**دانشگاه دریانوردی و علوم دریایی چابهار**

**فصلنامه دریا و کشتی** سال هشتم، شماره اول(۱۳۹۶) **شماره شاپا:** ۳۹۹۳-۲۴۷۶

# تحلیل طیفی امواج ناشی از باد در ساحل بوشهر

**محمد رضا خلیل آبادی**[۱]

**پژوهشیار دانشگاه صنعتی مالک اشتر**

**کد مقاله: ۹۴۰۷**

**تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۴/۰۹/۱۸** **تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹۵/۰۲/۱۳**

## چکیده

*در این پژوهش با استفاده از داده های ساعتی باد در ایستگاه ساحلی بوشهر و همچنین اطلاعات بویه ی موج نگار مستقر در آب های ساحلی بوشهر در سال های ۲۰۱۰ و ۲۰۱۱ امواج ناشی از باد در این منطقه مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. در این پژوهش نشان داده شده است که توزیع ارتفاع امواج در بندر بوشهر از توزیع ریلی پیروی می کند و بیشترین فراوانی مربوط به امواج با ارتفاع ۳/۲-۳/۴ متر است که جهت حرکت آن به سمت شمال شرق است. در ادامه با استفاده از مدلهای طیفی جانسواپ و جانسواپ پارامتریزه شده مشخصه های امواج ناشی از باد در این منطقه محاسبه شده است.*

**کلیدواژه:** طیف جانسواپ، توزیع ریلی، موج سطحی، امواج ناشی از باد

[1]Corresponding author
E-mail address: rezakhalilabadi@gmail.com

**مقدمه**

امواج سطحی دریا تحت اثر تنش برشی باد ایجاد و به فواصل دور انتشار می یابند. این امواج مهمترین عامل وارد کننده نیرو به سازه های ساحلی و فراساحلی اند، لذا مطالعه و پیش بینی آنها از اهمیت ویژه ای برخوردار است. امواج سطحی ناشی از باد، تحت اثر رژیم باد منطقه در آبهای عمیق شکل گرفته و به آبهای ساحلی انتقال می یابند. معمولاً ابزارمختلفی راجهت اندازه گیری پارامترهای فیزیکی مانند تراز سطح آب دریا،چگالی ودمای آب، نوسانات جزرومدی وغیره در خلیج ها،آبهای ساحلی ومحیطهای دریایی بکار می برند. برای اندازه گیری پارامترهای موج ومشخصات امواج سطحی ناشی از باد نیز از ابزاری همچون ماهواره، بویه های موج نگار و غیره استفاده می شود.

برای موج در حال رشد، طیف جانسواپ مناسب است(هسلمن، ۱۹۷۳) که در این پژوهش برای آنالیز طیفی از مدل طیفی جانسواپ استفاده شده است. این طیف که از پروژه های تحقیقاتی دریای شمال حاصل شده است، اولین بار توسط هسلمن و همکاران (۱۹۷۳) ارائه گردید و بعدها نیز توسط دیگران توسعه داده شد(مثلا" توکر، ۱۹۹۱). این طیف با روابط زیر بیان می شود:

$$S(f) = \alpha H_s^2 f_p^4 f^{-5} \gamma^{\beta} \exp\left[-\frac{5}{4}\left(\frac{f_p}{f}\right)^4\right] \quad (۱)$$

$$\alpha \approx \frac{0.0624}{0.230 + 0.0336\gamma - \left(\frac{0.185}{1.9+\gamma}\right)} \quad (۲)$$

$$\beta = \exp\left[-\frac{\left(f - f_p\right)^2}{2\sigma^2 f_p^2}\right] \quad (۳)$$

$$\sigma = 0.07 \quad f \le f_p \quad (۴)$$

$$\sigma = 0.09 \quad f > f_p$$

برای محاسبه ی طول موج در آب عمیق، از دوره تناوب موج از رابطه ی ۵ استفاده می شود.

$$L_0 = 1.56T^2 \quad (۵)$$

که برای به دست آوردن نسبت $\frac{\mathbf{d}}{\mathbf{L_0}}$ مورد نیاز است تا با توجه به جداول SPM نسبت $\frac{d}{\mathbf{L}}$ به دست آید و با استفاده از نسبت $\frac{d}{L}$ طول موج واقعی در آب عمیق محاسبه شود(دین و همکاران، ۱۹۹۱).

## روش تحقیق

در این تحقیق از داده های باد و موج در اواخر سال ۲۰۱۰ و ۶ ماه اول سال ۲۰۱۱ در بندر بوشهر استفاده شده است. هر یک از این داده ها جداگانه مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است که در ادامه به طور جداگانه شرح داده شده است.

در این پژوهش، توزیع های ریلی[۲](سی. ای. ام.، ۲۰۰۲) و گلوخوفسکی[۳] (گلوخوفسکی، ۱۹۶۶) برای امواج بندر بوشهر محاسبه و مقایسه خواهند شد و نشان داده می شود که توزیع داده های اندازه گیری شده ی موج در بندر بوشهر از توزیع ریلی پیروی می کند. توزیع ریلی ( یا رایلی) معمولاً در مواردی مشاهده می‌شود که متغیری دارای دو عضو بوده که هر دو دارای توزیع نرمال با واریانس مشابه بوده و از هم مستقل باشند. بطور مثال می‌توان سرعت باد که دارای دو مؤلفه (در جهت شرقی–غربی و شمالی–جنوبی) می‌باشد را دارای این توزیع دانست. همچنین اندازه اعداد مختلطی که مقادیر حقیقی و موهومی آنها دارای توزیع یکسان نرمال بوده و از هم مستقل باشند، دارای توزیع ریلی است. این توزیع به نام لرد ریلی نامیده شده است. همچنین در این تحقیق، فاکتور Groupiness (GF) که یک فاکتور مهم در طراحی سازه های دریایی است(دانگ و همکاران، ۲۰۰۸) نیز با استفاده از داده های سری زمانی ارتفاع موج محاسبه شده است. از آنجا که داده های موج با گام زمانی یک ساعت ثبت شده است بنابراین استخراج دوره تناوب امواج از طریق آنالیز داده های موج منجر به جوابهای اشتباه خواهد شد. در این تحقیق برای رفع این مشکل از داده های باد و طیفهای استاندارد استفاده شده است. برای آنالیز طیفی از مدل طیفی جانسواپ استفاده شده است. این طیف که از پروژه های تحقیقاتی دریای شمال حاصل شده است، اولین بار توسط هسلمن و همکاران (۱۹۷۳) ارائه گردید و بعدها نیز توسط دیگران توسعه داده شد(مثلا" توکر، ۱۹۹۱).

## بررسی نتایج

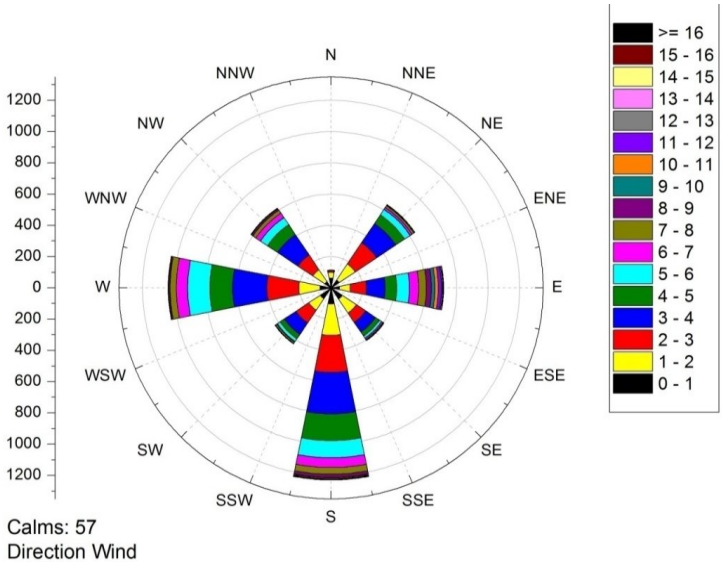
---

[۲] Rayleigh
[۳] Glukhovsky

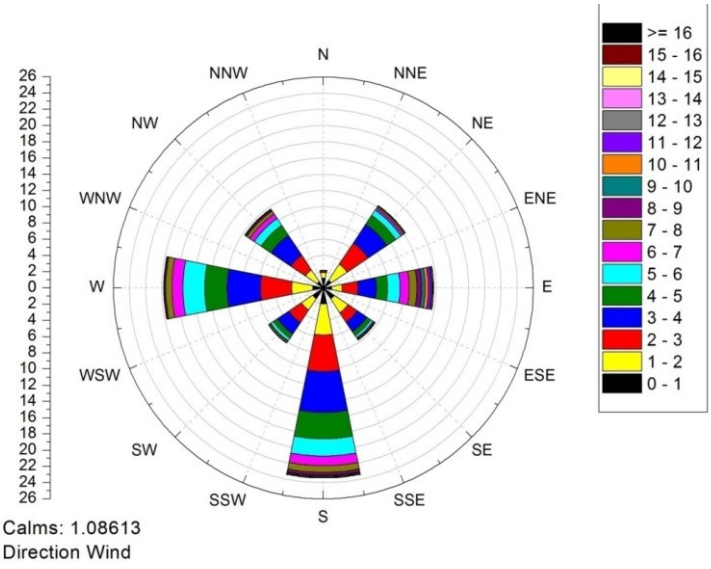
شکل (۱) گلباد بندر بوشهر را نشان می دهد. این گلباد بر مبنای اطلاعات یک ساله ی ایستگاه هواشناسی بندر بوشهر رسم شده است. جهت باد، جهتی را نشان می دهد که باد از آن سو می وزد. این شکل بر مبنای تعداد داده ها رسم شده است و مقیاس سمت چپ شکل، تعداد داده ها را در هر بازه نشان می دهد. در شکل (۲) گلباد بندر بوشهر بر مبنای درصد داده ها رسم شده است و مقیاس سمت چپ شکل، درصد داده ها را در هر بازه نشان می دهد.

داده های موج نیز مانند داده های باد برای سال های ۲۰۱۰ و ۲۰۱۱ و با گام زمانی ثبت یک ساعته استفاده شده است. شکل های زیر توزیع ارتفاع امواج را نشان می دهد.. شکل های ۳ و ۴ مقایسه ی توزیع ریلی و توزیع داده های اندازه گیری شده مربوط به $(\frac{H}{H_m})^2$ و $(\frac{H}{H_s})^2$ را نشان می دهند. همانطور که مشاهده می شود توزیع ارتفاع امواج در بندر بوشهر از توزیع ریلی پیروی می کند. شکل ۵ نیز توزیع ارتفاع H را نشان می دهد. جدول ۱ مقایسه ی توزیع های Glukhovsky و Rayleigh برای امواج بندر بوشهر را نشان می دهد.

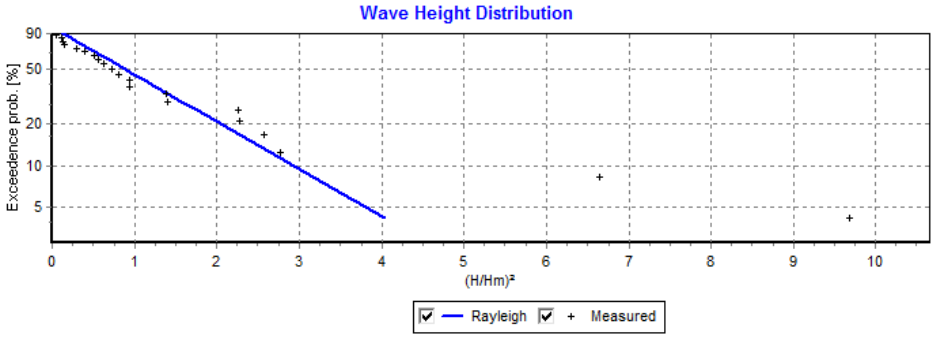
شکل های ۶ ، ۷ و ۸ مقایسه ی توزیع های Glukhovsky و Rayleigh برای H ، $(\frac{H}{H_m})^2$ و $(\frac{H}{H_m})$ نشان می دهند. شکل ۹ نمودار طیف واریانس موج اندازه گیری شده را در بندر بوشهر نشان می دهد. شکل ۱۰ نمودار سری زمانی موج اندازه گیری شده در بندر بوشهر (منحنی قرمز رنگ) و فاکتور Groupiness (منحنی سیاه رنگ) را نشان می دهد. شکل های ۱۱ و ۱۲ نیز گلموج بندر بوشهر را بر مبنای اطلاعات یک ساله ی بویه ی موج نگار بندر بوشهر را به ترتیب بر مبنای تعداد داده ها و درصد داده ها نشان می دهد. در هر دو شکل جهت موج، جهتی را نشان می دهد که موج به آن سو حرکت می کند. همانطور که در شکل ها مشاهده می شود بیشترین فراوانی مربوط به امواج با ارتفاع ۳/۲-۳/۴ متر است که جهت حرکت آن به سمت شمال شرق است. در نهایت شکل ۱۳ مقایسه ی سری های زمانی باد و موج را نشان می دهد. همانطور که در این شکل مشاهده می شود هر دو منحنی تقریبا شکل یکسانی دارند.



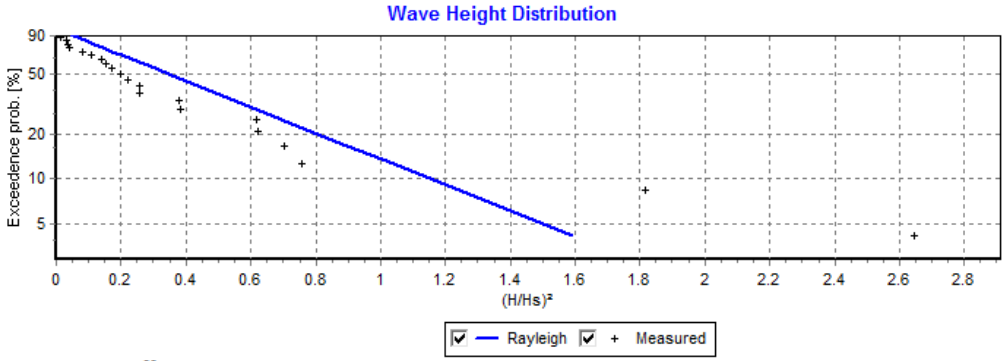

**شکل ۱- گلباد بندر بوشهر. این گلباد بر مبنای اطلاعات یک ساله ی ایستگاه هواشناسی بندر بوشهر رسم شده است. جهت باد، جهتی را نشان می دهد که باد از آن سو می وزد. این شکل بر مبنای تعداد داده ها رسم شده است و مقیاس سمت چپ شکل، تعداد داده ها را در هر بازه نشان می دهد.**



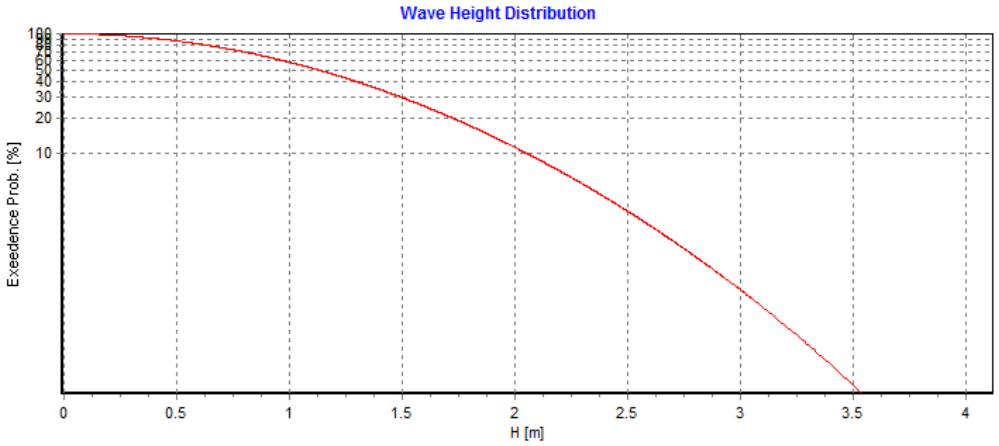
شکل ۲- گلباد بندر بوشهر. این گلباد بر مبنای اطلاعات یک ساله ی ایستگاه هواشناسی بندر بوشهر رسم شده است. جهت باد، جهتی را نشان می دهد که باد از آن سو می وزد. این شکل بر مبنای درصد داده ها رسم شده است و مقیاس سمت چپ شکل، درصد داده ها را در هر بازه نشان می دهد.




شکل۳- مقایسه ی توزیع ریلی و توزیع داده های اندازه گیری شده مربوط به $(\frac{H}{H_m})^2$



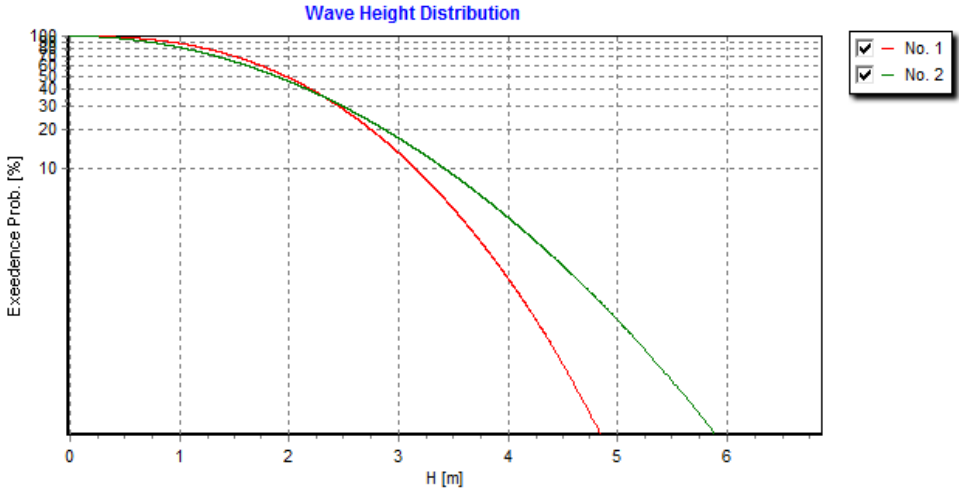

شکل ۴- مقایسه ی توزیع ریلی و توزیع داده های اندازه گیری شده مربوط به $(\frac{H}{H_s})^2$



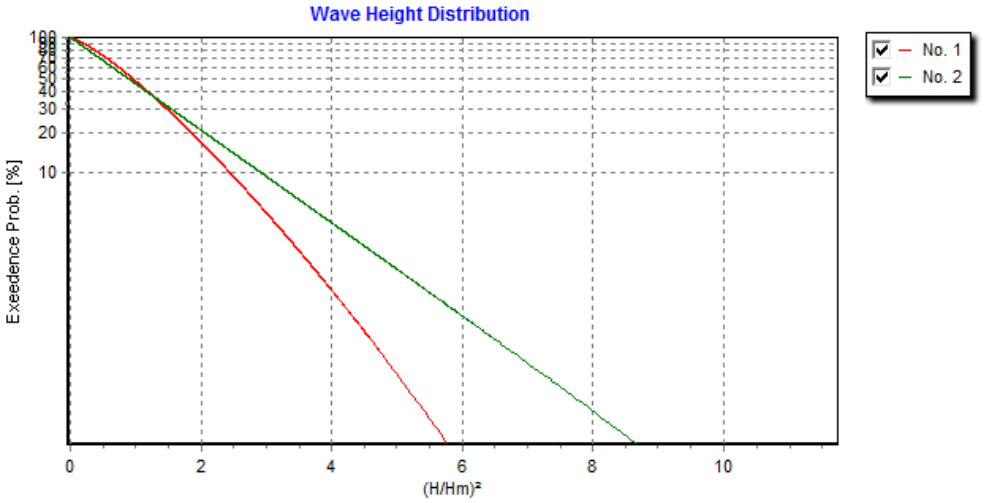

**شکل ۵- توزیع ارتفاع H**

جدول ۱- مقایسه ی توزیع های Glukhovsky و Rayleigh برای امواج بندر بوشهر

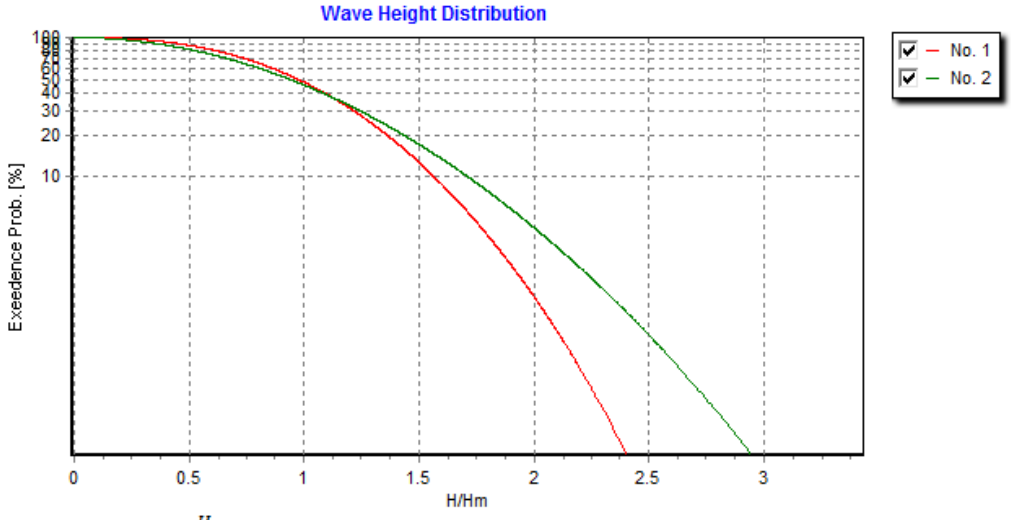
| No | Model | Hm | H1/3 | H1/10 | H2% | H1% | H0.1% |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Glukhovsky | 2.016 | 2.978 | 3.607 | 3.891 | 4.15 | 4.871 |
| 2 | Rayleigh | 2 | 3.195 | 4.062 | 4.464 | 4.843 | 5.931 |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |



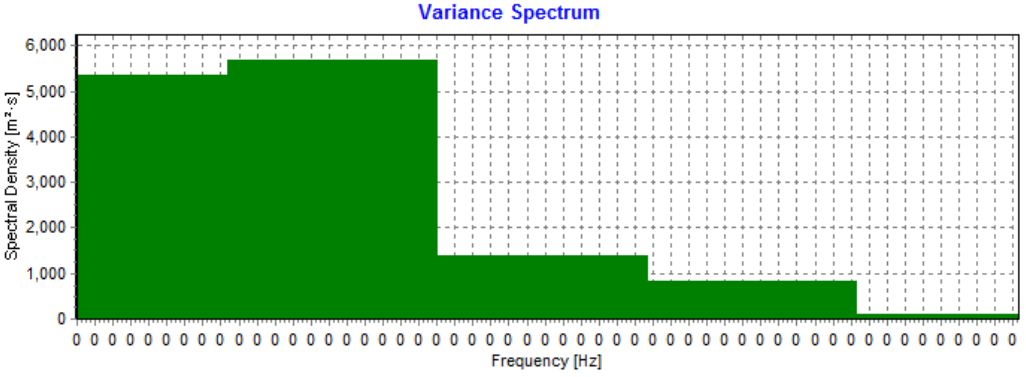

شکل ۶- مقایسه ی توزیع های Glukhovsky و Rayleigh برای H



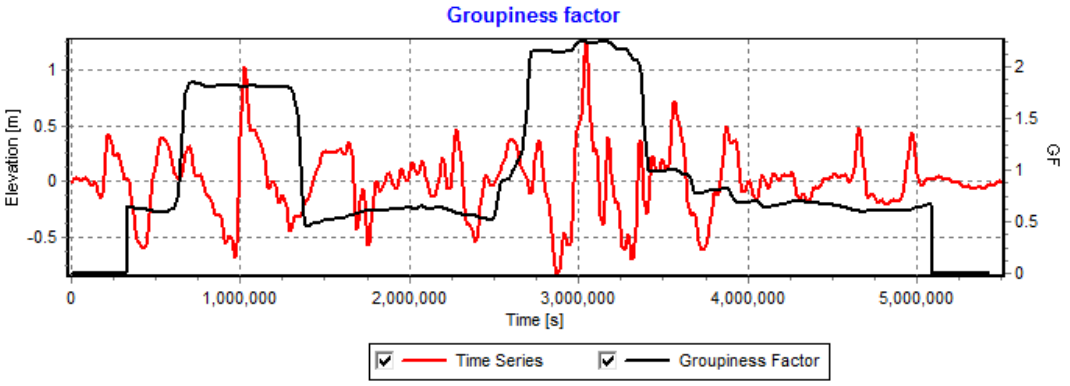

شکل ۷- مقایسه ی توزیع های Glukhovsky و Rayleigh برای $(\frac{H}{H_m})^2$



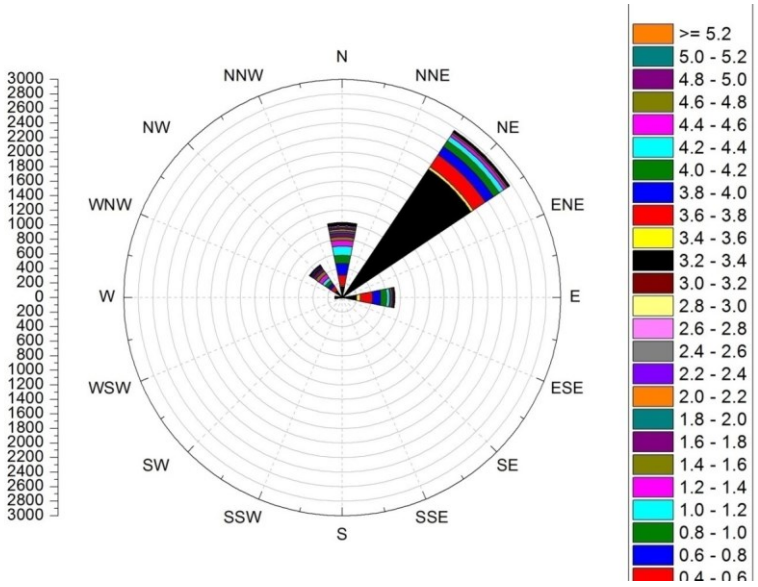

شکل ۸- مقایسه ی توزیع های Glukhovsky و Rayleigh برای $(\frac{H}{H_m})$



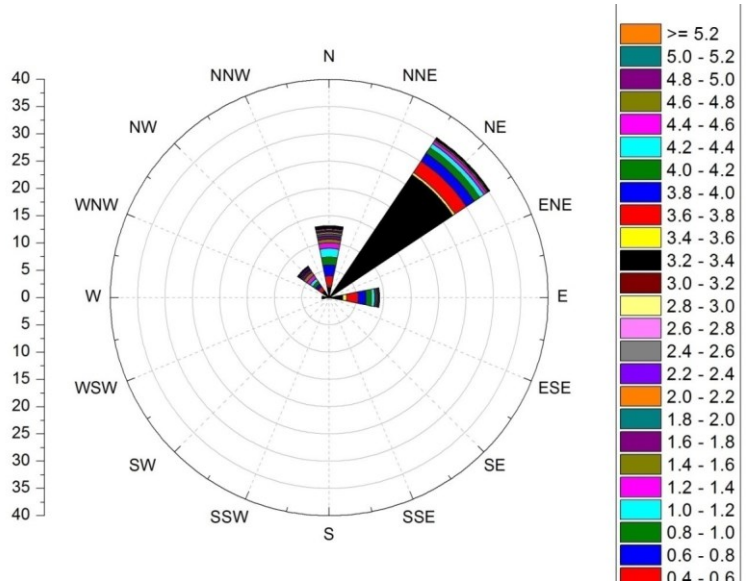

شکل ۹- نمودار طیف واریانس موج اندازه گیری شده در بندر بوشهر



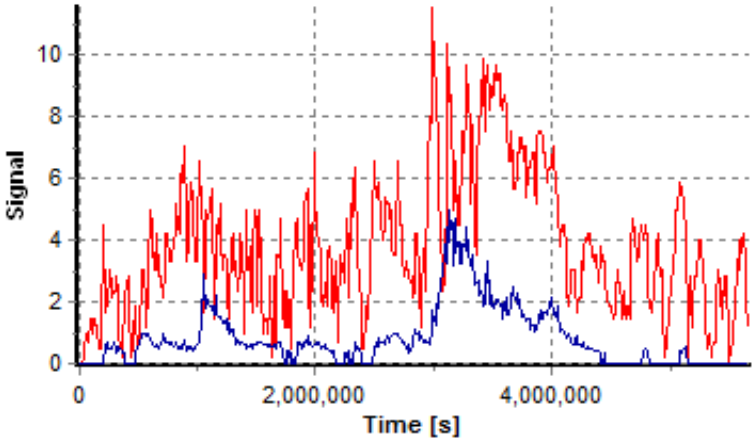

شکل ۱۰- نمودار سری زمانی موج اندازه گیری شده در بندر بوشهر (منحنی قرمز رنگ) و فاکتور **Groupiness** (منحنی سیاه رنگ)




شکل ۱۱- گلموج بندر بوشهر. این گلموج بر مبنای اطلاعات یک ساله ی بویه ی موج نگار بندر بوشهر رسم شده است. جهت موج، جهتی را نشان می دهد که موج به آن سو حرکت می کند. این شکل بر مبنای تعداد داده ها رسم شده است و مقیاس سمت چپ شکل، تعداد داده ها را نشان می دهد.




**شکل ۱۲- گلموج بندر بوشهر. این گلموج بر مبنای اطلاعات یک ساله ی بویه ی موج نگار بندر بوشهر رسم شده است. جهت موج، جهتی را نشان می دهد که موج به آن سو حرکت می کند. این شکل بر مبنای درصد داده ها رسم شده است و مقیاس سمت چپ شکل، درصد داده ها را نشان می دهد.**

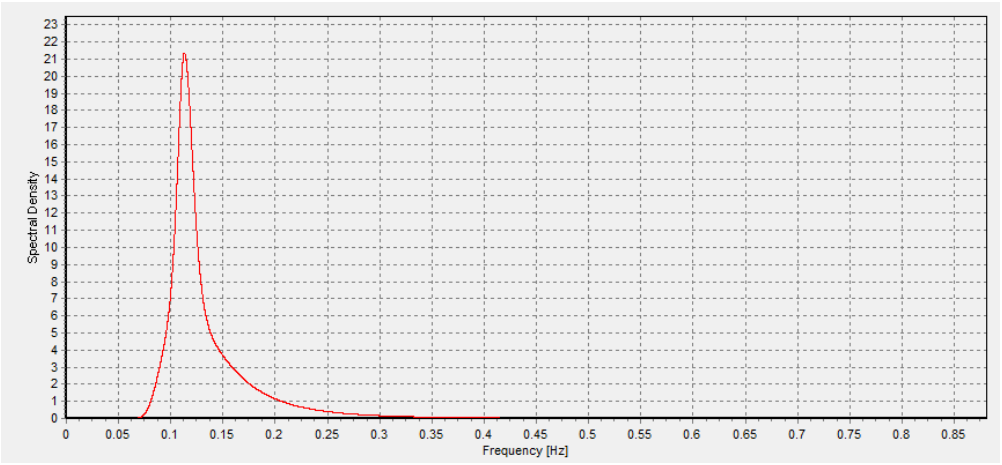



**شکل ۱۳- مقایسه ی سری های زمانی باد(رنگ قرمز) و موج(رنگ آبی)**

## محاسبه ی محدوده ی فرکانسی و دوره تناب امواج

از آنجا که داده های موج با گام زمانی یک ساعت ثبت شده است بنابراین استخراج دوره تناوب امواج از طریق آنالیز داده های موج منجر به جوابهای اشتباه خواهد شد. در این تحقیق برای رفع این مشکل از داده های باد و طیفهای استاندارد استفاده شده است.

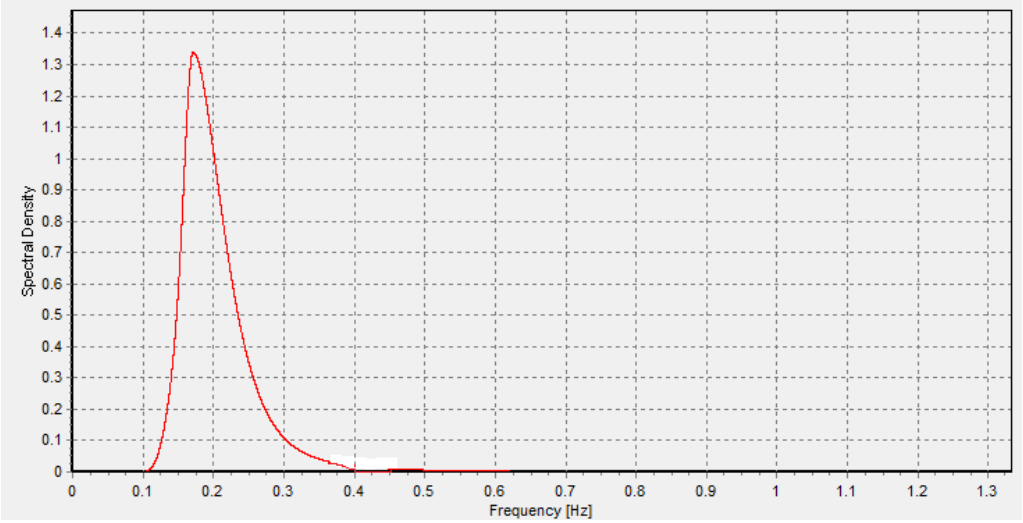
طیف جانسواپ برای حداکثر سرعت باد (۸ متر بر ثانیه) در شکل ۱۴ رسم شده است و مشخصات مربوط به آن در جدول ۲ لیست شده است. همانطور که در شکل مشاهده می شود فرکانس کمینه(مینیمم) ۰/۰۷۵ و فرکانس بیشینه(ماکسیمم) ۰/۳ هرتز است. بنابراین بر طبق این طیف، دوره تناوب کمینه و بیشینه به ترتیب برابر ۳ و ۱۳ ثانیه خواهد بود. همچنین مشخصه $H_{m0}$ برابر ۳/۵ خواهد بود(جدول مشخصات طیف های جانسواپ و جانسواپ پارامتریزه شده) . با قرار دادن این مشخصه در طیف جانسواپ پارامتریزه شده، محدوده ی فرکانسی طیف تقریبا" بین ۰/۱۰۴-۰/۴ هرتز به دست خواهد آمد. بنابراین برمبنای این طیف، دوره تناوب در محدوده ی ۲/۵-۹/۶ ثانیه خواهد بود.




**شکل ۱۴- طیف جانسواپ**

**جدول۲- مشخصات طیف های جانسواپ و جانسواپ پارامتریزه شده**

| No | Type | Hm0 | Hs | Tp | Ts |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Jonswap (gamma=3.3) | 3.5113 | - | 8.8525 | - |
| 2 | Jonswap parameterised (DS449) (gamma=3.... | 1.3459 | - | 5.8525 | - |




**شکل ۱۵- طیف جانسواپ پارامتریزه شده**

## محاسبه ی طول موج در آب عمیق

برای محاسبه ی طول موج در آب عمیق، از دوره تناوب موج و رابطه ی ۵ استفاده شده است. در این مطالعه، دوره تناوب کمینه و بیشینه برمبنای متوسط طیف های مختلف به دست آمده است. طول موج در آب عمیق برای به دست آوردن نسبت $\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{L_0}}$ مورد نیاز است تا با توجه به جداول SPM نسبت $\frac{d}{\mathrm{L}}$ به دست آید و با استفاده از نسبت $\frac{d}{L}$ طول موج واقعی در آب عمیق محاسبه شود. جدول ۳ این محاسبات را برای بزرگترین و کوچکترین دوره تناوب مشاهده شده نشان می دهد.

$$L_0 = 1.56\mathrm{T}^2 \qquad (۶)$$

**جدول ۳- نسبت عمق به طول موج برای بزرگترین و فراوان ترین پریود**

| پارامتر | $L_0(m)$ | $d(m)$ | $\frac{d}{L_0}$ | $\frac{d}{L}$ | $L(m)$ |
|---|---|---|---|---|---|
| $T_{max}(s)$ =۹/۶ | ۱۴۳/۷۳ | ۹ | 0.062 | 0.1063 | 84.66 |
| $T_{min}(s)$=۲/۵ | ۹/۷۵ | ۹ | 0.92 | 0.92 | 9.75 |

## نتیجه گیری

برمبنای گلموج رسم شده، بیشترین فراوانی مربوط به امواج با ارتفاع ۳/۲-۳/۴ متر است که جهت حرکت آن به سمت شمال شرق است. با توجه به تجزیه و تحلیل انجام شده می توان گفت توزیع ارتفاع امواج در بندر بوشهر از توزیع ریلی پیروی می کند. موج غالب در منطقه ی بوشهر در جهت شمال غرب است و حداکثر ارتفاع اندازه گیری شده ۵ متر است. بر مبنای طیف جانسواپ در منطقه ی بوشهر برای حداکثر سرعت باد (۸ متر بر ثانیه) فرکانس کمینه(مینیمم) ۰/۰۷۵ و فرکانس بیشینه(ماکسیمم) ۰/۳ هرتز است. بنابراین بر طبق این طیف، دوره تناوب کمینه و بیشینه به ترتیب برابر ۳ و ۱۳ ثانیه خواهد بود. همچنین مشخصه $H_{m0}$ برابر ۳/۵ خواهد بود. با قرار دادن این مشخصه در طیف جانسواپ پارامتریزه شده، محدوده ی فرکانسی طیف تقریبا" بین ۰/۱۰۴-۰/۴ هرتز به دست خواهد آمد. بنابراین برمبنای این طیف، دوره تناوب در محدوده ی ۲/۵-۹/۶ ثانیه خواهد بود. با توجه به دوره تناوب محاسبه شده پیشنهاد می شود داده های موج و جریان در منطقه با گام های زمانی کوتاه (کمتر از ۱۰ ثانیه) اندازه گیری شده باشند تا نتایج واقعی تری مشاهده شود. در اندازه گیری های با گام های زمانی طولانی، امواج ناشی از باد که عموما" دوره تناوب کمتر از ۱۰ ثانیه دارند قابل مشاهده نخواهند بود.

با توجه به دوره تناوب های محاسبه شده از طریق ظیف جانسواپ، کمینه و بیشینه ی طول موج ناشی از باد به ترتیب حدود ۹/۷۵ و ۸۴/۶۶ محاسبه شد.

## مراجع

Coastal Engineering Manual, 2002. Part II Chairman Demirbilek Z., Coastal hydrodynamics Chapter II-1, Engineer Manual 1110-2-1100, U.S. Army Corps of Engineers, Washington, D.C. (in 6 volumes).

Dean R. G. and Dalrymple R. A.,1991, Water Wave Mechanics for Engineers and Scientists, Volume 2 of Advanced series on ocean engineering, ISSN 1793-074X.

Dong, G.-H., Ma, Y.-X., Ma, X.-Z., 2008. Cross-shore variations of wave groupiness by wavelet transform. Ocean Eng. 35, 676–684.

Glukhovsky, B.H., 1966. Investigations of Wind Waves. Gidrometeoizdat Publisher. 284p.

Hasselmann K., Barnet T.P., Bouws E., Carlson H., Cartwright D.E., Enke K., Ewing J.A., Gienapp H., Hasselman D.E., Kruseman P., Meerburg A.,Muller P., Olbers D.J., Richter K., Sell W ., and Walden H.,1973,"Measurement of Wind –Wave Growth and Swell Decay During the Joint North Sea Wave Project (JONSWAP)",Report , German Hydrographic Institute , Hamburg.

Tucker M.J., 1991, "Waves in Ocean Engineering – Measurement Analysis", Interpretation Ellis, Harwood University, New York.