

یک مدل همانندی برای امواج ناشی از باد در سواحل چابهار

کامران لاری^۱

مسعود ترابی آزاد^۱

پریسا مهدی پور^{۲*}

parisa4698@yahoo.com

تاریخ پذیرش: ۸۸/۵/۲۶

تاریخ دریافت: ۸۸/۲/۲

چکیده

بررسی مشخصه‌های امواج در مناطق ساحلی یکی از مهم ترین مباحث در مهندسی سواحل می‌باشد. منطقه چابهار یکی از مناطق مهم در توسعه حمل و نقل دریایی با جهان به خصوص خاور دور می‌باشد. در این تحقیق با استفاده از داده‌های بویه موج‌نگار طی دو فصل تابستان و زمستان سال های ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۰ و آمار باد ایستگاه ساحلی بندر چابهار طی سال های ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۳ مشخصات موج و گلباد منطقه بررسی و مشخص شد که بیش تر شرایط ناپایداری لایه سطحی در این منطقه وجود دارد و در اکثر اوقات بر امواج شرایط محدودیت دوره وزش باد حاکم است. مدل همانندی به بررسی روابط بین پارامترهای بدون بعد می‌پردازد، فرضیه اساسی این تحقیق محاسبه و تخمین انرژی و فرکانس، طول موجگاه و مدت زمان وزش باد بدون بعد امواج ناشی از باد در سواحل چابهار می‌باشد.

واژه های کلیدی: : امواج ناشی از باد، گلباد، چابهار، مدل همانندی.

۱- دکترای فیزیک دریا، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال.

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد فیزیک دریا، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات* (مسئول مکاتبات)

مقدمه

۱۹۸۳، دونلن^{۱۳} و دابسون^{۱۴} در ۱۹۸۹، و کالکوئن^{۱۵} در ۱۹۹۴ و یانگ^{۱۶} در ۱۹۹۹ نیز تحقیقاتی در زمینه امواج ناشی از باد انجام دادند. در این مقاله با بررسی داده‌های ایستگاه هواشناسی و بویه موج نگار چاهار، روابط بین پارامترهای بدون بعد امواج محاسبه شد (۳).

روش بررسی

برای حالت محدود شدن طول موجگاه و مدت زمان وزش باد، متغیرهایی که باید اندازه‌گیری شوند عبارتند از: U_a سرعت باد در ارتفاع مرجع a ، X طول موجگاه، g شتاب گرانش زمین، t مدت زمان وزش باد، f_p فرکانس قله طیف موج، σ^2 واریانس نوسانات سطح آب. پارامترهای بدون بعد حاصل از این متغیرها عبارتند از: \mathcal{E} انرژی بدون بعد، U فرکانس بدون بعد، χ مدت زمان وزش باد بدون بعد، ζ طول موجگاه بدون بعد که به صورت روابط زیر تعریف می‌شوند (۴):

$$\mathcal{E} = \frac{\sigma^2 g^2}{U_a^4} \quad (1)$$

$$U = \frac{f_p \cdot U_a}{g} \quad (2)$$

$$\chi = \frac{g x}{U_a^2} \quad (3)$$

$$\zeta = \frac{g t}{U_a} \quad (4)$$

در شرایط محدودیت طول موجگاه با توجه به پارامترهای بدون بعد داریم:

$$U = f_2(x) \quad \text{و} \quad \mathcal{E} = f_1(x) \quad (5)$$

و در شرایط محدودیت مدت زمان وزش باد داریم:

$$\mathcal{E} = f_3(\zeta) \quad \text{و} \quad U = f_4(\zeta) \quad (6)$$

امواج سطحی اقیانوس در اثر نیروهای وارد بر اقیانوس مانند فشار، تنش از اتمسفر، زمین لرزه، گرانش زمین و اجرام آسمانی، نیروی کوریولیس و نیروی کشش سطحی ایجاد می‌شوند که گاهی دارای مقیاس بزرگ هستند و گاهی خرد مقیاسند. امواج دریا اشکال نامنظمی دارند و سطح آب مدام در حال تغییر است. امواج ناشی از باد در نتیجه شارش انرژی از جو به داخل آب به وجود می‌آید. فرآیند رشد امواج ناشی از باد به سرعت، سمت باد، مدت زمان وزش باد و طول بادگیر بستگی دارد. اولین مطالعات بر پیش‌بینی امواج سطحی اقیانوس توسط سوردراپ و مانک^۱ در سال ۱۹۴۷ انجام گرفت (۱). بریتشنايدر^۲ طی سال‌های ۱۹۵۲ و ۱۹۵۸ روش سوردراپ و مانک را تصحیح کرد و روش پیش‌بینی حاصل را SMB^۳ نامید. پس از آن در ۱۹۷۷ مرکز تحقیقات مهندسی سواحل ارتش آمریکا CERC^۴ روش SMB را ساده سازی و خلاصه کرد. در سال ۱۹۶۴ پیرسون و مسکوویچ^۵ شکل طیفی معروف PM^۶ برای موج کاملاً توسعه یافته را با استفاده از اطلاعات طیف موج مشاهده شده در اقیانوس آتلانتیک شمالی به دست آوردند. هاسلمن و میتسویاسو^۷ در ۱۹۷۳ با استفاده از داده‌های پروژه مشترک دریای شمال (JONSWAP)^۸ که تلاشی بین‌المللی برای تحقیق در زمینه موج بود و با استفاده از سایر داده‌های میدانی و آزمایشگاهی روابط SPM^۹ را پیشنهاد کردند که همان SMB اصلاح شده است (۲). توبا^{۱۰} در ۱۹۷۳ یک روش مهم از تعادل محلی بین باد و امواج ناشی از باد را ارائه داد. افراد دیگری همچون کاما^{۱۱} در ۱۹۸۱، لانگوت و هیگینز^{۱۲} در

-
- 1- Sverdrup & Munk
 - 2- Bretschneider
 - 3- SMB: Sverdrup, Munk & Bretschneider
 - 4- CERC: Coastal Engineering Research Center
 - 5- Pierson – Moskowitz
 - 6- PM: Pierson & Moskowitz
 - 7- Hasselmann & Mitsuyasu
 - 8- JONSWAP (Joint North Sea Wave Project)
 - 9- SPM: Shore Protection Manual
 - 10-Toba
 - 11- Kahma
 - 12- Longuet & Higgins

-
- 13- Donelan
 - 14- Dobson
 - 15- Calkoen
 - 16- Young

$$\begin{cases} \varepsilon = (7.5 \pm 2) \times 10^{-7} \chi^{0.8} \\ \nu = (2 \pm 0.3) \times \chi^{-0.25} \end{cases} \quad (7)$$

برای حالت محدودیت موجگانه تحقیقات گوناگونی صورت گرفته که در جدول ۱ آورده شده است (د).

f_1 ، f_2 ، f_3 و f_4 توابعی هستند که از اندازه‌گیری‌ها حاصل می‌شوند. برای تعیین این توابع با توجه به اندازه‌گیری‌های میدانی و آزمایشگاهی روابط انرژی بدون بعد و بسامد بدون بعد بر حسب طول موجگانه بدون بعد بصورت روابط زیر ارائه شده است:

جدول ۱- خلاصه‌ای از روابط توابع رشد امواج در حالت محدودیت موجگانه

$$\varepsilon = A\chi^a \text{ و } \nu = B\chi^b$$

Source	A	a	B	b
SMB [CERC, 1977] ^a	7.82×10^{-7}	0.84	10.82	-0.25
JONSWAP [Hasselmann et al., 1973] ^b	1.60×10^{-7}	1.00	21.98	-0.33
Bothnian Sea (unstable) [Kahma, 1981]	3.60×10^{-7}	1.00	19.97	-0.33
Lake Ontario [Donelan et al., 1985]	8.42×10^{-7}	0.76	11.62	-0.23
North Atlantic [Dobson et al., 1989]	1.27×10^{-6}	0.75	10.68	-0.24
Lake St. Clair [Donelan et al., 1992] ^b	2.60×10^{-7}	0.95	17.59	-0.30
Composite stable [Kahma and Calkoen, 1994]	9.30×10^{-7}	0.77	12.00	-0.24
Composite unstable [Kahma and Calkoen, 1994]	5.40×10^{-7}	0.94	14.00	-0.28
Composite mixed [Kahma and Calkoen, 1994]	5.20×10^{-7}	0.90	13.70	-0.27
Average [Young, 1999]	7.50×10^{-7}	0.80	12.56	-0.25
Fetch-dependent growth rate (equations (A12) and (A13)) [Hwang and Wang, 2004]	6.19×10^{-7}	0.81	11.86	-0.24

U_{10} : سرعت باد در ارتفاع مرجع ۱۰ متری، C_p : سرعت فاز موج وقتی آب گرم تر از هوا باشد، یک شار گرما به طرف بالا و یک شیب چگالی جوی با قرارگرفتن هوای چگال‌تر بر روی هوا با چگالی کم‌تر ایجاد می‌گردد که به این حالت ناپایدار می‌گویند. امواج در شرایط ناپایدار سریع‌تر رشد می‌کنند. این ناپایداری را می‌توان به وسیله عدد ریچاردسون توده‌ای (۷) نشان داد که منفی بودن آن نشانه ناپایداری است. کاما، کالکوئن (۱۹۹۲) و یانگ (۱۹۹۸) عدد ریچاردسون را به شکل زیر تشریح کردند (۸):

$$Ri_b = \frac{g(T_a - T_w)}{Z_i T_a (U/Z)^2} \quad (11)$$

T_a و T_w دمای مطلق آب و هوا، Z_i ارتفاع اندازه‌گیری دما، Z ارتفاع اندازه‌گیری سرعت باد، U سرعت باد در ارتفاع Z است. برای مقادیر $0 < Ri_b < 0.25$ شرایط هنوز می‌تواند از نظر دینامیکی ناپایدار باشد (۹).

در حالت محدودیت مدت زمان وزش باد نیز روابطی وجود دارد که پارامترهای بدون بعد انرژی و فرکانس بر حسب مدت زمان وزش باد بدون بعد به دست آمده‌اند. از جمله بررسی‌هایی که توسط ویگل^۱ در ۱۹۶۱ و مرکز تحقیقاتی ارتش آمریکا (CERC) در ۱۹۷۷ صورت گرفت. نتایج به صورت زیر به دست آمد (۶):

$$\begin{cases} \varepsilon = 0.0028 \times 10^{-7} \times \zeta^{1.5} \\ \nu = 28.42 \times \zeta^{-0.495} \end{cases} \quad (8)$$

روابطی نیز بین انرژی بدون بعد و عکس سن موج به دست آمده، به طور مثال در تحقیقات دانلن و همکارانش در دریاچه انتاریو و سنت کلا رودی بین عکس سن موج و انرژی بدون بعد برای شرایط محدودیت طول موجگانه به صورت زیر به دست آمده:

$$\varepsilon = 0.0023 \left(\frac{u_{10}}{C_p} \right)^{-3.2} \quad (9)$$

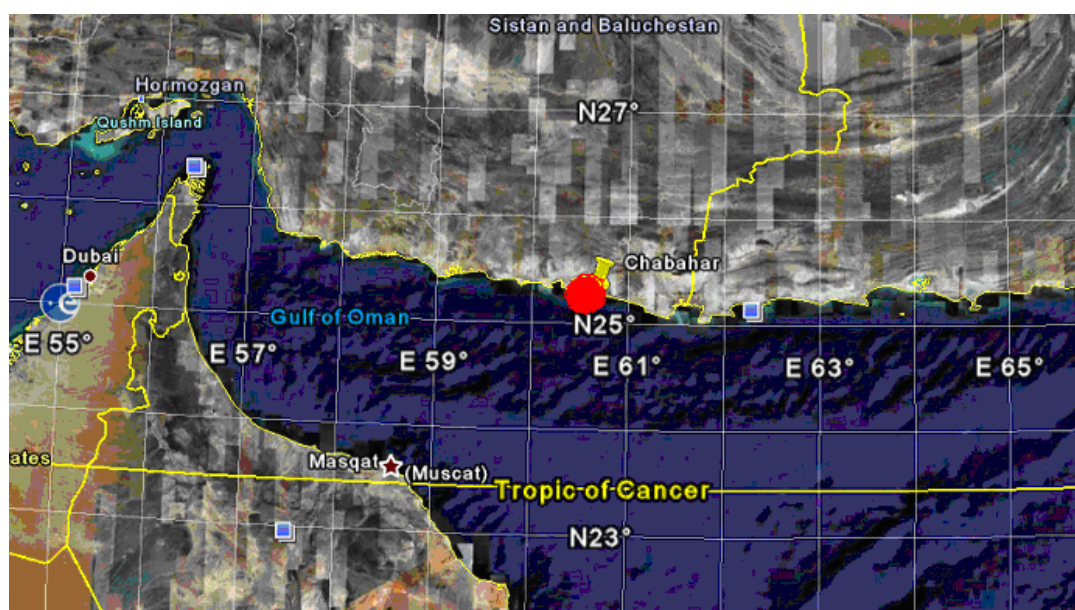
$$\varepsilon = 0.00274 \left(\frac{u_{10}}{C_p} \right)^{-3.3} \quad (10)$$

- 1- Wiegel
- 2- Lake St. Clair
- 3- Lake Ontario

نتایج

پارامترها را در دو فصل زمستان و تابستان این سال ها انجام دادیم. با اطلاعات به دست آمده از داده‌های ثبت شده منطقه و محاسبه عدد ریچاردسون توده‌ای مشخص شد در اکثر موارد شرایط ناپایدار بر لایه سطحی جو در چابهار حاکم است (جدول ۲).

با استفاده از ایستگاه هواشناسی و بویه موج نگار چابهار (در عرض جغرافیایی ۲۵ درجه و ۱۶ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۶۰ درجه و ۳۹ دقیقه شرقی) پارامترهای ارتفاع و دوره تناوب موج، سرعت و جهت باد، دمای هوا و دمای سطح آب به دست آمد (شکل ۱). داده‌های بویه موج نگار مربوط به سال های ۱۹۹۸ و ۱۹۹۹ و ۲۰۰۰ میلادی بوده که بررسی



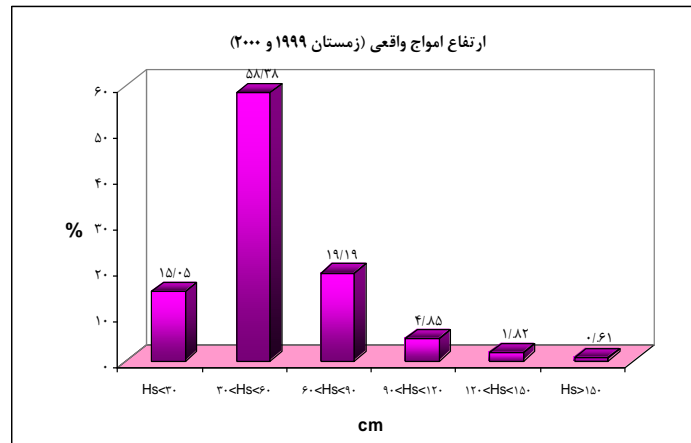
شکل ۱- منطقه مورد بررسی (چابهار)

جدول ۲- درصد احتمال وقوع شرایط جوی مختلف (چابهار ۱۹۹۸-۲۰۰۰)

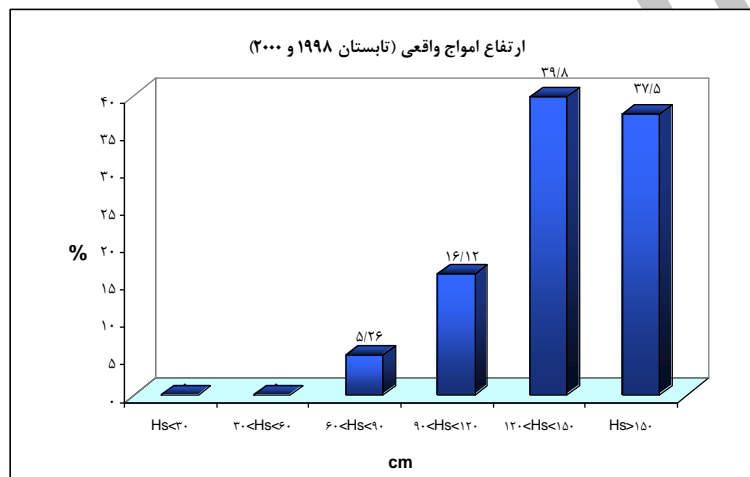
نوع پایداری جوی	شرایط پایدار	شرایط خنثی	شرایط ناپایدار
درصد وقوع	۱۴/۳۰	۰/۷۳	۸۵

فراوانی مدت وزش باد های چابهار را طی سال های ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۳ نشان می‌دهد. نمودار ۸ گلباد منطقه برای سال های ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۳ رسم شده و نمودارهای ۹ و ۱۰ گلبادهای فصلی زمستان و تابستان منطقه چابهار را طی سال های ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۰ نشان می‌دهند.

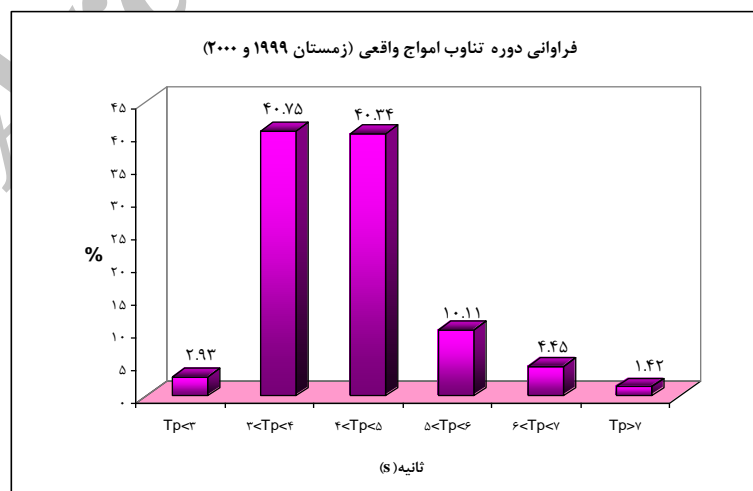
نمودار فراوانی ارتفاع امواج واقعی حاصل از بویه در منطقه چابهار طی دو فصل زمستان و تابستان سال های ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۰ در نمودارهای ۱ و ۲، نمودار فراوانی دوره تناوب امواج واقعی حاصل از بویه در منطقه چابهار طی دو فصل زمستان و تابستان سال های ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۰ در نمودارهای ۳ و ۴ ملاحظه می‌شوند. نمودارهای ۵ و ۶ و ۷ به ترتیب فراوانی جهت وزش باد در هشت جهت و فراوانی سرعت وزش باد در هشت مقیاس و



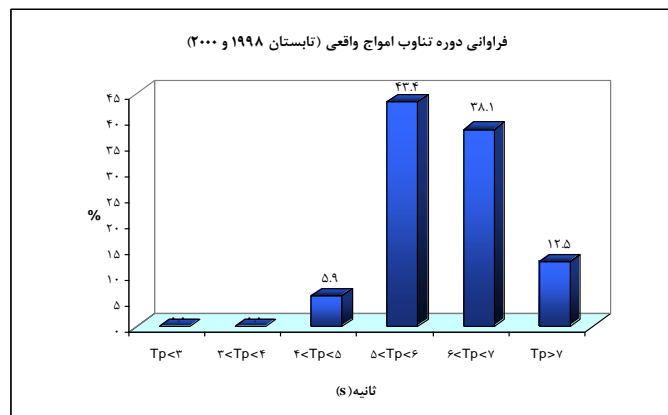
نمودار ۱- فراوانی ارتفاع امواج واقعی به دست آمده از بویه چابهار در زمستان سال های ۱۹۹۹ و ۲۰۰۰



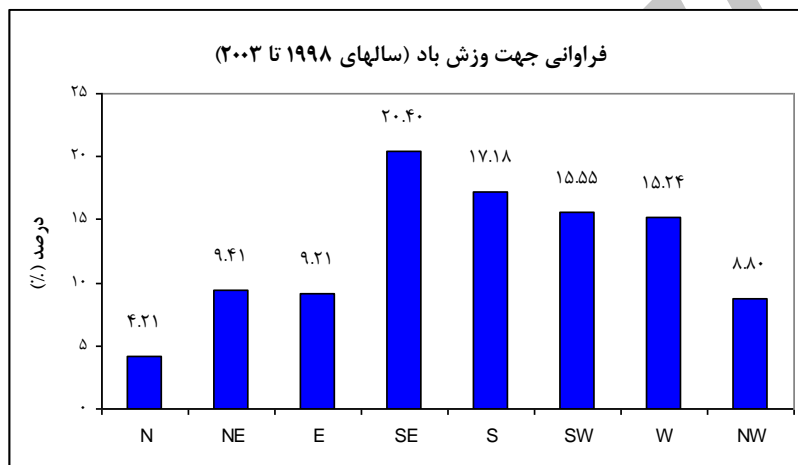
نمودار ۲- فراوانی ارتفاع امواج واقعی به دست آمده از بویه چابهار در تابستان سال های ۱۹۹۸ و ۲۰۰۰



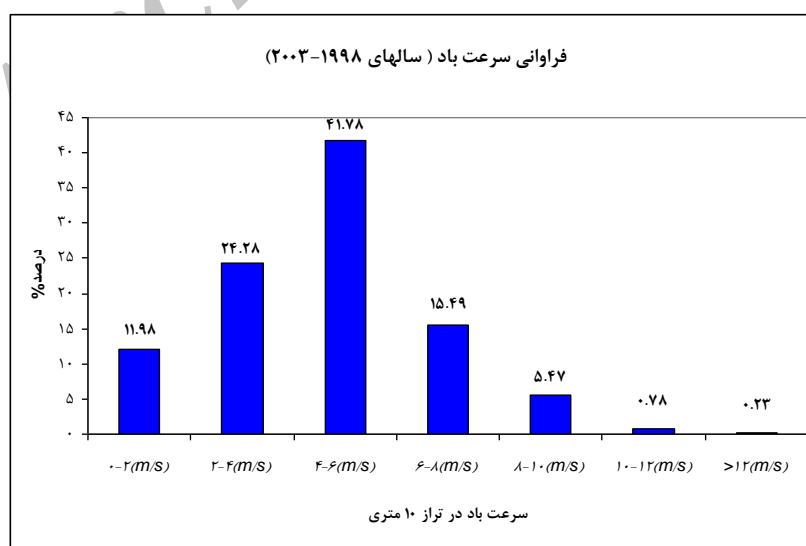
نمودار ۳- فراوانی دوره تناوب امواج واقعی به دست آمده از بویه چابهار در زمستان سال های ۱۹۹۹ و ۲۰۰۰



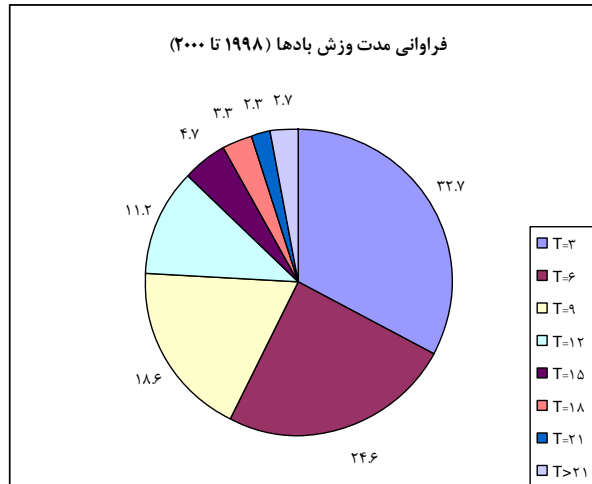
نمودار ۴- فراوانی دوره تناوب امواج واقعی به دست آمده از بویه چابهار در تابستان سال های ۱۹۹۸ و ۲۰۰۰



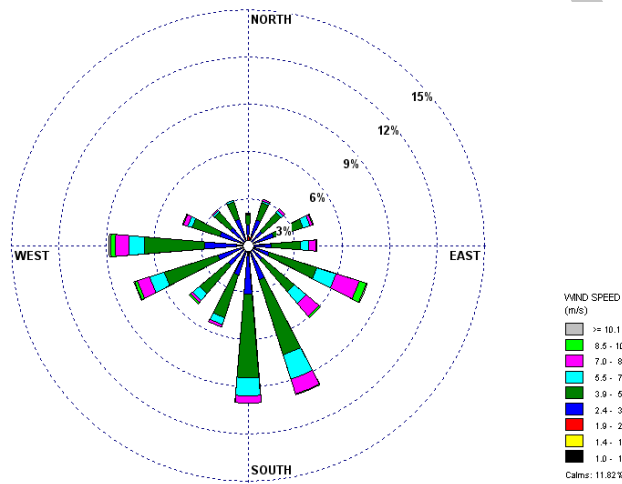
نمودار ۵- فراوانی جهت وزش باد (داده‌های باد ایستگاه هواشناسی، سال های ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۳)



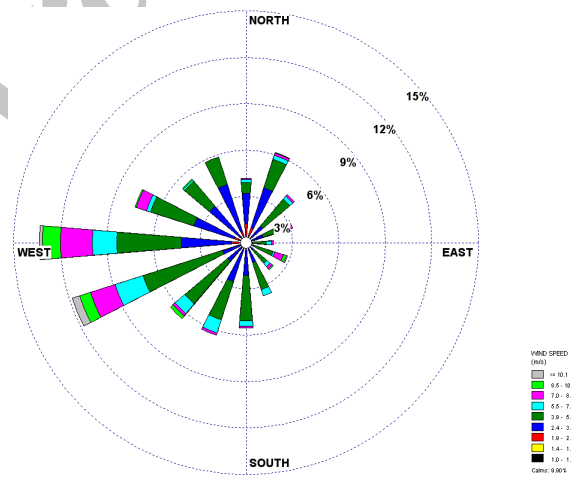
نمودار ۶- فراوانی سرعت‌های باد (داده‌های باد ایستگاه هواشناسی، سال های ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۳)



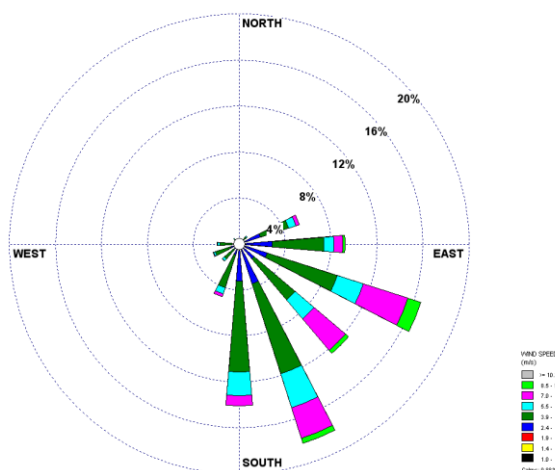
نمودار ۷- فراوانی مدت زمان وزش بادها (داده‌های باد ایستگاه هواشناسی، سال های ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۳)



نمودار ۸- گلباد سال های ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۳، چابهار



نمودار ۹- گلباد زمستان سال های ۱۹۹۹ و ۲۰۰۰، چابهار



نمودار ۱۰- گلباد تابستان سال‌های ۱۹۹۸ و ۲۰۰۰، چابهار

ثابت است) را به دست آوریم. بدین منظور با توجه به محل بویه، طول موجگاه را در ۱۶ جهت محاسبه کردیم. (جدول ۳)

پس از بررسی داده‌های ایستگاه هواشناسی و بویه موج نگار برای محاسبه پارامترهای بدون بعد ابتدا لازم است طول موجگاه (منطقه‌ای که سرعت و جهت باد در آن به شکل قابل قبولی

جدول ۳- مقادیر طول موجگاه در ۱۶ جهت برای بویه موج چابهار (بر حسب کیلومتر)

	جهت (درجه)	طول موجگاه (کیلومتر)	جهت (درجه)	طول موجگاه (کیلومتر)
۱	۲۲/۵	۱/۴۲	۲۰۲/۵	۳۱۷
۲	۴۵	۲/۷۴	۲۲۵	۲۷۴/۴
۳	۶۷/۵	۵/۵۳	۲۴۷/۵	۳۸۰/۴
۴	۹۰	۹/۴۶	۲۷۰	۴۳۰
۵	۱۱۲/۵	۱۰۲۷/۷۳	۲۹۲/۵	۲۷/۲۴
۶	۱۳۵	۲۳۸۱/۷	۳۱۵	۱/۶۹
۷	۱۵۷/۵	۳۵۷۶/۲	۳۳۷/۵	۲/۲۸
۸	۱۸۰	۶۸۷۸/۳	۳۶۰	۱/۳۹

حداقل زمان لازم، t_{\min} باشد حالت بادگیر محدود است و در غیر این صورت محدودیت مدت زمان وزش داریم (۱۰).

$$\frac{gt_{\min}}{U_A} = 68.8 \left(\frac{gX}{U_A^2} \right)^{\frac{2}{3}} \quad (12)$$

در رابطه بالا U_A عامل تنش باد بر حسب متر بر ثانیه می باشد که طبق فرمول زیر محاسبه می‌شود.

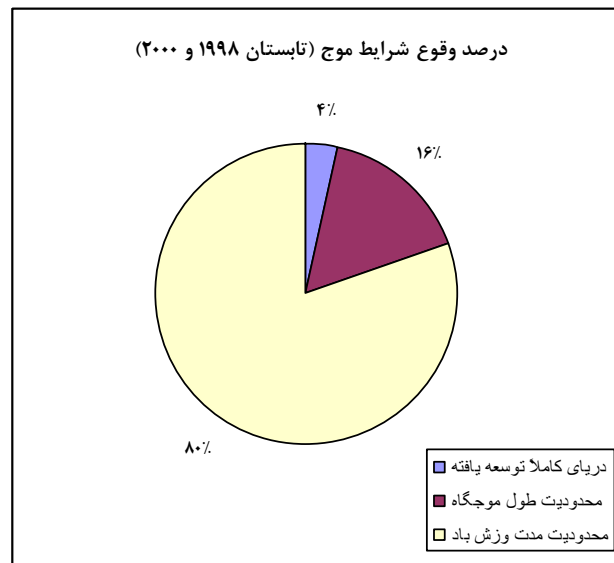
پس از آن باید شرایط حاکم بر رشد امواج را تشخیص دهیم. روش SPM در مواقعی که هندسه دریا دارای پیچیدگی زیادی نباشد و همچنین شرایط موج به صورت موجگاه محدود و یا مدت وزش باد محدود باشد مناسب به نظر می‌رسد. بنابراین با توجه به اینکه منطقه مورد بررسی در آب عمیق قرار گرفته می‌توان از روابط SPM در آب عمیق استفاده کرد تا درصد وقوع شرایط محدودیت طول موجگاه یا محدودیت مدت وزش باد محاسبه شود بطوریکه اگر مدت زمان وزش باد طولانی‌تر از

چابهار درصد احتمال وقوع شرایط حاکم بر رشد امواج در

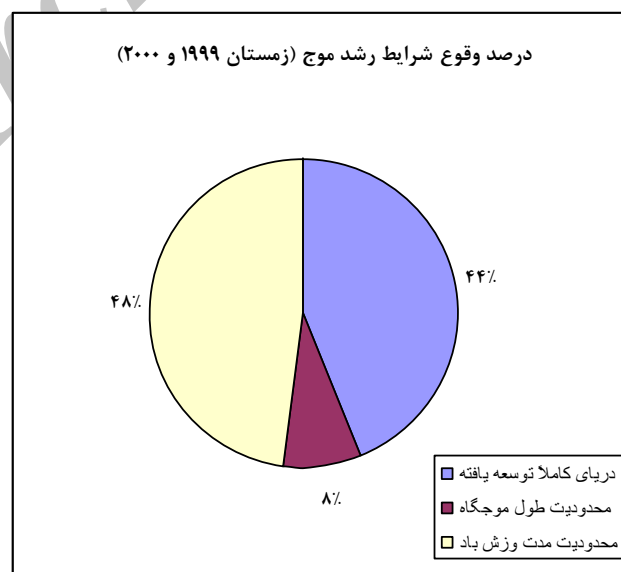
($\frac{U_{10}}{C_p} < 1$) با دسته بندی شرایط حاکم بر رشد امواج در چابهار درصد احتمال وقوع شرایط مختلف، (نمودارهای ۱۱ و ۱۲) در تابستان و زمستان سال های ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۰ به دست آمده.

$$U_A = 0.71U_{10}^{1.23} \quad (13)$$

حالت دریای کاملاً توسعه وقتی ایجاد می شود که امواج به حالت تعادلی رسیده باشند. در این صورت انرژی ورودی از باد دقیقاً با اتلاف انرژی موازنه می شود. شرایط دریای کاملاً توسعه یافته هنگامی اتفاق می افتد که سرعت فاز امواج (C_p) از سرعت باد در ارتفاع ۱۰ متری (U_{10}) بیشتر باشد.



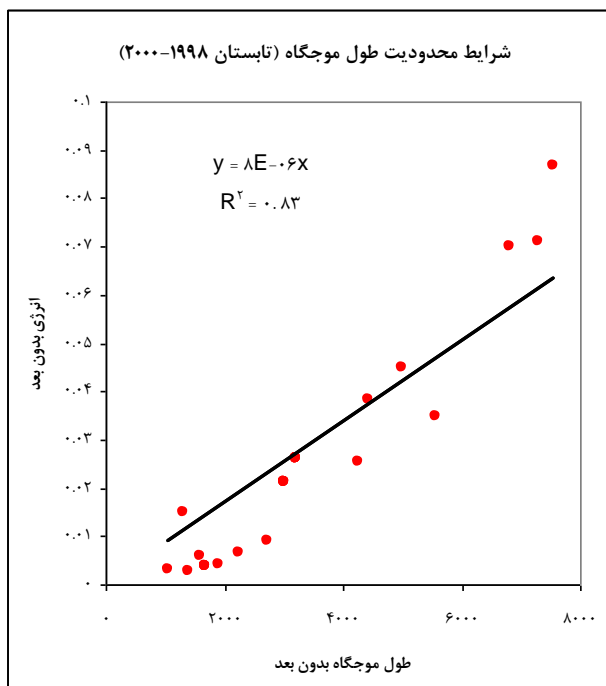
نمودار ۱۱- درصد وقوع شرایط رشد امواج ناشی از باد در چابهار (تابستان)



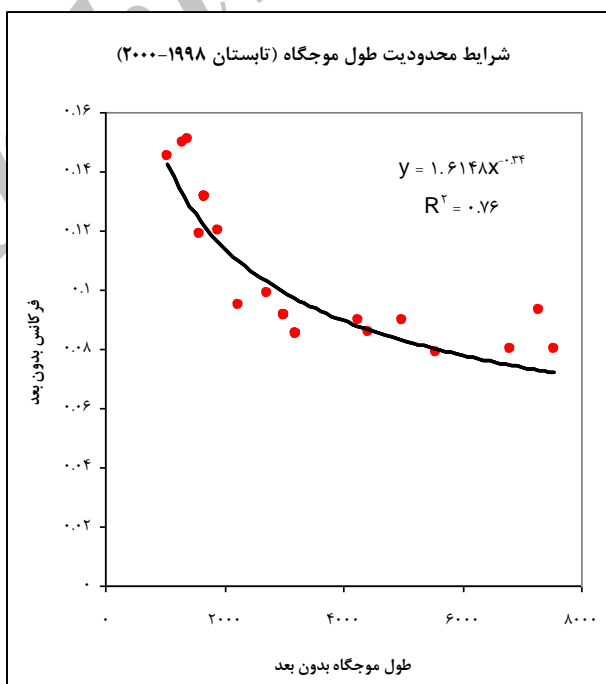
نمودار ۱۲- درصد وقوع شرایط رشد امواج ناشی از باد در چابهار (زمستان)

برای حالت محدودیت موجگاہ روابط بین انرژی و فرکانس بدون بعد بر حسب پارامتر بدون بعد طول موجگاہ در تابستان و زمستان سال های ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۰ میلادی محاسبه شد. (نمودارهای ۱۳، ۱۴، ۱۵، ۱۶)

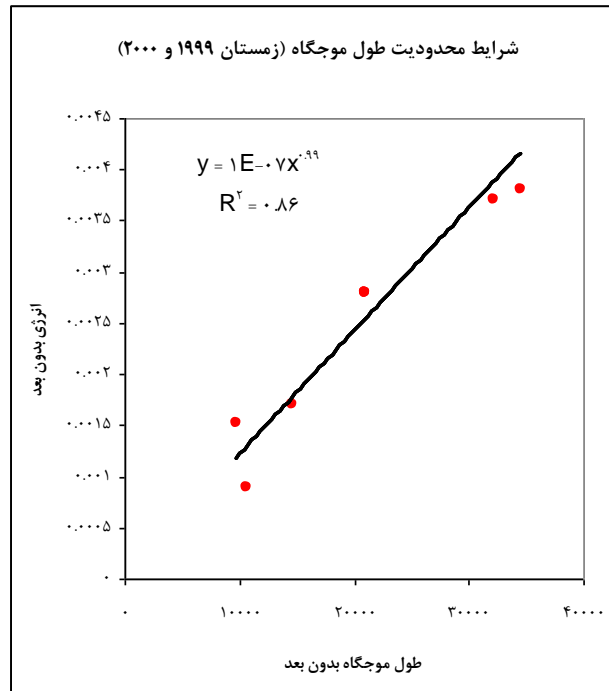
با دانستن حالت رشد موج در چاهبار و بر اساس داده‌های واقعی اندازه‌گیری شده توسط بویه موج‌نگار در زمستان و تابستان سال های ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۰ به بررسی پارامترهای بدون بعد انرژی، فرکانس، مدت زمان وزش باد و طول موج‌گاہ پرداخته شد.



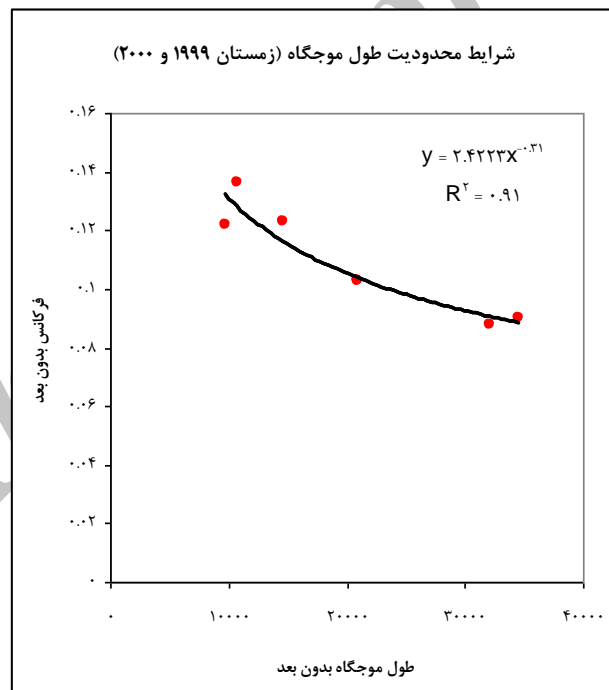
نمودار ۱۳- رابطه بین انرژی بدون بعد و موجگاہ بدون بعد (شرایط محدودیت موجگاہ)



نمودار ۱۴- رابطه بین فرکانس بدون بعد و موجگاہ بدون بعد (شرایط محدودیت موجگاہ)



نمودار ۱۵- رابطه بین انرژی بدون بعد و موجگاه بدون بعد (شرایط محدودیت موجگاه)

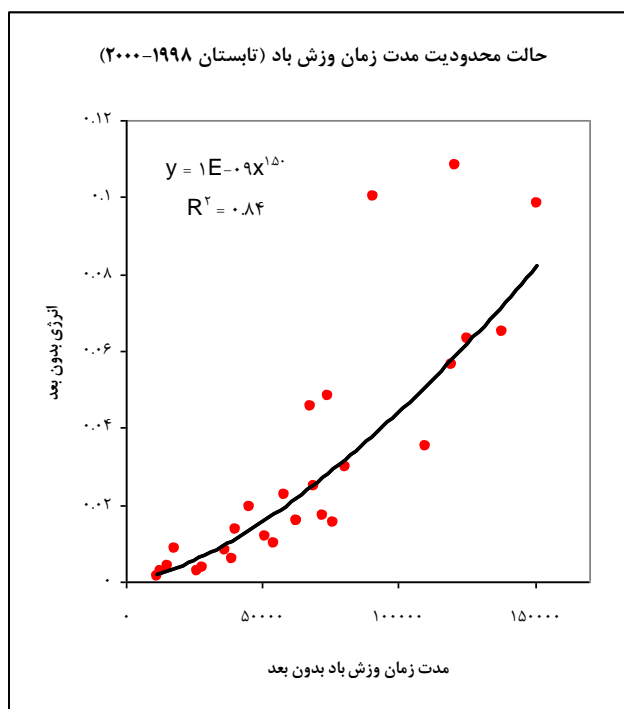


نمودار ۱۶- رابطه بین فرکانس بدون بعد و موجگاه بدون بعد (شرایط محدودیت موجگاه)

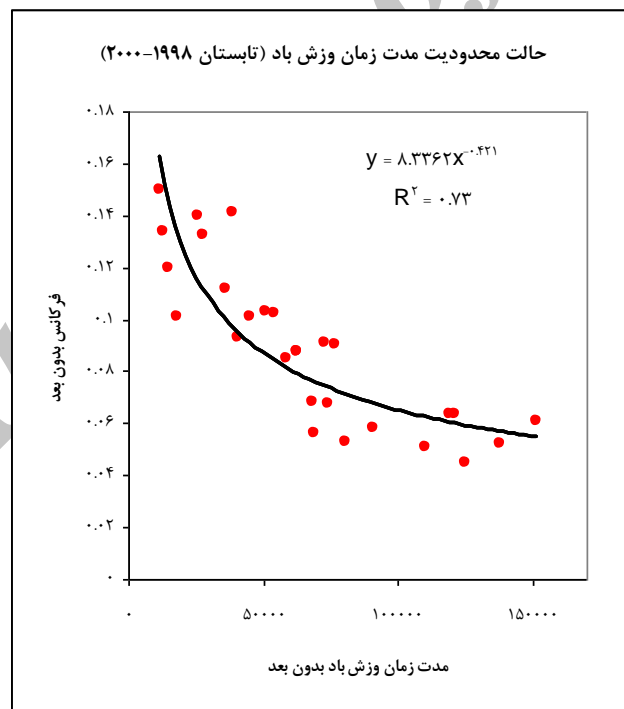
رابطه بین عکس سن موج و انرژی بدون بعد برای شرایط محدودیت طول موجگاه نیز به دست آمد. (نمودار ۲۱)

برای حالت محدودیت مدت زمان وزش باد در دو فصل تابستان و زمستان روابط بین انرژی و فرکانس بدون بعد بر حسب پارامتر بدون بعد مدت زمان وزش باد محاسبه شد. (نمودارهای

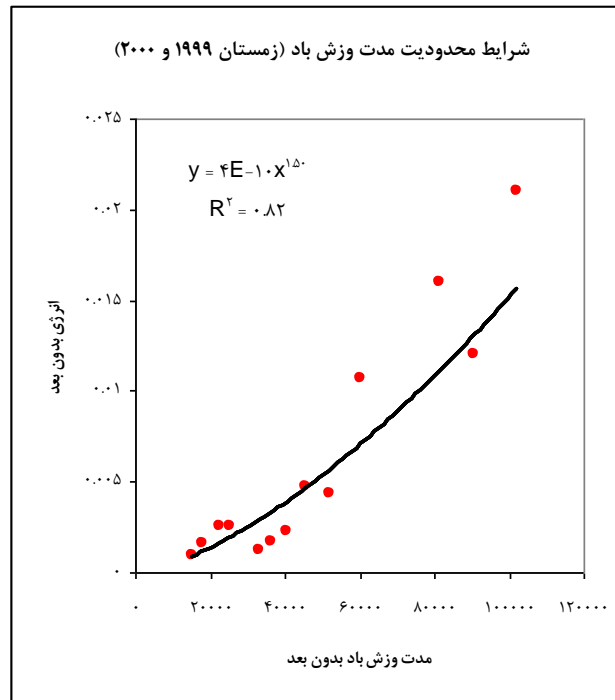
(۱۷،۱۸،۱۹،۲۰)



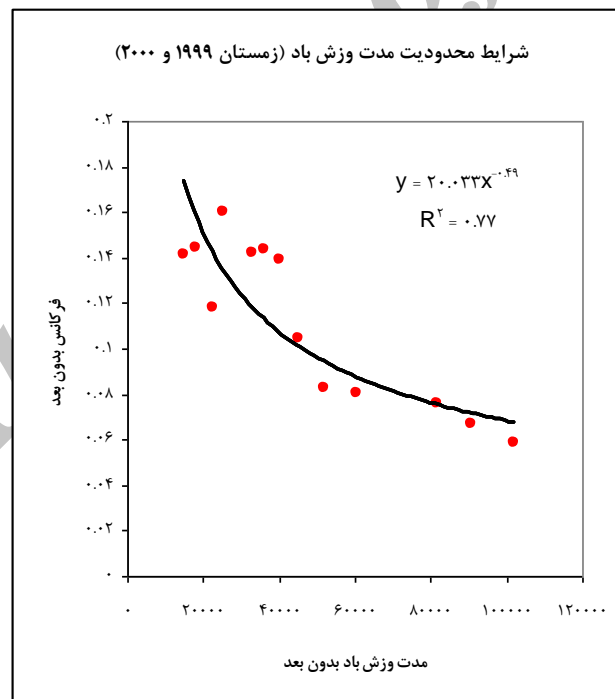
نمودار ۱۷- رابطه بین انرژی بدون بعد و زمان ورزش باد بدون بعد (شرایط محدودیت ورزش باد)



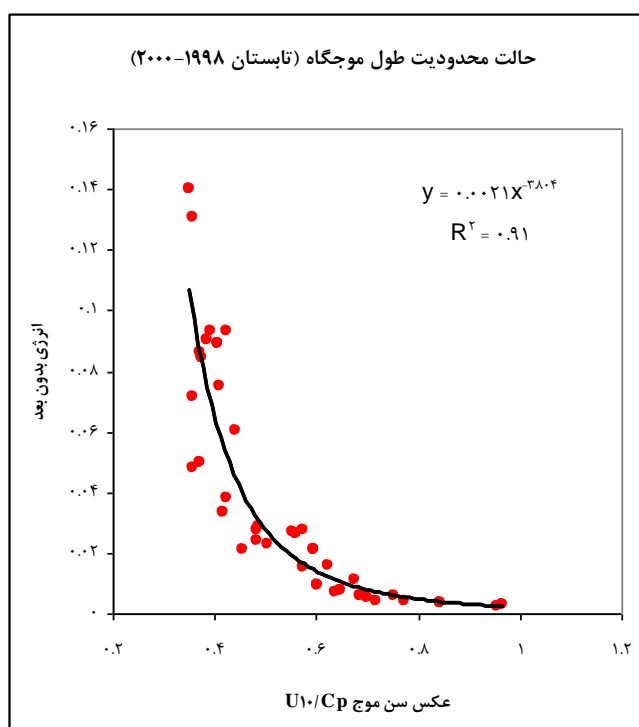
نمودار ۱۸- رابطه بین فرکانس بدون بعد و زمان ورزش باد بدون بعد (شرایط محدودیت ورزش باد)



نمودار ۱۹- رابطه بین انرژی بدون بعد و زمان وزش باد بدون بعد (شرایط محدودیت وزش باد)



نمودار ۲۰- رابطه بین فرکانس بدون بعد و زمان وزش باد بدون بعد (شرایط محدودیت وزش باد)



نمودار ۲۱- رابطه بین انرژی بدون بعد و عکس سن موج (شرایط محدودیت موجگاه)

تفسیر نتایج

پارامترهای اندازه‌گیری شده منطقه چابهار طی سال‌های ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۰ نشان می‌دهد میانگین ارتفاع امواج واقعی به دست آمده از بویه در تابستان ۱/۴۵ متر و میانگین دوره تناوب در این فصل ۶ ثانیه و در فصل زمستان میانگین ارتفاع امواج واقعی ۰/۵ متر و میانگین دوره تناوب ۴ ثانیه است. در حدود ۸۵٪ موارد شرایط ناپایدار بر لایه سطحی در چابهار حاکم بوده که این امر می‌تواند بر شدت بادهای سطحی بیافزاید. درصد وقوع شرایط حاکم بر رشد امواج در چابهار برای حالت محدود شدن مدت زمان وزش باد در تابستان ۸۰٪ و در زمستان ۴۸٪، امواج کاملاً توسعه یافته در تابستان ۴٪ و در زمستان ۴۴٪، و برای محدود شدن طول موجگاه در تابستان ۱۶٪ و در زمستان ۸٪ است. بالا بودن درصد محدود شدن مدت زمان وزش باد معرف آن است که تغییرات سمت و سرعت باد زیاد است و باد در بیشتر مواقع نمی‌تواند طول موجگاه منطقه را به طور کامل طی کند.

گلباد منطقه جهت غالب بادهای سالیانه را جنوب شرقی (۲۰/۴٪)، جنوبی (۱۷/۱۸٪)، جنوب غربی (۱۵/۵۵٪) و غربی

(۱۵/۲۴٪) نشان می‌دهد. میانگین سرعت بادهای ۴ متر بر ثانیه و در ۱۱/۸۲٪ شرایط آرام و بیشترین فراوانی (۴۱/۷۸٪) مربوط به بادهایی با سرعت بین ۴ تا ۶ متر بر ثانیه است. این بادهای در تابستان دارای جهت غالب جنوب و جنوب شرقی و در زمستان دارای جهت غربی و جنوب غربی هستند و در بیشتر مواقع (۳۳٪) بادهای سه ساعته بر این منطقه می‌وزند.

با بررسی داده‌های باد و موج اندازه‌گیری شده در منطقه چابهار در تابستان سال‌های ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۰ برای حالت محدودیت طول موجگاه رابطه بین انرژی بدون بعد و طول موجگاه بعد معادل $\epsilon = 8 \times 10^{-6} X^{2.04}$ و رابطه بین فرکانس بدون بعد و طول موجگاه بدون معادل $U = 1.6148 X^{-0.34}$ و در زمستان سال‌های ۱۹۹۹ و ۲۰۰۰ رابطه بین انرژی و فرکانس بدون بعد بر حسب طول موجگاه بدون بصورت $\epsilon = 1 \times 10^{-7} X^{0.99}$ و $U = 2.4223 X^{-0.31}$ محاسبه شد.

در حالت محدودیت مدت زمان وزش باد نیز روابط بین پارامترهای بدون بعد انرژی و فرکانس بر حسب مدت زمان

4. SPM, 1984. *Shore Protection Manual*. Coastal Engineering Research Center, Waterway Experiment Station, US Army Corps of Engineers.
5. Hwang, P. A. (2006), *Duration- and fetch-limited growth functions of wind-generated waves parameterized with three different scaling wind velocities*. Journal of Geophysical, Vol.111, Co2005.
6. CERC, 1977, *Shore protection manual*, U.S.army coastal engineering research center. 3. Volumes Young, I.R., 1999, *Wind generated ocean waves elsevier*, ISBN 0-08-043317-0
7. Zoumakis.N.M. & Kelessis.A.G. :1991, *The dependence of the Bulk Richardson Number on stability in the surface layer*, Boundary Layer Meteorology,57:407-414.
8. http://oceanworld.tamu.edu/resources/ocng_textbook/chapter08/chapter08_04.htm
9. Young, I.R., 1999, *Wind generated ocean waves Elsevier*, ISBN 0-08-043317-0.
10. Liu, Z. and Frigaard, P. (Jan 2001), *Generation and analysis of random waves*

وزش باد بدون بعد در زمستان بصورت $\varepsilon = 1 \times 10^{-9} \zeta^{1.50}$ و $\nu = 8.3362 \zeta^{-0.421}$ در تابستان به صورت $\varepsilon = 4 \times 10^{-10} \zeta^{1.5}$ و $\nu = 20.033 \zeta^{-0.49}$ به دست آمد.

رابطه بین عکس سن موج و انرژی بدون بعد در حالت محدودیت طول موجگاه $\varepsilon = 0.0021 \left(\frac{U_{10}}{C_p}\right)^{-3.8}$ به دست آمد.

سپاسگزاری

با تقدیر و تشکر فراوان از جناب آقای دکتر کامران لاری، جناب آقایان دکتر مسعود ترابی آزاد که با پیشنهادهای و راهنمایی‌های خود مرا در مراحل مختلف این تحقیق یاری نمودند.

منابع

1. Sverdrup, H. Y., and Munk, W.H., 1947, *Wind, Sea, and Swell: Theory of relation for forecasting*, Hydrographic office, U.S. Navy, Publ. No. 601.
2. *Guide to wave analysis and forecasting*, 1998, World Meteorological Organization, ISBN 92-63-12702-6, second edition.
3. Kahma, k. k., and Calkoen, C. J., 1992, *Reconciling discrepancies in the observed growth of wind-generated waves*: J. Phys. Oceanogr., 22, 1389-1405.