

Analysis of waves in the Oman Sea using numerical software and field data

Kalantari, H.¹  | Lari, K.²  | Mohseni Arasteh, A.³  | Torabi Azad, M.⁴  

1. Ph.D. Student, Department of Marine physics, Islamic Azad University, North Tehran Branch, Tehran, Iran. E-mail: Kalantari.Homayun@gmail.com

2,3. Department of Marine physics, Islamic Azad University, North Tehran Branch, Tehran, Iran. E-mail: K_Lari@iau-tnb.ac.ir , am.arasteh@gmail.com

4. **Corresponding Author**, Department of Marine physics, Islamic Azad University, North Tehran Branch, Tehran, Iran. E-mail: Torabi_us@yahoo.com

(Received: 6 Oct 2023, Accepted: 1 Nov 2023, Published online: 4 Nov 2023)

Abstract

Accurate prediction of wave parameters is of great significance for marine and coastal operations. The very aim of the present research was to predict the wave characteristics for the northern coastal areas of the Sea of Oman using the MIKE 21 SW model. In this study, firstly, the generation of waves by wind with a spatial resolution of 0.1 degrees, a temporal resolution of 1 hr, and a suitable boundary condition was presented from the study data of the coasts of Iran (phase six - Makran beaches) with a temporal resolution of 1 hr. The results were validated with measurement data obtained from certain stations in 2016. Simulated wave parameters after calibration and adjustment of white capping coefficients as a wave loss parameter corresponded with the results of the measurement data at three stations with a strong correlation of 90%, 86% and 80% and an improvement value of 7.6%, 4 6.6%, and 27.18%, respectively. Moreover, the correlation coefficient of T_p and MWD in the Pasabandar station was 0.33 and 0.58, respectively. The results of this study also revealed that the dispersion index for three stations after calibration was 0.232, 0.363, and 0.684 for H_s , 0.338, 0.337, and 0.393 for T_p , and 0.149, 0.182, and 0.300 for MWD. By inferring from the simulation results and non-dimensional parameters of wave age and steepness, it can be concluded that the sea state and the wave climate are influenced by the waves caused by the northwest wind, monsoon, and the waves of the Indian Ocean. Wave steepness varied from 0.005 to 0.055 in different seasons such that discontinuity could be seen in the combined distribution of inverse wave age-wave steepness data in steepness of less than 0.01.

Keywords: Sea waves, MIKE 21 SW numerical model, Northern coasts of the Oman Sea, Wave steepness, Wave age.

Cite this article: Kalantari, H., Lari, K., Mohseni Arasteh, A., & Torabi Azad, M. (2023). Analysis of waves in the Oman Sea using numerical software and field data. *Journal of the Nivar*, 47(122-123), 116-141. DOI: <https://doi.org/10.30467/nivar.2023.419595.1269>



تحلیل امواج در دریای عمان با استفاده از نرم افزار عددی و داده‌های میدانی

همایون کالانتاری^۱ | کامران لاری^۲ | افشین محسنی اراسته^۳ | مسعود ترابی آزاد^۴ ✉

۱. دانشجوی دکتری فیزیک دریا، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال، تهران، ایران. رایانامه: Kalantari.Homayun@gmail.com
۲. گروه فیزیک دریا، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال، تهران، ایران. رایانامه: K_Lari@iau-tnb.ac.ir و am.arasteh@gmail.com
۳. نویسنده مسئول، گروه فیزیک دریا، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال، تهران، ایران. رایانامه: Torabi_us@yahoo.com

(دریافت: ۱۴۰۲/۰۷/۱۴، پذیرش: ۱۴۰۲/۰۸/۱۰، انتشار آنلاین: ۱۴۰۲/۰۸/۱۳)

چکیده

پیش بینی دقیق امواج برای عملیات های دریایی و ساحلی از اهمیت زیادی برخوردار است. هدف اصلی این تحقیق، پیش‌بینی ویژگی‌های موج برای مناطق سواحل شمالی دریای عمان با استفاده از مدل طیفی MIKE 21 SW است. در این مقاله، ابتدا تولید امواج توسط یک باد با وضوح مکانی ۰/۱ درجه و زمانی یک ساعت و با شرط مرزی مناسب، از داده‌های مطالعاتی سواحل کشور (فاز ششم - سواحل مکران) با وضوح زمانی یک ساعته ارائه شد. نتایج با داده‌های اندازه‌گیری در ایستگاه‌های معین برای سال ۲۰۱۶ اعتبارسنجی شدند. پارامترهای موج شبیه‌سازی شده بعد کالیبراسیون و تنظیم ضرایب سفیدک موج به عنوان پارامتر اتلاف موج، با نتایج داده‌های اندازه‌گیری در سه ایستگاه، با همبستگی قوی به ترتیب ۰/۹۰٪، ۰/۸۶٪ و ۰/۸۰٪ با مقدار بهبود ۰/۷/۶٪، ۰/۶/۴٪ و ۰/۲۷/۱۸٪ مطابقت دارد. همچنین ضریب همبستگی برای Tp و MWD بطور نمونه برای ایستگاه پسابندر به ترتیب ۰/۳۳ و ۰/۵۸ بدست آمد. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد شاخص پراکندگی برای Hs در سه ایستگاه بعد از کالیبراسیون به ترتیب ۰/۲۳۲، ۰/۳۶۳ و ۰/۶۸۴، برای Tp مقادیر ۰/۳۳۸، ۰/۳۳۷ و ۰/۳۹۳ و برای MWD به ترتیب نیز ۰/۱۴۹، ۰/۱۸۲ و ۰/۳۰۰ بدست آمد. با استنباط از نتایج شبیه‌سازی و پارامترهای بی بعد سن موج و تیزی موج می‌توان گفت وضعیت دریا و اقلیم موج تحت تأثیر امواج ناشی از باد شمال غربی و مونسونی و هم چنین امواج اقیانوس هند قرار دارد. تیزی موج از ۰/۰۵ تا ۰/۰۵۵ در فصول مختلف تغییر می‌کند. بگونه‌ای که در تیزی کمتر از ۰/۰۱ گسستگی در توزیع توأم داده‌های عکس سن موج - تیزی موج دیده می‌شود.

کلمات کلیدی: امواج دریا، مدل عددی Mike 21 - SW، سواحل شمالی دریای عمان، تیزی موج، سن موج.

۱. مقدمه

شرقی ایران (سواحل دریای عمان)، پیش‌یابی امواج از نظر ارتفاع موج شاخص و پریود پیک و از همه مهم‌تر جهت پیش روی امواج در مناطق نزدیک ساحل از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. بایستی شناخت کافی از مشخصات موج، اطلاعات آماری جهت محاسبات مهندسی و همچنین مطالعات بعدی داشت. لذا تأکید بر نیاز به توصیف آماری امواج اقیانوس و تحلیل با استفاده از طیف موج دنبال می‌شود. این اطلاعات

آگاهی از پارامترهای توصیف‌کننده میدان موج و سطح دریا تقریباً برای تمام فعالیت‌های مرتبط دریایی ضروری است. بطوری که مقامات بندری و مدیریت ساحلی نیاز به پیش‌بینی شرایط موج را دارند. برای آماده‌سازی جهت تصمیم‌گیری به موقع عملیات‌های دریایی، داشتن اطلاعات روز و پیش‌بینی شده و شناخت شرایط حاکم بر سواحل کشور و عوامل فیزیکی تأثیر گذار بر آن ضروری است. نظر به توسعه سواحل جنوب

استناد: کالانتاری، همایون؛ لاری، کامران؛ محسنی اراسته، افشین و ترابی آزاد، مسعود. (۱۴۰۲). تحلیل امواج در دریای عمان با استفاده از نرم افزار عددی و داده‌های میدانی، مجله

نیوار، ۴۷ (۱۲۲ - ۱۲۳)، ۱۱۶ - ۱۴۱. DOI: <https://doi.org/10.30467/nivar.2023.419595.1269>



فیزیک تولید امواج اقیانوس توسط باد، اتلاف ناشی از سفیدک موج و البته فعل و انفعالات غیرخطی بود. جانسن امواج ناشی از باد محلی را امواجی آشفته با طول موج کوتاه مربوط به طیف موج در حال رشد دانست که با سرعت فاز کمتر از سرعت باد حمل می‌شوند. آنها برای رشد نیاز به ممنوم و انرژی از باد دارند بطور قوی با میدان موج محلی همراه می‌شوند. و انرژی را از باد پوشاننده دریافت می‌کنند. بر عکس موج هایی که از منطقه تولید خود دور می‌شوند و ظاهر صاف تری دارند دیگر از باد محلی انرژی ورودی دریافت نمی‌کنند می‌توانند هزاران کیلومتر بدون نیاز به اندازه حرکت از طرف باد در سطح اقیانوس منتشر شوند. امواج دورا نامیده می‌شوند. مطالعه امواج دورا برای بسیاری از کاربردها مانند مطالعات اقیانوس شناسی ساحلی، فعالیت‌های مدیریت ساحلی و مهندسی اقیانوس بسیار مهم است (Sabique et al., 2012). دوراها به عنوان امواج سطحی در نظر گرفته می‌شوند که از باد تولید کننده آنها فراتر رفته و در حوضه های اقیانوسی منتشر می‌شوند (Ardhuin et al., 2009). هنگامی که امواج دورا با جو تعامل می‌کند، مقداری از انرژی خود را از دست می‌دهد (کودریاوتسف و ماکین، ۲۰۰۴). هنگامی که این امواج منطقه طوفان را ترک می‌کنند، ارتفاع موج آنها به تدریج کاهش می‌یابد، ممکن است به دلیل اتلاف انرژی توسط مانع هوا باشد. (Bearman et al., 1989). لذا امواج دورا به دلیل سرعت بسیار پایین و انتشار مسافت بسیار طولانی، رژیمی مشابه امواج سونامی و داشتن پریود بالا (فرکانس کم) می‌تواند یک خطر بالقوه برای امنیت افراد و سازه‌های ساحلی باشد، ممکن است باعث فرسایش قابل احساس در ساحل شود. بنابراین، در امتداد نوار ساحلی در آب عمیق، مطالعات بیشتری برای درک کامل ویژگی‌های امواج نیاز است. از پارامترهای بی بعدی همچون تیزی موج و سن موج در طول فصول مختلف بر اساس توزیع آماری و توزیع توأم آنها برای تحلیل امواج و توصیف رشد امواج ناشی از باد استفاده شده است. در آبهای عمیق، سرعت فاز متناسب با دوره موج

آماری می‌تواند شامل داده‌های اندازه گیری شده و پیش بینی شده باشد. داده‌های اندازه گیری شده داد هایی هستند که توسط دستگاههای اندازه گیری موج همچون ADCP، در نقاط خاص و معمولاً پراکنده و محدود به مکانهای خاص می‌باشند. داده های پیش بینی شده موج با بهره گیری از روشهای مناسب پیش بینی امواج و آمار ثبت شده باد، به صورت دراز مدت تولید میشوند. لذا این داده های پیش بینی شده در بسیاری نقاط استفاده می‌شوند. طبیعی است هر چه میزان دقت روش استفاده شده برای پیش بینی بیشتر باشد، طرح مورد نظر، از قطعیت بیشتری برخوردار خواهد بود. دقیق ترین روش، مدل‌های طیفی - عددی می‌باشند. در دهه های اخیر با توسعه رایانه و بالا رفتن توان پردازنده ها، مدل‌های عددی پیچیده ای برای پیش بینی مشخصات امواج ناشی از باد تهیه شده است. مدل‌های طیفی زیادی برای مطالعات پیش بینی امواج در اقیانوس های باز و ساحلی وجود دارد. یکی از مدل‌های امواج طیفی نسل سوم مدل MIKE 21-SW است که برای تولید و تبدیل امواج تولید شده توسط باد استفاده می‌شود (DHI, 2015). مطالعات زیادی در زمینه اندازه گیری پارامترهای امواج و ابزارهای مناسب برای بدست آوردن اطلاعات در زمینه امواج سطحی، شبیه سازیهای عددی و تحلیل طیفی امواج صورت گرفته است. بر اساس مطالعه Remya et al; 2012، از مدل Mike21-SW برای پیش بینی موج استفاده شده است. مقایسه در برابر داده‌های اندازه گیری شده، حاکی از توافق خوب بین آنها بود. مشاهدات وضعیت دریا تحت تأثیر باد در طول پروژه موج مشترک دریای شمال در سال ۱۹۷۳ میلادی توسط Jonswap به دست آمد، نشان داد که شکل طیف موج اقیانوس به مرحله توسعه حالت دریا یا به اصطلاح سن موج بستگی دارد. در مراحل اولیه توسعه امواج با فرکانس بالا، به نام امواج ناشی از باد "جوان"، شناخته می‌شوند، طیف موج، قله با تیزی زیاد را نشان می‌دهد. Janssen, P.A.E.M; 1989 توسعه یک مدل موج طیفی بر اساس به اصطلاح تعادل انرژی را هدف اصلی قرار داد. شامل

باشد، امواج ناشی از باد محلی بوسیله ممنوم ناشی از باد رشد می کنند. تیزی موج، که به عنوان نسبت بین ارتفاع موج (H) و طول موج (L) برای یک موج تعریف می شود، یک پارامتر ضروری برای طراحی سازه های فراساحلی و ساحلی است. رفتار چندین فرآیند فیزیکی، رفتار هیدرولیکی سازه های ساحلی و فراساحلی به تیزی موج بستگی دارد. در آبهای عمیق، تلفات انرژی امواج ناشی از باد بر طبق نظر Holthuijsen, 2007 به دلیل تیزی بیش از حد موج، رخ می دهد، فرآیندی که معمولاً از آن عنوان سفیدک موج نام می برند. برای بهبود عملکرد روش تیزی موج، چندین تحقیق برای جداسازی امواج ناشی از باد و دورا از طیف انرژی امواج صورت گرفته است.

Hwang & Wang (2001) فرکانس جداسازی را بر اساس تیزی موج ارائه کردند. این طرح بیان می کند که تیزی موج بخش دورای طیف کوچک تر از قسمت امواج ناشی از باد است. یک بررسی دقیق در مورد طرح های تقسیم بندی طیفی و مشکلات آنها توسط محققینی نظیر Portilla et al; (2009) و Hwang et al; (2012) انجام شد. با توجه به پیشنهادات آنها الگوریتم تیزی موج مربوط به Wang and Hwang; (2001) اصلاح شد. در آب های کم عمق، عمقی که امواج ناشی از باد با شکست متأثر از عمق شروع به از دست دادن انرژی می کنند، تابعی از تیزی امواج فراساحلی است (Goda; 2010). توصیف این پارامتر و عکس سن موج در مقیاس های زمانی مختلف، به ویژه برای امواج پر انرژی در آب های عمیق ضروری است. با این حال، به دلیل مشکلات نصب و نگهداری شناورهای موج در آب های فرا ساحلی عمیق، شناخت امواج و سن موج و تغییر پذیری تیزی موج آب عمیق بر اساس مشاهدات میدانی طولانی مدت در محیط های پر انرژی وجود ندارد. این کمبود مطالعات برای سواحل جنوب شرقی ایران نیز معتبر است. بنابراین، در امتداد نوار ساحلی در آب عمیق، مطالعات بیشتری برای درک کامل ویژگی های پارامترهای امواج و پارامترهای بی بعدی همچون تیزی موج و سن موج در طول فصول مختلف

است. باد شدید طولانی ترین دوره موجی را ایجاد می کند که مقدار قابل توجهی انرژی را حمل می کند (Collard et al., 2009). Erle, 1984 پیشنهاد کرد که فرکانس جدا سازی امواج محلی و دورا مربوط به فرکانس پیک مدل طیف پیرسون - مسکوویچ است. در این روش از این موضوع استفاده می شود که طیف پیرسون - مسکوویچ بیانگر موج کاملاً توسعه یافته است. فرکانس پیک، در این طیف برحسب سرعت باد محلی، U_{10} ، به صورت $f_p = \frac{1/25}{U_{10}}$ است. فرکانس جداسازی امواج دورا از محلی که با f_c نشان داده می شود، اندکی کمتر از فرکانس پیک معرفی می شود. لازم به ذکر است که شکل طیف، در فرکانس های قبل از پیک دارای شیب زیاد و در فرکانس های بعد پیک دارای شیب کم است. ارل فرکانس جدید $f_c = c f_p$ را با یک ثابت تجربی $c = 0.8$ مطرح کرد. این رویکرد از نظر مفهومی بیان کننده این است که بخشی از طیف موج، امواج ناشی از باد محلی است که سرعت فاز آن در جهت انتشار موج کمتر از سرعت باد است. بر اساس تحقیقات صورت گرفته توسط Komen et al; 1994 سن موج می تواند علاوه بر تشخیص جهت موج نسب به باد، عامل تعیین کننده امواج محلی و دورا باشد. بایستی رابطه ای مشابه رابطه $U_{10} \cos \theta_d > 0.83 C_p$ برقرار باشد. ω بسامد زاویه ای پیک $\omega = \frac{2\pi}{T_p}$ و C_p سرعت فاز موج $C_p = \frac{\omega}{k}$ و K عدد موج $K = \frac{\omega^2}{g}$ و θ_d زاویه بین باد و جهت انتشار موج و U_{10} سرعت باد محلی در سطح است. معادله بالا نشان می دهد که سن موج برای امواج ناشی از باد که با استفاده از پیش بینی باد در جهت انتشار موج محاسبه می شود باید کمتر از ۱.۲ باشد. Chen & Ma, 2002 فرکانس جداسازی ۰/۱ هرتر را اتخاذ کردند، پیشنهاد کردند این فرکانس قطع تنها زمانی استفاده می شود که امواج ناشی از باد و دورا در حوزه فرکانس از هم جدا شده باشند. همچنین Alves et al; 2003 ضمن مطالعه حد دریای کاملاً توسعه یافته برای امواج ناشی از باد محلی و دورا به کمک سن موج بیان داشتند، وقتی $C_p < 1.2 u_{10} \cos \theta$

داده‌های باد و شرط مرزی راه اندازی شد. جهت اعمال شرایط مرزی از داده‌های مطالعاتی پایش و شبیه سازی سواحل کشور (فاز ششم - سواحل مکران) با وضوح زمانی یک ساعته، با مدیریت سازمان بنادر و دریانوردی ایران و با تنظیم ضرایب قابل تنظیم نرم افزار، از جمله ضرایب سفیدک موج، مدل با حالت مطلوبی کالیبره و با داده‌های اندازه گیری شده در ایستگاه‌های پسابندر، پزم و میدانی، توسط سازمان بنادر و دریانوردی جمهوری اسلامی ایران هم سنجی شد. برای ارزیابی عملکرد بهتر مدل از عملیات آماری استفاده شد.

۲-۱. منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه سواحل شمالی دریای عمان واقع در جنوب کشور ایران (سواحل مکران) می باشد و از خلیج گواتر در مرز ایران و پاکستان شروع شده و تا مرز دو استان سیستان و بلوچستان و هرمزگان ادامه دارد. در شکل (۱) و (۲) محدوده سواحل شمالی دریای عمان با ایستگاه‌های اندازه گیری پسابندر، پزم و میدانی و هم چنین شبکه بندی انعطاف پذیر با مرز باز جنوبی نشان داده شده است. دستگاه های موج نگار و سرعت سنج بکار رفته در این ایستگاه ها در عمق بیش از ۲۵ m بیرون ناحیه شکست موج در پروژه پایش و شبیه‌سازی سواحل مکران نصب شده اند. به منظور شبیه سازی امواج در بخش ساحلی و دور از ساحل، سواحل جنوب شرقی ایران (سواحل شمالی دریای عمان) در سال ۲۰۱۶ یک دامنه از عرض جغرافیایی N 22° شمالی به سمت خط ساحلی ایران و $58^{\circ}E$ تا $62^{\circ}E$ انتخاب شد.

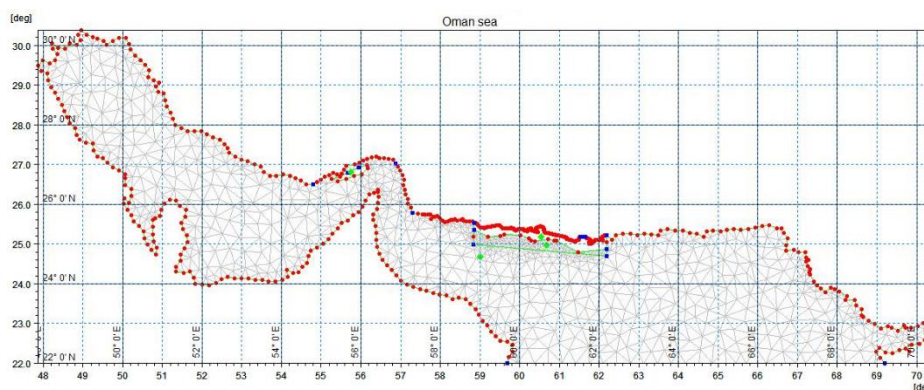
بر اساس توزیع آماری، امواج ناشی از باد مورد نیاز است. این مطالعه از داده‌های شبیه سازی شده توسط Mike21-SW کالیبره شده با داده های جمع آوری شده از شناورهای موجی ADCP واقع در آب های عمیق نوار ساحلی جنوب شرقی ایران در سال ۲۰۱۶ برای بهبود دانش فعلی این منطقه استفاده می کند.

۲. روش انجام تحقیق

به منظور پیش بینی وضعیت دریا، آب و هوای دریایی و شناخت فرایندهای بر هم کنش جو - اقیانوس اعم از موج و جریان از مدل استفاده می‌شود. پارامترهای حاصل از پیش بینی این مدل ها، همانند ارتفاع موج شاخص و دوره موج و جهت موج متوسط می‌توانند نقش تعیین کننده در طراحی سازه‌های ساحلی داشته باشند. توانایی ارزیابی دقیق عملکرد مدل، از اهمیت فوق العاده برخوردار است. لذا با شناخت پدیده مورد نظر و منطقه مطالعاتی، از مدل پیشرفته نسل سوم، Mike 21-SW جهت شبیه سازی امواج در آبهای ساحلی و فرا ساحلی استفاده شده است. این مدل، بر اساس شبکه بندی مشبک انعطاف پذیر است که باعث وضوح بالا در مناطق دور از ساحل و در آبهای کم عمق ساحلی می‌شود. بطور کلی توضیح مدل Mike21-SW شامل معادلات حاکم، پارامترهای ورودی، پارامترهای کالیبراسیون، طرح‌های عددی و همچنین شرایط اولیه و مرزی است. به منظور بر پایی مدل، هندسه منطقه و شرایط طبیعی مسأله با حداکثر دقت به شکل قابل حل به مدل از طریق فایل ورودی معرفی گردید. در واقع جهت اجرای مدل، مشخصات شبکه بندی (مش)، ژرفاسنجی، منقطع سازی فرکانس و بار گذاری باد و ورودی شرط مرزی لازم بود. لذا به منظور بررسی تأثیر دورا دریای عمان این مدل در دامنه بزرگی با مرز باز جنوبی در جنوب شرقی ایران (سواحل مکران) بر پا شد. مدل با ورودی



شکل ۱. محدوده سواحل دریای عمان



شکل ۲. شبکه محاسباتی مورد استفاده در مدل هیدروگرافی و شبکه بندی

برای اینکه بتوانیم پیش بینی‌های موجی خوبی انجام دهیم ضروری است که تحلیل و پیش بینی درستی از باد سطحی در دسترس باشد. هر چه میدان باد ارائه شده به مدل موج دقیق تر باشد، شبیه سازی امواج افزایش می یابد. به این منظور می توان از نتایج مدل های عددی جوی استفاده کرد. میدان باد مورد استفاده در این تحقیق حاصل مطالعات فاز ششم پروژه پایش و شبیه سازی سواحل کشور (سواحل مکران) توسط سازمان بنادر و دریانوردی ایران است. در مطالعات انجام گرفته میدان باد با استفاده از مدل میان مقیاس WRF با وضوح مکانی ۰/۱ درجه و وضوح زمانی یک ساعت در محدوده کل سواحل ایران تولید شده است. سیستم مدل سازی پیشرفته WRF یک مدل میان مقیاس، انعطاف پذیر با قابلیت های فراوان است، که می تواند

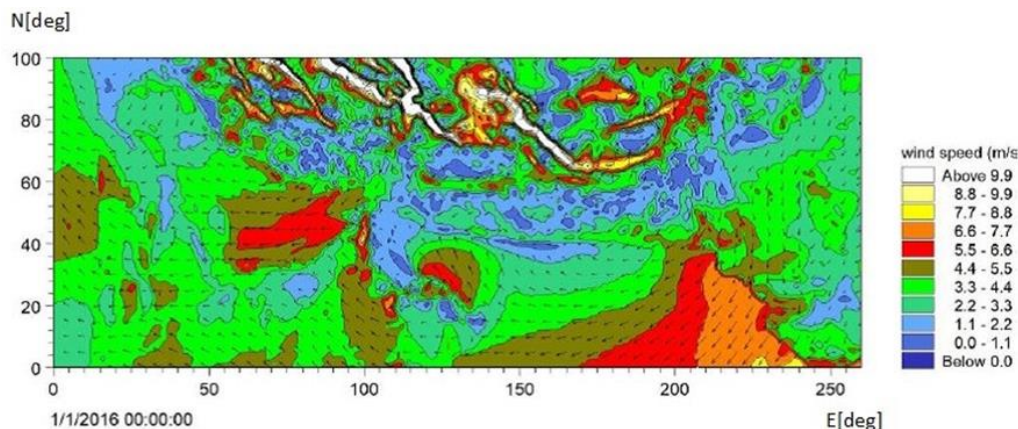
۲-۲. اطلاعات موج ورودی

داده های ورودی مرز جنوبی باز مدل موج از نتایج مدلسازی فاز ششم پروژه پایش و شبیه سازی سواحل کشور (سواحل مکران) با وضوح زمانی یک ساعته توسط سازمان بنادر و دریانوردی ایران تهیه شده است. به دلیل فقدان اطلاعات اندازه گیری در آبهای عمیق، نمی توان کیفیت نتایج اطلاعات مرزی را برای مطالعه حاضر کمی کرد. قبل از اینکه شبیه سازی موج طیفی را تنظیم کنیم، یک فایل داده حاوی مؤلفه ارتفاع موج شاخص آماده شد. فایل باید بصورت یک فایل داده دو بعدی بدون ساختار یا یک فایل داده شبکه ای دو بعدی باشد. و ناحیه مدل را تحت پوشش قرار دهد.

۲-۳. بادهای سطحی

نظر گرفته شده است. سپس نتایج با داده‌های ماهواره‌ای و ایستگاه‌های سینوپتیک محلی مورد کالیبراسیون قرار گرفته است. (قادر و همکاران، ۲۰۱۶). میدان باد در شکل ۳ نشان داده شده است.

شرایط آب و هوایی مختلف را شبیه سازی کند. برد کاربرد از چند متر تا هزاران کیلومتر است. این مدل به عنوان ابزاری برای شبیه سازی عددی جوی با وضوح زمانی و مکانی بالا طراحی و ارائه شده است (Skamarock WC, 2005). برای کالیبراسیون مدل باد، ۱۳ طرحواره مختلف در مدل WRF در



شکل ۳. میدان باد سال ۲۰۱۶ در سواحل مکران

۳. نتایج مدل سازی و تحلیل

به نرم افزار معرفی و عملکرد مدل در حوزه ارزیابی شد. از آنجا که در هر مدل سازی یک سری پارامترها برای ما اهمیت دارند، عملکرد مدل از نظر ارتفاع موج شاخص H_s ، پریود پیک T_p و جهت متوسط موج MWD بررسی قرار گرفت. در این مدل از داده های اندازه گیری شده توسط دستگاه ADCP مستقر در ایستگاه های معین از سوی سازمان بنادر و دریانوردی ایران در عمق مشخص بیش از ۲۵ متر با مختصات جغرافیای معین جدول ۱، به جهت نزدیک کردن نتایج شبیه سازی به مقادیر واقعی، به عنوان مرجع صحت سنجی و واسنجی استفاده شد. که امکان مقایسه بین داده‌های اندازه گیری شده و خروجی مدل را برای همان مکان و در همان زمان برداشت، فراهم می کند. این دستگاه ها از نوع سرعت سنج‌های مدل ADCP AWAC می باشد که ساخت شرکت نروژی Nortek می باشند. به علت قرار گیری در عمق تقریبی ۲۵m، با توجه به عدم دسترسی به اطلاعات خام اندازه گیری شده، امکان کنترل بازه فرکانسی فراهم نبوده است.

در این مطالعه برای شبیه سازی، از داده های اولیه پارامترهای باد تولید شده به عنوان نیروی عمل و شرایط مرزی، تهیه شده توسط سازمان بنادر و دریانوردی در پروژه پایش و شبیه سازی سواحل کشور ایران (فاز ششم) با وضوح زمانی یک ساعت استفاده شده است. در واقع مدل، با نیروی باد با فرمت متغییر در زمان و مکان واداشته و با شرط مرزی مناسب راه اندازی شد. سپس با تنظیم پارامترهای قابل تنظیم در مدل و انتخاب آیت‌های خروجی، مدل به فایل خروجی رسید. مدل در طول یک دوره دوازده ماهه از تاریخ ۲۰۱۶/۱/۱ الی ۲۰۱۶/۳/۱۲ با گام زمانی ۱۲۰ ثانیه با ۴۶۶۱ المان شبکه بندی و ۲۶۲۰ گره با عمق قطع ۵ متر به اجرای اولیه رسید. فایل خروجی مدل با دو فرمت سری نقطه ای و سری ناحیه ای تنظیم شد. در سری نقطه ای داده‌های خروجی در نقاطی معین و در سری ناحیه ای، به علت حجم بالای داده ها به بصورت گرافیکی در محدوده ای با مختصات جغرافیای مشخص استخراج شدند. مختصات جغرافیایی نقاط (ایستگاه ها)

عمق نظیر شکست موج و اصطکاک بستر، در آب عمیق تأثیر معنی داری بر خصوصیات موج ندارند. پس از اجرای مدل با ضرایب قابل تنظیم سفیدک موج، پارمترهای خروجی مدل به دو صورت نقطه ای در ایستگاه‌های مشخص شده و هم چنین اطلاعات طیفی ناحیه، شامل انرژی موج ۱۶ جهته و فرکانس ۲۵Hz استخراج و ذخیره شدند. نمودارهای سری زمانی داده‌های خروجی مدل مربوط به قبل از کالیبره کردن برای سه ایستگاه با داده‌های اندازه گیری شده در همان زمان و مکان، جهت مقایسه و ارزیابی اولیه رسم شدند. به منظور تطابق بهتر نتایج مدل سازی با داده‌های اندازه گیری شده از لحاظ کیفی و کمی ضرایب سفیدک موج از پایین به بالا مطابق جدول ۲ تغییر داده شدند. در نهایت پس از بررسی و تحلیل آماری، مدل با ضرایب قابل تنظیم $\delta = 1$, $C_{ds} = 6$ ، واسنجی و اجرا شد. پس از اجرای مدل کالیبره شده، اطلاعات خروجی مورد نظر تحت عنوان WC_f ذخیره شدند. شکل (۴) توزیع پارامترهای H_s , T_p و MWD موج شبیه سازی شده بعد از کالیبراسیون را نشان می دهند. بگونه ای که توزیع داده ها -

ولیکن پریرود پیک اندازه گیری شده در ایستگاه مورد بررسی (در حدود ۱۵-۳ ثانیه) است، بازه فرکانسی مدل نیز به گونه‌ای در نظر گرفته شده است که تمامی فرکانس‌ها را پوشش دهد. برای این منظور بازه فرکانسی متناظر با پریرود امواج ۱۸-۱/۷ ثانیه معادل ۰/۰۵۵-۰/۶ هرتز در نظر گرفته شده است. لذا بازه فرکانسی به گونه‌ای در نظر گرفته شده، که با داده‌های اندازه‌گیری انطباق داشته باشد. برای بدست آوردن تعادل مناسب بین ورودی باد و اتلاف در فرکانس‌های بالا، عملکرد منبع اتلاف با توصیف باد ورودی تنظیم شد. با توجه به داده‌های اندازه گیری شده قابل دسترس ایستگاههای پسابندر، پزم و میدانی در طول ماه‌های فوریه تا نوامبر سال ۲۰۱۶، با اعمال ضرایب قابل تنظیم پیش فرض، قبول و اعمال ضرایب پیش فرض نرم افزار برای برخی پارامترها، مدل به مرحله اجرا رسید. اتلاف انرژی توسط سفیدک موج جهت واسنجی و نزدیک شدن به حالت واقعی، به عنوان مبنا انتخاب شد. با قبول ضریب کنترل و پیش فرض سفیدک موج $C_{ds} = 4/5$ و $\delta = 0/5$ مدل برای اولین بار اجرا شد. اطلاعات خروجی تحت عنوان WC_0 ذخیره شدند. البته سایر پارامترهای فیزیکی در آب کم

جدول ۱. موقعیت مکان‌های اندازه گیری

Station	Water Depth (m)	Latitude	Longitude	Period of Measurement for the Data Sets
Pasabandar	30	24° 56,86' 42'	61° 18,74' 36'	2.6.2016-11.29.2016
Pozm	30	25° 13,36' 09'	60° 43,4' 56'	2.7.2016-11.20.2016
Meydani	30	25° 16,37' 80'	59° 11,45' 97'	2.9.2016-11.26.2016

جدول ۲. پارامتر تنظیم سفیدک موج

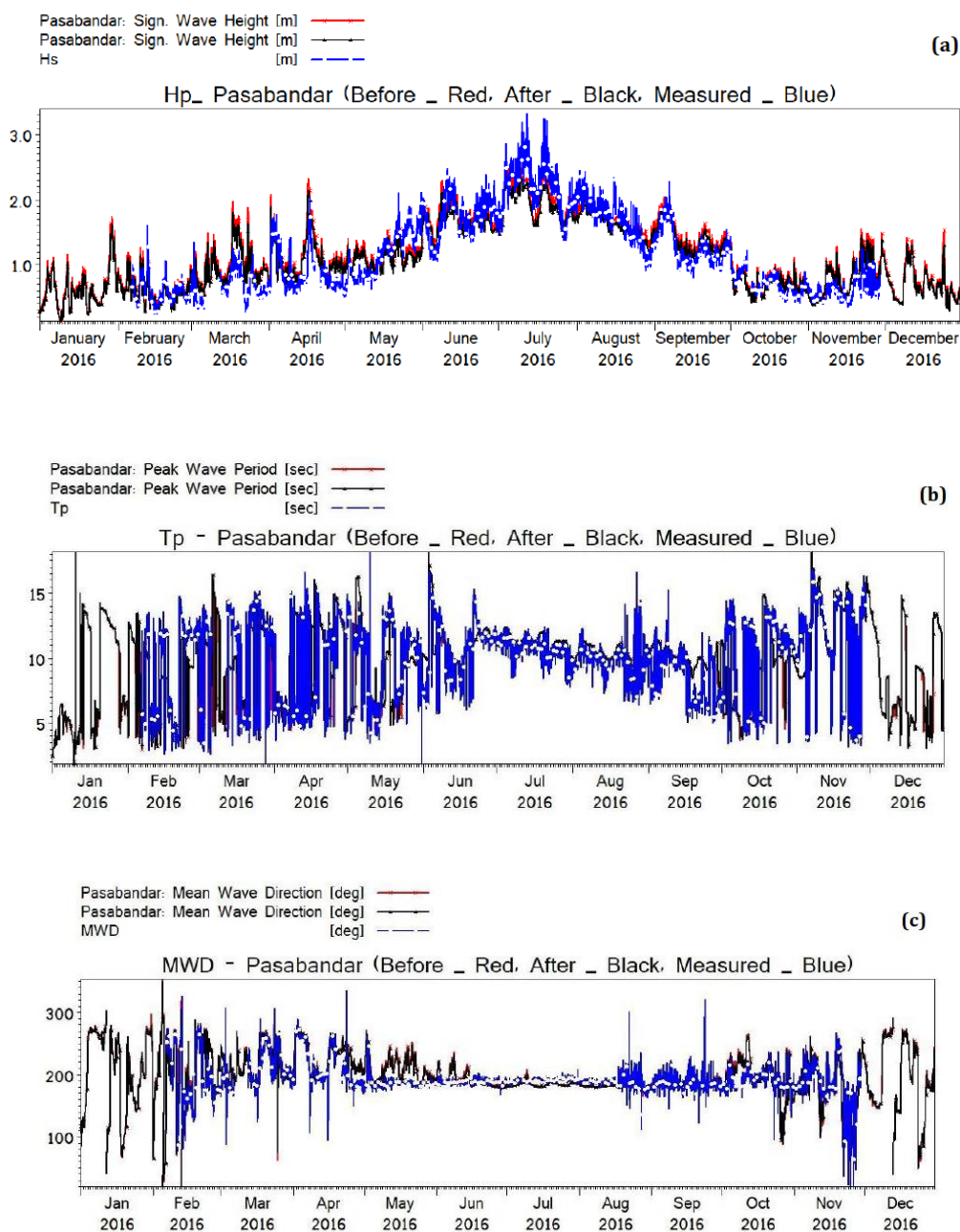
ضرایب سفیدک موج	WC_0	WC_1	WC_2	WC_3	WC_4
C_{ds}	۴/۵	۲/۶	۲/۱	۶	۶
δ	۰/۵	۰/۷	۰/۶	۰/۵	۱
P_k	-۱	۱	۱	-۱	-۱
P_σ	-۱	۱	۱	-۱	-۱

است. هیچ کدام از نمودارها به تنهایی نمی توانند بیانگر دقت مدل باشند، لذا از مجموعه نمودارها در کنار یکدیگر، می توان

قبل کالیبراسیون و بعد از آن و همچنین داده‌های اندازه گیری شده در یک سری بطور نمونه در ایستگاه پسابندر رسم شده

واقع تنظیمات تکراری، تا زمانی که تحلیل های آماری، تناسب خوبی بین پارامترهای موج شبیه سازی شده و اندازه گیری شده را نشان دهند، انجام شد.

فضاوت درست اولیه نسبت به کالیبراسیون داشت. حالت WC_4 حکایت از چفت شدگی بیشتر نمودار سری زمانی داده‌های شبیه سازی شده، با داده‌های اندازه گیری است. در



شکل ۴: مقایسه بین (a) ارتفاع موج شاخص H_s و (b) پرورد پیک T_p و (c) جهت متوسط موج MWD ، اندازه گیری شده و شبیه سازی شده بعد از کالیبراسیون با ضرایب سفیدک موج تحت عنوان WC_4

مدل و داده های اندازه گیری شده برای ارتفاع موج شاخص در سه ایستگاه جهت ارزیابی جامع تر و دقیق تر مدل و دریافت تناسب بهتر مدل با داده های در دسترس و همچنین درک توزیع تصادفی داده ها ارائه شده است. به منظور بررسی وضعیت امواج در منطقه مطالعاتی از منظر جهت غالب امواج و درصد اوقاتی که در منطقه از نظر موج آرامش حاکم بوده، گلموج سالانه ارتفاع موج شاخص داده های مدل و اندازه گیری شده برای سه ایستگاه همانند شکل ۷ رسم شد. درصد آرامش در قسمت مرکزی شکل نشان داده شده است. مشاهده می شود شرایط آرام یعنی امواج با ارتفاع کمتر از ۰/۵ m ایستگاه پسابندر در مدل ۲/۶۳٪ و داده های اندازه گیری (سمت چپ) ۸/۰٪ است. امواج با ارتفاع بالای ۱/۵m بیشتر در جهت جنوب و جنوب شرقی متمرکز است. جهت غالب امواج در این ایستگاه علاوه بر جنوب در راستای جنوب غربی و غرب نیز مشاهده می شود. تمرکز ارتفاع بالای ۱/۵m در راستای جنوب و ارتفاعات پایین در جهت جنوب غرب و غرب مشاهده می شود. در ایستگاه پزم شرایط آرام در مدل ۷/۸۲٪، در داده های اندازه گیری شرایط آرام ۳/۴۴٪ است. در ایستگاه میدانی واقع در غرب منطقه مطالعاتی شرایط امواج با ارتفاع کمتر از ۰/۵m در مدل مقدار ۸/۱۵٪ و در داده های اندازه گیری ۲/۹۸٪ است. در ایستگاه پزم و میدانی جهت غالب امواج جنوب و جنوب شرقی است. اگر چه امواج زیادی در جهت غرب و جنوب غربی نیز دیده می شود.

جهت ارزیابی قوی مهارت پیش یابی، از عملکرد یکپارچه آنالیز پراکنندگی کوانتیل $QQ-H_s$ و $QQ-T_p$ و همچنین برای MWD بطور نمونه استفاده شد. در شکل ۵ تکنیک گرافیکی برای مقایسه دو توزیع احتمال ارتفاع موج شاخص در سه ایستگاه ارائه شده است. نمودارهای QQ استاندارد، اساساً توزیع تجمعی هر مجموعه داده ترسیم شده است. با ارزیابی بصری اولیه می توان گفت این نمودارها توافق تمام نقاط، اطراف خط ۴۵ درجه را تنظیم می کنند. بیانگر این است که روند اقلیم موج در مدل سازی برای ارتفاع موج شاخص بسیار خوب دنبال می شود. محاسبات آماری اطلاعات شبیه سازی شده بعد کالیبراسیون به همراه اطلاعات مربوط به داده های اندازه گیری شده محاسبه شدند. معیارهای آماری مختلفی مانند انحراف، خطای جذر مربع میانگین، شاخص پاکندگی، ضریب همبستگی و شیب متقارن برای ارزیابی مدل مورد استفاده قرار گرفت. عملکرد مدل از مقایسه اطلاعات شبیه سازی شده پارامترها با مقادیر اندازه گیری شده متناظر، ارزیابی و نتایج بصورت جدول ۳ و اطلاعات آماری توصیفی اعم از بیشترین و کمترین مقادیر پارامترها، انحراف استاندارد داده های اندازه گیری شده SD_{obs} و شبیه سازی شده SD_{mod} و میانگین داده های اندازه گیری شده و شبیه سازی شده در جدول ۴ ارائه شده است. جدول ۵ درصد بهبود پارامترهای آماری بعد از کالیبراسیون را نشان می دهد. همانطور که بیان شد، نمودارهای کمی و کمی پراکنده برای ارزیابی جامع تر و دقیق تر مدل طراحی شد. در شکل ۵ و ۶ نمودارهای پراکنندگی و کمی بین داده های خروجی

جدول ۳. پارامترهای آماری برای موج اندازه گیری شده و شبیه سازی شده بعد از کالیبراسیون

Statistical Index			cc	Bias	RMSE	SI	Slop
Wave Parameters							
HS (m)	Pasabandar	6825	0.898	0.003	0.276	0.232	0.304
	Pozm	6766	0.864	0.233	0.342	0.363	1.04
	Meydani	5759	0.805	0.399	0.494	0.684	1.21
TP (s)	Pasabandar		0.330	0.123	3.35	0.338	0.304
	Pozm		0.309	-0.256	3.44	0.337	0.268
	Meydani		0.317	0.289	3.83	0.393	0.272
MWD (degree)	Pasabandar		0.592	3.8	28.25	0.149	0.719
	Pozm		0.502	9.45	31.62	0.181	0.772
	Meydani		0.474	16.71	46.81	0.288	0.825

جدول ۴. پارامترهای آماری برای موج اندازه گیری شده و مدل شده بعد از کالیبراسیون

Statistical Index			SD_{obs}	SD_{mod}	Avg_{obs}	Avg_{mod}	Min_{mod}	Max_{mod}	Min_{obs}	Max_{obs}
Wave Parameters										
Hs (m)	Pasabandar	6,825	0.608	0.478	1.187	1.191	0.264	2.379	0.239	3.33
	Pozm	6,766	0.409	0.496	0.942	1.176	0.217	2.601	0.209	2.26
	Meydani	5,759	0.316	0.479	0.723	1.121	0.192	2.509	0.15	1.90
TP (s)	Pasabandar		3.03	2.76	9.92	10.05	2.96	18.18	2.63	16.82
	Pozm		3.11	2.70	10.21	9.94	3.04	18.18	2.12	17.22
	Meydani		3.48	2.99	9.75	10.04	2.44	18.18	2.55	17.10
MWD (degree)	Pasabandar		25.06	31.05	192.77	196.02	64.17	304.50	46.56	302.2
	Pozm		22.29	34.37	174.59	184.05	80.37	339.34	109.6	279.2
	Meydani		28.37	49.9	162.05	178.53	31.41	359.3	41.19	358.2

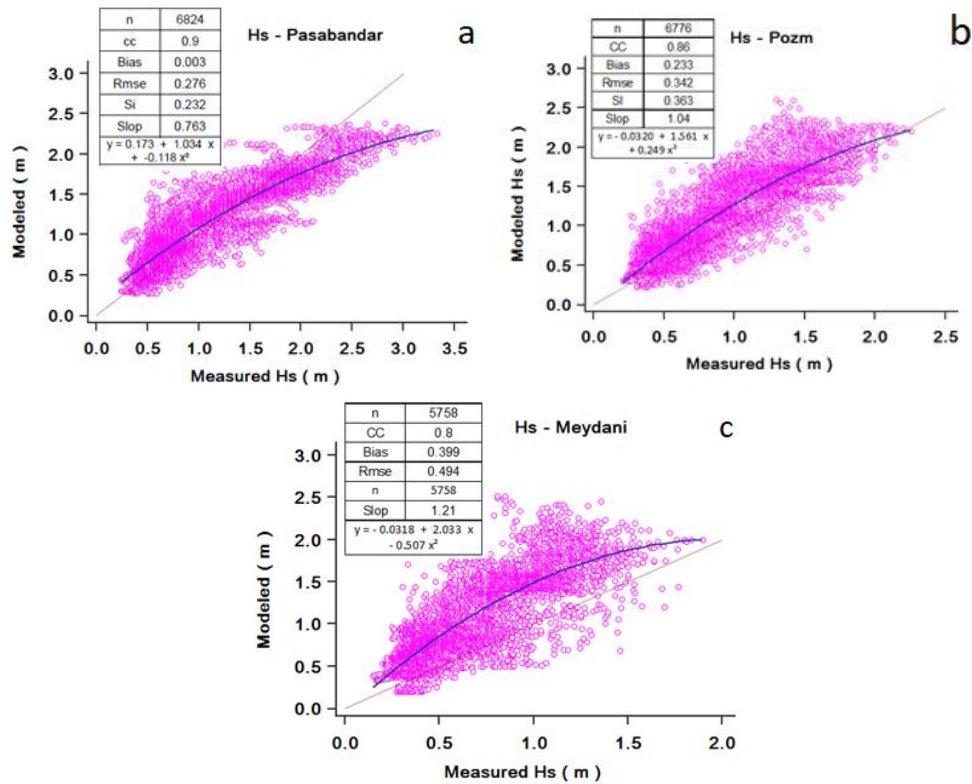
جدول ۵. پارامترهای آماری برای موج اندازه گیری شده و مدل شده بعد از کالیبراسیون

Station	\bar{H}_s (m) قبل کالیبراسیون	\bar{H}_s (m) بعد کالیبراسیون	\bar{H}_s (m) Measured	$CC_{1\%}$ After calibration	Improvement Percentage-Hs درصد بهبود	Improvement Percentage-Bias درصد بهبود	Improvement Percentage-RMSE درصد بهبود	Improvement Percentage-SI درصد بهبود
Pasabandar	۱/۲۶۰	۱/۱۹۱	۱/۱۸۷	%۸۹	%۷۱/۶	%۹۶	%۳۳	%۳۳
Pozm	۱/۲۳۹	۱/۱۷۶	-۱/۹۴	%۸۶	%۶۱/۴	%۲۱/۲۸	%۱۴/۵	%۱۴/۹
Meydani	۱/۳۲۰	۱/۱۲۱	-۱/۲۲۳	%۸۰	%۲۷/۱۸	%۱۳/۸۸	%۱۱/۱	%۱۱/۰۵

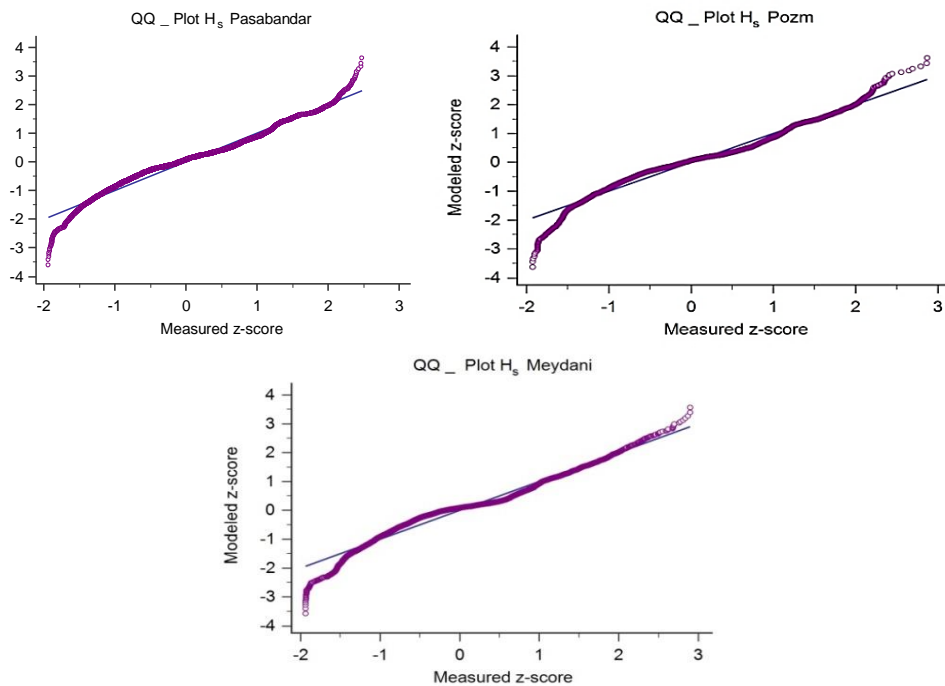
محل شمال غربی (باد شمال)، جبهه های هوایی مونسون و طوفانهای اقیانوس هند و دریای عرب که منجر به امواج اقیانوس هند در منطقه می شوند، قرار دارند. لازم به ذکر است اقلیم موج منطقه را می توان به صورت سه اقلیم قبل مونسون، مونسون و بعد مونسون تقسیم بندی کرد.

قبل مونسون را می توان از شروع ماه میلادی تا نیمه ماه May و مونسون با بادهای ۱۲۰ روزه را از نیمه ماه May تا نیمه سپتامبر September و بعد مونسون از نیمه سپتامبر تا انتهای سال میلادی دانست.

در ایستگاه میدانی امواج با ارتفاع بالای ۱/۵m در راستای جنوب و جنوب شرقی و همچنین به میزان قابل توجهی در راستای غرب نیز متمرکز شده است. تنوع جهت موج در ایستگاه میدانی نسبت به ایستگاه‌های دیگر به احتمال قوی به علت وجود بادهای محلی (شمال) بیشتر است. دریای عمان تحت تاثیر دو گونه باد است، یکی باد شمال غربی (شمال) و دیگری بادهای موسمی (مونسون) از سمت جنوب و جنوب غربی است. لذا امواج در این منطقه ویژگی فصلی دارند. مطابق شکل ۸ تغییرات ارتفاع موج و باد مطابقت و همبستگی مطلوب دارند. امواج در دریای عمان تحت تأثیر فرایندهای متفاوت: از جمله بادهای



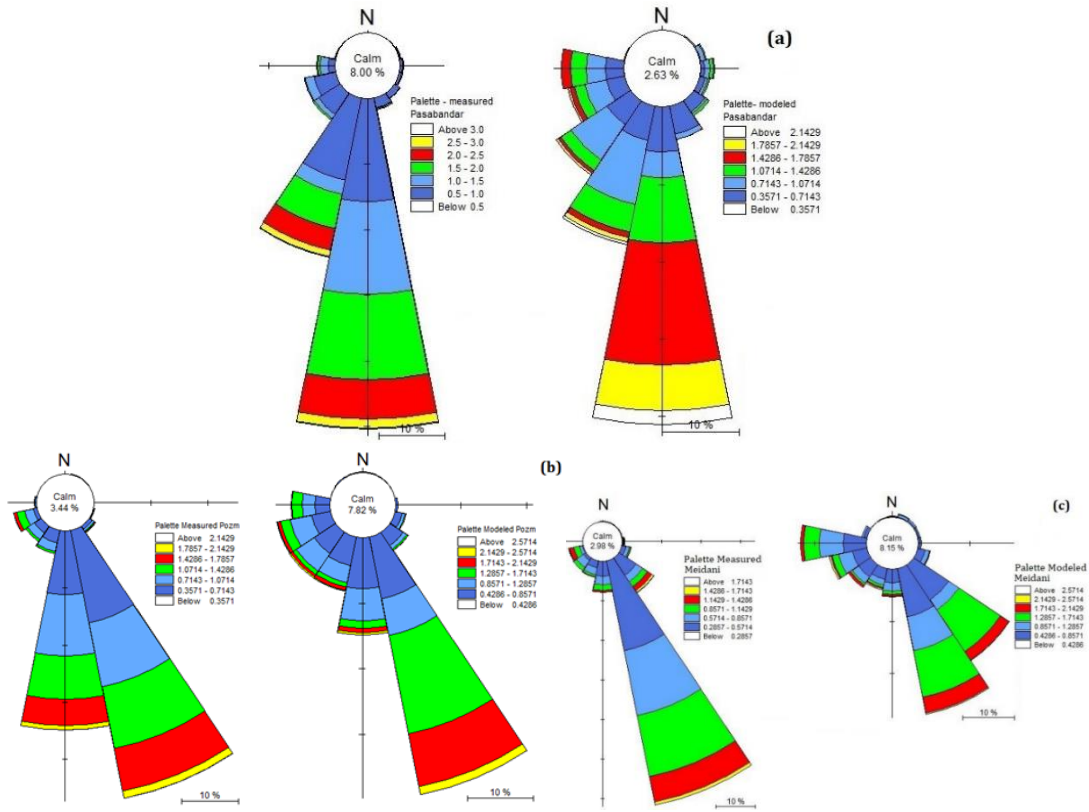
شکل ۵. مقایسه Hs موج اندازه گیری شده و مدل سازی شده در ایستگاههای پسابندر، پزم و میدانی بعد از کالیبراسیون در طول سال ۲۰۱۶



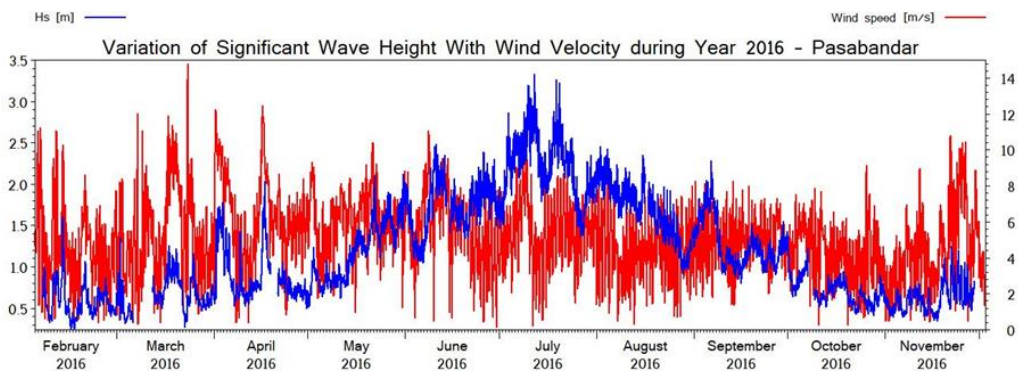
شکل ۶: نمودار Q-Q برای Hs خروجی مدل بعد از کالیبراسیون و داده‌های اندازه گیری شده به ترتیب (a) ایستگاه پسابندر، (b) پزم و (c) میدانی در طول سال ۲۰۱۶: نمودار Q-Q (رنگ بنفش) و بهترین خط

ناشی از باد شمال و امواج جنوب و جنوب شرق، منطقه مورد مطالعه را تحت تأثیر قرار می دهند. مطابق شکل (۱۰) گاهاً امواجی تا ارتفاع ۳ متر در هر دو جهت مشاهده می شود.

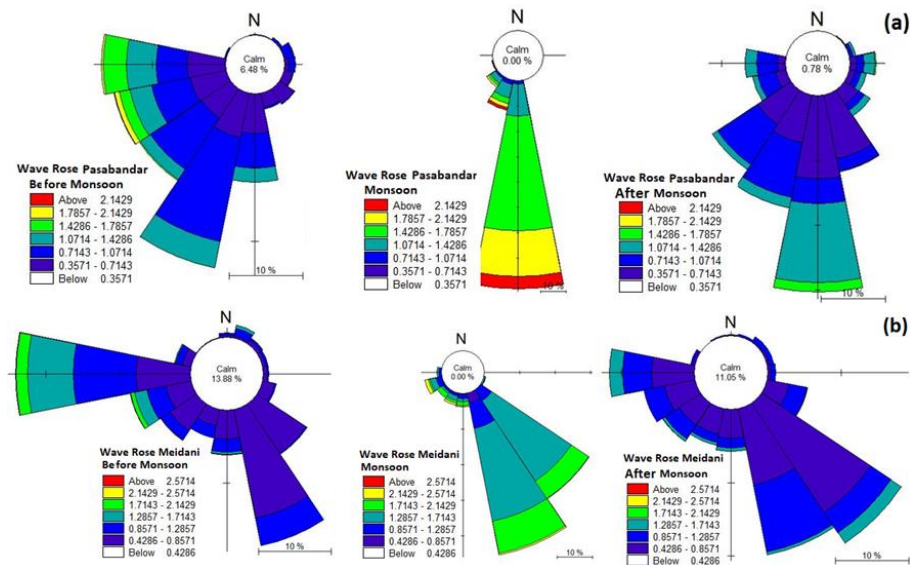
تغییر پذیری فصلی پارامترهای موج و اثرپذیری این پارامترها از شرایط محیطی و تغییرات شدید قسمت غربی منطقه مطالعاتی را می توان با استفاده از گل موج فصلی شکل (۹) ارزیابی کرد. با توجه به بررسی شرایط باد در منطقه، امواج شمال غربی و غرب



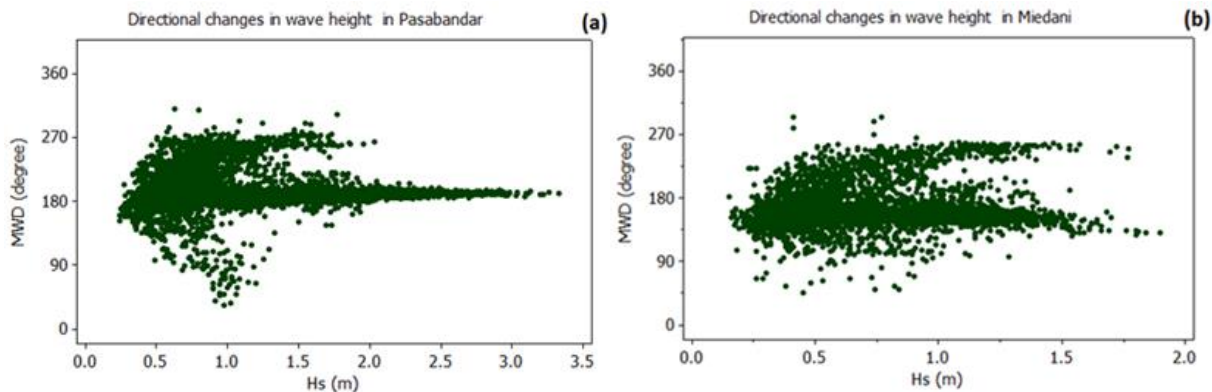
شکل ۷. گل موج داده های شبیه سازی شده و اندازه گیری شده در ایستگاههای پسابندر (a) پزم (b) و میدانی (c)



شکل ۸. تغییرات ارتفاع موج شاخص با سرعت باد



شکل ۹: گلموج فصلی ایستگاه (a) پسابندر (b) میدانی



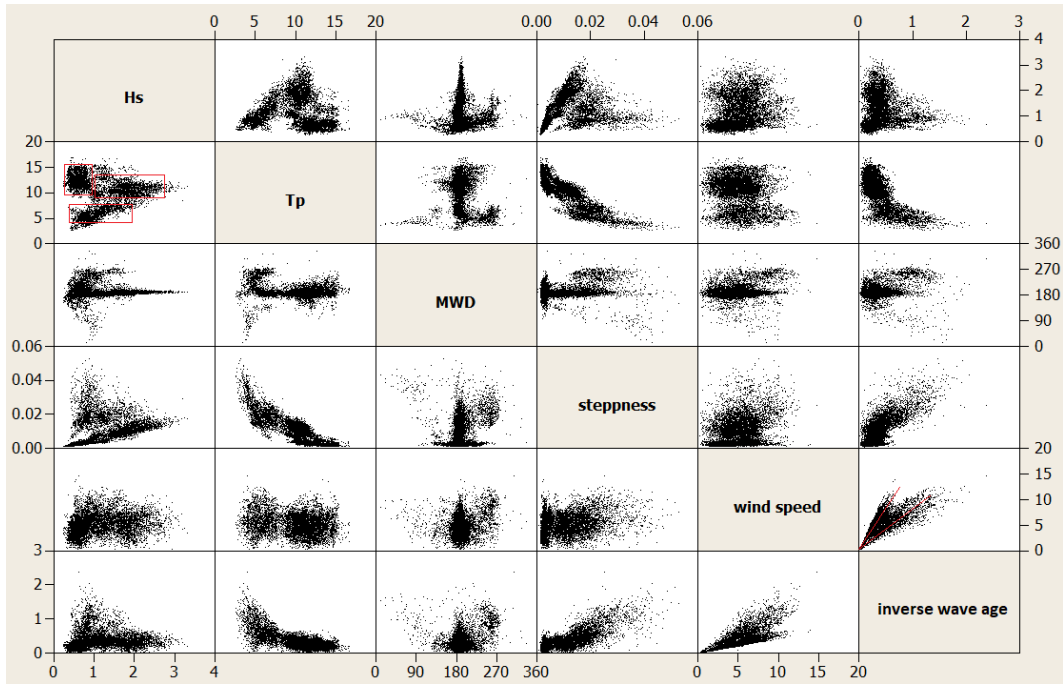
شکل ۱۰: (a) تغییرات جهتی در ارتفاع موج (a) ایستگاه پسابندر (b) ایستگاه میدانی، سال ۲۰۱۶

شکل‌های ۱۱ الی ۱۳ ارائه شده‌اند. از داده‌های جمع‌آوری شده در سال ۲۰۱۶ برای تجزیه و تحلیل ویژگی‌های سالانه امواج در آب عمیق استفاده شده است. رابطه بین ارتفاع موج شاخص و پریود پیک نشان می‌دهد که محتوی امواج از شرق به غرب دچار تغییر شده است. اگر چه پراکندگی داده‌ها در نمودارهای پراکنش توزیع توأم ارتفاع و پریود، حاکم بودن ترکیبی از امواج در منطقه را نشان می‌دهند، اما، برآورد یک رابطه واقع بینانه بین دو پارامتر در این منطقه بسیار دشوار خواهد بود. در این شکل‌ها توزیع توأم ارتفاع موج شاخص و پریود پیک منطقه ارائه شده است. در شرق منطقه مطالعاتی، ایستگاه پسابندر،

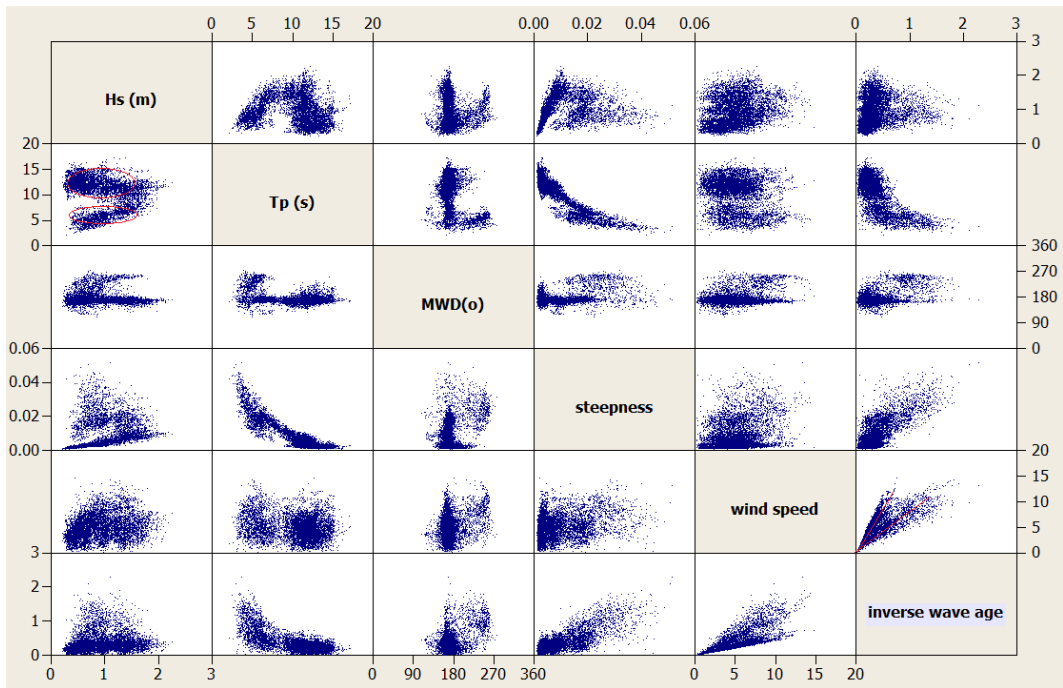
حالت موج Wave state با چند پارامتر مهم ارتفاع موج شاخص، پریود پیک و جهت موج و تراز آب مشخص می‌شود. رابطه بین پارامترهای موج، مانند ارتفاع موج شاخص، پریود پیک و وابستگی آنها به هم و همچنین به روابط بی‌بعدی همچون سن موج و تیزی موج اغلب برای مهندسین اقیانوسی بسیار با اهمیت است. توزیع مشترک بین متغیرها و پارامترهای بی‌بعد، امکان شناسایی توزیع امواج در محدوده ساحلی و فراساحلی، تحلیل بهتر امواج حاکم بر منطقه را فراهم می‌آورد. جهت بررسی و تحلیل بهتر مشخصات موج در سه ایستگاه پسابندر، پزم و میدانی، توزیع مشترک بین متغیرها در

امواج دارای سه دسته پریودی مختلف، ولی با حرکت به سمت ایستگاه میدانی واقع در غرب منطقه مطالعاتی، امواج دارای دو دسته پریود مختلف هستند. که نشان از حاکم شدن امواج مختلف بر منطقه است. یک طیف موج متشکل از مناطق ناشی از وزش باد غالب در دریا بعلاوه بسیاری قطارهای موج دورا در جهات مختلف دور از منطقه است. دانستن جزئیات مربوط به همه مؤلفه‌های طیف برای ارزیابی در مورد مهارت یک مدل عددی مفید است. با تجزیه و تحلیل می توان به امواج کوتاه ناشی از باد محلی و نامنظم که به سرعت به تغییرات باد پاسخ می دهند و امواج دورای منظم با قله های بلند که به شدت تحت تأثیر باد قرار نمی گیرند پی برد. برای درک صحیح شرایط فصلی و سالانه امواج بر اساس پریود، امواجی با پریودی کوتاه کمتر از ۸S توسط سیستم ناشی از باد محلی شمال غربی ایجاد می شوند. امواج با دوره میانی با پریود ۸ تا ۱۲ ثانیه، به دلیل بادهای موسمی بوجود می آیند، این امواج با ارتفاع بلند عمدتاً در دوره مونسون جنوب غربی مشاهده می شوند، در فصول قبل و بعد مونسون که حداقل سرعت باد بر روی دریا وجود دارد، کمتر مشاهده می شوند. وجود امواج با پریود بلند بیشتر از ۱۲ ثانیه به دلیل حضور امواج دورای اقیانوس هند است، تقریباً در تمام فصول مشاهده می شوند. امواج ناشی از باد محلی شمال توسط بادهای از جهت شمال غربی، بر روی امواج از جهت جنوب غربی ایجاد می شوند، (Aboobacker et al; 2011). این امواج کوتاه مدت عمدتاً در فصل قبل و بعد از مونسون وجود دارند. در واقع می توان به وابستگی امواج ناشی از باد محلی و باد (شدت و جهت) و به استقلال سیستم دورا از باد پی برد. امواج دورا و محلی معمولاً بطور هم زمان با دوره ها و جهت های مختلف ممکن است وجود داشته باشند. این خود می تواند در رفتار شناورها و سازه ها تأثیر بسزایی داشته باشد. اگر چه میانگین جهت انتشار موج از جهت باد بطور معنی دار مشخص نمی شود. وقتی دریا تحت سلطه باد است و امواج ناشی از باد حاکم است جهت انتشار نباید از ۴۵ درجه در هر طرف

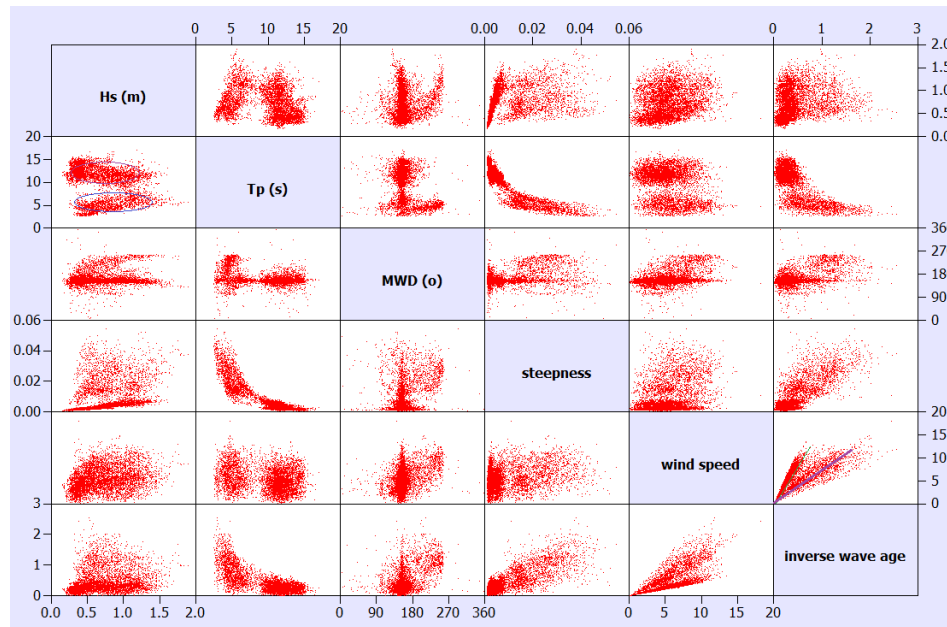
باد تجاوز کند. اگر جهت انتشار از این محدوده خارج شود، می توانیم فرض کنیم موج در اثر وزش باد محلی ایجاد نشده است. وضعیتی است که نشانگر امواج دورا است. در این حالت تغییراتی در طیف کل وجود دارد زیرا امواج کوتاه پشت سر امواج سریع تر و طولانی تر قرار می گیرند. امواجی که در جهات مختلف حرکت می کنند از نظر موقعیت مکانی از هم جدا می شوند. به طور معمول فرض بر این است که میانگین جهت انتشار موج، تفاوت قابل توجهی با جهت باد ندارد. اگر امواج در محدوده ایجاد امواج ناشی از باد محلی باشند بایستی سن موج یعنی نسبت سرعت امواج در اوج طیف C_p به سرعت باد سطح در ارتفاع ۱۰ متری، U_{10} در نظر گرفته شود. که معیاری برای اندازه گیری قدرت وزش باد و رشد موج و شاخص مهمی از درجه اتصال میدان باد و موج محلی است. با استفاده از سن موج رژیم امواج به دو دسته تقسیم می شود: امواج ناشی از باد محلی جوان که مربوط به طیف با فرکانس بیک بالا هستند و به تازگی توسط باد ایجاد شده اند. این امواج عموماً وقتی سرعت باد زیاد است رخ می دهند. اگر سرعت موج کمتر از سرعت باد باشد، امواج ناشی از باد محلی با طول موج کوتاه ایجاد می شوند. که توسط طیف نسبتاً وسیعی مشخص می شوند. همچنین امواج بالغ (ناشی از باد) که با طیف اشباع مرتبط هستند معمولاً در جایی که امواج ناشی از باد محلی به آرامی رو به زوال باشد. با گذشت زمان از وزش باد، در طی مسافتی سرعت موج به سرعت باد نزدیک شده و از آن بیشتر می شود. اگر زمان زیادی از وزش باد گذشته باشد سرعت موج به سرعت باد نزدیک شده آن وقت، دیگر باد اثر ندارد. امواج دورا که تازه از تأثیر باد رها شده شکل می گیرند. برای مقادیر سن موج نزدیک واحد، نرخ رشد موج ناشی از باد بسیار کوچک می شود، امواج دورا شکل می گیرند. سن موج یک دریای کاملاً توسعه یافته تقریباً ۱/۲ است، به این معنی که باد و امواج تقریباً با سرعت یکسانی حرکت می کنند.



شکل ۱۱. مشخصات امواج در ایستگاه پساندر



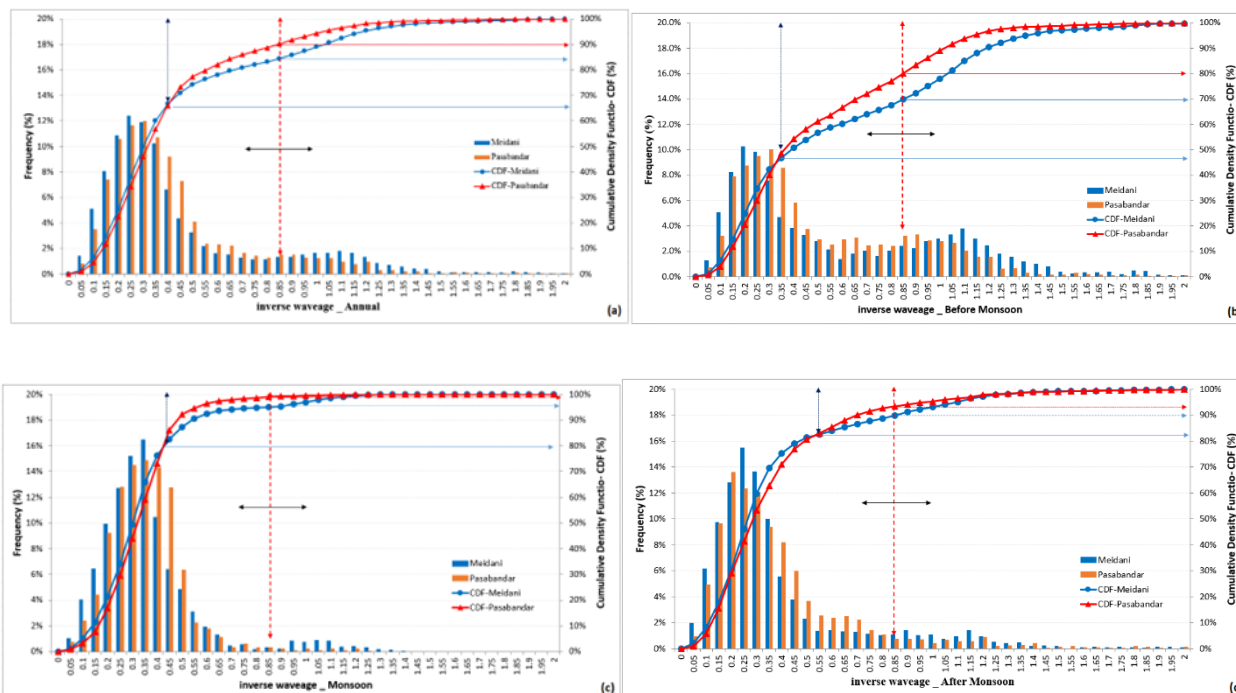
شکل ۱۲. مشخصات امواج در ایستگاه بزم



شکل ۱۳. مشخصات امواج در ایستگاه میدانی

ناشی از باد، غالب هستند. در مطالعه حاضر، نمودارهای هیستوگرام عکس سن موج سیستم های موج در سواحل شمالی دریای عمان با استفاده از داده های سالانه و فصلی سال ۲۰۱۶ در شکل ۱۴، نشان داده شده است. جهت بهینه سازی هیستوگرام و توصیف نحوه توزیع داده ها از تابع توزیع احتمال تجمعی استفاده شده است، احتمال اینکه عکس سن موج کوچکتر یا مساوی مقدار معینی باشد را نشان می دهد. این تابع خلاصه ای از عملکرد مدل سازی و مقایسه دو توزیع شرق و غرب منطقه مطالعاتی را در اختیار ما قرار می دهد. محور افقی نمودار مقادیر داده های عکس سن موج را به صورت صعودی و محور عمودی احتمال ها یا صدک ها را نشان می دهد. منحنی، نشان دهنده جفت های متناظر از مقادیر داده ها و احتمال تجمعی است. برآورد توزیع احتمال تجمعی بر مبنای تابع توزیع تجربی است که محور عمودی درصد فراوانی تجمعی را نشان می دهد. هر نقطه روی محور عمودی درصد مشاهداتی است که از آن نقطه کمتر هستند.

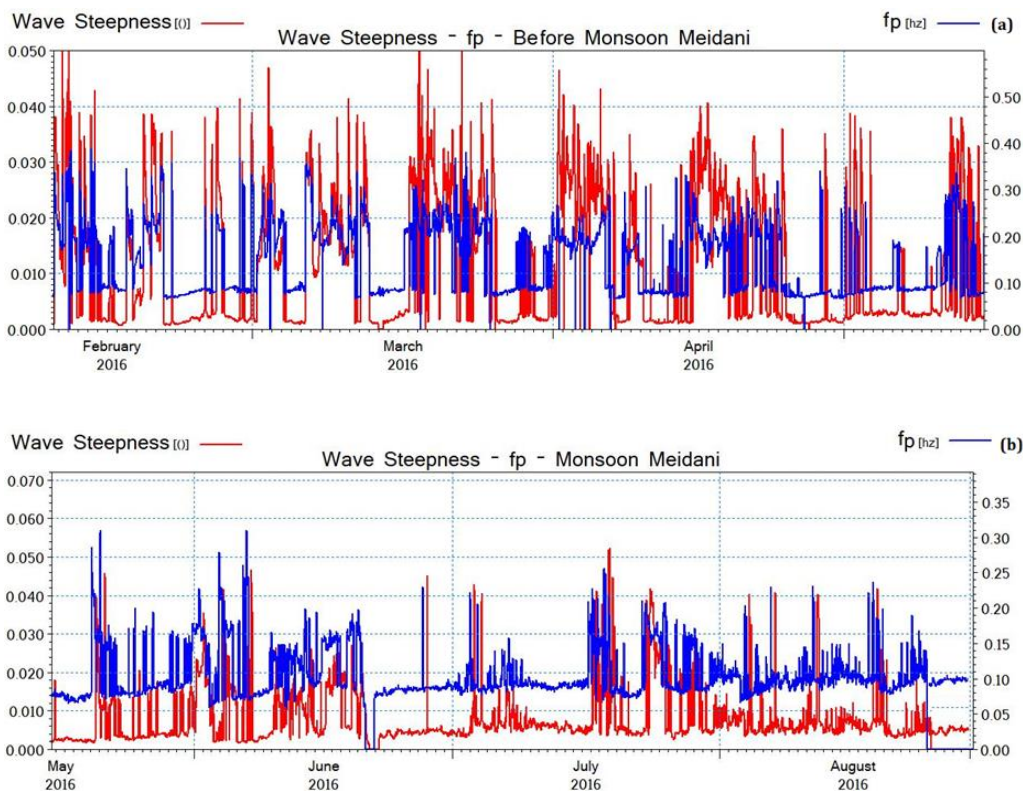
سن موج دریا‌های جوان کمتر از این مقدار است، در حالی که سن موج برای دریا‌های مسن بالاتر از این مقدار است 2007؛ Edson J. et al. برای سن موج بیشتر از ۱/۲ میدان موج تحت سلطه دورا فرض می شود، جایی که امواج ۲۰ درصد سریع تر از U_{10} حرکت می کنند از باد پیشی گرفته و تکانه‌ای از باد دریافت نمی کنند. Donelan et al; 1993 پیشنهاد کردند که عکس سن موج برابر با 0.83 با مقدار طیف در توسعه کامل مطابقت دارد، که مؤلفه طیفی بیشتر از آن می تواند معرف امواج ناشی از باد محلی (جوان) و کمتر از آن معرف امواج ناشی از باد محلی رو به زوال (امواج دورای بالغ) باشد. سه نوع رژیم برهمکنش باد - موج توسط Hanley et al; 2010 ارائه شده است، که عبارتند از (i) رژیم موج ناشی از باد قوی زمانی که عکس سن موج بیشتر از 0.83 است. (بادهای محلی قوی تکانه را به موج منتقل می کنند)، (ii) زمانی که عکس سن موج کمتر از 0.15 باشد، دوراهای سریع می توانند تکانه را به بادهای سطح منتقل کنند، (iii) رژیم مختلط وقتی که عکس سن موج بزرگتر از 0.15 و کوچکتر از 0.83 باشد. همچنین برای $\frac{U_{10}}{C_p} \geq 0.83$ گروه The WAMDI Group, 1988 نشان دادند که امواج



شکل (۱۴) هیستوگرام و تابع توزیع تجمعی عکس سن موج در شرق و غرب منطقه مطالعاتی برای دوره (a) سالانه (b) قبل مونسون (c) مونسون (d) بعد مونسون

مطالعه رابطه توزیع توأم عکس سن موج و تیزی موج برای توصیف رشد امواج ناشی از باد در مهندسی اقیانوس بسیار مهم است. انرژی موج دورا با فرکانس پایین نمی تواند بطور قابل توجهی پارامتر تیزی موج را تغییر دهد، چون پارامتر تیزی با توان دوم فرکانس متناسب است. سهم آن در تیزی موج معمولاً بسیار کمتر از امواج ناشی از باد محلی است. فرکانس های بالا بیشترین سهم را در جابجایی سطح و تیزی موج دارند. شکل (۱۵) بطور نمونه تیزی موج و فرکانس پیک در ایستگاه میدانی، دوره قبل مونسون و مونسون را نشان می دهد.

در نمودار، خط چین قرمز عمود بر محور افق معرف عکس سن موج به مقدار 0.83 است. از محل تقاطع با منحنی، خط عمود بر محور قائم می تواند احتمال یا صدک تجمعی را نشان دهد. لذا با توجه به شکل ارائه شده طیف حاوی تغییرات عکس سن موج بیشتر از $1/5$ به ندرت اتفاق می افتد. این به دلیل عدم توسعه یافتگی کامل حالت دریا در دوره مطالعاتی است. در حالی که احتمال وقوع امواج با عکس سن موج معادل 0.25 زیاد است. جهت توصیف حالت دریا در آب عمیق از پارامتر مهم تیزی موج که همان نسبت ارتفاع موج به طول موج است، استفاده می شود. لذا بررسی الگوهای تیزی موج در طول فصول مختلف و

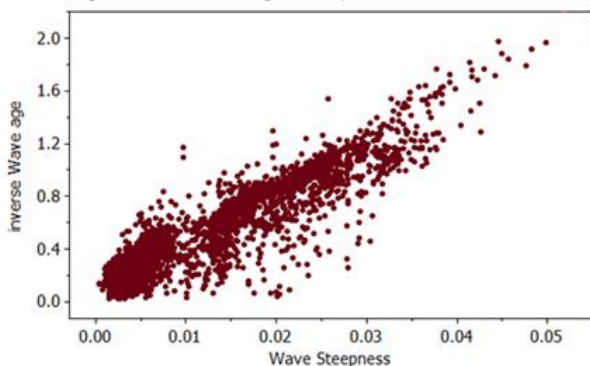


شکل ۱۵. نمایش تیزی موج و فرکانس پیک در ایستگاه میدانی ، سال ۲۰۱۶

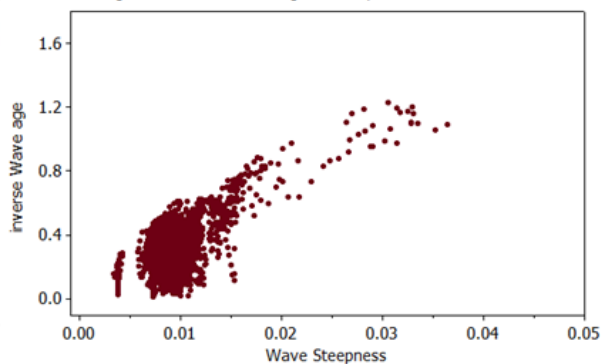
نسبت به H_s بیشتر است. مقدار متوسط تیزی موج در دوره قبل مونسون بیشترین مقدار است. کاهش پریود پیک می تواند تا حدودی ناشی از طوفانها یا بقایای آن مخصوصاً در دوره قبل مونسون بطور نمونه در ماه February و March باشد. نمودارهای توزیع توأم عکس سن موج بر حسب تیزی موج در شکل (۱۶) و شکل (۱۷) به ترتیب برای ایستگاه پسابندر و میدانی در فصول مختلف نشان داده شده است.

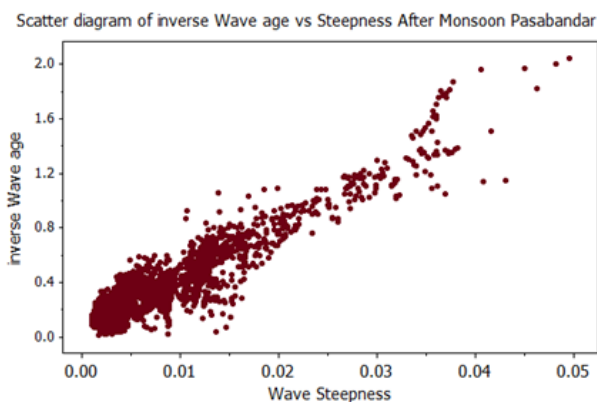
تیزی موج قبل مونسون با مقدار متوسط 0.0134 بیشتر از دوره مونسون با مقدار متوسط 0.0094 است. مقدار تیزی موج با مقدار متوسط سالانه 0.0097 (شرق منطقه مطالعاتی) و 0.0104 (غرب منطقه) تقریباً از 0.005 تا 0.055 متغیر است. کاهش مقدار متوسط تیزی موج به مقدار 0.0080 در دوره بعد مونسون مخصوصاً در ماه های سپتامبر و اکتبر رخ می دهد. این نشان از تغییرات ارتفاع موج شاخص و پریود پیک است. با این حال افزایش پریود پیک و اثر آن در تیزی موج

Scatter diagram of inverse Wave age vs Steepness Before Monsoon Pasabandar



Scatter diagram of inverse Wave age vs Steepness Monsoon Pasabandar

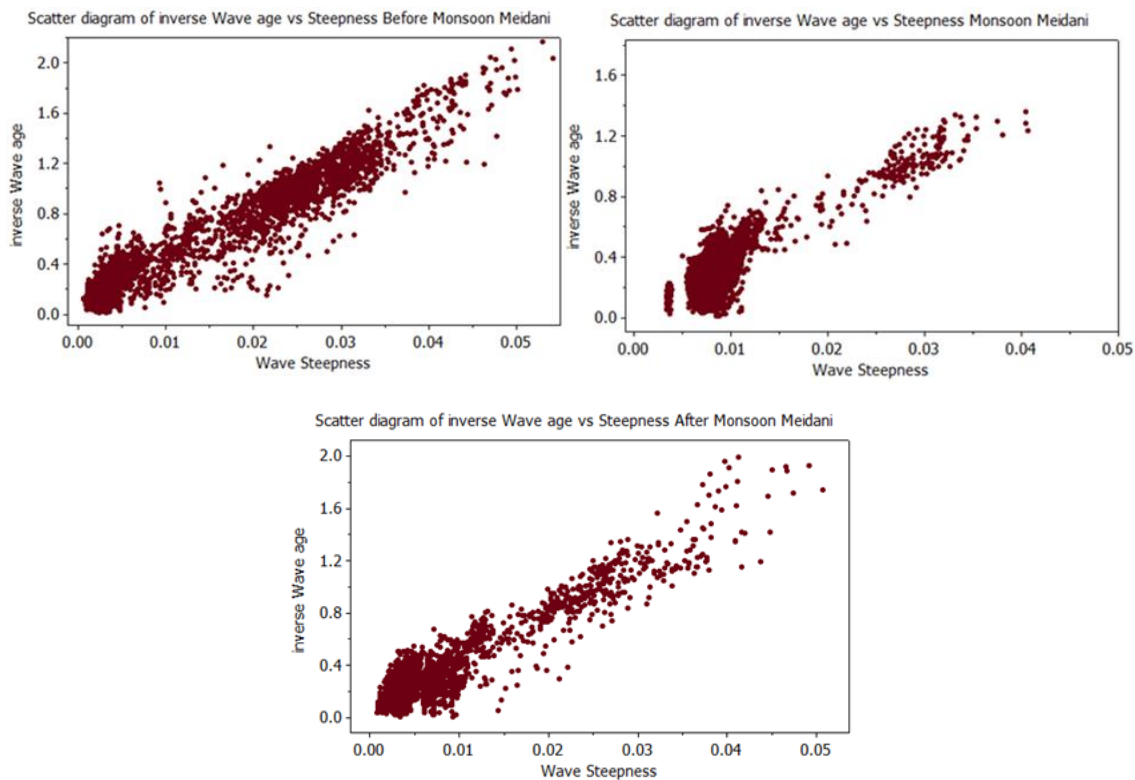




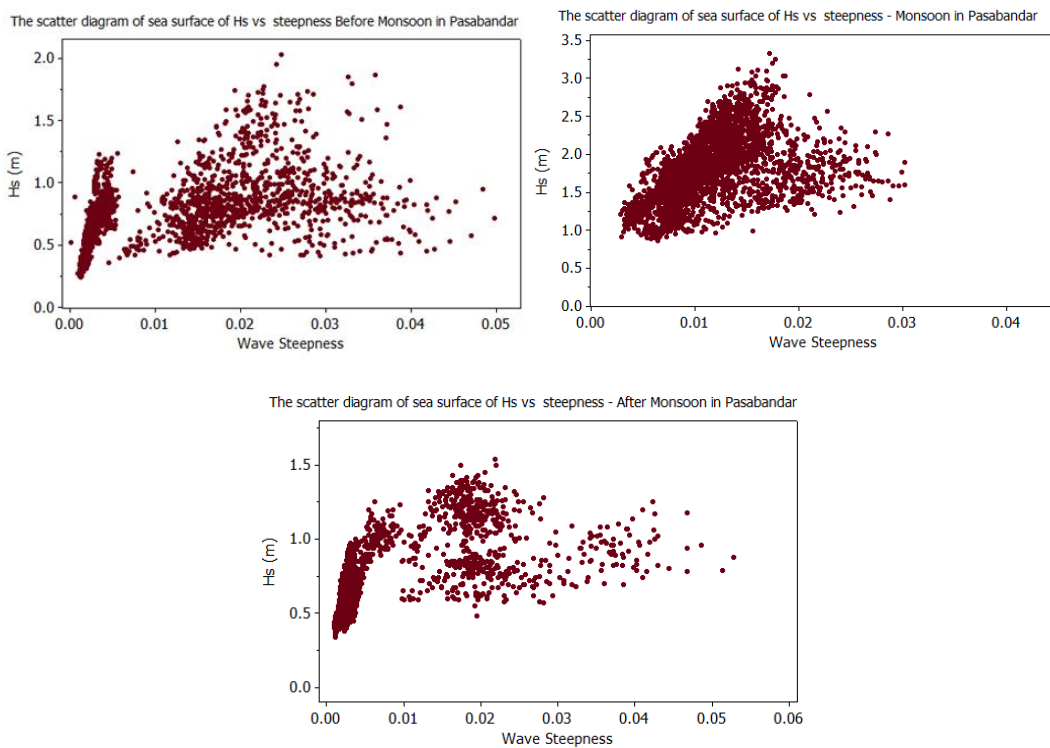
شکل ۱۶: توزیع توأم عکس سن موج - تیزی موج در فصول مختلف ایستگاه پسابندر

دورای اقیانوس هند باشند. که ارتفاعی در محدوده ۱ متر دارند. در دوره مونسون امواج با عکس سن موج بالاتر از ۰/۸۳ و تیزی بیشتر از ۰/۰۲ بسیار محدود هستند. غالب امواج تیزی کم و عکس سن موج کمتر از ۰/۸۳ دارند. با توجه به بادهای موسمی جنوب غربی قوی در منطقه، عمده امواج در این فصل از نوع امواج مونسون با ارتفاع زیاد (حدود ۳ متر) و تیزی کمتر از ۰/۰۲۵ هستند. این امواج همراه با امواج اقیانوس هند با ارتفاع تا ۱/۵ متر و عکس سن موج کمتر از ۰/۱۵ در محدوده حالت دریای مختلط مشاهده می شود. در دوره بعد مونسون، با خروج ناگهانی بادهای موسمی، امواج ناشی از باد محلی جوان با رفتاری نامنظم، گاهاً با ارتفاعی بالاتر از ۱/۵ متر و روند تیزی موج روبه رشد، به همراه امواج بالغ با عکس سن موج کمتر از ۰/۲ و تیزی کمتر از ۰/۰۰۵ به وضوح مشاهده می شوند. که معرف حاکم شدن امواج اقیانوسی است.

اگر به توزیع عکس سن موج و تیزی موج که کمیت های بدون بعدی هستند، در شکل های توزیع توأم، پس از کنترل کیفیت و آنالیز توأم دقت شود، داده های تجمعی آنها در دوره غیر مونسون، گسسته شدن پراکنندگی داده ها در تیزی کمتر از ۰/۰۱ را نشان می دهند. دسته ای از امواج با فرکانس بالا، طول موج کوتاه دارای تیزی زیاد هستند، که مربوط به امواج ناشی از باد محلی هستند. دسته ای دیگر از امواج با فرکانس پایین، طول موج بلند و تیزی کم می توانند معرف امواج دورا باشند. در ایستگاه پسابندر، دوره قبل از مونسون شکل (۱۶)، امواج با تیزی بیش از ۰/۰۲ و عکس سن بیش از ۰/۸۳ ارتفاعی حدود ۱ الی ۲ متر شکل (۱۸)، مربوط به امواج ناشی از باد محلی شمال غربی (امواج جوان) است. با رشد امواج و زیاد شدن سن موج، تیزی موج کم شده و امواج بالغ شکل می گیرند. امواج با تیزی کمتر از ۰/۰۱ و عکس سن موج پایین تر، می توانند معرف امواج



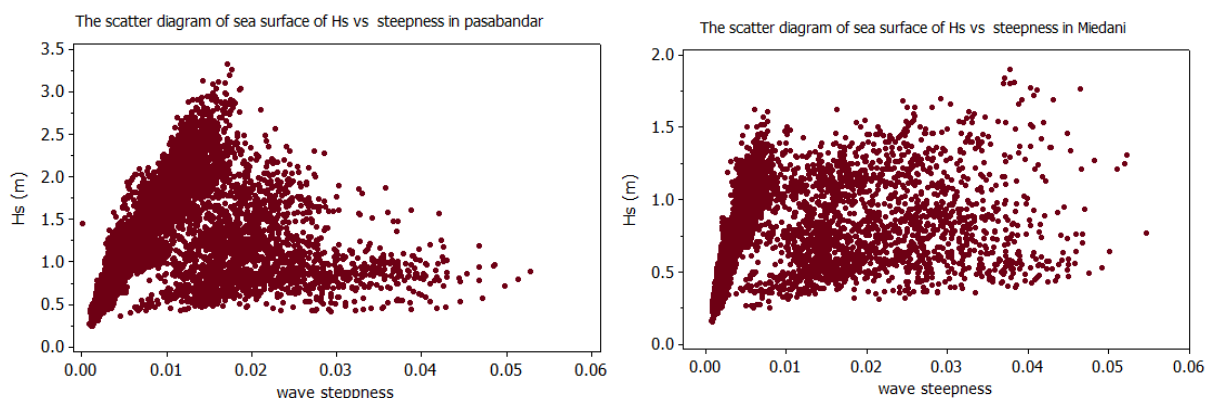
شکل ۱۷. توزیع توأم عکس سن موج - تیزی موج در فصول مختلف ایستگاه میدانی



شکل ۱۸. توزیع توأم ارتفاع موج - تیزی موج در فصول مختلف ایستگاه پسابندر

بودن امواج دورا در این فصل باشد. روند تغییرات سالانه ارتفاع موج شاخص منطقه مطالعاتی در شکل (۱۹) نشان داده شده است. دسته ای از امواج با حداکثر ارتفاع تا حد ۳ متر با تیزی تا حدود ۰/۰۲، می تواند مربوط به امواج مونسون و اقیانوسی متأثر از آن باشد. امواج اقیانوسی دارای تیزی کم و ارتفاعی تا ۱/۵ متر دارند. امواج دیگری با پهنه نسبتاً وسیع و تیزی زیاد بیشتر از ۰/۰۲ و ارتفاع کمتر می توانند مربوط به امواج ناشی از باد محلی باشند.

روبه رشد، به همراه امواج بالغ با عکس سن موج کمتر از ۰/۲ و تیزی کمتر از ۰/۰۰۵ به وضوح مشاهده می شوند. که معرف حاکم شدن امواج اقیانوسی است. لازم به ذکر است در ایستگاه میدانی مقدار ماکزیمم ارتفاع نسبت به ایستگاه پسابندر کمتر و مقدار پراکندگی امواج با تیزی زیاد، به علت اثر زیاد باد محلی، بیشتر است. هم زیستی بین امواج ناشی از باد محلی و امواج اقیانوسی مخصوصاً بعد مونسون، بوضوح مشاهده می شود. که می تواند نشان از فعال شدن امواج ناشی از باد محلی و غالب



شکل ۱۹. روند تغییرات ارتفاع موج شاخص در ایستگاه پسابندر و میدانی در سال ۲۰۱۶

شده توسط نیروی باد، با شرط مرزی ارائه شده، پس از کالیبراسیون، مدل، شبیه سازی قابل اعتمادی از شرایط موج در آب عمیق می دهد. بگونه ای که با ارزشیابی در فضای طیفی، توزیع زمانی پارامترهای موج در دوره مدل سازی نشان داد، که شبیه سازی بعد از کالیبراسیون مدل با ضرایب تنظیمی $C_{ds} = 1$ ، $\delta = 6$ بهتر دنبال می شود. در نمودارهای سری زمانی چفت شدگی و تطابق بیشتر بعد از کالیبراسیون مشاهده شد. برای کالیبراسیون دقیق تر، تجزیه و تحلیل آماری انجام شد. هنگامی که پارامترهای آماری، برای قبل از کالیبراسیون با مقادیر پیش فرض سفید موج، $C_{ds} = 4/5$ ، $\delta = 0/5$ استخراج شد، مقدار انحراف برای ارتفاع موج شاخص در ایستگاه پسابندر $0/072m$ ، مقدار جذر میانگین مربع خطا برابر $0/412m$ و شاخص پراکندگی $0/347m$ و بعد از کالیبره کردن مدل، به ترتیب مقادیر $0/003m$ ، $0/276m$ و $0/232m$ حاصل

۴. نتیجه گیری

توسعه و ارزیابی عملکرد سیستم پیش یابی امواج ناشی از باد در سواحل جنوب شرقی ایران و تجزیه و تحلیل اثر سیستم باد بر امواج و تغییرات فصلی امواج با تمرکز بر پارامترهای بی بعد، سن موج و تیزی موج در این پژوهش ارائه شده است. در چارچوب این ارزیابی، پارامترهای موجی اقیانوس اعم از ارتفاع موج شاخص، پریود پیک و جهت متوسط موج در برابر داده های اندازه گیری شده در ایستگاههای پسابندر، پزم و میدانی در طی یک دوره یک ساله ۲۰۱۶ ارزیابی شده است. چنین پیش بینی هایی در مهندسی سواحل و اقیانوس، توسعه مدیریت زیرساخت های ساحلی مهم هستند. از یک شبکه بندی با وضوح بالا و متغیر برای نمایش مناسب امواج آب عمیق استفاده شد. بر اساس نتایج ارائه شده در این مطالعه می توان نتیجه گرفت که با استفاده از مدل Mike 21 - SW واداشته

شد. کاهش چشمگیر این پارامترهای آماری برای ارتفاع موج شاخص در ایستگاه پسابندر، به ترتیب به مقدار ۰/۹۶٪، ۰/۳۳٪ و ۳۳٪ را نشان داد. جدول (۳) و جدول (۴) خلاصه نتایج کیفی حاصل از مقایسه H_s ، T_p و MWD پیش بینی شده و اندازه گیری شده و جدول (۵) میزان بهبود پارامترهای آماری مدل بعد از کالیبراسیون را نشان می‌دهد. پارامترهای فیزیکی در آب کم عمق نظیر شکست موج و اصطکاک بستر، در آب عمیق تأثیر معنی داری بر خصوصیات موج ندارند. شکل کلی انحراف (میانگین خطای مدل) با روند کاهشی آن بعد از کالیبراسیون در جدول کاملاً مشخص است. پیداست که مقدار انحراف برای ارتفاع موج شاخص کمتر از پرئود پیک و جهت موج متوسط است. پایین بودن مقدار $RMSE$ ارتفاع موج شاخص در سه ایستگاه یاد شده نشان از تناسب بین داده‌های مدل و اندازه گیری شده و توزیع نرمال آنها است. مقدار انحراف معیار ارتفاع موج شاخص در جدول (۴) برای سه ایستگاه به ترتیب ۰/۴۸۷، ۰/۴۹۶ و ۰/۴۷۹ ارائه شده است. مقادیر پایین آن نشان از همگون بودن جامع آماری است. بطور کلی مقدار H_s استخراج شده از مدل تطابق نزدیکی با پارامترهای اندازه گیری شده دارد. بگونه ای که ضریب همبستگی برای ارتفاع موج شاخص به ترتیب ۰/۹۰ برای پسابندر، ۰/۸۶ برای پزم و ۰/۸۰ برای میدانی بدست آمد. با به حداقل رساندن شاخص پراکندگی بعد از کالیبراسیون مقدار انحراف پایین تر برای H_s و T_p حاصل شد. ضریب همبستگی برای پرئود پیک و جهت متوسط موج بطور نمونه در ایستگاه پسابندر مقدار ۰/۳۳ و ۰/۵۹ با شاخص پراکندگی به ترتیب ۰/۳۳ و ۰/۱۴ بدست آمد. بر اساس جدول (۴) مقدار شاخص پراکندگی از شرق به سمت غرب رو به افزایش است. این تفاوتها می‌تواند ناشی از پارامترهای باد ورودی و ادغام امواج اقیانوسی و امواج ناشی از باد محلی (شمال) و کالیبره نشدن توأم امواج دورا در فصل مونسون و امواج محلی ناشی از باد شمال و ضعیف بودن میدان باد در محدوده خلیج عمان به علت قرار گیری بین مرز دو خشکی

باشد. همانطور که مشخص می‌باشد تغییرات H_s امواج با سرعت باد مطابقت دارد و رابطه ارتفاع موج شاخص و سرعت باد نشان از همبستگی مطلوب در دوره وزش باد است. از مطالعه مدل سازی، آشکار است که پارامترهای موج اندازه گیری‌ها را به خوبی برای فصول مختلف دنبال می‌کند. ارتفاع موج شاخص با همبستگی بسیار بالا، بین حداقل ۰/۲۳ m و ۳/۴ m و میانگین ۱/۱۸ m در طول سال ۲۰۱۶ در شرق منطقه مطالعاتی تغییر کرده است. پرئود پیک مشاهده شده با توافق مطلوب در محدوده بین ۲/۶s تا ۱۶/۸s و میانگین دوره ۹/۹s مشاهده شد. سری زمانی سالانه و روند تغییرات ارتفاع موج شاخص و پرئود پیک و جهت متوسط موج بطور نمونه در شکل (۴) ارائه شده است. ارتفاع موج شاخص از January تا May دوره قبل مونسون روند ملایم افزایش را نشان می‌دهد. فعالیت موج و ارتفاع موج شاخص در طول دوره بادهای موسمی جنوب غربی زیاد بوده و حداکثر ارتفاع (۳/۴ m) در ماه July و فعالیت موج در دوره بعد مونسون کم بوده و حداکثر ارتفاع (۱/۵m) ثبت شده است. پارامتر جهت متوسط هم از همان الگوی در محل مطالعه پیروی می‌کند. در ایستگاه پسابندر علاوه بر جنوب و جنوب شرقی امواجی در جهت جنوب غربی و غرب نیز دیده می‌شود شکل (۹). درصد وقوع امواج مرتفع جنوبی نسبت به بقیه جهات بیشتر است. امواج با ارتفاع های بیش از ۱/۵ m در این مکان عموماً جنوبی و همچنین، جنوب غربی و غرب متمرکز هستند. با بررسی توزیع توأم H_s و T_p می‌توان گفت با حرکت از شرق منطقه مطالعاتی به سمت غرب محتوای امواج دچار تغییر شده است. بگونه ای که پراکندگی امواج از شرق به سمت غرب رو به افزایش است. یک دسته امواج با پهنه نسبتاً وسیع با تیزی بیشتر از ۰/۰۲ و ارتفاع کم، گاهاً با ارتفاعی نزدیک ۲ متر، به علت وقوع طوفان و پرئود کمتر از ۸ ثانیه می‌توانند مربوط به امواج ناشی از باد محلی در راستای جنوب غربی و غرب در محدوده شمالی دریای عمان باشند. گروهی دیگر از امواج با ارتفاع زیاد نزدیک ۳ متر و پرئودی بیش از ۸ ثانیه (۸ تا ۱۲ ثانیه) دارند، با

حالت دریا در فصل قبل مونسون (زمستان و بهار) دارای انحراف معیار زیاد و جهت متنوع با روند ملایم افزایش ارتفاع موج شاخص است. تغییر کوچک در سرعت باد می تواند تغییر زیادی در ارتفاع موج ایجاد کند. از ماه may تا ماه July روند رشد فعالیت امواج دریا و قدرت موج با افزایش ارتفاع موج، حداکثر ارتفاع (۳/۴m) ادامه پیدا می کند، که به دلیل تشکیل امواج جوان، با کاهش جزئی در دوره اوج نسبت به امواج اقیانوس هند همراه است. این می تواند نشان از شروع اثرات مونسون تابستانه باشد. در این دوره با توجه به بادهای موسمی شمال غربی قوی، تسلط دوراها و امواج مونسونی با عکس سن موج در محدوده ۰/۵ - ۰/۲ و تیزی کمتر از ۰/۲۵ مشاهده می شود. معمولاً حالت مختلط دریا در این فصل با غلبه امواج مونسونی با ماکزیمم ارتفاع در اواسط جولای، مشاهده می شود. پیروید این امواج بین ۱۰ الی ۱۲ ثانیه در شرق منطقه مطالعاتی با جهت غالب جنوب و در غرب منطقه مطالعاتی با جهت غالب جنوب و جنوب شرقی است. در این دوره تا حتی امواج به دلیل جهت یکنواخت باد، تغییرات کمتری در جهت دارند. این روند تقریباً تا اواخر دوره شهریور ادامه داشته و پس از آن از شدت امواج کاسته می شود. در این دوره کمتر از ۲۰٪ امواج با تیزی کمتر از ۰/۱ و عکس سن موج کمتر از ۰/۱۵، مربوط به دوراهای سریع اقیانوس هند هستند، که این امواج بلند سریعتر از باد سطحی حرکت می کنند، تکانه می تواند از موج اقیانوس به هوای نزدیک سطح منتقل شود. روند تغییرات ارتفاع موج بعد مونسون کاهشی است. با افزایش تدریجی سن موج و افزایش پیروید پیک، امواج بالغ با تیزی کم به رشد خود ادامه می دهند. لذا در دوره بعد مونسون با عقب نشینی زود هنگام بادهای موسمی و باران های موسمی، با پایان مونسون تابستانه، شاهد حاکم شدن دوباره امواج دورای بالغ اقیانوس هند خواهیم بود. که این امواج با عکس سن کمتر از ۰/۸۳ و تیزی کمتر از ۰/۱ به همراه امواج ناشی از باد محلی با تیزی نسبتاً زیاد و ارتفاعی تا حد ۱/۵ متر در منطقه مشاهده می شوند. به دلیل وزش

تیزی موج در حد ۰/۰۲، می توانند مربوط به امواج مونسونی ناشی از بادهای موسمی محدوده مطالعاتی باشند. همچنین امواج با پیروید پیک طولانی که تقریباً در تمام فصول مشاهده می شوند، به عنوان دورای انتشار یافته از اقیانوس هند شناسایی می شوند. که این امواج ارتفاعی تا مرز ۱/۵ متر و پیرویدی بیش از ۱۲ ثانیه و تیزی کم دارند. در ایستگاه میدانی واقع در غرب منطقه مطالعاتی دو دسته پیروید قابل مشاهده هستند. امواج غالب با پیروید کمتر از ۸ ثانیه، ناشی از باد محلی شمال غربی، که دارای پراکندگی زیاد و تیزی زیاد بیشتر از ۰/۲۵ هستند. انرژی موج در پیروید بالاتر از ۱۰ ثانیه و ارتفاع کمتر از ۱ متر در این منطقه می تواند مربوط به امواج اقیانوسی باشند، که می توانند در دوره های قبل و بعد مونسون بادهای سطح را تغییر دهند. این امواج در تمام فصول قابل مشاهده هستند. بیشترین ارتفاع موج شاخص در این منطقه نزدیک ۲ متر و پیروید پیک تقریباً بین ۳ تا ۱۵ ثانیه متغیر است. جهت شناسایی ماهیت حالت دریا بر اساس تیزی موج، در توزیع توأم عکس سن موج - تیزی موج شکل های (۱۶) و (۱۷)، داده های تجمعی امواج در دوره قبل و بعد مونسون یک گسستگی واضح در تیزی موج معادل ۰/۰۱ را نشان می دهند. در دوره قبل مونسون، امواجی با عکس سن بیشتر از ۰/۸۳ مشاهده می شوند که دارای پیروید پیک و طول موج کوتاه و تیزی بیشتر از ۰/۲۵ هستند. این امواج می توانند ارتفاعی بالاتر از ۱ متر و گاهاً بالاتر از ۲ متر داشته باشند، که مربوط به امواج ناشی از باد محلی شمال غربی هستند. با روند افزایشی تغییرات ارتفاع موج و سن موج در قبل مونسون، پیروید پیک نیز افزایش می یابد که امواجی بالغ با پیروید بلند بین ۱۲ الی ۱۵ ثانیه و تیزی کم نیز دیده می شوند. لذا امواج با عکس سن موج کم، پیروید پیک و طول موج بلند، تیزی کمتر از ۰/۰۱ و ارتفاع محدود در حد ۱ متر، مربوط به امواج دورای اقیانوس هند با جهت جنوب و همچنین جنوب شرق و جنوب غربی است. که با امواج ناشی از باد محلی شمال غربی و غرب با پیروید کوتاه ۵ تا ۷ ثانیه و ارتفاع ۱ الی ۲ متر هم زیستی می کنند. لذا

- Ocean waves (Cambridge University Press, Cambridge), 532 p.
9. Alves, J.H.G.M., Banner, M.L., & Young, I.R. 2003. Revisiting the Pierson-Moskowitz Asymptotic Limits for Fully Developed Wind Waves. *Journal of physical oceanography*, 33, 1301-1323.
 10. Chen, G; Chapron, B; Ezaraty, R; and Vandemark, D "A global view of swell and wind sea climate in the ocean by satellite and Oceanic Technology, vol. 19, pp. 1849–1859, 2002. altimeter and scatterometer," *Journal of Atmospheric*.
 11. Holthuijsen, L.H., 2007. *Waves in Oceanic and Coastal Waters*. Cambridge University Press.
<https://doi.org/10.1017/CBO9780511618536>.
 12. Wang, D. W., & Hwang, P. A. 2001. An operational method for separating wind sea and swell from ocean wave spectra. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 18(12), 2052-2062.
 13. Portilla, J; Ocampo-Torres, F. J., & Monbaliu, J. 2009. Spectral partitioning and identification of wind sea and swell. *Journal of atmospheric and oceanic technology*, 26(1), 107-122.
 14. Hwang, P. A; Ocampo-Torres, F. J and García-Nava, H "Wind sea and swell separation of 1D wave spectrum by a spectrum integration method*," *J. Atmos. Ocean. Technol.*, vol. 29, no. 1, pp. 116–128, 2012.
 15. Goda, Y. 2010. Reanalysis of regular and random breaking wave statistics. *Coastal Engineering Journal*, 52(1), 71-106.
<https://doi.org/10.1142/S0578563410002129>.
 16. Skamarock WC, Klemp JB, Dudhia J, Gill DO, Barker DM, Wang W, Powers JG. A description of the advanced research WRF version 2. National Center For Atmospheric Research Boulder Co Mesoscale and Microscale Meteorology Div; 2005.
 17. Ghader, S., Yazgi, D., Haghshenas, S.A., Razavi Arab, A., Jedari Attari, M., Bakhtiari, A., & Zinsazboroujerdi, H. (2016). Hindcasting tropical storm events in the Oman sea. *Journal of Coastal Research*, 10075(2), 1087-1091. <https://doi.org/10.2112/SI75-218.1>.
 18. Aboobacker, V. M., Vethamony P., and Rashmi R.: "Shamal" swells in the Arabian
- بادهای موسمی زمستانی در منطقه و همچنین وزش بادهای شمال غربی جهت امواج محلی و دورا پراکنده بوده و این رویداد برای امواج محلی ملموس تر است. با اینحال مطالعه دقیق و بیشتر، تعامل بین امواج ناشی از باد و دورا باعث درک بهتر حالت دریا می شود. شناخت پارامترها و اندازه گیری بیشتر می تواند منجر به مدل سازی دقیق شود، که برای مطالعات مهندسی دریا و ساحل بسیار حائز اهمیت است.
- ### ۵. منابع
1. Danish Hydraulic Institute (DHI). MIKE 21 SW Reference Manual, MIKE by DHI, Manual Mesh Generator MIKE Zero: Hørsholm, Denmark, 2015, 28–30.
 2. Remya, P.G.; Kumar, R.; Basu, S.; Sarkar, A. Wave hindcast experiments in the Indian Ocean using MIKE21- SW model. *J. Earth Syst. Sci.* 2012, 121, 385-392.
 3. Janssen, P.A.E.M. 1989. Wave induced stress and the drag of airflow over sea waves, *Journal of Physical Oceanography*, 19 (6), 745–754.
 4. Sabique, L., Annapurnaiah, K., Balakrishnan Nair, T.M., and Srinivas, K. (2012). Contribution of Southern Indian Ocean swells on the wave heights in the Northern Indian Ocean—A modeling study. *Ocean Engineering*, 43: pp. 113–120.
 5. Ardhuin, F., Chapron, B., and Collard, F. (2009). Observation of swell dissipation across oceans. *Geophysical Research Letters*, 36(L06607): pp. 1–5.
 6. Bearman, G., Brown, J., and Open University Oceanography Course Team (1989). *Waves, Tides and Shallow-Water Processes*, volume 4. Pergamon Press.
 7. Collard, F., Ardhuin, F., and Chapron, B. (2009). Monitoring and analysis of Geophysical Research, 114(C07023): pp. 1–15 ocean swell fields from space: New methods for routine observations. *Journal Earle, M.*, (1984), Development of algorithms for separation of sea and Swell. National Data Buoy Centre Report, MEC-87-1.
 8. Komen, G.J., L. Cavaleri, M. Donelan, K. Hasselmann, S. Hasselmann, and P.A.E.M. Janssen, 1994: Dynamics and Modelling of

- Sea and their influence along the west coast of India, *Geophys. Res. Lett.*, 38, 1-7, 2011.
19. Edson, J., Crawford, T., Crescenti, J., Farrar, T., Frew, N., Gerbi, G., Helmis, C., Hristov, T., Khelif, D., Jessup, A. & Zappa, C. 2007. The coupled boundary layers and air-sea transfer experiment in low winds. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 88(3), 341-356.
20. Donelan, M., Dobsen, F., Smith, S., Anderson, R., 1993. On the dependence of sea surface roughness on wave development. *Journal of Physical Oceanography* 23, 2143-2149.
21. Hanley, E. K; Stephen, E. B., and Peter, P. S.: A global climatology of wind wave interaction, *J. Phys. Oceanogr*; 40, 1263-1282, 2010.
22. The WAMDI Group, 1988. The WAM model - A third generation ocean wave prediction model. *J. Phys. Oceanogr.* 18 (12), 1775-1810. [http://dx.doi.org/10.1175/1520-0485\(1988\)018<1775:TWMTGO>2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1175/1520-0485(1988)018<1775:TWMTGO>2.0.CO;2).