

صحت سنجی خروجی مدل SWAN با فراسنج های اقلیمی شاهد

مجتبی ذوالجودی^{۱*}، سیده مژگان قاضی میرسعید^۲

۱. دکتری فیزیک دریا- سازمان هواشناسی کشور

۲. کارشناس ارشد فیزیک دریا- سازمان هواشناسی کشور

تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۱۰/۱۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۹/۱۲/۲۵

چکیده

پیش بینی وضع دریا و نقش آن در حمل و نقل دریایی، کشتیرانی، شیلات، صیادی و نیز در امور تخصصی بر همگان روشن است. با بهره گیری بهینه از مدل های مختلف و شناخت از میزان صحت و دقت آن ها، می توان گام هایی موثر در جهت تحقق این مهم برداشت. یکی از مدل هایی که مطالعه تحقیقاتی در مورد آن مفید می باشد، مدل SWAN است و برای ارزیابی عملکرد این مدل از نظر اجرایی و علمی، مطالعه در خصوص راستی آزمایی محصولات آن لازم است. در این مطالعه، خروجی ارتفاع و تناوب موج حاصل از اجرای مدل مذکور با داده های شاهد موجود برای بوشهر و عسلویه مورد راستی آزمایی قرار گرفته است. با انجام این تحقیق سعی بر آن است که میزان دقت و صحت خروجی این مدل با مقادیر متناظر موجود از فراسنج های شاهد و کارایی آن در پیش بینی های ۱۲، ۲۴، و ۴۸ ساعت و بیشتر مورد بررسی و ارزیابی قرار گیرد.

در فرایند راستی آزمایی با تشکیل جدول توافقی به دنبال بررسی انطباق داده های اقلیمی شاهد با خروجی مدل برای دو فراسنج ارتفاع و تناوب موج هستیم. بدین منظور درصد صحت مدل را به ازای مقادیر مدل و داده های شاهد در بازه های زمانی $2s < T < 5s$ ، $T <= 2s$ و $T > 5s$ برای تناوب و $dh <= 25cm$ و $25cm < h < 50cm$ و $h > 50cm$ برای ارتفاع موج به مدت ۱۲، ۲۴، ۴۸، ۷۲ و ۹۹ ساعت در نظر گرفتیم. در این تحقیق همچنین امتیازهای مهارتی مدل برای پیش بینی ارتفاع و تناوب موج محاسبه گردیده اند. میانگین خطای مطلق و نسبی مدل با داده های شاهد برای پیش بینی ۲۴ تا ۹۹ ساعت محاسبه و در جدول ۱۱ فقط مقادیر مربوط به ۴۸ ساعت که در مجموع از دقت بالاتری برخوردار بوده اند درج شده است. نمودارهای سری زمانی ارتفاع و تناوب موج مدل و دیدبانی ناشی از بویه ترسیم شده اند. نتایج نهایی از جمع بندی تحلیل ها بدست آمده اند.

کلید واژه ها: راستی آزمایی، جدول توافقی، فراسنج های اقلیمی

مقدمه

مؤسسات بسیاری در سراسر دنیا از مدل SWAN به عنوان ابزاری کاربردی برای پیش بینی شرایط موج نزدیک ساحل استفاده می کنند.

در مرکز پیش بینی سازمان هواشناسی برای اجرای مدل SWAN از میدان باد در ارتفاع ۱۰ متر و عمق آب به عنوان ورودی، استفاده شده است. این مدل با مدل MM5 که یک مدل منطقه‌ای پیش بینی عددی وضع هوا است، جفت شده و از برون داد MM5 برای تهیه میدان باد به عنوان ورودی مدل SWAN استفاده شده است. از برون داد مدل برای حوزه خلیج فارس استفاده می شود.

در مقاله حاضر از داده‌های شاهد بویه‌های بوشهر و عسلویه استفاده شده و مقادیر آنها با مقادیر حاصل از اجرای مدل در مرکز پیش بینی سازمان هواشناسی، مقایسه شده است. نتایج مقایسه نشان داد که مدل SWAN توانایی پیش بینی مولفه‌های موج را با دقت مناسب دارد.

در این تحقیق از فرایند راستی آزمایی استفاده شده و با تشکیل جدول توافقی و محاسبه شاخص‌های آماری نرده‌ای وابسته به جدول توافقی برای انطباق فراسنج‌های شاهد و خروجی مدل در خصوص دو پارامتر ارتفاع و تناوب موج استفاده گردیده است.

میانگین خطای مطلق مدل و دو فراسنج شاهد مورد نظر برای پیش بینی‌های ۱۲، ۲۴، ۴۸ و ۷۲ و ۹۹ ساعت محاسبه و در جدول (۱۱) فقط مقادیر مربوط به پیش بینی‌های ۴۸ ساعته درج شده است. درصد صحت مدل برای بازه‌های زمانی $T \leq 2s$ ، $2s < T < 5s$ و $T > 5s$ و برای تناوب و $h \leq 25cm$ ، $25cm < h < 50cm$ و $h > 50cm$ برای ارتفاع موج محاسبه گردیده‌اند.

در ذیل به شرح مختصری از روش‌های استفاده شده اشاره شده است.

در دو دهه گذشته تعدادی از مدل‌های طیفی باد- موج با عنوان مدل‌های نسل سوم مانند Wave watch III و WAM (تالمن ۱۹۹۱)، TomAWA (بنویت ۱۹۹۶) و SWAN^۱ (بویج، ۱۹۹۹) بسط و توسعه یافتند. این مدل‌ها، معادله توازن حرکت طیفی را برای رشد موج بدون هر گونه قید قبلی بر روی طیف، حل می کنند.

مدل موج آب کم عمق SWAN، شاخه‌ای از مدل‌های نسل سوم آب‌های عمیق است. SWAN مدلی کاملاً طیفی است و رشد تدریجی موج حاصل از باد را در مناطق ساحلی کم عمق با توجه به جریانات محیطی محاسبه می کند. SWAN در دانشگاه صنعتی Delft توسعه یافته است.

SWAN یک مدل زمان ثابت و بطور اختیاری زمان پویا است و می تواند در دستگاه مختصات کارترزین (فقط برای مقیاس‌های کوچک توصیه می شود) و مختصات کروی (مقیاس‌های کوچک و مقیاس‌های بزرگ) بکار برده شود. در مدل SWAN میدان باد ۱۰ متری، جریان آب، شبکه عمق آب و اصطکاک بستر دریا بعنوان ورودی در نظر گرفته می شوند و بیش از ۳۰ پارامتر خروجی دارد. پارامترهای خروجی را می توان بر روی یک نقطه، منحنی، شبکه یا گروهی از نقاط بر روی سطح دریا یا سطحی با ارتفاع معین از بستر دریا استخراج کرد.

مواد و روش ها

مدل SWAN یک مدل پیش‌بینی عددی نسل سوم، برای محاسبه مولفه‌های موج در منطقه ی ساحلی، دریاچه یا مدخل رودخانه است که از اطلاعات میدان باد، توپوگرافی بستر در آن به عنوان ورودی استفاده می شود.

^۱ Simulated Waves Near shore

• راستی آزمایی

راستی آزمایی پیش‌بینی وضع هوا حداقل از سال ۱۸۸۴ میلادی مطرح شده است. منظور از فرایند راستی آزمایی، ارزیابی کیفیت پیش‌بینی‌های هواشناسی است و در آن نتایج فرایند پیش‌بینی با داده‌های شاهد متناظر مقایسه می‌شود.

در راستی آزمایی هر پیش‌بینی، به شیوه‌های مختلف یک ارزیابی عینی از کیفیت پیش‌بینی انجام می‌گیرد. نتایج راستی آزمایی باید حاوی اطلاعات مفیدی باشد تا بتوان راهکارهای جدیدی برای پیش‌بینی بهتر به دست آورد.

همچنین تحلیل آماری راستی آزمایی می‌تواند به ارزیابی نقاط قوت و ضعف پیش‌بین و یا فرایند پیش‌بینی کمک کند.

• جدول توافقی

برای انجام فرایند راستی آزمایی به تابع احتمال مشترک پیش‌بینی- دیدبانی نیاز است. ساده‌ترین راه برای راست آزمایی پیش‌بینی‌ها تشکیل جدول توافقی (۲×۲) می‌باشد.

با فرض اینکه پیش‌بینی و دیدبانی به ترتیب با Y و O نشان داده شوند، جدول توافقی (۲×۲) به شکل جدول ۱ تشکیل داده می‌شود.

در این جدول O_1 تعداد دیدبانی‌های مثبت (وقوع پدیده)، O_2 تعداد دیدبانی‌های منفی (عدم وقوع پدیده)، Y_1 تعداد پیش‌بینی‌های مثبت (وقوع پدیده)، Y_2 تعداد پیش‌بینی‌های منفی (عدم وقوع پدیده)، a تعداد دفعاتی که پدیده اتفاق افتاده و وقوع آن پیش‌بینی شده است، b تعداد دفعاتی که پدیده اتفاق نیافتاده و وقوع آن پیش‌بینی

جدول ۱. جدول توافقی (۲×۲)

	O_1	O_2	
Y_1	a	b	a + b
Y_2	c	d	c + d
	a + c	b + d	n = a + b + c + d

جدول ۲. چند شاخص آماری زده‌ای وابسته به جدول توافقی (۲×۲)

بازدهی تغییرات	رابطه	کمیت
صفر تا یک: یک برای پیش‌بینی کامل و صفر برای پیش‌بینی کاملاً نادرست	$(a+d)/n$	pc نسبت صحیح
می‌تواند کمتر و یا بیشتر از یک باشد. بهترین مقدار برای پیش‌بینی کامل یک است	$(a+b)/(a+c)$	B اریبی
صفر تا یک: صفر برای پیش‌بینی کامل و یک برای پیش‌بینی کاملاً نادرست	$b/(a+b)$	FAR نسبت هشدارهای نادرست
صفر تا یک: یک برای پیش‌بینی کامل و صفر برای پیش‌بینی کاملاً نادرست	$a/(a+b+c)$	TS امتیاز تهدید
صفر تا یک: یک برای پیش‌بینی کامل و صفر برای پیش‌بینی کاملاً نادرست	$a/(a+c)$	H آهنگ برخورد
صفر تا یک: صفر برای پیش‌بینی کامل و یک برای پیش‌بینی کاملاً نادرست	$b/(b+d)$	F آهنگ هشدارهای تقلبی

• میانگین خطاهای مطلق

مقدار این شاخص از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |F_i - O_i|$$

همچنین در این تحقیق، نمودارهای سری زمانی ارتفاع و تناوب موج مدل و دیدبانی ناشی از بویه ترسیم شده اند.

بحث و نتیجه گیری

در کشورمان، ایران، استفاده عملیاتی از مدل های منطقه ای پیش بینی عددی وضع دریا در چند سال اخیر متداول شده است. با این وجود هنوز مطالعه ای برای راستی آزمایی محصولات مدل، به صورت جدی انجام نشده است.

راستی آزمایی به سه دلیل مهم اجرائی، اقتصادی و علمی ضروری می باشد. در دیدگاه علمی راستی آزمایی عبارتست از ارزیابی مجموعه ای از پیش بینی ها که در نهایت می تواند به بهبود پیش بینی و یا مدل سازی منجر شود. با توجه به اهمیت راستی آزمایی خروجی های مدل، در این تحقیق سعی بر آن بوده است تا صحت خروجی های ارتفاع و تناوب مدل SWAN را با فرانسج های شاهد بوشهر و عسلویه برای دو کمیت ارتفاع و تناوب موج بررسی نماییم. با انجام این تحقیق و بررسی میزان دقت و صحت خروجی این مدل و در نتیجه کارایی مدل، مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفته است و لذا این امکان فراهم می گردد تا با آگاهی بیشتر نتایج مدل را به کار بندیم.

بدین منظور با بررسی مقادیر حاصل از خروجی مدل و داده های شاهد برای دو منطقه بوشهر و عسلویه و تعیین مقادیر حداقل و حداکثر برای دو فرانسج مذکور، بازه های زیر را تعریف کردیم و صحت مدل را در محدوده

شده است، c تعداد دفعاتی که پدیده اتفاق افتاده و وقوع آن پیش بینی نشده است و d تعداد دفعاتی که پدیده اتفاق نیافتاده و وقوع آن پیش بینی نشده است، می باشد.

راستی آزمایی تنها به حالت (۲×۲) محدود نمی شود و می توان برای پدیده های بیش از دو حالت جدول های توافقی بزرگتری (۳×۳ و ...) تشکیل داد.

برای تحلیل جدول از شاخص های آماری مختلفی استفاده می شود؛ به طور نمونه در جدول ۲ چند شاخص آماری نرده ای وابسته به جدول توافقی (۲×۲) آورده شده است.

• راستی آزمایی چشمی

روش راستی آزمایی چشمی یکی از قدیمی ترین و بهترین روش های راستی آزمایی است. در این روش دیدبانی (واقعیت) با پیش بینی توسط یک ناظر مشاهده می شود و با استفاده از قضاوت انسانی میزان خطا تخمین زده می شود. سری های زمانی و نقشه ها را با این روش می توان راستی آزمایی نمود.

• محاسبه میانگین خطا

برای محاسبه میانگین خطای نسبی از رابطه زیر استفاده شده است:

$$mean\ error = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (F_i - O_i)$$

که در آن F_i مقدار پیش بینی شده متغیر مورد نظر و O_i مقدار دیدبانی شده متناظر با آن است.

هر چند به نظر می رسد که فقط در بهترین حالت مقدار میانگین خطای پیش بینی برابر صفر باشد، اما واقعاً این گونه نیست؛ چه بسا مقادیر پیش بینی شده دارای خطای زیادی باشند ولی تفاضل مقدار دیدبانی شده از آنها گاهی مثبت و گاهی منفی شود و در نتیجه مقدار میانگین خطای پیش بینی صفر یا نزدیک به صفر شود.

پیش‌بینی وقوع یا عدم وقوع تناوب موج و بیش از ۸۶ درصد موارد برای ارتفاع موج به درستی انجام شده است و در عسلویه این مقدار برای تناوب موج بیش از ۶۴ درصد و برای ارتفاع موج بیش از ۸۸ درصد موارد بوده است.

در تحلیل کمیت نسبت هشدارهای نادرست (FAR) برای هر دو منطقه دیده می‌شود که به طور نسبی در کمتر از پنج درصد موارد پیش‌بینی‌ها نادرست بوده است و هرچه مدت پیش‌بینی بیشتر شده این مقدار از صفر به پنج درصد نزدیک شده است. آهنگ برخورد (H) در پیش‌بینی‌ها برای ارتفاع موج مقدار بیش از ۰/۹۰ و برای تناوب موج در منطقه بوشهر بیش از ۰/۹۴ و برای عسلویه بیش از ۰/۶۴ را داراست؛ بدین معنی که تعداد پیش‌بینی‌های مثبت درست به تعداد کل دیدبانی‌ها در مورد ارتفاع موج در بیش از ۹۰ درصد موارد و برای تناوب موج در بوشهر بیش از ۹۴ و در عسلویه بیش از ۶۴ درصد موارد صحیح می‌باشد.

در تحلیل کمیت امتیاز تهدید یا TS برای هر دو منطقه دیده می‌شود که به طور نسبی در بوشهر برای ارتفاع موج بیش از ۸۶ درصد موارد و برای تناوب موج بیش از ۹۴ درصد موارد پیش‌بینی درست انجام شده است این مقادیر برای عسلویه به ترتیب مقادیر ۸۸ و ۶۳ درصد می‌باشد.

بطور کلی نتایج حاصل از راست‌آزمایی مدل SWAN در خصوص ارتفاع و تناوب موج از دقت قابل قبولی برخوردار است.

همچنین محاسبه میانگین خطاهای مطلق مدل SWAN با فراسنج‌های شاهد نشان می‌دهد که دقت مدل برای پیش‌بینی ارتفاع موج بیشتر از دقت آن برای فراسنج تناوب موج است.

آستانه‌های تعریف شده به کمک اسکریپت نویسی مورد ارزیابی قرار دادیم.

سه آستانه زمانی برای تناوب موج (بر حسب ثانیه) $2s < T < 5s$ و $T > 5s$ و سه آستانه $h \leq 25cm$ ، $25cm < h < 50cm$ و $h > 50cm$ برای ارتفاع موج (بر حسب متر) در نظر گرفتیم.

در منطقه عسلویه بیش از ۶۰ درصد موارد، ارتفاع موج بین $25cm < h < 50cm$ ، کمتر از ۲۰ درصد موارد ارتفاع امواج بیشتر از ۵۰ سانتی متر ($h > 50cm$) و در کمتر از ۱۵ درصد موارد ارتفاع امواج کمتر از ۲۵ سانتی متر ($h \leq 25cm$) بوده است.

در این منطقه، بیش از ۷۱ درصد موارد تناوب موج بین $2s < T < 5s$ ، کمتر از ۲۲ درصد موارد تناوب امواج $T > 5s$ و حدود ۷ درصد موارد تناوب امواج $T \leq 2s$ بوده است. در بوشهر، حدود ۲۱ درصد موارد، ارتفاع موج بین $25cm < h < 50cm$ ، بیش از ۶۶ درصد موارد ارتفاع امواج بیشتر از ۵۰ سانتی متر ($h > 50cm$) و کمتر از ۱۳ درصد موارد ارتفاع امواج کمتر از ۲۵ سانتی متر ($h \leq 25cm$) بوده است.

در این منطقه، حدود ۵۲ درصد موارد تناوب موج بین $2s < T < 5s$ ، بیش از ۷۲ درصد موارد تناوب امواج $T > 5s$ و کمتر از ۱ درصد موارد تناوب امواج $T \leq 2s$ بوده است.

همچنین مقادیر حاصل از محاسبه امتیازهای مهارتی برای پیش‌بینی‌های ۱۲، ۲۴، ۴۸، ۷۲ و ۹۹ ساعت نشان می‌دهد که مدل برای پیش‌بینی‌های ۴۸ ساعت برای هر دو فراسنج و در هر دو منطقه بوشهر و عسلویه از دقت بالایی برخوردار است. مقادیر نسبت صحیح (PC) نشان می‌دهد که در بوشهر بیش از ۹۴ درصد موارد،

جدول ۱- نتایج راستی آزمایی پیش بینی ۹۹ ساعت برای بوشهر

Bushehr	T(s)	H(m)	مقادیر پیش بینی کامل
pc=a+d/n	0/948823529	0/866471	1
B=a+b/a+c	0/948306595	0/951875	1
Far=b/a+b	0	0/049245	0
Ts=a/a+b+c	0/948306595	0/864478	1
H=a/a+c	0/948306595	0/905	1

جدول ۲- نتایج راستی آزمایی پیش بینی ۷۲ ساعت برای بوشهر

Bushehr	T(s)	H(m)	مقادیر پیش بینی کامل
pc=a+d/n	0/95123839	0/880805	1
B=a+b/a+c	0/950588235	0/93538	1
Far=b/a+b	0	0/031952	0
Ts=a/a+b+c	0/950588235	0/879216	1
H=a/a+c	0/950588235	0/905493	1

جدول ۳- نتایج راستی آزمایی پیش بینی ۴۸ ساعت برای بوشهر

Bushehr	T(s)	H(m)	مقادیر پیش بینی کامل
pc=a+d/n	0/954751131	0/906109	1
B=a+b/a+c	0/953863899	0/915313	1
Far=b/a+b	0	0/006337	0
Ts=a/a+b+c	0/953863899	0/904268	1
H=a/a+c	0/953863899	0/909513	1

جدول ۴- نتایج راستی آزمایی پیش بینی ۲۴ ساعت برای بوشهر

Bushehr	T(s)	H(m)	مقادیر پیش بینی کامل
pc=a+d/n	0/964285714	0/922794	1
B=a+b/a+c	0/962962963	0/917647	1
Far=b/a+b	0	0	0
Ts=a/a+b+c	0/962962963	0/917647	1
H=a/a+c	0/962962963	0/917647	1

جدول ۵- نتایج راستی آزمایی پیش بینی ۱۲ ساعت برای بوشهر

Bushehr	T(s)	H(m)	مقادیر پیش بینی کامل
pc=a+d/n	0/959558824	0/918067	1
B=a+b/a+c	0/956862745	0/915033	1
Far=b/a+b	0	0	0
Ts=a/a+b+c	0/956862745	0/915033	1
H=a/a+c	0/956862745	0/915033	1

جدول ۶- نتایج راستی آزمایی پیش بینی ۹۹ ساعت برای عسلویه

Assaluyeh	T(s)	H(m)	مقادیر پیش بینی کامل
pc=a+d/n	0/64875	0/88875	1
B=a+b/a+c	0/64520202	0/921594	1
Far=b/a+b	0	0/019526	0
Ts=a/a+b+c	0/64520202	0/887626	1
H=a/a+c	0/64520202	0/903599	1

جدول ۷- نتایج راستی آزمایی پیش بینی ۷۲ ساعت برای عسلویه

Assaluyeh	T(s)	H(m)	مقادیر پیش بینی کامل
pc=a+d/n	0/641571195	0/916118	1
B=a+b/a+c	0/645	0/924623	1
Far=b/a+b	0/007751938	0/005435	0
Ts=a/a+b+c	0/63681592	0/915	1
H=a/a+c	0/64	0/919598	1

جدول ۸- نتایج راستی آزمایی پیش بینی ۴۸ ساعت برای عسلویه

Assaluyeh	T(s)	H(m)	مقادیر پیش بینی کامل
pc=a+d/n	0/641826923	0/944712	1
B=a+b/a+c	0/634803922	0/943627	1
Far=b/a+b	0	0	0
Ts=a/a+b+c	0/634803922	0/943627	1
H=a/a+c	0/634803922	0/943627	1

جدول ۹- نتایج راستی آزمایی پیش بینی ۲۴ ساعت برای عسلویه

Assaluyeh	T(s)	H(m)	مقادیر پیش بینی کامل
pc=a+d/n	0/651785714	0/959821	1
B=a+b/a+c	0/638888889	0/958333	1
Far=b/a+b	0	0	0
Ts=a/a+b+c	0/638888889	0/958333	1
H=a/a+c	0/638888889	0/958333	1

جدول ۱۰- نتایج راستی آزمایی پیش بینی ۱۲ ساعت برای عسلویه

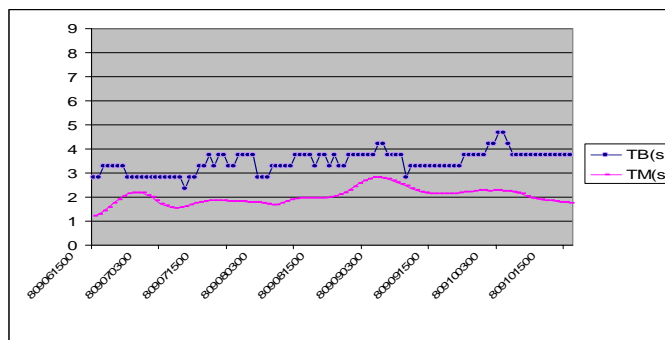
Assaluyeh	T(s)	H(m)	مقادیر پیش بینی کامل
pc=a+d/n	0/5546875	0/945313	1
B=a+b/a+c	0/525	0/941667	1
Far=b/a+b	0	0	0
Ts=a/a+b+c	0/525	0/941667	1
H=a/a+c	0/525	0/941667	1

جدول ۱۱- محاسبه میانگین خطاهای مطلق حاصل از خروجی مدل SWAN با فراسنج های شاهد

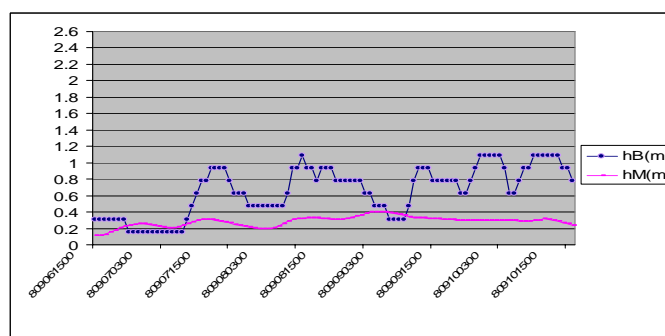
Date	Forecaste	Mean Absolute Error H(m)	Mean Absolute Error T(s)
Agust 2008	۴۸h - Bushehr	۰/۱۸	۱/۱۱
Sep 2008	۴۸h - Bushehr	۰/۳۷۷	۲/۷۸
Agust 2008	۴۸h - Assaluyeh	۰/۱۲	۱/۹۱
Sep 2008	۴۸h - Assaluyeh	۰/۱۹	۱/۷۷

نمودارهای یک تا چهار، سری زمانی ارتفاع و تناوب موج را نشان می دهند که به عنوان نمونه آورده شده اند. خطوط ضخیم پیش بینی و نقطه چین دیدبانی ناشی از بویه است.

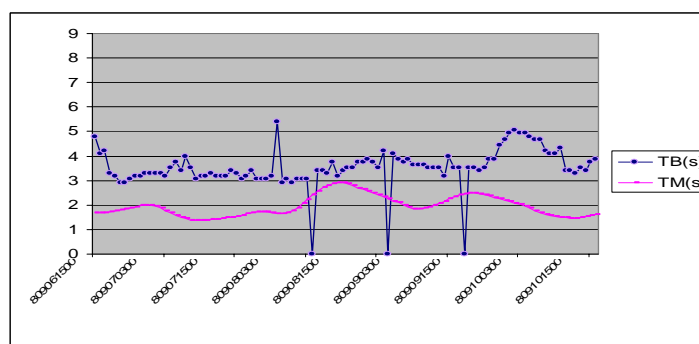
در جدول فوق مقادیر میانگین خطای مطلق برای دو فراسنج مورد نظر نشان می دهد که دقت مدل برای پیش بینی ارتفاع موج بیشتر از دقت آن برای فراسنج تناوب موج بوده است.



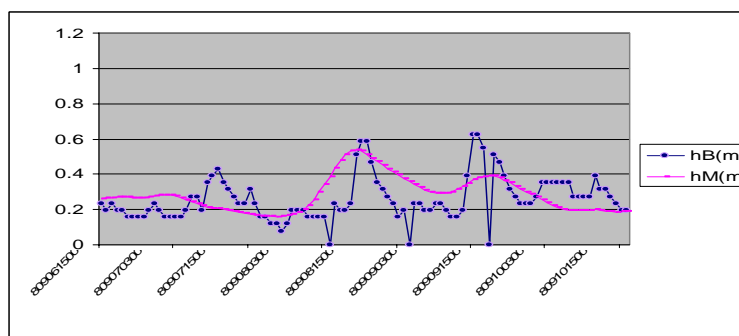
نمودار ۱. بیانگر تناوب موج دیدبانی ناشی از بویه TB و پیش‌بینی TM در مورخ ۲۰۰۸/۰۹/۰۶ برای بوشهر می‌باشد.



نمودار ۲. بیانگر اختلاف ارتفاع موج دیدبانی ناشی از بویه hB و پیش‌بینی hM در مورخ ۲۰۰۸/۰۹/۰۶ برای بوشهر می‌باشد.



نمودار ۳. بیانگر تناوب موج دیدبانی ناشی از بویه TB و پیش‌بینی TM در مورخ ۲۰۰۸/۰۹/۰۶ برای عسلویه می‌باشد.



نمودار ۴. بیانگر اختلاف ارتفاع موج دیدبانی ناشی از بویه hB و پیش‌بینی hM در مورخ ۲۰۰۸/۰۹/۰۶ برای عسلویه می‌باشد.

- Walter Zwiefelhofer and Norbert Kreitz. World Scientific, Singapore., pp 269-276, 2001.
5. Skamarock, W. C., J. B. Klemp, and J. Dudhia, **“Prototypes for the WRF (Weather Research and Forecasting) Model.”** Preprints, Ninth Conf. on Mesoscale Processes, Fort Lauderdale, FL, Amer. Meteor. Soc., J11-J15, 2001.
6. Souleymane F., D. Niyogi, U. C. Mohanty, **“Application of weather prediction models for hazard mitigation planning: a case study of heavy off-season rains in Senegal”**, Springer Science+Business Media B.V. 2002. Sukhumvit Rd., **“Microphysics Schemes Simulation of Heavy Rainfalls in the Low Pressure Trough passed the North of Thailand”**, Thai Meteorological Department, 2006.
- مراجع**
1. Leo H. holthuijsen, **“waves in oceanic and coastal waters”**, Delft Univ. and Tech. and Unesco-IHE, Cambridge Univ. Press, 2007.
 2. The SWAN team, **“SWAN Technical Documentation”** Delft Univ. of Tech., 2007.
 3. **The SWAN team, “SWAN USER MANUAL”** Delft Univ. of Tech., 2007.
 4. Michalakes, J., S. Chen, J. Dudhia, L. Hart, J. Klemp, J. Middlecoff, and W. Skamarock, **“Development of a Next Generation Regional Weather Research and Forecast Model.”**, Developments in Teracomputing: Proceedings of the Ninth ECMWF Workshop on the Use of High Performance Computing in Meteorology. Eds.