تفاوت در پارامتره کردن ورودی های باد در مدل ها بر می‌گردد. فرمول Komens در مدل SWAN منجر به پیش بینی با دقت بالا برای ارتفاع موج شاخص نسبت به فرمول Janssens در مدل MIKE21 SW می‌شود. استرائوس و همکاران (۲۰۰۷) کارایی مدل های عددی موج SWAN و MIKE21 SW را در ساحل گلد استرالیا باهم مقایسه نمودند. مقایسه آن‌ها بین این دو مدل نشان داد که MIKE21 SW نسبت به مدل SWAN دارای حساسیت کمتری در مقابل نوسانات باد است. گرابمن و ویس (۲۰۰۸) شرایط متوسط و حداکثر موج را در دریای شمال واقع در شمال اروپا را تحت تغییر اقلیم مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها یک دوره ۳۰ ساله از ۲۰۷۱ تا ۲۱۰۰ را با دو مدل گردش جهانی و با دو سناریوی میدان باد برای تغییر اقلیم در نظر گرفتند و با مدل عددی WAM تغییرات مشخصات موج را مورد بررسی قرار دادند. از دو مدل تغییر اقلیمی HadAM3H و ECHAM4 با دو سناریوی A2 و B2 برای بررسی تغییرات بهره بردند. آن‌ها با مدل کردن سناریوهای انتشار به این نتیجه رسیدند که در مناطق مورد مطالعه ارتفاع موج حدود ۰/۲۵ تا ۰/۳۵ متر بر اثر تغییر اقلیم افزایش پیدا خواهد کرد. لئونلا و گیورگیا (۲۰۰۸) اثرات تغییر اقلیم روی امواج را در یک دوره ۳۰ ساله از ۲۰۷۱ تا ۲۱۰۰ با استفاده از مدل WAM در دریای مدیترانه مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها از دو سناریو انتشار A2 و B2 با در نظر گرفتن دوره زمان گذشته از سال ۱۹۶۱ تا ۱۹۹۰ بهره بردند. آن‌ها از میدان باد مقیاس کاهی شده توسط مدل اقلیمی منطقه ای RegCM با استفاده از شرایط مرزی مدل HadAM3H با تفکیک ۵۰ کیلومتر استفاده کردند.

^۱ Louisiana

می‌کند. وانگ و همکاران (۲۰۱۱) روند تغییرات شدت توفان‌ها را با در نظر گرفتن تغییر اقلیم در بازه سال‌های ۱۹۷۸ تا ۲۰۰۷ در منطقه اروپای غربی مورد بررسی قرار داده‌اند. بررسی آنها نشان داد که تغییرات شدت توفان در بعضی مناطق روندی نزولی و در بعضی مناطق دیگر روندی صعودی دارد. رادهیکا و همکاران (۲۰۱۲) اثر پنج سناریوی تغییر اقلیم را روی ارتفاع امواج در منطقه سواحل اقیانوس هند در بازه ۳۰ سال مورد بررسی قرار دادند. یافته‌های آنها نشان داد که ارتفاع امواج در این مدت ۳۰ سال روندی افزایشی داشته است. در این پژوهش با استفاده از نتایج به دست آمده پیشنهاد شد که استانداردهای طراحی سازه‌های فراساحل باید با در نظر گرفتن تغییر اقلیم بازنگری گردد. کامران زاد (۱۳۹۳) در مطالعه‌ای با عنوان بررسی تغییرات سرعت باد در نزدیکی منطقه چابهار و دریای عمان تحت اثر تغییر اقلیم و با استفاده از مدل CGCM3.1 با تفکیک مکانی ۲/۸۱ درجه و زمانی یک روزه تحت سه سناریوی A2، A1B و B2 نتیجه گرفت که سرعت باد در منطقه خلیج فارس تحت اثر تغییر اقلیم کاهش خواهد بود. گرابمن و همکاران (۲۰۱۴) اثرات تغییر اقلیم بر روی موج را در دریای شمال (North Sea) بررسی نمودند و از سناریوهای انتشار IPCC برای مدل سازی تغییر اقلیم بهره بردند و با وارد کردن باد بدست آمده از سناریوی انتشار در مدل موج نرم افزار WAM مقادیر تغییرات را به دست آوردند. دریر و همکاران (۲۰۱۱) با انتخاب یکی از سناریوهای انتشار و با استفاده از مدل SWAN به شبیه سازی امواج پرداختند و اثر تغییر اقلیم را روی امواج بررسی کردند. گرو و همکاران (۲۰۱۷) اثرات تغییر اقلیم را روی پارامترهای موج در دریای بالتیک مورد بررسی قرار دادند و با انتخاب سناریو انتشار A1B و B1 اثر تغییر اقلیم روی باد را بررسی نمودند و آنها نیز برای مدل سازی موج از نرم افزار WAM استفاده کردند. جیانگ و پری (۲۰۰۷) از نرم افزار WAVEWATCH3 برای شبیه سازی امواج استفاده کردند و تغییر اقلیم را برای دریای آتلانتیک شمالی مورد بررسی قرار دادند. ویساکول و همکاران

یافته‌ها نشان داد که متوسط ارتفاع موج در سناریوهای تغییر اقلیم نسبت به دوره زمانی گذشته کاهش یافته و تغییرات در ماکزیمم ارتفاع موج محسوس نمی‌باشد. موری و همکاران (۲۰۰۸) بر اساس اقلیم موج حال تلاش به یافتن اقلیم موج برای آینده نمودند. اساس کار آنها بر مبنای مدل اقلیمی موسسه تحقیقاتی هواشناسی ژاپن (JMA-MRI) می‌باشد. مدل اقلیمی JMA-MRI مدلی با تفکیک جوی T959L60 است که برای سه دوره زمانی حال ۱۹۷۹-۲۰۰۴، آینده نزدیک ۲۰۱۵-۲۰۲۸ و آینده دور ۲۰۷۵-۲۱۰۰ تحت سناریوی A1B اجرا شده است. آنها از مدل SWAN برای شبیه سازی امواج استفاده کردند و نشان دادند که متوسط ارتفاع موج در عرض جغرافیایی میانه و همچنین اقیانوس آتلانتیک افزایش پیدا می‌کند و در استوا کاهش می‌یابد و در سواحل ژاپن مشخصات ارتفاع موج ۵ تا ۱۰ درصد نسبت به اقلیم حال کاهش پیدا خواهد کرد و از سوی دیگر مقدار بیشینه ارتفاع موج بر اثر تغییر اقلیم در آن منطقه افزایش پیدا خواهد کرد. لو و همکاران (۲۰۰۹) اثر تغییر اقلیم را اطراف سواحل انگلیس مورد بررسی قرار دادند و از مدل اقلیمی جهانی HadCM3 برای استخراج میدان باد بهره بردند و برای شبیه سازی امواج از مدل موج آتلانتیک و مدل اقلیمی منطقه ای استفاده کردند. آنها دریافتند که ارتفاع بیشینه و متوسط موج نسبت به موقعیت بین ۳۵- و ۵+ سانتی متر تغییر می‌کند. هم و همکاران (۲۰۱۰) یک گروه از مدل های موج را برای بررسی تغییر اقلیم در سواحل استرالیا توسعه دادند. در مطالعه آنها از سه مدل مختلف گردش کلی GFDL، CSIRO Mk3.5، و GFDL CM2.1 و CM2 برای شبیه سازی میدان باد استفاده کردند. آنها برای قسمتی از مناطق آب‌های استرالیا از تفکیک ۰/۵ درجه مدل WAVEWATCH3 استفاده کردند و برای خط ساحلی در استرالیا از مدل SWAN با تفکیک ریزتر ۰/۱ درجه بهره بردند. آنها همچنین برای اعتبار سنجی مدل‌ها از بویه های شناور در آب های استرالیا استفاده کردند. نتایج نشان داد که از سال ۲۰۸۱ تا ۲۱۰۰ متوسط ارتفاع موج کاهش پیدا

موسسه هیدرولیک دانمارکی DHI^۱ تولید شده است. در این تحقیق با استفاده از یک سناریوی تغییر اقلیم مقادیر میدان باد در خلیج فارس توسط مدل MIKE 21(SW) در شبیه‌سازی امواج در سواحل خلیج فارس استفاده شد. این مقادیر، با استفاده از مدل عددی MIKE 21 که با کمترین پیش فرض ها به شبیه سازی پارامترهای موج می پردازد، تبدیل به موج می گردد و در نهایت میزان تغییرات مشخصات موج در خلیج فارس ناشی از تغییر اقلیم به دست می آید. هدف این تحقیق بررسی اثر تغییرات اقلیم بر روی مشخصات امواج در سواحل خلیج فارس و دریای عمان است. ضرورت تحقیق نیاز طراحان سازه های دریایی به داشتن پارامترهای موج منطقه و شناخت اقلیم موج برای طراحی سازه های دریایی با حفظ پایداری سازه در مقابل امواج است. اهمیت بررسی امواج و شناخت اقلیم موج منطقه از آنجا ناشی می شود که امواج عمده ترین تأثیر را بر طراحی و اجرای تمام پروژه های ساحلی دارند. امواج شرط مرزی اصلی در بارگذاری دینامیکی و محاسبات سازه ای و هیدرولیکی سازه های ساحلی به شمار می روند. از جمله مهم ترین پارامترهای موج می توان به ارتفاع موج، پریود و جهت موج اشاره نمود که تحت تاثیر عوامل مختلف تغییر می کند. تغییر اقلیم یکی از عوامل مهم در تغییر مشخصات موج منطقه در دراز مدت است.

مواد و روش ها

موقعیت جغرافیایی منطقه پژوهش^۲

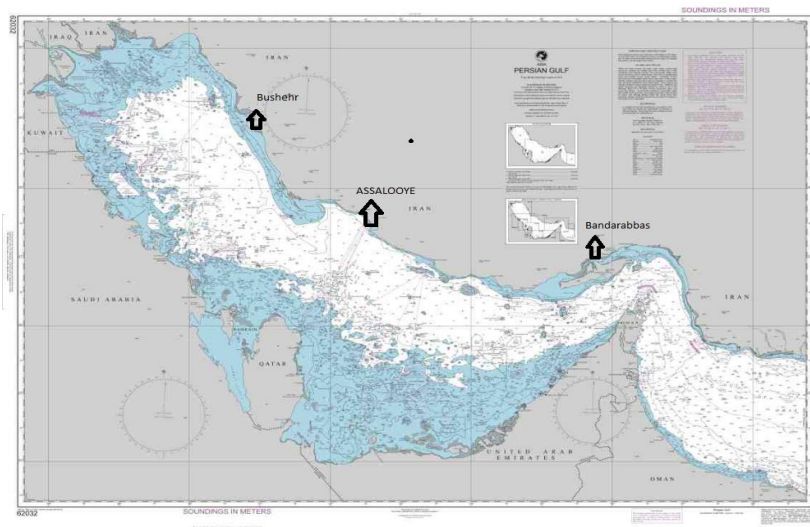
خط ساحلی خلیج فارس در مرز ایران با احتساب جزایر در حدود ۱۸۰۰ کیلومتر و بدون احتساب جزایر در حدود ۱۴۰۰ کیلومتر است. در امتداد این خط ساحلی سه شهر مهم بندرعباس، عسلویه، بوشهر قرار دارد و جزایری مهمی از قبیل خارگ، لاوان، کیش، قشم، سیری، ابوموسی، تنب بزرگ و تنب کوچک در طول خلیج فارس قرار گرفته است. بندر بوشهر در غربی ترین نقطه خلیج فارس قرار دارد. شکل (۱) شهرها و جزایر مهم در سواحل خلیج فارس را نشان می دهد.

(۲۰۱۴) با استفاده از نرم افزار MIKE 21 اثرات تغییر اقلیم را در سواحل تابند بررسی کردند. آنها از شبکه بندی انعطاف پذیر ۰/۱ درجه در سواحل و ۰/۵ درجه در دریا تحت سناریو های تغییر اقلیم توسط مدل GFDL CM2.1 استفاده کردند. آنها نتیجه گرفتند که ارتفاع امواج در سواحل تحت تاثیر تغییر اقلیم و با استفاده از مدل های مختلف شبیه سازی امواج از قبیل WAM، SWAN، WAVEWATCH3 و MIKE 21 افزایش پیدا کرده و جهت امواج نیز دستخوش تغییر خواهد بود. کامران زاد (۱۳۹۲) داده های باد باز تحلیل را از ECMWF و داده های تغییر اقلیم را از مدل CGCM3.1 دریافت کرده و با وارد کردن ورودی های باد در مدل SWAN مقدار انرژی امواج را بدست آورد. نتایج این تحقیق نشان داد که تغییر اقلیم منجر به کاهش انرژی امواج در خلیج فارس می شود. همچنین کامران زاد (۱۳۹۳) در تحقیق دیگر روند تغییرات سرعت باد را در نزدیکی منطقه چابهار در دریای عمان با استفاده از داده های اقلیمی بررسی کرد. در این تحقیق از مدل CGCM3.1 با تفکیک مکانی ۲/۸۱ درجه و تفکیک زمانی ۱ روزه استخراج شد. میدان باد بازکاوی محلی مرکز ECMWF در نزدیکی چابهار مقایسه شدند و نتایج نشان داد که در تمامی فصول، سرعت باد متوسط مدل CGCM3.1 نسبت به باد ECMWF دارای اریبی مثبت است. مشاهده روند تغییرات سرعت متوسط سالانه باد از سال ۲۰۰۱ تا ۲۱۰۰ طبق سناریو های مختلف نشان داد که تغییرات چندانی در سرعت متوسط باد سالانه در محل مورد نظر مشاهده نمی شود. اما میزان تغییرات سرعت متوسط سالانه طبق سناریوی A2 بیش از سایر سناریوها است.

مدل های عددی متنوعی جهت شبیه سازی امواج توسط موسسات بین المللی تولید شده اند و محققین در کارهای علمی خود از آنها بهره برده اند. یکی از نرم افزارهای قوی در زمینه شبیه سازی امواج در سواحل، MIKE نام دارد که توسط

^۲ Persian Gulf Coastline

^۱ Dansk Hydraulisk Institut

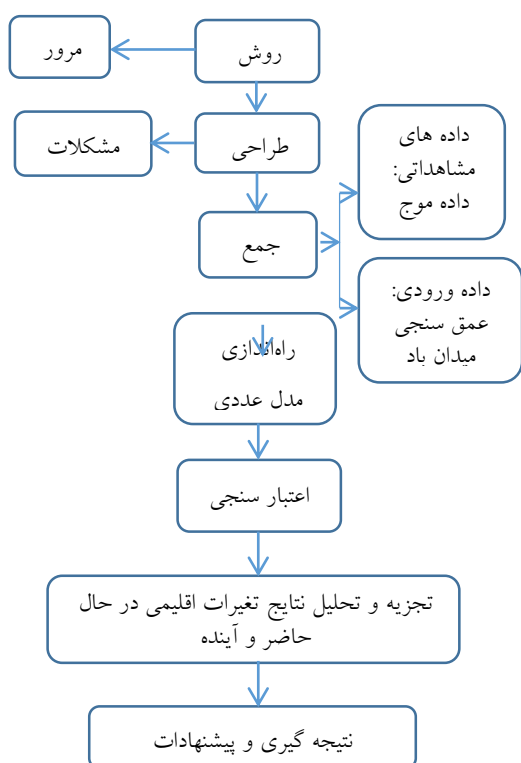


شکل ۱- شهرها و جزایر مهم در خلیج فارس

تولید شده استفاده شده است. مدل موج منطقه‌ای استفاده شده در این تحقیق نرم افزار MIKE 21 SW است که قادر است امواج را در سواحل با دقت خیلی بالایی شبیه‌سازی کند. مدل SW از بسته نرم افزاری MIKE 21 یک مدل نسل سوم شبیه سازی فرآیندهای تولید و انتشار امواج ناشی از باد در یک پهنه آبی است. این مدل پدیده های مربوط به تولید امواج ناشی از باد در آب عمیق نظیر شکست آب عمیق، اندرکنش چهارتایی، جفت شدگی میدان باد و موج را از یک سو و فرآیندهای مرتبط با انتشار امواج نظیر انکسار، پشته شدن و تفرق ناشی از تغییرات عمق بستر را از سوی دیگر لحاظ می‌نماید. فرآیندهای انتشار موج در آب کم عمق نظیر استهلاک انرژی در ناحیه شکست و شکست موج نیز توسط این مدل محاسبه می‌شوند. دلیل استفاده از این نرم‌افزار در این تحقیق قدرت این نرم افزار در شبیه‌سازی امواج در سواحل است. علاوه بر داده‌های میدان باد سطحی که از مهم‌ترین ورودی‌های مدل موج است، داده‌های عمق سنجی نیز یکی از ورودی‌های مهم مدل موج است که برای تهیه آن داده‌های عمق آب (Bathymetry data) خلیج فارس و دریای عمان از چارت های عمق سنجی عمومی اقیانوس ها (GEBCO) دریافت شده است. به وسیله این داده، شبکه‌بندی محاسباتی مدل موج به صورت منظم تهیه می‌گردد.

امواج غالب در خلیج فارس امواج ناشی از باد می‌باشند، در بیشترین نواحی خلیج فارس در طول سال، موج‌های مرده از سوی غرب و شمال غربی روی می‌دهد که در نواحی مرکزی خلیج فارس، تواتر این امواج حدود ۳۰ درصد در هنگام بهار و ۴۰ تا ۴۵ درصد در بقیه فصول سال است. ارتفاع این امواج در نواحی مرکزی خلیج فارس بین ۱/۵۰ تا ۱/۸۰ متر است. در این پژوهش با توجه به شرایط منطقه خلیج فارس و ایران، یکی از سناریوهای انتشار متوسط مورد استفاده در گزارش پنجم (RCP4.5) انتخاب گردید و با گرفتن داده‌های باد از منابع جهانی و اعمال سناریوی تغییر اقلیم بر روی آن، داده‌های باد جدید به دست آمد. پس از تطبیق این داده‌ها و اطمینان از درستی آن‌ها با مقایسه با داده‌های مشاهداتی ثبت‌شده برای تاریخ‌های مشخص، از این داده‌ها جهت تأمین میدان باد سطحی ورودی مدل عددی MIKE 21 استفاده شد. منطقه مطالعاتی تحقیق حاضر منطقه خلیج فارس و دریای عمان و بخشی از اقیانوس هند در جنوب ایران است که به دلیل وجود سازه های دریایی از قبیل سکوهای نفتی، پایانه های نفتی، اسکله ها، موج شکن ها و ... بررسی تغییر اقلیم و اثر آن روی مشخصات موج در این منطقه از اهمیت زیادی برخوردار است. برای بررسی سناریو های اقلیمی از مدل CGCM 3.1 که توسط مرکز کانادایی آنالیز تغییر اقلیم

موسسه تحقیقاتی هواشناسی (MRI)^۶ توسعه داده شده است. سناریوی استفاده شده در این تحقیق RCP4.5 است که منطقه مورد نظر تحقیق را پوشش می‌دهد. در ادامه تحقیق خروجی مدل MIKE DHI با خروجی مدل Wavewatch3 با شرایط یکسان مورد مقایسه قرار گرفته است. در شکل (۲) چارت روش تحقیق نشان داده شده است. داده‌های استخراج شده بر فرمت NetCDF می‌باشد که توسط نرم افزار Panoply خوانده می‌شود.



شکل ۲- چهارچوب روش تحقیق

مدل عددی MIKE 21 مانند هر مدل عددی دیگر که برای شبیه‌سازی پارامترهای موج استفاده می‌شود، قابلیت ریز و درشت کردن دامنه محاسباتی برای دقت بیشتر و همچنین افزایش یا کاهش گام زمانی و تغییر ضرایب ثابت، حل معادلات مثل ضریب شکست موج و ... را دارا است. در این میان اما، دقت مکانی شبکه محاسباتی و همچنین گام زمانی حل معادلات، بیشترین تاثیر را در کالیبره کردن مدل برای اجرا دارند. در این تحقیق ابتدا تاثیر ریز کردن دامنه محاسباتی بر نتایج به دست آمده از شبیه‌سازی پارامترهای موج بررسی می‌شود و سپس تاثیر کوچک کردن گام زمانی مورد توجه قرار می‌گیرد تا با مقایسه نتایج به دست آمده از مدل و داده‌های مشاهده‌ای میزان موفقیت مدل در شبیه‌سازی پارامترهای موج بررسی شود. بعد از تحلیل آماری نتایج به دست آمده و اطمینان از صحت نتایج، از مدل با پیکربندی منتخب جهت شبیه‌سازی‌ها در تاریخ‌های انتخابی استفاده می‌شود. در این تحقیق برای منطقه خلیج فارس و دریای عمان در جنوب کشور ایران نقشه عمق سنجی^۱ از سازمان GEBCO^۲ دریافت و به عنوان شبکه محاسباتی وارد مدل گردید. جهت بررسی تغییر اقلیم و اثر آن روی مشخصات امواج دو تقسیم بندی کلی از لحاظ سال انجام شده است. قسمت اول مربوط به سال‌های ۱۹۷۶ تا ۲۰۰۵ و قسمت دوم مربوط به آینده از ۲۰۰۶ تا ۲۰۳۵ است. داده‌های اخذ شده به عنوان ورودی مدل، سرعت باد در دو جهت u و v در بازه شش ساعته با فواصل نقاط ۱*۱ درجه است. داده‌های باد، مربوط به پروژه تغییر اقلیم CMIP5^۳ است که توسط گروه برنامه تحقیقاتی تغییرات اقلیمی (WCRP)^۴ در سال ۲۰۰۸ ارائه شده است. مدل استفاده شده در این تحقیق مدل اقلیمی جهانی کوپل شده نسل سوم (CGCM3)^۵ است که توسط

⁴ World Climate Research Programme

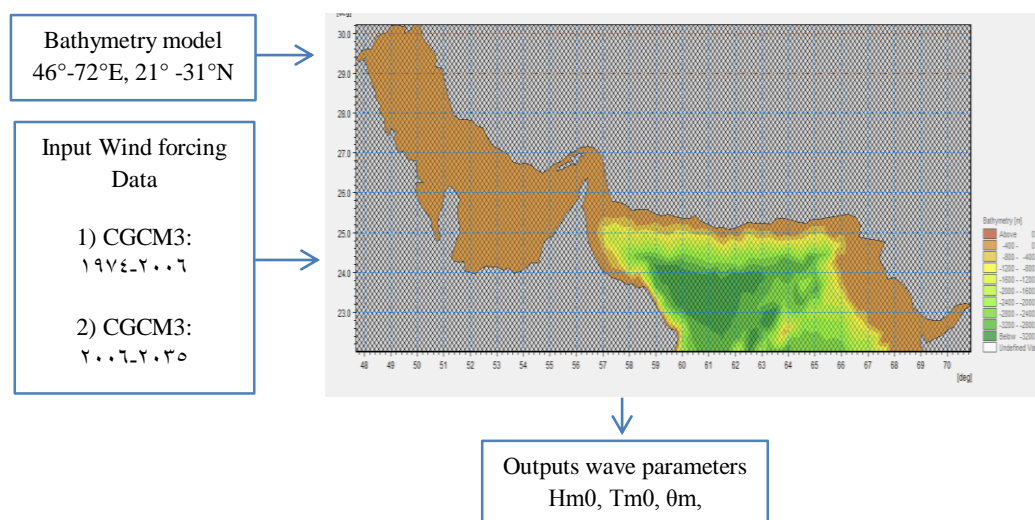
⁵ The Third Generation Coupled Global Climate Model

⁶ Meteorological Research Institute

¹ bathymetry

² The General Bathymetric Chart of the Oceans

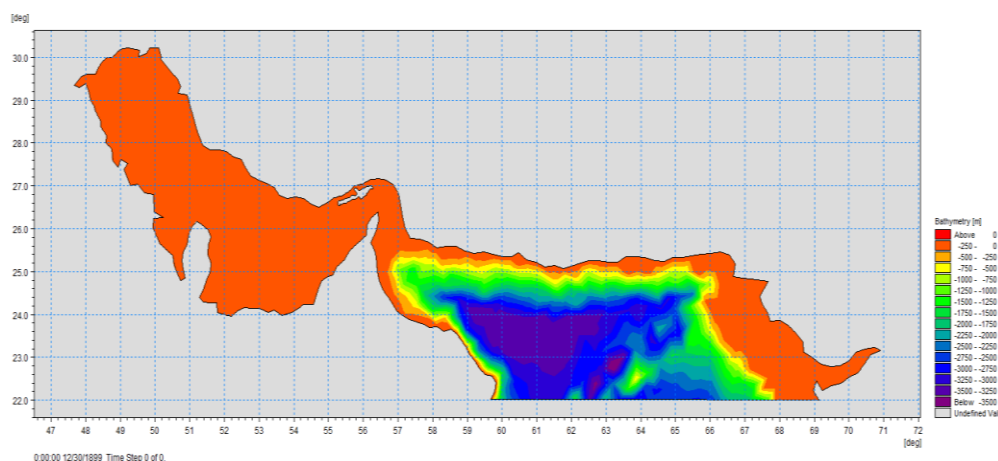
³ Coupled Model Intercomparison Project



شکل ۳- مفهوم مدل‌سازی تحقیق

آخرین نسخه این داده‌ها GEBCO_2014 Grid با تفکیک 30 arc-seconds است. داده عمق‌سنجی برای خلیج فارس و قسمتی از دریای عمان در محدوده 46°-72°E, 21° - 31°N دانلود شده است. در شکل (۴) نقشه عمق سنج برای این محدوده نشان داده شده است.

در این تحقیق انواع داده از قبیل عمق‌سنجی، میدان باد، داده‌ها موج مورد نیاز است که از منابع مختلف استخراج شده است. مدل عددی MIKE21 SW جهت شبیه‌سازی امواج نیاز به داده‌های ورودی عمق‌سنجی، میدان باد است که در زیر شرح داده شده است. داده‌های عمق‌سنجی از چارت‌های عمق‌سنجی عمومی اقیانوس‌ها (GEBCO) استخراج می‌گردد.



شکل ۴- نقشه عمق‌سنجی استخراج شده از GEBCO

برنامه تحقیقاتی تغییر اقلیمی (WCRP) ^۲ در سال ۲۰۰۸ ارائه شده است. مدل استفاده شده در این تحقیق مدل اقلیمی جهانی کوپل شده نسل سوم ^۳ (CGCM3) است که توسط

ورودی‌های مدل، سرعت باد در دو جهت u و v در بازه ۶ ساعته با فواصل نقاط ۱*۱ درجه است. داده‌های باد، مربوط به مدل گردش کلی سری CMIP5 ^۱ است که توسط گروه

³ The Third Generation Coupled Global Climate Model

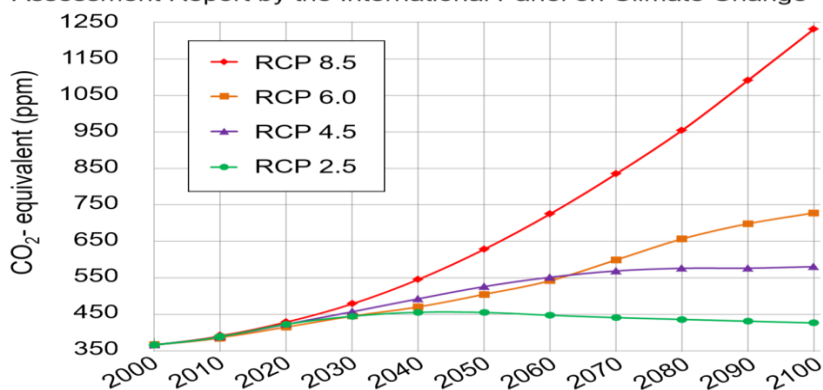
¹ Coupled Model Intercomparison Project

² World Climate Research Programme

که هیات بین‌الدولی تغییر اقلیم (IPCC) در گزارش ارزیابی پنجم خود در سال ۲۰۱۴ ارایه داده است. سناریوهای خانواده RCP دارای ۴ سناریو بر اساس تمرکز گازهای گلخانه‌ای است. RCP2.6, RCP4.5, RCP6, RCP8.5 و RCP8.5 مدل هستند که بر اساس مسیر تمرکز گازهای گلخانه‌ای بر اساس W/m² تا ۲۱۰۰ نام‌گذاری شده است (شکل ۵). در شکل (۶) مقایسه‌ای از شدت تمرکز گاز CO₂ برای این چهار سناریو نشان داده شده است.

موسسه تحقیقاتی هواشناسی (MRI)^۱ توسعه داده شده است. داده‌ها از سایت ESGF با فرمت NetCDF دانلود شده است. در استاندارد سرعت در جهت X با پارامتر East Wind و سرعت در جهت Y با پارامتر North Wind نشان داده شده است. داده‌ها از لحاظ زمانی به دو دسته تقسیم بندی شده است: قسمت اول مربوط به داده‌ها در بازه زمانی ۱۹۵۰ تا ۲۰۰۵ که با historical نام‌گذاری شده است و دسته دوم از سال ۲۰۰۶ تا ۲۰۳۵ که با RCP^۲ نام‌گذاری شده است. مدل RCP یک خط سیر تمرکز گازهای گلخانه‌ای می‌باشد

IPCC AR5 Greenhouse Gas Concentration Pathways
Representative Concentration Pathways (RCPs) from the fifth
Assessment Report by the International Panel on Climate Change



شکل ۵- انواع سناریوهای مدل تغییر اقلیمی RCP

قرار می‌گیرد و هزینه بالای محاسباتی دارد اما دارای دقت بالایی در پارامترهای موج ارایه می‌دهد. موج‌های تولید شده توسط باد با استفاده از طیف چگالی عمل موج $N(\sigma, \theta)$ بیان می‌شود. در اینجا σ فرکانس زاویه ای نسبی و θ جهت پیشروی موج می‌باشد. فرکانس زاویه ای نسبی می‌تواند به فرکانس زاویه ای مطلق (ω) بوسیله رابطه پراکنندگی خطی بصورت رابطه (۱) مرتبط گردد.

$$\sigma = \sqrt{gk \tanh(kd)} = \omega - \vec{k} \cdot \vec{U} \quad (1)$$

در این معادله g شتاب گرانشی، k عدد موج، d عمق آب، \vec{k} بردار عدد موج با مقدار k و جهت θ و \vec{U} بردار سرعت

در این تحقیق سناریو استفاده شده برای بررسی اثر تغییر اقلیم روی میدان باد، سناریو RCP4.5 است که یک حالت متوسطی از انتشار گازهای گلخانه‌ای است. همچنین مدل های موج منطقه ای با استفاده از مدل طیفی MIKE21 SW برای خلیج فارس و دریای عمان و بخشی از اقیانوس هند پیاده سازی شده است. این مدل قادر است پیشروی موج در فراساحل شامل اثر رشد موج بوسیله باد، اثر متقابل غیرخطی موج با موج، استهلاک پدیده سفیدک موج، استهلاک شکست موج، استهلاک مربوط به اصطکاک بستر، انکسار مربوط به تغییرات عمق و اثر متقابل موج با جریان را شبیه‌سازی کند. فرمول طیفی کامل MIKE21 SW به منظور فرموله کردن فرایندهای تولید موج-باد در مدل موج منطقه‌ای مورد استفاده

² Representative Concentration Pathway

¹ Meteorological Research Institute

در اینجا $m_0(x, y, \theta)$ و $m_1(x, y, \theta)$ به ترتیب تکانه صفرم و تکانه اول از طیف عمل هستند. C_θ سرعت پیشروی در جهت θ است. T_0 و T_1 ترم‌های منبع هستند. سرعت‌های پیشروی C_{gx} و C_{gy} و C_θ بر اساس تئوری خطی امواج به‌دست می‌آیند. تابع سمت چپ مربوط به فرایندهای انکسار^۱ و کم‌زرفایی^۲ است. جمله منبع در سمت راست اثر موج‌های ایجاد شده توسط باد، اتلاف مربوط به اصطکاک بستر، شکست ناشی از عمق و عکس‌العمل جریان-موج را نشان می‌دهد. ترم منبع/چاه انرژی S در سمت راست رابطه (۳) بیان‌کننده فرآیندهای فیزیکی که شامل تولید امواج، از بین بردن یا توزیع مجدد انرژی موج می‌باشد. ترم تابع منبع بوسیله معادله زیر به‌دست می‌آید.

$$S = S_{in} + S_{nl} + S_{ds} + S_{bot} + S_{surf} \quad (5)$$

در این معادله S_{in} بیان‌کننده انتقال تکانه انرژی باد برای تولید موج است. S_{nl} انتقال انرژی مربوط به اثر متقابل غیرخطی موج-موج است. S_{ds} اتلاف انرژی موج که مربوط به سفیدک‌های راس موج (شکست موج در آب عمیق) است. S_{bot} اتلاف مربوط به اصطکاک بستر و S_{surf} اتلاف انرژی موج مربوط به شکست ناشی از عمق (شکست موج در آب کم عمق) است.

پایه همه روابط در این ترم منبع مدل‌های نسل سوم به‌وسیله مکانیزم‌های رشد خطی موج بیان می‌شود. رشد عددی باد در SW MIKE21 بوسیله معادله (۶) بر اساس تحقیقات Janssen و همکاران (۱۹۸۹) بیان می‌شود.

$$S_{in}(f, \theta) = \gamma E(f, \theta) \quad (6)$$

در این معادله γ نرخ رشد باد در مدل SW MIKE21 است و شبیه مدل WAM می‌باشد و نرخ رشد به ورودی باد مرتبط است و توسط رابطه (۷) به‌دست می‌آید.

جریان می‌باشد. چگالی عمل $N(\sigma, \theta)$ می‌تواند بوسیله معادله زیر با چگالی انرژی مرتبط شود.

$$N = \frac{E}{\sigma} \quad (2)$$

در اینجا دو رابطه در مدل وجود دارد: ۱- فرمول کاملاً طیفی. ۲- فرمول پارامتری گسسته جهتی. فرمول کاملاً طیفی بر اساس معادله عمل موج ذکر شده در تحقیقات Komen و همکاران (۱۹۹۴) و Young (۱۹۹۹) بنا شده است. در اینجا طیف عمل موج فرکانس-جهت یک متغیر وابسته است. معادلات بقا عمل موج در مختصات کارتزین برای کاربردهای ریزمقیاس یا مختصات کروی برای کاربردهای بزرگ مقیاس فرموله می‌شوند. تعادل انرژی طیفی در مختصات کارتزین می‌تواند به‌صورت زیر بیان شود.

$$\frac{\partial N(\sigma, \theta; x, y, t)}{\partial t} + \frac{\partial C_{gx} N(\sigma, \theta; x, y, t)}{\partial x} + \frac{\partial C_{gy} N(\sigma, \theta; x, y, t)}{\partial y} = \frac{S(\sigma, \theta; x, y, t)}{\sigma} \quad (3)$$

در این معادله $N(\sigma, \theta; x, y, t)$ تکامل چگالی عمل، C_{gx} و C_{gy} اجزا سرعت گروهی در جهت x و y هستند، S منبع یا توابع چاه بر مبنای طیف عمل است. رابطه پارامتریک تفکیک شده، بر مبنای معادله بقای عمل موج در حل عددی تحقیقات ارایه شده توسط Holthuijsen و همکارانش (۱۹۸۹) بنا شده است. پارامتری کردن فرکانس بوسیله تعریف کردن مومنت m_0 و m_1 برای طیف موج عمل بصورت متغیرهای وابسته صورت می‌پذیرد:

$$\frac{\partial (C_{gx} m_0)}{\partial x} + \frac{\partial (C_{gy} m_0)}{\partial y} + \frac{\partial (C_\theta m_0)}{\partial \theta} = T_0 \quad (4)$$

$$\frac{\partial (C_{gx} m_1)}{\partial x} + \frac{\partial (C_{gy} m_1)}{\partial y} + \frac{\partial (C_\theta m_1)}{\partial \theta} = T_1$$

² Shoaling

¹ Refraction

اتلاف سفیدک های راس موج از سیکل سه WAM و سیکل چهار WAM با مقادیر مختلف C_{ds} و δ به ترتیب برابر با ۴۱/۵ و ۰/۵ را مجاز می‌داند. در موج‌هایی که به سمت آب کم عمق پیش می‌روند و اثر بستر را حس می‌کنند، تابع منبع اثر متقابل بستر-موج دارای اهمیت می‌باشد. شکست ناشی از عمق هنگامی که امواج به سمت مناطق آب کم عمق پیش می‌روند و امکان وجود ندارد که ارتفاع موج از عمق آب بیشتر شود رخ می‌دهد. فرمول شکست موج در مدل MIKE21 SW بر اساس تحقیقات انجام شده توسط باتجس و جانسن (۱۹۷۸) و الدبرکی و باتجس (۱۹۹۶) می‌باشد. پارامتر شکست گاما می‌تواند بوسیله فرمول شکست مشخص گردد.

در این تحقیق انتقال غیرخطی انرژی در میان میدان موج برای ارزیابی میدان موج در آب عمیق و سواحل از اهمیت بالایی برخوردار است. تقابل موج چهارگانه که بر مبنای تقرب اثر تقابل گسسته (DIA) به وسیله کومن و همکاران (۱۹۹۴) ارائه شده است برای مدل موج منطقه ای مورد استفاده قرار می‌گیرد. کنترل های تقابل موج چهارگانه عبارت اند از: ۱- پایداری شکل فرکانس بالای طیف. ۲- تنزل انرژی به فرکانس های پایتتر و ۳- تقابل موج سه گانه که در مدل آب-های نزدیک ساحل به کار می‌رود. در این تحقیق شرایط اولیه در مدل موج منطقه ای بوسیله محاسبه طیف از فرمول های تجربی رشد منطقه موجگاه ۲ JONSWAP و مرز بسته در مرزهای فراساحل بدست می‌آید. پارامترهای مختلف مثل ماکزیمم طول موجگاه، بیشینه فرکانس اوج و بیشینه ثابت فیلیپس و ... در شرایط مرزی تعریف می‌شوند. مرز استفاده شده در این تحقیق مربوط به آب های خلیج فارس در مناطق فراساحل است. خروجی های شبیه سازی ها توسط MIKE21 SW در این تحقیق عبارتند از پارامترهای موج یکپارچه و پارامترهای طیفی. پارامترهای مهم یکپارچه که در این تحقیق از آنها استفاده شده است عبارتند از ارتفاع موج

$$\gamma = \begin{cases} \left(\frac{\rho_a}{\rho_w} \right) \left(\frac{1.2}{k^2} \mu \ln^4 \mu \right) \sigma \left[\left(\frac{u_c}{c} + z_\alpha \right) \cos(\theta - \theta_w) \right]^2 & \mu \leq 1 \\ 0 & \mu > 1 \end{cases} \quad (V)$$

در این معادله k عدد ثابت وان کارمنز برابر با ۰/۴۱ است. ارتفاع بحرانی بدون بعد، $\mu = kz_0 \exp(k/x)$ ، ρ_a/ρ_w نسبت چگالی هوا به آب است، u_c سرعت اصطحکاکي باد، c سرعت فاز، θ و θ_w به ترتیب جهت های موج و باد هستند. و Z_0 زبری دریا است.

اثر متقابل غیرخطی موج-موج یک مکانیزمی است که اثرات رشد موج را نشان می‌دهد. در اینجا انرژی از یک جز به جز دیگر که پاسخ آن می‌باشد انتقال می‌یابد. پارامتری کردن S_{nl} به منظور تقریب اثر متقابل گسسته^۱ (DIA) مورد نیاز می‌باشد و بر اساس تحقیقات انجام شده توسط Hasselmann و همکاران (۱۹۸۵) بسط داده شده است. Hasselmann و همکاران (۱۹۸۵) یک اپراتور غیرخطی اثر متقابل را بوسیله برهم نهی تعداد کوچکی از پیکربندی های اثر متقابل گسسته که متشکل از همسایگی و ترکیب های اثر متقابل فواصل محدود مطابق با تحقیقات انجام شده توسط Komen و همکاران (۱۹۹۴) می‌باشد را ساختند. در آب عمیق و متوسط، اثرهای متقابل غیرخطی موج-موج اجازه می‌دهند که انرژی از پیک طیفی به فرکانس های پایتتر انتقال یابد در حالی که در آب کم عمق، انرژی از فرکانس های پایتتر به سمت فرکانس های بالاتر انتقال می‌یابد. تابع منبع افت مربوط به سفیدک های راس موج براساس تئوری هاسلمن (۱۹۷۴) با فرض خطی بودن چگالی طیفی و فرکانس می‌باشد. کومن و همکاران (۱۹۸۴) فرایندهای میزان پوشش سفیدک های راس موج را در تابع اتلاف و فرموله شده بوسیله گروه WAMDI (۱۹۸۸) در ترم های عدد موج برای استفاده در عمق محدود آب را با هم ترکیب کردند. یک تعادل مناسب بین ورودی باد و تلفات در فرکانس های بالا بوسیله کومن و همکاران (۱۹۹۴) اصلاح شده است. MIKE21 SW فرمول

² fetch¹ Discrete Interaction Approximation

یک دهه است. این بسته نرم‌افزاری دربرگیرنده مجموعه‌ای از مدل‌های المان محدوده بوده که در زمینه مهندسی سواحل، بنادر، هیدرولیک، مهندسی رودخانه و سازه‌های دریایی کاربرد دارد. نرم‌افزار MIKE دارای زیر مدل‌ها و یا به اصطلاح ماژول‌هایی (Module) است که هر یک از آنها برای مدل‌سازی محیط‌های یک‌بعدی (MIKE 11)، دوبعدی (MIKE 21)، سه بعدی (MIKE 3) و مدل‌سازی رسوب‌گذاری سواحل و تغییرات نوار ساحلی (Litpack) مناسب و کاربردی هستند. مایک ۲۱ یک از پیشروترین نرم‌افزارها در مدل‌سازی ۲ بعدی هیدرودینامیک، امواج، دینامیک رسوبات، کیفیت آب و اکولوژی است.

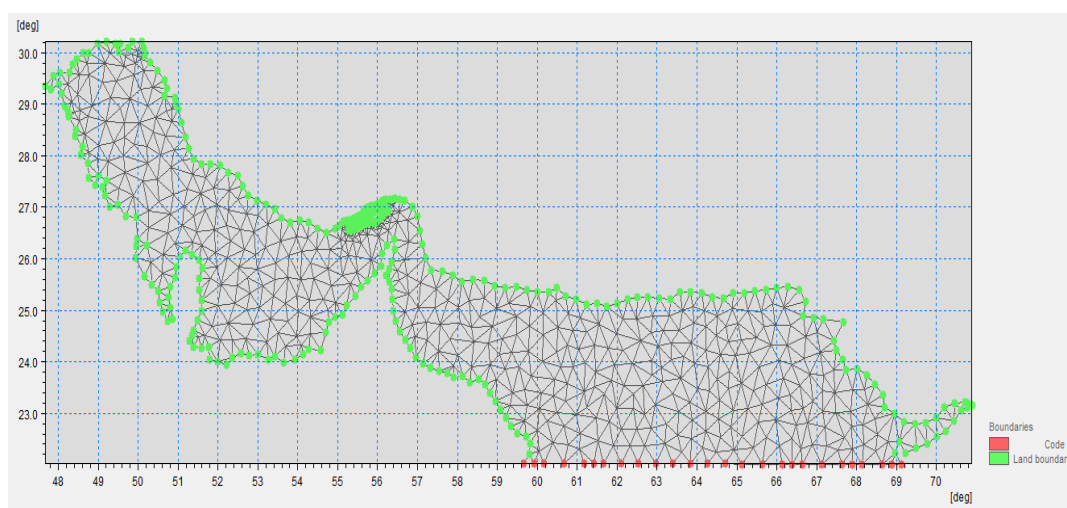
نتایج و بحث

شکل ۶ نشان دهنده شرایط مرزی و مش بندی منطقه مورد مطالعه در این تحقیق می‌باشد. جهت بررسی و مقایسه خروجی مدل چند نقطه به شرح جدول (۱) که از نظر عملیاتی مهم هستند در نظر گرفته شده است

مشخصه (H_{m0})، ماکزیمم ارتفاع موج (H_{max})، پرپود موج پیک (T_p)، متوسط پرپود موج (T_{m01})، پرپود موج عبوری از تراز صفر (T_{m02})، جهت موج پیک (θ_p) و متوسط جهت موج (θ_m). برای کالیبراسیون مدل جهت شبیه‌سازی‌های مطالعه مذکور از نتایج ارائه شده در گزارش انجام شبیه‌سازی امواج (آب عمیق و نیمه عمیق) و ارائه امواج ناحیه ساحلی در بنادر که در سال ۹۲ برای سازمان بنادر و دریانوردی ایران توسط دانشگاه خواجه نصیر الدین طوسی و موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، تدوین گردیده است، استفاده شده است. همچنین از تنظیمات زیر برای شبیه‌سازی‌های مدل استفاده شده است:

- ✓ برای زبری بستر از ثابت $kn=0.04$ استفاده شده است
- ✓ برای اسپیدک امواج از ثابت $C_{dis}=4.5$ استفاده شده است.
- ✓ برای شکست امواج نیز از ثابت $\Gamma=0.8$ استفاده شده است.

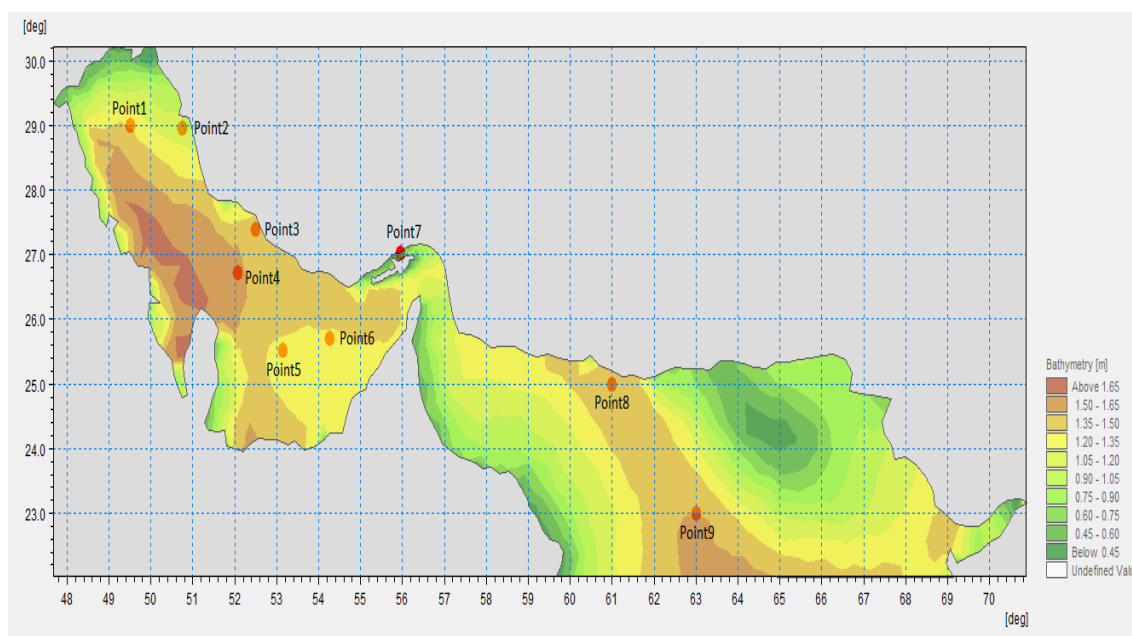
بسته نرم‌افزاری MIKE که توسط موسسه هیدرولیک دانمارک (DHI) طراحی و ارائه شده دارای قدمتی بیش از



شکل ۶- شرایط مرزی و مش بندی تحقیق

جدول ۱- مختصات جغرافیایی مورد مطالعاتی تحقیق

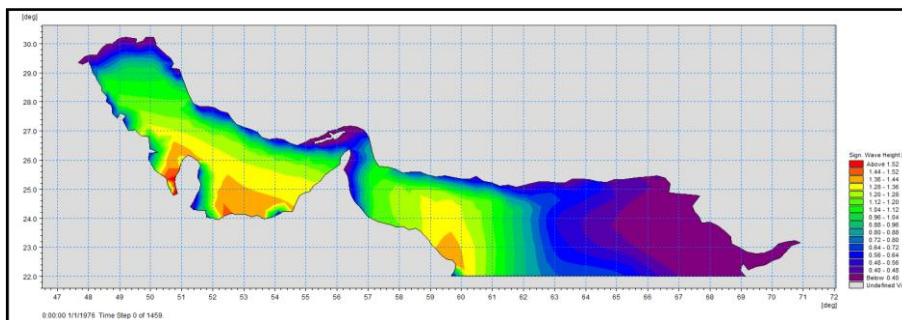
شماره	نام محل	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی
۱	میدان نفتی سروش	۴۹/۵۰	۲۹
۲	بندر بوشهر	۵۰/۷۴	۲۸,۹۶
۳	بندر عسلویه	۵۲/۵۰	۲۷,۴
۴	فیلد نفتی پارس جنوبی	۵۲/۰۷	۲۶,۷۲
۵	میدان نفتی سلمان	۵۳/۱۵	۲۵,۵۳
۶	میدان نفتی نصر	۵۴/۲۶	۲۵,۷
۷	آب شیرین کن بندر عباس	۵۵/۹۶	۲۷,۰۲
۸	سواحل مکران	۶۱/۰۰	۲۵
۹	اقیانوس هند	۶۳/۰۰	۲۳



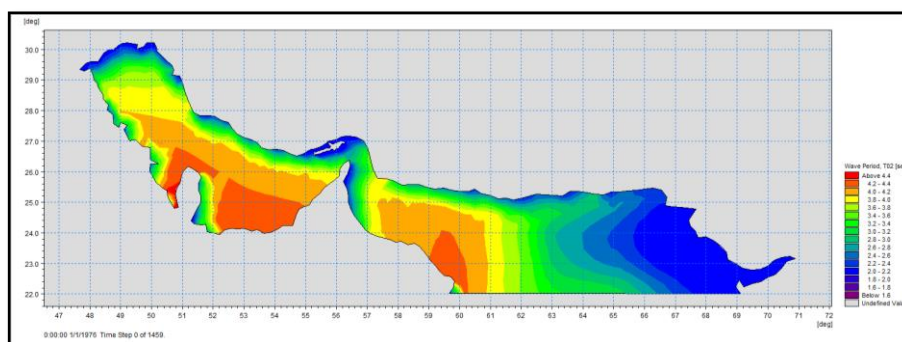
شکل ۷- نقاط مورد مطالعاتی تحقیق

مشخصه مهم موج عبارتند از پریود موج، جهت موج و ارتفاع مشخصه موج به عنوان خروجی مدل استخراج شده است که در زیر بصورت مجزا نتایج خروجی مدل آورده شده است.

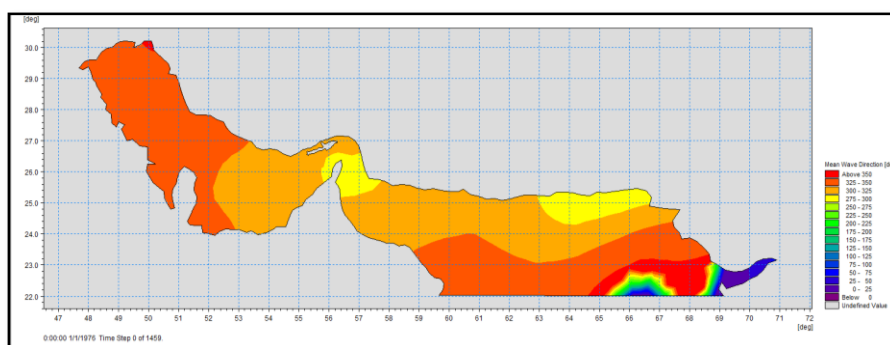
جهت بررسی تغییرات در مشخصات امواج در زمان گذشته، داده های سرعت باد در بازه زمانی ۱۹۷۶ الی ۲۰۰۶ به مدت ۳۰ سال به عنوان ورودی مدل نرم افزار شبیه سازی امواج MIKE DHI تعریف شده است. سه



شکل ۸- نمونه خروجی ارتفاع موج در نرم افزار مایک برای بازه زمانی ۱۹۷۶ تا ۲۰۰۵



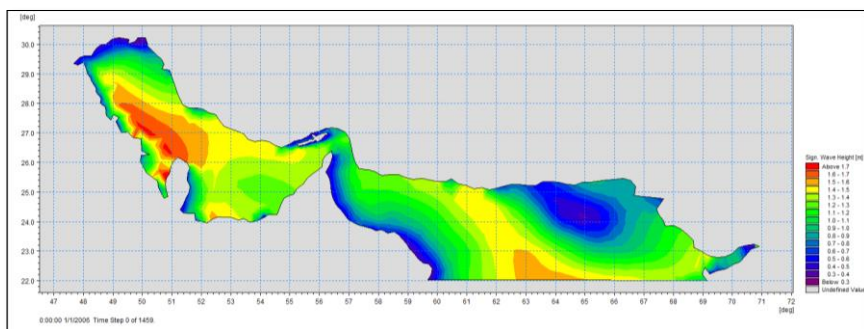
شکل (۹): نمونه خروجی پریود موج در نرم افزار مایک برای بازه زمانی ۱۹۷۶ تا ۲۰۰۵



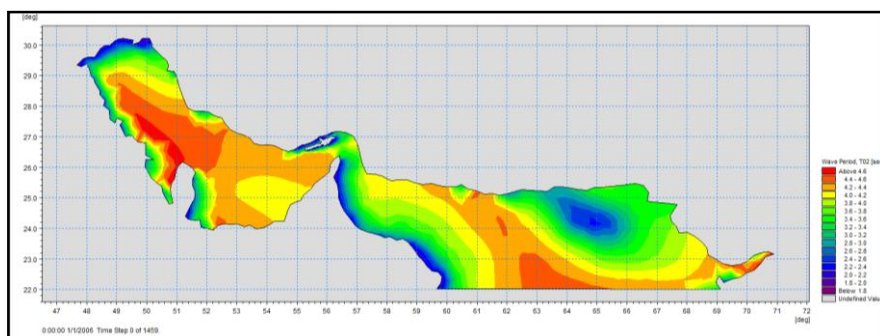
شکل ۱۰- نمونه خروجی جهت موج در نرم افزار مایک برای بازه زمانی ۱۹۷۶ تا ۲۰۰۵

مشخصه مهم موج عبارتند از پریود موج، جهت موج و ارتفاع مشخصه موج به عنوان خروجی مدل استخراج شده است که در شکل‌های (۱۱) تا (۱۳) بصورت مجزا نتایج خروجی مدل آورده شده است.

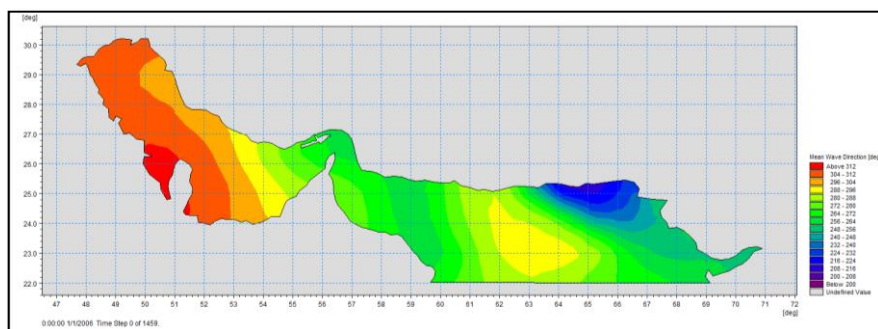
جهت بررسی تغییرات در مشخصات امواج در زمان آینده، داده‌های سرعت باد در بازه زمانی ۲۰۰۶ الی ۲۰۳۵ به مدت ۳۰ سال به عنوان ورودی مدل نرم افزار شبیه‌سازی امواج MIKE DHI تعریف شده است. سه



شکل ۱۱- نمونه خروجی ارتفاع موج در نرم افزار مایک برای بازه زمانی ۲۰۰۶ تا ۲۰۳۵



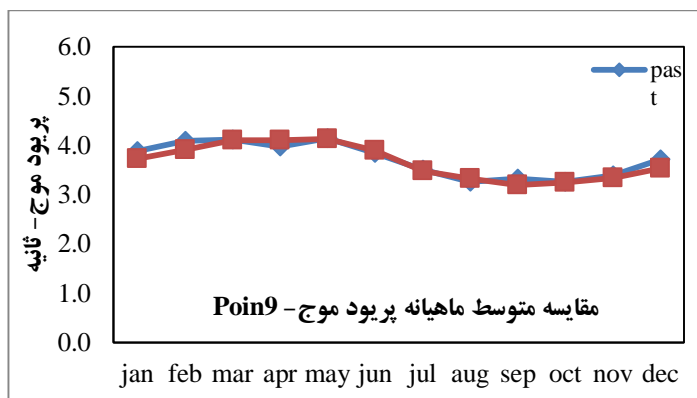
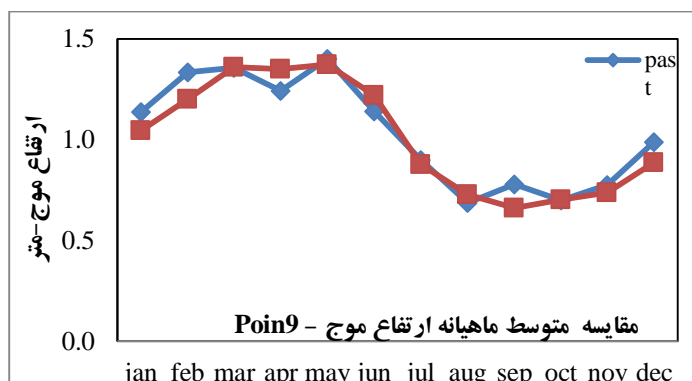
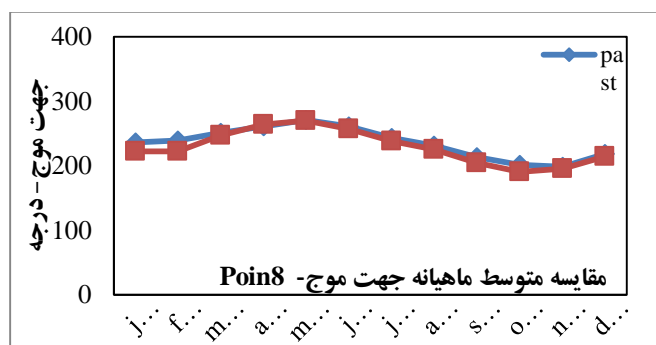
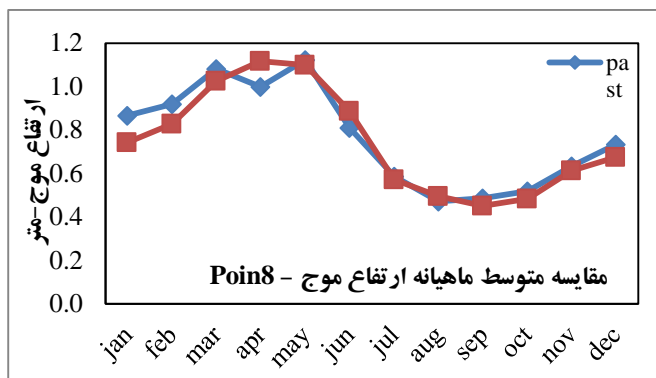
شکل ۱۲- نمونه خروجی پریود موج در نرم افزار مایک برای بازه زمانی ۲۰۰۶ تا ۲۰۳۵

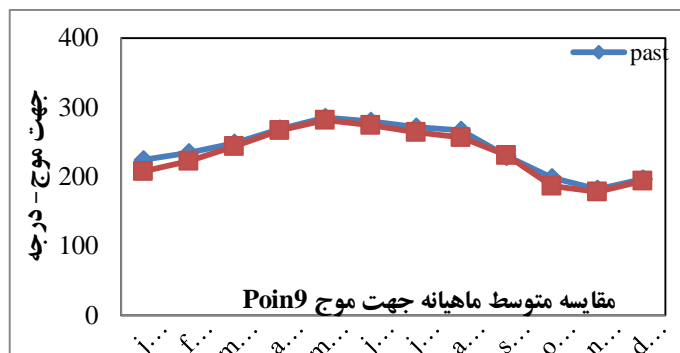


شکل ۱۳- نمونه خروجی جهت موج در نرم افزار مایک برای بازه زمانی ۱۹۷۶ تا ۲۰۰۵

(۱۴) نتایج مربوط به نقاط ۸ و ۹ که مهمترین نقاط در نتایج این پژوهش می‌باشد، نشان داده شده است.

با متوسط‌گیری ماهیانه برای هر دو حالت گذشته و آینده نتایج مربوطه به ۹ نقطه مورد نظر حاصل شد. در شکل

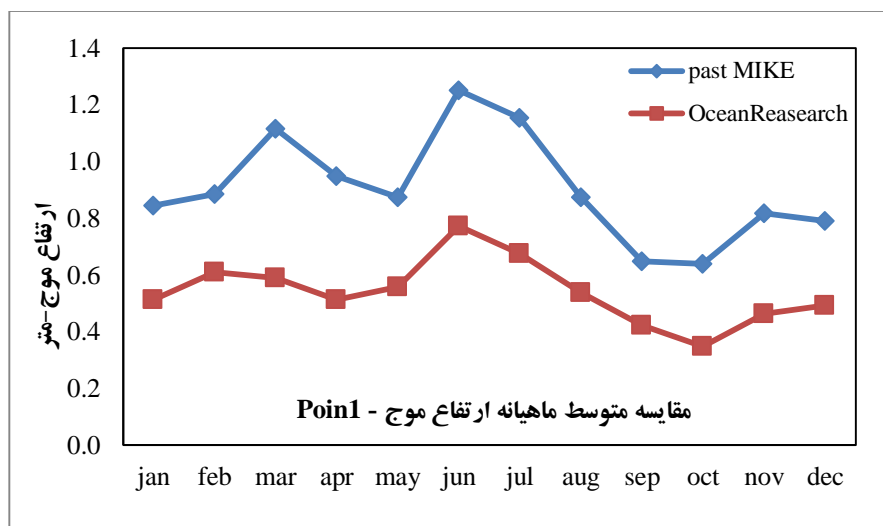




شکل ۱۴- نتایج متوسط ماهیانه مشخصات موج در نقاط ۸ و ۹

گذشته برای میدان نفتی سروش (Point1) انجام شده است.

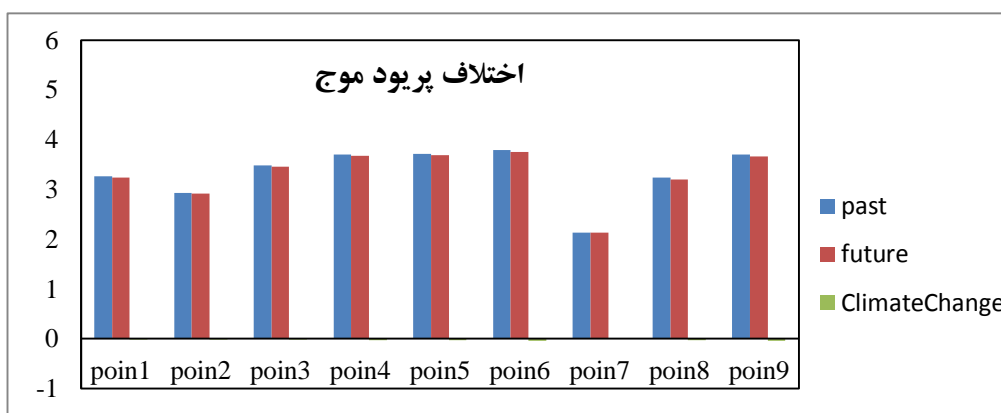
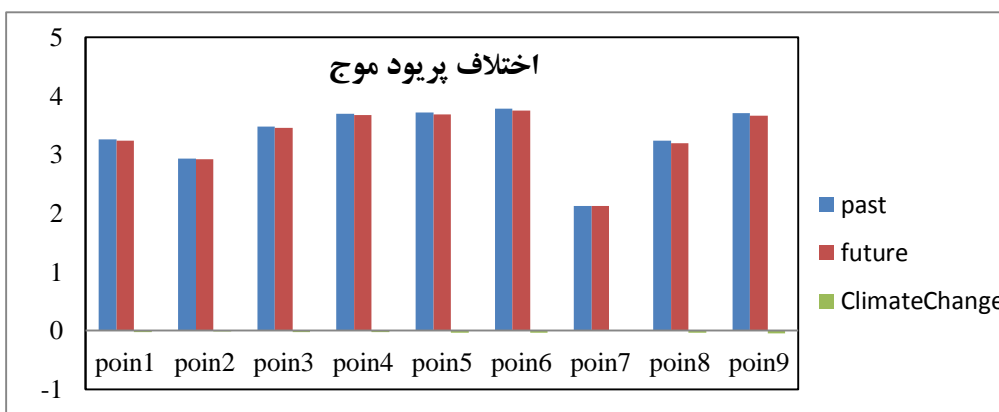
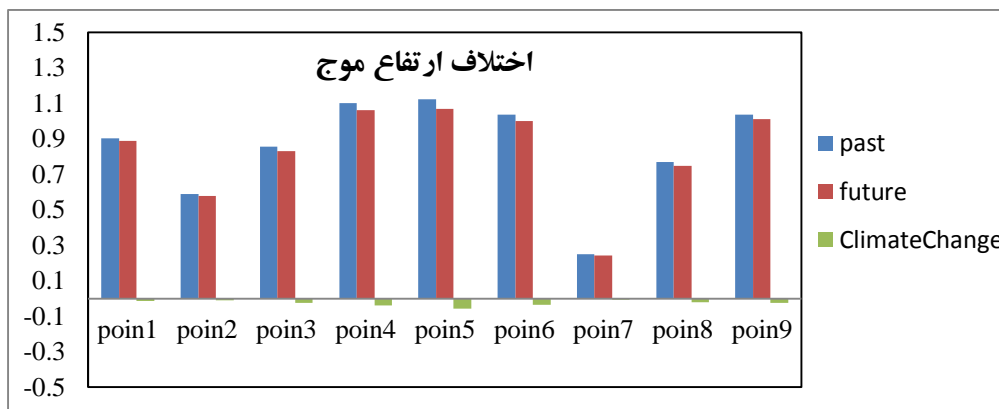
در شکل (۱۵) جهت بررسی الگوی شرایط حاکم بر مشخصات امواج مقایسه‌ای بین خروجی مدل تحقیق و مدل موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران برای ۳۰ سال



شکل ۱۵- مقایسه بین خروجی مدل تحقیق با مدل موسسه ژئوفیزیک (OceanResearch)

اقلیم بر روی مشخصات امواج مقادیر تغییرات ارتفاع موج، پریود و جهت موج برای ۹ نقطه مورد نظر در شکل (۱۶) بیان شده است.

همانطور که از نمودار مشاهده می‌شود روند نمودارها مشابه هم است و خروجی مدل دانشگاه تهران مقادیرش کمتر از خروجی مدل تحقیق است و این هم به دلیل منابع اخذ داده های باد است. جهت بررسی اثر تغییر



شکل ۱۶- اثر تغییرات بر مشخصات موج برای ۹ نقطه مورد نظر تحقیق

نتیجه‌گیری

پژوهش نشان داد که تغییر اقلیم منجر به کاهش ارتفاع موج در تمام ۹ نقطه مورد مطالعاتی شده است اما میزان تغییر ناچیز. تغییر اقلیم بیشترین اثر را بر روی نقطه ۵ که مربوط به میدان نفتی سلمان است، گذاشته است و علت آن موقعیت جغرافیایی این نقطه است. مقدار انرژی حاصل از امواج در اثر تغییرات اقلیم در خلیج فارس در دراز مدت بصورت کاهشی است و این نکته بایستی در امکان‌سنجی طرح‌های استفاده از انرژی‌های تجدید پذیر در فراساحل خلیج فارس

هدف این پژوهش بررسی اثر تغییر اقلیم بر روی مشخصات امواج درسواحل خلیج فارس و دریای عمان است. طراحان سازه‌های دریایی به داشتن پارامترهای موج منطقه و شناخت اقلیم موج برای طراحی سازه‌های دریایی با حفظ پایداری سازه در مقابل امواج نیاز دارند. امواج عمده‌ترین تأثیر را بر طراحی و اجرای تمام پروژه‌های ساحلی دارند. نتایج این

- Model. Gulf Coast Association of Geological Societies Transactions, v. 56, p. 323-327.
8. Janssen, Wave-Induced Stress and the Drag of Air Flow over Sea Waves. *Journal of Physical Oceanography* 19(6):745-772, 1989.
 9. Jiang, J. and Perrie, W. (2007). The Impacts of Climate Change on Autumn North Atlantic Midlatitude Cyclones. *Journal of Climate* 20(7):1174-1187, 2007.
 10. Grabemann, I. and Weisse, R. (2008). Climate change impact on extreme wave conditions in the North Sea: An ensemble study," *Ocean Dynamics* 58(3):199-212.
 11. Grabemann, I. and Groll, N. (2014). Climate change impact on North Sea wave conditions: a consistent analysis of ten projections. *Ocean Dynamics* 65:255-267, 2014.
 12. Grol, N. and Weisse, R. (2017). A multi-decadal wind-wave hindcast for the North Sea 1949-2014: CoastDat2. *Earth System Science Data* 9(2):955-968, 2017.
 13. Hasselmann, K. (1974). On the spectral dissipation of ocean waves due to white capping. *Boundary-Layer Meteorology*. 6(1):107-127.
 14. Hasselmann, K. (1985). Computations and Parameterizations of the Nonlinear Energy Transfer in a Gravity-Wave Spectrum. Part II: Parameterizations of the Nonlinear Energy Transfer for Application in Wave Models. *Journal of Physical Oceanography* 15(11):1378-1392, 198.
 15. Hemer, M.A. and Griffin, D.A. (2010). The wave energy resource along Australia's Southern margin. *Journal of Renewable and Sustainable Energy*. 1-043108-2.
 16. Holthuijsen, L. H. N. Booij and T. H. C. Herbers. A prediction model for stationary, short-crested waves in shallow water with ambient currents, *Coastal Engineering*, 13,23-54, 1989.
 17. Holthuijsen, L. H. Waves in Oceanic and Coastal Waters. United Kingdom: Cambridge University Press., 2007.
 18. Komen, G. J. and Hasselmann, K. (1984). On the Existence of a Fully Developed Wind-Sea Spectrum. *Journal of physical oceanography*.
 19. Koman, G.K, Cavaleri, L, Donelan, M and Hasselmann, K. (1994). Dynamics and modeling of Ocean Waves," Cambridge University Press.
 20. Lowe, R. J. A. (2009). numerical study of circulation in a coastal reef-lagoon system. *JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH*, VOL. 114, C06022, doi:10.1029/2008JC005081.
- مد نظر قرار داده شود. در طراحی سازه‌های دریایی مهمترین فاکتور ارتفاع موج می‌باشد. با توجه به اینکه تغییر اقلیم در درازمدت منجر به کاهش ارتفاع موج می‌شود می‌توان جهت سبک‌سازی سازه و کاهش هزینه‌های ساخت این مسئله را در طراحی‌ها در نظر گرفت البته قابل ذکر است بایستی بصورت موردی و دقیق‌تر موضوع بررسی شود. همانطور که از نتایج مشاهده می‌شود بیشترین تغییرات اثر پریرود موج مربوط به نقطه ۸ و ۹ است و علت آن مربوط به عمق زیاد آب در این نقاط است. همچنین بیشترین اثر تغییر اقلیم روی نقاط ۸ و ۹ است و این نکته بسیار حائز اهمیت است که در سواحل مکران جهت موج دستخوش تغییرات در آینده خواهد شد و این مطلب باید در طراحی موج شکن‌ها و آبنگیزهای آبشیرین‌کن‌ها مورد بررسی قرار گیرد.

منابع

1. Kamran-zad, B. (2013). Investigation of the effect of climate change on the angiogenic regime of waves in the Persian Gulf. PhD Thesis. Iran University of Science & Technology.
2. Kamran-zad, B. (2014). Assessment of Soft Computing Models to Estimate Wave Heights in AnzaliPort. *marine-engineering*. 9 (17) :27-36.
3. Battjes, J.A. and Janssen, J.P.F.M. , "ENERGY LOSS AND SET-UP DUE TO BREAKING OF RANDOM WAVES," *COASTAL ENGINEERING*, 1978.
4. Booij, N. Ris, R.C and Holthuijsen, L.H. (1999). A third-generation wave model for coastal regions, part II: verification," *JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH*, VOL. 104, NO. C4, PAGES 7667-7681.
5. Dreier, N. and Schlamkow, C. (2011). Assessment of Future Wave Climate on basis of Wind-Wave- Correlations and Climate Change Scenarios," *Journal of Coastal Research*, Special Issue 64,, 2011.
6. Eldeberky, y and Battjes, J.A, "Spectral modeling of wave breaking: Application to Boussinesq equations," *Journal of Geophysical Research Atmospheres* 101(C1):1253-1264, 1996.
7. Jose, F. Forecast of Nearshore Wave Parameters Using MIKE21 Spectral Wave

21. Moeini, M and Shahidi, E. (2007). Application of two numerical models for wave hindcasting in Lake Erie. *Applied Ocean Research* 29(3):137-145.
22. Strauss, D. (2007). Comparison of two wave models for Gold Coast, Australia," *Journal of Coastal Research* 50(50):312-316.
23. Lionello, P and Giorgia, F. (2008). Climate change projections for the Mediterranean region. *Global and Planetary Change*.
24. Mori, N. (2009) IMPACT OF GLOBAL CLIMATE CHANGE ON WAVE CLIMATE. Conference: Coastal Dynamics 2009 - Impacts of Human Activities on Dynamic Coastal Processes.
25. Ris, R. (1997). Spectral modelling of wind waves in coastal areas. PhD thesis-Delft University Press.
26. Weesakul, S. Ranasinghe, R. Dastgheib. A. (2014). Climate Change Driven Variations in the Wave. UNESCO-IHE. Rev.5.