ماهنامه علمى پژوهشى

مهندسی مکانیک مدر س



mme.modares.ac.ir

تخمین توابع انتقال بویه موج نگار با استفاده از دادههای میدانی

سید مصطفی نوربخش¹، احمد رضا زمانی²، محمد علی بدری^{**}

1- استادیارمخابرات، پژوهشکده علوم و تکنولوژی زیر دریا، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان 2- استادیار مهندسی مکانیک، پژوهشکده علوم و تکنولوژی زیر دریا، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان 3- استادیار مهندسی مکانیک، پژوهشکده علوم و تکنولوژی زیر دریا، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان * اصفهان، صندوق پستی 134، malbdr@cc.iut.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیدہ
مقاله پژوهشی کامل نریافت: 21 اردیبهشت 1392 بذیرش: 15 مرداد 1392 رائه در سایت: 30 شهریور 1393	اینرسی بویههای موج نگار موجب پیدایش تابع انتقال برای کمیتهای موجنگاری در حرکت عمودی و شیب موج نسبت به محور های مختصات افقی میشود که نتیجه آن اختلاف مقادیر اندازهگیری شده با مقادیر واقعی امواج دریا است. با محاسبه یا تخمین توابع انتقال بویه و اعمال معکوس آنها بردادههای موج نگاری، امکان دستیابی به دادههای دقیقتر موجنگاری فراهم میشود. در این مقاله، یک روش برای تخمین توابع استقال
<i>کلید واژگان:</i> بویه موج نگار تابع انتقال طبف حهتدار موج	— انتقال بویه موجدیار با استفاده اردادهای میدانی که درخین دادهبرداری بویه دردریا خاصل می شود ارانه شده و تنایع سیهاساری آن آرانه شده است. این روش از خواص ذاتی امواج دریا استفاده می کند. همچنین تأثیر توابع انتقال در پارامترهای طیفی موج بررسی شده است.

Estimation of Transfer Functions for Wave Measurement Buoy using Field Data

Seyed Mostafa Noorbakhsh, Ahmad Reza Zamani, Mohammad Ali Badri*

Research Institute for Subsea Science and Technology, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran *P. O. Box 134. Isfahan.Iran. malbdr@cc.iut.ac.ir

مشخص تحت تأثیر امواج منظم و برای دو نوع حرکت عمودی و پیچشی

انجام شده است. حرکات مورد مطالعه به صورت مستقل در نظر گرفته

شدهاند. همچنین در کارهای انجام شده توسط گاریسون [۲،3]

هیدرودینامیک و دینامیک اجسام شناور بزرگ در دریا مورد بررسی قرارگرفته

است. در این مرجع، حرکات گوناگون شناورهای بزرگ با شکل بدنه کروی و

دیسکی و برای حرکات مختلف مورد مطالعه قرار گرفته است و تابع انتقال آن

به روش تحلیلی محاسبه شده است. مبنای کارهای انجام شده در مراجع

[۲،3] به کارگیری تئوری امواج خطی وهمچنین فرض کوچک بودن

دامنه های حرکت جسم بوده است. فرض فوق منجر به خطی شدن معادلات

حرکت شده است. همچنین بزرگ بودن ابعاد مشخصه هندسههای مورد

بررسی درمقایسه با طول موج برخوردکننده به گونهای است که روش

موریسون برقرار نبوده و لذا ازتئوری جریان پتانسیل و روش پانل درمحاسبه

ضرایب هیدرودینامیکی استفاده شده است. ضرایب هیدرودینامیکی محاسبه

ARTICLE INFORMATION	Abstract
Original Research Paper Received 11 May 2013 Accepted 6 August 2013 Available Online 21 September 2014	The inertia of wave measurement buoys impresses transfer functions on the wave measurement data (i.e. heave, wave slopes with respect to the horizontal axes). This effect causes difference or error between measured and actual wave data. Calculation or estimation of the buoy transfer functions and affecting the inverse of them makes the possibility to achieve more accurate wave
<i>Keywords:</i> Wave Measurement Buoys Transfer Function Wave directional Spectrum	data. In this paper, an algorithm for estimation of the buoy transfer functions using in-situ wave data is introduced and the simulation results are presented. This algorithm uses the intrinsic properties of the sea waves. The effect of the buoy transfer functions on spectral parameters is also investigated.

1– مقدمه

بویههای موجگار نقشی مؤثر در جمعآوری اطلاعات پایهای در محیط دریا دارند. این اطلاعات در زمینههای گوناگونی نظیر مدلسازی امواج، طراحی سازههای دریایی، تحلیلهای آماری و ارزیابی دادههای ماهوارهای استفاده می شوند. کمیت های اصلی که توسط بویه های موجنگاری اندازه گیری می شود، حرکت عمودی¹ وشیب موج نسبت به محورهایمختصات افقی میباشند. اینرسی بویههای موجنگاری موجب پیدایش تابع انتقال برای کمیتهای موجنگاری یاد شده می شود که نتیجه آن اختلاف مقادیر اندازه گیری شده با مقادیر واقعی امواج دریا است. بنابراین بررسی و کنترل دادههای موجنگاری و صحتسنجی آنها امری گریزناپذیر است.

بررسی تابع انتقال حرکات عمودی یک بویه ساده استوانهای در مرجع [1] انجام شده است. دراین مرجع تابع انتقال یک استوانهی باریک با آبخور

1-Heave

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید: S.M. Noorbakhsh, A.R. Zamani, M.A. Badri, Estimation of Transfer Functions for Wave Measurement Buoy using Field Data, Modares Mechanical Engineering, Vol. 14, No. 8, pp. 131-136, 2014 (In Persian)

Please cite this article using:

شده بر حسب فرکانس موج در معادلات حرکت خطی شده قرار گرفته واز روی آنها تابع انتقال حرکات شناور به دستآمده است.

کشمیری و همکاران در مرجع [4] و بر اساس روش پیشنهادی مراجع [۲،3] تابع انتقال یک بویه دیسکی شکل را تحت تأثیر وزنهای مختلف جرم پایدارکنندهی بویه به دست آوردهاند. اگرچه ممکن است بعد مشخصه بویه به کار رفته دراین کاردر مقایسه با طول موج شرایط جریان پتانسیل را برقرار ننماید. با این حال در کار انجام شده با پانل بندی سطح بویه و توزیع چشمه و چاههای سه بعدی، ضرایب هیدرودینامیکی بویه استخراج گردیده و سپس از آنها در معادلات دینامیکی حرکت استفاده شده است.

بارستو و کروگستاد [5] و نیز سارپکایا و پاتل [6-8] به بررسی آنالیزطیفی امواج جهتدار دریا به کمک بویههای موجنگار پرداختهاند. آنالیز طیفی امواج دریا درمراجع گوناگونی نظیر مراجع [1،0] مورد بررسی واقع شده است. روش اندازه گیری مورد مطالعه بر اساس سنجش زوایای غلطش و پیچش بویه و همچنین ثبت حرکات عمودی بویه بوده است. در کار انجام شده توسط مرجع [5] به نحوه محاسبه تابع انتقال بویه پرداخته شده است. همچنین آزمایشهای گوناگونی که نشاندهنده انحراف پیشبینی تئوری خطی با واقعیت است، ارائه شده است. بر اساس آزمایشهای انجام شده مواردی نظیر وجود جریانهای زیرآبی، غیرایدهآل بودن سنسورهای بویه موجنگار وهمچنین اثرات غیرخطی امواج منطقه و اثرات خط مهار میتوانند باعث انحراف نتایج تئوری خطی با واقعیت شوند.

از دیگر مطالعات انجام شده در مورد حرکت بویههای موجنگار با فرض زوایای چرخش نسبتاً کوچک میتوان به مرجع [11] اشاره کرد. در این مرجع معادلات دینامیکی کوپله شده بویه به همراه کابل بویه مورد مطالعه قرار گرفته است. همچنین حل معادلات و بررسی پایداری بویه تحت تأثیر امواج ثقلی به روش عددی و تجربی در مرجع [12] به انجام رسیده است. در صورت در دسترس بودن توابع انتقال بویه، امکان اِعمال معکوس آن و دستیابی به دادههای موجنگاری نزدیکتر به واقعیت فراهم میشود. محاسبهٔ تحلیلی توابع انتقال بویه روش تخمین توابع انتقال با استفاده ازدادههای اندازه گیری شده توسط خود بویه میباشد. براساس خواص ذاتی اورادوههای اندازه گیری شده توسط خود بویه میباشد. براساس خواص ذاتی مواج دریا این امکان وجود دارد که توابع انتقال بویه با کمک دادههای میدانی که در حین فعالیت بویه در دریا حاصل میشود، تخمین زده شود.

در این مقاله روش تخمین توابع انتقال معرفی شده و کارایی آن با ارائه نتایج شبیهسازی نشان داده شده است. بدیهی است توابع انتقال به دست آمده کاملاً وابسته به شکل هندسی بویه وتوزیع جرم آن میباشد. در این جا توابع انتقال برای همان بویهای که دادههای موجنگاری از آن بدست آمده است تخمین زده شده وسپس تصحیح لازم برای سری زمانی "حرکت عمودی و شیب موج" برای دادههای همان بویه صورت گرفته است. توابع انتقال تخمین زده شده برای بویههای دیگری که همان شکل هندسی و توزیع جرم تقریبی را دارند نیز قابل استفاده خواهد بود. در این مقاله، ترتیب بخشهای مختلف از این قرار است:

در بخش 2، تئوری موجنگاری و مدلسازی مربوطه ارائه شده است. در بخش 3، توابع انتقال بویه و اثر آنها بر پارامترهای موجنگاری معرفی شدهاند. همچنین در این بخش، الگوریتم تخمین توابع انتقال بر اساس دادههای میدانی معرفی شده و در بخش 4 نتایج شبیهسازی این الگوریتم عرضه شده

است. در کار حاضر در واقع با استفاده از فیزیک دریا تابع انتقال بدست آمده است نه از طریق خصوصیات فیزیکی، که در نوع خود بدیع میباشد.

2- معادلات حاکم در مورد موجنگاری و مدلسازی آن

کمیتهای مورد نظر در موج نگاری، حرکت عمودی موج، Z و شیب موج نسبت به محورهای مختصات افقی $(X \ e \ y)$ ، یعنی $\partial z / \partial x$ و $\partial z / \partial x$ می-باشند. مقادیر طیفی موج براساس طیف حرکت عمودی و طیفهای متقابل حرکت عمودی با شیبهای بویه نسبت به محورهای مختصات X و Y تعریف میشوند [5]. توابع خود همبستگی و همبستگی متقابل بصورت رابطه (1) درنظر گرفته می شوند.

$$R_{11}(\tau) = E \{ Z(t+\tau)Z(t) \},$$

$$R_{12}(\tau) = E \{ Z(t+\tau) \times (\partial Z / \partial X)(t) \},$$

$$R_{13}(\tau) = E \{ Z(t+\tau) \times (\partial Z / \partial Y)(t) \},$$

$$R_{22}(\tau) = E \{ (\partial Z / \partial X)(t+\tau) \times (\partial Z / \partial X)(t) \},$$

$$R_{33}(\tau) = E \{ (\partial Z / \partial Y)(t+\tau) \times (\partial Z / \partial Y)(t) \}$$
(1)

در رابطه (1)، Rij معرف تابع خودهمبستگی یا همبستگی متقابل است. همچنین {.} آمید ریاضی و τ شیفت زمانی است. دراین رابطه جهت سادگی از زیرنویس 1 تا 3 به ترتیب برای نمایش حرکت عمودی، شیب نسبت به محور X و شیب نسبت به محور Y استفاده شده است. مقادیر حرکت عمودی Z و شیب $\partial z / \partial X$ در محل مختصات بویه χ_0 , χ_0 که ثابت فرض می شود، برحسب زمان در نظر گرفته شده است. با داشتن دسته روابط (1)، طیف فرکانسی حرکت عمودی و شیبهای بویه و طیفهای متقابل آنها از رابطه (2) بدست میآیند.

$$S_{mn}(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} R_{mn}(\tau) e^{-j\omega\tau} d\tau \qquad m, n = 1, 2, 3$$
(2)

 $S_{13}(\omega) = S_{12}(\omega), (\omega)$ معرف طیف بدون جهت عمودی، $S_{11}(\omega) = S_{12}(\omega)$ در رابطه (2)، $S_{11}(\omega) = S_{12}(\omega), S_{12}(\omega)$ و (3)، $S_{13}(\omega) = S_{22}(\omega), S_{22}(\omega), S_{22}(\omega), S_{22}(\omega), S_{22}(\omega), S_{22}(\omega), S_{22}(\omega), S_{22}(\omega), S_{23}(\omega), S_{23$

$$S_{nn}(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} R_{nn}(\tau) \cos(\omega \tau) \, d\tau \quad n = 1, 2, 3$$
(3)

$$Q_{1n}(\omega) = -\int_{-\infty}^{\infty} R_{1n}(\tau) \sin(\omega\tau) \, d\tau \quad n = 2,3$$
(4)

می توان نشان داد که جهت متوسط موج در هر فرکانس ۵۰ طبق رابطه (5) عبارت است از [5]:

$$\overline{\theta}(\omega) = \tan^{-1} \mathcal{Q}_{13}(\omega) / \mathcal{Q}_{12}(\omega)$$
(5)

دررابطه (5)، $\overline{\theta}$ جهت متوسط موج و عبارتهای O_{13} و O_{13} بخشهای موهومی طیفهای متقابل رانشان میدهد. همچنین نشان داده میشود رابطه (6) بین طیفهای ($O_{13}(\omega)$ ، $S_{13}(\omega)$ برقرار است [9].

$$K(\omega) = [(S_{22}(\omega) + S_{33}(\omega) / S_{11}(\omega)]^{0.5}$$
(6)

در رابطه (b)، ($k=K(\omega)$ اندازه عدد موج است که بر اساس رابطه $w^2=k g \tanh(k h)$ و عمق دریا (m) قابل $\omega^2=k g \tanh(k h)$ محاسبه می اشد.

3- توابع انتقال بويه

3-1- تعريف توابع انتقال بويه

به لحاظ جرم و اینرسی بویه، مقادیر اندازه گیری شده موج نگاری (مشخص شده با بالانویس d). یعنی z^b z^b $(\partial z/\partial y)^b$, $(\partial z/\partial x)^b$) با مقادیر واقعی موج شده با بالانویس d). یعنی z^b z^b نفاوت دارند. نشان داده شده است که می توان مقادیر اندازه گیری شده را با توابع انتقال سیستمهای خطی تغییر ناپذیر با زمان به مقادیر واقعی موج ارتباط داد [1.4]. منحنیهای پاسخ فرکانسی این توابع نشان می دهند که باتوجه به محدوده فرکانسی امواج دریاکه حداکثر تا حدود (rad/s) تا حدود (8). در نظر گرفتن دو قطب برای تابع انتقال کفایت می کند. لذا توابع انتقال یاد شده به صورت روابط (7) و (8) مداختر که می انتقال کفایت می دهند که می محدوده فرکانسی امواج دریاکه حداکثر مای توابع نشان می دهند که باتوجه به محدوده فرکانسی امواج (rad/s) و (8) مداختر که می مده در انتقال کانی مورت روابط (7) و (8) مدل شده اند.

$$F\{z^{b}(t)\}/F\{z(t)\} = T(\omega) = \frac{1}{1 + 2j\lambda\omega/\omega_{0} - (\omega/\omega_{0})^{2}}$$
(7)

$$T_{x}(\omega) = \frac{1}{1 + 2j\lambda_{x}\omega/\omega_{0x} - (\omega/\omega_{0x})^{2}}$$
(8)

$$S_{11}^{b}(\omega) = S_{11}(\omega) |T(\omega)|^{2} ,$$

$$Q_{12}^{b}(\omega) = Q_{12}(\omega) \operatorname{Re} \{T_{x}^{*}(\omega)T(\omega)\} ,$$

$$Q_{13}^{b}(\omega) = Q_{13}(\omega) \operatorname{Re} \{T_{x}^{*}(\omega)T(\omega)\} ,$$

$$S_{22}^{b}(\omega) = S_{22}(\omega) |T_{x}(\omega)|^{2} ,$$

$$S_{33}^{b}(\omega) = S_{33}(\omega) |T_{x}(\omega)|^{2}$$
(9)

در دسته روابط (9)، علامت * نشان دهنده مزدوج مختلط تابع انتقال است. بدین صورت، تخمین جهت متوسط موج، یعنی:

 $\tan^{-1}Q_{13}(\omega)/Q_{12}(\omega) = \overline{\theta}(\omega)$ با $\overline{\theta}^{b}(\omega) = \tan^{-1}Q^{b}{}_{13}(\omega)/Q^{b}{}_{12}(\omega)$ تفاوتی نخواهد کرد.

3-2- تخمين توابع انتقال بويه

در این تحقیق، تخمین توابع انتقال بویه با استفاده ازدادههای میدانی، مطابق با مراحل زیر صورت گرفته است:

الف) طیفهای متقابل $S^b_{12}(\omega)$ و $S^b_{13}(\omega)$ طبق رابطه تبدیل فوریه (10) و بدون فرض موهومی محض بودن در تعدادی فرکانس ω محاسبه شده است:

$$S_{12}^{b}(\omega) = F\{R_{12}^{b}(\tau)\} = \int_{-\infty}^{\infty} R_{12}^{b}(\tau)e^{-j\omega\tau}d\tau ,$$

$$S_{13}^{b}(\omega) = F\{R_{13}^{b}(\tau)\} = \int_{-\infty}^{\infty} R_{13}^{b}(\tau)e^{-j\omega\tau}d\tau$$
(10)

 $R^{b}_{12}(\tau)$ و $R^{b}_{13}(\tau)$ به ترتیب توابع همبستگی متقابل حرکت عمودی z^{b} با شیبهای $R^{b}_{12}(\tau)$ و $(\partial z / \partial y)^{b}$ و $(\partial z / \partial x)^{b}$ (مشابه رابطه (1)) که با استفاده از دادههای واقعی در حالت وجود توابع انتقال، محاسبه میشوند. درضمن با استفاده از روابط گفته شده در مرجع [10] رابطه (11) ارائه میشود.

$$\angle T(\omega) - \angle T_x(\omega) = \angle S_{12}^{\nu}(\omega) - 0.5\pi - m\pi$$
,
$$\angle T(\omega) - \angle T_x(\omega) = \angle S_{13}^{\nu}(\omega) - 0.5\pi - m'\pi$$
 (11)

ب) اندازه عدد موج تخمین زده شده با استفاده ازدادههای میدانی طبق رابطه (12) برای همان مجموعه فرکانسهای ω انتخاب شده محاسبه شده است. (12) $\omega^{2}/(\omega) = \int (\omega)^{4} + \int (\omega)^{4}$

$$K^{\circ}(\omega) = \left[\left(S^{\circ}_{22}(\omega) + S^{\circ}_{33}(\omega) / S^{\circ}_{11}(\omega) \right)^{5} \right]$$
(12)

 $Z^{b} = S^{b}_{22}(\omega) \cdot S^{b}_{11}(\omega)$ و $S^{b}_{33}(\omega) = S^{b}_{22}(\omega) \cdot S^{b}_{11}(\omega)$ شيبهای $(\partial Z/\partial x)^{b}$ و $(\partial Z/\partial x)$ در حالت دادههای عملی با وجود توابع انتقال بویه میباشند. با توجه به روابط (9) و (12)، رابطه (13) بدست میآید. $K(\omega)/K^{b}(\omega) = |T(\omega)/T_{x}(\omega)|$ (13)

با استفاده از ترکیب تخمین
$$(\omega)_x/Z = T(\omega) \to T(\omega)$$
 طبق رابطه (11) و
 $= \mathcal{K}(\omega) + j\Psi(\omega) |T(\omega)/T_x(\omega)|$ مقادیر مختلط $(\omega)/T_x(\omega)$ ($\pi(\omega)/T_x(\omega)$)
ه ازای فرکانسهای مختلف ω بر اساس رابطه (14) ارائه میشود:
 $X(\omega) + jY(\omega) = K(\omega)/K^b(\omega)$ (14)
(15) م فرندای ت

$$T(\omega) = 1/(1 + aj\omega - b\omega^2)$$
 (15) المربع (15) المربع المناه المت.
(15) $T(\omega) = 1/(1 + aj\omega - b\omega^2)$

$$T_{x}(\omega) = 1/(1 + a_{x}j\omega - b_{x}\omega^{2})$$
 (16)

، $\omega_{0x} = b_x^{-1/2}$ و $\lambda = 0.5a \times b^{-1/2}$ ، $\omega_0 = b^{-0.5}$ و $\lambda_x = 0.5a_x \times b_x^{-0.5}$. $\lambda_x = 0.5a_x \times b_x^{-0.5}$ در این صورت رابطه (17) بدست میآید:

$$T(\omega) / T_{x}(\omega) = X(\omega) + jY(\omega)$$
(17)

مقادیر (w) + $jY(\omega)$ از رابطه (14) محاسبه میشوند. بدین صورت معادلات خطی (18) برای چهار پارامتر مجهول x, b_x حاصل شده است: $1 - b_y \omega^2 = X(\omega) - b\omega^2 X(\omega) - a\omega Y(\omega)$,

$$a_x \omega = a\omega X(\omega) + Y(\omega) - b\omega^2 Y(\omega)$$
(18)

این معادلات برای فرکانسهای مختلف *@* و برای دورههای مختلف زمانی که طیف موج دریا تغییر کرده و تخمینهای مختلفی طبق رابطه (14) نتیجه میدهد، در نظر گرفته شدهاند. درفرم ماتریسی، این معادلات به صورت رابطه (19) خواهد بود. بردار پارامترهای مجهول از حل دستگاه معادلات فوق، یعنی $\hat{x}=A^{\dagger}b$ به دست میآیند که در آن +*A*، ماتریس شبه معکوس *A* است.

با محاسبه پارامترهای مجهول، تخمین توابع انتقال دردسترس قرارگرفته است. درعمل خطای تخمین توابع انتقال هنگام استفاده ازداده های محدود، نسبتاً زیاد است. لذا برای حصول دقت مورد نیاز، از مجموعه دادههای اندازه گیری شده در دوره نسبتاً طولانی مانند دوره یک ساله استفاده شده است.

133

¹⁻ Fourier Transform

خاطر نشان میسازد ذخیره و استفاده ازداده های موج نگاری در چنین مقياس زماني مرسوم ميباشد.

توابع انتقال حاصل، در همین محدوده طولانی که از روی آن تخمین زده ، $S^{b}_{12}(w)$ شدهاند، استفاده شدهاند. نکته دیگر، نحوه تخمین طیفهای و $S_{33}^{b}(\omega)$ است که در روابط تخمین توابع $S_{13}^{b}(\omega)$ ، $S_{11}^{b}(\omega)$ ، $S_{13}^{b}(\omega)$ انتقال استفاده شدهاند (روابط 11 و 12). بدیهی است که به لحاظ تغییر شرایط آب و هوایی، سریهای زمانی حرکت عمودی وشیب موج ایستان آماری¹ نیست. لذا نمیتوان تخمین طیفهای یاد شده (رابطه 10) را بر اساس سری زمانی حاصل از دنبال هم قرار دادن کل دادهها انجام داد. در این حالت برای هر قطعه دادههای حرکت عمودی وشیب موج که ایستان آماری است، (قطعههایی درحدود 20 دقیقه)، طیفهای یادشده تخمین زده شدهاند. سیس توابع ($M^{\rm b}(\omega) = (12 \, {\rm cm}) \, (12 \, {\rm cm})$ و ($K^{\rm b}(\omega) \, {\rm cm}$ (رابطه 12) برای هر یک از قطعهها محاسبه شده و کل آنها با هم متوسط گیری شده تا در روابط (13) تا (19) برای تخمین توابع انتقال بویه استفاده شوند. ضمناً تخمین توابع انتقال به عمق آب در محل استقرار بویه بستگی نداشته و عدد موج مورد استفاده از روی حل معادله ($\omega^2 = k g \tanh(k h)$ بدست آمده $k = K(\omega)$ است. بدین ترتیب اثرعمق در روابط، جبران شده و بعداز آن، معادلات دیگر وابسته به عمق نيستند. لذا در اينجا تخمين توابع انتقال بويه مستقل ازعمق مىباشد.

4- نتايج شبيهسازي

برای الگوریتم شبیه سازی مطرح شده برای تخمین توابع انتقال، موج دریا بصورت ترکیب چند موج، هر یک با فرکانس های *ش*، دامنه های **a**، زاویه های ورود heta، و فازهای تصادفی طبق جدول 1در نظر گرفته شدهاند.

فركانس نمونهبرداری Hz=πrad/s و طول قطعه دادهها 1024 نمونه (معادل 1024 ثانيه) مىباشد. مؤلفه اغتشاش تصادفى با توزيع گوسى با انحراف استاندارد 10 ± سانتیمتر به سری زمانی حرکت عمودی و مؤلفه اغتشاش تصادفی با توزیع گوسی با انحراف استاندارد 0/052± سانتیمتر (معادل 3°) به سریهای زمانی شیبهای موج اضافه شده است تا خطای سنسور موجنگاری و تلاطم تصادفی امواج دریا را مدل کند وتوابع انتقال $T(\omega) = (1 + 0.4 j\omega - 0.2\omega^2)^{-1}$ حرکت عمودی و شیبها به ترتیب برابر با (دارای قطب در $T_x(\omega) = (1+0.5536 j\omega - 0.346 \omega^2)^{-1}$ (دارای قطب $T_x(\omega) = (1+0.5536 j\omega - 0.346 \omega^2)^{-1}$ در (rad/s) در نظر گرفته شدهاند.

شبيهسازى براى مجموعههاى تكى، 10تايى، 100تايى، 1000تايى و 8760تایی از قطعههای 1024 نمونهای اجرا شده است تا نشان داده شودکه خطای تخمین توابع به ازای طول دادههای کوتاه زیاد بوده و برای حصول کیفیت قابل قبول، نیاز به بکار گیری دادهها در یک دوره طولانی مدت است. در یک سیستم مرسوم که به ازای هر ساعت، یک سری قطعه داده حرکت عمودي موج و شيبها ارائه مي شود، مجموعه 8760تايي ازقطعهها معادل يك سال دادەبردارى مىباشد.

جدول 2 حداکثر خطای تخمین دامنه توابع انتقال حرکت عمودی و شیب $\hat{T}_{x}(\omega)$ موج رابه ازای تعداد قطعات مختلف داده ها بیان می کند. اگر $\hat{T}(\omega)$ و به ترتیب تخمین توابع انتقال دامنه و شیب موج باشند، توابع خطای یاد شده و max $||T(\omega)| - |\hat{T}(\omega)||$ و max $||T(\omega)| - |\hat{T}(\omega)||$ و

سید مصطفی نو*ر* بخش و همکاران

J	انتقا	نوابع	تخمين ا	منظور	به	ِی شدہ	شبيهساز	موج	مشخصات	َ جدول	ل ا	جدوا
---	-------	-------	---------	-------	----	--------	---------	-----	--------	--------	-----	------

$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	زاویه ورود θı(deg)	فر کانس <i>س</i> (rad/s)	دامنه a _i (m)	شماره هارمونیکهای موج
$\begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	0	0/2	1	1
50 0/5 3 3 70 0/6 2 4 120 0/8 1 5 200 1/0 0/1 6 210 1/2 0/2 7 300 1/4 0/1 8 330 1/6 0/1 9	10	0/4	5	2
70 0/6 2 4 120 0/8 1 5 200 1/0 0/1 6 210 1/2 0/2 7 300 1/4 0/1 8 330 1/6 0/1 9	50	0/5	3	3
120 0/8 1 5 200 1/0 0/1 6 210 1/2 0/2 7 300 1/4 0/1 8 330 1/6 0/1 9	70	0/6	2	4
200 1/0 0/1 6 210 1/2 0/2 7 300 1/4 0/1 8 330 1/6 0/1 9	120	0/8	1	5
210 1/2 0/2 7 300 1/4 0/1 8 330 1/6 0/1 9	200	1/0	0/1	6
300 1/4 0/1 8 330 1/6 0/1 9	210	1/2	0/2	7
330 1/6 0/1 9	300	1/4	0/1	8
	330	1/6	0/1	9

جدول 2 حداکثر خطای تخمین دامنه توابع انتقال متوسط گیری شده در دفعات

	مكرر شبيەسازى	
حداکثر خطای تخمین	حداکثر خطای تخمین	تعداد قطعات داده
پاسخ دامنه تابع انتقال	پاسخ دامنه تابع انتقال	1024 نمونه ای به
شيب	حركت عمودى	ازاء هر ساعت
40	28	1
0/54	2/4	10
0/12	0/17	100
0/077	0/12	1000
0/063	0/11	8760 (يک سال)

با توجه به وردایی قابل ملاحظه خطای تخمین max $||T_x(\omega)| - |\hat{T}_x(\omega)||$ توابع انتقال، هر نوبت شبیهسازی نیز به دفعات تکرار شده و نتیجه (توابع خطا)، متوسط گیری شده است. لازم به ذکر است که توابع انتقال، خود نرمالیزه هستند. زیرا مقدار آنها در فرکانس صفر (DC) برابر با **1**میباشد. نتایج ارائه شده در جدول 2 نشان میدهد استفاده از مجموعه دادههای بلند مدت در حد 1000 قطعه و بالاتر، دقتی مناسب در تخمین پاسخ دامنه توابع انتقال بويه حاصل مي كند.

نتيجه يك نوبت اجراى تخمين توابع انتقال، طبق الگوريتم ارائه شده با انتخاب همان مجموعه فرکانسهای Øi و در شرایط استفاده از مجموعه **8760**تايي قطعهها عبارت از $T(\omega) = (1 + 0.4475 j \omega - 0.2200 \omega^2)^{-1}$ و حركت $T_X(\omega) = (1 + 0.5810 j \omega - 0.3815 \omega^2)^{-1}$ عمودی و شیبها حاکی از برآورد مناسب الگوریتم تخمین توابع انتقال بابهره گیری ازداده های میدانی میباشد. این نتایج در شکل های 1 تا 4 آورده شدهاند. منحنی های مربوط به شکل های 1 تا 4 مقدار واقعی و تخمینی برای پاسخ دامنه و پاسخ فاز² توابع انتقال حرکت عمودی و شیبها را نشان می-دهد. با مقایسه منحنیهای ارائه شده میتوان نتیجه گرفت الگوریتم تخمین توابع انتقال بااستفاده ازدادههای میدانی برای توابع انتقال با مشخصات فرکانسی در مقیاس محدود شبیهسازی شده، میتواند تخمین معتبری ارائه نماید. زیرا از یک طرف، جهت متوسط موج اصولاً مستقل از توابع انتقال است و از طرف دیگر دامنه سری زمانی حرکت عمودی که ارتفاع موج به آن مربوط است، عمدتاً متأثر از پاسخ دامنه تابع انتقال میباشد. بنابراین انطباق قابل

¹⁻ Amplitude / Phase Response

قبول پاسخ دامنه (شکلهای 1 و 2) حاصل شده و تخمین باموفقیت صورت گرفته است.

الگوريتم تخمين توابع انتقال اگر چه پاسخ فاز را با مقدارى خطا محاسبه می کند (شکلهای 3و 4)، ولی با توجه به این که در عمل معمولاً بر روی پاسخ فاز حساسیتی وجود ندارد، اختلاف مشاهده شده دارای چندان اهمیتی نیست. در واقع، همان طور که اشاره شد پاسخ دامنه مورد کاربرد عملی است تا بتوان بر اساس آن، مقادير ارتفاع موج تخمين زده شده توسط بويه موجنگاری را تصحیح نمود. در اجرای شبیهسازی ارائه شده در شکلهای 1 و 2، حداكثر خطاى تخمين پاسخ دامنه به ترتيب عبارت از 0/1256 و 0/0692 میباشد. این میزان دقت مناسب بوده و برای تصحیح پارامترهای معتبر موجنگاری کفایت می کند که در یژوهش حاضر از این اصل استفاده شده است.



شکل 1 مقدار اصلی و تخمین پاسخ دامنه تابع انتقال حرکت عمودی



شكل 2 مقدار اصلى و تخمين پاسخ دامنه تابع انتقال شيبها



شكل 3 مقدار اصلى و تخمين پاسخ فاز تابع انتقال حركت عمودى



5- جمع بندی و نتیجه گیری

دراین مقاله یک روش تخمین توابع انتقال بویه با استفاده ازدادههای میدانی که درحین فعالیت بویه حاصل می شود معرفی شده است که از خواص ذاتی امواج دریا استفاده می کند. با استفاده از این روش توابع انتقال بویه بدون نیاز به تستهای آزمایشگاهی پرهزینه و یا محاسبات تحلیلی که درآنها نیاز به سادهسازی های مکرر و نادیده گرفتن برخی پدیده ها میباشد، تخمین زده شده است. با اعمال عکس اثر توابع انتقال بردادههای موجنگاری ازقبیل سری زمانی حرکت عمودی موج دادههای دقیقتری فراهم میشود.

6- فهرست علايم

متوسط گیری آماری	E{0}
------------------	------

- تبديل فوريه *F*{0}
- شتاب جاذبه زمین (m/s²) g
 - عمق (m) h
 - عدد ثابت تبديل т
- تابع انتقال حركت عمودى $T(\omega)$
 - $T_{v}(\omega)$ تابع انتقال شيبها
- بخشهاى موهومى طيفهاى متقابل 0
 - حرکت عمودی موج (m) 7
- :شیب موج نسبت به محور افقی x $\partial z / \partial x$
- شیب موج نسبت به محور افقی y $\partial z / \partial y$

علائم يوناني

τ	شیفت زمانی(sec)
ω	فرکانس زاویه ای (rad/s)
$\overline{\theta}$	حهت متوسط موج

- جهت متوسط موج
- پارامترهای تابع انتقال حرکت عمودی ω_0, λ
 - يارامترهاي تابع انتقال شيبها ω_{0x} $_{\xi}$

بالانويسها

- [1] H.O., Berteaux, E. E., Hays, Buoy Engineering, John Wily & Sons, 1976. [2] C.J., Garrison, Hydrodynamic of large objects in the sea, part I, Hydrodynamic analysis, Journal of Hydronautics, Vol. 8, No. 1, 1974, pp. 5-
- [3] C.J., Garrison, Hydrodynamic of large objects in the sea, part II-motion of free floating bodies, Journal of Hydronautics, Vol. 9, No. 2, 1975, pp. 58-83

- [9] M. Noorbakhsh, A.R Zamani, Quality control of Wave Measurement Buoy, Research Ins. for Subsea Sci. & Tech., (Technical Report), Isfahan Univ. of Tech., 2009. (In Persian)
- 1ech., 2009. (In Persian)
 [10] S., Barstow, Krogstad, H.E., *General analysis of Directional Ocean wave data, Modeling, Identification and control*,Vol. 5, No. 2, 1984, pp. 47-70.
 [11] K., Idris, Leonard, J.w., YIM, S.C.S., Coupled dynamics of tethered buoy system, *Ocean engineering*, Vol. 24, 1997, pp. 445-464.
 [12] S. Radhakrishan, R. Delta, I. Hires, Theoretical and experimental analysis of tethered buoy instability in gravity waves, *ocean engineering*, Vol. 34, 2007, pp. 261-274
- pp. 261-274.
- M. Keshmiri, M. Sadigh, M. Goodarzi, Dynamic analysis of Wave [4] Measurement Buoy, 6th conference on mechanical engineering, Iran, 2008. (In Persian)
- [6] M. K., Ochi, Ocean Waves: The Stochastic Approach, Cambridge Ocean Technology Series, 2005.
 [6] T. Sarpkaya, M. Isaacson, Mechanics of wave forces on offshore structures, Van NostrandReinhold Company, 1981, Fig. 7.24.
 [7] J. F. Wilson, Dynamics of Offshore Structures, John Wily & Sons. Inc, 2003, Fig. 45 Eig a 25
- 6.5, Fig. 7.5. [8] H.M.*Patel, Dynamics of Offshore Structure*, Butterworth & Co. Ltd., 1989, Fig.
- 4.14.