



مرکز پژوهش‌های دریایی

سازمان بنادر و دریانوردی به عنوان تنها مرجع حاکمیتی کشور در امور بندری، دریایی و کشتی‌رانی بازرگانی به منظور ایفای نقش مرجعیت دانشی خود و در راستای تحقق راهبردهای کلان نقشه جامع علمی کشور مبنی بر "حمایت از توسعه شبکه‌های تحقیقاتی و تسهیل انتقال و انتشار دانش و سامان‌دهی علمی" از طریق "استانداردسازی و اصلاح فرایندهای تولید، ثبت، داوری و سنجش و ایجاد بانک‌های اطلاعاتی یکپارچه برای نشریات، اختراعات و اکتشافات پژوهشگران"، اقدام به ارایه این اثر در سایت SID می‌نماید.



سازمان بنادر و دریانوردی



اطلس باد و موج حدی در دریای خزر، خلیج فارس و دریای عمان به تفکیک جهت

مهندس سهیلا تائبی، دکتر علی اصغر گلشنی، دکتر وحید چگینی
مرکز ملی اقیانوس شناسی، گروه مهندسی و تکنولوژی دریا

چکیده:

طراحی و اجرای صحیح طرح‌های زیربنایی و عمرانی در مناطق ساحلی مستلزم کسب اطلاعات دقیق از شرایط محیطی و وضعیت هیدرودینامیکی منطقه مورد نظر است. موج و باد از جمله پارامترهای مهم در طراحی سازه‌های ساحلی و دریایی محسوب می‌شوند. تعیین مشخصات باد و موج با دوره بازگشت‌های بالا از ضروریات طراحی سازه‌های ساحلی و فراساحل و از مطالعات پایه مشترک در بسیاری از پروژه‌های مهندسی دریا به شمار می‌رود. تحلیل مقادیر حدی باد و موج دریاهای ایران با استفاده از نتایج شبیه‌سازی شده آنها برای اولین بار در قالب پروژه مدلسازی امواج دریاهای ایران توسط مرکز ملی اقیانوس شناسی انجام شده، لیکن جانمایی بهینه و اقتصادی سازه‌های ساحلی و فراساحل ضرورت انجام چنین تحلیلی را به تفکیک جهت ایجاب می‌نماید. نوشتار حاضر مروری بر داده‌های مورد استفاده در این پروژه به همراه ارزیابی آنها، روش انجام تحلیل آماری و نتایج حاصله می‌باشد.

معرفی میدان باد و موج

در این پروژه تلاش شده از دقیق ترین میدانهای باد و موج حاصل از شبیه‌سازی مدل عددی استفاده گردد. بدین منظور میدانهای باد مدلهای جهانی هواشناسی موجود در منطقه دریاهای ایران از نظر بزرگنمایی، پوشش مکانی و زمانی مقایسه و در نهایت مدل Operational از موسسه ECMWF انتخاب گردید (جدول ۱).

جدول ۱- مشخصات مکانی و زمانی مدلهای جهانی هواشناسی در منطقه دریاهای ایران

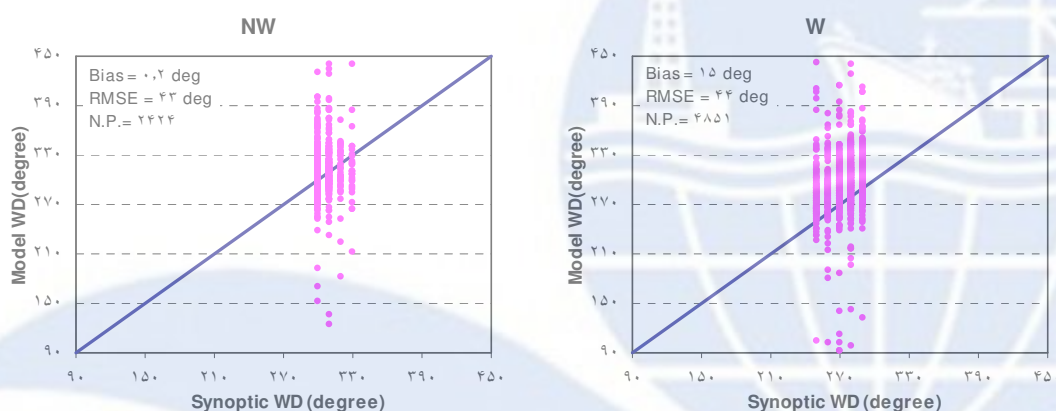
سازمان	نوع محصول	دوره زمانی	بزرگنمایی طول × عرض (درجه)	گام زمانی (ساعت)
NCER/NCAR	Reanalysis	۱۹۵۷-۱۹۹۸	۱/۲۵×۲/۵	۶
ECMWF	Operational	۱۹۸۲ تاکنون	۰/۵×۰/۵	۶
	Reanalysis	۱۹۵۷-۲۰۰۲	۱/۱۲۵×۱/۱۲۵	۶
U.K Met Office	Operational	۱۹۹۹ تاکنون	۰/۵۵×۰/۸۳۳	۶

این میدان با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری شده ارزیابی گردیده و پس از حصول اطمینان از همخوانی مقادیر مدلی و میدانی در مناطق دور از ساحل، مقادیر نوار ساحلی با استفاده از اندازه‌گیریهای سینوپتیک و داده‌های ماهواره‌ای اصلاح گردیده است. میدان موج انتخابی نیز نتیجه پروژه اخیر مدلسازی امواج دریاهای ایران بوده که مشخصات موج را در بازه زمانی ۲۰۰۲-۱۹۹۲ با بزرگنمایی ۰/۱۲۵ درجه در بخش جنوبی دریای خزر و کل خلیج فارس و دریای عمان و با بزرگنمایی ۰/۲۵ درجه در بخش شمالی دریای خزر و با گام زمانی یک ساعت پیش یابی نموده است. تفکیک داده‌های باد و موج بر روی کلیه نقاط شبکه در ۸ جهت اصلی و فرعی انجام شده است. هر قطاع ۴۵ درجه بوده و بسته به جهت غالب، فراوانی متفاوتی از داده‌ها را دارا می‌باشد.

ارزیابی میدان باد و موج

میدانهای انتخابی دارای بیشترین بزرگنمایی و کمترین گام مکانی در منطقه مطالعاتی مورد نظر می‌باشند. مقادیر سرعت باد و ارتفاع موج آنها نیز به تفصیل در گزارشات و مقالات مربوط به پروژه مدلسازی امواج دریاهای ایران مورد بررسی و مقایسه با مقادیر اندازه‌گیری قرار گرفته است.

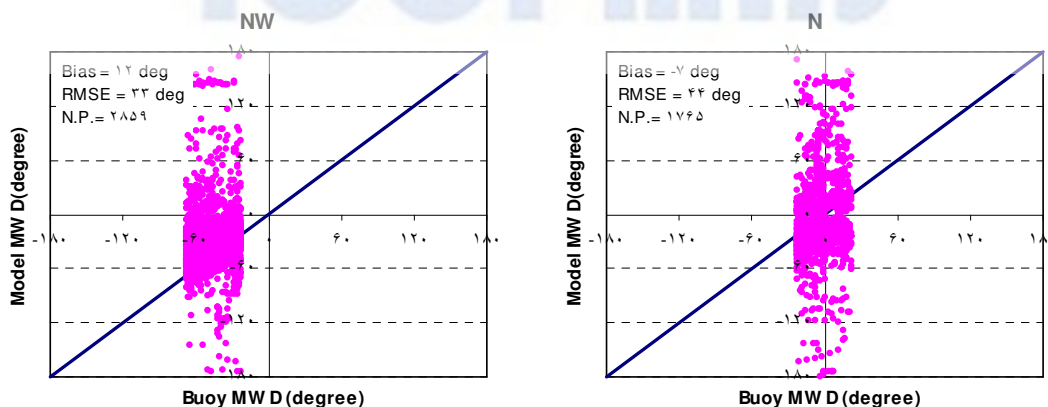
ارزیابی این میدانها در پروژه حاضر شامل بررسی صحت جهت باد و موج شبیه‌سازی شده می‌باشد. چنین بررسیهایی به اجمال در دوره‌های واسنجی و صحت سنجی پروژه مدلسازی موج به انجام رسیده، لیکن اهمیت درستی جهت باد و موج برای انجام پروژه حاضر بررسیهای بیشتری را در این زمینه می‌طلبد. در این راستا ایستگاههای سینوپتیک جزایر شامل ایستگاههای قشم، کیش، ابوموسی و سیری و بویه‌های جهتی نکا، بوشهر و چابهار اطلاعات مناسبی را در اختیار قرار می‌دهند. نمودارهای پراکندگی جهت به‌ویژه پس از تفکیک در ۸ قطاع و پارامترهای آماری در جهات غالب، موید کفایت داده‌های مدلی در کاربردهای جهتی می‌باشند. نمودارهای پراکندگی جهت باد در ایستگاه سینوپتیک کیش در جهات غالب باد در منطقه مطابق شکل ۱ می‌باشد. تعداد مشاهدات ۱۱ ساله سرعت باد در هر جهت نیز بر روی نمودارها ذکر گردیده است.



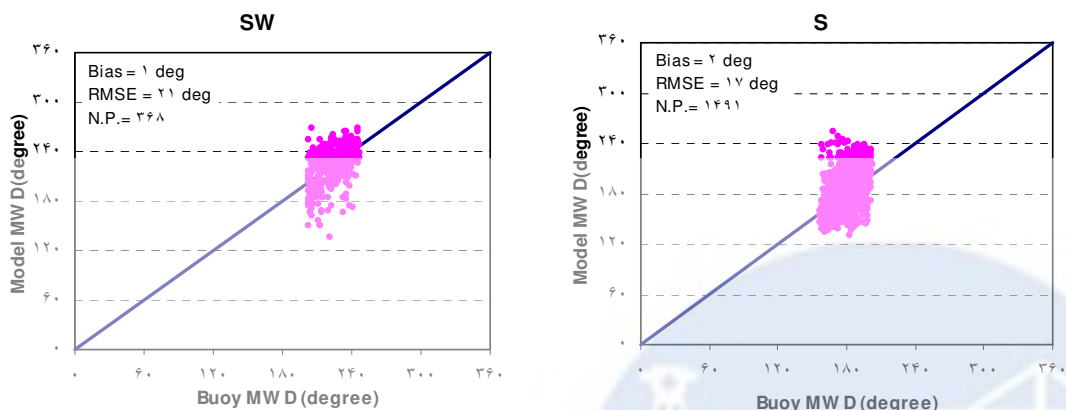
شکل ۱- نمودارهای پراکندگی جهت باد و مقادیر خطای جهت باد مدل در جهت‌های غرب و شمال غربی در ایستگاه کیش

اریبی (Bias) و جذر متوسط مربع خطا (RMSE) مقدار خطا را در محدوده قابل قبولی نشان می‌دهند. پراکندگی نقاط حول خط $y=x$ نیز شاهدی بر این مدعا می‌باشد.

نتایج مدل موج در محل دو بویه جهتی نکا و چابهار در اشکال ۲ و ۳ به‌صورت کلی و پس از تفکیک جهت با اندازه‌گیریها مقایسه شده و هم به لحاظ پارامترهای آماری و هم در نمایش گرافیکی همخوانی خوبی را خصوصا در جهات غالب نشان می‌دهند.



شکل ۲- نمودارهای پراکندگی جهت موج و مقادیر خطای جهت موج مدل در جهت‌های شمال و شمال غربی در بویه نکا



شکل ۳- نمودارهای پراکندگی جهت موج و مقادیر خطای جهت موج مدل در جهت‌های جنوب و جنوب غربی در بویه چابهار

مقایسه‌های جهتی که گزیده‌ای از آنها در اشکال ۱ تا ۳ ارایه گردیده صحت جهت میدانهای انتخابی را نشان داده و درستی نتایج را در صورت درستی عملیات آماری آتی تضمین می‌نماید.

تحلیل حدی داده‌ها

سه روش برای انتخاب داده‌های مورد استفاده در تحلیل مقادیر حدی متداول است. در روش اول از مقادیر احتمال تجمعی کل داده‌ها (مشاهداتی یا محاسباتی) برای برآزش به توابع توزیع پیشنهادی استفاده می‌شود. با مشخص شدن بهترین تابع توزیع، سرعت باد یا ارتفاع موج طراحی با دوره بازگشت دلخواه را می‌توان از برونمایی تابع توزیع در سطح احتمال متناظر با دوره بازگشت رویداد به دست آورد. این روش، روش تابع توزیع تجمعی نامیده می‌شود. بر خلاف این روش، در دو روش دیگر تنها از مقادیر بیشینه داده‌ها در تحلیل حدی استفاده می‌شود. در روش ماکزیم‌های سالانه (Annual Maximum Series) که به اختصار AMS نامیده می‌شود، بزرگترین مقدار داده‌های هر سال وارد محاسبات می‌شود و در روش ماکزیم‌های جزئی (Partial Duration Series) که به اختصار PDS نامیده می‌شود، مقادیر بیشینه هر رویداد (طوفان) در محاسبات منظور می‌شود.

مقادیر حدی به دست آمده با روش‌های فوق، با متغیر تصادفی X توصیف می‌شوند. تابع توزیع تجمعی (Cumulative Distribution Function)، تابع احتمال کوچکتر یا مساوی بودن X نسبت به متغیر x می‌باشد. رویداد x_T نیز (متناظر با دوره بازگشت T سال) بیانگر رویدادی است که به‌طور متوسط در هر T سال دقیقاً یکبار رویدادی بزرگتر یا مساوی آن رخ خواهد داد.

$$F(x) = P \{ X \leq x \} \quad (1)$$

در پروژه حاضر روش ماکزیم‌های سالانه، به دلیل کم بودن تعداد سالهای مدلسازی (۱۱ سال)، داده کافی جهت برآزش توزیع به داده‌ها را فراهم نمی‌کند. ازسوی دیگر در این روش در صورت وقوع دو یا چند رویداد بزرگ در یک سال، فقط بزرگترین رویداد در تحلیل حدی مورد استفاده قرار می‌گیرد. مزیت روش ماکزیم‌های جزئی نسبت به روش ماکزیم‌های سالانه، انتخاب رویدادهای بزرگ در کل مجموعه داده‌ها بدون توجه به زمان وقوع رویداد است. علاوه بر این، محدودیتی در تعداد رویدادهای انتخاب‌شده وجود ندارد. انتخاب داده‌ها در روش ماکزیم‌های جزئی به دو شیوه آستانه ثابت و تعداد رویدادهای ثابت قابل انجام است. البته به‌دلیل گسترده بودن ناحیه مورد مطالعه و متفاوت بودن رژیم موج در نقاط مختلف آن، نمی‌توان آستانه ثابت مناسبی را برای تمام پهنه مورد مطالعه ارایه کرد و لذا از روش تعداد رویدادهای ثابت استفاده شده است.

از بین توابع توزیع توصیه شده برای یک پدیده خاص، هر کدام که بهترین برازش را به داده‌های موجود داشته باشد مورد استفاده قرار می‌گیرد. توابعی برای مقادیر بیشینه باد و موج، توزیع‌های گامبل، گامبل کوتاه‌شده (Truncated Gumbel) و ویبول می‌باشند. توزیع گامبل کوتاه شده که به اختصار TGUM نامیده می‌شود، توزیع اصلاح شده گامبل است که با محدود کردن کرانه پایین توزیع به مقدار آستانه ثابت (X.) به دست می‌آید.

در انتخاب توزیع آماری مناسب، پایین بودن انحراف معیار استاندارد داده‌ها در مقایسه با داده‌های شبیه‌سازی شده به روش مونت کارلو مورد توجه و بررسی قرار گرفته است. آزمونهای آماری خوبی برازش، نمودارهای هیستوگرام فراوانی و درصد احتمال (دوره بازگشت) نیز معرف نزدیکی توزیع انتخابی به داده‌های واقعی می‌باشند که به صورت نقطه‌ای قابل محاسبه و ترسیم می‌باشند. در روش شبیه سازی مونت کارلو (Monte Carlo simulation)، انحراف معیار مقادیر محاسبه شده با توزیع‌های احتمالی، با تولید تصادفی تعداد زیادی از نمونه‌هایی که از توزیع داده‌های مشاهداتی تبعیت می‌کنند محاسبه می‌شود. در این روش با استفاده از توزیع داده‌های مشاهداتی و پارامترهای محاسبه شده ($\hat{\theta}$) آن، m داده محاسبه می‌شود.

$$x_i = F^{-1}(r_i, \hat{\theta}) \quad i = 1, 2, 3, \dots, m \quad (2)$$

r_i عددی بین صفر تا یک است و m تعداد رویدادهای استفاده شده در تحلیل مقادیر حدی است. سپس پارامترهای توزیع آماری و مقادیر حدی توزیع در نمونه تولید شده محاسبه می‌گردد. به عنوان مثال در روش AMS، رویداد T ساله از رابطه زیر محاسبه می‌شود که در آن $\hat{\theta}^{(j)}$ پارامترهای محاسباتی در نمونه تولید شده می‌باشد.

$$\hat{x}_T^{(j)} = F^{-1}\left(\frac{j}{T}; \hat{\theta}^{(j)}\right) \quad (3)$$

مراحل قبل، k بار تکرار می‌شوند. سپس میانگین و انحراف معیار رویدادهای T ساله (X_T) از روابط زیر محاسبه می‌گردند:

$$\bar{x}_T = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k \hat{x}_T^{(j)} \quad (4)$$

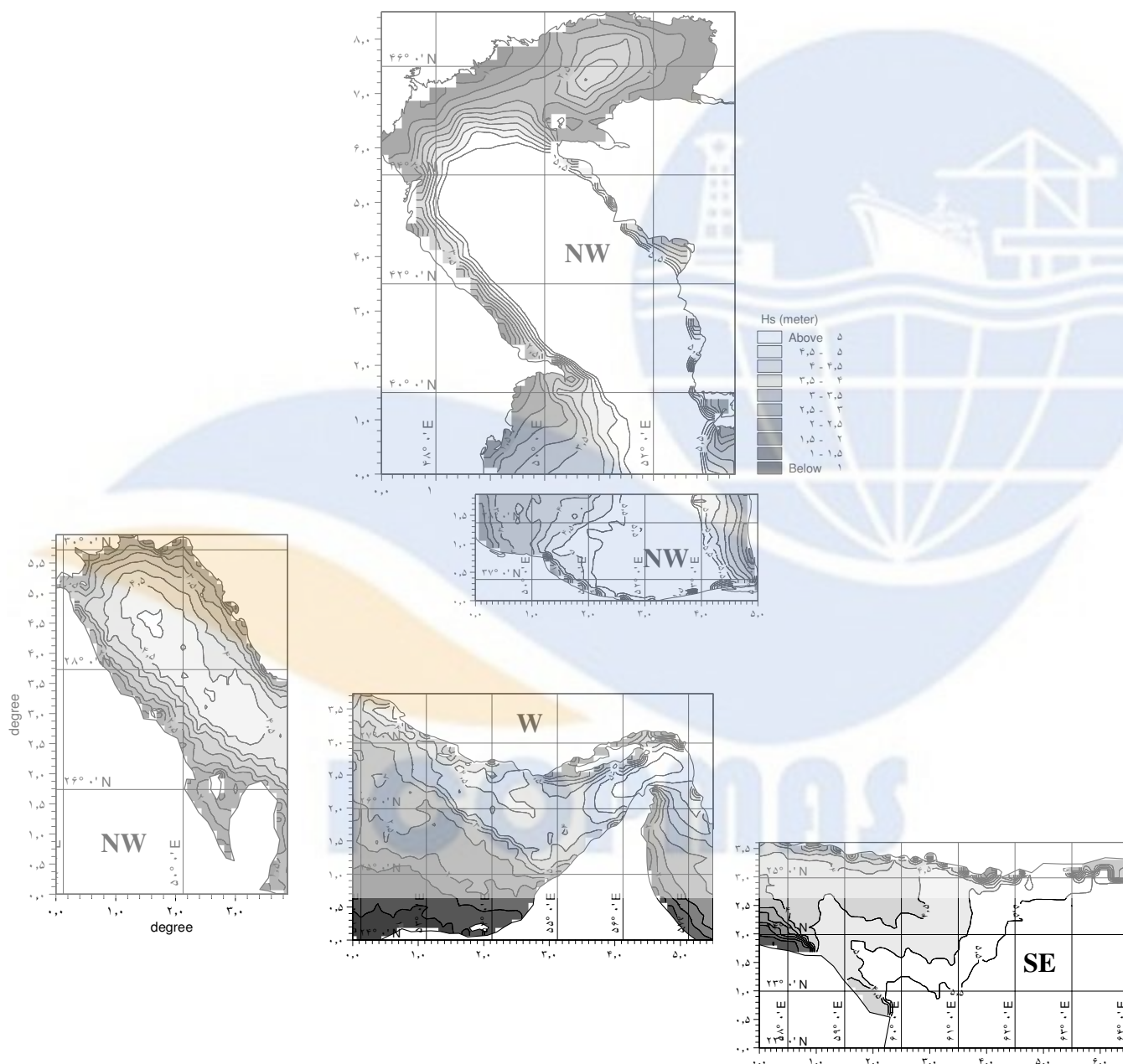
$$s_T^2 = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k (\hat{x}_T^{(j)} - \bar{x}_T)^2 \quad (5)$$

مطابق توصیه‌های موجود در این روش، تکرار مراحل ۱۰۰۰۰ بار صورت گرفته و بنابراین ۱۰۰۰۰ نمونه برای انجام محاسبات این بخش موجود می‌باشد.

هرچه انحراف معیار یک سری داده کمتر باشد، مقادیر محاسبه شده در دوره بازگشت‌های مختلف دارای قطعیت بیشتری می‌باشند. به همین دلیل کم بودن انحراف معیار در یک توزیع معیاری برای مناسب بودن برازش آن توزیع به داده‌ها محسوب می‌گردد. در نهایت توزیع گامبل کوتاه شده بیشترین نزدیکی به داده‌ها را دارا بوده و به عنوان توزیع انتخابی مورد استفاده قرار گرفت. تحلیل‌های مشابهی بر روی ۴۱ طوفان استوایی شبیه‌سازی شده در سالهای ۲۰۰۴-۱۹۷۵ نیز صورت پذیرفته که با توجه به تاثیر گذاری آنها در مناطق دور از ساحل دریای عمان، نتیجه این تحلیل حدی با تحلیل حدی بر روی دوره ۱۱ ساله ۲۰۰۲-۱۹۹۲ ترکیب گردید. لازم به ذکر است که کلیه محاسبات فوق با استفاده از مدول EVA نرم‌افزار Mike انجام شده است.

نتایج

نتایج پروژه تحلیل حدی جهتی به صورت نرم‌افزاری یا گرافیکی می‌تواند نیاز جامعه مهندسی دریایی را تا حد زیادی تامین نماید. مجموعه این نتایج شامل سرعت باد و ارتفاع موج دریاهای ایران در ۸ جهت و با دوره بازگشت‌های ۲۰، ۵۰ و ۱۰۰ ساله با دو توزیع آماری مختلف به همراه انحراف معیار استاندارد متناظر، اطلس باد و موج حدی دریاهای ایران نامگذاری شده است و نمونه‌ای از آنها در شکل ۴ ارایه گردیده است. امید است این مجموعه در تهیه اطلاعات پایه علوم دریایی مثمر ثمر بوده و با اجرای مدل‌های هواشناسی با بزرگنمایی بالاتر و به روز رسانی پروژه مدلسازی امواج دریاهای ایران تکمیل و تدقیق گردد.



شکل ۴- نمودارهای ارتفاع موج ۱۰۰ ساله دریاهای ایران در جهات مختلف

Barnett, V., ۲۰۰۴, Environmental Statistics Method and Application, *John Wiley & Sons*.

Carter, D. J., ۱۹۹۳, Estimating Extreme Wave Heights in the NE Atlantic from Geosat Data, *HSE Books*.

EVA Extreme Value Analysis User Guide, ۲۰۰۰, *DHI Water and Environment*.

EVA Extreme Value Analysis Reference Manual, ۲۰۰۰, *DHI Water and Environment*.

Evans, M., and T. Swartz, ۲۰۰۰, Approximating Integrals via Monte Carlo and Deterministic Methods, *Oxford University press*.

Kamphius, J.W., ۲۰۰۰, Introduction to Coastal Engineering and Management, *World Scientific*.

North Sea Severity Assessment, ۱۹۹۶, *HSE Offshore Technology Reports*.

Directional Extreme Wind and Wave Atlas in Iranian Seas

Soheila Taebi, Aliasghar Golshani and Vahid Chegini

Marine Engineering and Technology Division
Iranian National Center for Oceanography (INCO)
Tehran, Iran, P.O.Box ۱۴۱۵۵-۴۷۸۱, s_taebi@inco.ac.ir

Abstract: Reliable data of wind/wave characteristics are essential for almost all coastal and marine activities. Wind speed and wave height in different return periods have significant effect on marine and coastal structures and their directional values help marine engineers optimize projects layout and cost. In this regards, ECMWF wind field and IWA wave field were selected as the best data sources for long-term analysis. These data were evaluated in magnitude and direction against measured data. Directional extreme values in Caspian Sea, Persian Gulf and Gulf of Oman were calculated by fitting Truncated Gumbel distribution to ۱۱ years simulated data. The results are archived in a data base titled *Directional Extreme Wind/Wave Atlas in Iranian Seas*.

Key words: Long-term Wind and Wave Analysis, Iranian Wind/Wave Atlas, Directional Extreme Values