

خصوصیات طیف موج ناشی از باد در منطقه عسلویه

محمدعلی نچارپور^۱، وحید چگینی^{۲*}، مسعودصدری نسب^۱، عامر کعبی^۱

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

۲. موسسه ملی اقیانوس شناسی

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، با طیف 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 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

* نویسنده مسوول، پست الکترونیک: Chegini@inio.ac.ir

۱. مقدمه

حالت دریا معمولاً با استفاده از چند پارامتر حاصل از طیف موج بیان می شود. ارتفاع موج مشخصه و پریود چکادی و پریود میانگین موج پارامترهایی هستند که غالباً استفاده می شوند. طیف سطح دریا از فرم ریاضی خاصی تبعیت نمی کند ولی تحت شرایط مشخص باد، طیف شکل خاصی خواهد داشت. چندین طیف انرژی در عمل استفاده می شود که براساس پارامترهایی نظیر سرعت باد، ارتفاع موج، ضرایب شکل و فرکانس چکادی هستند. برای موج در حال رشد طیف JONSWAP می تواند استفاده شود که به صورت زیر بیان می شود (چگینی، وحید، ۱۳۸۵).

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

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

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

در روابط بالا $S(f)$ انرژی طیفی، α ثابت Phillips، γ 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 (Massel, 1995).

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

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

رابطه طیف Bretschneider (1959) نیز به صورت

زیر است (Pierson and Moskowitz, 1964):

(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 می گردد (چگینی، وحید، ۱۳۸۵).

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

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

(۴-۱)

پارامتر m در روابط فوق تابعی از شیب شاخص طیف است و از روابط جداگانه ای در شرایط آب عمیق و آب با عمق میانی و آب کم عمق تعیین می شود. امواج سطحی پدیده ای پیچیده و اتفاقی هستند که تحت اثر رژیم باد منطقه در آبهای عمیق شکل گرفته و به آبهای ساحلی انتقال می یابند. تقریباً برای تمام فعالیت های مهندسی در هر منطقه دریایی در اختیار بودن طیف موج یکی از نیازهای اساسی است. تحقیقات زیادی بر روی مدل سازی طیف تک جهتی موج انجام گرفته است. محققین فیزیک دریا معمولاً ابزار مختلفی را جهت اندازه گیری پارامترهای فیزیکی مانند تراز سطح آب دریا، چگالی و دمای آب، نوسانات جزرومدی و غیره در خلیج ها، آبهای ساحلی و محیط های دریایی به کار می برند. برای اندازه گیری پارامترهای موج و مشخصات امواج سطحی ناشی از باد نیز از ابزارهای مانند ماهواره، بویه های موج نگار و دستگاه های دیگری مانند Acoustic Doppler Profiler (ADCP) Current استفاده می شود (سازمان بنادر و دریانوردی، ۱۳۸۷). در آبهای کم عمق معمولاً دستگاه PUV جهت جمع آوری اطلاعات موج استفاده می شود.

در موقع استفاده از ADCP برای اندازه گیری پارامترهای موج، ابتدا براساس طول زمان اندازه گیری و شرایطی که قرار است دستگاه در آن قرار گیرد تنظیمات مربوطه روی آن انجام گرفته و در محل مورد

۸۶ مورد استفاده قرار گرفته است. در اندازه گیری داده های موج بوسیله ADCP که در آن دستگاه 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 (Sullivan et.al; 2005). 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 (Pinkel and Smith, 1998).

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 (Bowden and White, 1966). 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 (Thornton and Krapohl, 1974) 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

نظر نصب می شود. دستگاه سرعت های مداری ذرات آب در ارتفاع های مختلف و فشار آب را اندازه گیری نموده و سری زمانی آنها را ثبت می کند (Boyd, 2006). 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 بنادر اولیه خلیج فارس به شمار می آید. شکل (۱) منطقه مورد مطالعه را نشان می دهد.

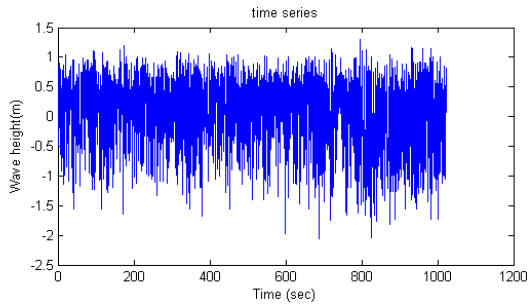


شکل ۱. منطقه مورد مطالعه

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 (سازمان بنادر و دریانوردی، ۱۳۸۷).

۲. مواد و روش ها

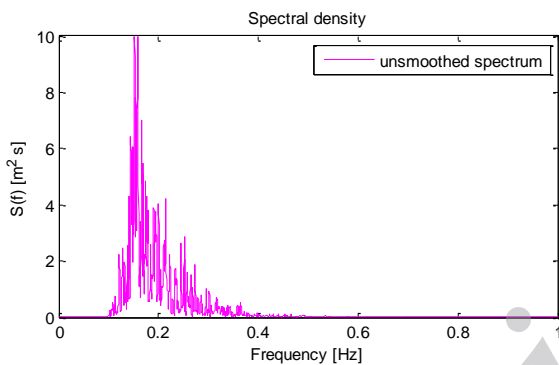
در تحقیق حاضر داده های خام موج اندازه گیری شده توسط دستگاه ADCP در آب عمیق در منطقه عسلویه در بازه زمانی اردیبهشت ۸۵ تا اردیبهشت



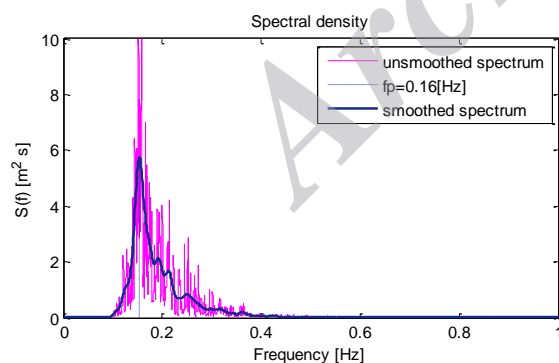
شکل ۵. سری زمانی داده های با تعداد خطای کم، پس از حذف خطا

۳. نتایج

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



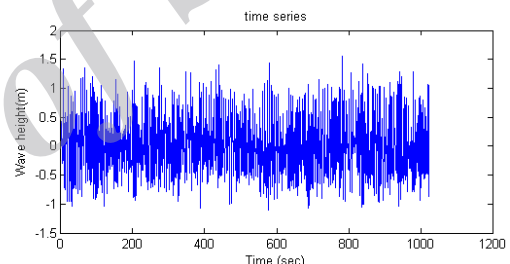
شکل ۶. طیف فرکانس smooth نشده داده های اندازه گیری شده



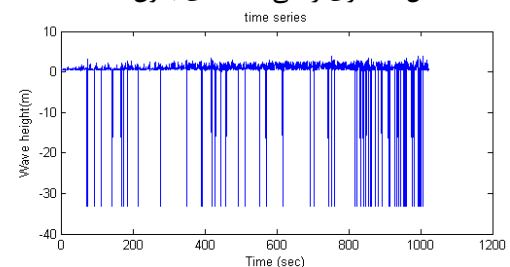
شکل ۷. طیف فرکانس smooth نشده و smooth شده داده های اندازه گیری

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.

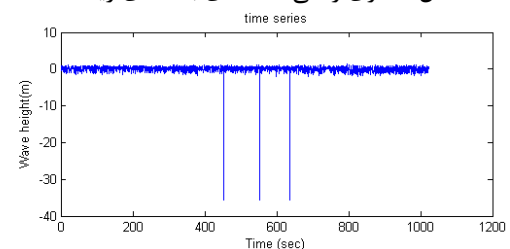
بودند. شکل (۲) داده های بدون خطا را نشان می دهد. داده های که دارای خطای زیاد بودند از محاسبات کنار گذاشته شدند شکل (۳). در داده هایی که دارای خطای کم بودند، خطاها از طریق درون یابی به روش cubic spline جایگزین گردید. شکل (۴) سری زمانی داده هایی که دارای خطای کم هستند و شکل (۵) این سری را بعد از برطرف 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 با 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 (Tucker M.j., 1991). به همین دلیل این داده ها از محاسبات کنار گذاشته شدند.



شکل ۲. سری زمانی داده های بدون خطا

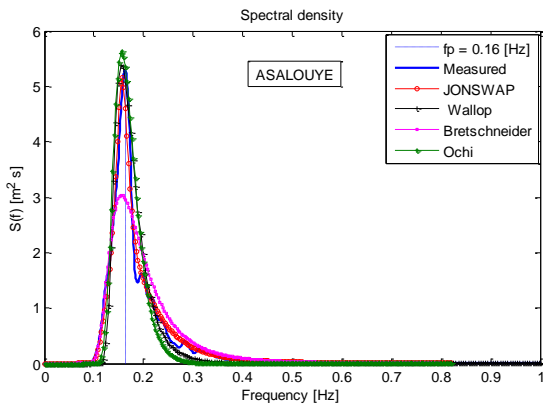


شکل ۳. سری زمانی داده های با خطای زیاد



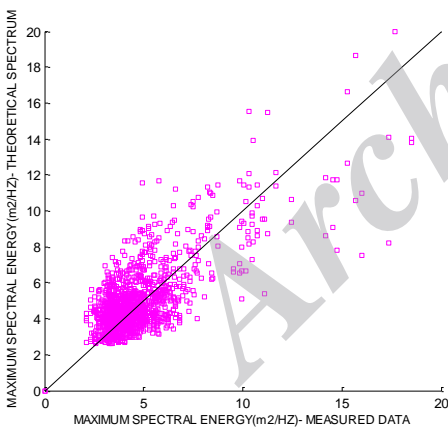
شکل ۴. سری زمانی داده های با تعداد خطای کم

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

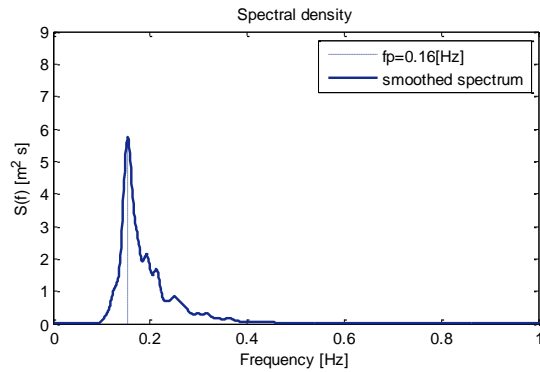
همچنین طیف چگالی انرژی اندازه گیری شده در منطقه نشان داد که این طیف دارای یک برآمدگی اصلی بوده و بنابراین براساس این مطالعه طیف منطقه عسلویه را می توان از نوع طیف تک قله ای (single peak) دانست.



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

۴. بحث ونتیجه گیری

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



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 وهوایی متفاوت مدل های طیفی نیمه عملی متفاوتی پیشنهاد شده است، طیف حاصل را می توان با طیف های معرفی شده مقایسه نمود (Blackman and Turkey, 1959). از این رو طیف حاصل از اندازه گیری با طیف های معرفی شده Bretschneider- JONSWAP- Ochi- Wallops 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 منطقه نشان داد که طیف JONSWAP انطباق خوبی با طیف اندازه گیری دارد.

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 را داشته اند صمیمانه تقدیر و تشکر می گردد.

منابع

چگینی، وحید، ۱۳۸۵. تولید و تحلیل امواج تصادفی انتشارات موسسه ملی اقیانوس شناسی، ۴۶ صفحه.
سازمان بنادر و دریانوردی، ۱۳۸۷. مدلسازی امواج دریا های ایران جلد دوم: خلیج فارس و دریای عمان. انتشارات سازمان و دریا نوردی، ۲۹ صفحه.

Blackman, R. B. and Turkey, J. W. 1959. The measurement of power spectra, from the point of view of communications engineering: New York, Dover.

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. Soc., 12: 33-54.

Boyd, J.D., 2006. Evaluation Of ADCP Wave Measurements. National technical information service. 71p.

Massel, S.R., 1995. Ocean Surface Waves: Their Physics and Prediction, World Scientific Publication p509.

Higgins, L., 1952. On the statistical distribution of the heights of sea waves. J. Mar. Res. 11:345-366 .

Higgins, M.S., Cartwright, D.E. and Smith, N.D. 1963. Observations of the directional spectrum of sea waves using the motions of a floating buoy. Proc. Conf. Ocean Wave S spectra, Prentice Hall, 111-132, 1963.

Percival, D.B. and Walden, A.T., 1993. Spectral analysis for physical applications: Cambridge University Press, pp 5181-5190

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

$$(5-1)$$

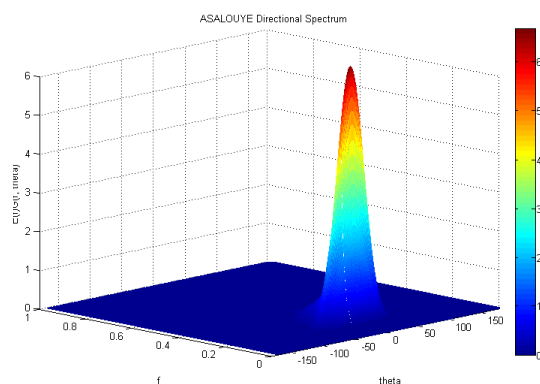
$$S(f, \theta) = s(f) D(f, \theta)$$

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 (Longuet- Higgins, et.al; 1963).

$$(6-1)$$

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

در این رابطه θ_0 زاویه میانگین انتشار موج و Γ تابع گاما و S پارامتر کنترل کننده فرکانس است. از تحلیل داده های 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

Tucker M.J., 1991. Waves in Ocean Engineering Measurement, Analysis. Interpolation. Ellis Horwood, Chichester, UK.

Pinkel, R. and Smith, J.A., 1998. Open ocean surface wave measurements using Doppler sonar. J. Geophys. Res. 12:967-973.

Pierson, WJ. and Moskowitz, L., 1964. A Proposed Spectral Form for fully Developed Wind Sea Based on the Similarity Theory of S.A. Kitaigorodskii. New York University, School of Engineering publication no. 63-12.

Thornton, E.B. and Krapohl, R.F., 1974. Water particle velocities measured under ocean waves. J. Geophys. Res., 79: 847-852.

Archive of SID