

## بررسی اقلیم موج در بندر امیرآباد با اجرای مدل محلی Mike21-SW

### و روش‌های نیمه تجربی

مهدی قربانی طالقانی<sup>۱\*</sup> و علی اصغر گلشانی<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد فیزیک دریا، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، نوره، ایران  
<sup>۲</sup> استادیار، گروه فیزیک دریا، مرکز ملی اقیانوس‌شناسی، تهران، ایران

(دریافت: ۸۷/۷/۲۱، پذیرش نهایی: ۸۹/۷/۲۸)

#### چکیده

پیش‌بینی امواج در پنج دهه اخیر با به کارگیری مدل‌های ریاضی مبتنی بر معادله پایداری انرژی، شاهد پیشرفت‌های چشمگیری بوده است. این مدل‌ها نیز به نوبه خود دستخوش تغییرات بسیاری شده‌اند که پیشرفته‌ترین آنها مدل‌های طیفی نسل سوم نظیر Mike21-SW (توسعه یافته از سوی موسسه هیدرولیک دانمارک Danish Hydraulic Institute) هستند. این مدل‌ها با فرمول‌بندی مبانی فیزیکی تولید، انتشار امواج ناشی از باد و فرایندهای خاص آب کم‌عمق نظیر شکست ناشی از عمق و اثر بستر، نتایج قابل اطمینانی را عرضه می‌کنند. در این مقاله ابتدا با استفاده از روش‌های نیمه تجربی JONSWAP, CEM, SPM, SMB مشخصات موج در آب‌های دور از ساحل بندر امیرآباد محاسبه شده و سپس با داده‌های بویه بندر امیرآباد و بویه نکا مقایسه شده است. با توجه به اهمیت راهبردی منطقه دریایی بندر امیرآباد در دریای خزر، با استفاده از مدل SW از بسته نرم‌افزاری مایک ۲۱ اقدام به شبیه‌سازی امواج در این منطقه شد. برای این کار ناحیه اطراف بندر با استفاده از مش‌های نامنظم به ابعاد ۵۰۰ متر شبکه‌بندی می‌شود و شرایط اولیه برای این مدل از داده‌های طرح مدل‌سازی امواج دریاهای ایران وارد می‌شود. برای واسنجیدن (کالیبره کردن) مدل نیاز به داده‌های اندازه‌گیری موج است که بدین منظور از داده‌های بویه امیرآباد و بویه نکا استفاده می‌شود. با مقایسه ضریب همبستگی بین داده‌های بویه و روش‌های نیمه تجربی و مدل عددی SW مشخص می‌شود که مدل محلی SW بهترین روش برای پیش‌بینی امواج منطقه است. سپس با استفاده از نرم‌افزار MIKEZero گل موج حاصل از روش‌های نیمه تجربی و مدل عددی ترسیم شد و از این طریق مشخص شد که جهت غالب موج در منطقه غربی است. و روش SPM ارتفاع موج غالب را ۰/۱۸۵ متر و مدل محلی ارتفاع موج غالب را ۰/۴۸۵ متر پیش‌بینی کردند.

واژه‌های کلیدی: بندر امیرآباد، مدل Mike21-SW، روش‌های نیمه تجربی پیش‌بینی موج

## Study of wave climate in amir abad port using setup of local model and semi-analytical methods

Ghorbani Taleghani, M.<sup>1</sup> and Golshani, A. A.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> M.Sc. Student of physical oceanography, Faculty of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modares University, Noor, Iran

<sup>2</sup> Assistant Professor, National Center for oceanography, Tehran, Iran

(Received: 12 Oct 2008, Accepted: 20 Oct 2010)

#### Abstract

Wave prediction is useful for safety and effective management of vessel navigation or construction of offshore structures. Since human activity mainly takes place in nearshore regions, accurate wave prediction is necessary there. However, nearshore waves are not easy to predict compared with ocean waves, because not only the waves but also the wind, which is the energy source of the waves, changes locally due to the complex terrain

around the shore.

During the past 50 years, wave forecasting using numerical models according to wave energy balance equation has become widespread. These models also change significantly when new generation of spectral wave models such as Mike21-SW are suggested as the most advanced wave forecasting models. These models using formulation of basic physical wave generation by wind, wave transport and special processes of shallow waters e.g depth-induced wave breaking and bottom friction present reasonable results.

Shallow-water wave transformation strongly depends on coastal geomorphology and bottom sediment characteristics. Accurate prediction of wave parameters is vital for the coastal infrastructure developments and other activities. MIKE 21 SW is a new generation wind wave model based on unstructured meshes. The model simulates the growth, decay and transformation of wind generated waves and swell in offshore and coastal areas.

In this study, some semi-analytical methods and numerical model Mike21-SW at the Amir Abad port were used to predict the wind waves, with results that has strongest agreement with buoy data. To study and assess the semi-analytical method results, wave height and wave period are determined by SMB, SPM, CEM, JONSWAP methods and compared with Amir Abad buoy data. Wind data which is used in semi-analytical methods are extracted from Babolsar synoptic station.

Because of the importance of Babolsar port, an unstructured application to the mesh file SW model was constructed covering 53.2 to 53.6 E and 36.8 to 37.2 N and mesh size in this area (which is uniform) is 0.005 degree (500m). Boundaries in the north, east and west are open and in the south there is a closed boundary. The boundary condition of the local SW model is extracted as a parametric module from Iranian Sea Waves Modeling Project (ISWM) over 12 years from 1992 to 2004. These parameters are significant wave height, peak wave period, mean wave direction and spreading directional index.

Amir Abad buoy data was used for local SW model calibration. Comparison which was made between the semi-analytical methods and buoy data shows that the SPM method has the best correlation with Amir Abad buoy data within the semi-analytical methods.

Over 12 years (from 1992 to 2004) wave climate in study area was assessed and compared with rose wave calculated by local model and with NEKA buoy data. Results shows that wave growth condition in Amir Abad area is a duration limited condition and only in few cases fully developed conditions occur.

In general, there is not good agreement between semi-analytical methods and buoy data and there is large error in using these methods. Semi-analytical methods predict values typically lower than observations.

Results show that the local SW model is the best method for wave condition prediction as is expected. Because in Local SW Model all phenomena associated with energy transport and with all frequencies and directions are included completely and any presupposition is not included.

The Root-Mean-Squared Error of SPM method in wave height forecasting is 0.45m, in wave period is 1.2 s. In semi-analytical methods, SPM method has good agreement in wave parameters forecasting.

The rose wave acquired by the local model indicates that dominant wave direction in Amir Abad Port is NW and another dominant wave direction is N.

Numerical model forecast for wave direction is more accurate than semi-analytical methods and the wave rose acquired by the local model has good agreement with the buoy data. The study suggests that another local model with smaller mesh should be tried in this zone.

**Key words:** Amir abad Port, Mike21-SW Model, Semi-Analytical wave prediction methods

## ۱ مقدمه

اقلیم باد تغییر کل مشخصات باد (جهت و اندازه) است که از کیفیت و تکامل وضع هوایی منطقه معینی مشخص می‌شود. اقلیم موج، تغییر خصوصیات موج است که از کیفیت و مشخصات جوئی و هیدرودینامیکی آن منطقه مشخص می‌شود. به عبارت دیگر میانگین درازمدت شرایط متغیر موج را دربر می‌گیرد. این اصطلاح نه فقط به طور ساده برای شرایط میانگین بلکه برای همه پارامترها نظیر حداکثرها، حداقلها و مانند آن نیز به کار می‌رود. فاکتورهای اقلیمی نظیر عرض جغرافیایی، ارتفاع از سطح دریا، توپوگرافی بستر دریا، وزش باد و نظیر آن شرایط ویژه فیزیکی هستند که اقلیم موج را کنترل می‌کنند.

در کاربردهای مهندسی سواحل، اثر امواج دریا در درجه اول اهمیت قرار دارد. امواج عامل مهمی در تعیین هندسه و شکل سواحل محسوب می‌شوند و به‌خصوص در طرح‌های دهانه بندر، آبراهه‌ها، حفاظت سواحل، سازه‌های ساحلی و دیگر فعالیت‌های ساحلی تاثیر بسزایی دارند. مشخصه‌های امواج دریا به شدت با زمان و مکان در تغییر است و شناخت مناسب از مشخصات امواج در یک منطقه مستلزم اندازه‌گیری‌های درازمدت (در حد ده سال به بالا) در فواصل زمانی کوتاه (در حد یک ساعت و کمتر) در تعداد نقاط متعددی از منطقه مورد بررسی است. در امریکا، ژاپن، هلند و چند کشور دیگر، دانش مهندسی دریا و اقیانوس‌شناسی از چند دهه قبل مطرح بوده و پیشرفت‌های قابل توجهی در آنها صورت گرفته است. استان‌های ساحلی کشور از لحاظ اقتصادی دارای اهمیت ویژه‌ای هستند. در مناطق جنوبی وجود نفت این اهمیت را بیشتر می‌کند. اجرای طرح‌های اکتشاف و استخراج نفت از پهنه دریا، صنعت صیادی، گردشگری، حفاظت بندر و مانند آن سهم بزرگی در اقتصاد کشور خواهند داشت.

اجرای هر یک از این طرح‌ها شناخت دقیق اقلیم باد و موج منطقه را از هر لحاظ می‌طلبد و در اجرای چنین طرح‌هایی، فیزیک دریا و مهندسی سواحل اهمیت زیادی پیدا خواهند کرد. هفت استان ساحلی کشور با گستره مرز دریایی به وسعت ۳۰۰۰ کیلومتر می‌توانند نقش مهمی در رونق اقتصادی مناطق محروم عهده‌دار شوند (چگینی، ۱۳۸۷).

سیگال و همکاران (۲۰۰۲) با بدست آوردن نوسانات سطح آب و مدل کردن آن با نرم‌افزار عددی Mike21(NSW)، به بررسی ریخت‌شناسی ساحلی در خلیج Tiegmouth, UK پرداختند و نتیجه کار را با تصاویر از راه دور که از طریق پنج دوربین که ناحیه مورد نظر را تحت پوشش قرار داشت، مقایسه کردند. با توجه به اینکه طول دماغه این خلیج حدود ۲ کیلومتر است، آنها شبیه‌سازی را در طول جزر و مدهای متفاوت که اطلاعات آن را از اندازه‌گیری‌های طرح سواحل اروپا (European Coast Project) گرفته بودند، عملی ساختند و بعد به وابستگی معنی‌داری از شبیه‌سازی عددی با تصاویر موجود رسیدند. در این کار از اطلاعات خروجی قسمت Mike21(NSW) به‌منزله اطلاعات ورودی قسمت Mike21(HD) استفاده شده و در نهایت با رسم نمودار سرعت جریان برای حالت‌های گوناگون ارتفاع موج مشخصه، به تاثیر آنها در ریخت‌شناسی ساحلی پرداخته شد. آنها دریافته‌اند که توپوگرافی مناطق ساحلی رابطه مستقیمی با محدوده جزر و مد دارد و تراز آب در مجرای خلیج در شرایط جزر و مدی متفاوت، بین ۰/۲ تا ۰/۴ متر تغییر می‌کند.

(۱۳۸۵)، در مرکز ملی اقیانوس‌شناسی به انجام رسید و امواج دریای خزر مربوط به دوره ۱۲ ساله از ۱۹۹۲ تا ۲۰۰۳ شبیه‌سازی شد. طرحی تحت عنوان مدل‌سازی امواج دریا‌های ایران (Iranian Seas Wave Modelling) از سوی سازمان بنادر و کشتیرانی تعریف شد و مرکز ملی اقیانوس‌شناسی به همراه موسسه تحقیقات هیدرولیک دانمارک (DHI) عهده‌دار به انجام رساندن آن شدند. در فاز دوم این طرح، ابتدا داده‌های مورد نیاز برای مدل‌سازی از قبیل داده‌های باد (اندازه‌گیری ماهواره‌ای، ایستگاه‌های سینوپتیک و خروجی‌های مدل‌های هواشناسی)، داده‌های موج (ماهواره‌ای و بویه‌ای)، اطلاعات عمق‌سنجی، جزرومد، تغییرات تراز آب دریا، یخبندان و... جمع‌آوری و تحلیل شده است. سپس با استفاده از مدول SW نرم‌افزار Mike 21 که یک مدل ریاضی تبدیل باد به موج است، موج ناشی از میدان باد گسترده روی سطح دریای خزر محاسبه شده است. برپایی و واسنجی مدل و همچنین صحت‌سنجی نتایج مدل پس از اجرا به کمک داده‌های موج و باد اندازه‌گیری شده و کنترل کیفیت شده صورت پذیرفته است.

فاز سوم طرح مدل‌سازی امواج دریا‌های ایران (۱۳۸۵)، نیز در مرکز ملی اقیانوس‌شناسی به انجام رسید و امواج دریا‌های جنوب ایران مربوط به دوره ۱۲ ساله از ۱۹۹۲ تا ۲۰۰۳ شبیه‌سازی شد.

سیادت موسوی (۱۳۸۵)، از سه مدل SWAN، SPM84 و Mike21-SW برای محاسبه مشخصات امواج ناشی از باد در محدوده خلیج چابهار استفاده کرد. در این تحقیق، نتایج حاصل از سه مدل فوق در محدوده خلیج چابهار با هم مقایسه شد و همچنین میزان تاثیر فرایندهای موثر در طیف انرژی در دو مدل ریاضی Mike21-SW و SWAN بررسی شد. او با مقایسه این سه مدل نتیجه گرفت که اندرکنش سه‌تایی امواج در مناطق کم‌عمق با تغییرات عمق کم، پارامترهای

درخشان (۱۳۸۳) در تحقیقی تحت عنوان، پیش‌بینی مشخصات امواج دریا با روش‌های تجربی در منطقه بوشهر» با پردازش بیش از ۵۶۰۰ داده هواشناسی شامل سرعت و جهت باد، مدت زمان تداوم باد، دمای سطحی آب، دمای هوا و سایر اطلاعات از قبیل طول بادگیر اندازه‌گیری شده در ایستگاه هواشناسی و بویه شناور منطقه بوشهر و استفاده از روش‌های نیمه‌تجربی، SMB, SPM, JONSWAP, Donelan, Krylov الگوی امواج منطقه دریایی بوشهر را به‌دست آورد. براین‌اساس مشاهده شد که بهترین روش نیمه‌تجربی برای پیش‌بینی ارتفاع موج در منطقه روش SMB است.

عظام (۱۳۸۳)، در تحقیق خود با عنوان «ارزیابی روش‌های پیش‌بینی امواج ناشی از باد در آب‌های دور از ساحل بندر انزلی با استفاده از داده‌های موجود و عرضه روش مناسب» با استفاده از سه دسته داده‌های آماری شامل موج‌نگار، داده‌های ماهواره‌ای و آمار بلندمدت ۳ ساعته ثبت شده باد در ایستگاه بندر انزلی به بررسی روش‌های پیش‌بینی امواج ناشی از باد پرداخت. وی سپس مدل منتخب را با استفاده از بررسی هم‌زمان آمار امواج ثبت شده بویه موج‌نگار و نتایج مدل، برای منطقه بندر انزلی واسنجی کرد. سپس آمار درازمدت امواج منطقه را با استفاده از مدل واسنجی شده استخراج کرد و نتایج مدل را با داده‌های ماهواره‌ای، مورد مقایسه و تحلیل قرار داد.

سیفان آهاری (۱۳۸۴)، در تحقیق خود امواج ناشی از باد در منطقه دور از ساحل بوشهر را با استفاده از روش نیمه‌تجربی SMB و مدول OSW از بسته نرم‌افزاری Mike21 مورد محاسبه و تجزیه و تحلیل قرار داده است. در این تحقیق بیشترین ارتفاع به‌دست آمده از روش SMB ۳/۹۹ متر با دوره تناوب ۹/۳۹ ثانیه است. براساس نتایج این تحقیق میزان همبستگی دو روش SMB و OSW برابر ۵۹ درصد است.

فاز دوم طرح مدل‌سازی امواج دریا‌های ایران

$$T_s = 1.20 \frac{2\pi U}{g} \tanh \left[ 0.077 \left( \frac{gX}{U^2} \right)^{0.25} \right] \quad (2)$$

در معادله فوق  $U$  سرعت باد برحسب متر بر ثانیه،  $X$  طول موجگاه برحسب متر و  $g$  برابر با  $9/81$  متر بر مجذور ثانیه است (چگینی، ۱۳۸۷).

#### ۲-۲ روش SPM

یکی دیگر از روش‌های تجربی پیش‌بینی امواج ناشی از باد، روش SPM است. این روش در کتاب راهنمای حفاظت سواحل (SPM, 1984) عرضه شده است. برای استفاده از این مدل، ابتدا باید اصلاحاتی روی سرعت باد اندازه‌گیری شده صورت گیرد. این اصلاحات شامل اصلاح تراز اندازه‌گیری، اصلاح زمان میانگین‌گیری سرعت باد، اصلاح پایداری و اصلاح مکان اندازه‌گیری است. روابط پیش‌بینی ارتفاع و زمان تناوب موج در آب عمیق با فرمول‌های زیر داده می‌شود:

$$H_{m_0} = 2.433 \times 10^{-1} \left( \frac{U_A^2}{g} \right) \quad (3)$$

$$T_p = 8.134 \left( \frac{U_A}{g} \right) \quad (4)$$

در معادله فوق  $U_A$  فاکتور تنش باد برحسب متر بر ثانیه و  $g$  برابر  $9/81$  است (SPM, 1984).

#### ۳-۲ روش CEM

در روش CEM از فرمول‌ها و روابط پیشنهاد شده در راهنمای مهندسی ساحل (CEM, 2003) استفاده می‌شود. برای استفاده از این روش نیز ابتدا باید اصلاحاتی روی سرعت باد اندازه‌گیری شده صورت گیرد. در روش CEM معادلات مربوط به امواج کاملاً رشد یافته به صورت روابط زیر داده شده است:

$$H_{m_0} = 1.115 \times 10^2 \left( \frac{u_*^2}{g} \right) \quad (5)$$

موج را تغییر نمی‌دهد و بنابراین استفاده از مدول SW از بسته نرم‌افزاری مایک ۲۱ با خطای زیادی همراه نیست.

چگینی و همکاران (۱۳۸۷) در تحقیقی با عنوان « تعیین اقلیم امواج ناشی از باد در آب‌های دور از ساحل بندر امیرآباد » با استفاده از روش‌های نیمه‌تجربی SMB, CEM, SPM الگوی امواج منطقه دریایی بندر امیرآباد را به دست آوردند. سپس با مقایسه نتایج روش‌های نیمه‌تجربی با نتایج بویه بندر امیرآباد بهترین روش برای پیش‌بینی امواج منطقه را استخراج کردند. از بین روش‌های نیمه‌تجربی، روش SPM دارای بهترین همبستگی با داده‌های بویه بود.

در این تحقیق اهداف زیر دنبال می‌شود.

- پیش‌بینی مشخصات موج در دوره زمانی ۱۲ ساله با استفاده از مدل عددی و روش‌های نیمه‌تجربی
- عرضه مناسب‌ترین روش برای پیش‌بینی مشخصات امواج در منطقه مورد تحقیق.
- تعیین میزان همخوانی طیف مدل عددی با طیف‌های نیمه‌تجربی

#### ۲ روابط حاکم بر روش‌های نیمه‌تجربی

در روش‌های نیمه‌تجربی بر اساس داده‌های اندازه‌گیری شده و استفاده از تحلیل ابعادی، روابطی پیشنهاد شده است. در ادامه به اختصار به این روابط اشاره می‌شود.

#### ۱-۲ روش SMB

یکی از روش‌های تجربی پیش‌بینی امواج ناشی از باد، روش SMB است که Sverdrup و Munk در ۱۹۴۷ عرضه کردند و بعداً با استفاده از داده‌های بیشتر، Bretshneider (1958) آن را اصلاح کرد. ارتفاع و دوره تناوب موج شاخص پیش‌بینی شده با این روش در آب عمیق با فرمول‌های زیر داده می‌شود:

$$H_s = 0.283 \frac{U^2}{g} \tanh \left[ 0.0125 \left( \frac{gX}{U^2} \right)^{0.42} \right] \quad (1)$$

غیرخطی مولفه‌های موج و آفت انرژی حاصل از شکست موج. رابطه فوق در واقع به‌نوعی سازوکار ایجاد و رشد موج را نشان می‌دهد (DHI, 2008).

$$T_p = 2.398 \times 10^2 \left( \frac{u_*}{g} \right) \quad (6)$$

در رابطه فوق  $u_*$  سرعت برشی باد برحسب متر بر ثانیه است (CEM, 2003).

#### ۴ مواد و روش‌ها

« بندر امیرآباد در کناره جنوب شرقی دریایی خزر، در مختصات جغرافیایی ۳۶ درجه و ۴۷ دقیقه شمالی و ۵۳ درجه و ۱۵ دقیقه شرقی واقع شده است. بندر امیرآباد احتمالاً در آینده به مهم‌ترین بندر تجاری کشور در دریای خزر تبدیل خواهد شد» (چگینی، ۱۳۸۷).

۴-۱ داده‌های مورد نیاز برای به انجام زساندن تحقیق برای اجرای مدل‌های نیمه تجربی پیش‌بینی موج به داده‌های باد، طول موجگه و همچنین خصوصیات هندسی منطقه مورد نظر نیاز است.

داده‌های مربوط به عمق‌سنجی: فایل داده‌های عمق‌سنجی دریای خزر مربوط به طرح مدل‌سازی امواج دریاهای ایران از مرکز ملی اقیانوس‌شناسی تهیه شد.

داده‌های مربوط به طول بادگیر موج: به منظور محاسبه طول بادگیر در منطقه مورد بررسی از نقشه دریای خزر در محیط نرم‌افزار اتوکد (Auto Cad) استفاده شد. این کار در مرکز ملی اقیانوس‌شناسی صورت گرفت و جدول مربوط به طول موجگه با تفکیک ۳ درجه، از این مرکز فراهم شد.

اطلاعات باد: در این تحقیق از داده‌های باد ایستگاه سینوپتیک بابل‌س استفاده شد. ایستگاه سینوپتیک بابل‌س در موقعیت جغرافیایی ۳۶ درجه و ۴۳ دقیقه شمالی و ۵۲ درجه و ۳۹ دقیقه شرقی واقع و در ۱۹۵۱ تأسیس شده است. این ایستگاه مشخصات باد شامل جهت باد به درجه و سرعت باد به نات را در ارتفاع ۱۰ متری از سطح زمین، در بازه‌های ۳ ساعته ثبت کرده است. زمان تداوم باد پارامتری مهم در اندازه‌گیری مشخصات امواج با روش‌های نیمه تجربی است. برای محاسبه زمان تداوم از

#### ۴-۲ روش JONSWAP

هااسلمن و همکاران (۱۹۷۳) با استفاده از تحقیقات آزمایشگاهی طیف JONSWAP را از مجموع ۲۰۰۰ طیف به دست آمده از طرح مدل‌سازی امواج دریای شمال استخراج کردند که از این تعداد فقط ۱۲۱ مورد متناسب با شرایط ایدئال رشد موج با محدودیت طول موجگه بود. برای ارتفاع موج شاخص، تعریف مشخصی براساس مفاهیم چگالی انرژی موج و گشتاور صفرام طیف موج، داده شده است که با  $H_m$  نشان داده می‌شود (SPM, 1984).

$$H_{m0} = 4\sqrt{m_0} \quad (7)$$

$T_{m01}$ : دوره تناوب موج متناظر با بسامد میانگین طیف

$$T_{m01} = \frac{m_0}{m_1} \quad (8)$$

#### ۳- روابط حاکم بر مدل SW

اساس محاسبه و تعیین مشخصات امواج در مدل‌های ریاضی پیش‌بینی موج از جمله SW حل معادلات پایستگی انرژی طیفی به صورت گسسته در بُعد مکانی، زاویه ای و بسامدی است.

$$\frac{\partial E}{\partial t} + \frac{\cos \theta}{C} \frac{\partial (ECC_g)}{\partial x} + \frac{\sin \theta}{C} \frac{\partial (ECC_g)}{\partial y} + \frac{C}{C_g} \left( \sin \theta \frac{\partial C}{\partial x} - \cos \theta \frac{\partial C}{\partial y} \right) \frac{\partial E}{\partial \theta} = S \quad (9)$$

در عبارت فوق، جملات سمت چپ انتقال انرژی امواج را نشان می‌دهند و در این قسمت از معادله اثرات شکست، کم‌عمقی و پشته کردن امواج لحاظ می‌شود. اما سمت راست معادله، ترم‌های چشمه و چاه انرژی و عبارت‌اند از: انرژی ورودی حاصل از باد، اندرکنش

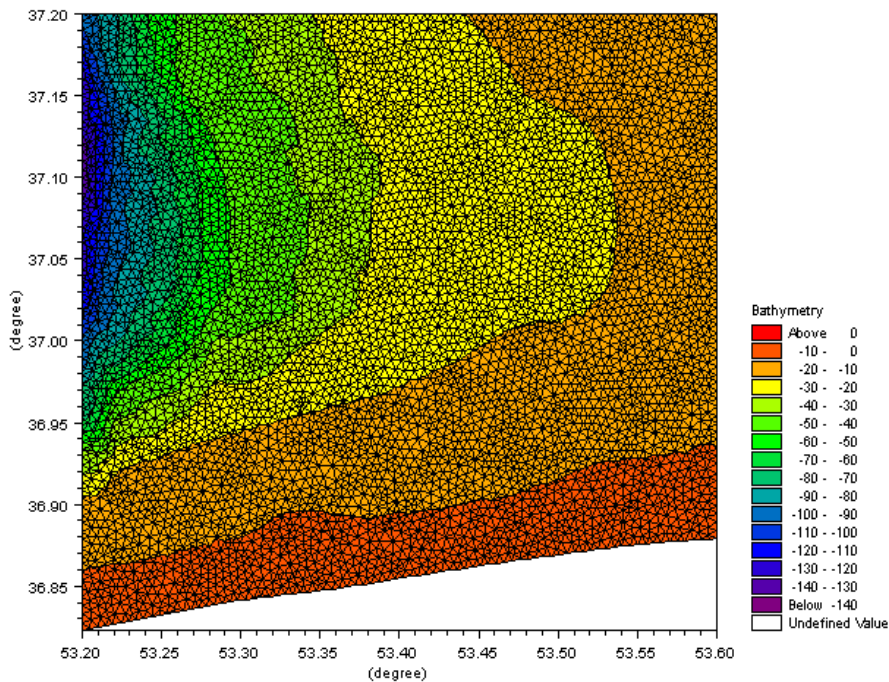
(چگینی، ۱۳۸۷). بویه نکا در مختصات ۵۳/۳ درجه شرقی و ۳۷/۱ درجه شمالی واقع شده و زمان ثبت امواج آن از تاریخ ۱۹۹۲/۱/۱ تا ۱۹۹۲/۱۰/۳۱ و بازه زمانی اندازه گیری آن ۳۰ دقیقه است.

#### ۵ راه اندازی مدل محلی SW

در تحقیق حاضر ناحیه اطراف بندر امیرآباد با ابعاد شبکه بندی حدوداً ۵۰۰ متر مدل شده است که بدین ترتیب ابعاد المان های موجود در شبکه محلی ( که تقریباً در سراسر محدوده مدل حالت یکنواختی دارد) در حد ۰/۰۰۵ درجه است. محدوده شبکه محاسباتی در این مدل حدود ۰/۴ درجه ( از طول جغرافیایی ۵۳/۲ تا ۵۳/۶) و در جهت عرض جغرافیایی حدود ۰/۳۶ درجه ( از عرض جغرافیایی ۳۶/۸۲۳ تا ۳۷/۲) است. در مدل حاضر نوع مرز در شمال، شرق و غرب باز و در جهت جنوب بسته است. در شکل (۱) ابعاد شبکه بندی مدل محلی عرضه شده است.

تعریف باد ثابت استفاده شده است. به دلیل آنکه ایستگاه سینوپتیک بابلسر تغییرات جهت باد را با فواصل ۱۰ درجه داده است، در این طرح در صورتی که اختلاف وزش باد از ۲۰ درجه و اختلاف سرعت باد از ۴ متر بر ثانیه کمتر باشد فرض می شود باد مورد نظر تغییر نکرده است و بادی ثابت است (چگینی، ۱۳۸۷). در این کار داده های ۱۹۹۱ تا ۲۰۰۵ مورد استفاده قرار گرفته است.

اطلاعات موج: با توجه به داده های موجود، در این تحقیق از داده های دو بویه موج نگار بندر امیرآباد و بویه نکا استفاده می شود. بویه موج نگار بندر امیرآباد در عمق ۱۷ متری و در موقعیت جغرافیایی ۳۶ درجه و ۵۵ دقیقه و ۲۷ ثانیه شمالی و ۵۳ درجه و ۲۴ دقیقه و ۳۷ ثانیه شرقی نصب شده است. مدت زمان ثبت امواج با این بویه از تاریخ ۲۰۰۲/۲/۱۹ تا ۲۰۰۳/۳/۱۹ و به صورت ناپیوسته بوده است. مشخصات امواج در بازه زمانی ۲ ساعت اندازه گیری شده است. از اطلاعات بویه شرکت نفت خزر که در نکا واقع است نیز در این تحقیق استفاده شد



شکل ۱. ابعاد شبکه بندی مدل محلی در اطراف بندر امیرآباد.

در حالت کلی ابتدا انرژی از باد به سطح آب منتقل می شود و پس از طی فرایندی که شامل انتقال انرژی میان بسامدهای گوناگون است، امواج به حالت رشد نهایی خود می رسند و انتقال انرژی از باد متوقف می شود. در چنین حالتی، مدل به صورت طیفی کامل (fully spectral) به حل معادلات می پردازد. بدین معنی که همه پدیده های ناشی از انتقال انرژی با در نظر گرفتن همه بسامدها و جهت های موجود، به طور کامل لحاظ می شوند و چنین حالتی بالطبع در مدت زمان طولانی به انجام خواهد رسید (گلشنی، ۱۳۸۴).

مواردی وجود دارد که در آن انتقال انرژی از باد مهم نیست و بحث انتقال امواج از نقطه ای به نقطه دیگر مهم ترین عامل در تغییر پارامترهای امواج است. در این موارد به علت وسعت ناچیز محدوده مورد بررسی و کم بودن محدوده بادگیر، ایجاد امواج از باد اهمیت چندانی در مشخصات امواج ندارد و امواج انتقالی از نواحی دیگر درصد عمده امواج را تشکیل می دهند. به دلیل حذف جمله های منبع شامل انتقال انرژی از باد و اندرکنش غیرخطی چنین روش حلی بسیار سریع تر است و با سهولت بیشتری عملی خواهد شد. این حالت، به حالت غیر جفت شده جهتی (directionally decoupled) معروف است (گلشنی، ۱۳۸۴).

در اجرای مدل محلی با توجه به اینکه این مدل بخشی از مدل کلی در طرح مدل سازی امواج دریا های ایران

است و در محل مرزها از مدل کلی جدا شده، برای لحاظ کردن اثر امواج ورودی از مدل کلی نیاز به معرفی شرایط مرزی مناسب در محل مرزها وجود دارد. شرایط مرزی به صورت پارامتری از مدل کلی برای مدت ۱۲ سال از ژانویه ۱۹۹۲ تا اوت ۲۰۰۳ استخراج شد. این پارامترها شامل ارتفاع موج عمده، زمان تناوب پیک موج، جهت میانگین موج و شاخص پراکندگی جهتی است. مدل به صورت پارامتری غیر جهت شده جهتی اجرا شد. سپس با حساسیت سنجی و واسنجی مدل، بهترین نتایج با ضریب همبستگی ۸۰ درصد بین مدل محلی و بویه بندر امیرآباد حاصل شد.

## ۶ نتایج

به طور کلی رشد موج به سه دسته رشد موج با محدودیت طول موجگاه، رشد موج با محدودیت مدت زمان وزش باد و حالت کاملاً توسعه یافته تقسیم می شود. در روش های نیمه تجربی SPM و CEM فرمول هایی برای هر سه مورد رشد موج پیشنهاد شده است. این در حالی است که در روش SMB روابط رشد موج فقط به رشد موج با محدودیت مدت زمان وزش باد و محدودیت در طول موجگاه محدود می شوند. در آب های دور از ساحل بندر امیرآباد شرایط رشد موج محاسبه شده و در جدول (۱) درصد رخداد شرایط رشد موج از ۱۹۹۱ تا ۲۰۰۵ برای روش های نیمه تجربی SMB، SPM و CEM داده شده است.

جدول ۱. درصد رخداد شرایط رشد امواج در منطقه امیرآباد (دوره زمانی ۱۵ ساله).

CEM	SPM	SMB	Condition
۳۹/۶۲	۳۹/۶۲	۳۱/۰۵	درصد رخداد حالت آرام (ارتفاع موج صفر)
۵۷/۲۲	۵۵/۹۰	۶۰/۹۱	درصد رخداد حالت محدودیت مدت زمان وزش باد
۳/۰۹	۴/۰۵	۸/۰۴	درصد رخداد حالت محدودیت در طول موجگاه
۰/۰۷	۰/۴۳	۰	درصد رخداد حالت کاملاً توسعه یافته



اگر  $CC = -1$  باشد بیان کننده این است که بین متغیرها همبستگی کامل ولی معکوس وجود دارد و مفهوم  $CC = 0$  آن است که بین دو متغیر مورد بررسی مطلقاً همبستگی وجود ندارد. رابطه ضریب همبستگی عبارت است از:

$$CC = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2 \sum (y_i - \bar{y})^2}} \quad (10)$$

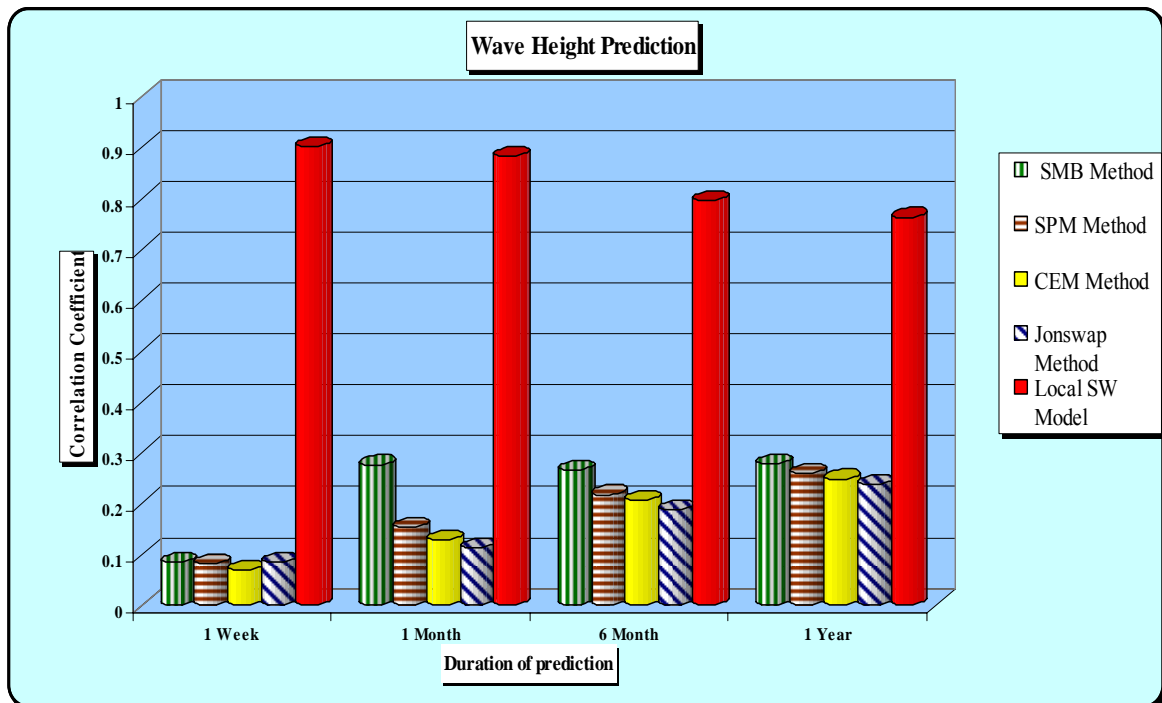
در رابطه فوق،  $x$  سری آماری نتایج اندازه گیری شده  $y$ ، سری آماری نتایج مربوط به نتایج شبیه سازی شده و  $\bar{x}$  و  $\bar{y}$  متوسط هریک از این دو سری را نشان می دهد.  $n$  نیز تعداد کل داده ها در سری آماری است « چگینی، ۱۳۸۷ ».

در شکل های ۲ و ۳ ضریب همبستگی بین نتایج روش های نیمه تجربی پیش بینی موج و روش عددی با داده های بویه ای مقایسه شده است.

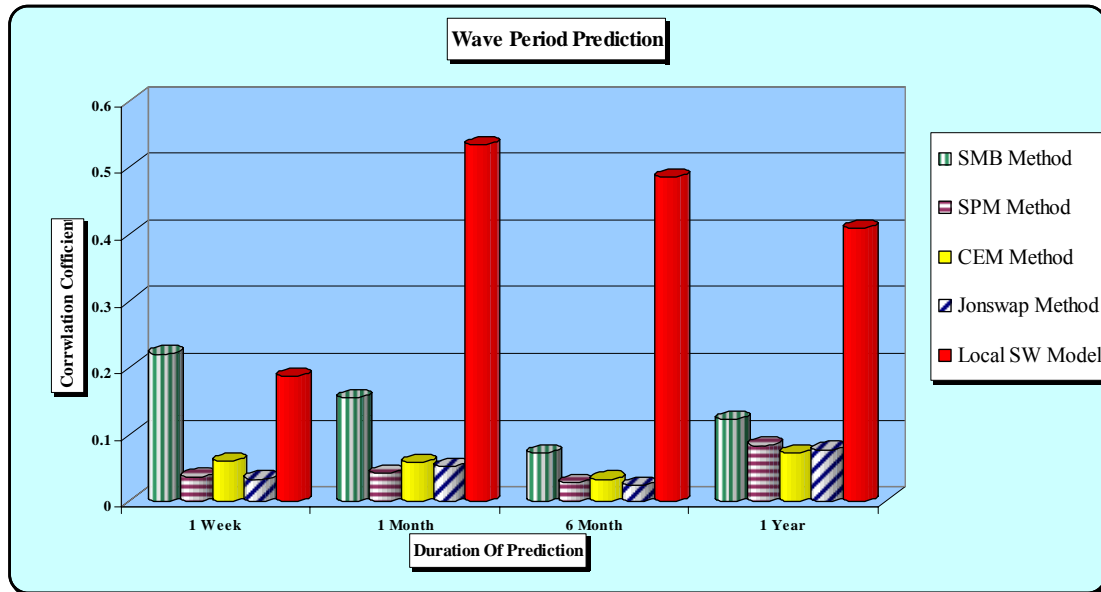
با توجه به جدول فوق ملاحظه می شود که شرایط رشد موج در منطقه امیرآباد، شرایط محدودیت زمان تداوم باد بوده و تقریباً در هیچ موردی حالت امواج کاملاً توسعه یافته ایجاد نشده است.

۱-۶ مقایسه روش های نیمه تجربی و مدل محلی SW با بویه

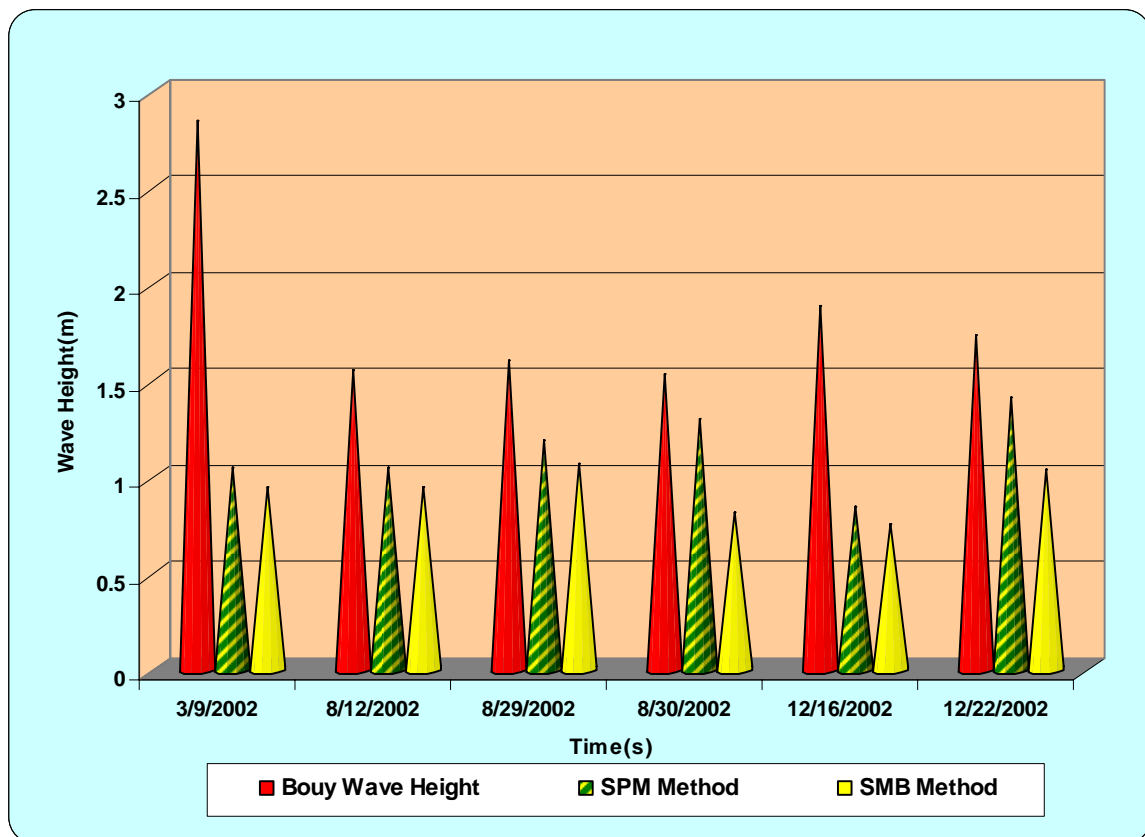
« پارامترهای آماری وجود دارند که از آن ها برای تعیین میزان انطباق و پراکندگی دو سری از داده ها استفاده می شود. یکی از این پارامترها ضریب همبستگی (Correlation Coefficient) است. ضریب همبستگی شاخصی است که به منظور تعیین نوع همبستگی و میزان درجه رابطه بین دو متغیر به کار می رود و مقدار آن بین  $-1 \leq CC \leq 1$ ، یعنی یک و منفی یک نوسان می کند. یعنی  $CC = 1$  باشد، نشانگر این است که بین متغیرهای مورد بررسی همبستگی کامل و مستقیم موجود است و



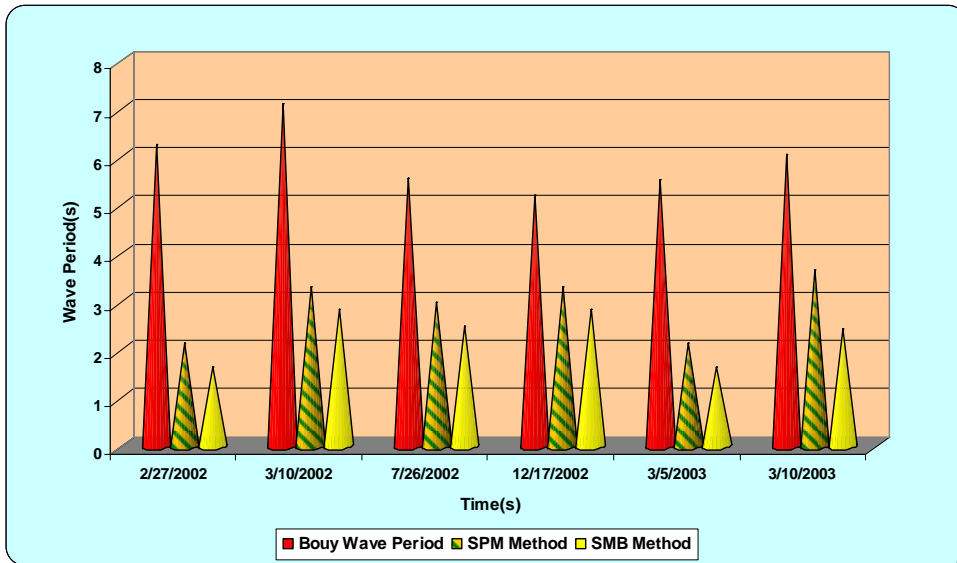
شکل ۲. مقایسه ضریب همبستگی بین نتایج ارتفاع موج حاصل از روش های گوناگون با بویه.



شکل ۳. مقایسه ضریب همبستگی بین نتایج زمان تناوب موج حاصل از روش‌های گوناگون با بویه.



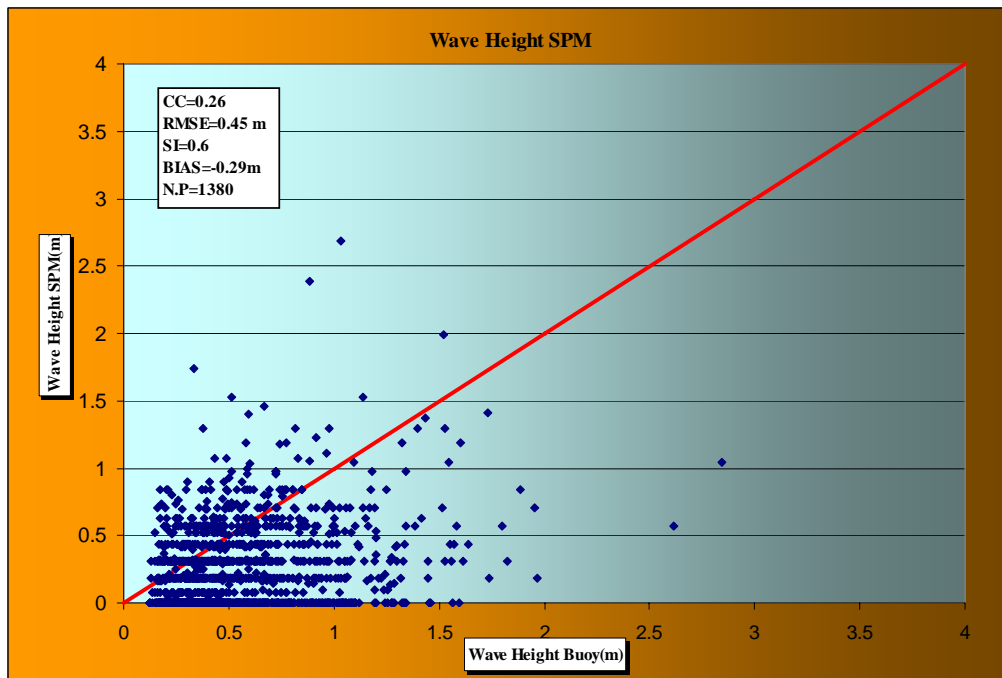
شکل ۴. مقایسه ارتفاع موج حاصل از روش‌های SPM و SMB با داده‌های بویه در چند قله موج.



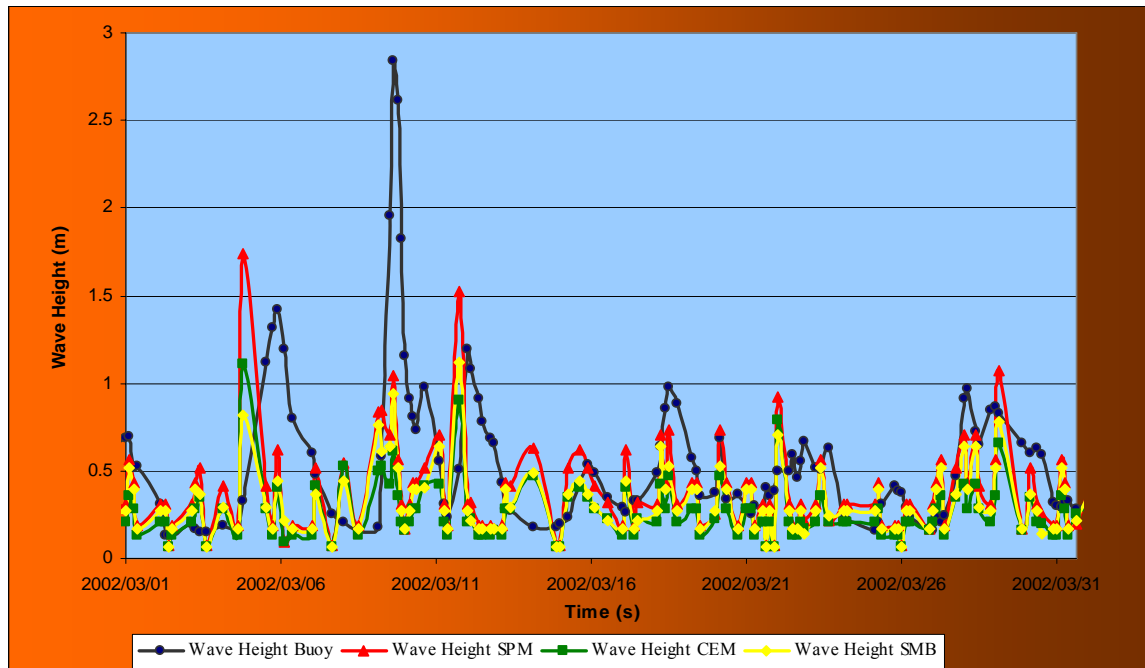
شکل ۵. مقایسه زمان تناوب موج حاصل از روش‌های SPM و SMB با داده‌های بویه در چند قله موج.

نیمه تجربی با مقایسه ضریب همبستگی روش SMB دارای بیشترین همبستگی با داده‌های بویه‌ای است. اما با مقایسه سری‌های زمانی حاصل از روش‌های نیمه تجربی با داده‌های بویه‌ای در قله‌ها، مشاهده می‌شود که در این نقاط روش SPM به داده‌های بویه‌ای نزدیک‌تر است.

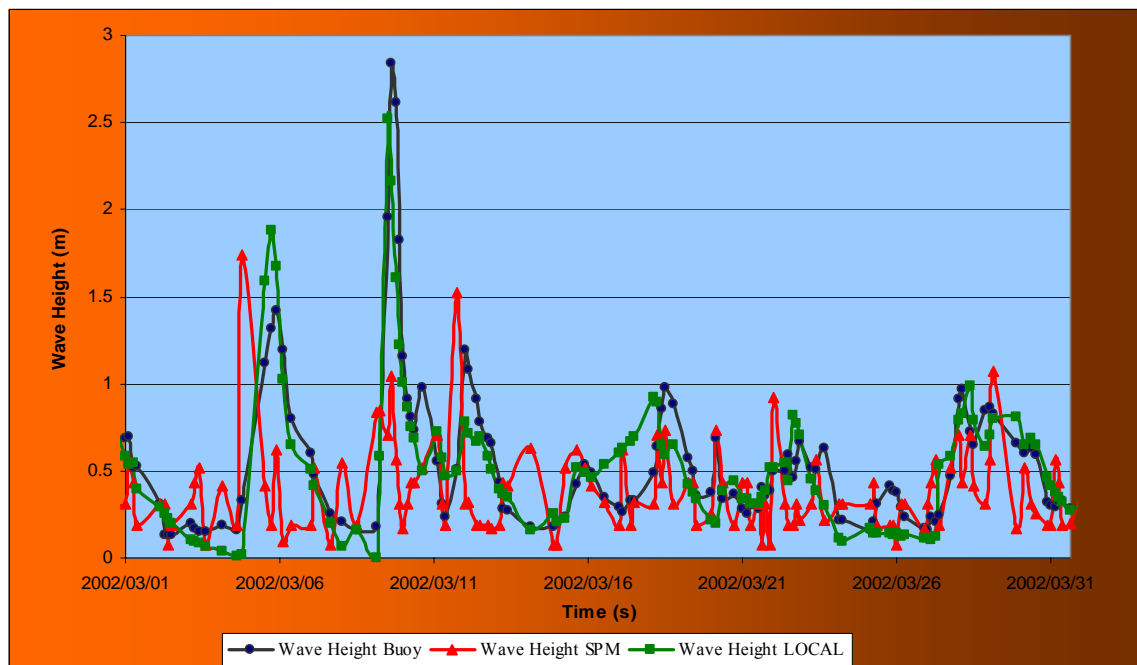
همان‌طور که در شکل‌ها نیز دیده می‌شود روش عددی همبستگی خوبی با داده‌های بویه‌ای دارند. البته چنین چیزی انتظار می‌رفت، زیرا روش‌های عددی با در نظر گرفتن پدیده‌های موجود در مناطق ساحلی، الگوی خوبی برای پیش‌بینی موج به‌دست می‌دهند. از بین روش‌های



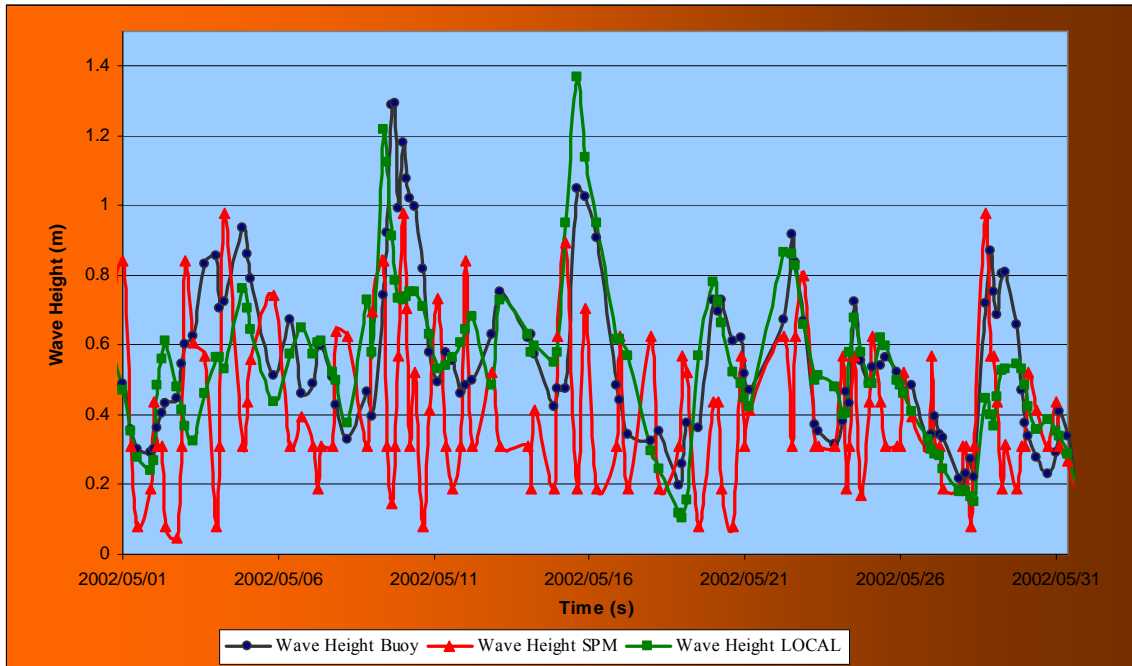
شکل ۶. مقایسه مقادیر اندازه‌گیری شده و محاسبه شده ارتفاع موج با روش SPM.



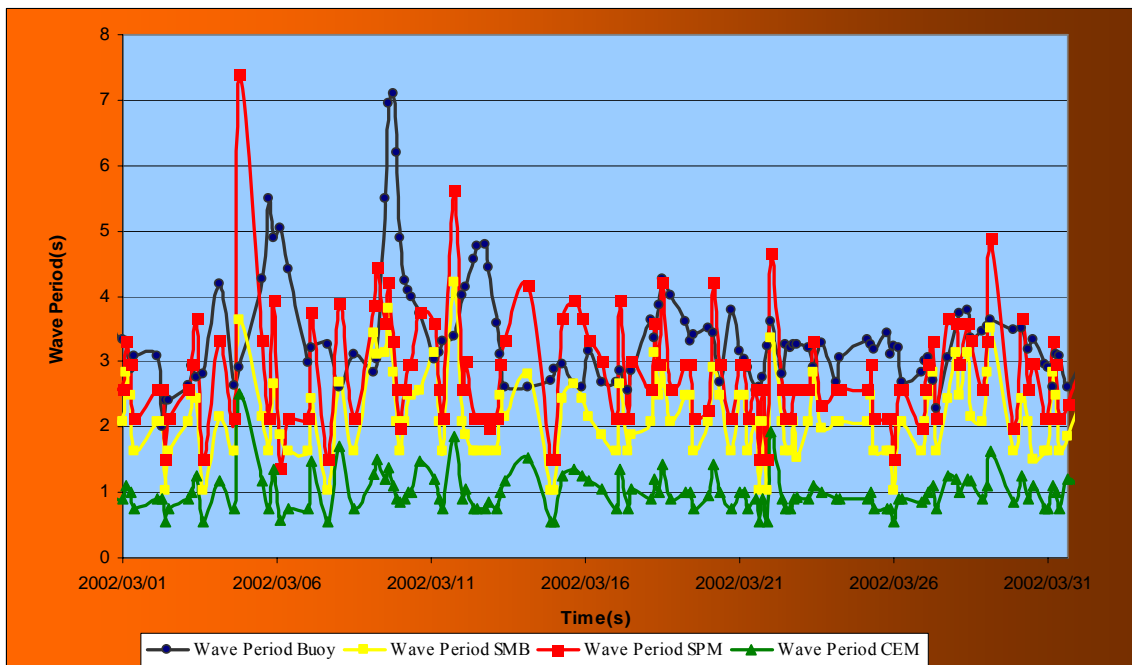
شکل ۷. مقایسه سری زمانی ارتفاع موج حاصل از روش‌های نیمه تجربی با داده‌های بویه در مارس ۲۰۰۲.



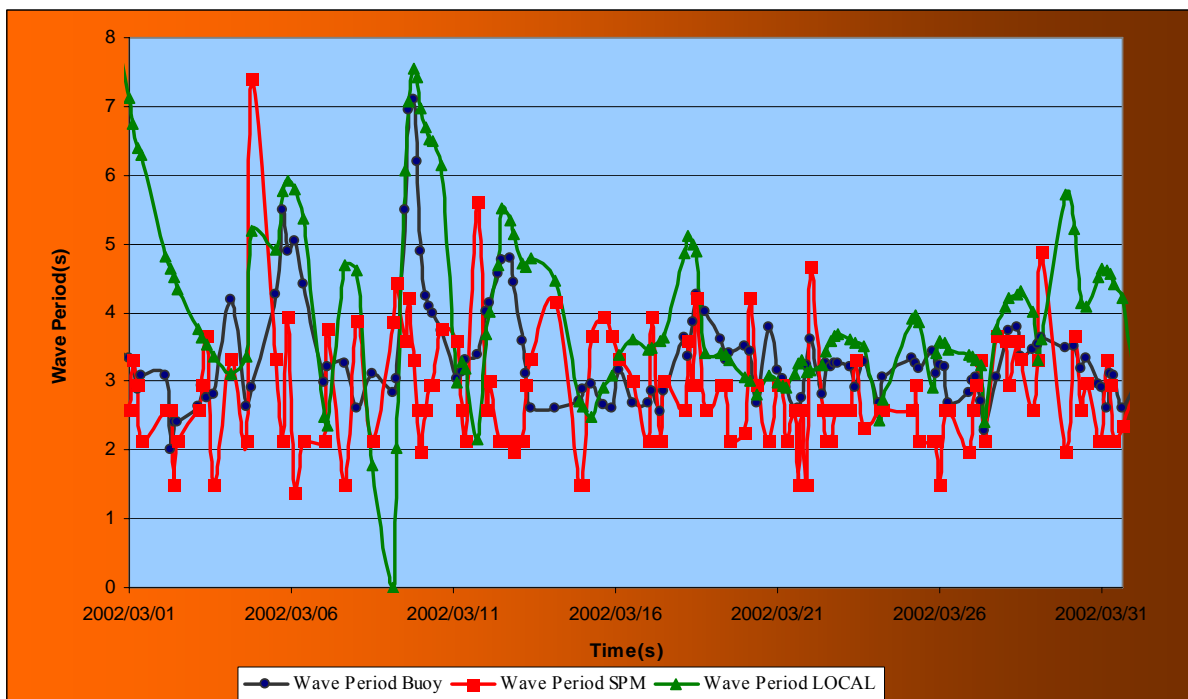
شکل ۸. مقایسه سری زمانی ارتفاع موج حاصل از روش SPM و مدل محلی با بویه در مارس ۲۰۰۲.



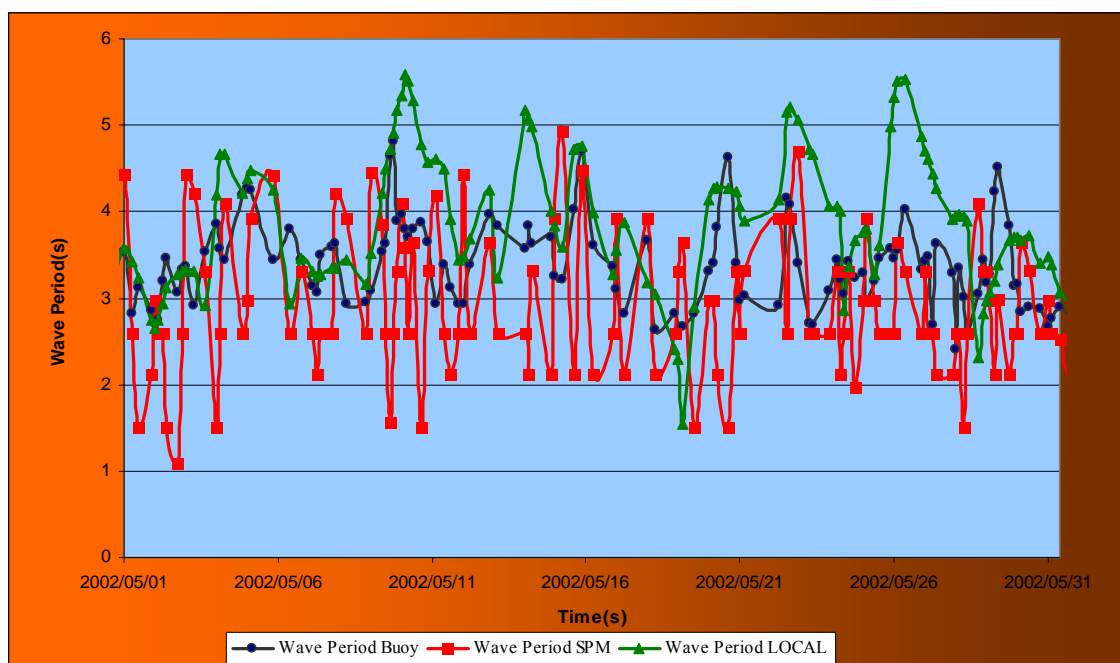
شکل ۹. مقایسه سری زمانی ارتفاع موج حاصل از روش SPM و مدل محلی با بویه در مه ۲۰۰۲.



شکل ۱۰. مقایسه سری زمانی تناوب موج حاصل از روش‌های نیمه تجربی با داده‌های بویه در مارس ۲۰۰۲.



شکل ۱۱. مقایسه سری زمانی تناوب موج حاصل از روش SPM و مدل محلی با بویه در مارس ۲۰۰۲.



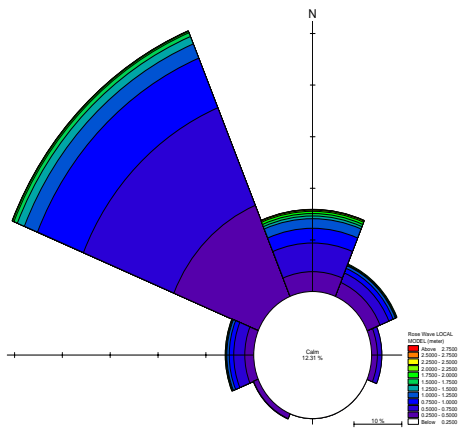
شکل ۱۲. مقایسه سری زمانی تناوب موج حاصل از روش SPM و مدل محلی با بویه در مه ۲۰۰۲.

ارتفاع موج را کمتر از بویه پیش بینی کرده‌اند. به‌طور کلی خطای استفاده از روش‌های نیمه تجربی زیاد است.

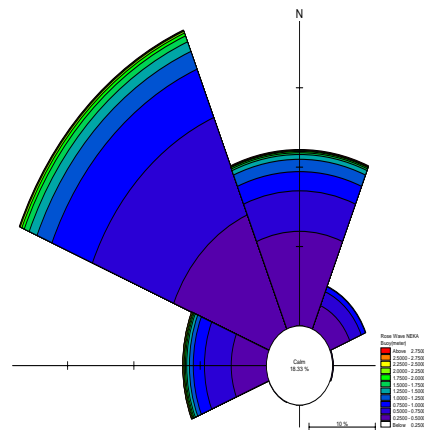
۲-۶ مقایسه گل موج حاصل از SPM و مدل محلی با گل موج بویه نکا

بعد از صحت‌سنجی و واسنجی، مدل برای دوره ۱۲ ساله از ژانویه ۱۹۹۲ تا اوت ۲۰۰۳ اجرا شد و در این مدت الگوی امواج منطقه به‌دست آمد. در شکل ۱۳ و ۱۴ و ۱۵ گل موج حاصل از مدل SW، روش SPM و بویه نکا با هم مقایسه شده‌اند.

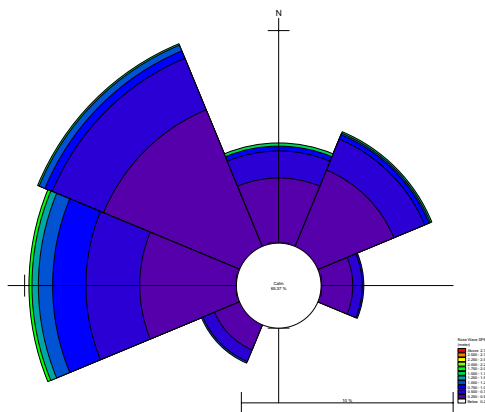
همچنین مشاهده می‌شود که همخوانی بین داده‌های بویه و نتایج روش‌های نیمه تجربی بسیار کم است. به‌طوری که نمی‌توان از نتایج روش‌های نیمه تجربی با اطمینان زیاد استفاده کرد. نکته دیگر اینکه زمان تناوب موج حاصل از روش CEM به‌طور آشکاری کمتر از زمان تناوب موج حاصل از روش SPM است. روش‌های نیمه تجربی در اکثر موارد ارتفاع و دوره تناوب را صفر پیش‌بینی می‌کنند و این یکی از اشکالات روابط نیمه تجربی است؛ زیرا ارتفاع موج در سطح دریا به‌ندرت صفر می‌شود و همیشه تحت تاثیر باد و یا امواج دور آقرار دارد. نکته دیگر اینکه در اکثر مواقع روش‌های نیمه تجربی



شکل ۱۴. گل موج یک‌ساله به‌دست آمده از مدل محلی در محل بویه نکا.



شکل ۱۳. گل موج یک‌ساله به‌دست آمده از بویه نکا.



شکل ۱۵. گل موج یک‌ساله بندر امیرآباد- روش SPM.

اندازه‌گیری شده روی خشکی مقایسه و واسنجی می‌شد. اما دسترسی به چنین امکانی وجود نداشت. - داده‌های بویه امیرآباد که در آب‌های عمیق قرار دارد دارای خطا است و برای از بین بردن این خطا باید داده‌های بویه با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری شده موج روی کشتی، واسنجی می‌شد. ولی چنین اطلاعاتی در دسترس نبود.

به طور کلی روش‌های نیمه‌تجربی برای پیش‌بینی موج مناسب نیستند. زیرا فقط اثر باد در این روش‌ها لحاظ شده و تنها باد است که باعث ایجاد موج می‌شود. درحالی‌که مدل عددی با در نظر گرفتن همه پارامترهای موجود، مشخصات امواج در منطقه را با دقت قابل قبولی به دست می‌دهد. بحث مقایسه بین روش‌های نیمه‌تجربی و مدل عددی به‌طور کلی درست نیست، زیرا اصول این دو روش با هم فرق دارد. اما در آب‌های دور از ساحل که باد سهم زیادی در ایجاد موج دارد می‌توان این دو روش را با هم مقایسه کرد. با توجه به اینکه بویه بندر امیرآباد در آب عمیق واقع شده است، این مقایسه می‌تواند درست باشد. برای تحقیقات بعدی موارد زیر را می‌توان مورد توجه قرار داد:

۷ - بررسی پدیده‌های موجود در مناطق ساحلی: می‌توان پدیده‌های گوناگونی را با فرمول‌بندی‌های متفاوت وارد مدل کرد و میزان تاثیر پدیده‌ها را در مشخصات امواج در مناطق گوناگون مشاهده کرد.

۸ - مقایسه مدل محلی SW با سایر مدل‌ها: می‌توان مدل SW را با مدل‌های دیگری که ابعاد شبکه‌بندی آن در حدود ابعاد شبکه‌بندی مدل SW باشد مقایسه و مدل بهتر را برای پیش‌بینی امواج منطقه معرفی کرد.

## ۸ نتیجه‌گیری

- از بین روش‌های نیمه‌تجربی، روش‌های SPM و CEM، به‌ترتیب دارای کمترین و بیشترین انحراف در پیش‌بینی

به طور کلی گل‌موج حاصل از روش‌های نیمه‌تجربی انطباق مناسبی با گل‌موج حاصل از بویه نکا ندارد. اما از نظر جهت غالب امواج، گل‌موج حاصل از روش SPM دارای انطباق بیشتری است. در این گل‌موج جهت غالب اصلی شمال غربی است که در گل‌موج بویه نکا حدود ۴۷٪ از کل امواج و در گل‌موج حاصل از روش SPM حدود ۳۰٪ و در گل‌موج مدل محلی ۵۶٪ از کل امواج را شامل می‌شود. جهت غالب بعدی غرب و شمال است. در شرایط آرام (Calm) بین سه گل‌موج اختلاف زیادی وجود دارد. علت این امر می‌تواند انتخاب حد ارتفاع موج صفر یعنی کمتر از ۰/۲۵ متر باشد. طبیعی که با کوچک کردن این عدد، درصد شرایط آرام افزایش می‌یابد. اما دلیل دیگر صفر بودن ارتفاع موج حاصل از روش‌های نیمه‌تجربی این است که روش‌های نیمه‌تجربی در مواقعی که سرعت باد صفر باشد ارتفاع موج را صفر پیش‌بینی می‌کنند. داده‌های بویه ارتفاع موج غالب را ۰/۲۸۵ متر پیش‌بینی می‌کنند. درحالی‌که روش SPM ارتفاع موج غالب را ۰/۱۸۵ متر و مدل محلی ارتفاع موج غالب را ۰/۴۸۵ متر پیش‌بینی می‌کند.

## ۷ بحث

در این تحقیق مشکلاتی نیز برای دستیابی به جواب صحیح وجود داشت که به آنها اشاره می‌شود.

- در مورد ایستگاه سینوپتیک بابلسر، داده‌های باد به‌خوبی اندازه‌گیری نشده است. زیرا دورتادور این ایستگاه با موانعی مانند درخت و ساختمان پوشیده شده است و بادسنج‌ها داده‌های باد را با دقت مناسبی اندازه‌گیری نمی‌کنند. لذا استفاده از این داده‌ها در روش‌های نیمه‌تجربی پیش‌بینی موج، خالی از اشکال نیست. قبل از استفاده از داده‌های باد این ایستگاه، می‌باید داده‌های باد آن با داده‌های باد ایستگاه سینوپتیک دیگری که در نزدیکی بندر امیرآباد قرار دارد و یا داده‌های باد



بر خود واجب می‌دانم از همه عزیزانی که مرا در تهیه و تدوین این تحقیق یاری رسانده‌اند، از جمله استادان محترم راهنما، آقای دکتر اکبرپور و دکتر گلشنی و استاد محترم مشاور، جناب آقای مهندس منصوری که زحمات بسیاری را متحمل شدند، تشکر و قدردانی کنم. همچنین از مرکز ملی اقیانوس‌شناسی و به‌خصوص رئیس محترم مرکز، آقای دکتر چگینی نیز کمال تشکر را دارم.

### منابع

چگینی، و.، ۱۳۷۷، نظریه‌های موج، شرکت جهاد تحقیقات آب و آبخیزداری، ص ۱۳۱-۱۴۹.

چگینی، و.، چگینی، ف.، تائبی، س.، ۱۳۸۷، تعیین اقلیم امواج ناشی از باد در آب‌های دور از ساحل بندر امیرآباد، گزارش از مرکز ملی اقیانوس‌شناسی، ۱۵۰ ص.

درخشان، ش.، ۱۳۸۳، پیش‌بینی مشخصات امواج دریا با روش‌های تجربی در منطقه بوشهر، اولین کنگره ملی مهندسی معدن، ۹ ص.

سیادت موسوی، س.، ۱۳۸۵، مقایسه نتایج مدل‌های ریاضی تعیین مشخصه‌های امواج ناشی از باد Mike21-SW, SWAN و مدل پارامتریک SPM در خلیج چابهار، هفتمین کنفرانس بین‌المللی مهندسی عمران، ۸ ص.

سیفان آهاری، ع.، ۱۳۸۴، تحلیل وضعیت امواج ناشی از باد در منطقه بوشهر با استفاده از مدل Mike21، پایان‌نامه کارشناسی ارشد فیزیک دریا، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۱۶ ص.

عظام، م.، ۱۳۸۳، ارزیابی روش‌های پیش‌بینی امواج ناشی از باد در آب‌های دور از ساحل بندر انزلی با استفاده از داده‌های موجود و ارائه روش مناسب، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال، دانشکده علوم و فنون دریایی. ۱۲۲ ص.

مشخصه‌های موج است.

- از بین روش‌های متفاوت نیمه تجربی و طیفی ذکر شده، مناسب‌ترین روش برای پیش‌بینی مشخصات امواج، روش SPM است.

- جذر متوسط مربع خطاهای (RMSE) روش SPM در پیش‌بینی ارتفاع موج ۰/۴۵ متر و ضریب همبستگی روش SPM با داده‌های بویه‌ای در پیش‌بینی ارتفاع موج ۲۶ درصد است.

- جذر متوسط مربع خطاهای (RMSE) روش SPM در پیش‌بینی زمان تناوب موج ۱/۲ ثانیه و ضریب همبستگی روش SPM با داده‌های بویه‌ای در پیش‌بینی زمان تناوب موج ۸ درصد است.

- به‌طور کلی مناسب‌ترین روش از بین روش‌های نیمه تجربی SMB, SPM, CEM, JONSWAP و مدل عددی SW برای پیش‌بینی امواج منطقه دریایی بندر امیرآباد، مدل محلی SW است.

- با توجه به گل‌موج حاصل از اندازه‌گیری بویه نکا، جهت غالب موج در بندر امیرآباد در راستای شمال غرب و جهت غالب بعدی در راستای شمال است.

- روش عددی، جهت غالب موج را دقیق‌تر از روش نیمه تجربی پیش‌بینی می‌کند، به‌طوری که گل‌موج حاصل از روش عددی نسبت به گل‌موج روش نیمه تجربی تطابق بیشتری با گل‌موج اندازه‌گیری شده در محل بویه نکا دارد.

- با مقایسه نتایج مدل محلی با داده‌های بویه در بازه زمانی ۲/۲ / ۲۰۰۲ تا ۲۰۰۲/۳/۱۵، ضریب همبستگی  $CC=0.906$ ، جذر متوسط مربع خطاها  $RMSE=0.224$  متر حاصل شد.

- برای ضریب واسنجی، ضریب شاخص پراکندگی  $n=2$  و گام زمانی ۹۰۰ ثانیه پیشنهاد می‌شود.

تشکر و قدردانی

گلشنی، ع.، چگینی، و.، تائبی، س.، ۱۳۸۴، اجرای مدل موج محلی در بندر انزلی، گزارش از مرکز ملی اقیانوس‌شناسی، ۴۳ ص.

مرکز ملی اقیانوس‌شناسی، ۱۳۸۵، پروژه مدل‌سازی امواج دریا‌های ایران، گزارش نهایی فاز دوم (دریای خزر).

Coastal Engineering Manual., 2003, Chapter II-2, Meteorology and Wave Climate, U.S Army Corps of Engineers, Washington D.C.

Guide To Wave Analysis And Forecasting, 1998, World Meteorological Organization, ISBN, 92-63-12702-6.

Hasselmann, K., Barnett, T. P., Bouws, E., Carlson, H., Cartwright, D. E., Enke, K., Ewing, J. A., Gienapp, H., Hasselmann, D. E., Kruseman, P., Meerburg, A., Miller, P., Olbers, D. J., Richter, K., Sell, W. and Walden, H., 1973, Measurements of wind-wave growth and swell decay during the joint North Sea Wave Project (JONSWAP). Deutsche hydrographische Zeitschrift, Ergänzungshefte Reihe A **12**, 8-95.

Mike21 Wave Modelling User Guide, DHI Water and Environment, 2008.

Shore Protection Manual, 1984, Coastal Engineering Research Center, US Army Corps of Engineers Washington, DC 20314.

Siegle, E., Huntley, D. and Davidson, M., 2002, Modelling Water Surface Topography at a Complex Inlet System-Teignmouth, UK, Journal of Coastal Research, SI.36, 675-685. ICS. 2002 Proceedings, Northern Ireland, ISSN 0749-0208.