Archive of SID

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

مرکز بررسی اطلاعات علمی

ICOPMAS

www.SID.ir
www.SID.ir

Archive of SID

Archive of SID

نهمین همایش بین المللی سواحل، بنادر و سازه های دریایی
ICOPMAS 2010
10- 8 آذر ماه (تهران)

مقایسه کالیبراسیون به روشهای آماری Q-Q با روشهای کلاسیک در مدلسازی امواج

امین ایلیا ، کارشناس ارشد ، فرا دریا عرشه ، a.ilia@faradarya.com
سعید مظاهری ، استادیار ، پژوهشکده حمل و نقل و تکنولوژی دریایی ، mazaheri@rahiran.ir
محمد رضا الهیار ، کارشناس ارشد ، سازمان بنادر و دریانوردی ، allahyar@pmo.ir

کلید واژه : کالیبراسیون، Quantile، مدلسازی امواج، Mike21SW، نخیلو.

1- چکیده

در این مقاله، هدف مدلسازی اقلیم امواج در غرب استان هرمزگان و کالیبراسیون دقیق مدل به وسیله روشهای کلاسیک مانند رسم نمودار سری زمانی و همچنین روشهای آماری مانند رسم نمودار Q-Q و محاسبه پارامترهای آماری مختلف به همراه مقایسه و بررسی هر یک از این روشها می‌باشد. مدل ریاضی مورد استفاده در این تحقیق مدل طیفی جهتیMIKE21 SW بوده و کالیبراسیون مدل بوسیله مقایسه نتایج آن با اندازه‌گیریهای یکساله در نخیلو انجام گرفته است. در این مقاله، پس از معرفی مدل و محدوده مدلسازی و اندازه‌گیریها، نتایج مدل بوسیله مقایسه سری زمانی و پس از آن با استفاده از روشهای آماری همچون رسم نمودار Q-Q و محاسبه پارامترهای آماری مختلف کالیبره شده است. در پایان نیز یک رویه مناسب برای کالیبراسیون مدلهای امواج ارائه گشته است.

2- مقدمه

در سالهای اخیر استفاده از مدلهای ریاضی جهت پیش‌بینی امواج رونق و پیشرفت چشمگیری یافته است. مهمترین دغدغه مهندسین سواحل در استفاده از مدلهای ریاضی، نحوه کالیبراسیون و تدقیق آنها در جهت نزدیکتر کردن نتایج بدست آمده از مدل به واقعیت می‌باشد. در این تحقیق با استفاده از مدل ریاضیMIKE21 SW مدلسازی اقلیم موج برای غرب استان هرمزگان انجام شده است. سپس با استفاده از اطلاعات اندازه‌گیری شده در یک دوره یک ساله در حوالی بندر نخیلو، مدل عددی به وسیله روشهای آماری همچون Q-Q plot و همچنین روشهای کلاسیک همچون مقایسه سریهای زمانی به صورت دقیق کالیبره شده است. هدف از این تحقیق بررسی نقاط ضعف و قوت هر یک از روشهای کالیبراسیون و ارائه راهکارهای مناسب جهت رفع نواقص هر یک از این روشها در مدلسازی امواج می‌باشد.

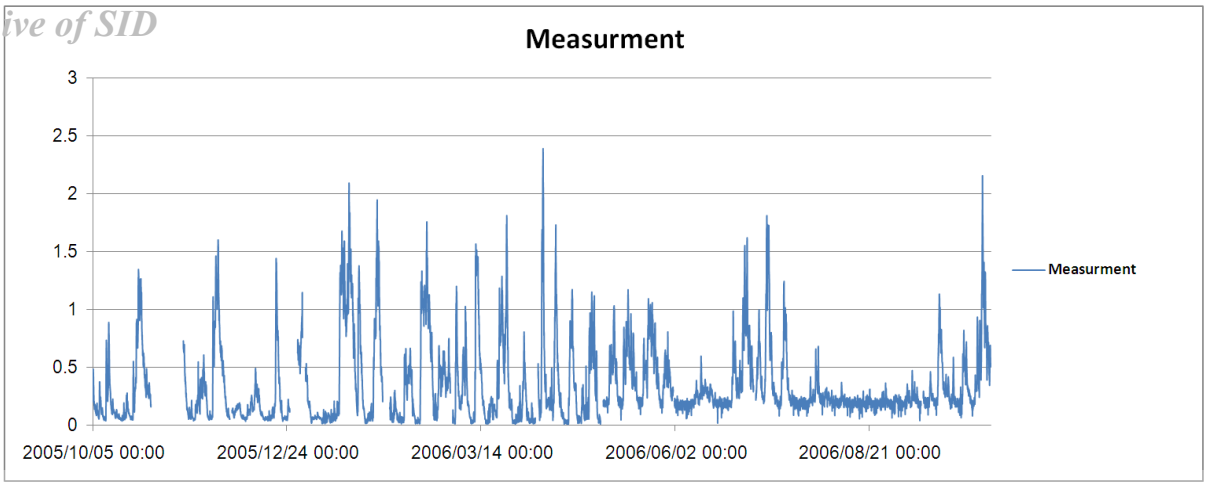
3-اطلاعات میدانی

اطلاعات میدانی مورد استفاده در این مطالعات مربوط به اندازه‌گیری پارامترها و مشخصات امواج پروژه سایت 3 منطقه ویژه انرژی در نخیلو می‌باشد [1] . این اطلاعات به وسیله دستگاه Mini ADV ساخت شرکت Nortek در عمق 10/35 متر نسبت به CD اندازه‌گیری شده است. طول دوره اندازه‌گیری حدود یکسال از 2005/10 الی 2006/10 با گام زمانی یک ساعته بوده و اطلاعات آن به صورت سری زمانی ارتفاع مشخصه، پریود پیک و جهت متوسط امواج در دسترس می‌باشد. شکل 1 سری زمانی ارتفاع مشخصه امواج این اندازه‌گیریها را نشان می‌دهد. شکل 2 نیز موقعیت دستگاه اندازه‌گیری را نسبت به بندر نخیلو نشان می‌دهد.

www.SID.ir

www.SID.ir

Archive of SID



شکل 1) سری زمانی ارتفاع مشخصه امواج اندازه‌گیری شده در بازه زمانی 2005/10 الی 2006/10.

4-روابط حاکم بر مدل

مدل Mike21 SW بخشی از مجموعه Mike21 می‌باشد، که در موسسه هیدرولیک دانمارک توسعه یافته است. این مدل تشدید، زوال و انتقال امواج ناشی از باد و امواج دورا را در مناطق دور از ساحل و نواحی ساحلی شبیه‌سازی می‌کند. این مدل دارای دو فرمول‌بندی متفاوت است:

- فرمول‌بندی پارامتری جهتی
- فرمول‌بندی کاملاً طیفی

گسسته‌سازی معادلات حاکم در فضای طیفی و جغرافیایی با استفاده از روش احجام محدود مرکزی صورت می‌پذیرد. فضای مدلسازی این مدل به صورت مش‌بندی مثلثی نامنظم می‌باشد. مبنای مدل SW برای پیش‌بینی امواج، حل معادله انتقال انرژی به صورت طیف جهتی است. شکل معادلات انتقال انرژی این مدل در حالت دو بعدی به صورت زیر می‌باشد، [2]:

$$\frac{\partial E}{\partial t}+\frac{\cos\theta}{C}\frac{\partial(E.C.C_g)}{\partial x}+\frac{\sin\theta}{C}\frac{\partial(E.C.C_g)}{\partial y}+\frac{C_g}{C}(\sin\theta\frac{\partial C}{\partial x}-\cos\theta\frac{\partial C}{\partial y})\frac{\partial E}{\partial\theta}=S$$

که در آن:

$E(t,x,y,f,\theta)$ طیف انرژی موج فرکانسی-جهتی

t زمان

x,y مختصات دکارتی در حالت دو بعدی

f فرکانس

θ جهت انتشار امواج

C_g سرعت گروهی موج

C سرعت انتشار موج

S منبع.

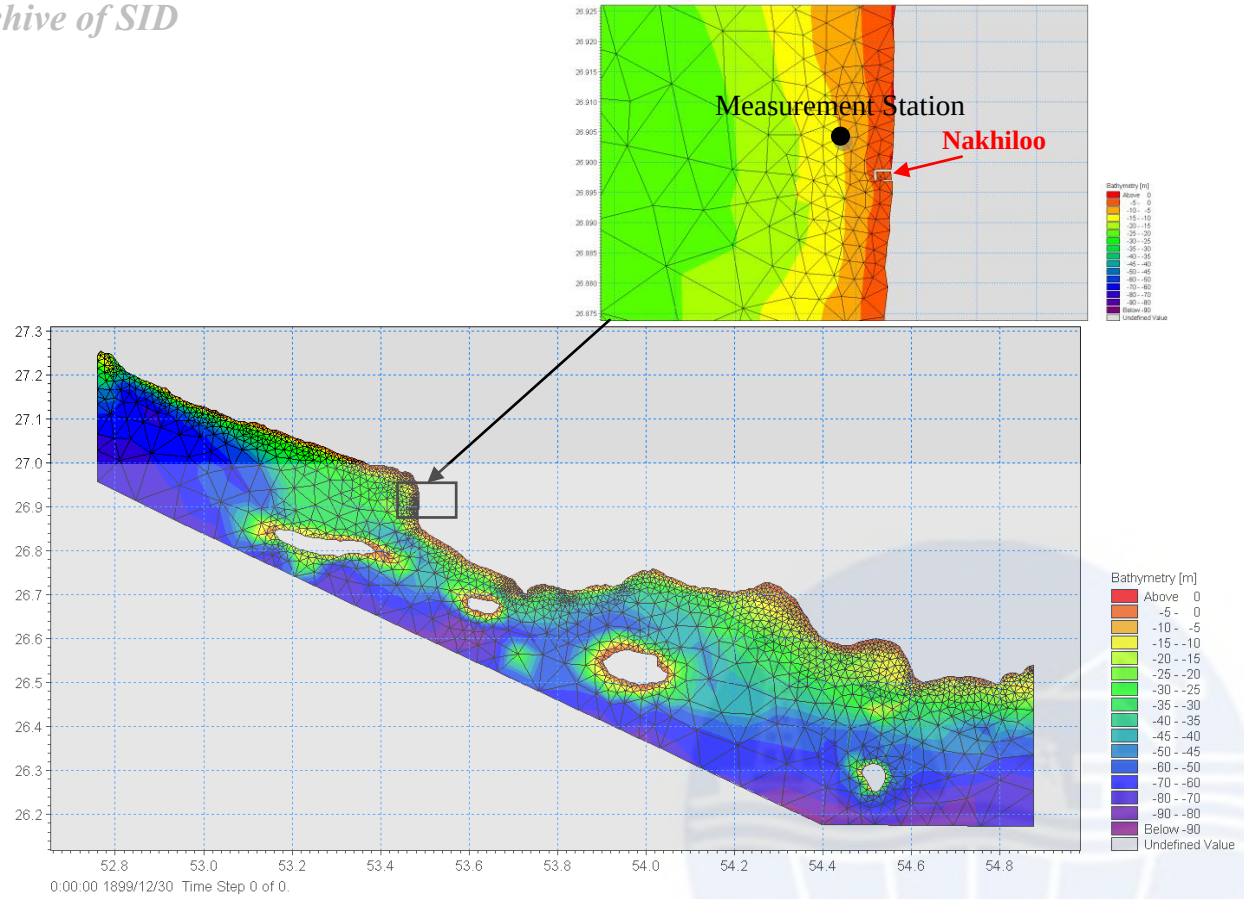
5- راه‌اندازی مدل

مدل ریاضی مربوطه، بخش اعظمی از سواحل غربی استان هرمزگان را پوشش می‌دهد. این مدلسازی برای انتقال امواج آبهای دوردست غرب استان هرمزگان به آبهای کم عمق در پروژه پایش و شبیه‌سازی استان هرمزگان تهیه شده است [3]. شکل 2 شبکه‌بندی استفاده شده در این مدلسازی را نشان می‌دهد. برای شرایط مرزی این مدل از اطلاعات مدلهای باد و موج سراسری پروژه پایش و شبیه‌سازی استان هرمزگان استفاده شده است[4]. این اطلاعات حاصل از مدلهای باد و موج بزرگ مقیاس شامل کل دریای عمان و خلیج‌فارس و قسمتی از اقیانوس هند بوده و خروجی‌های آنها در شبکه‌ای به ابعاد 0/125×0/125 درجه در دسترس می‌باشد.

www.SID.ir

Archive of SID

Archive of SID



شکل 2) شبکه‌بندی استفاده شده برای مدلسازی انتقال امواج و موقعیت ایستگاه اندازه‌گیری در نزدیکی بندر نخیلو

6- کالیبراسیون مدل

کالیبراسیون مدلهای طیفی امواج بسته به نوع و مورد، به وسیله تغییر ضریب زبری بستر، ضریب تداخل آب و هوا و ضرایب Cs و Delta در White Capping انجام می‌گیرد[2]. کالیبراسیون مدل حاضر در منطقه نخیلو به وسیله مقایسه نتایج مدل با آمار یک ساله اندازه گیری امواج در حوالی بندر نخیلو به روشهایی که در ادامه ذکر می‌گردد، صورت گرفته است.

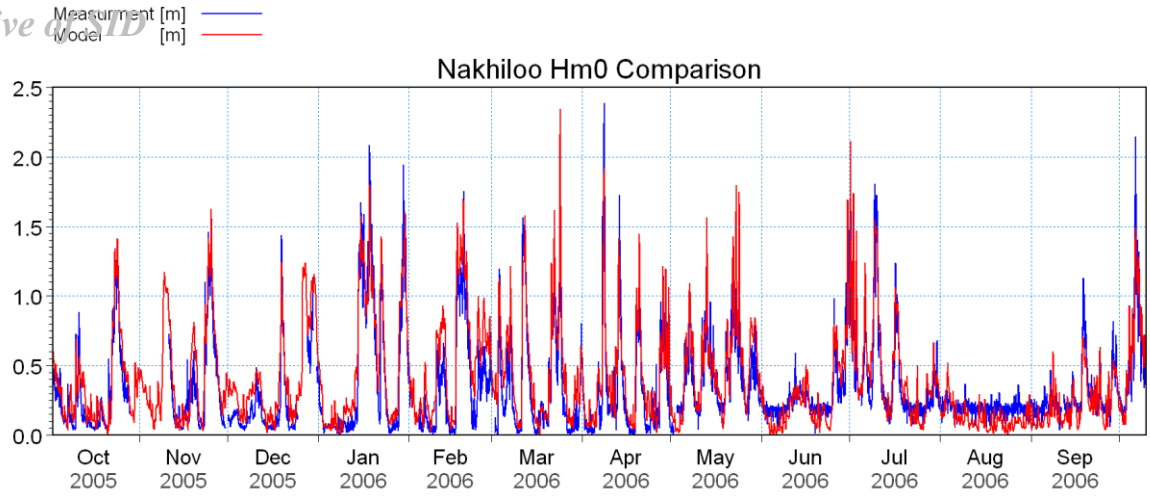
6-1- مقایسه و کالیبراسیون به روش کلاسیک

ساده‌ترین و معمولترین روش مقایسه نتایج مدل با اندازه‌گیری استفاده از نمودار سری زمانی می‌باشد. در این روش مقادیر بدست آمده از مدل و اندازه‌گیری برای هر زمان خاص بر روی نموداری رسم و مقایسه می‌گردد. با این روش مقایسه می‌توان عدم تطابقها و اختلافات کلی نتایج مدل و اندازه‌گیریها مانند اختلاف زمانی کل دو نمودار یا اختلاف یکنواخت در کل دوره مقایسه را تشخیص و با تغییر ضرایب کالیبراسیون اصلاح نمود. شکل 3 مقایسه سری زمانی ارتفاع امواج اندازه‌گیری و مدلسازی را پس از کالیبره نمودن به روش سری زمانی نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌گردد، نتایج مدلسازی امواج به طور کلی همخوانی مناسبی با نتایج اندازه‌گیری دارند. اما اگر این نمودار با دقت بیشتری مورد بررسی قرار گیرد، مشاهده می‌گردد که در برخی از طوفانهای روی داده در طول دوره اندازه‌گیری، ارتفاع موج بدست آمده از دستگاه اندازه‌گیری بیشتر از مدلسازی و بلعکس در برخی دیگر ارتفاع موج بدست آمده مدلسازی بیشتر از اندازه‌گیری می‌باشد. شکل 4 موجهای با ارتفاع بیش از 1/5 متر در طول دوره اندازه‌گیری را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌گردد در برخی از طوفانها نتایج مدل با اندازه‌گیریها کاملا تطابق دارد، اما در 4 مورد ارتفاع موج اندازه‌گیری 20 تا 60 سانتی‌متر بزرگتر از مدل و در 3 مورد ارتفاع موج مدل 20 تا 50 سانتی‌متر از اندازه‌گیریها بزرگتر است. با توجه به این مسئله که تغییر ضرایب کالیبراسیون در مدلها باعث بلندتر یا کوتاه‌تر شدن کلیه امواج می‌گردد، لذا نمی‌توان ضرایب مدل را به گونه‌ای انتخاب نمود که پیکهای اندازه‌گیری و مدل در همه زمانها با هم انطباق کامل داشته باشند. لذا به وسیله رسم نمودار سری زمانی تنها می‌توان اختلافات کلی بین مدل و اندازه‌گیریها را برطرف نمود. این مسئله عمده‌ترین ضعف کالیبراسیون با استفاده از روش مقایسه سری زمانی به تنهایی می‌باشد.

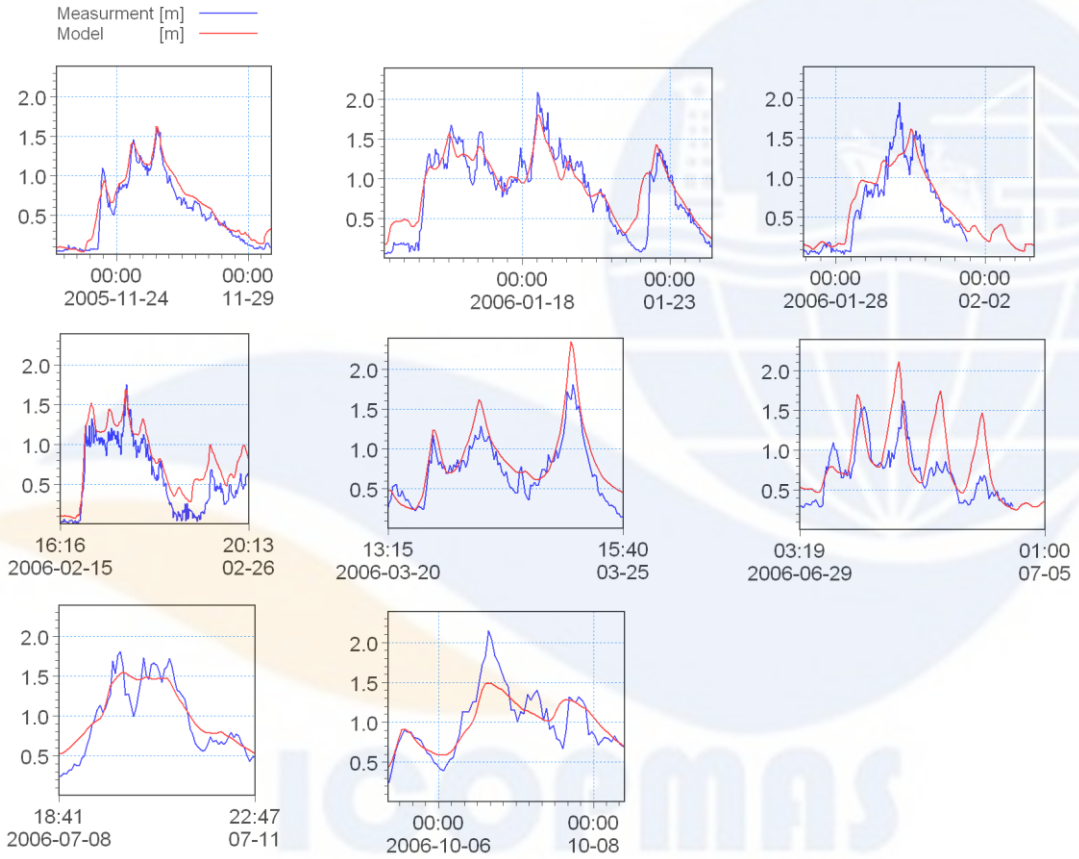
www.SID.ir

www.SID.ir

Archive of SID



شکل 3) مقایسه سری زمانی ارتفاع امواج اندازه‌گیری و مدلسازی پس از کالیبره نمودن به روش سری زمانی.



شکل 4) مقایسه طوفانهای با ارتفاع بیشتر از 1/5 متر در طول دوره اندازه‌گیری.

6-2-مقایسه و کالیبراسیون به روشهای آماری

در مسائل مهندسی سواحل درصد وقوع و دوره بازگشت ارتفاع امواج در کل دوره مدلسازی، از ارتفاع موج در لحظه‌ای خاص اهمیت بیشتری دارند. در مقایسه و کالیبراسیون به روشهای آماری به جای بررسی لحظه به لحظه نتایج بدست آمده، می‌توان کل نتایج را برای یک دوره دراز مدت اندازه‌گیری کالیبره نمود. در واقع در روشهای آماری نتایج به گونه‌ای کالیبره می‌گردند که در کل دوره، درصد وقوع یک ارتفاع موج حاصل از اندازه‌گیری با درصد وقوع همان ارتفاع موج در مدلسازی یکسان باشد. در کالیبراسیون به روش آماری نکته حایز اهمیت در نظر گرفتن اهمیت بیشتر برای امواج با ارتفاع بلند (طوفانها) نسبت به امواج کوچک در مراحل کالیبراسیون می‌باشد. بدون در نظر گرفتن این مسئله ممکن نتایج بدست آمده از مقایسه و کالیبراسیون آماری در جهت اصلاح نتایج مدل نباشد.

www.SID.ir

Archive of SID

Archive of SID

رسم نمودار Q-Q یکی از روشهای آماری جهت مقایسه و کالیبراسیون می‌باشد که براساس توزیع نرمال احتمال دو سری اطلاعات مقایسه رسم می‌گردد. این نمودارها برای مقایسه دو دسته اطلاعات با توزیع یکسان مورد استفاده قرار می‌گیرند. نمودارهای Q-Q شامل یکسری نقاط گسسته و یک خط y=x بوده و هر چه اطلاعات گسسته به خط y=x نزدیکتر باشند، دو دسته اطلاعات مقایسه‌ای توزیع یکسانتری دارند[5].

در این روش با توجه به نتایج بدست آمده از مدل و اندازه‌گیری، معادل هر ارتفاع موج در اندازه‌گیریها یک ارتفاع موج در مدل محاسبه می‌گردد و در نمودار Q-Q به صورت گسسته رسم می‌گردد. شکل 5 نمودار Q-Q قبل و بعد از کالیبراسیون به وسیله نمودار Q-Q را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌گردد، پیش از استفاده از Q-Q plot در کالیبراسیون مدل، موج 2/4 متری در اندازگیری‌ها، معادل یک موج با ارتفاع 2 متر در مدل بوده که با استفاده از Q-Q plot در روند کالیبراسیون، به 2/4 متر رسیده است.

امروزه جهت مقایسه‌های دسته‌های آماری به غیر از رسم نمودار Q-Q، از روشهای آماری دیگری مانند محاسبه پارامترهای آماری دسته‌های اطلاعاتی به وفور استفاده می‌شود. پارامترهای آماری که در مقایسه ارتفاع امواج کاربرد فراوان دارند عبارتند از، [6]:

- BIAS: اختلاف میانگین بین سری‌های اطلاعاتی
- RMS: اختلاف جذر میانگین مربعات بین سری‌های اطلاعاتی
- BI: اختلاف میانگین بی‌بُعد
- SI: ضریب پراکندگی
- R: ضریب همبستگی

هرچه مقدار ضریب همبستگی به یک و هرچه مقدار دیگر ضرایب به صفر نزدیکتر باشد، نتایج مطلوبتر می‌باشد. بر این اساس جهت تدقیق نتایج مدل ابتدا حساسیت مقدار پارامترهای بالا نسبت به تغییر ضرایب کالیبراسیون سنجیده شده و سپس کالیبراسیون نهایی مدل انجام گرفته است. نکته حایز اهمیت در اینجا این است که ضرایب آماری گرچه می‌توانند در کالیبراسیون و تدقیق بیشتر مدل کارا باشند، اما در استفاده از این ضرایب نیز باید احتیاط نمود. بزرگترین نقیصه استفاده از آنها در کالیبراسیون این است که در محاسبه ضرایب فوق میزان اهمیت تمامی اطلاعات یکسان در نظر گرفته می‌شود، به عنوان مثال در این روش میزان اهمیت یک موج با ارتفاع 2 متر با یک موج با ارتفاع 20 سانتی‌متر برابر در نظر گرفته می‌شود.

جهت برطرف نمودن این نقیصه باید به اطلاعات بر اساس میزان ارتفاع موج ضریب اهمیت اختصاص داده شود. با توجه به اینکه انرژی امواج با توان 2 ارتفاع آنها ارتباط مستقیم دارد، بنابراین در این مطالعات ضریب اهمیت به نسبت توان 2 ارتفاع امواج به هر دسته اطلاعات موج تخصیص داده شده، سپس هریک از ضرایب آماری برای هر دسته موج بر این اساس محاسبه و در نهایت با توجه به ضرایب اهمیت و تعداد داده‌ها در هر دسته ضرایب معادل جهت استفاده در کالیبراسیون مدل محاسبه گشته‌اند. بر این اساس ضریب اهمیت برای هر دسته اطلاعات از رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$IF_i = {(Hs_i)^2}\Big/{Hs_1}$$

و به عنوان نمونه مقدار ضریب همبستگی معادل برای کل اطلاعات از رابطه زیر قابل محاسبه خواهد بود:

$$R_e = \frac{\sum_{n=1}^{N} n_i \times IF_i \times R_i}{\sum_{n=1}^{N} n_i \times IF_i}$$

که در این رابطه‌ها:

R_e ضریب همبستگی معادل کل داده‌ها

Hs_i ارتفاع موج مشخصه دسته اطلاعاتی i

R_i ضریب همبستگی دسته اطلاعاتی i

IF_i ضریب اهمیت دسته اطلاعاتی i

n_i تعداد داده‌ها در دسته اطلاعاتی i

N تعداد کل داده‌ها

بدین ترتیب در این مطالعات ارتفاع امواج را به 5 دسته با فواصل 0/5 متری تقسیم‌بندی نموده و ضرایب اهمیت محاسبه گشته است. این ضرایب در جدول 1 ارائه شده است. جهت انجام محاسبات فوق یک کد نویسی در محیط MATLAB انجام گرفته است. این کد با گرفتن مقادیر اندازه‌گیری و همچنین خروجی‌های مدل برای حالات مختلف اجرا، مقدار ضرایب آماری را برای هر حالت اجرا محاسبه نموده و در یک فایل متنی ذخیره می‌نماید. جدول 2 پارامترهای آماری برای هر بازه ارتفاع موج و همچنین پارامترهای آماری معادل پیش از کالیبراسیون با

www.SID.ir

www.SID.ir

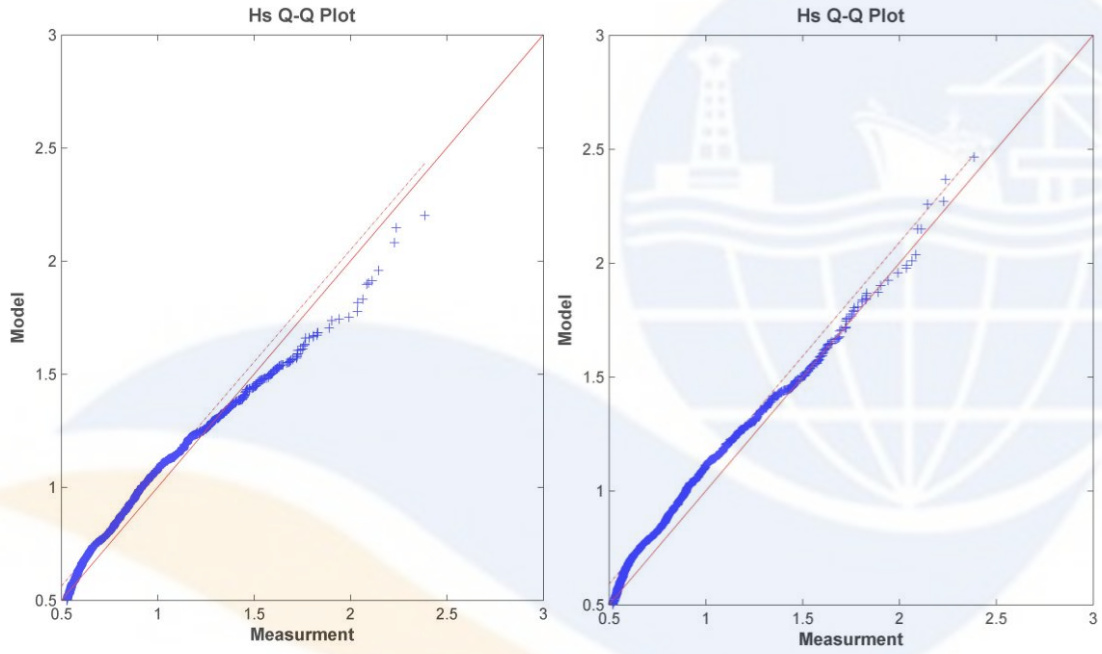
Archive of SID

Archive of SID

استفاده از پارامترهای آماری و جدول 3 همین اطلاعات را پس از کالیبراسیون با استفاده از پارامترهای آماری را نشان می‌دهد. البته باید توجه داشت که برخی از این پارامترهای معادل بدست آمده همچون ضریب همبستگی، برابر با ضریب همبستگی کل اطلاعات نمی‌باشند و به همین دلیل در این مطالعات آنها ضریب همبستگی معادل نامیده شده‌اند. به عبارت دیگر ضریب همبستگی کل اطلاعات پیش از انجام کالیبراسیون پارمتریک آماری 0/87 و پس از آن برابر با 0/90 می‌باشد.

7- ارائه یک رویه مناسب برای کالیبراسیون

بوسیله نتایج بدست آمده از این تحقیق، می‌تواند یک رویه مناسب برای مدلسازی امواج ارائه نمود. بر این اساس مراحل کالیبراسیون یک مدل موج را می‌توان به سه مرحله تقسیم‌بندی نمود. مرحله اول رسم نمودار سری زمانی امواج می‌باشد. بوسیله این نمودار می‌توان اختلافات زمانی و یا اختلافات کلی نتایج مدل و اندازه‌گیری را تشخیص و اصلاح نمود. مرحله دوم رسم نمودار Q-Q است. در این مرحله هرچه داده‌های گسسته نمودار به خط y=x نزدیکتر باشند، دو دسته اطلاعاتی توزیع یکسانتری دارند، بنابراین باید با تغییر پارامترهای کالیبراسیون مدل، داده‌های گسسته روی نمودار را به خط y=x نزدیکتر نمود. مرحله سوم، محاسبه پارامترهای آماری مختلف می‌باشد، که در این مرحله باید توجه داشت که ضریب اهمیت ارتفاع امواج حتما در محاسبات در نظر گرفته شود.



شکل 5) مقایسه و کالیبراسیون نتایج مدل با استفاده از Q-Q plot برای امواج بزرگتر از 0/5متر. (سمت چپ: پیش از کالیبراسیون با استفاده از نمودار Q-Q و سمت راست پس از کالیبراسیون با استفاده از نمودار Q-Q).

جدول 1: ضرایب اهمیت برای هر دسته از اطلاعات ارتفاع موج

Hs Range (m)	Hs_i *(m)*	IF_i *(m)*
0-0.5	0.25	1
0.5-1.0	0.75	9
1.0-1.5	1.25	25
1.5-2.0	1.75	49
2.0-2.5	2.25	81

www.SID.ir

www.SID.ir

Archive of SID

Archive of SID

جدول 2: پارامترهای آماری برای هر بازه ارتفاع موج و همچنین پارامترهای آماری معادل پیش از کالیبراسیون پارامتریک آماری

Hs Range	Bias	RMS	BI	SI	R	n
0-0.5	0.34	0.38	0.93	1.03	0.16	787
0.5-1.0	0.26	0.39	0.37	0.55	0.54	1214
1.0-1.5	0.28	0.41	0.23	0.34	0.28	442
1.5-2.0	0.2	0.43	0.12	0.26	0.18	82
2.0-2.5	0.15	0.28	0.07	0.13	0.48	10
Equivalent Coefficient	**0.26**	**0.4**	**0.28**	**0.42**	**0.37**	

جدول 3: پارامترهای آماری برای هر بازه ارتفاع موج و همچنین پارامترهای آماری معادل پس از کالیبراسیون پارامتریک آماری

Hs Range	Bias	RMS	BI	SI	R	n
0-0.5	0.23	0.26	0.61	0.71	0.21	787
0.5-1.0	0.07	0.21	0.1	0.29	0.58	1214
1.0-1.5	0.02	0.23	0.01	0.19	0.31	442
1.5-2.0	-0.14	0.32	-0.09	0.19	0.22	82
2.0-2.5	-0.41	0.42	-0.19	0.2	0.61	10
Equivalent Coefficient	**0.00**	**0.24**	**0.05**	**0.25**	**0.42**	

8- نتیجه گیری

اکتفا نمودن به کالیبراسیون مدلها با مقایسه سری‌های زمانی به تنهایی، می‌تواند منجر به نتایج غیر واقعی و غیر دقیق گردد. علاوه بر آن در برخی از موارد به دلیل عدم یکسان و هم علامت بودن اختلاف میان نتایج مدل و اندازه‌گیری، با استفاده از مقایسه سری زمانی نمی‌توان به نتیجه ایده‌آل رسید. در این مواقع جهت کالیبراسیون مدل امواج می‌توان از روشهای آماری همچون Q-Q plot و همچنین محاسبه پارامترهای آماری در کنار مقایسه سری زمانی استفاده نمود. بر این اساس، جهت کالیبراسیون مدل ابتدا باید اختلافات زمانی و یا اختلافات کلی نتایج مدل و اندازه‌گیری را به وسیله رسم سری زمانی تشخیص و اصلاح نمود. سپس با رسم نمودار Q-Q داده‌های گسسته روی نمودار را به خط y=x نزدیکتر نمود تا دو دسته اطلاعاتی توزیع یکسانتری پیدا کنند، و درنهایت با محاسبه پارامترهای آماری مختلف و در نظر گرفتن ضریب اهمیت ارتفاع امواج، کالیبراسیون نهایی مدل را انجام داد.

9- مراجع

[1] دریا نگار پارس (1385)، اندازه‌گیریهای میدانی پروژه سایت 3 منطقه ویژه انرژی.

[2] DHI, Mike 21 Spectral Waves FM Module User Guide and Science Document.

[3] Fara Darya Arshe (2010), Monitoring and modeling study of coastal zone of Hormozgan province, Wind Report.

[4] Fara Darya Arshe (2010), Monitoring and modeling study of coastal zone of Hormozgan province, Offshore Wave Modeling Report.

[5] The MathWorks, Inc., MATLAB User Manual.

[6] Ronald Christensen (2002), Plane Answers to Complex Questions: The Theory of Linear Models, Third Edition Springer.

www.SID.ir

www.SID.ir