توابع احتمالي حاكم بر نيروها و لنگرهاي ناشي از امواج تصادفي دريا بر پايه قائم

محمدعلي لطف‌اللهي يقين*[1] و عليرضا مجتهدي[2]
[1] استاديار گروه مهندسي آب - دانشكده عمران - دانشگاه تبريز
[2] دانشجوي دكتري سازه هاي دريائي- دانشكده عمران - دانشگاه تبريز

(تاريخ دريافت ۸۳/۳/۳۰ ، تاريخ دريافت روايت اصلاح شده ۸۴/۱۱/۱۸ ، تاريخ تصويب ۸۶/۷/۷)

چكيده

در ادبيات علمي مربوط به سازه‌هاي دريائي، يكي از روشهاي توجيه طبيعت تصادفي امواج اقيانوسها استفاده از خصوصيات آماري آنها مي‌باشد. براي ساده‌تر كردن مطالعات يك موج تصادفي پارامترهاي مختلف آن از قبيل سطح موج، ارتفاع و پريود موج به صورت توابع احتمال مورد مطالعه قرار مي‌گيرند. از آنجائيكه نيروهاي اصلي حاكم بر سازه‌هاي دريائي نيروي ناشي از امواج دريا مي‌باشد، چنانچه بتوان واكنش سازه‌ها، از جمله لنگر ناشي از نيروهاي طولي و عرضي و نيز لنگر كل وارده بر پايه‌ها كه از واكنشهاي مهم تلقي مي‌شوند را در مقابل امواج تبيين كرد قدم اصلي براي طراحي و اجراي سازه‌ها برداشته شده است. در اين مقاله امواج تصادفي‌اي كه شرح انجام آزمايش هاى آنها بر روي نمونه‌هاي پايه استوانه‌اي، ارائه خواهد شد، مورد بررسي و تحقيق قرار مي‌گيرند. نوسانات بعضي از واكنشهاي نمونه‌ها اعم از خطي يا غيرخطي بصورت آماري مورد بحث قرار گرفته و سپس تحليل طيفي انجام شده و در نهايت تحليل آماري دامنه آنها بررسي و توابع احتمال حاكم بر آنها تعيين مي‌گردد.

واژه هاي كليدي: سازه‌هاي دريائي - امواج تصادفي - توابع احتمال - واكنش‌هاي سازه - تحليل طيفي - تحليل آماري

مقدمه

تئوريهاي امواج كه براي تعيين واكنش سازه‌هاي دريائي به كارگرفته مي‌شوند، بر اساس فرض يكنواخت بودن امواج و عدم تغيير مشخصات آنها از موجي به موج ديگر بيان مي‌شوند. ولي امواج اقيانوسها داراي طبيعتي تصادفي هستند و بنابراين بايستي بصورت تركيبي از تعداد زيادي امواج با دامنه و فركانسهاي مختلف بيان شوند. همچنين يكي ديگر از روشهاي توجيه طبيعت تصادفي آنها استفاده از خصوصيات آماري مي‌باشد. براي بيان تغييرات سطح آب مناسبترين شيوه بكارگيري اصول حاكم بر احتمالات مي باشد. در مشخصات آماري كوتاه مدت دريا اغلب دو فرض ايستا[1] (پروسه‌اي كه مشخصات آماري آن نامتغير است و به محل مبدا زماني اندازه‌گيري بستگي ندارد) و ارگوديك[2] (پروسه‌اي با شرايط ايستا كه ميانگين بخشي از آن با ميانگين كل آن يكسان باشد) پذيرفته شده است [۱].

براي دست‌يابي به خصوصيات موج، در فاصله‌هاي زماني خاص اندازه‌گيري سطح آب انجام مي‌شود و خواص آماري دريا براي اين مدت كوتاه تعيين و فرض مي‌شود كه خاصيت دريا براي اين مدت حالت پايدار دارد [۲]. از بررسي خصوصيات بدست آمده در فاصله‌هاي زماني مختلف خواص دراز مدت آن تعيين و پيش بيني‌هاي لازم به منظور طراحي براي عمر مفيد سازه انجام مي‌گيرد. براي ساده‌تر كردن مطالعات يك موج تصادفي پارامترهاي مختلف آن به صورت توابع احتمالي بررسي مي‌شود. براي اين منظور سطح موج، ارتفاع موج و پريود موج در آمار كوتاه مدت در شرايط بحراني و طوفاني مورد مطالعه قرار مي‌گيرند.

از آنجائيكه نيروهاي اصلي حاكم بر سازه‌هاي دريائي نيروي ناشي از امواج دريا مي‌باشد، چنانچه بتوان واكنش سازه‌ها را در مقابل تغييرات سطح آب (امواج) تعيين كرد قدم اصلي براي طراحي و اجراي آنها برداشته شده است. بديهي است كه واكنشهاي مهم سازه و رابطه آنها با نيروهاي محرك به تعداد تنوعي كه در نوع سازه‌ها وجود دارد متفاوت مي‌باشند. نكته ديگر اين است كه واكنشهاي ناشي از امواج به دو نوع اصلي خطي و غيرخطي قابل تفكيك مي‌باشند. در واكنشهاي خطي روند تغييرات،

* نويسنده مسئول : تلفن : ۲۷۷۷۰۴۰ – ۰۴۴۱ ، فاكس : ۳۳۴۴۲۸۷ – ۰۴۱۱ ، Email: lofollahi@mail.urmia.ac.ir

مشابه نوسانات خود سطح دريا مي باشد، ليكن در بسياري از موارد به دليل تاثير پارامترهاي متعدد، رفتار سازه نمي‌تواند كاملاً خطي باشد. واكنش خطي و غيرخطي پايه استوانه‌اي[1] قائم بعنوان عنصر اصلي سازه‌هاي درياي توسط محققين مختلف بصورت تحليلي و عددي مورد بررسي قرار گرفته است [۳،۴]. همچنين علي‌رغم هزينه‌هاي قابل توجه، بررسي آزمايشگاهي پديده نيز بصورت محدودتري انجام گرفته است [۵،۶]. در اين مقاله بعضي از واكنشهاي پايه استوانه‌اي قائم اعم از خطي يا غيرخطي بشرحي كه خواهد آمد مورد بررسي قرار خواهند گرفت. همچنين تغييرات لنگر ناشي از نيروهاي وارده بر پايه‌هاي استوانه‌اي نمونه، مورد توجه قرار گرفته و در اين راستا ابتدا نوسانات اين لنگرها بصورت آماري بحث شده و سپس تحليل آماري دامنه لنگرها انجام شده و توابع احتمال حاكم بر آنها تعيين گرديده است.

مفاهيم عمومي

طيف دانسيته انرژي[3] موج

بصورت كلي امواج تصادفي اقيانوسها با در نظر گرفتن كليه فركانسها بطور پيوسته در بيان سطح دريا مي تواند به صورت زير نوشته شود [۷]:

$$\eta(t)=\frac{1}{\pi}\int_{-\infty}^{\infty}[a(\omega)\cos\omega t+b(\omega)\sin\omega t]d\omega \qquad (۱)$$

$$a(\omega)=\int_{-\infty}^{\infty}\eta(t)\cos\omega t dt \qquad (۲)$$

$$b(\omega)=\int_{-\infty}^{\infty}\eta(t)\sin\omega t dt \qquad (۳)$$

از سوي ديگر انرژي كل امواج در واحد سطح كه در يك زمان نامحدود اندازه‌گيري شده باشد توسط انتگرال زير بيان مي شود:

$$E=\frac{1}{2}\rho g\int_{-\infty}^{\infty}[\eta(t)]^2 dt \qquad (٤)$$

با جاگذاري رابطه (۱) در رابطه (٤) و به كارگيري روابط (۲) و (۳) و ساده سازي داريم:

$$E=\frac{1}{2\pi}\rho g\int_{-\infty}^{\infty}[a^2(\omega)+b^2(\omega)]d\omega \qquad (۵)$$

مقدار داخل كروشه دامنه موج را در حوزه فركانسي نشان مي دهد، لذا:

$$E=\frac{1}{2\pi}\rho g\int_{-\infty}^{\infty}A^2(\omega)d\omega \qquad (٦)$$

با مقايسه روابط (۸) و (۱۰) مي‌توان نوشت:

$$\int_{-\infty}^{\infty}[\eta(t)]^2 dt=\frac{1}{\pi}\int_{-\infty}^{\infty}[A(\omega)]^2 d\omega \qquad (۷)$$

اگر $[\overline{\eta}(t)]^2$ ميانگين مربعات مقادير مربوط به سطح آب (واريانس) روي يك محدوده معيني از زمان باشد، پس:

$$[\overline{\eta}(t)]^2=\frac{1}{T_s}\int_{0}^{T_s}[\eta(t)]^2 dt \qquad (۸)$$

متوسط انرژي در واحد سطح بصورت زير نوشته مي شود:

$$\overline{E}=\frac{1}{2\pi}\rho g\int_{-\infty}^{\infty}\frac{[A(\omega)]^2}{T_s}d\omega \qquad (۹)$$

با عنايت به رابطه اخير، طيف دانسيته انرژي بصورت زير تعريف مي‌شود:

$$S(\omega)=\frac{[A(\omega)]^2}{\pi T_s} \qquad (۱۰)$$

$$\overline{E}=\frac{1}{2}\rho g\int_{-\infty}^{\infty}S(\omega)d\omega \qquad (۱۱)$$

پارامترهاي سطح دريا

چنانچه ركوردي از امواج با طول T_s مطابق شكل (۱) در نظر گرفته شود، فاصله گودي تا تاج هر موج را ارتفاع آن موج مي‌نامند كه ماكزيمم مقدار آن در طول مدت T_s با H_{max} نشان داده مي‌شود [۷]. پارامترهاي آماري مي‌تواند از ركوردهاي موج بطور مستقيم در حوزه زماني تعيين شود و يا اينكه در حوزه فركانسي محاسبه شود، كه در اين حالت نياز به داشتن طيف دانسيته انرژي يعني $S(\omega)$ يا $S(f)$ ضروري مي‌باشد. بعضي وقتها ممانهاي طيف دانسيته انرژي نيز براي تعيين پارامترهاي موج مي‌بايستي تعيين شود كه تعريف كلي آن به صورت زير مي‌باشد:

$$m_{n_f}=\int_{0}^{\infty}f^n S(f)df \qquad (۱۲)$$

در اين رابطه f فركانس نوساني (سيكليك) است. رابطه

مشابهي در ازاي فركانس دوراني ω با اعمال $(2\pi)^n$ بـه رابطه فوق را مي‌توان بصورت زير نوشت:

$$m_{n_\omega} = \int_0^\infty \omega^n S(\omega) d\omega$$

(۱۳)

همچنين پارامتر مهم ديگر پريود امواج مي‌باشد كـه از آن جمله پريود ميانگين، متوسط پريودهاي امواج متقـاطع با خط صفر، پريود پيك و ... مي‌باشند. متوسط پريود مـوج با بكارگيري ركوردها در حوزه زماني بـه يكـي از دو شـيوه زير بدست مي‌آيد:

$$\overline{T}_z = \frac{T_s}{N_z}$$

(۱٤)

$$\overline{T}_c = \frac{T_s}{N_c}$$

(۱۵)

$\overline{T}_z$ مقدار متوسط پريود و N_z تعداد امواج مي‌باشـد، به شرطي كه امـواج در شـرايطي شـمارش شـوند كـه بـه صورت شيب مثبت خط صفر را قطع كنند.[٤] $\overline{T}_c$ متوسـط پريود امواج و N_c تعداد تاج امواج مي‌باشد.

همچنين دو پريود ديگر به شرح زير تعريف مـي‌شـوند كه از طيف دامنه انرژي و ممانهاي آن بدست مي‌آيند:

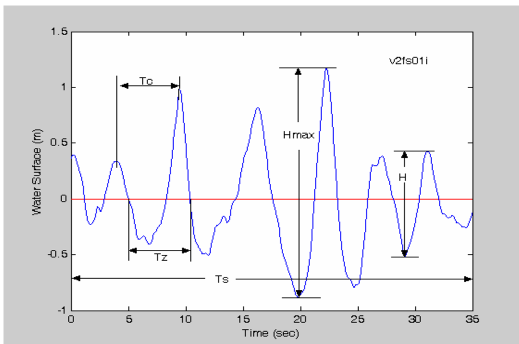
$$T_{0,1} = \frac{m_0}{m_1}$$

(۱۶)

$$T_{0,2} = \sqrt{\frac{m_0}{m_1}}$$

(۱۷)

نهايتا پريود پيك، پريودي است كه تحت آن مقـدار طيـف حداكثر مـي‌شـود و پريـود مشخصـه، متوسط يـك سـوم پريودهاي حداكثر امواج مي‌باشد.



شكل ۱: تعاريف مربوط به پارامترهاي امواج سطح دريا.

توابع احتمالي حاكم بر مشخصات دريا

تابع چگالي سطح دريا

تابع توزيع احتمالي حاكم بـر سـطح آب دريـا η يـك تابع گوسين[٥] يا نرمال مي‌باشد، بـا ايـن فـرض كـه مولفـه اختلافات فاز دلخواه بوده و توزيع يكنـواختي در محـدوده $(-\pi,\pi)$ دارد. ايـن تـابع حـول سـطح آزاد آب بصـورت متقارن توزيع شده اسـت و ارتفـاع صـفر، حـداكثر مقـدار احتمال را دارا مي‌باشد. در اين شرايط تابع چگالي بصورت زير خواهد بود [۷]:

$$p(\eta) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\,\delta_\eta} \exp\left[-\frac{\eta^2}{2\delta_\eta^2}\right]$$

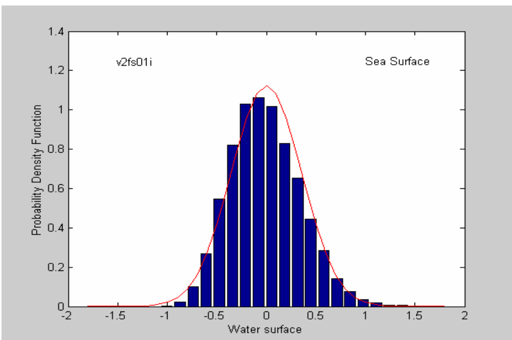
(۱۸)

δ_η انحراف معيار (استاندارد ديوژين) سطح آب مي باشد:

$$\delta_\eta = \sqrt{m_0}$$

(۱۹)

شكل (۲) تابع چگـالي سـطح آب را بـراي يكسـري از امواج تصادفي كه در آزمـايش هـاى تحقيـق حاضر ثبـت گرديده نشان مي‌دهد.



شكل ۲: تابع چگالي نرمال جهت بيان تغييرات امواج سطح دريا.

تابع چگالي ارتفاع امواج

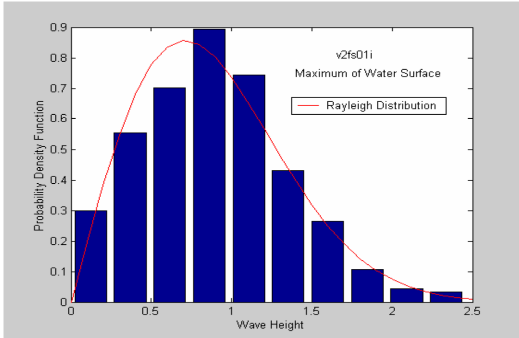
محققين براي دامنه امواج (تاج يا گودي) مناسـبترين تابع چگالي را تابع رايلي[٦] تعيين كرده‌اند كه بصـورت زيـر تعريف مي شود:

$$p(a) = \frac{a}{m_0} \exp\left[-\frac{a^2}{2m_0}\right]$$

(۲۰)

$$p(a) = 1 - \exp\left[-\frac{a^2}{2m_0}\right]$$

(۲۱)



شكل ۳: تابع چگالي رايلي جهت بيان ارتفاع امواج سطح دريا.

چون معمولاً براي امواج، ارتفاع موج بجاي دامنه موج بعنوان مشخصه اصلي آن تلقي مي‌شود با فرض اينكه $(H = 2a)$ باشد به راحتي مي‌توان تابع زير را براي بيان چگونگي توزيع ارتفاع امواج بيان نمود:

$$p(H) = \frac{2H}{H_{rms}^2} \exp\left[-\frac{H^2}{H_{rms}^2}\right]$$

(۲۲)

$$P(H) = 1 - \exp\left[-\frac{H^2}{H_{rms}^2}\right]$$

(۲۳)

شكل (۳) چنين تابع چگالي را براي ارتفاع امواج تصادفي در يكي از ركوردهاي پژوهش حاضر ارائه مي‌كند.

تابع چگالي پريود امواج

براي تعيين تابع چگالي پريود امواج در يك وضعيت تصادفي دريا، متغيري بدون بعد بصورت زير تعريف مي‌شود [۷]:

$$\tau = \frac{T - T_{0,1}}{v T_{0,1}}$$

(۲٤)

در اين رابطه T پريود امواج و v نيز پارامتري وابسته به همان طيف و بيان كننده پهناي آن مي‌باشد:

$$v = \frac{m_o m_2 - m_1^2}{m_1^2}$$

(۲۵)

تابع چگالي مناسبي كه براي پريود امواج (تابع بدون بعد جايگزين شده بجاي پريود) ارائه شده است بصورت زير بيان مي‌شود:

$$p(\tau) = \frac{1}{2(1+\tau^2)^{3/2}}$$

(۲٦)

كليات مربوط به آزمايش ها

در طول ماههاي سپتامبر و اكتبر سال ۱۹۹۳ يك سري آزمايش هاى تجربي بارگذاري موج روي دو نوع استوانه مدور به قطرهاي ۲۱۰ و ۵۰۰ ميليمتر در كانال موج دلتاي آزمايشگاه هيدروليك دلفت هلند انجام شده است [۸]. كانال تقريباً ۲۵۰ متر طول و ۵ متر عرض دارد و از ارتفاع ۷ متري آن به عمق ۵ متر پر آب است. استوانه تحت اثر امواج تناوبي و تصادفي و نيز تركيب جريانهاي شبيه‌سازي شده و امواج قرار داده مي‌شود. استوانه بزرگ در دو تراز، دو عدد روكش اندازه‌گيري نيرو و استوانه كوچك نيز مجموعاً در ۵ تراز ۵ عدد نيروسنج دارد كه هركدام قادر هستند كه نيروها را هم در جهت انتشار موج و هم در جهت عمود بر آن (نيروهاي جانبي) اندازه‌گيري كنند. كه نتايج اين آزمايش ها به عنوان داده هاي خام در اين پژوهش مورد استفاده قرار گرفته‌اند.

توابع احتمالي حاكم بر واكنشهاي سازه

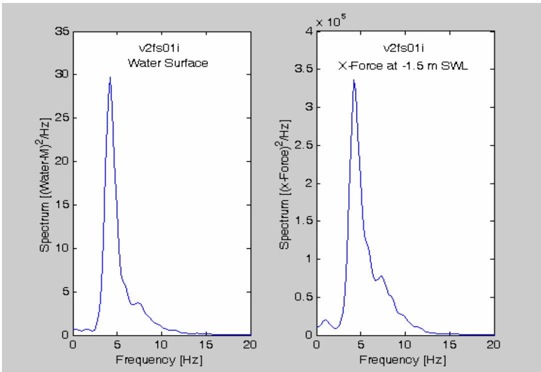
نيروي حاصل از امواج بر پايه استوانه‌اي

امواج برروي يك پايه استوانه‌اي دو نوع نيروي طولي[۷] و عرضي[۸] اعمال مي‌كنند كه در پژوهش حاضر هر دوي اين نيروها مورد بررسي قرار گرفته است. با توجه به اينكه با افزايش عمق آب تاثير امواج و نيروهاي ناشي از آن با كاهش روبرو مي‌شود و از طرفي در اثر تغييرات سطح آب و نوسان امواج ممكن است ترازهاي بالاي نمونه خارج از آب قرار گيرد، لذا تمركز بحث روي نيروهاي اندازه‌گيري شده در ارتفاع ۱/۵ متري زير سطح آب مناسب تشخيص داده شده است.

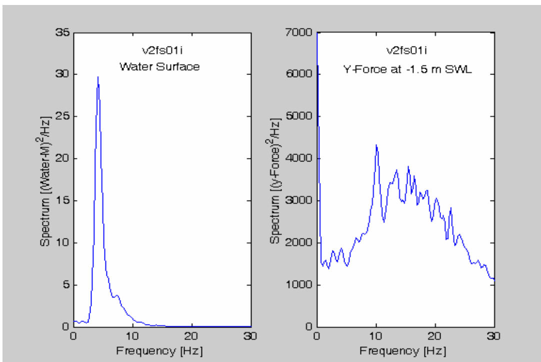
تحليل طيفي نيروها

از بررسي تغييرات نيروهاي طولي و عرضي مشخص است كه نيروي طولي رفتاري خطي نسبت به تغييرات سطح آب از خود نشان مي‌دهد، ولي نيروهاي جانبي رفتاري غير خطي دارد. اين موضوع با مقايسه طيف واكنشها نسبت به طيف امواج كاملاً مشهود است [۹]. در شكل (٤) طيف امواج اندازه‌گيري شده در پژوهش حاضر در كنار طيف نيروي طولي اندازه‌گيري شده از آزمايش ها نشان داده شده است. طيف امواج با پيك كاملاً مشخص و يك كوهانه مشابه اشكالي است كه مراجع مختلف در مورد امواج دريا ارائه نموده‌اند [۱۰، ۱۱]. طيف نيروي طولي نيز

تقريباً از شكل مشابه برخوردار بوده و پيك آن نيز دقيقاً برابر فركانس پيك حاكم بر تغييرات امواج و برابر ٤/١٩١٩ هرتز مي‌باشد. از سوي ديگر با توجه به شكل (٥) طيف نيروهاي عرضي در مقايسه با طيف امواج پهنتر بوده و داراي كوهان‌هاي بيشتري است. از نظم مشابه نيروهاي طولي برخوردار نبوده و داراي پيك مشخص نبوده و در مقايسه با طيف امواج از تغييرات عمده برخوردار است. طيف حاضر نشانگر آنست كه نوسانات نيروي عرضي درارتفاع مورد نظر از تغييرات منظمي تبعيت نكرده و امواج زيادي در پهناي فعال طيف در نوسانات اين نيرو موثرند. احتمالا بسياري از اين امواج خط صفر را قطع نمي كنند. بررسي و تبيين رياضي چنين نيروئي از پيچيدگي خاصي برخوردار خواهد بود لذا بهتر است موضوع با شيوه آماري بررسي شود.



شكل ٤: مقايسه طيف امواج و طيف نيروي طولي.

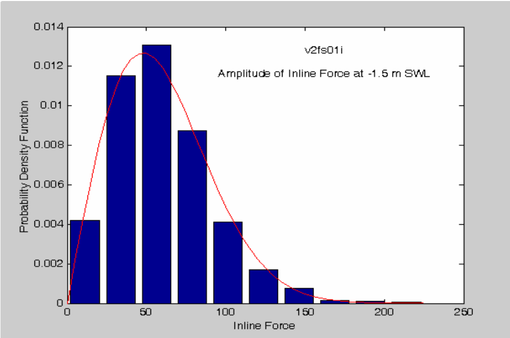


شكل ٥: مقايسه طيف امواج و طيف نيروي عرضي.

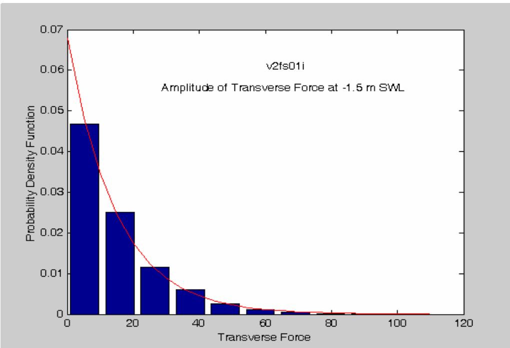
تابع چگالي حاكم بر مقادير حداكثر نيروها

تابع چگالي احتمال براي هر دو نيروي طولي و عرضي در اشكال (٦) و (٧) نشان داده مي‌شود.

بدليل خطي بودن رابطه نيروي طولي با امواج، تغييرات دامنه اين نيرو از تابع احتمال رايلي تبعيت مي‌كند. در مقابل همچنانچه مشاهده مي‌شود تغييرات دامنه امواج ناشي از نيروي عرضي از يك تابع نمائي[9] تبعيت مي‌كند و كاملاً با تابع چگالي ارتفاع امواج متفاوت است.



شكل ٦: تابع چگالي رايلي جهت بيان تغييرات دامنه امواج نيروي طولي.



شكل ٧: تابع چگالي نمائي جهت بيان تغييرات دامنه امواج نيروي عرضي.

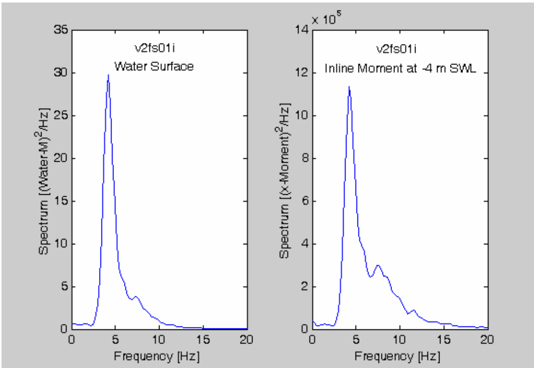
بررسي تغييرات لنگر ناشي از نيروهاي وارده بر پايه استوانه‌اي

لنگر ناشي از نيروهاي طولي و عرضي و نيز لنگر كل وارده بر پايه در ارتفاع‌هاي مختلف زير سطح ساكن آب از واكنش هاي مهم سازه تلقي شده و در طراحي پايه كاربرد مهمي دارد. لذا در تحقيق حاضر اين لنگرها بطور دقيق مورد بررسي قرار گرفته است. بررسي مستقل اين لنگرها كاملا ضروريست زيرا كه تاثير تركيبي نيروهاي اندازه گيري شده در ارتفاع هاي مختلف پايه و موقعيت آنها همه بطور كلي در لنگرها دخالت داشته و احتمالا رفتار اين واكنش با تك تك نيروهاي اندازه گيري شده ممكن است قدري متفاوت باشد. در اين راستا ابتدا روي اين لنگرها تحليل طيفي انجام شده و سپس نوسانات سري زماني آن مورد بحث آماري قرار گرفته است. در نهايت تحليل آماري دامنه لنگرها بررسي و توابع احتمالي حاكم بر آنها تعيين گرديده است. در تحقيق حاضر بدليل محدوديت در ارتفاع

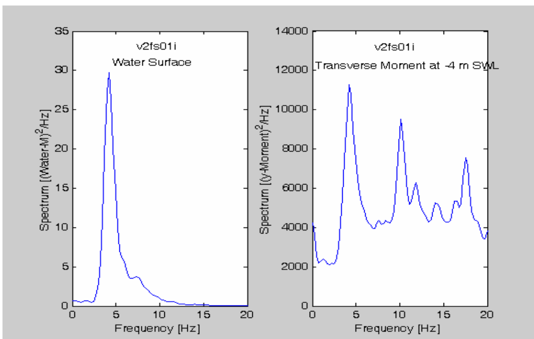
پايه، اين لنگرها در ارتفاع ٤ متري زير تراز سطح آب مورد بررسي قرار گرفته است. ضمنا مقادير هركدام از لنگرها از تركيب نيروهاي اندازه‌گيري شده در طول ارتفاع پايه با اعمال فاصله آن نسبت به پاي استوانه بر هر دو نيروي طولي و عرضي و نيز تركيب آنها محاسبه شده است.

تحليل طيفي لنگرها

در اثر عبور امواج از يك پايه استوانه‌اي لنگر ناشي از نيروها نيز بتبع آنها از دو لنگر طولي و عرضي تشكيل مي‌شود. با مقايسه طيف امواج و طيف لنگر طولي در شكل (۸) ملاحظه مي‌شود كه مشابه نيروي طولي لنگر مربوطه نيز رفتاري خطي نسبت به تغييرات سطح دريا از خود نشان مي‌دهد. زيرا كه هر دو طيف يك كوهانه و داراي پيك مشابه در فركانس ٤/١٩١٩ هرتز مي‌باشند. تفاوت مختصري هم كه در فركانس بالاتر يعني محدوده ۷/۵ هرتز مشاهده مي‌شود قابل صرفنظر كردن مي‌باشد.



شكل ۸: مقايسه طيف امواج و طيف لنگر طولي.

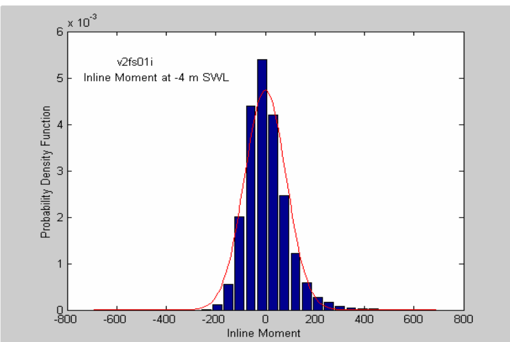


شكل ۹: مقايسه طيف امواج و طيف لنگر عرضي.

درمقابل طيف لنگر عرضي طبق شكل (۹) كاملاً رفتاري غير خطي نسبت به تغييرات سطح آب از خود نشان مي‌دهد. در اين طيف پيك اصلي كماكان روي عدد ٤/١٩١٩ هرتز مي‌باشد كه مشابه پيك طيف امواج درياست. ليكن طيف لنگر عرضي سه كوهانه بوده و علاوه بر پيك اصلي دو پيك ديگر در اين واكنش مشهود است. پيك دوم روي عدد ۱۰/۱۱ هرتز ديده مي‌شود كه از نظر مقدار تقريباً در حدود دو برابر فركانس امواج است، كه چنين موردي در مراجع و تحقيقات پيش بيني مي‌شود. معمولاً عنوان مي‌شود كه فركانس گردابه‌ها[10] كه از عوامل اصلي توليد نيروهاي عرضي است دو برابر فركانس امواج طولي خواهد بود [۱۲، ۱۳]. البته قابل توجه است كه فركانس پيك دوم ۲/٤۱ برابر فركانس طيف امواج را دارا مي باشد. لازم به تذكر است تا حال حاضر در مورد لنگر ناشي از امواج هيچ تحقيقي صورت نگرفته است لذا مي‌تواند براي اولين بار چنين ارتباطي اعلام گردد. نهايتاً سومين پيك داراي فركانس ۱۷/۵۰۷ هرتز مي‌باشد كه ٤/۱۷ برابر فركانس امواج است و همچنين ۱/۷۳ برابر فركانس اصلي دوم مي‌باشد. وجود چنين فركانس پيكي در ادبيات علمي مربوط به موضوع بهيچوجه ارائه نشده است. بديهي است عليرغم وجود سه كوهان كاملاً مشخص، در طيف لنگر عرضي فركانسهاي ديگر نيز درمحدوده ۲۰- ۰ كاملاً فعال بوده و لذا اين واكنش داراي يك طيف نسبتاً پهن مي‌باشد.

تابع چگالي تغييرات لنگرها

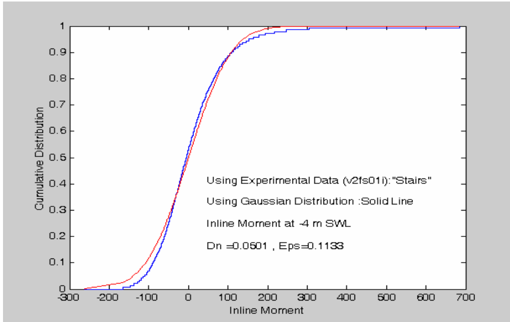
از آنجائي كه تابع توزيع احتمال سطح آب يك تابع گوسين بوده و ارتباط تغييرات لنگر طولي با سطح آب خطي مي‌باشد. لذا پيش بيني مي‌شود كه تابع احتمال حاكم بر تغييرات لنگر طولي، تابع گوسين با ميانگين صفر باشد. در اين راستا توزيع تجربي اين لنگر در شكل (۱۰) با تابع چگالي گوسين مقايسه شده و متناسب بودن چنين تابعي مشخص شده است.



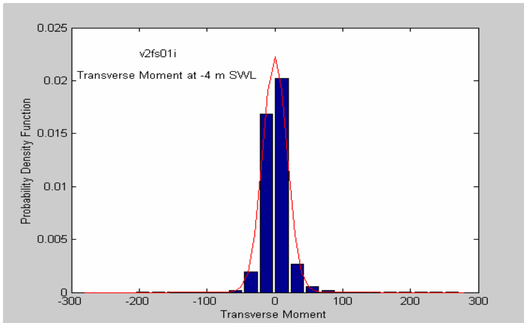
شكل ۱۰: تابع چگالي نرمال جهت بيان تغييرات امواج لنگر طولي.

علاوه بر آن در شكل (۱۱) مناسب بودن برازش تابع توزيع گوسين مجددا نشان داده شده كه با استفاده از تست KS[11] رضايتبخش بودن اين برازش تائيد مي‌شود [۱۴].

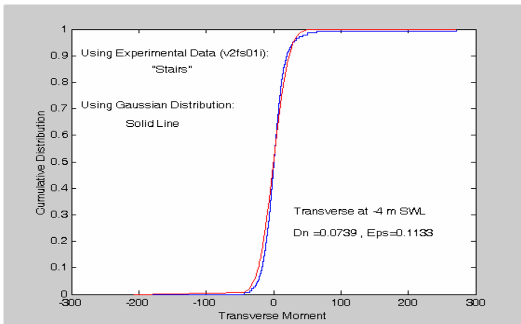
$$(Dn = 0.0501 < \varepsilon = 0.1133, \quad ok)$$



شكل ۱۱: بررسي برازش تابع توزيع نرمال بر مقادير تجربي لنگر طولي (بروش KS).



شكل ۱۲: تابع چگالي نرمال جهت بيان تغييرات امواج لنگر عرضي.



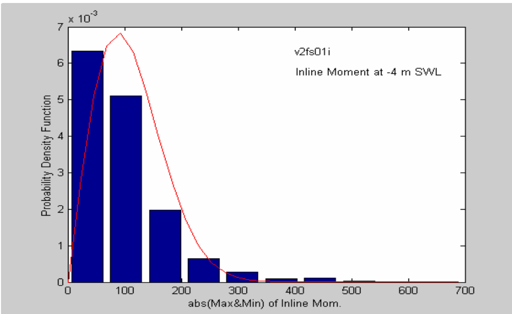
شكل ۱۳: بررسي برازش تابع توزيع نرمال بر مقادير تجربي لنگر عرضي (بروش KS).

عليرغم اينكه رابطه تغييرات لنگر خمشي عرضي نسبت به سطح آب غير خطي است. ليكن چون به نظر مي‌رسد كه تغييرات لنگر عرضي با فركانسهاي متفاوت تغييرات نوساني تصادفي با ميانگين نزديك صفر دارد. براي چنين تابعي نيز مناسب بودن تابع گوسين پيش‌بيني مي‌شود. در شكل (۱۲) تابع چگالي گوسين با توزيع چگالي مقادير لنگر عرضي حاصل از آزمايش ها در تحقيق حاضر مقايسه و نيز در شكل (۱۳) با روش KS مناسب بودن برازش مورد تائيد قرار گرفته است.

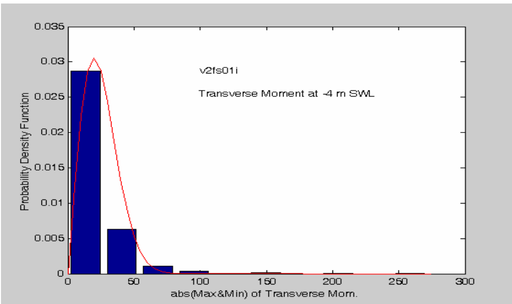
$$(Dn = 0.0793 < \varepsilon = 0.1133, \quad ok)$$

تابع چگالي حاكم بر مقادير حداكثر لنگرهاي خمشي در پايه استوانه‌اي

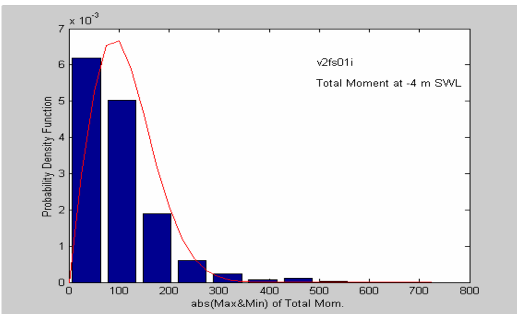
درادبيات علمي مربوط به سازه‌هاي دريائي براي تابع توزيع حاكم بر دامنه و ارتفاع امواج سطح دريا يك تابع رايلي پيشنهاد مي‌شود. در اين راستا بعنوان اولين ايده و فكر، برازش تابع مذكور بر دامنه لنگرهاي خمشي اعم از طولي، عرضي يا كل بترتيب در اشكال (۱٤، ۱۵ و ۱۶) مورد بررسي قرار گرفته است.



شكل ۱٤: تابع چگالي رايلي جهت بيان تغييرات دامنه امواج لنگر طولي .

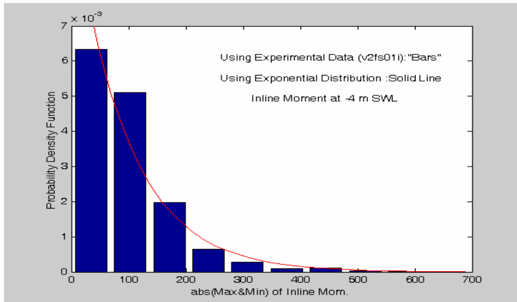


شكل ۱۵: تابع چگالي رايلي جهت بيان تغييرات دامنه امواج لنگر عرضي .

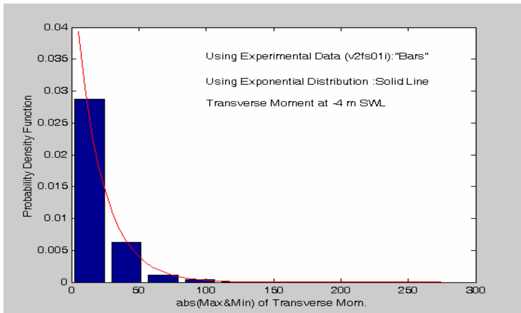


شكل ۱۶: تابع چگالي رايلي جهت بيان مقادير حداكثر لنگر كل.

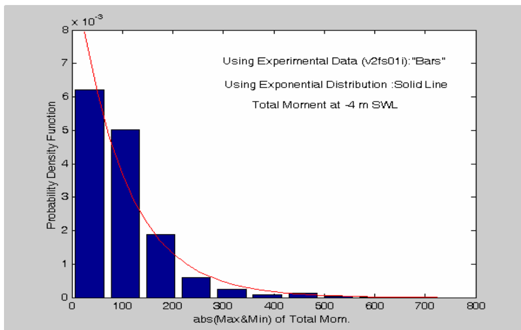
بعنوان ايده ديگـر، از آنجـائي كـه تـابع نمـائي بـر مقـادير حداكثر پديده‌ها برازش مناسبي را نشـان مـي‌دهـد [١۵]، برازش چنين تابعي نيز مجددا بر دامنه لنگرهـاي خمشـي طولي، عرضـي و كـل بترتيـب در اشـكال (١٧، ١٨ و ١٩) نشان داده شده است. پس از مقايسه برازش دو تابع رايلـي و نمائي ملاحظه مي‌شود كـه تـابع چگـالي نمـائي بـرازش مورد قبول‌تري را نشان مي‌دهد. در ضـمن جهـت بررسـي دقيق‌تر موضوع، تابع توزيع احتمـال هـر دو تـابع رايلـي و نمائي بترتيب براي لنگرهاي خمشي طولي، عرضي و كـل، اعمال و هر كدام با نتايج تست KS بررسـي شـده اسـت. براي تابع توزيع رايلي اشكال (٢٠، ٢١ و ٢٢) و نيـز بـراي تابع توزيع نمائي اشكال (٢٣، ٢۴ و ٢۵) نمايش داده شده است.



شكل ١٧: تابع چگالي نمائي جهت بيان تغييرات دامنه امواج لنگر طولي .

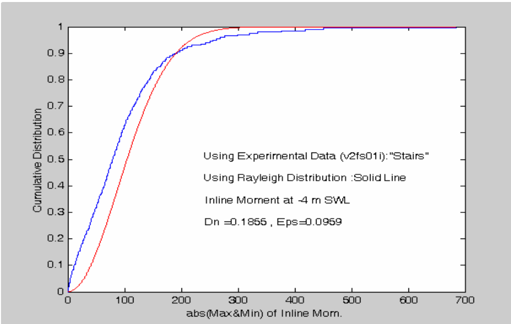


شكل ١٨: تابع چگالي نمائي جهت بيان تغييرات دامنه امواج لنگر عرضي .

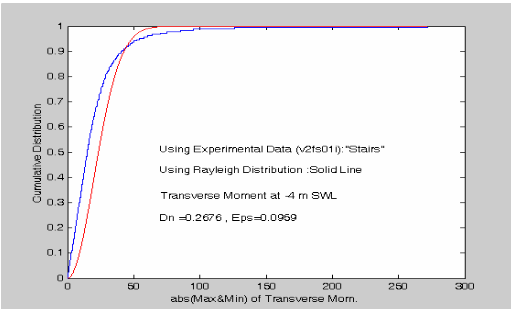


شكل ١٩: تابع چگالي نمائي جهت بيان مقادير حداكثر لنگر كل.

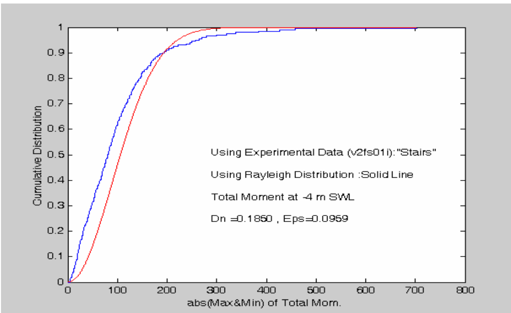
همچنين نتايج تسـت KS در جـدول (١) ارائـه و مناسـب بودن يا نبودن توابع احتمـالي بررسـي و مناسـبترين تـابع توصيه شده است.



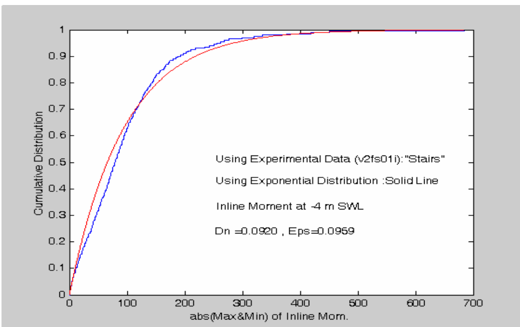
شكل ٢٠: بررسي برازش تابع توزيع رايلي بر مقادير تجربي دامنه لنگر طولي (بروش KS) .



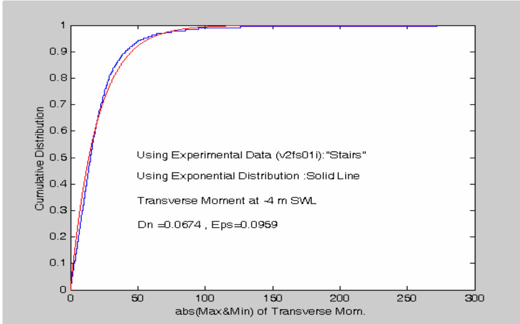
شكل ٢١: بررسي برازش تابع توزيع رايلي بر مقادير تجربي دامنه لنگر عرضي (بروش KS) .



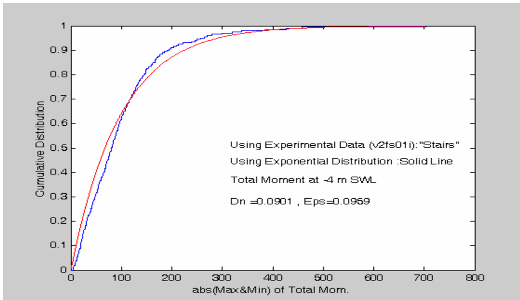
شكل ٢٢: بررسي برازش تابع توزيع رايلي بر مقادير تجربي حداكثر لنگر كل (بروش KS) .



شكل ٢٣: بررسي برازش تابع توزيع نمائي بر مقادير تجربي دامنه لنگر طولي (بروش KS) .



شكل ٢٤: بررسي برازش تابع توزيع نمائي بر مقادير تجربي دامنه لنگر عرضي (بروش KS).



شكل ٢٥: بررسي برازش تابع توزيع نمائي بر مقادير تجربي حداكثر لنگر كل (بروش KS).

جدول ١: مقايسه نتايج تست KS براي برازش توابع رايلي و نمائي بر تغييرات حداكثر لنگرها.

واكنش	رايلي Dn	نمائي Dn	ε	رايلي	نمائي
لنگرطولي	٠/١٨٥٥	٠/٠٩٢٠	٠/٠٩٥٩	نامناسب	قبول
لنگرعرضي	٠/٢٦٧٦	٠/٠٦٧٤	٠/٠٩٥٩	نامناسب	قبول
لنگركل	٠/١٨٥	٠/٠٩٠١	٠/٠٩٥٩	نامناسب	قبول

از سوي ديگر طيف نيروهاي عرضي پهنتر بوده و داراي كوهانهاي بيشتري مي‌باشد و از نظم مشابه طيف امواج برخوردار نبوده و داراي پيك مشخص نيست. با اين اوصاف خطي بودن رابطه بين نيروهاي عرضي با طيف امواج منتفي مي‌گردد و دامنه امواج ناشي از نيروي عرضي از يك تابع نمائي تبعيت مي‌كند. لذا تابع چگالي دامنه تغييرات اين نيرو كاملاً با تابع چگالي ارتفاع امواج سطح دريا متفاوت است.

همچنين در بررسي لنگرهاي پاي استوانه تحت اثر عبور امواج مشاهده شد كه لنگر طولي مشابه نيروي طولي رفتاري تقريبا خطي نسبت به تغييرات سطح دريا از خود نشان ميدهد. زيرا كه هر دو طيف امواج ولنگرهاي طولي يك كوهانه بوده و داراي فركانس پيك مشابه (در تست حاضر ٤/١٩١٩ هرتز) مي‌باشند. ضمنا تابع چگالي احتمال حاكم بر تغييرات لنگر طولي مشابه تغييرات سطح آب تابع گوسين با ميانگين صفر مي‌باشد. ليكن بر اساس بررسيهاي تاييد شده با تست KS، تابع چگالي رايلي براي بيان حداكثر لنگرهاي خمشي طولي در پايه استوانه‌اي تابع چگالي احتمال مناسبي نمي‌باشد، بلكه تابع احتمال نمائي برازش مناسبتري را براي بيان رفتار اين واكنش نشان مي‌دهد. اين موضوع بيانگر ضعيف بودن رابطه خطي بين اين دو پديده مي‌باشد.

با عنايت به متفاوت بودن طيف دانسيته انرژي لنگر عرضي با طيف تغييرات سطح دريا غير خطي بودن رابطه اين دو پديده كاملا مسجل است. طيف دانسيته لنگر عرضي سه كوهانه بوده و علاوه بر پيك اصلي دو پيك ديگر نيز در آن مشهود است. فركانس پيك اصلي آن مشابه پيك طيف امواج دريا ٤/١٩١٩ هرتز مي‌باشد و فركانس پيك دوم تقريباً در حدود دو برابر فركانس امواج است. نكتة جالب توجه اين كه در منابع علمي فركانس جاري شدن گردابه نيز كه از عوامل اصلي توليد نيروهاي عرضي است تقريبا دو برابر فركانس امواج معرفي مي‌شود. البته پديده‌هاي ديگري از جمله قفل‌شدگي فركانس سازه با گردابه در تغيير اين ضريب مي‌تواند موثر باشد كه در اين مقاله مورد توجه نبوده است.

ضمنا نتايج ارائه شده در اين پژوهش بيانگر آنست كه فركانس پيك دوم لنگرهاي عرضي دقيقاً ٢/٤١ برابر فركانس پيك امواج و فركانس پيك سوم ٤/١٧ برابر فركانس پيك امواج مي باشد.

نتيجه‌گيري و ارائه پيشنهادها

نتايج حاصل از اين تحقيق منحصرا" بر اساس داده هاي آزمايشگاهي سال ١٩٩٣ مرجع [٨] بوده و بنابراين در محدوده اطلاعات آن به شرح زير قابل بيان است:

تحت اثر عبور امواج از يك پايه استوانه‌اي دو نوع نيروي مستقل در دو راستاي طولي و عرضي ايجاد مي‌شود. از بررسي تجربي اين نيروها مشاهده شد كه فركانس پيك حاكم بر طيف نيروهاي طولي مشابه فركانس پيك طيف امواج بوده و شكل اين طيف‌ها نيز دقيقاً مشابه همديگر مي‌باشد. اين امر دليلي بر خطي بودن رابطه نيروهاي طولي با امواج درياست. بر همين مبنا تغييرات تابع چگالي دامنه اين نيروها مشابه ارتفاع امواج از تابع چگالي احتمال رايلي تبعيت مي‌كند.

نهايتا، تابع چگالي احتمال حاكم بر تغييرات لنگر عرضي مي تواند تابع گوسين با ميانگين صفر در نظر گرفته شود. همچنين بر اساس بررسي با تست KS ، مناسبترين تابع چگالي براي بيان رفتار حداكثر لنگرهاي خمشي عرضي و حداكثر لنگر خمشي كل (تركيب لنگرهاي طولي و عرضي) در يك پايه استوانه‌اي تابع احتمال نمائي تعيين مي‌شود. تابع چگالي رايلي براي بيان حداكثر لنگرهاي خمشي عرضي و كل يك پايه استوانه‌اي تابع احتمال مناسبي نمي باشد.

بعنوان پيشنهاد براي محققين استفاده از توابع احتمال شرطي در تعيين تابع چگالي مناسب براي نيروها و لنگرهاي عرضي مشروط بر وقوع گردابه‌ها توصيه مي‌گردد. همچنين مي‌توان با تحقيقاتي ادامه‌دار به توابع احتمال دوبعدي حاكم بر دامنه و پريود نيروها و لنگرهاي عرضي دست يافت. در پايان كليه موارد انجام شده و پيشنهادي در مقاله حاضر مي‌تواند در حضور جريانهاي همراستا و يا مخالف راستاي موج مجددا بررسي شود.

تقدير و تشكر

اين مقاله براساس بخشي از طرح تحقيقاتي ملي و با استفاده از منابع مالي مربوطه انجام شده، لازم مي‌دانم از كليه متوليان امر، كارشناسان و مسئولين محترمي كه با حركتي همه‌گير در يك برهه‌اي از زمان در ملي كردن و فراگير نمودن تحقيقات و پژوهش در كشور قدم برداشتند تشكر و قدرداني نمايم.

فهرست علائم

a	: دامنه امواج
$A(\omega)$	: دامنه موج در حوزه فركانسي
E	: انرژي كل امواج در واحد سطح
$\overline{E}$	: متوسط انرژي در واحد سطح
f	: فركانس نوساني (سيكليك)
g	:شتاب ثقل
H	: ارتفاع امواج
$H_{\max}$	: ارتفاع ماكزيمم موج
H_{rms}	: مقدار جذر ميانگين مربعات ارتفاع موج
m_{n_f}	: ممان طيف دانسيته
m_{n_ω}	: ممان طيف دانسيته
m_0	: ممان صفر طيف دانسيته
m_1	: ممان يک طيف دانسيته
m_2	: ممان دو طيف دانسيته
N_c	: تعداد تاج امواج
N_z	: تعداد امواج (متقاطع با خط صفر با شيب مثبت)
$p(a)$	: تابع چگالي دامنه امواج
$P(a)$	: تابع توزيع احتمال دامنه امواج
$p(H)$	: تابع چگالي ارتفاع امواج
$P(H)$	: تابع توزيع احتمال ارتفاع امواج
$p(\tau)$	: تبع چگالي پريود امواج (برحسب متغير بدون بعد جايگزين)
$p(\eta)$	: تابع چگالي سطح دريا
$S(f)$	: طيف دانسيته انرژي
$S(\omega)$	: طيف دانسيته انرژي
T	: پريود امواج
$T_{0,1}$	: تعاريف خاص از پريود امواج
$T_{0,2}$	: تعاريف خاص از پريود امواج
T_s	: ركورد زماني از امواج
$\overline{T}_z$	: مقدار متوسط پريود (متقاطع با خط صفر با شيب مثبت)
$\overline{T}_c$	: متوسط پريود امواج
δ_η	: انحراف معيار سطح آب
$\eta(t)$	: تغييرات زماني سطح دريا
$[\overline{\eta}(t)]^2$	: ميانگين مربعات مقادير سطح آب (واريانس)
ρ	: جرم حجمي آب
τ	: متغير بدون بعد
v	: پارامتر وابسته به پهناي طيف
ω	: فركانس موج $(\omega = 2\pi/T)$

مراجع

1 - Chatfield, C. (1989). *The Analysis of Time Series, an Introduction.* fourth edition, Chapman and Hall Ltd., London.

2 - Tucker, M. J. (1991). *Waves in Ocean Engineering, Measurement, Analysis, Interpretation.* Ellis Horwood Limited, London.

3 - Huang, Z., Olson, J. A., Kerekes, R. J. and Green S. I. (2006). "Numerical simulation of the flow around rows of cylinders." *Computers & Fluids*, Vol. 35, Issue 5.

4 - Shuqun Cai, Shengan Wang and Xiaomin Long, (2005). "A simple estimation of the force exerted by internal solitons on cylindrical piles." *SHORT COMMUNICATION, Ocean Engineering,* In Press, Corrected Proof, Available online 6 October.

5 - Ozgoren, M. (2006). "Flow structure in the downstream of square and circular cylinders." *Flow Measurement and Instrumentation,* In Press, Corrected Proof, Available Online 18, January.

6 - Baglio, S., Faraci, C., Foti, E. and Musumeci, R. (2001). "Measurements of the 3-D scour process around a pile in an oscillating flow through a stereo vision approach." *Measurement*, Vol. 30, Issue 2.

7 - Chakrabarti, S. K. (1987). "Hydrodynamics of offshore structures." *Computational Mechanics publications,* New York.

8 - Mackwood, P. R. (1993). "Wave and current flows around circular cylinders at large scale." *LIP Project 10D,* PP. 27.

9 - Newland, D. E. (1993). *An Introduction to Random Vibrations, Spectral and Wavelet Analysis*. Third edition, Longman Inc., London, (Distributed in the USA by John Wiley, New York).

10 - Ippen, T. (1996). *Estuary and Coastline Hydrodynamics*, McGraw-Hill.

11 - Clauss, G., Lehmann, E. and Ostergaard, C. (1994). "Offshore structures, Volume II, strength and safety for structural design." *English Translation*, Springer-Verlag, London.

12 - Bearman, P. W. (1988). "Wave loading experiments on circular cylinders at large scale." *Proc. 5th Int. Conf. on Behaviour of Offshore Structures,* Trondhein, Norway, Tapir, PP. 471-487.

13- Bearman, P. W. and Graham, J. M. R. (1979). "Hydrodynamic forces on cylindrical bodies in oscillatory flow." *Behaviour of Offshore Structures BOSS' 79*, PP. 309-322213-225.

14 - Ochi, M. K. (1990). *Applied Probability and Stochastic Processes, In Engineering and Physical Sciences*, John Wiley & Sons, Inc., New York.

15 - Lotfollahi-Yaghin, M. A. (1996). *Joint Probabilities of Responses to Wave Induced Loads on Monohull Floating Offshore Structures*, PhD. Thesis, Heriot-Watt University.

واژه‌هاي انگليسي به ترتيب استفاده در متن

1 - Stationary
2 - Ergodic
3 - Energy Spectral Density
4 - ZUCW، Zero Up Crossing Wave
5 - Guassian
6 - Rayleigh
7 - Inline Force
8 - Transverse Force
9 - Exponential
10 - Vortex Shedding
11 - Kolmogorov Smirnov