

مدلسازی عددی توفان حاره‌ای گنو و امواج ناشی از آن در دریای عمان

علی اصغر گلشنی^۱، سهیلا تائبی^۲

۱- استادیار پژوهشی، مرکز ملی اقیانوس شناسی

۲- مربی پژوهشی، مرکز ملی اقیانوس شناسی

چکیده

هدف از این مطالعه، شبیه‌سازی میدان باد حاصل از توفان گنو و امواج ناشی از آن در دریای عمان می‌باشد. میدان باد این توفان با استفاده از مدل CGW از نرم افزار مایک ۲۱ و اطلاعات مسیر حرکت توفان گنو و اطلاعات باد ماهواره‌ای QuikSCAT شبیه‌سازی می‌شود. سپس با استفاده از مدل نسل سوم موج SW از نرم افزار مایک ۲۱ و میدان باد شبیه‌سازی شده گنو و شرایط مرزی موج مستخرج شده از مدل ECWMF، امواج ناشی از این طوفان شبیه‌سازی می‌شوند. میدان باد شبیه‌سازی در چابهار با اندازه‌گیریهای انجام شده توسط ایستگاه سازمان هواشناسی مقایسه شده و تطابق نسبتاً خوبی را از لحاظ سرعت باد بیشینه نشان می‌دهد. مدل‌سازی موج نشان می‌دهد که در اثر وقوع این توفان موجهای بیشینه با ارتفاع مشخصه ۱۰/۵ متر در دریای عمان و ۳/۸ متر در بندر چابهار ایجاد می‌شوند. این نتایج در مقایسه با برداشت بویه‌ای در بندر چابهار حدود ۱۲ درصد بیشتر است که در جهت اطمینان می‌باشد. عدم مشخص بودن شعاع سیکلون در پیش‌بینی‌های هواشناسی قبل از وقوع توفان و کم بودن نقاط اندازه‌گیری باد در دریای عمان از محدودیت‌های انجام این تحقیق می‌باشد. با داشتن اطلاعات مربوط به پیش‌بینی وقوع توفان و با اجرای مدل موج قبلا واسنجی شده می‌توان ماکزیمم ارتفاع موج مشخصه محتمل در سواحل کشور را پیش‌بینی نموده و در صورت لزوم هشدارهای لازم قبل از وقوع توفان به مردم مستقر در سواحل در معرض خطر برای تخلیه ارائه کرد.

کلمات کلیدی: توفان گنو، مدلسازی عددی توفان، مدلسازی عددی امواج ناشی از توفان

Numerical Modeling of Gonu Cyclone and Its Resulting Waves in the Gulf of Oman

Aliasghar Golshani¹, Soheila Taebi²

1-Research Assistant Professor, Iranian National Centre for Oceanography

2-Research Fellow, Iranian National Centre for Oceanography

Abstract

The goal of this study was to simulate the Gonu cyclone and its resulting waves in the Gulf of Oman. The Gonu cyclone wind field was simulated using CGW module of Mike 21 and cyclone track data. Then, using SW module of Mike 21, the simulated wind field and ECMWF parametric boundary condition, the resulting wave field was simulated. The maximum significant wave height of 10.5 m in the Gulf of Oman and 3.8 m in Chabahar was simulated during Gonu cyclone occurrence. This wave height in Chabahar is 12% more than the buoy measurement which is in the safe side for design purposes. Uncertainty in the cyclone radius and insufficiency of the wind measurement points in the study area are major limitations of this research. The wave forecast study of this cyclone is useful in studying the wave climate in the Gulf of Oman and will provide engineers with valuable data for designing coastal structures. This model enables us to estimate the maximum significant wave height during cyclone

occurrences. The results were reported to responsible authorities leading to a successful evacuation of the coastal regions and saving a significant number of lives.

Keywords: Gonu cyclone, Cyclone wind field simulation, Cyclone-induced wave field simulation

۱- مقدمه

کیلومترها حرکت کرده و با سرعت بالای باد، ایجاد امواج بزرگ و حرکت گسترده رسوبات، سازه‌های ساحلی را در معرض تهدید قرار دهند. مسیر توفانها در بخش شمالی اقیانوس هند و نیز در دریای عربی به سمت شمال منحرف می‌شود (شکل ۱).

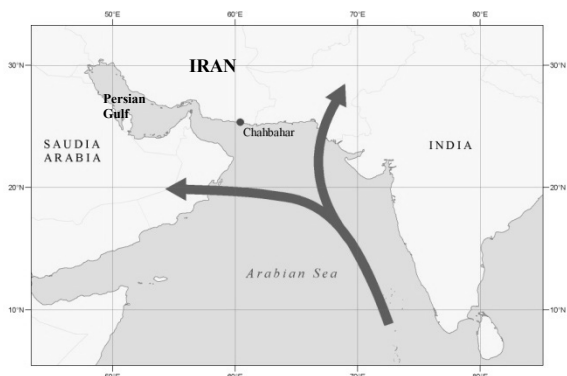
نامگذاری دیگر چرخندها، بر اساس سرعت باد و مطابق جدول ۱ می‌باشد. یکی از مقیاسهای متداول جهت مقایسه قدرت توفانهای استوایی، مقیاس سفیر سیمسون (Saffir-Simpson) است که به مدتی بیش از ۲۰ سال در مرکز مطالعات هواشناسی ایالات متحده به کار برده شده است [۳]. این مقیاس بر مبنای سرعت باد و میزان خسارات وارده به سازه‌ها در ۵ درجه (۱ تا ۵) تقسیم‌بندی شده و در جدول زیر معرفی شده است.

با افزایش تراکم جمعیت و تاسیسات موجود در نواحی ساحلی، بررسی مخاطرات این مناطق که باعث بروز صدمات مالی و جانی می‌گردد، از اهمیت فزاینده‌ای برخوردار گردیده است. یکی از این پدیده‌های طبیعی که از سویی تعادل در چرخه طبیعت را برقرار و از سوی دیگر دستاوردهای تمدن بشری در نواحی ساحلی را تهدید می‌کند، توفان است.

سواحل جنوبی ایران، در حاشیه دریای عمان تحت تأثیر توفان‌های حاره‌ای قرار دارند و این در حالی است که این توفان‌ها قادرند امواج بزرگی را بوجود آورند که یکی از شرایط مهم طراحی در این سواحل را شکل دهد.

۲- ماهیت توفانهای حاره‌ای

علت اصلی وقوع توفانهای حاره‌ای گرادیان فشار است. فشار مرکز این توفانها در اغلب موارد کمتر از ۱۰۰۵ میلی‌بار است و در توفانهای بسیار شدید به مقادیر کمتر از ۹۹۰ میلی‌بار هم می‌رسد. اختلاف دما و فشار، منبع تامین انرژی سیال (ذرات هوا) برای حرکت است. مجموعه کم فشار به شکل چرخند کم فشار و کوچک مقیاس از مناطق حاره‌ای شروع به حرکت کرده و مسیر خود را به صورت استوانه‌ای با مقطع دایره یا بیضی با بعد افقی در مقیاس ۱۰۰۰ کیلومتر، با چرخش پادساعتگرد در نیمکره شمالی و ساعتگرد در نیمکره جنوبی ادامه می‌دهد. از سوی دیگر، توفانهای حاره‌ای بخش اجتناب ناپذیری از چرخش کلی هوا می‌باشد که باعث انتقال گرما، رطوبت و ممنوم از نواحی حاره به عرضهای بالای کره زمین می‌گردد [۱]. این پدیده به‌طور معمول در صورت تجاوز سرعت باد از ۳۳ متر بر ثانیه در اقیانوس اطلس و شرق اقیانوس آرام توفند (Hurricane)، در غرب اقیانوس آرام تایفون (Typhoon) و در اقیانوس هند سیکلون (Cyclone) نامیده می‌شود [۲]. این توفانها می‌توانند



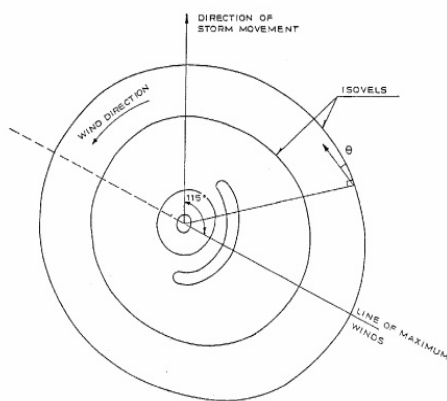
شکل ۱ - مسیر توفانهای حاره‌ای در دریای عربی

۳- نحوه محاسبه ریاضی توفانهای حاره‌ای

الگوی کلی توفانها مطابق شکل ۲ می‌باشد. خط سرعت بیشینه دارای زاویه ۱۱۵ درجه در جهت ساعتگرد نسبت به خط مسیر حرکت توفان بوده و چرخش مجموعه در نیمکره شمالی به صورت پادساعتگرد و در نیمکره جنوبی ساعتگرد است. جهت حرکت باد در هر نقطه، موازی با مماس بر خطوط

سرعت کلی باد نیز با استفاده از رابطه (۵) قابل محاسبه است.

$$V = V_r + V_t \quad (5)$$



شکل ۲- الگوی کلی خطوط هم‌فشار و جهت حرکت در توفانهای حاره‌ای

۴- اطلاعات مربوط به توفانهای حاره‌ای

سرعت بیشینه، مسیر حرکت و زمان تداوم و تواتر وقوع توفانهای حاره‌ای در سالهای مختلف متفاوت است. یکی از چالش‌های ارزیابی شکل‌گیری امواج ناشی از توفانهای حاره‌ای در دریای عربی و دریای عمان محدودیت وجود و دستیابی به داده‌های تاریخی است. با وجود اینکه مسیر وقایع توفان‌های تاریخی در منابع متعدد ارائه شده است، اما شدت آنها جز مواردی که در ۳۰ سال اخیر رخ داده‌اند، به خوبی مشخص نیست. اطلاعات نسبتاً دقیقی از سرعت، مسیر و تاریخ وقوع توفانها در سه دهه اخیر به کمک اندازه‌گیریهای ماهواره‌ای گردآوری شده و از طریق سایت‌های اینترنتی مختلف در دسترس است [۵]. اطلاعات سالهای دورتر محدود به مسیر توفانها بوده و داده‌های کمی آنها موجود نیست. مسیر توفانهای استوایی ۱۰۰ ساله (۱۹۹۵-۱۸۹۵) مطابق شکل ۳ می‌باشد.

همانگونه که مشاهده می‌شود به دلایل مختلف از جمله وجود شبه جزیره عربستان به عنوان یک مانع فیزیکی، این توفانها اغلب سواحل غیر ایرانی منطقه را متاثر می‌کنند و تاثیر آنها به صورت امواج دورآ به سواحل جنوبی کشور منتقل می‌شود.

هم‌فشار و با زاویه انکسار θ نسبت به مرکز توفان است و مقدار انکسار ناشی از اصطکاک هوا و آب از رابطه (۱) محاسبه می‌شود [۴].

$$\begin{aligned} \theta &= 10^\circ \quad \text{for } 0 < R < R_m \\ \theta &= 10^\circ + (R - R_m) / (0.2R_m) \times 15^\circ \\ &\text{for } R_m < R \leq 1.2R \\ \theta &= 25^\circ \quad \text{for } 1.2R_m < R \end{aligned} \quad (1)$$

R_m فاصله مرکز توفان با نقطه‌ای است که بیشترین سرعت را دارد. فشار در هر نقطه نیز از رابطه (۲) محاسبه می‌گردد که در آن P_n فشار خنثی و P_c فشار مرکز توفان است.

$$P = P_c + (P_n - P_c) \exp\left(-\frac{R_m}{R}\right) \quad (2)$$

میدان باد شامل دو مولفه چرخشی و انتقالی است. در فاصله R از مرکز توفان، سرعت چرخشی V_r بر اساس روابط (۳) محاسبه می‌گردد که در آنها V_{max} بیشینه سرعت توفان بوده و R و R_m بر حسب کیلومتر هستند.

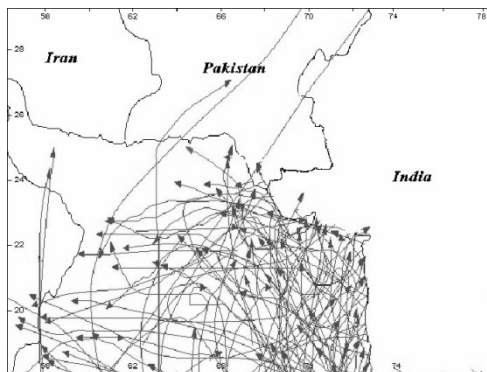
$$\begin{aligned} V_r &= V_{max} \left(\frac{R}{R_m}\right)^7 \times \exp\left(7\left(1 - \frac{R}{R_m}\right)\right) \\ &\text{for } R < R_m \\ V_r &= V_{max} \times \exp\left((0.0025R_m + 0.05)\left(1 - \frac{R}{R_m}\right)\right) \\ &\text{for } R \geq R_m \end{aligned} \quad (3)$$

سرعت انتقالی V_t نیز مطابق رابطه (۴) محاسبه می‌شود که در آن V_f سرعت جابجایی توفان و φ زاویه میان خط واصل نقطه به مرکز توفان و خط بیشینه سرعت باد است.

$$V_t = -0.5V_f (-\cos \varphi) \quad (4)$$

جدول ۱ - مشخصات انواع چرخندهای حاره‌ای و امواج حاصله

نوع سامانه باد	مشخصات باد	مشخصات موج
Tropical Depression (کم فشار حاره‌ای)	< 45 mph سرعت باد	$\frac{H(m)}{1-4}$ $\frac{T(s)}{4-8}$
Tropical Storm (توفان حاره‌ای)	45 to 75 mph: سرعت باد	$\frac{H(m)}{5-8}$ $\frac{T(s)}{5-9}$
Hurricane (توفند)	> 75 mph سرعت باد	Saffir Sipsmon Scale $\frac{H(m)}{}$ $\frac{T(s)}{}$ 1 4-8 7-11 2 6-10 9-12 3 8-12 11-13 4 10-14 12-15 5 12-17 13-17



شکل ۳ - مسیر حرکت توفانهای استوایی ۱۰۰ ساله شمال غربی اقیانوس هند (۱۹۹۵-۱۸۹۵)

۵ - توفان گنو

شمال غرب حرکت کرده و پس از رسیدن به سواحل کشور عمان مسیر خود را در جهت شمال غرب ادامه داده است. در طول این مسیر بر اساس طبقه بندی سفیر سیمسون به ترتیب در تاریخ سوم ژوئن در رده ۱ و ۲ و در چهارم به رده ۴ و ۵ ارتقاء یافته است. از روز پنجم به بعد شدت توفان آن کاهش یافته، بطوریکه در ابتدای روز پنجم به رده ۴ و در پایان آن روز به رده ۲ نزول کرده است. در ابتدای روز ششم توفان گنو کاملاً تضعیف شده و به رده ضعیف ترین نوع چرخند حاره‌ای یعنی رده ۱ تبدیل شده است. در بعد از ظهر روز ششم توفان گنو تبدیل به یک توفان حاره‌ای شده و بالاخره در روز هفتم ژوئن به صورت کم فشار حاره‌ای درآمده است.

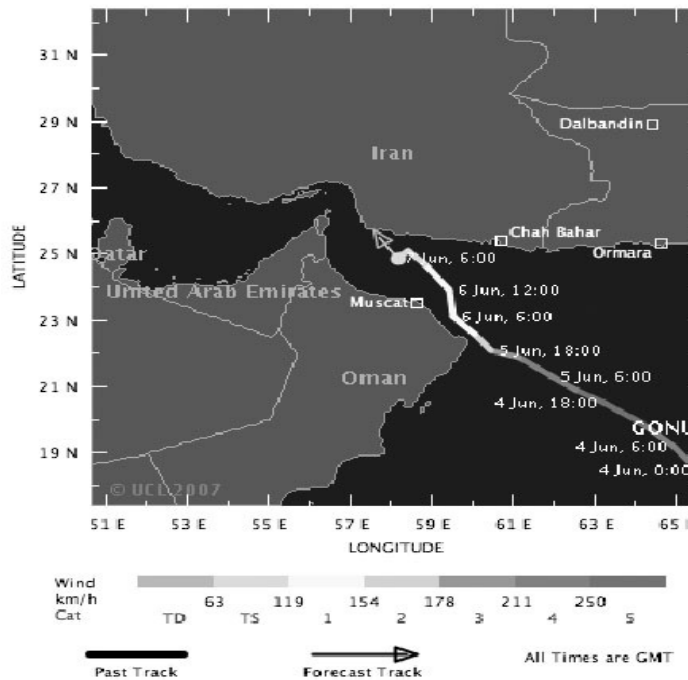
تشکیل و فعالیت توفان گنو با شدت و توان توفان اخیر در دریای عرب بسیار نادر بوده و ایجاد آن شرایط ویژه ترمودینامیکی اقیانوسی را طلب می‌کند. بنا بر مشاهدات ثبت شده وقوع این نوع توفان در دریای عرب در ۶۰ سال گذشته بی‌سابقه بوده است [۶].

۵-۱- مسیر حرکت، چگونگی تکامل و از بین رفتن توفان گنو

مسیر حرکت و چگونگی تشدید، تضعیف، تبدیل و از بین رفتن توفان در جدول ۲ و شکل ۴ نشان داده شده است. همانطور که در جدول ۲ و شکل ۴ نشان داده شده است، توفان گنو پس از تشکیل در دریای عربی بسمت

جدول ۲ - دسته بندی توفان گنو در دوره فعالیت از تاریخ ۲ تا ۷ ژوئن ۲۰۰۷

Date/Time	Type	Maximum Wind Speed (kt)	Location (Lat/Lon)
2007/06/02 12h	Tropical Storm	55	15.3, 67.1
2007/06/03 12h	Hurricane Category 1	65	17.5, 66.6
2007/06/03 18h	Hurricane Category 2	90	18.2, 66
2007/06/04 06h	Hurricane Category 4	130	19.2, 64.9
2007/06/04 12h	Hurricane Category 5	140	19.9, 64.1
2007/06/05 00h	Hurricane Category 4	135	20.9, 62.5
2007/06/05 18h	Hurricane Category 2	90	22.1, 60.4
2007/06/06 12h	Hurricane Category 1	70	23.9, 59.4
2007/06/06 18h	Tropical Storm	60	24.7, 58.8
2007/06/07 06h	Tropical Depression	25	25.5, 57.7



شکل ۴ - مسیر حرکت، چگونگی تشدید، تبدیل، تضعیف و از بین رفتن توفان گنو

۶ - نحوه تولید میدان باد گنو

جغرافیایی مرکز توفان، فاصله مرکز توفان تا نقطه وقوع بیشینه سرعت، فشار مرکز، فشار خنثی (برابر با ۱۰۱۳ میلی بار) و بیشینه سرعت به صورت سری زمانی و معرفی یک شبکه مکانی منظم از منطقه، میدان باد را بر روی شبکه با گام زمانی مساوی و دلخواه تولید کند.

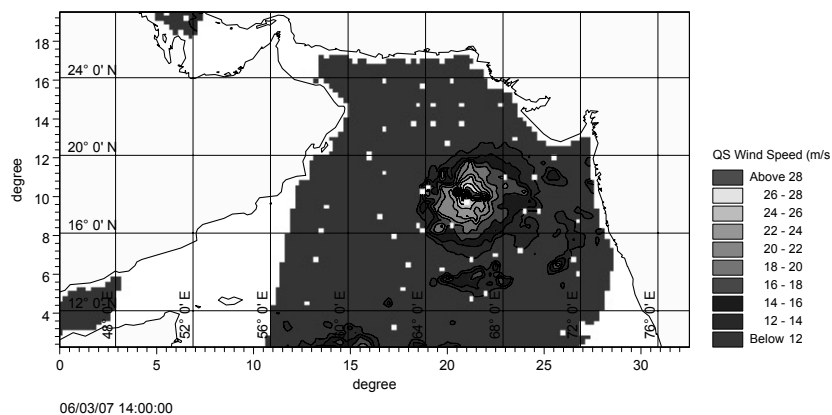
برنامه CWG (Cyclone Wind Generation)

از زیر برنامه‌های Mike21 قادر است بر اساس روابط تحلیلی (۱) تا (۵) و با استفاده از چندین ورودی شامل موقعیت جغرافیایی مرکز توفان، فاصله مرکز توفان تا نقطه وقوع بیشینه سرعت، فشار مرکز، فشار خنثی موقعیت

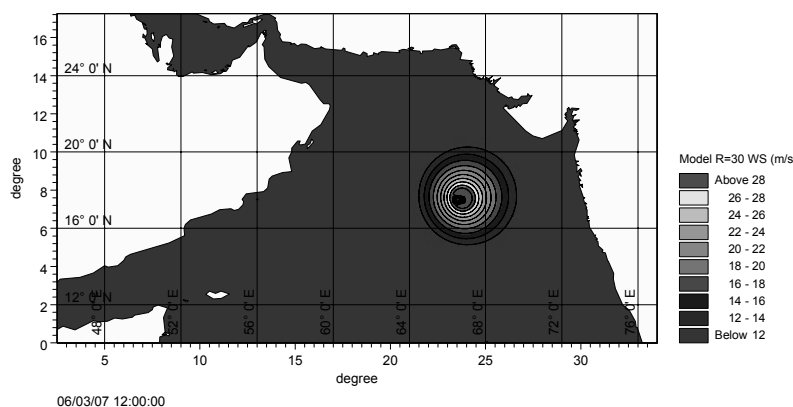
شده متناظر آن با شعاع ۳۰ کیلومتر در شکل ۶ ارائه شده است. همچنین این میدان باد شبیه‌سازی شده در چابهار با اندازه‌گیری‌های انجام شده توسط ایستگاه سازمان هواشناسی مقایسه شده است (شکل ۷). جهت باد برداشت شده توسط این دو ایستگاه با هم تطابق نداشته‌اند، لذا به دلیل عدم اعتماد به جهت آنها مقایسه جهتی انجام نشده است. با توجه به اینکه کل میدان باد توفان به عنوان انرژی ورودی مولد موج به مدل حایز اهمیت است، مقایسه اشکال ۵ و ۶ نشان می‌دهد که این میدان باد شبیه‌سازی شده بصورت کلی از دقت خوبی برخوردار است، هر چند که این میدان باد نیز تطابق نسبتاً خوبی را با اندازه‌گیری‌های انجام شده در چابهار از لحاظ سرعت باد پیشینه نشان می‌دهد.

این فایل به فرمت dfs2 بوده و با درشتنمایی ۰/۲۵ درجه در برگزیده کل محدوده مطالعاتی تا مرز ۱۰ درجه و گام زمانی ۳ ساعت است. برای منظور نمودن زمان warm-up و انتقال کامل اثر توفان به دریای عمان، زمانی معادل یک هفته شرایط بدون باد به قبل و بعد از دوره وقوع توفان اضافه شده است. کلیه اطلاعات مورد نیاز ورودی برنامه تولید توفان از برداشتهای ماهواره‌ای در دسترس بوده و فاصله مرکز توفان از نقطه پیشینه سرعت بر اساس بررسی توفان برداشت شده توسط ماهواره QuikSCAT در می ۲۰۰۷ و با متغیر در نظر گرفتن آن از ۱۰ تا ۳۰ کیلومتر جهت دستیابی به واسنجی (کالیبراسیون) مناسب در محل بویه چابهار انتخاب گردیده است. یک گام زمانی دلخواه از میدان

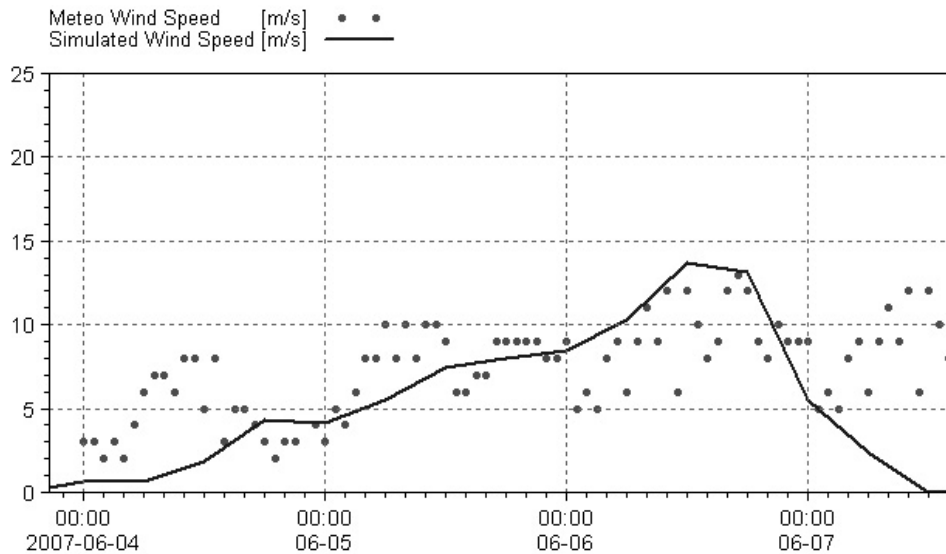
با



شکل ۵ - یک گام زمانی از توفان گنو برداشت شده توسط ماهواره QuikSCAT



شکل ۶ - یک گام زمانی از توفان گنو شبیه‌سازی شده با شعاع ۳۰ کیلومتر



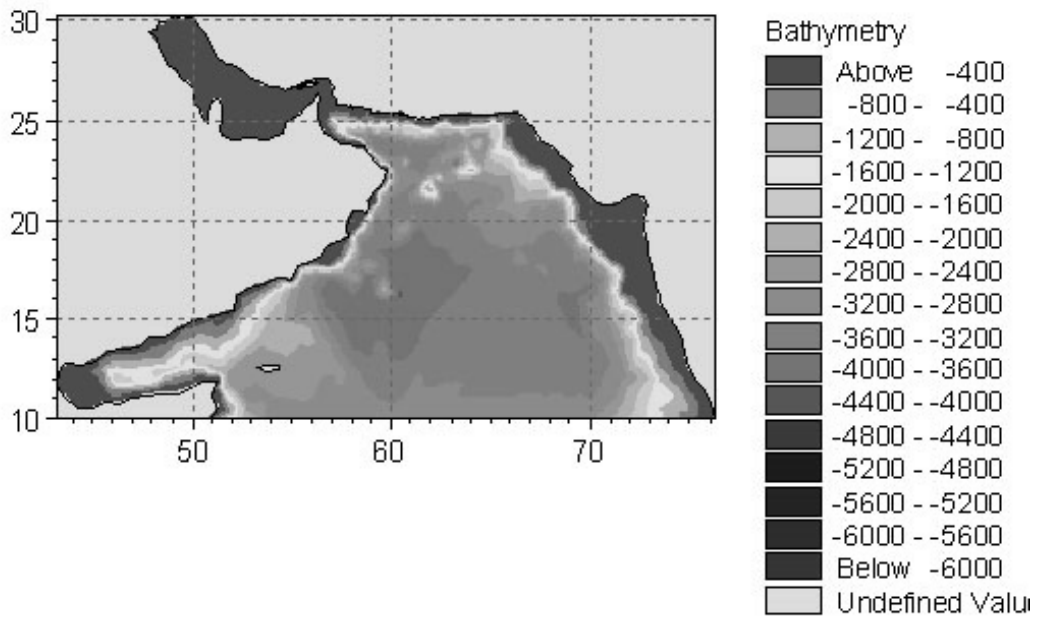
شکل ۷ - مقایسه سرعت میدان باد شبیه سازی شده با اندازه‌گیری‌های انجام شده توسط ایستگاه سازمان هواشناسی در چابهار

ژرفاسنجی و شبکه‌بندی مدل توفانهای استوایی مطابق اشکال ۸ و ۹ است.

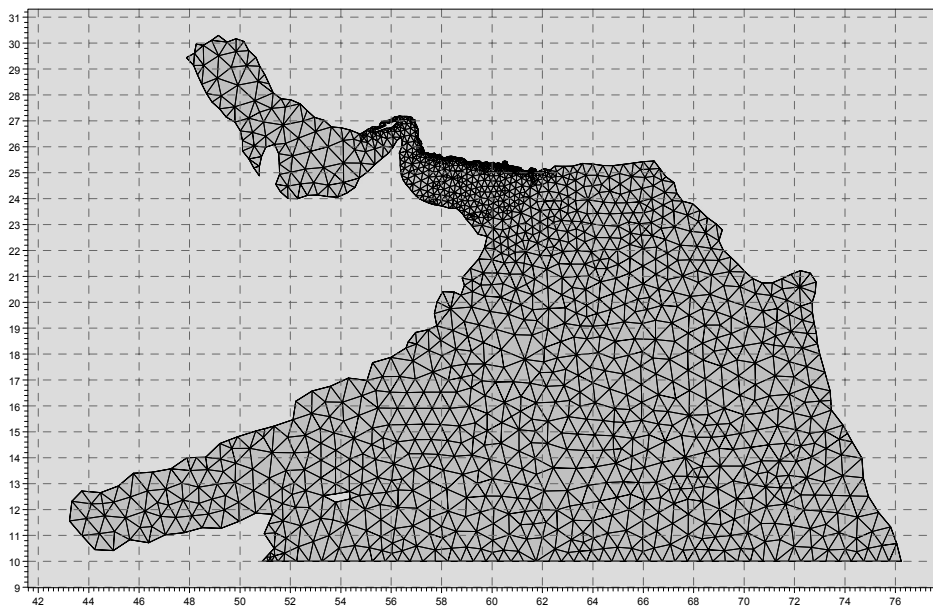
با توجه به اینکه این مدل قبلا در فاز سوم پروژه مدلسازی امواج دریا‌های ایران با استفاده از داده‌های بویه ای در چابهار (بصورت ناپیوسته و به مدت ۱۵ ماه از تاریخ ۱۹۹۸/۵ تا ۲۰۰۰/۲) واسنجی شده بود، انتخاب مقادیر سایر پارامترهای ورودی مدل از قبیل ضرایب شکست و اصطکاک بستر بر اساس همان مقادیر استفاده شده در آن پروژه صورت می‌گیرد [۷]. ضرایب شکست آلفا برابر ۱ و گاما برابر ۰/۸ بصورت ثابت در منطقه و ضریب اصطکاک بستر (پارامتر نیکودارزه (Nikudarse)، بصورت متغیر در منطقه و برابر با ۰/۱۶۵ متر در دریای عمان در نظر گرفته شد. شرط مرزی مورد نیاز بر روی عرض ۱۰ درجه شمالی از مدل جهانی ECMWF [۸] با درشتنمایی ۰/۵ درجه استخراج و پس از تبدیل آن به فرمت مناسب، بصورت شرط مرزی پارامتری به مدل معرفی گردیده است.

۷ - نحوه تولید موج حاصل از میدان باد گنو

پس از تولید میدان باد، فایل‌های ژرفاسنجی و شبکه‌بندی منطقه نیز تولید شده و به همراه فایل باد و شرط مرزی، جهت اجرای مدل موج مورد استفاده قرار گرفته است. مدل ریاضی بکار برده شده در این پروژه برای پیش‌بینی مشخصه‌های امواج، مدل طیفی موج SW (Spectral Wave) از نرم افزار Mike21 است. مبنای این مدل برای پیش‌بینی موج، حل معادله انتقال انرژی همراه با ترم‌های چشمه و چاه می‌باشد. به‌منظور لحاظ کردن طبیعت تصادفی امواج دریا، معادله انتقال انرژی در شکل طیفی آن در نظر گرفته می‌شود. استخراج اعماق از داده‌های MIKE C-Map انجام شده و تصحیح این مقادیر از سطح مبنا (Chart Datum) به تراز میانگین دریا (Mean Sea Level) انجام شده است. فایل شبکه‌بندی نیز با توجه به اهمیت توفانهای استوایی در دریای عمان تهیه و ریزترین اجزا به این منطقه اختصاص داده شده است.



شکل ۸ - ژرفاسنجی مدل توفان گنو

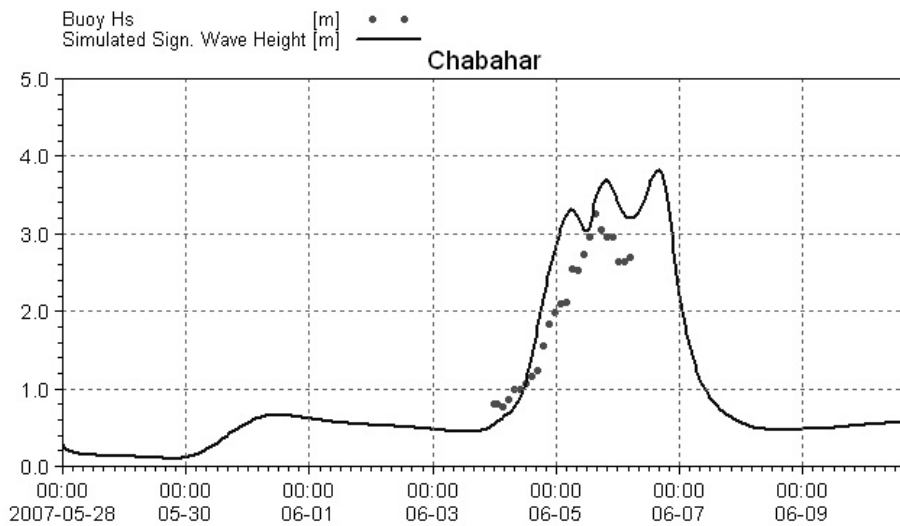


شکل ۹ - شبکه بندی مدل توفان گنو

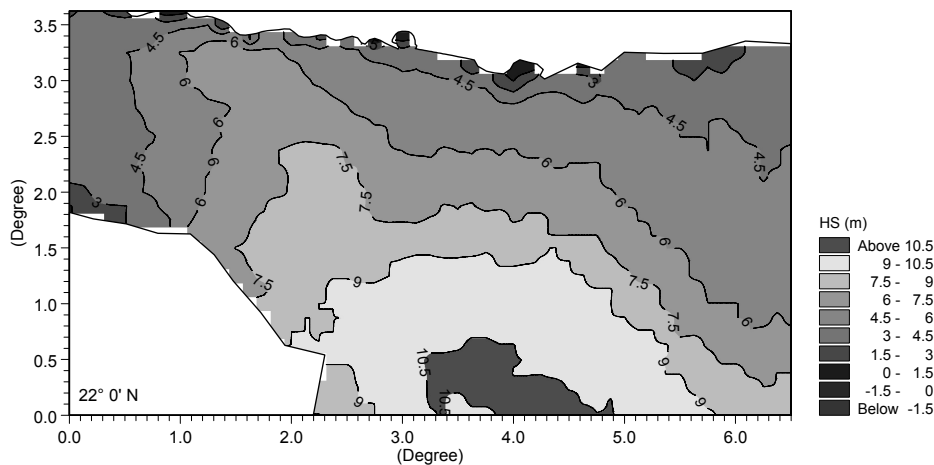
۸- واسنجی نتایج

دو سری داده می‌باشد، ارایه شده است (اریبی = Bias = 0.41 m ، جذر میانگین مربع خطاها RMSE = 0.59 m و ضریب همبستگی CC = 0.94). با توجه به مقادیر معمول هر یک از پارامترهای فوق برای ارتفاع موج که به منظور ارزیابی مدل‌های مختلف موج در مراجع معتبر ارایه شده است ([۹]، [۱۰]، [۱۱]، [۱۲])، تقریباً تمامی نتایج مدل در این محدوده بوده و از دقت خوبی برخوردار می‌باشند. همچنین شکل ۱۱ نقشه موج شاخص بیشینه ایجاد شده در دریای عمان در اثر عبور توفان گنو را نشان می‌دهد.

فقر داده‌های اندازه‌گیری شده در دریای عمان، واسنجی و صحت سنجی نتایج را تا حدی مشکل می‌کند. صحت سنجی نتایج با تنها برداشت موج غیر جهتی همزمان با وقوع توفان در بویه چابهار انجام شده است. شکل ۱۰ مقایسه ارتفاع موج شاخص بویه را با ارتفاع موج شاخص شبیه سازی شده نشان می‌دهد. با توجه به این شکل نتایج مدلسازی کمی دست بالا می‌باشد (حدود ۱۲ درصد برای موج بیشینه) که در جهت اطمینان است. جهت بررسی دقیق‌تر میزان دقت واسنجی، پارامترهای آماری نیز که بیانگر دقت انطباق



شکل ۱۰ - مقایسه ارتفاع موج شاخص بویه با ارتفاع موج شاخص شبیه سازی شده در چابهار



شکل ۱۱ - نقشه موج شاخص بیشینه ایجاد شده در دریای عمان در اثر عبور توفان گنو

۹ - نتیجه گیری

- 2- Coastal Engineering Manual, Part IV; Chapter 1: Coastal Terminology and Geologic Environments, (2002), Department of the Army; US Army Corps of engineers, Washington DC, USA.
- 3- Coastal Engineering Manual; Part II; Chapter 2: Meteorology and Wave Climate, (2002), Department of the Army; US Army Corps of engineers, Washington DC, USA.
- 4- Mike 21 Wave Modeling Manual (2003), DHI Water & Environment.
- 5- <http://weather.Unisys.com>
- 6- http://news.bbc.co.uk/2/hi/middle_east/6722749.stm
- 7- Taebi et al., (2007), An Approach towards Wave Climate Study in the Persian Gulf and the Gulf of Oman: Simulation and Validation, Journal of Marine Engineering, Vol.4, No. 7, p.11-32.
- 8- <http://www.ECMWF.int>
- 9- Caires, S., and Strel, A., (2001), Comparative Assessment of ERA-40 Ocean Wave Data, Global Change Open Science Conference, Amsterdam.
- 10- Cairesm, S., Biodlet, J. R., Graham, N., and Swail, V.R., (2002), Climatological Assessment of Reanalysis Ocean Data, 7th international workshop on wave hindcasting and forecasting, Banff, Canada, p. 1-12.
- 11- Cox, A. T., and Swail, V.R., (2000), A Global Wave Hindcast over the Period 1958-1997: Validation and Climate Assessment, Journal of Geophysical Research, Vol. 106, No. C2, p. 2313-2329.
- 12- Wyatt, L.R., Green, J.J., Gurgel, K. W., Nieto Borge, J.C., Reichert, K., Hessner, K., Rosenthal, W., Saetra, Ø., and Reistad, M., (2003), Validation and Intercomparisons of Wave Measurements and Models during the EuroROSE Experiments, Journal of Coastal Engineering, 48:1-28.

- در این تحقیق در ابتدا مدل سازی ریاضی میدان باد توفان گنو با استفاده از اجرای مدل CWG و میدان باد برداشت شده توسط ماهواره QuikSCAT انجام پذیرفت. این میدان باد شبیه سازی شده در چابهار با اندازه گیری های انجام شده توسط ایستگاه سازمان هواشناسی مقایسه شد و تطابق نسبتاً خوبی را از لحاظ سرعت باد بیشینه نشان داد.
- سپس با استفاده از اجرای مدل طیفی موج SW که قبلاً در دریای عمان واسنجی شده بود، میدان موج در این دریا شبیه سازی شد. نتایج این مدل سازی نشان می دهد که در اثر وقوع این توفان ماکزیمم موج با ارتفاع مشخصه ۱۰/۵ متر در دریای عمان و ۳/۸ متر در بندر چابهار ایجاد می شود. صحت سنجی نتایج با تنها برداشت موج غیر جهتی همزمان با وقوع توفان در بویه چابهار انجام شده و مقایسه ارتفاع موج مشخصه بویه با ارتفاع موج مشخصه شبیه سازی شده نشان می دهد که نتایج مدل سازی کمی دست بالا می باشد (حدود ۱۲ درصد برای موج بیشینه) که در جهت اطمینان است.
- با داشتن اطلاعات مربوط به پیش بینی وقوع توفان و با اجرای مدل موج که قبلاً در دریای مورد نظر برپا و واسنجی شده است، می توان ماکزیمم ارتفاع موج مشخصه محتمل در سواحل کشور را پیش بینی نموده و در صورت لزوم هشدارهای لازم را قبل از وقوع توفان به مردم مستقر در سواحل در معرض خطر برای تخلیه ارائه کرد.

۱۰ - مراجع

- 1- Davis, R.E., Michaels, P.J., and Heyden, B.P., (2002), Overview of Extratropical Cyclones, in Pielke, R. Jr and Pielk, R. Sr(eds.), Storms, Volume 1, Routledge Publisher, p. 401-426.