ارزيابي مدلهاي پيش بيني امواج ناشي از باد و ارائه مدل مناسب براي سواحل شهرستان بابلسر

نويد حاجي بابايي[1]، سيد علي آزرم سا[2]*

۱- دانش آموخته کارشناسي ارشد فيزيك دريا، دانشكده منابع طبيعي و علوم دريايي، دانشگاه تربيت مدرس، نور
۲- استاديار گروه فيزيك دريا دانشكده منابع طبيعي و علوم دريايي، دانشگاه تربيت مدرس، نور

چکیده

با استفاده از آمار۳ ساعتی سمت و سرعت باد در ایستگاه ساحلی بابلسر و همچنین اطلاعات دریـایی مربـوط بـه بویه موج نگار نکا وضعیت امواج و تلاطم دریا در این منطقه بررسی شد. بـه ایـن منظـور، گلبادهـای منطقـه بـه صورت ماهانه و فصلی رسم شدند. نتایج حاصل نشان دهنده آن است که بیشتر مواقع منطقه آرام است. به علاوه، جهت باد غالب شمالی می باشد. بنابراین با تهیه یک نرم افزار در محیط ویژوال بیسیک[1] مدت زمان تـداوم وزش باد در شرایط مختلف محاسبه شد. نتایج حاصل موید آن است که مدت زمان تداوم وزش بادهـای شـدید کوتـاه است. آنگاه از مدلهای طیفی جان سواپ و پیرسون مسکویچ[2] ومدل SMB برای پـیش بینـی امـواج ناشـی از بـاد استفاده شد. نتایج به دست آمده در پیش بینیها نشاندهندهٔ آن است که در بیشتر اوقـات دریـا دارای تلاطـم کمـی است. ارتفاع امواج در اغلب اوقات به ۰/۵m نیز نمی‌رسد. شرایط توسعه یافته در منطقه بندرت دیده شد. مقایسه نتایج حاصل از پیش بینی با مقادیر واقعی (اطلاعات بویه نکا) مشخص کرد که روشSMB دارای خطای کمتـری نسبت به سایر روشهاست. آنالیز خطای انجام شده روی داده‌هـا بیـانگر آن اسـت کـه اسـتفاده از روش پیرسـون مسکویچ که معمولاً برای شرایط کاملاً توسعه یافته کاربرد داشته و توصیه می شود، با خطای بیش از ۱۰۰٪ همراه است. روش جان سواپ نیز به علت عدم اعمال تصحیحات پنج گانه بر باد منطقه دارای خطای بیشتری نسبت به روش SMB است. سرانجام روش SMB به عنوان مناسبترین روش پیش بینی امواج برای استفاده در منطقه بابلسر توصیه می شود.

کلید واژگان: پیش بینی موج، مدل طیفی جان سواپ، پیرسون مسکویچ، روش SMB، بابلسر.

۱- مقدمه

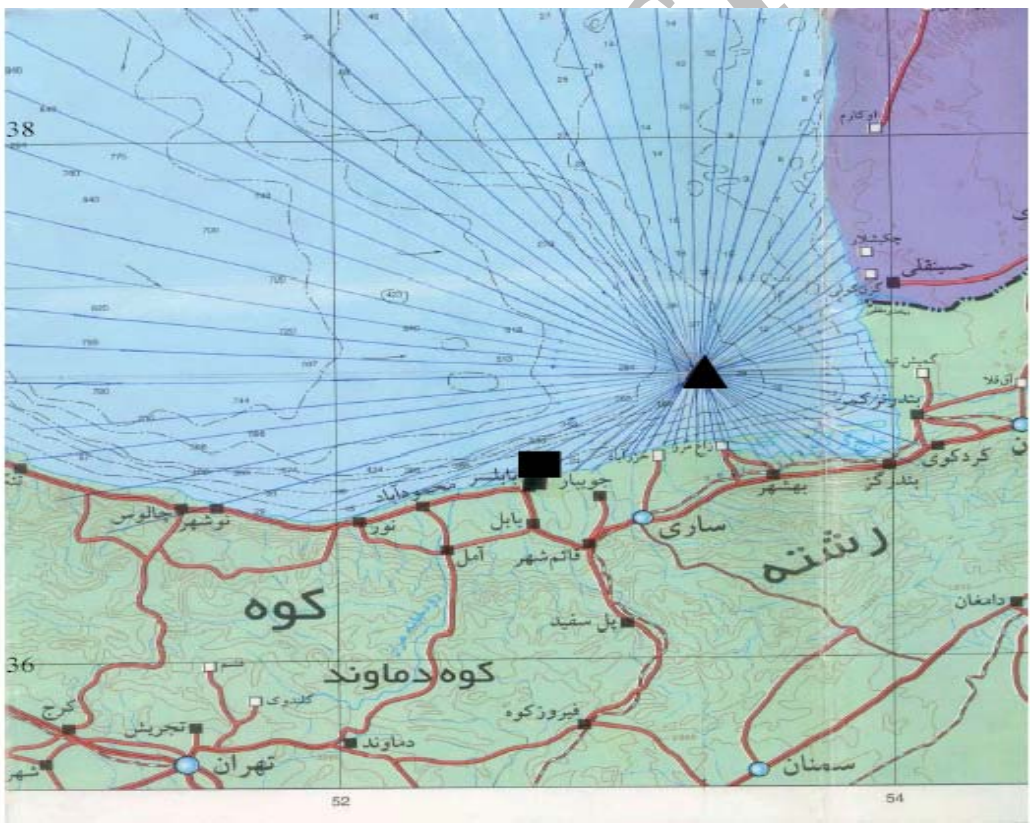
امواج ناشی از باد[3] به دلیل انرژی بالایشان از اهمیت فراوانی برخوردارند. باید تأثیر آنها را در هر گونه فعالیت فراساحلی آبهای آزاد، مانند دریاها و اقیانوسها، و حتی آبهای بسته، مانند دریاچه‌ها و مخزن سدها، مدنظرقرار داد. امواج از طریق ایجاد جریانهای موازی و عمود بر ساحل تأثیر قابل ملاحظه‌ای در هیدرولیک سواحل، رسوبگذاری و فرسایش دارند. فشار عظیم وارد شده از طریق امواج بر سازه‌های ساحلی و فراساحلی، هنگام شکست آنها بر چنین سازه‌هایی، بر ضرورت طراحی این سازه‌ها به گونه‌ای مقاوم طی بهره‌برداری

* نویسندهٔ مسؤول مقاله: تلفن: ۳-۶۲۵۳۱۰۱-۰۱۲۲، Email: sazarmsa@gmail.com

1. Visual Basic
2. Jounswap and Pierson-Moskiwitz
3. Wind Waves

Archive of SID
www.SID.ir

در مقابل نیروهای یاد شده تأکید می‌کند. امواج دریا علاوه بر ناامن کردن تردد شناورهای دریایی، بر آب و هوای منطقه نیز تأثیر می‌گذارند. کشور ما ایران با داشتن کیلومترها مرز دریایی متأسفانه سابقه‌ای در مطالعه امواج دریا ندارد. در دریای خزر نیز هیچ گونه اطلاعاتی بجز، موج‌نگاری که شرکت ملی نفت حدود نه ماه در منطقه نکا قرار داد، موجود نیست. در این مقاله سعی شد، ابتدا روشهای طیفی جان سواپ و پیرسون مسکویچ معرفی شود. پس از آن ضمن استفاده از اطلاعات سمت و سرعت باد مربوط به ایستگاه بابلسر واقع در عرض جغرافیایی ´۴۳ و°۳۶ شمالی و طول جغرافیایی ´۴۳ و°۵۲ شرقی و همچنین اطلاعات بویه موج نگارنکا (واقع در ۲۸ km ساحل نکا) (شکل ۱) واقع در عرض جغرافیایی ´۶ و°۳۷ شمالی و طول جغرافیایی ´۱۸ و°۵۳ شرقی، پیش بینی امواج به روشهای متفاوت صورت گرفت. سپس خطای حاصل از هر مدل مشخص شده و در انتها روش برتر مشخص و معرفی شد.



شکل۱ موقعیت بویه موج نگار نکا و ایستگاه هواشناسی بابلسر

■ ایستگاه هواشناسی بابلسر ▲ بویه موج نگار نکا

www.SID.ir

۲- مروري بر مطالعات انجام شده

لاری [۱] تحقیقی با عنوان «پیش بینی امواج ناشی از باد در دریای خزر» انجام داد. در این تحقیق با تجزیه و تحلیل آماری و استفاده از نرم افزارهای spss معادله رگرسیون ارتفاع امواج برحسب متغیرهای مستقل مشخص شد. همچنین نمودار فراوانی سرعت باد، سرعت جریان، دوره، تداوم وزش باد و اختلاف دمای هوا و آب برای هر ماه رسم گردید؛ سپس برای پیش بینی ارتفاع امواج برحسب متغیرهای مستقل از یک شبکه عصبی استفاده شد. از معایب این تحقیق نتایج حاصل از آن است که در برخی موارد متناقض یکدیگرند. برای نمونه یکی از نتایج این تحقیق قابل قبول بودن مدل پیرسون مسکویچ در منطقه نکاست. از طرف دیگر در همین تحقیق به این نکته اشاره شد که شرایط حاکم در منطقه نکا محدودیت در زمان تداوم وزش باد است و شرایط توسعه یافته در منطقه نکا دیده نمی شود. بنابراین قبول کاربرد مدل پیرسون مسکویچ برای منطقه نکا بی معناست. زیرا مدل پیرسون مسکویچ برای شرایط توسعه یافته به کار می‌رود. از نتایج غیر قابل قبول دیگر این تحقیق این است که ارتفاع امواج در منطقه با زمان تداوم وزش باد رابطه‌ای ندارد. همچنین بیشینه زمان تداوم وزش باد در منطقه نکا ۷ است. با توجه به اینکه اطلاعات حاصل از بویه نکا ۳ ساعتی است، این عدد غیر قابل قبول است و باید مضربی از عدد ۳ باشد. اگرچه اطلاعات استفاده شده صرفاً به منطقه نکا مربوط بود، نتایج حاصل به مشخصه های امواج در تمام مناطق دریای خزر تعمیم داده شد.

ریاضی [۲] در تحقیقی به بررسی و پیش بینی شکست امواج در آبهای کم عمق ساحل خزر پرداخت. در این تحقیق با اندازه‌گیری مستقیم مشخصات امواج دریا به مدت طولانی و میانگیری از این مشخصات، مشخصات مربوط به شکست امواج پیش بینی شد و نتایج به صورت جدولها و نمودارهای مختلف ارائه گردید. از جمله نتایج حاصل در این تحقیق تعیین نوع موج شکسته شده و فاصله این امواج تا ساحل و ارتفاع موج شکسته شده است. در این تحقیق مطالعه امواج نه در تمام جهتها بلکه فقط در جهتهای خاصی مورد نظر است. مطالعات دیگری نیز در مورد پیش بینی مشخصه های امواج و مسائل مربوط به آن صورت گرفت که از جمله می‌توان به مقالات افشار و ارشادی (۱۳۷۷)، آزرم سا و حامدی (۱۳۸۱) اشاره کرد[۳، ٤].

۳- مواد و روش‌کار

۳-۱- آمار باد و پردازشهاي اوليه

از آنجا که استفاده از مدلهای طیفی امواج مستلزم داشتن مقادیر سمت، سرعت باد و زمان تداوم وزش باد است، بنابراین باید آمار در دسترس بگونه‌ای برای به دست آوردن این اطلاعات پردازش شود. آمار باد مورد استفاده در این تحقیق ۸۳۰۰۰ بود. آمار سه ساعت سمت و سرعت باد در ایستگاه سینوپتیک ساحلی بابلسردر یک دوره زمانی ۳۸ سال (۱۹٦۱–۱۹۹۹) است. به علت ناقص بودن این اطلاعات در برخی مواقع، با استفاده از درونیابی و استفاده از ایستگاههای مجاور (ساری، گرگان) این اطلاعات ترمیم وکامل شد. آنگاه با تهیهٔ نرم‌افزاری، آمار سه ساعت باد پردازش گردید و فایل خروجی برای رسم گلبادهای فصلی، سالیانه و ماهانه منطقه آماده شد. برای رسم گلبادها از جهتهای هشت‌گانه که با شروع از جهت شمال جغرافیایی و گردش در جهت خلاف عقربه‌های ساعت با زاویه‌ای ٤۵ درجه نسبت به یکدیگر تعریف می‌شوند، استفاده شد. گلبادهای فصلی منطقه بابلسر در شکلهای ۲– ۵ نشان داده شده‌اند.

۳-۲- باد مشخص و مدت زمان تداوم وزش باد

سرعت و سمت باد در هر لحظه و به طور پیوسته در حال تغییر است. امکانات فعلی ما چه از نظر اطلاعات اولیه شامل ثبت سرعت و سمت باد، که به صورت ۳ ساعت یا ۱ساعت (نه به صورت لحظه‌ای) اندازه گیری می‌شوند و چه از نظر امکانات تحلیل و پردازش داده‌ها، به گونه‌ای نیست که بتوان

Archive of SID
www.SID.ir

اطلاعات و تغییرات لحظه‌ای بادها را به طـور مـستقیم مبنـای پیش بینیهای مورد نیاز در زمینه امواج یا محاسـبات کـاربردی دیگر قرار داد. بنابراین، شناسایی بادهای مشخص و استفاده از آنها به عنوان بادهای مجزا و مبنـا در محاسـبات و تحلیلهـای مورد نیاز ضروری است.

باد مشخص، بادی با سرعت و سمت مشخص است که در مدت زمان معلومی بدون تغییر مشخصات می‌وزد. بدیهی است که مفاهیم مشخص و بدون تغییر مشخصات مفاهیم نسبی‌اند و باید متناسب با امکانات تعریف شوند. به این منظور ضروری است تا محدوده‌هایی برای تغییرات شاخصهای مطرح سرعت و سمت باد در نظر گرفته شود. تا زمانی که میزان تغییر این شاخصها در محدوده مجاز قرار دارد، باد همان باد قبلی و مشخص به حساب می‌آید. اگر میزان تغییرات هر یک از این شاخصها از محدوده‌های مجاز در نظر گرفته شده برای آنها تجاوز کند، باد به عنوان باد جدید، مشخص و متمایز از باد قبلی در نظر گرفته می‌شود. بدین ترتیب مدت زمان تداوم وزش باد[1] مدت زمان وزش یک باد مشخص است که طی آن مدت سرعت و جهت باد با توجه به محدوده‌های مجاز تعریف شده ثابت در نظر گرفته می‌شود.

۳-۳- چگونگی تعیین مدت زمان تداوم وزش باد

مدت زمان تداوم وزش باد از مهمترین شاخصهای مطرح در مسأله پیش بینی مشخصه‌های امواج است. این محاسبات با فرض ثابت بودن سرعت و جهت باد استفاده قرار می شود. بنا به توصیه راهنمای حفاظت سواحل ارتش آمریکا [۵] از تغییرات knot ۵ ± در سرعت باد و۲۲/۵ ± درجه در سمت باد صرف نظر می گردد، بدون آنکه خطاهای قابل توجهی در نتایج حاصل شود. بدین ترتیب مدت تداوم وزش باد هر باد مشخص، قابل محاسبه است. سرعت هر باد مشخص نیز از میانگین‌گیریهای سرعتهای باد در کل مدت زمان تداوم وزش آن باد مشخص به دست می‌آید. با توجه به اینکه آمار ثبت شده درایستگاههای سینوپتیک سه ساعت است، مدت زمان تداوم وزش بادهای مشخص محاسبه شده مضربی از ۳ می‌باشند. در نهایت با اعمال تصحیحات اعمال شده بر داده‌های باد، شامل ضریب اصلاح تراز اندازه‌گیری، ضریب اصلاح تبدیل سرعت باد به میانگین سرعت باد در زمان معین، تصحیح پایداری، اثر مکان و ضریب دراگ [۵] فایل ورودی برای پیش بینی امواج ناشی از باد فراهم شد.

٤- تحلیل بادها در ایستگاه بابلسر

٤-١- بادها در فصل بهار

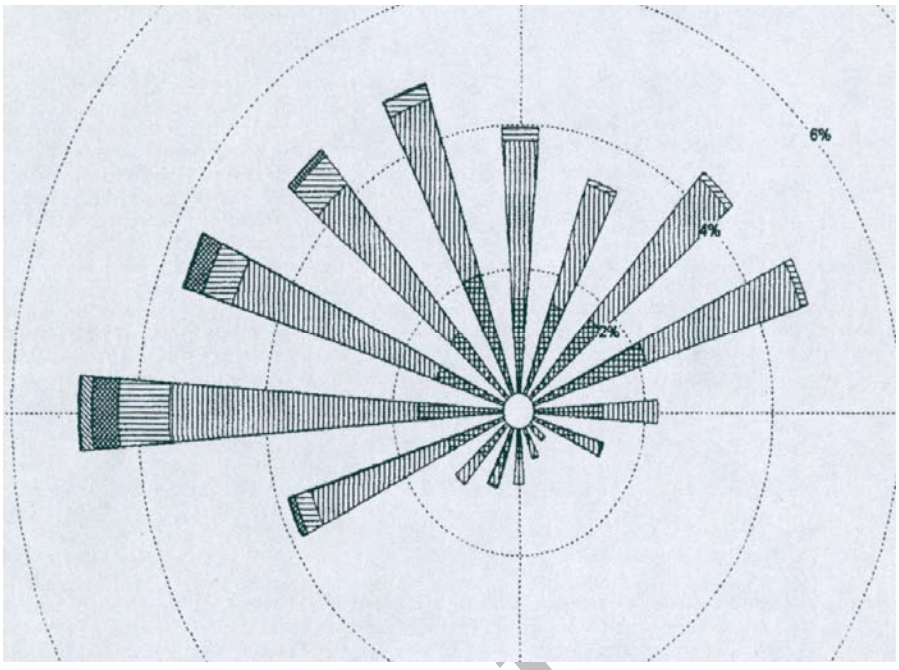
با توجه به شکل۲، در فصل بهار جریان هوای غالب در جهت غربی است و پس از آن بادهای شمال غربی دارای اهمیت‌اند. در این فصل میـزان هـوای آرام ٤٩/١٣٪ و میـانگین سـرعت متوسط باد ٣/٣٦ m/s است. سرعتهای متوسط بـاد از فراوانـی بیشتری نسبت به سرعتهای بـالا برخوردارنـد. در ایـن فـصل درصد وقوع بادها در جهتهای جنوب، جنوب شرقی و جنوب غربی به طور چشمگیری کاهش پیدا کرد.

٤-٢- بادها در فصل تابستان

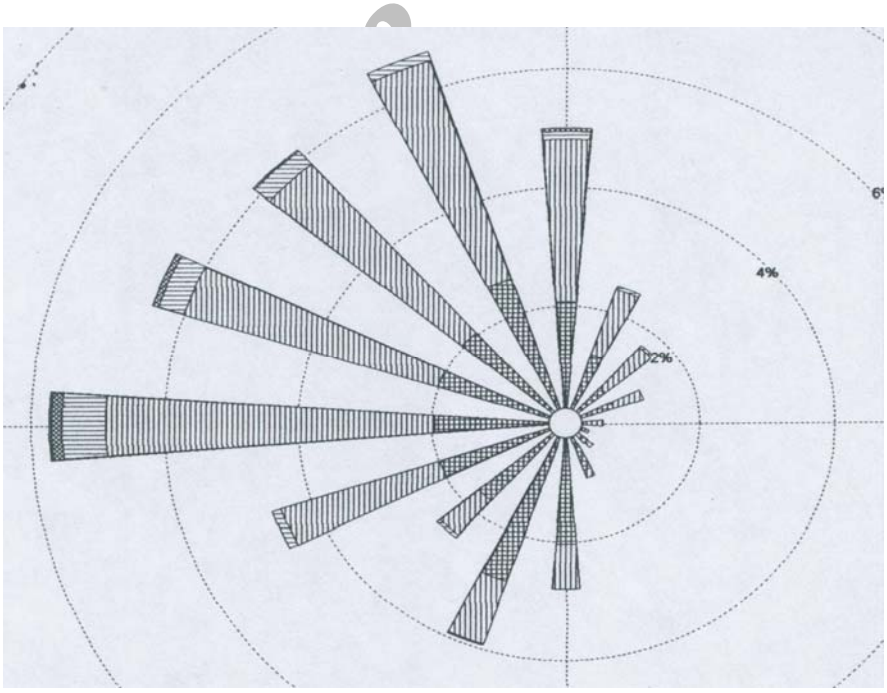
با توجه به شکل ۳، سمت باد غالب در فصل تابستان نیز مانند فصل بهار در جهت غرب است و پس از آن بادهای شـمالی، شمال غربی دارای اهمیت انـد. در ایـن فـصل درصـد میـزان هوای آرام ٤٦/٢٥٪ و وزش بادهای شدید خیلـی کـم اسـت. میـانگین سـرعت متوسـط بادهـای وزیـده شـده ٣/٠٦ m/s، حداکثر سرعت باد ۱۰nat بود که به جهـت غربـی مربـوط است. در این فصل در صد وقـوع بادهـای شـرقی و جنـوب شرقی بسیار کم است.

1. Wind Duration

Archive of SID
www.SID.ir



شکل ۲ گلباد فصل بهار



شکل ۳ گلباد فصل تابستان

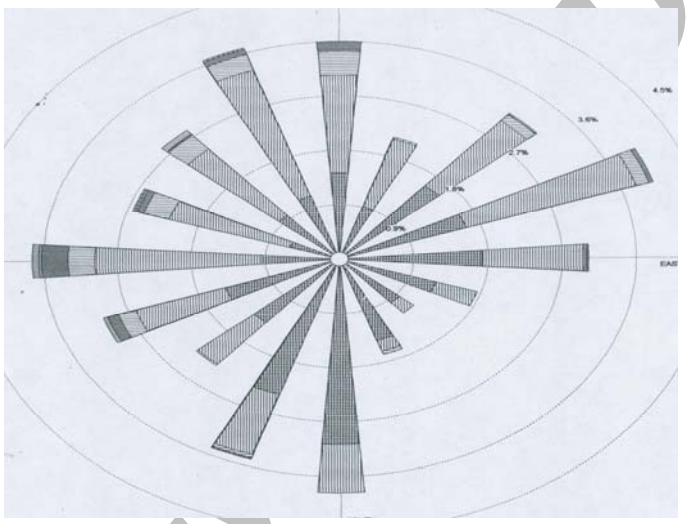
www.SID.ir

٤-٣- بادها در فصل پاییز

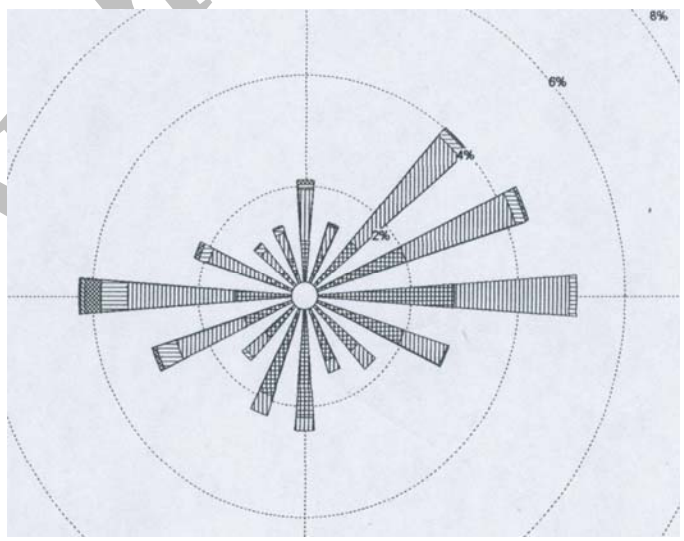
در فصل پاییز تقریباً در تمام سمتها (بجز جنوب شرقی) بادها شدید و هم مرتبه اند. در این فصل مطابق شکل٤ درصد وقوع بادها در سمت جنوبی و شمال شرق دارای اهمیت اند. میزان هوای آرام نیز ۵۳/۹ گزارش گردید. سرعت متوسط بادهای وزیده شده، ۳/۱۰m/s و حداکثر سرعت باد ۲۵nat بود که مربوط به جهت غربی است. همانند فصل تابستان درصد وقوع بادهای شدید خیلی کم و در حدود۳٪ است. در این فصل درصد وقوع بادها در تمام سمتها نسبت به فصلهای دیگر افزایش پیدا کرد.

٤-٤- بادها در فصل زمستان

در این فصل مطابق شکل ۵ سمت باد غالب شرقی بود و پس از آن بادهای غربی دارای اهمیت‌اند. درصد هوای آرام نیز ۵۸/۵٤ بود. در این فصل سرعت بادها نسبت به فصل بهار و فصول دیگر کمتر است.



شکل٤ گلباد فصل پاییز

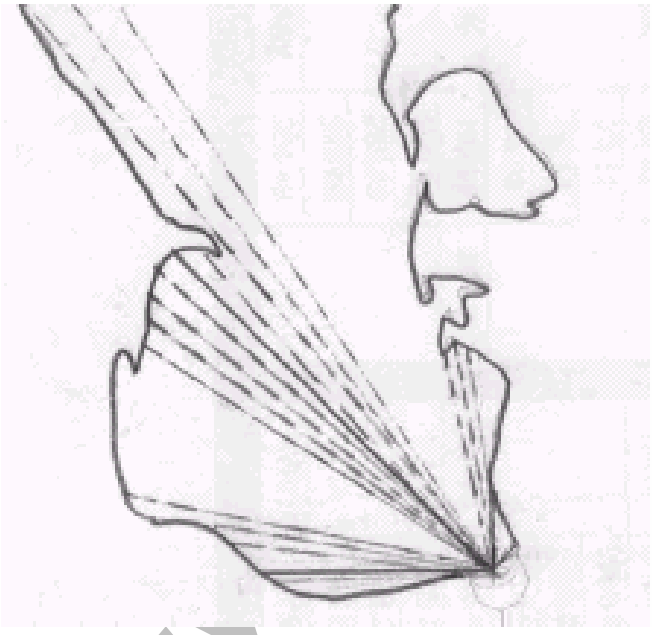


شکل۵ گلباد فصل زمستان

www.SID.ir

۵- طول بادگیر

برای تعیین طول بادگیر از ۹ شعاع که با هم زاویه ٤ درجه می‌سازند، استفاده می‌شود(شکل ٦). نقطه شروع این شعاعها محلی است که امواج می‌خواهند برای آن نقطه پیش‌بینی شوند و نقطه انتهای آن روی خط ساحل روبرو قرار می‌گیرد. این ۹ شعاع باید رسم شوند و میانگین طول آنها به عنوان طول بادگیر مستقیم در نظر گرفته شوند. جدول ۱ مربوط به محاسبه طول بادگیر در جهتهای مختلف در منطقه نکاست[۵].



شکل ٦ طول بادگیر

جدول ۱ محاسبه طول بادگیر در جهتهای مختلف در منطقه نکا

طول بادگیر(km)	سمت باد(°)	طول بادگیر(km)	سمت باد(°)
۳۵	SE	۵۱۸/۵	N
۵٤	SW	۸۵	NE
۳۰	W	٦۲	E
۳۳٤	NW	۲۸	S

Archive
www.SID.ir

۶- دستگاه موج نگار

دستگاه موج نگار دستگاهی برای اندازه‌گیری و جمع‌آوری اطلاعات و مشخصات دریایی است. به دلیل اندرکنش امواج دریا با یکدیگر پدیدههای دریایی مانند جریانهای دریایی یا پدیدههای جوی مانند باد، معمولاً ضروری است تا به هنگام ثبت اطلاعات امواج، اطلاعات مربوط به این پدیدهها نیز ثبت شود. بدین منظور غالباً دستگاههای موج نگار به امکانات لازم جهت ثبت اطلاعاتی مانند سرعت و سمت باد، درجه حرارت هوا و جریانهای داخلی آب دریا نیز مجهزند. این سیستم به وسیله حسگرهای مختلف که روی گوی شناور در دریا نصب شده‌اند، تغییرات جوی و دریایی را در محل مشخصی از دریا اندازه‌گیری کرده، در فواصل زمانی تعیین شده آنها را به روش دیجیتال از طریق فرستنده رادیویی برای ایستگاه ساحلی ارسال می‌کند.

در این مقاله از اطلاعات موج نگار واقع در عرض جغرافیایی ′۶ °۳۷ شمالی و طول جغرافیایی ′۱۸ °۳۵ شرقی استفاده شد. این موج نگار اطلاعات ثبتی خود را هر سه ساعت یکبار به ساحل گزارش می کرد. عملکرد این موج نگار به تاریخهای ۱۹۸۸/۱۱/۲۱میلادی (۶۷/۸/۳۰ شمسی) تا تاریخ ۱۹۸۹/۸/۲۲ میلادی (۶۸/۵/۳۱ شمسی) (حدود نه ماه) مربوط می‌باشد که به علت خرابی دستگاه دقیقاً از تاریخ ۱۹۸۹/۶/۱۵ میلادی (۶۸/۳/۲۵ شمسی) اطلاعات مربوط به دوره و ارتفاع امواج بطور منظم هر سه ساعت یکبار به ساحل مخابره نشد. این بویه به وسیله شرکت نفت در ۲۸ km از ساحل منطقه نکا مستقرو مورد استفاده بود.

۷- روشهاي پيش بيني امواج ناشي از باد

۷-۱- مدل طيفي پيرسون- مسكويچ

پیرسون و مسکویچ دادههای ثبت شده باد، به وسیله کشتیهای انگلیسی را که در اقیانوس اطلس شمالی فعالیت می‌کردند، تحلیل کردند. دادههای انتخاب شده لزوماً برای باد با سرعت ۲۰-۴۰ گره دریایی بود که شرایط موج کاملاً نمو یافته را ایجاب می کرد. طیف حاصل به صورت زیر است:

$$S(f)=\frac{ag^{۲}}{(۲\pi)^{۴}f^{۵}}e^{-۰/۷۴(g/۲\pi wf)^{۴}} \qquad (۱)$$

$$U(۱۰m)=U(Z)(۱۰/Z)^{۱/۷} \qquad (۲)$$

در معادله ۱ سرعت باد w در تراز ۱۹/۵m اندازه‌گیری شد؛ f فرکانس وg ثابت گرانش است. در معادله دوم z ارتفاع زیر ۲۰m می‌باشد. اگر مقدار z برابر ۱۹/۵ شود و در معادله ۲ قرار گیرد، مشاهده می شود این سرعت حدود ۵-۱۰٪ بیشتر از مقادیرسرعت ثبت شده در ارتفاع ۱۰m است. این طیف با فرض شرایط موج کاملاً توسعه یافته به دست می‌آید. همانطورکه پیشتر توضیح داده شد دریای خزر در اوقات بسیار کمی در شرایط توسعه یافته قراردارد.

شکل۷ مقایسه ارتفاع امواج مشاهده شده و ارتفاع محاسبه شده از روش پیرسون مسکویچ را نشان می‌دهد. همانطور که در شکل مشاهده می‌شود درصد خطا بیش از ۱۰۰٪ است. بنابراین، مدل طیفی پیرسون مسکویچ مدل قابل قبولی برای منطقه نیست.

۷-۲- مدل طيفي جان سواپ

این طیف از پروژه‌های تحقیقاتی امواج دریای شمال می باشد و شکل کلی آن بصورت زیر است:

$$E(f)=\frac{ag^{۲}}{(۲\pi)^{۴}f^{۵}}e^{a}\gamma^{b} \qquad (۳)$$

که در آن:

$$b=\exp\left(-\left[\frac{(f-f_m)^{۲}}{۲\sigma^{۲}f_m^{۲}}\right]\right) \text{ و } a=-\left[\left(\frac{۵}{۴}\right)\left(\frac{f_m}{f}\right)^{۴}\right]$$

Archive of SID
www.SID.ir

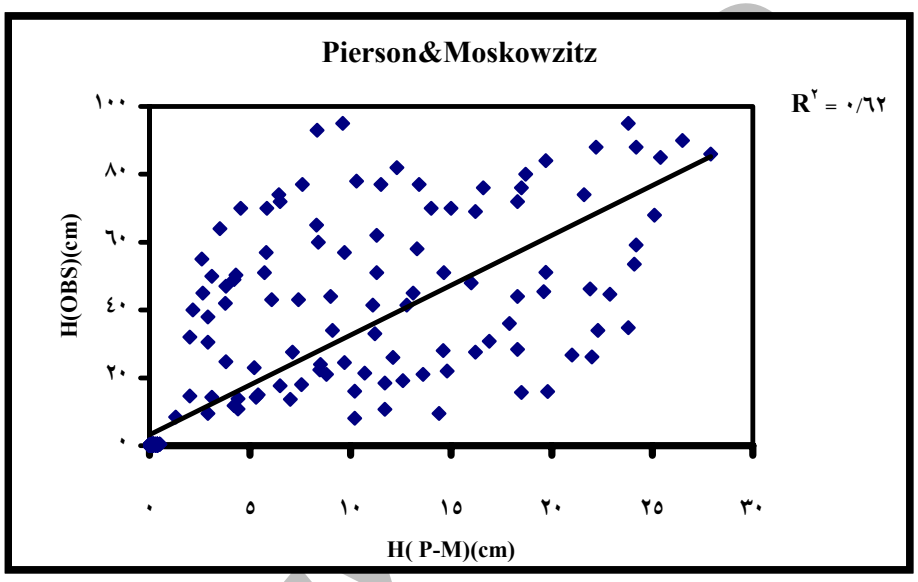
که در آن:

f_m : فرکانس پیک طیف

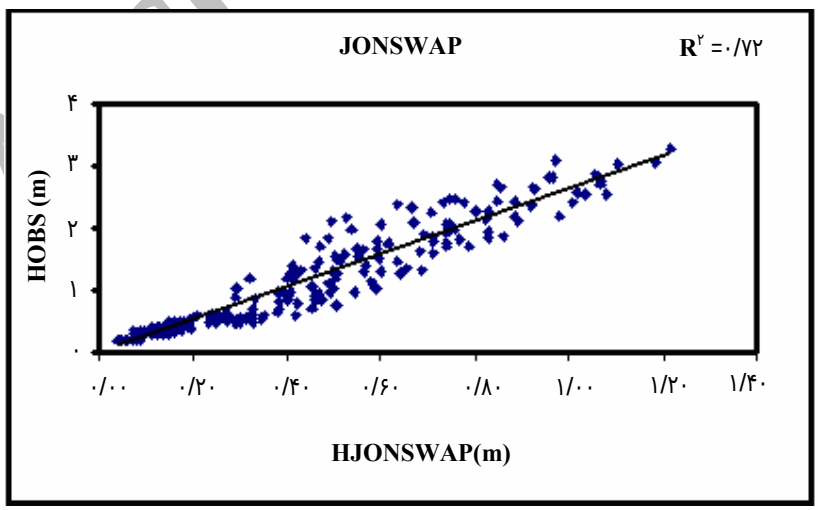
γ, σ: ضرایب ثابت اند. این ضرایب ساده برای پروژه امواج دریایی شمال به صورت زیر است:

$$\gamma = ۳/۳$$
$$\sigma = \sigma_a = ۰/۰۷ \quad f < f_m$$
$$\sigma = \sigma_a = ۰/۰۹ \quad f > f_m$$

ارتفاع امواج در منطقه دریایی بابلسر با استفاده از این مدل نیز پیش بینی شد. مقایسه نتایج مدل جان سواپ با داده‌های واقعی بیانگر آن است که استفاده از این روش حدود ٦٥٪ خطا به همراه داشت؛ بنابراین استفاده از آن توصیه نمی‌شود (شکل ۸). علت خطای حاصل از روش جان سواپ عدم در نظرگیری عمق آب و اصلاحات مربوط به سرعت باد است.



شکل ۷ مقایسه بین ارتفاع مشاهده شده و ارتفاع محاسبه شده از روش پیرسون مسکویچ



شکل ۸ مقایسه بین ارتفاع امواج مشاهداتی و ارتفاع محاسبه شده از روش جان سواپ

www.SID.ir

Archive of SID

www.SID.ir

۳-۷- مدل SMB

سوردراپ و مانک [۶] روشی برای پیش بینی امواج ارائه کردند. برتشنایدر [۷] با استفاده از داده‌های تجربی به دست آمده در این روش (SPM) و با تجدید نظر در آن، روش دیگری برای پیش‌بینی امواج ارائه کرد. این روش پیش بینی امواج اغلب SMB[1] نامیده می شود. معادلات آن به شکل کلی زیر است:

$$\frac{gH_{m\cdot}}{U_A^{۲}} = ۱/۶*۱۰^{-۳}\left(\frac{gF}{U_A^{۲}}\right)^{۰/۵} \quad (۴)$$

$$\frac{gT_p}{U} = ۰/۲۸۶\left(\frac{gF}{U_A^{۲}}\right)^{۰/۳۳} \quad (۵)$$

$$\frac{gt_x}{U_A^{۲}} = ۶۸/۶\left(\frac{gF}{U_A^{۲}}\right)^{۲/۳} \quad (۶)$$

در معادلات فوق U_A تنش ناشی از باد است که به صورت $U_A = ۰/۷۱*U^{۱/۲۳}$ تعریف می شود.

ابتدا با استفاده از معادله ٦ شرایط رشد امواج در منطقه تعیین می‌گردد. چگونگی کار بدین صورت است اگر مقادیر طول بادگیر و مدت تداوم وزش باد برای سرعت باد مطرح به اندازه کافی بزرگ باشند، شرایط رشد موج کاملاً توسعه یافته است و باید از روابط ۷ و۸ استفاده شود.

$$\frac{gH_S}{U_A} = ۷/۱۵*۱۰^{۴} \quad (۷)$$

$$\frac{gT}{U_A} = ۸/۱۳۴ \quad (۸)$$

در غیر این صورت با قرار دادن مقدار طول بادگیر در معادله ٦ مقدار t_x محاسبه می شود. چنانچه مقدار حاصل برای t_x (مدت زمان تداوم وزش باد معادل) بیشتر از مقدار واقعی زمان تداوم وزش باد (به دست آمده از روی داده‌های اندازه‌گیری شده سمت و سرعت باد و به روش توضیح داده شده در بخش باد مشخص و مدت زمان تداوم وزش باد) باشد، شرایط رشد امواج محدودیت در مدت زمان تداوم وزش باد[2] است. اگر مقدار t_x کمتر از مقدار واقعی باشد، شرایط رشد امواج محدودیت در طول بادگیر[3] است. بررسیها نشان می‌دهند که در نواحی ساحلی، خلیجها و آبهای محدود شرایط کاملاً توسعه یافته بندرت روی می‌دهد. در این مناطق بسته به مشخصات هندسی حوزه آبی و مشخصات بادهای منطقه، وضعیت رشد امواج در اغلب اوقات به یکی از دو صورت محدودیت در زمان تداوم وزش باد یا محدودیت در طول بادگیر است. بر اساس مطالعات انجام شده در این تحقیق، در منطقه بابلسر در بیشتر مواقع شرایط محدودیت در زمان تداوم وزش باد حاکم است. بر اساس شرایط محدودیت در زمان تداوم وزش باد به پیش بینی ارتفاع امواج در منطقه به روش فوق اقدام شد. نتایج حاصل در شکل ۹ مشاهده می‌شود. مقایسه نتایج روش SMB و مقادیر واقعی بیانگر همخوانی مناسبتر ارتفاع پیش بینی شده برای امواج و ارتفاع امواج واقعی است.

۸- بررسي خطاي مدلهاي مورد استفاده

برای این منظور از رابطه خطای جذر متوسط مربعات که برای مقایسه درصد خطا در پدیده‌های دریایی به کار می‌رود، استفاده شد. این رابطه بقرار زیر است:

$$\varepsilon = \left(\frac{\sum(F_{measured} - F_{cal})^{۲}}{\sum(F_{measured})^{۲}}\right)^{۰/۵} \quad (۹)$$

جدول ۲ و همچنین شکل ۱۰ درصد خطاهای حاصل از روشهای پیش بینی را نشان می‌دهند. روش پیرسون مسکویچ دارای بیشترین خطا در منطقه و روشSMB دارای کمترین درصد خطاست. به علت اختلاف زیاد بین ارتفاع موج به دست آمده از روش پیرسون مسکویچ و ارتفاع موج واقعی درصد خطا بیش از ۱۰۰٪ است.

جدول ۲ درصد خطای حاصل از روشهای متفاوت پیش بینی

ε_{SMB}	$\varepsilon_{JONSWAP}$	$\varepsilon_{(P-M)}$
٪۲۱/۱	٪٦۹/٦۷	٪۱۳٤

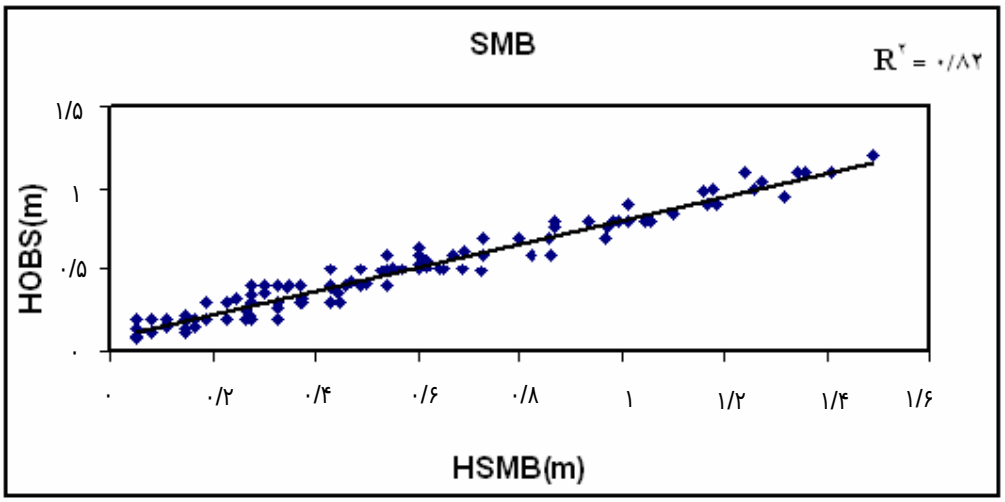
1. Sverdup-Munk-Bretchneider

2. Duration,Limited
3. Fetch Limited

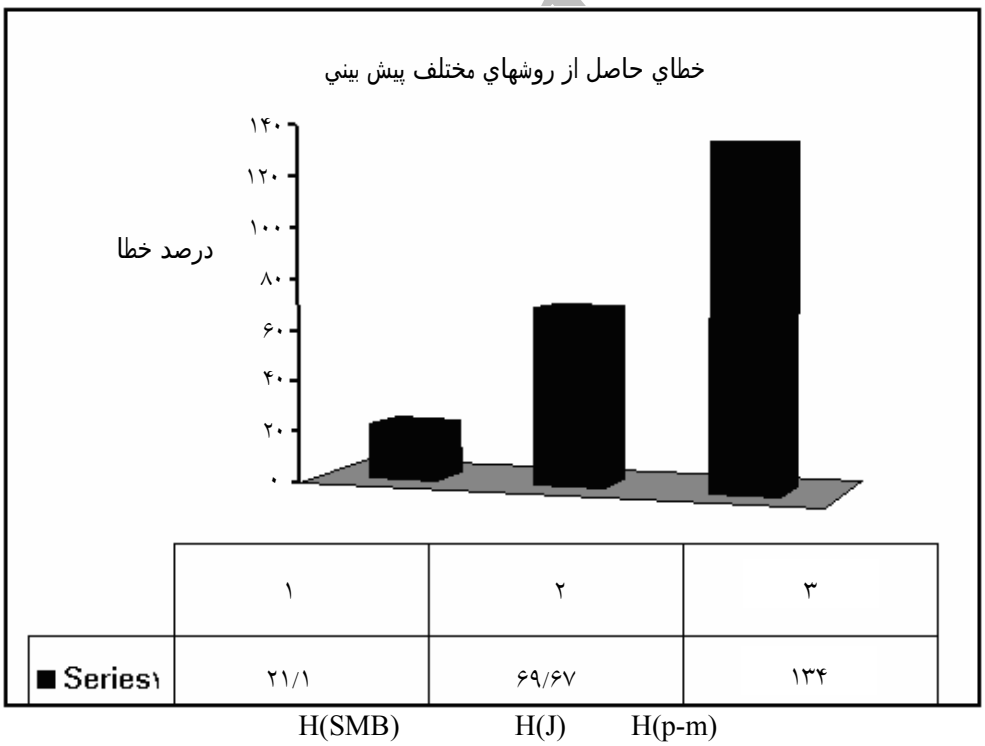
Archive of SID
www.SID.ir

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۹ مقایسه بین ارتفاع مشاهده شده و ارتفاع محاسبه شده از روش SMB



شکل ۱۰ خطای حاصل از اختلاف ارتفاع محاسبه شده توسط روشهای پیش بینی و مقادیر مشاهداتی

www.SID.ir

۹- تحليل گل موجهاي منطقه در فصلهاي مختلف سال

۹-۱- فصل بهار

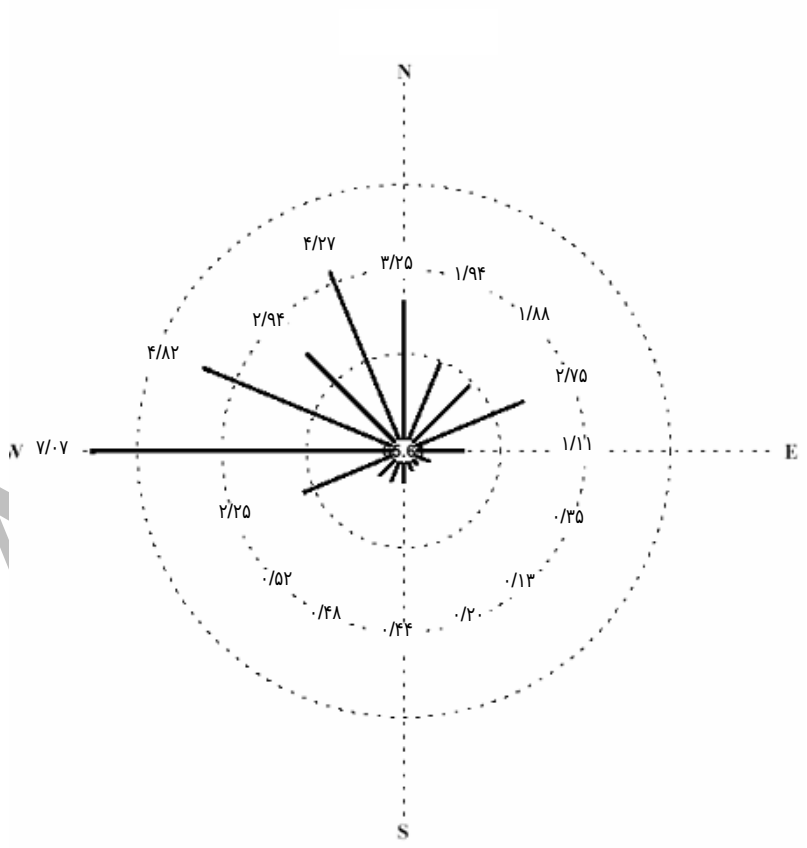
با توجه به شکل ۱۱، در این ماه جهت موج غالب جهت غربی بود و پس از آن جهت شمال غربی حائز اهمیت است. بیشینه ارتفاع موج ۳/٦m در جهت غربی بود. درصد امواج آرام در منطقه در این فصل ٦۵/٦٪ می باشد.

۹-۲- فصل تابستان

با توجه به شکل ۱۲، مشابه فصل بهار جهت موج غالب غربی بود و بعد از آن شمال غربی دارای اهمیت است. در این ماه با مقایسه گل موج فصل بهار دیده می شود که در تمام جهتها در صد وقوع امواج کاهش پیدا کرد. بیشینه ارتفاع موج ۱/۰۹m در جهت غربی دیده می شود. درصد امواج آرام در منطقه در این فصل ٦۸/۲٪ است.

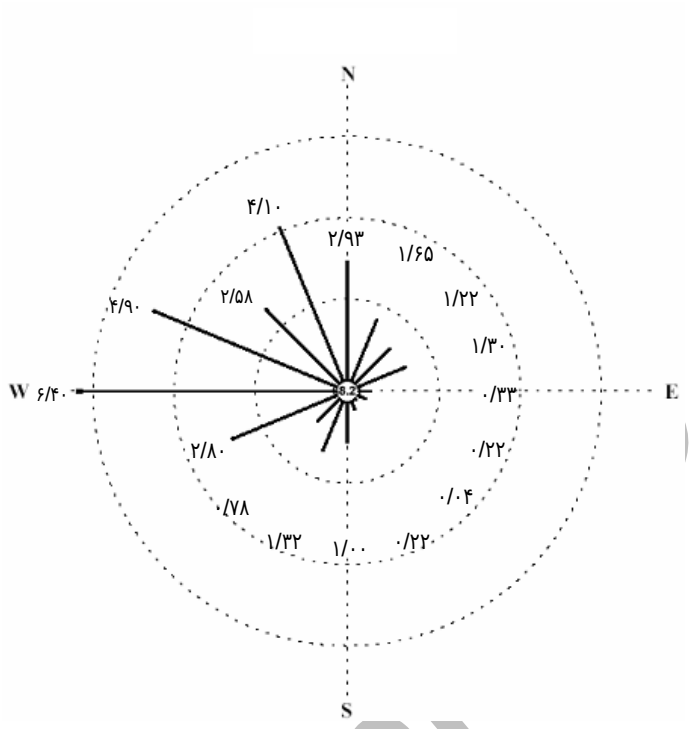
۹-۳- فصل پاییز

با توجه به شکل ۱۳ مشاهده می شود که جهت موج غالب جهت شمال شرقی بود. پس از آن جهت غربی دارای اهمیت است. در این ماه درصد وقوع امواج در جهتهای شرقی و جنوب شرقی نسبت به فصل بهار و تابستان افزایش یافت. در حالی که جهت وقوع امواج در جهتهای شمال، شمال غرب و غرب کاهش پیدا کرد. بیشینه ارتفاع موج در این فصل ۳/۱٦m در جهتهای شرق و غرب دیده شد.

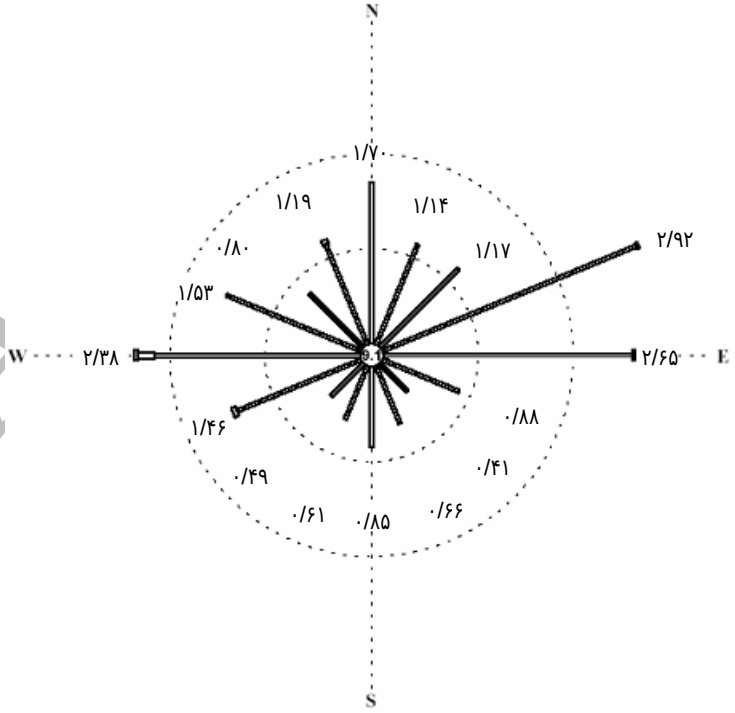


شکل ۱۱ گل موج فصل بهار

www.SID.ir



شکل ۱۲ گل موج فصل تابستان



شکل ۱۳ گل موج فصل پاییز

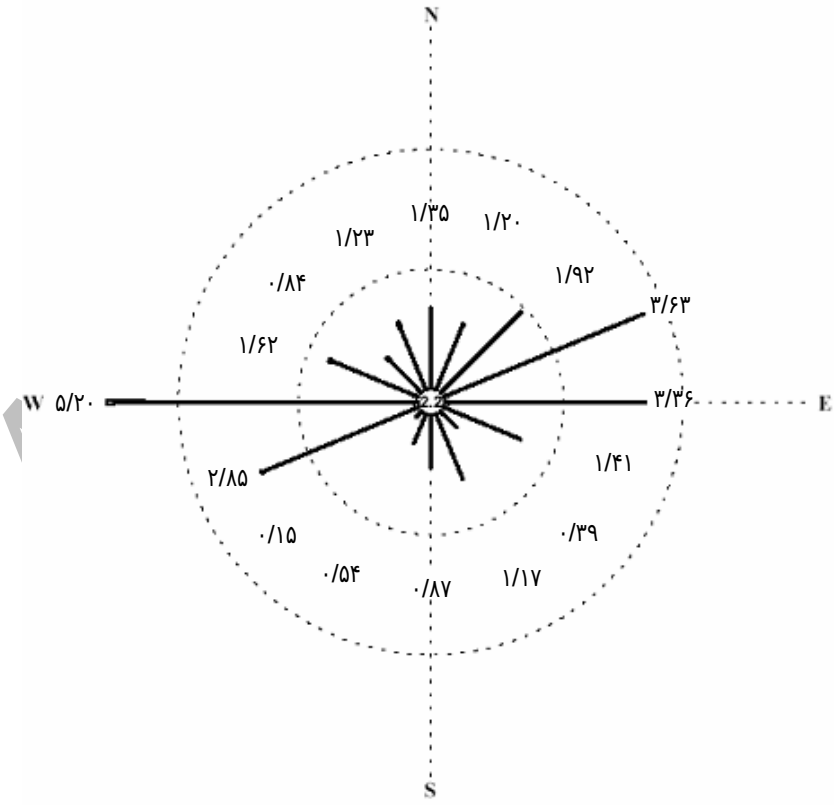
www.SID.ir

۹-٤- فصل

با توجه به شکل ١٤، جهت موج غالب در این فصل غربی بود و پس از آن جهت شرق دارای اهمیت است. در این ماه در صد وقوع امواج در جهتهای شرقی و غربی نسبت به فصل پاییز افزایش یافت. بیشینه ارتفاع موج در جهتهای غربی و شمال غربی و مقدار آن ٥/١٤m بود. درصد امواج آرام در منطقه در این فصل به مقدار ۷۲/۲۵٪ برآورد شد.

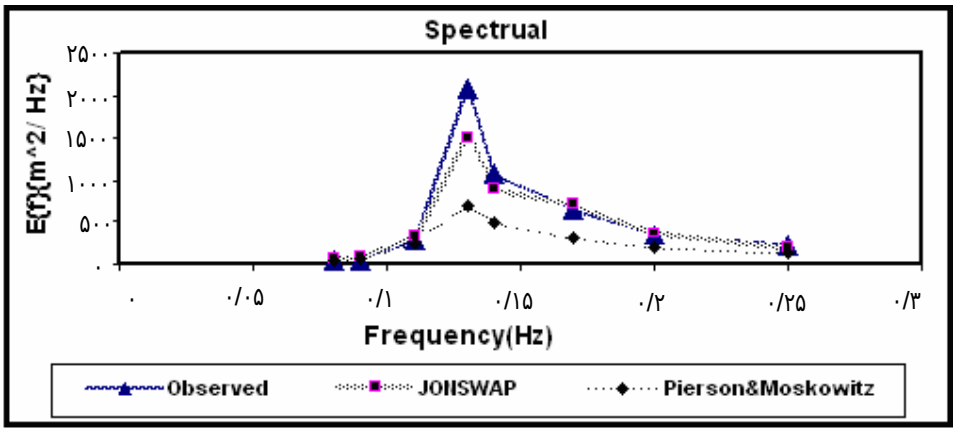
۱۰- مقایسه بین طیف پیرسون مسکویچ، جان سواپ با طیف مشاهده شده

برای این کار از حدود نه ماه اطلاعات طیفی ثبت شده در منطقهٔ نکا و اطلاعات همزمان باد واقع در نزدیکترین ایستگاه ساحلی (ایستگاه بابلسر)، استفاده شد. با توجه به تغییرات طیف، در مجموع ۸۱۸ طیف مشاهده شده برای اطلاعات ثبت شده بویه به دست آمد. به منظور استخراج و ارائه یک طیف نمونه برای منطقه، مشخصه‌های فرکانس پیک و انرژی در فرکانس پیک طیفهای مختلف میانگین‌گیری شد. شکل ۱۵ مقایسه صورت گرفته بین طیف موج پیرسون مسکویچ، طیف جان‌سواپ و طیف به دست آمده از اندازه‌گیریهای دستگاه موج نگار را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می شود بیشینه چگالی طیفی حاصل از طیف پیرسون مسکویچ اختلاف زیادی با طیف مشاهده شده دارد. اما طیف جان‌سواپ همخوانی بیشتری از این نظر با طیف مشاهده شده نسبت به طیف پیرسون مسکویچ دارد. مقایسه این طیفها بیانگر آن است که هر سه طیف از نظر باند فرکانسی با یکدیگر تطابق خوبی دارند. دورهٔ امواج منطقه در محدوده ٤ – ١٢ ثانیه است. امواج با دورهٔ ۷/۷ ثانیه نسبت به دیگر امواج حاضر در منطقه از انرژی بالاتری برخوردارند.



شکل١٤ گل موج فصل زمستان

www.SID.ir



شکل۱۵ مقایسه بین طیف جانسواپ ، پیرسون مسکویچ و طیف مشاهداتی

۱۱- نتایج

۱- با پردازش آمار باد ایستگاه سینوپتیک ساحلی بابلسردر یک دورهٔ زمانی ۳۸ سال (۱۹۶۱-۱۹۹۹) مشاهده شد، که در بیشتر مواقع بادها دارای سمت شمالی و شمال غربی بودند و همچنین درصد وقوع بادهای آرام[1] بیش از ۵۰٪ بود که میانگین سرعت آنها ۳m/s محاسبه شد.

۲- با پردازش اطلاعات حدود نه ماه بویه موج نگارنکا (۱۹۸۸) و اطلاعات همزمان آن در ایستگاه بابلسر مشاهده شد که برای پیش بینی امواج ناشی از باد، استفاده از روش SMB، کمترین خطا را در منطقه داراست.

۳-در بیش از۹۵٪ اوقات شرایط دریا در منطقه نکا توسعه یافته نیست. بنابراین، استفاده از روش پیرسون مسکویچ همراه با خطاهای بسیاری در پیش بینی مشخصه های امواج است و در چنین مواردی استفاده از آن توصیه نمی شود.

٤-بیشینه ارتفاع موج در منطقه بابلسر در یک دوره زمانی ۳۸ سال ۵/۱٤m مربوط به سمت شمال غربی با درصد وقوع بسیار کم بود.

۵-در بیشتر مواقع در منطقه نکا شرایط «محدود کنندگی زمان تناوب» مشاهده شد.

٦-مقایسه صورت گرفته میان طیف موج پیرسون مسکویچ، طیف‌جان سواپ و طیف به دست آمده از اندازه-گیریهای دستگاه موج نگار نکا نشان می‌دهد چگالی طیفی حاصل از طیف پیرسون مسکویچ و جان سواپ از طیف مشاهده شده کوچکتر است. به طوری که طیف موج جان سواپ به طیف مشاهده شده نزدیک بود و با طیف پیرسون مسکویچ اختلاف زیادی داشت.

۱۲- خطاي موجود در تحقيق

به منظور تعیین میزان کارایی و دقت برآورد فرمولهای محاسبه ارتفاع امواج از روی داده‌های باد، مقادیر حاصل از روشهای متفاوت پیش‌بینی امواج در این تحقیق با مقادیر اندازه‌گیری شده ارتفاع موج در سواحل نکا مقایسه شدند. به علت فقدان اطلاعات کافی در هنگام اجرای این تحقیق فرضیات زیر در نظر گرفته شد:

۱- میدان باد به صورت یکنواخت و ثابت بر طول بادگیر می وزد.

1. Calm

Archive of SID
www.SID.ir

۲- در فرمولهای پیش‌بینی امواج مورد استفاده در این تحقیق فرض شد که ارتفاع موج فقط وابسته به سرعت باد، مدت زمان تداوم وزش باد، طول بادگیر و عمق آب باشد.

۳- اطلاعات باد در ایستگاه ساحلی بابلسر واقع در عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۴۳ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۲ دقیقه و ۳۹ درجه شرقی اندازه‌گیری شد در حالی که اطلاعات دریایی مربوط به موج نگار در عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۶ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۳ درجه و ۱۸ دقیقه شرقی ثبت شد. وجود فاصله بین محلهای اندازه‌گیری موج و باد می‌تواند خطا ایجاد کند. با اعمال تصحیحات پنج گانه بر مشخصه‌های باد طبق آیین نامه توصیه‌های راهنمای مهندسی سواحل ارتش آمریکا سعی شد تا میزان خطا به حداقل کاهش یابد.

۴- خصوصیات موج در مدت زمان سه ساعت فاصله بین اندازه گیریها ثابت فرض می شود.

۵- وجود خطا در محاسبه مدت زمان تداوم وزش واقعی باد.

۶- استفاده از روش درونیابی در اطلاعات باد و همچنین اطلاعات دریایی که بناچار به منظور ترمیم داده‌های ثبت نشده صورت گرفت، موجب بروز خطا در نتایج می‌شود.

۱۳- پیشنهادها

با توجه به اینکه اطلاعات باد و موج در سواحل خزر محدود و پراکنده است، ایجاد یک سیستم اطلاعاتی به صورت منطقه‌ای از طریق تلفیق همهٔ اطلاعات موجود اعم از سینوپتیک، ماهواره ای و تأسیس ایستگاههای سینوپتیک جدید، همچنین ساماندهی اطلاعات ثبت شده به وسیله شناورها و بویه‌ها در منطقه خزر ضروری به نظر می‌رسد.

۱٤- منابع

[۱] لاری ک.؛ «پیش بینی امواج ناشی از باد در دریای خزر»؛ *پایان نامه کارشناسی ارشد فیزیک دریا*؛ دانشگاه تربیت مدرس؛ ۱۳۷۶.

[۲] ریاضی ر.؛ «پیش بینی امواج در آبهای کم عمق ساحل خزر»؛ *پایان نامه کارشناسی ارشد فیزیک دریا*؛ دانشگاه تربیت مدرس؛ ۱۳۷۸.

[۳] افشار م.ه؛ ارشادی س.؛ پیش‌بینی امواج سواحل ایران با استفاده از مدل تجربی؛ مجموعه مقالات کنفرانس هیدرولیک ایران؛ جلد دوم؛ ۱۳۷۷؛ صص.۸۳۲-۸٤۲.

[۴] آزرمسا س.ع.؛ حامدی ا.؛ پیش‌بینی ارتفاع امواج در منطقه بوشهر؛ کنفرانس بین‌المللی مجموعه سازه‌های هیدرولیک؛ جلد دوم؛ ۱۳۸۱؛ صص.۸۵۳ – ۸٦۲.

[5] U.S.ARMY COSTAL ENGINEERING RESEARCH CENTER, Shore protection Manual, Washington DC (SPM); 1984.

[6] Sverdrup H.U., Munk W.H.; «Wind, Sea, and Swell: Theory of relations for forecasting», publishing No. 601, Washington, D.C., U. S. Navy Hydrographic office, Mar; 1947.

[7] Bretshneider C.L.; «Revisions in wave forecasting; Deep and shallow water».; Proc. 6th conf. on coastal Eng., ASCE, council on wave research; 1958.

Archive of SID
www.SID.ir