

## خصوصیات طیف ناشی از باد در منطقه عسلویه

محمدعلی نجاریپور<sup>۱</sup>، وحید چگینی<sup>۲</sup>، مسعودصدری نسب<sup>۱</sup>، عامر کعبی<sup>۱</sup>

۱- گروه فیزیک دریا، دانشکده علوم دریایی اقیانوسی، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر

۲- موسسه ملی اقیانوس شناسی، تهران

### چکیده:

طیف امواج، بیانی از خصوصیات نوسانات سطح دریا در حوزه فرکانس است. حالت دریا با شکل های مختلفی از طیف ها توصیف می شود. در این تحقیق داده های میدانی اندازه گیری شده موج بوسیله ADCP در منطقه عسلویه در بازه زمانی اریبیهشت ۸۵ تا اردیبهشت ۸۶ استفاده شد. بعد از بررسی داده ها، فایل های سری زمانی حاصل از تحلیل، دسته بندی شده و پس از کنترل کیفی آنها از سری زمانی تغییرات تراز سطح آب جهت به دست آوردن طیف فرکانس از طریق تبدیلات سریع فوریه استفاده گردید. طیف فرکانس حاصل، باطیف های فرکانس Bretschneider - Ochi - Wallops- JONSWAP مقایسه شد. نتایج حاصل از بررسی و تحلیل داده های یکساله موج در منطقه عسلویه منجر به بدست آمدن طیف تک جهتی داده های اندازه گیری شده در این منطقه اقتصادی گردید. مقایسه طیف موج برآورد شده بر اساس فرمول های نظری با طیف اندازه گیری در این منطقه نشان داد که طیف JONSWAP انطباق خوبی با طیف اندازه گیری دارد. بیشینه مقدار چگالی انرژی طیفی برآورد شده براساس طیف JONSWAP باطیف اندازه گیری مقایسه گردید. همچنین طیف چگالی انرژی اندازه گیری شده در منطقه نشان داد که این طیف دارای یک برآمدگی اصلی بوده و بنابراین براساس این مطالعه طیف منطقه عسلویه را می توان از نوع طیف تک قله ای (single peak) دانست. همچنین با استفاده از طیف فرکانس حاصل از داده های اندازه گیری و جهت امواج، طیف جهت دار منطقه براساس رابطه Longuet – Higgins مشخص گردید.

**واژگان کلیدی:** طیف فرکانس - سری زمانی - تبدیلات سریع فوریه - انرژی طیفی

## ۱. مقدمه

حالت دریا معمولاً با استفاده از چند پارامتر حاصل از طیف موج بیان می‌شود. ارتفاع موج مشخصه و پریود چکادی و پریود میانگین موج پارامترهایی هستند که غالباً استفاده می‌شوند. طیف سطح دریا از فرم ریاضی خاصی تبعیت نمی‌کند ولی تحت شرایط مشخص باد، طیف شکل خاصی خواهد داشت. چندین طیف انرژی در عمل استفاده می‌شود که براساس پارامترهایی نظیر سرعت باد، ارتفاع موج، ضرایب شکل و فرکانس چکادی هستند. برای موج در حال رشد طیف JONSWAP می‌تواند استفاده شود که به صورت زیر بیان می‌شود [1].

$$S(f) = \alpha H_s^2 f_p^4 f^{-5} \gamma^\beta \exp\left[-\frac{5}{4}\left(\frac{f_p}{f}\right)^4\right] \quad (1-1)$$

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

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

در روابط بالا  $S(f)$  انرژی طیفی،  $\alpha$  ثابت Phillips، ضریب چکادی طیف،  $H_s$  ارتفاع موج شاخص و  $f_p$  فرکانس موج است به طوری که

$$\sigma = 0.07 \quad f \leq f_p$$

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

$f_p$  فرکانس مربوط به بیشینه انرژی طیفی است.

Ochi (1993) طیف JONSWAP را برای شرایط

طوفانی

کالیبره کرد و مقادیر زیر را برای این طیف ارائه نمود.

$$\gamma = 9.5 H_s^{0.34} f_p \quad (2-1)$$

$$\alpha = 4.5 H_s^2 f_p^4$$

رابطه طیف Bretschneider (1959) نیز به صورت

زیر است:

(۳-۱)

$$S(f) = \frac{5}{16} H_s^2 f_p^4 f^{-5} \exp\left[-\frac{5}{4}\left(\frac{f_p}{f}\right)^4\right]$$

همچنین طیف اصلاح شده Wallops براساس روابط زیر بیان می‌گردد [۱].

$$S(f) = \beta_w H_s^2 T_p^{1-m} F^{-m} \exp\left[-\frac{m}{4}(T_p F)^{-4}\right]$$

$$\beta_w = \frac{0.06238 m^{(m-1)/4}}{4^{(m-5)/4} \Gamma[(m-1)]} [1 + 0.7458(m+2)^{-1.057}]$$

(۴-۱)

پارامتر  $m$  در روابط فوق تابعی از شیب شاخص طیف است و از روابط جداگانه‌ای در شرایط آب عمیق و آب با عمق میانی و آب کم عمق تعیین می‌شود.

امواج سطحی پدیده‌ای پیچیده و اتفاقی هستند که تحت اثر رژیم باد منطقه در آبهای عمیق شکل گرفته و به آبهای ساحلی انتقال می‌یابند. تقریباً برای تمام فعالیت‌های مهندسی در هر منطقه دریایی در اختیار بودن طیف موج یکی از نیازهای اساسی است. تحقیقات زیادی بر روی مدل‌سازی طیف تک‌جهتی موج انجام گرفته است. محققین فیزیک دریا معمولاً ابزارمختلفی را جهت اندازه‌گیری پارامترهای فیزیکی مانند تراز سطح آب دریا، چگالی و دمای آب، نوسانات جزرومدی و غیره در خلیج‌ها، آبهای ساحلی و محیط‌های دریایی به کار می‌برند. برای اندازه‌گیری پارامترهای موج و مشخصات امواج سطحی ناشی از باد نیز از ابزارهای مانند ماهواره، بویه‌های موج‌نگار و دستگاه‌های دیگری مانند Acoustic Doppler Profiler (ADCP) Current استفاده می‌شود [2].

در آبهای کم عمق معمولاً دستگاه PUV جهت جمع‌آوری اطلاعات موج استفاده می‌شود.

در موقع استفاده از ADCP برای اندازه‌گیری پارامترهای موج، ابتدا براساس طول زمان اندازه‌گیری و شرایطی که قرار است دستگاه در آن قرار گیرد تنظیمات مربوطه روی آن انجام گرفته و در محل مورد نظر نصب می‌شود. دستگاه سرعت‌های مداری ذرات

سرعت ذرات آب و فشار ستون آب را اندازه گیری می نماید دو روش وجود دارد. یکی این که داده هادر حافظه دستگاه ذخیره شده و پس از اتمام اندازه گیری تحلیل می شوند و دیگری این که داده ها همزمان با اندازه گیری تحلیل می گردند. چون زمان اندازه گیری داده های موج معمولاً طولانی است اغلب در اندازه گیری ها بهتر است از روش ذخیره کردن اطلاعات استفاده شود. داده های خام موج به صورت فایل های باینری هستند [۸]. این فایل ها که برای حدود یک سال اندازه گیری و ذخیره شده بودند تحلیل گردیدند و سری زمانی های مربوطه استخراج شدند. در تحلیل داده های خام، متناسب با هدف تجربه و تحلیل باید نکاتی در نظر گرفته شوند [۱۴].

در بین فایل های حاصل سه نوع مختلف از سری زمانی وجود دارد، که عبارت از سری زمانی سرعت مداری ذرات آب در عمق های مختلف، سری زمانی تغییرات نوسانات سطح، و همچنین سری زمانی موقعیت دستگاه نسبت به سطح آب هستند. سری زمانی سرعت مداری ذرات آب برای طیف جهت دار انرژی استفاده می شود ولی طیف تک جهتی چگالی انرژی را می توان از هر یک از این سری های زمانی به دست آورد [۷]. برای به دست آوردن این طیف از سری زمانی سرعت مداری ذرات آب و سری زمانی موقعیت دستگاه، باید توابع تبدیل خاصی براساس نظریه موج به کار برده شود ولی از سری زمانی تغییرات نوسانات سطح بدون تابع تبدیل می توان استفاده نمود [۱۷]. به همین دلیل در این کار از سری زمانی تغییرات نوسانات سطح استفاده شد. بعد از پردازش، داده های موجود از نظر کیفیت کنترل شدند. در بین داده ها سه گروه مختلف مشاهده شد. داده هایی که بدون خطا بودند، داده هایی که دارای خطای کم بودند و داده هایی که دارای خطای زیاد بودند. شکل (۲) داده های بدون خطا را نشان می دهد. داده های که دارای خطای زیاد بودند محاسبات کنار گذاشته شدند شکل (۳). در داده هایی که دارای خطای کم بودند، خطاها از طریق درون

آب در ارتفاع های مختلف و فشار آب را اندازه گیری نموده و سری زمانی آنها را ثبت می کند [۱۰]. بدیهی است در تحقیق حاضر به فرآیند اندازه گیری ونحوه ی عمل دستگاه در زمان اندازه گیری پرداخته نمی شود که این خود با توجه به عملکرد پیچیده ی دستگاه ، میدان وسیعی است که پژوهش های مستقل دیگری را طلب می کند.

منطقه مورد مطالعه بندر عسلویه واقع در خلیج فارس با موقعیت جغرافیایی  $27^{\circ}49'0''N$  و  $52^{\circ}59'0''E$  در جنوب شرقی استان بوشهر است. این بندر از بندر اولیه خلیج فارس به شمار می آید. شکل (۱) منطقه مورد مطالعه را نشان می دهد.

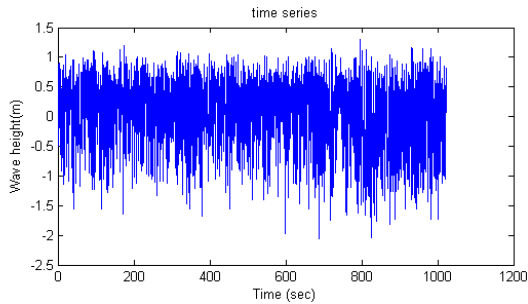


شکل (۱) - منطقه مورد مطالعه

در خلیج فارس چهار بویه اندازه گیری موج وجود دارد که دو عدد از آنها در بندر امام و بوشهر مربوط به سازمان بنادر و دریانوردی و یک عدد در بوشهر مربوط به سازمان هواشناسی و یک عدد هم در عسلویه متعلق به شرکت نفت است. بویه عسلویه از پارامترهای موج فقط ارتفاع موج شاخص را اندازه گیری می نماید و طیف انرژی فقط توسط بویه بوشهر اندازه گیری می شود [۲].

## ۲- مواد و روش ها

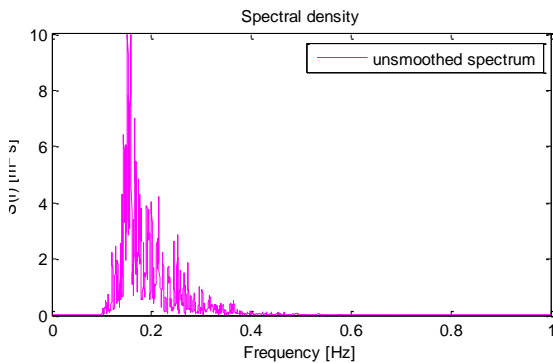
در تحقیق حاضر داده های خام موج اندازه گیری شده توسط دستگاه ADCP در آب عمیق در منطقه عسلویه در بازه زمانی اردیبهشت ۸۵ تا اردیبهشت ۸۶ مورد استفاده قرار گرفته است. در اندازه گیری داده های موج بوسیله ADCP که در آن دستگاه



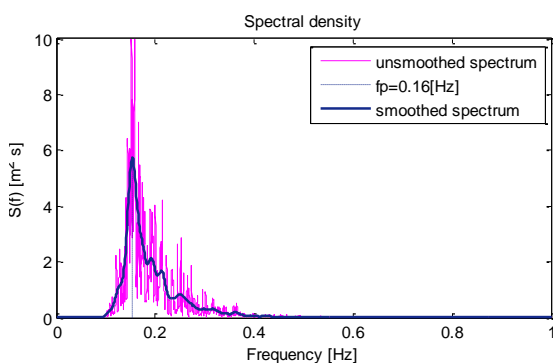
شکل ۵- سری زمانی داده های با تعداد خطای کم، پس از حذف خطا

### ۳- نتایج

پس از برطرف کردن خطای داده ها، بر روی داده های باقیمانده تبدیلات سریع فوریه انجام گرفت. در مرحله نخست

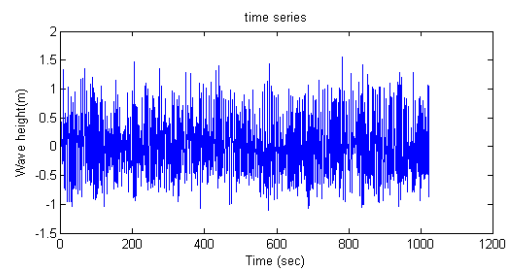


شکل ۶- طیف فرکانس smooth نشده داده های اندازه گیری شده

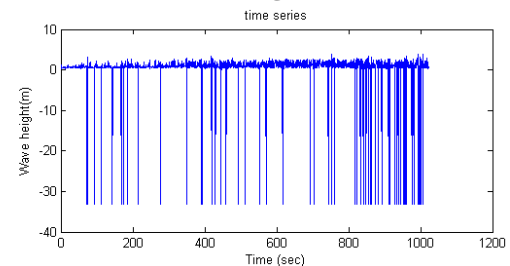


شکل ۷- طیف فرکانس smooth نشده و smooth شده داده های اندازه گیری

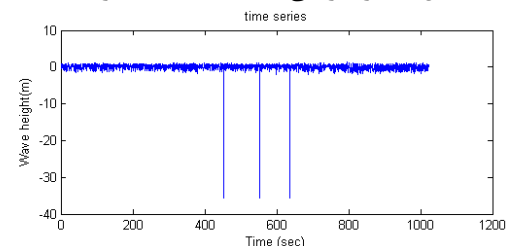
یابی به روش cubic spline جایگزین گردید. شکل (۴) سری زمانی داده هایی که دارای خطای کم هستند و شکل (۵) این سری را بعد از برطرف کردن خطا نشان می دهد. روش cubic spline برای اصلاح داده های منفرد و مجزای مؤثر است ولی برای بلوکی از داده های خطا دار متوالی و یا کسر بزرگی از داده ها، ممکن است خصوصیات سری زمانی را تغییر دهد و بهتر است سری هایی که بیش از ۲٪ بطور متوالی خطا دارند حذف شوند [۱۸]. به همین دلیل این داده ها از محاسبات کنار گذاشته شدند.



شکل ۲- سری زمانی داده های بدون خطا

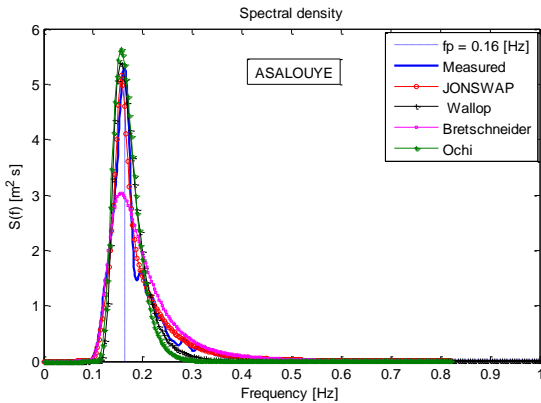


شکل ۳- سری زمانی داده های با خطای زیاد



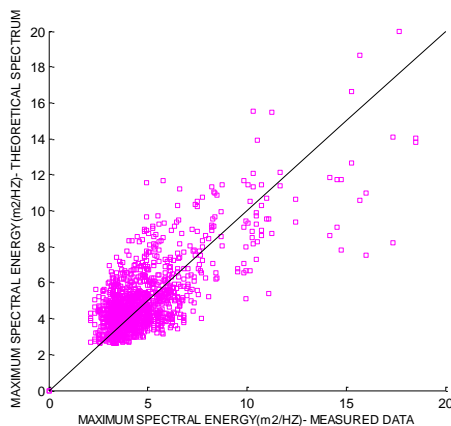
شکل ۴- سری زمانی داده های با تعداد خطای کم

منطقه نشان داد که طیف JONSWAP انطباق خوبی با طیف اندازه گیری دارد. همچنین براساس تحقیق حاضر طیف های Wallops, JONSWAP و Ochi پیک طیفی را بیش از حد برآورد کرده اند، در صورتی که طیف Bretschneider آنرا کمتر از حد برآورد نموده است.



شکل (۹) - مقایسه طیف اندازه گیری شده با طیف های Ochi- Wallops -Bretschneider- JONSWAP

همچنین طیف چگالی انرژی اندازه گیری شده در منطقه نشان داد که این طیف دارای یک برآمدگی اصلی بوده و بنابراین براساس این مطالعه طیف منطقه عسلویه را می توان از نوع طیف تک قله ای (single peak) دانست.

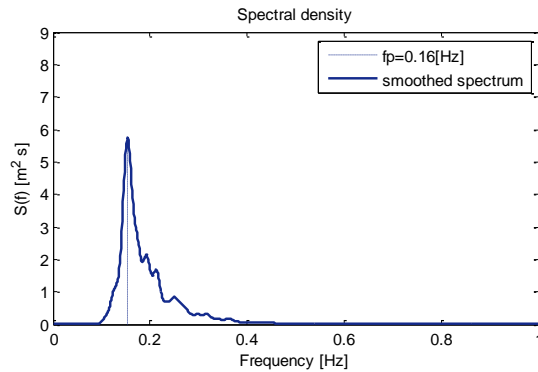


شکل ۱۰ - مقایسه بیشینه مقدار چگالی انرژی طیفی برآورد شده براساس طیف JONSWAP با طیف اندازه گیری

#### ۴ - بحث و نتیجه گیری

به منظور نتیجه گیری بهتر طیف جهتی مورد بررسی قرار گرفت. مدل های جهت دار موج معمولاً مدل

از بررسی و تحلیل داده های یکساله موج در منطقه عسلویه طیف داده های اندازه گیری شده در این منطقه اقتصادی حاصل گردید که این طیف در شکل (۸) نشان داده شده است.



شکل ۸ - طیف فرکانس مربوط به داده های اندازه گیری شده

با توجه به این که طیف تک جهتی در مناطق مختلف دریایی یکسان نیست، و برای نقاط مختلف و شرایط آب و هوایی متفاوت مدل های طیفی نیمه عملی متفاوتی پیشنهاد شده است، طیف حاصل را می توان با طیف های معرفی شده مقایسه نمود. از این رو طیف حاصل از اندازه گیری با طیف های معرفی شده Ochi- Wallops - Bretschneider-JONSWAP- مقایسه گردید. شکل (۹) مقایسه طیف اندازه گیری با طیف های معرفی شده را نشان می دهد.

شکل (۱۰) بیشینه مقدار چگالی انرژی طیفی برآورد شده براساس طیف JONSWAP را با طیف اندازه گیری مقایسه می کند و نشان دهنده تطابق خوب بین آنها است. همچنین جذرمیانگین مربعات برای بیشینه مقدار انرژی طیفی به دست آمده از طیف اندازه گیری و طیف های نظری مختلف محاسبه گردید که در جدول (۱) آورده شده است.

جدول ۱ - مقایسه جذرمیانگین مربعات برای بیشینه مقدار انرژی طیفی به دست آمده از طیف اندازه گیری و طیف های نظری مختلف

JONSWAP	Wallops	Bretschneider	Ochi
0.51	0.67	2.93	0.75

مقایسه طیف موج برآورد شده بر اساس فرمول های نظری با طیف داده های اندازه گیری شده در این

به طور کل میتوان نتیجه گرفت که طیف اندازه گیری شده منطقه عسلویه از بین طیف های برآورد شده براساس روابط طیف های نظری ذکر شده بیشترین تطابق را با طیف JONSWAP دارد.

### سیاسگزاری

بدین وسیله از مسئولین محترم و همکاران ارجمند موسسه ملی اقیانوس شناسی که در امر در اختیار قراردادن داده های اندازه گیری وامکانات لازم نهایت همکاری ردا داشته اند صمیمانه تقدیر و تشکر می گردد.

### منابع

- [1] چگینی، وحید، ۱۳۸۵. تولید و تحلیل امواج تصادفی موسسه ملی اقیانوس شناسی.
- [2] سازمان بنادر و دریانوردی، ۱۳۸۷. «مدلسازی امواج دریاهاى ایران جلد دوم: خلیج فارس و دریای عمان».
- [3] Anderson, O.D., 1976. Time series analysis and forecasting: the Box-Jenkins approach. Butterworths.
- [4] Blackman, R.B., and Turkey, J.W., 1958. The measurement of power spectra. Dover Publications, Inc., New York.
- [5] Blackman, R.B., and Turkey, J.W., 1959. The measurement of power spectra, from the point of view of communications engineering: New York, Dover.
- [6] Bous, E., Gunther, H., Rosenthal, W., and Vincent, C.L., 1985. "Similarity of the wind wave Spectrum in Finite Depth Water-1. Spectral Form", Proc J Geophy Res Vol 90, pp:975-986.
- [7] Bowden, K.F., and White, R.A., 1966. Measurements of the orbital velocities of sea waves and their use in determining the directional spectrum. Geophys. J. R. Astron. Soc., 12, pp:33-54.
- [8] Charlene Sullivan, John Warner, Marina Martini, Frances Lightson, 2005. "Wave Data Processing Toolbox Manual" US Geological Survey Open-File # 1211.

های یک بعدی هستند که توسط ضربی که تابع بسامد و جهت موج است اصلاح شده اند:

$$(5-1)$$

$$S(f, \theta) = s(f) D(f, \theta)$$

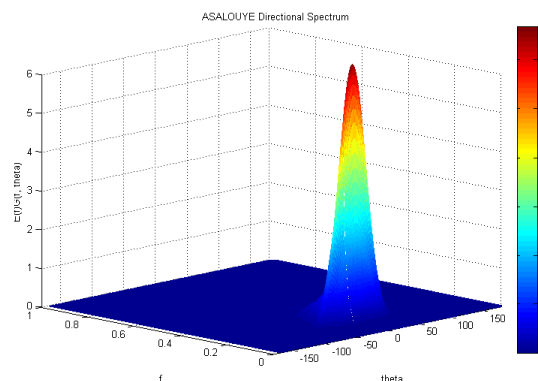
در رابطه فوق  $S(f, \theta)$  طیف جهت دار،  $s(f)$  طیف تک جهتی و  $D(f, \theta)$  تابع بدون بعد انتشار جهت دار است. در این زمینه رابطه ای توسط Longuet - Higgins, 1963 ارائه شده است. این فرمول براساس اندازه گیری های وسیعی از طیف موج جهت دار به دست آمده است و به صورت زیر است [12]:

$$(6-1)$$

$$D(f, \theta) = \frac{2^{2S-1} \Gamma^2(S+1)}{\pi \Gamma(2S+1)} C_0 S^{2S} \left( \frac{\theta - \theta_0}{2} \right)$$

در این رابطه  $\theta_0$  زاویه میانگین انتشار موج و  $\Gamma$  تابع گاما و  $S$  پارامتر کنترل کننده فرکانس است.

از تحلیل دادهای منطقه عسلویه جهت امواج تعیین گردید و با استفاده از جهت های به دست آمده و طیف فرکانس داده های اندازه گیری که قبلاً به آن اشاره شد طیف جهت دار منطقه براساس رابطه Longuet - Higgins مشخص گردید. طیف جهت دار مزبور در شکل (۱۱) نشان داده شده است. این طیف بیان کننده انتشار جهتی انرژی موج و بیانگر توزیع جهتی طیف فرکانس در منطقه بوده و به خوبی تغییرات چگالی انرژی موج با تغییر فرکانس و جهت موج را نشان می دهد.



شکل ۱۱- طیف جهت دار منطقه عسلویه

- [9] Hidy, G.M., and Plate, E.J.,1965. Frequency spectrum of wind-generated waves, *The Physics of fluids*,V.8(7),pp:1387-1389.
- [10] Jeremy David Boyd "EVALUATION OF ADCP WAVE MEASUREMENTS" December 2006.
- [11] Longuet-Higgins; 1952.On the statistical distribution of the heights of sea waves.*Journal Marine Research*. M.S. -V.11(3), pp:345-366.
- [12] Longuet-Higgins, M.S., D.E. Cartwright, and N. D. Smith. Observations of the directional spectrum of sea waves using the motions of a floating buoy. *Proc. Conf. Ocean Wave Spectra*, Prentice Hall, 111-132, 1963.
- [13] Massel, Stainslaw.R., 1995:Ocean Surface Waves: Their Physics and Prediction, World Scientific,pub,.
- [14] Pinkel, R., and Smith, J.A.,1998. Open ocean surface wave measurements using Doppler sonar, *J. Geophys. Res.* 12,967-12,973.
- [15]Pierson, W.j., and Moskowitz, L., 1964,"A Proposed Spectral Form for Developed Wind Sea Based on the Similarity Theory of S.A.Kitaigorodskii",*Journal of Geophysical*.
- [16] Percival,D.B., and Walden, A.T., 1993.Spectral analysis for physical applications: Cambridge University Press. *Research*,Vol.69,pp :5181-5190
- [17] Thornton, E.B., and Krapohl, R.F., 1974. Water particle velocities measured under ocean waves. *J. Geophys. Res.*, 79 (6), pp:847-852,.
- [18] Tukur M.j., 1991."Waves in Ocean EngineeringMeasurement,Analysis.Interpolation", Ellis Horwood,Chichester,.