



مرکز پژوهشی مطالعات دریایی

سازمان بنادر و دریانوردی به عنوان تنها مرجع حاکمیتی کشور در امور بندری، دریایی و کشتی‌رانی بازرگانی به منظور ایفای نقش مرجعیت دانشی خود و در راستای تحقق راهبردهای کلان نقشه جامع علمی کشور مبنی بر "حمایت از توسعه شبکه‌های تحقیقاتی و تسهیل انتقال و انتشار دانش و سامان‌دهی علمی" از طریق "استانداردسازی و اصلاح فرایندهای تولید، ثبت، داوری و سنجش و ایجاد بانک‌های اطلاعاتی یکپارچه برای نشریات، اختراعات و اکتشافات پژوهشگران"، اقدام به ارایه این اثر در سایت SID می‌نماید.



سازمان بنادر و دریانوردی



چکیده

برای مطالعه و بررسی امواج ایستای تشکیل شده در مقابل یک موجشکن قائم در دو حالت بستر افقی و شیبدار یک مدل عددی دو بعدی توسعه داده شده است. اجزای تشکیل دهنده اصلی این مدل عددی عبارتند از معادلات نویر-استوکس متوسط گیری شده توسط رینولدز (RANS)، یک مدل آشفتگی $k-\epsilon$ و روش حجم سیال (VOF) برای تخمین تغییرات سطح آزاد سیال. با قرار دادن یک شرط مرزی توام تولید کننده-جذب کننده در ناحیه ورودی محدوده محاسباتی امواج مورد نظر تولید شده به داخل محدوده محاسباتی گسیل می شوند و عین حال امواج بازتابیده شده جذب می گردند. در ابتدای کار نتایج حاصل از مدل عددی با نتایج تجربی Shaosong و همکاران در (۲۰۰۱) تطبیق داده شد و از صحت عملکرد مدل اطمینان کافی حاصل شد. نتایج مطالعات صورت گرفته به کمک مدل عددی نشان داد که الگوی جریانهای پایدار تشکیل شده در حالت بستر افقی یکنواخت می باشد در حالیکه فاصله بین سلولهای چرخشی سیال روی بستر شیبدار با تغییر عمق آب تغییر می کند. همینطور مشاهده شد که شدت آشفتگی در حالت بستر مایل بیشتر از حالت بستر افقی می باشد.

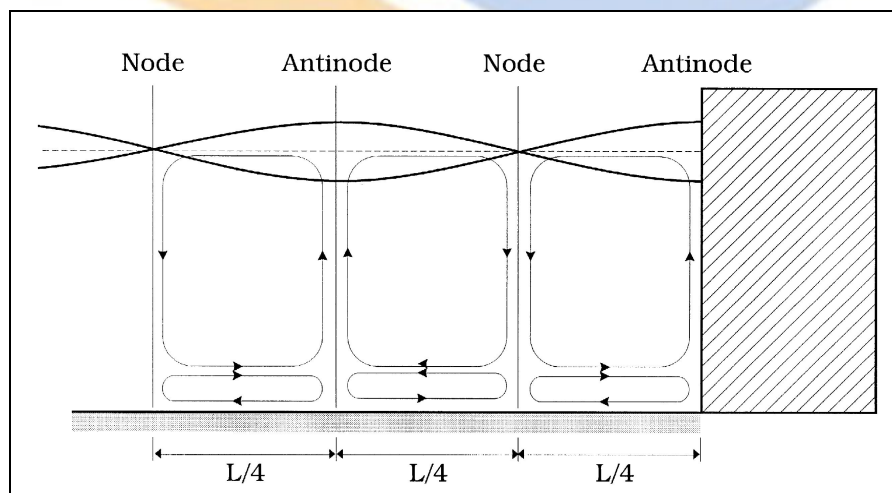
کلمات کلیدی:

امواج ایستا، موجشکن قائم، جریانهای پایدار، RANS، مدل آشفتگی $k-\epsilon$ و VOF

۱- مقدمه

امواج ایستا بطور معمول در مقابل موجشکن های قائم مشاهده می شوند، خصوصیات امواج ایستا به پارامترهای مختلفی بستگی دارد از جمله مشخصات موج اولیه، شکل موجشکن، ضریب بازتابش موجشکن و شیب بستر. Carter و همکاران (۱۹۷۳) جزء اولین کسانی بودند که متوجه تاثیر امواج ایستا بر شکل گیری الگوی موازی آبشستگی/ترسیب در پشته های ماسه ای موازی با خطوط ساحلی شدند. آنها همچنین اشاره کردند که امواج ایستا محدوده ای از جریانات پایدار چرخشی در مقابل موجشکن پدید می آورند (شکل ۱) که به طور مستقیم بر الگوی آبشستگی/ترسیب بستر ماسه ای در مقابل موجشکن تاثیر می گذارند.

در سال (۱۹۸۱)، Xie در ضمن مطالعاتی که روی الگوی آبشستگی بستر ماسه ای در مقابل موجشکن قائم تحت اثر امواج ایستا انجام داد سرعت ماگزیمم اربیتال ذرات آب را نیز اندازه گیری کرد. Shaosong و همکاران (۲۰۰۱) خصوصیات دینامیکی و سینماتیکی امواج ایستا و نیمه ایستا شامل سرعت ماگزیمم افقی ذرات آب را مورد مطالعه قرار دادند.



شکل ۱- الگوی جریانهای پایدار چرخشی در مقابل موجشکن قائم، Fredsoe و Sumer (۲۰۰۰)

پیچیدگی زیاد پدیده های موثر در اندرکنش امواج و موجشکن قائم و محدودیت در امکانات آزمایشگاهی محققان را به سمت مدلسازی های عددی سوق داده است. Gislason و همکاران (۲۰۰۰) یک مدل دوبعدی نویر استوکس برای شبیه سازی امواج ایستا در مقابل موجشکن قائم

ارائه کردند. آنها برای مدل‌سازی حرکت سطح آزاد از تابع ارتفاع استفاده کردند و با استفاده از متوسط گیری سرعت در طول یک پریود موج نتایجی را برای جریانهای چرخشی پایدار ارائه نمودند. حاجی ولیئی و همکاران (۲۰۰۸) یک مدل دو بعدی عددی بر پایه معادلات متوسط گیری شده نویر-استوکس (RANS) برای مدل‌سازی امواج ایستا در مقابل یک موجشکن قائم ارائه نمودند. نتایج تجربی Xie (۱۹۸۱) برای صحت سنجی مدل استفاده شد.

در این مقاله هدف ما توسعه مدل عددی قبلی برای مطالعه اثر شیب بستر روی خصوصیات هیدرودینامیکی امواج ایستا در مقابل یک موجشکن قائم است. برای اطمینان از صحت عملکرد مدل عددی از دیتاهای سرعت آزمایش Shaosong و همکاران در (۲۰۰۱) استفاده شده است.

۲- مدل عددی

معادلات RANS که سرعت متوسط را بیان می کنند به همراه مدل آشفتگی $k-\varepsilon$ برای شبیه سازی میدان سرعت آشفته مقابل موجشکن قائم بدنه اصلی مدل عددی را تشکیل می دهند. معادلات حاکم عبارتند از معادلات پیوستگی جرم، ممتوم و معادلات $k-\varepsilon$:

$$\frac{\partial U}{\partial x} + \frac{\partial W}{\partial z} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial U}{\partial t} + U \frac{\partial U}{\partial x} + W \frac{\partial U}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left(2\Gamma \frac{\partial U}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\Gamma \left(\frac{\partial U}{\partial z} + \frac{\partial W}{\partial x} \right) \right) \quad (2)$$

$$\frac{\partial W}{\partial t} + U \frac{\partial W}{\partial x} + W \frac{\partial W}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial z} - g + \frac{\partial}{\partial x} \left\{ \Gamma \left(\frac{\partial U}{\partial z} + \frac{\partial W}{\partial x} \right) \right\} + \frac{\partial}{\partial z} \left(2\Gamma \frac{\partial W}{\partial z} \right) \quad (3)$$

$$\frac{\partial k}{\partial t} + U \frac{\partial k}{\partial x} + W \frac{\partial k}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left[\left(\nu + \frac{\nu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[\left(\nu + \frac{\nu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial z} \right] + p_r - \varepsilon \quad (4)$$

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} + U \frac{\partial \varepsilon}{\partial x} + W \frac{\partial \varepsilon}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left[\left(\nu + \frac{\nu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[\left(\nu + \frac{\nu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial z} \right] + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} P_r - C_{2\varepsilon} \frac{\varepsilon^2}{k} \quad (5)$$

$$p_r = \nu_t \left[2 \left\{ \left(\frac{\partial U}{\partial x} \right)^2 + 2 \left(\frac{\partial W}{\partial z} \right)^2 \right\} + \left(\frac{\partial U}{\partial x} + \frac{\partial W}{\partial z} \right)^2 \right] \quad (6)$$

$$\nu_t = C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \quad \Gamma = \nu + \nu_t \quad (7)$$

در معادلات بالا U, W سرعت متوسط در راستای x, y اختلاف فشار با فشار هیدروستاتیک، k انرژی جنبشی آشفتگی، ε نرخ اتلاف آشفتگی P_r تولید انرژی آشفتگی در اثر تنش برشی، Γ ویسکوزیته موثر، ν ویسکوزیته سینماتیک، ν_t ویسکوزیته چرخابه ای سینماتیک^۱، ρ چگالی سیال و $C_\mu, C_{1\varepsilon}, C_{2\varepsilon}, C_{3\varepsilon}, \sigma_k, \sigma_\varepsilon$ مقادیر ثابت مدل $k-\varepsilon$ ارائه شده توسط Spalding و Launder در (۱۹۷۴) می باشند (جدول ۱).

جدول ۱- مقادیر ثابت مدل $k-\varepsilon$ Spalding و Launder (۱۹۷۴)

C_μ	$C_{1\varepsilon}$	$C_{2\varepsilon}$	σ_k	σ_ε
0.09	1.44	1.92	1.0	1.3

۲-۱- مقادیر مرزی و اولیه مدل

برای شرایط اولیه شبیه سازی شرط سکون با سرعتهای متوسط برابر صفر و فشار بصورت هیدرودینامیک در نظر گرفته شده است، شرایط اولیه میدان آشفتگی بر اساس تحقیقات Lin در (۱۹۹۸) در نظر گرفته شده اند:

$$k = \frac{1}{2} u_i^2, \quad u_i = \delta c_i \quad \delta = 0.0025 \quad (8)$$

$$\varepsilon = C_d \frac{k^2}{\nu_t}, \quad \nu_t = \zeta \nu, \quad \zeta = 0.1 \quad (9)$$

در روابط فوق C_i تندی موج در مرز ورودی، C_d ضریب درگ و δ و ζ اعداد ثابت هستند.

¹- Kinematic eddy viscosity

شرایط مرزی شامل چهار ناحیه می شود: سطح آزاد، مرز کف و مرزهای ورودی و خروجی. برای تعقیب نوسانات سطح آزاد از روش حجم سیال^۲ (VOF) تدوین شده توسط Hirt و Nichols (۱۹۸۱) استفاده شده است، معادله تغییرات F ، که نشان دهنده نسبت پر حجم المان به حجم کل سلول می باشد به صورت زیر می باشد:

$$\frac{\partial F}{\partial t} + U \frac{\partial F}{\partial x} + W \frac{\partial F}{\partial z} = 0 \quad (10)$$

در مرز کف شرط مرز آشفته قرار داده شده است. جذب امواج بازتابیده شده از داخل محدوده محاسباتی از شرایط مرزی بازتابش ضعیف توصیه شده توسط Petit و همکاران (۱۹۹۴) استفاده شده است تا بطور پیوسته امواج بازتابشی از داخل محدوده محاسباتی را جذب کند و بدین وسیله مانع تداخل این امواج با امواج ورودی گردد:

$$\frac{\partial R_r}{\partial t} + C_r \frac{\partial R_r}{\partial x} = 0 \quad (11)$$

$$R_r = R_t - R_{in} \quad (12)$$

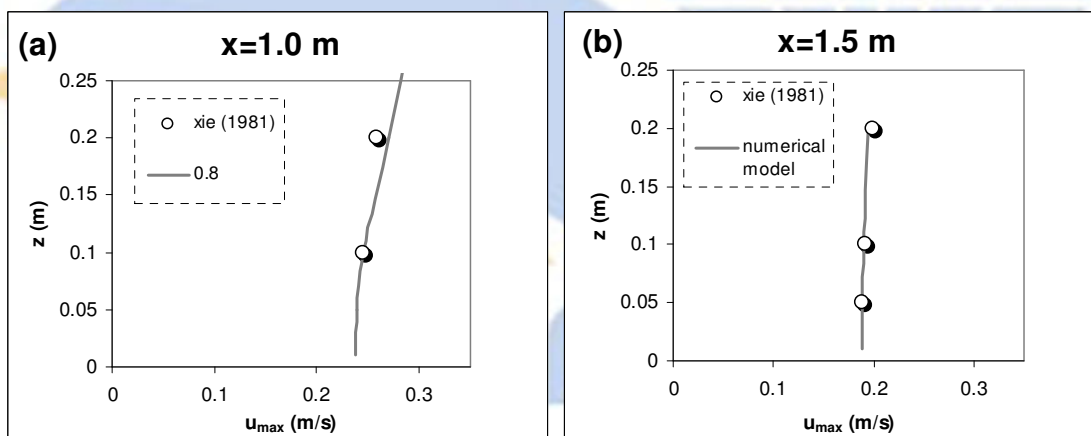
در فرمولهای بالا C_r تندی موج بازتابشی، R_t ، R_r و R_{in} به ترتیب مقادیر بازتابشی، محاسبه شده توسط برنامه و مقدار تئوری مقادیر سرعت، فشار و سطح آزاد می باشند. مقدار تئوری موج استفاده شده در برنامه قابل محاسبه است. در مرز خروجی برای شبیه سازی موجشکن قائم شرط مرزی دیوار زبر قرار داده شده است.

۲-۲- صحت سنجی مدل

برای صحت سنجی مدل نتایج حاصل از مدل عددی با دیتاهای سرعت سه آزمایش از مجموعه آزمایش های Xie (۱۹۸۱) مقایسه شده است و بطور کلی همخوانی خوبی بین این دو مشاهده شده است. شکل (۲) مقایسه بین سرعت افقی ماگزیمم را برای یکی از این تست ها نشان می دهد. جدول (۲) شرایط فیزیکی مدل را نشان می دهد.

جدول ۲- شرایط فیزیکی مدل عددی بر اساس آزمایش Xie (۱۹۸۱)

Incident wave characteristics			
H(m)	T(s)	d(m)	L(m)
0.05	2.41	0.45-0.3	4.00



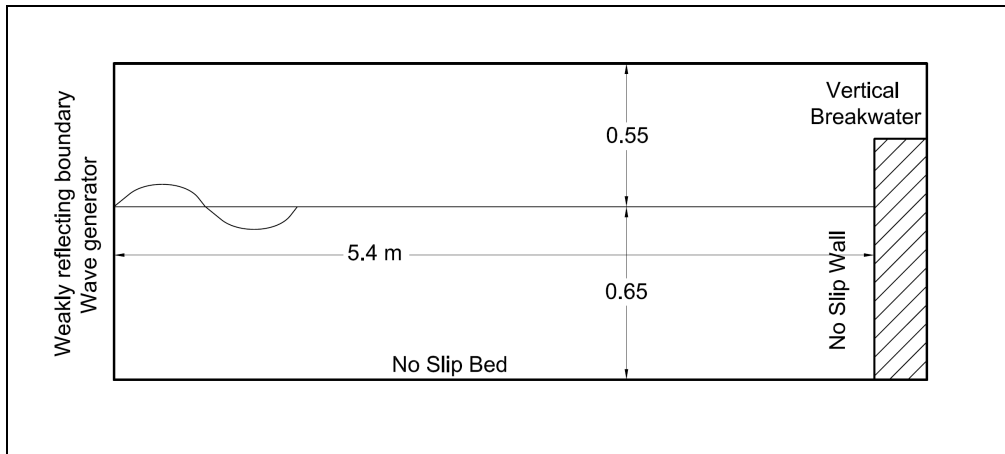
شکل ۲- مقایسه بین سرعتهای افقی ماگزیمم محاسبه شده توسط مدل و دیتاهای آزمایش Xie (۱۹۸۱)

۳- نتایج و بحث

برای مطالعه تفاوت بین الگوی امواج ایستا در مقابل یک موجشکن قائم قرار گرفته روی بستر افقی و صاف دو شبیه سازی جداگانه انجام شده است. در مورد اول یا موجشکن قرار گرفته روی بستر افقی مشخصات فیزیکی مدل همانند مدل آزمایشگاهی Shaosong و همکاران در (۲۰۰۱) انتخاب شده است و برای مورد دوم یا موجشکن قرار گرفته روی بستر شیبدار شرایط فیزیکی همانند مورد اول ولی با شیب بستر ۱:۲۵ انتخاب شده است. شکل (۳) محدوده محاسباتی طراحی شده بر اساس آزمایش Shaosong و همکاران (۲۰۰۱) را نشان می دهد. جدول (۳) نیز شرایط فیزیکی دو مدل را بیان می کند.

² Volume of Fluid

در آزمایش یاد شده سرعت ماگزیمم جریان در فاصله افقی ۰/۶۷۵ متر از موجشکن و ۰/۲۵ متر از کف اندازه گیری شده است، سرعت ماگزیمم اندازه گیری شده برابر ۰/۳۱۰ متر بر ثانیه و سرعت ماگزیمم محاسبه شده توسط مدل عددی برابر ۰/۳۱۷ متر بر ثانیه می باشد که یک بار دیگر صحت عملکرد مدل را تایید می کند.

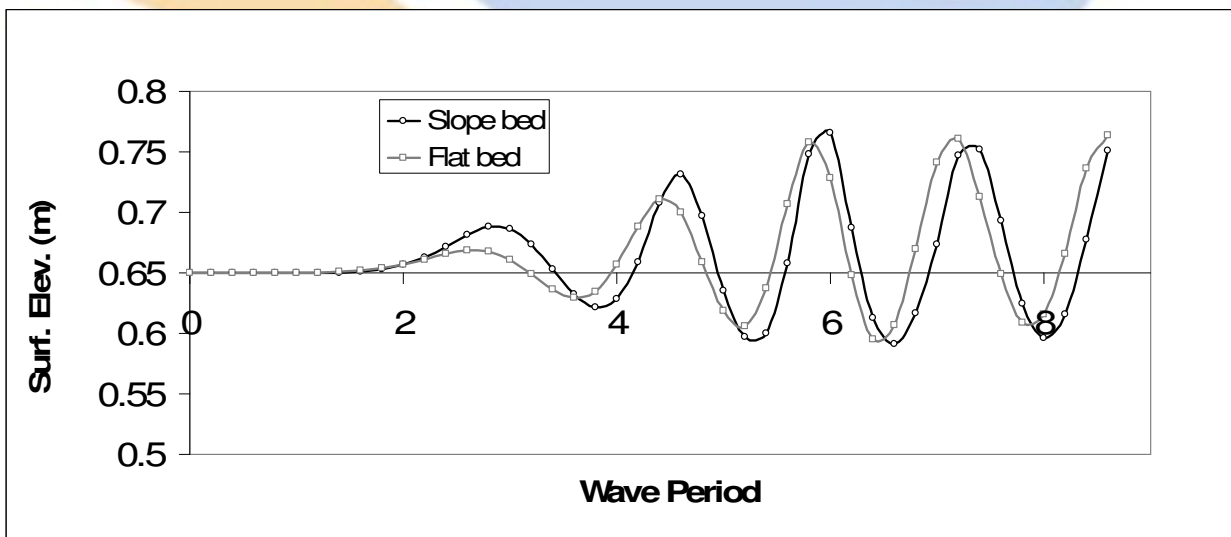


شکل ۳- طرح شماتیک محدوده محاسباتی بر اساس آزمایش Shaosong و همکاران (۲۰۰۱)

جدول ۳- شرایط فیزیکی مدل

Test No.	T (s)	L (m)	H (m)	d (m)	Bed slope
1	1.4	2.7	0.09	0.65	1:∞
2	1.4	2.7	0.09	0.65	1:25

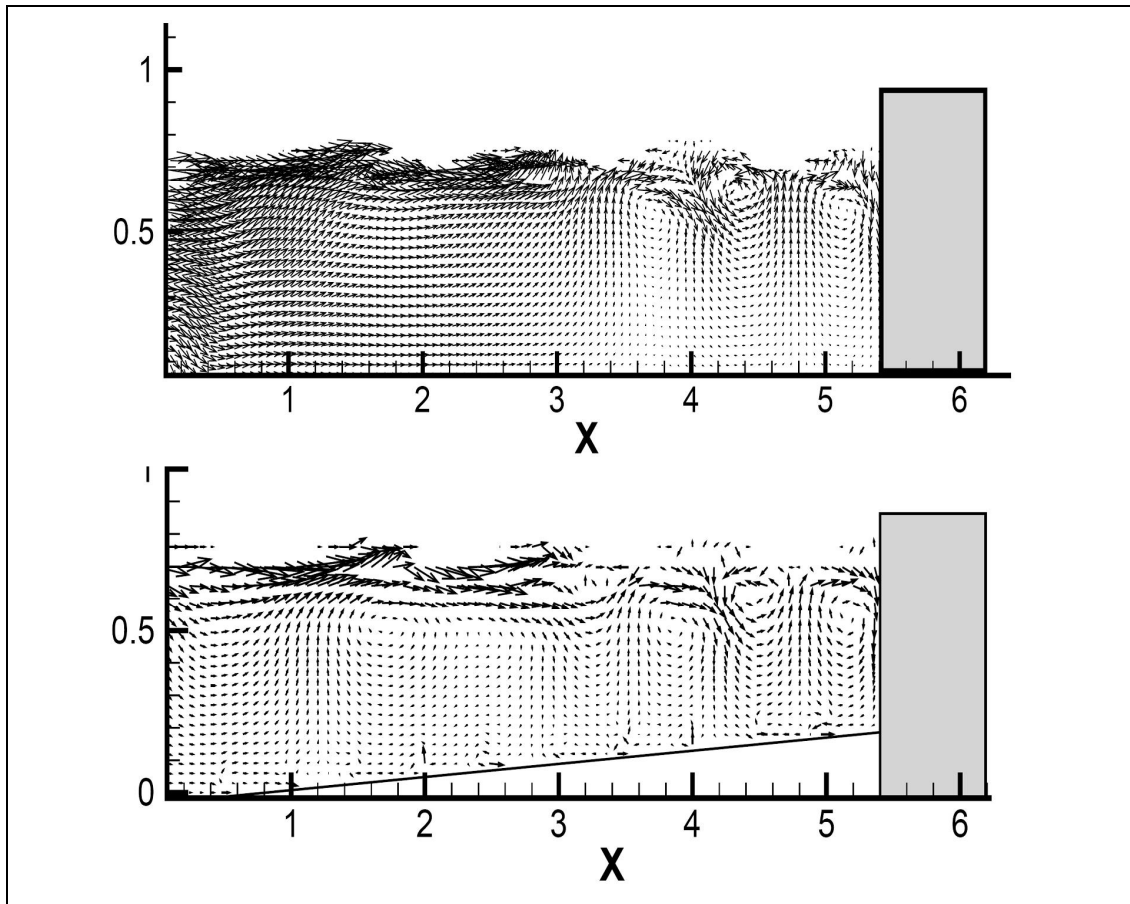
شکل (۴) تغییرات سطح آزاد آب را در فاصله ۱/۳۵ متری از موجشکن را که از نظر تئوری محل اولین شکم امواج ایستا بعد از موجشکن است را برای هر دو مدل سازی نشان می دهد. همانطور که در شکل دیده می شود در هر دو حالت تغییرات سطح آزاد از الگوی مشابهی پیروی می کند، با این وجود ارتفاع موج در حالت بستر شیبدار قدری بیشتر است و در حالت بستر افقی نسبت به بستر شیبدار تاخیر فازی برابر ۰/۲ ثانیه برابر یک هفتمم پیروی موج مشاهده می شود. این پدیده را می توان با وقوع ژرفاکاستگی روی بستر شیبدار توجیه نمود که در عین حال با کاهش طول موج و افزایش ارتفاع موج توأم می باشد.



شکل ۴- تغییرات سطح آزاد آب در فاصله نیم طول موج از موجشکن (شکم امواج ایستا)

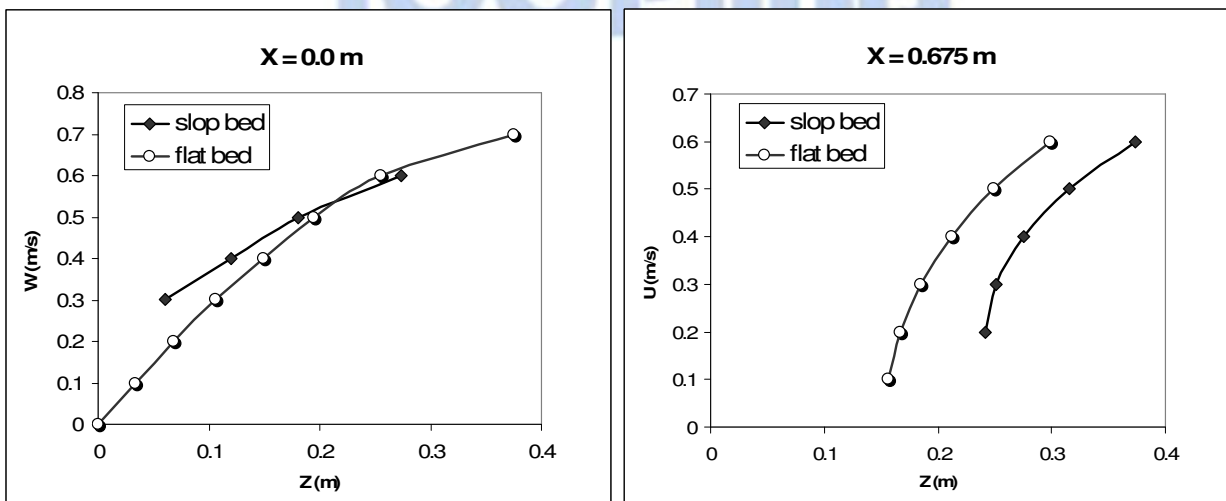
شکل (۵) الگوی جریانهای چرخشی دائمی شکل گرفته بر اثر امواج ایستا در مقابل موجشکن قائم را در هر دو حالت ذکر شده نمایش می دهد. برای بدست آوردن الگوی این جریانها از سرعت ذرات آب در طول یک پیروی موج میانگین گیری به عمل آمد، شکل (۵) نشان می دهد که این جریانها در حالت بستر افقی شکل منظم تری نسبت به حالت بستر شیبدار دارند و همانطور که در شکل مشاهده می شود در حالت بستر شیبدار

فاصله سلولهای چرخشی از یکدیگر ثابت نمی باشد و با تغییر عمق آب تغییر می کند، به بیان دیگر در این حالت پدیده ژرفکاستگی باعث تغییر طول موج با عمق آب می شود.

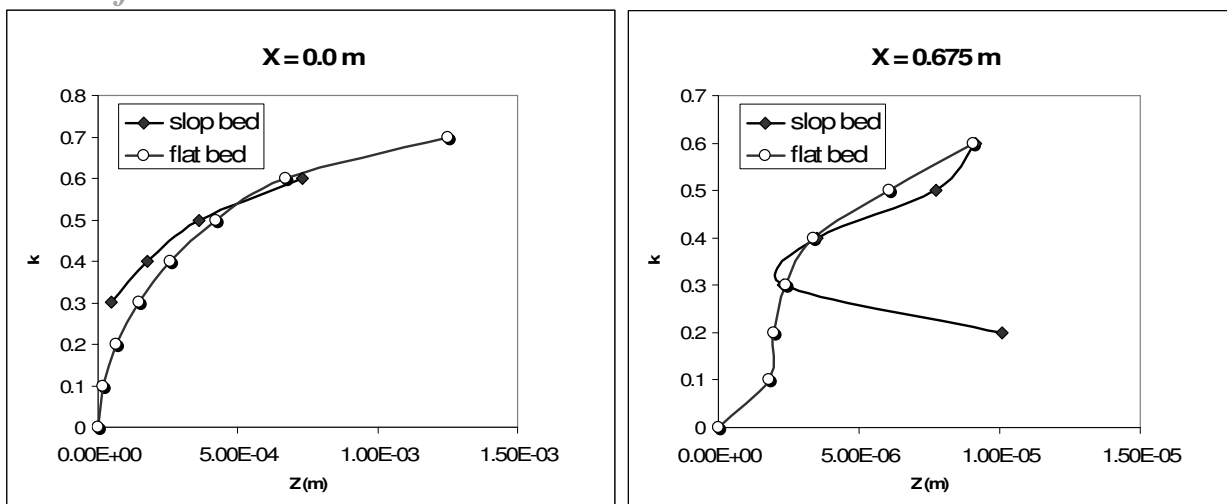


شکل ۵- الگوی جریانهای پایدار مقابل موجشکن قائم

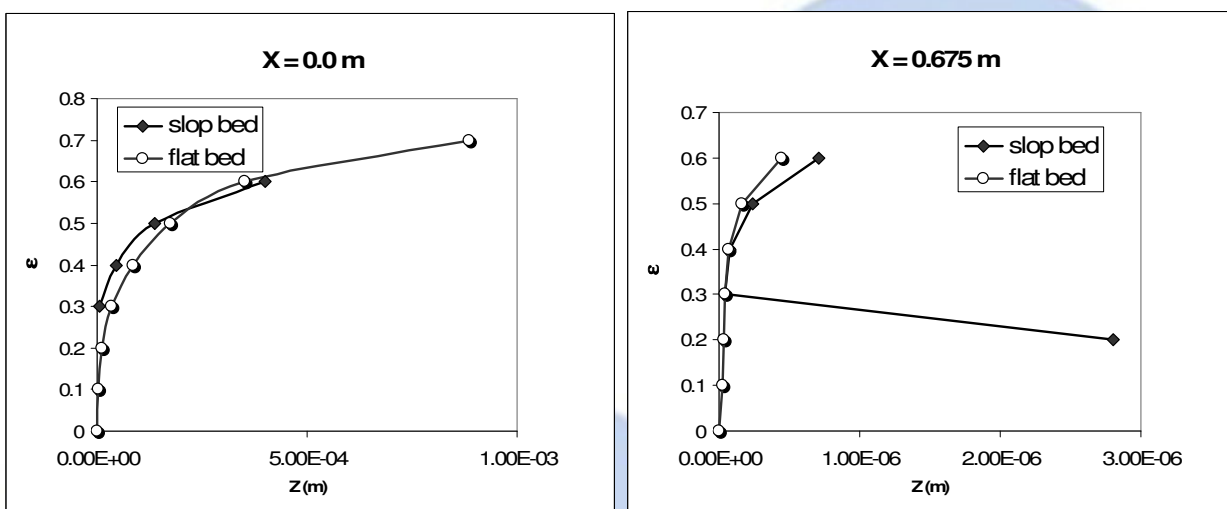
شکل های ۶ تا ۸ مقایسه بین توزیع سرعت افقی وقائم، انرژی جنبشی آشفتهگی و نرخ استهلاک آشفتهگی در عمق را بین دو حالت یاد شده در زمان $t=8.4$ s که برابر ششمین پریود موج از شروع محاسبات است نشان می دهد. این مقایسه نشان می دهد که سرعت ذرات آب در حالت بستر شیبدار کمی بیشتر از حالت بستر افقی می باشد، شدت انرژی جنبشی ناشی از آشفتهگی و نرخ اتلاف انرژی در نزدیکی موجشکن در هر دو حالت نسبتاً مشابه است اما در محل گره امواج ایستا تفاوت قابل توجهی مشاهده می گردد، در نزدیکی بستر تفاوت بین انرژی آشفتهگی از مرتبه دوم می باشد که خود نشان دهنده شکل گیری جریان آشفته قابل ملاحظه ای در نزدیکی بستر شیبدار می باشد.



شکل ۶- مقایسه سرعت افقی و قائم در مقابل موجشکن قائم و در محل قرارگیری گره امواج ایستا روی بستر افقی و شیبدار



شکل ۷- مقایسه توزیع انرژی آشفتگی در مقابل موجشکن قائم و در محل قرارگیری گره امواج ایستا روی بستر افقی و شیبدار



شکل ۸- مقایسه توزیع نرخ استهلاک انرژی آشفتگی در مقابل موجشکن قائم و در محل قرارگیری گره امواج ایستا روی بستر افقی و شیبدار

۴- نتیجه گیری

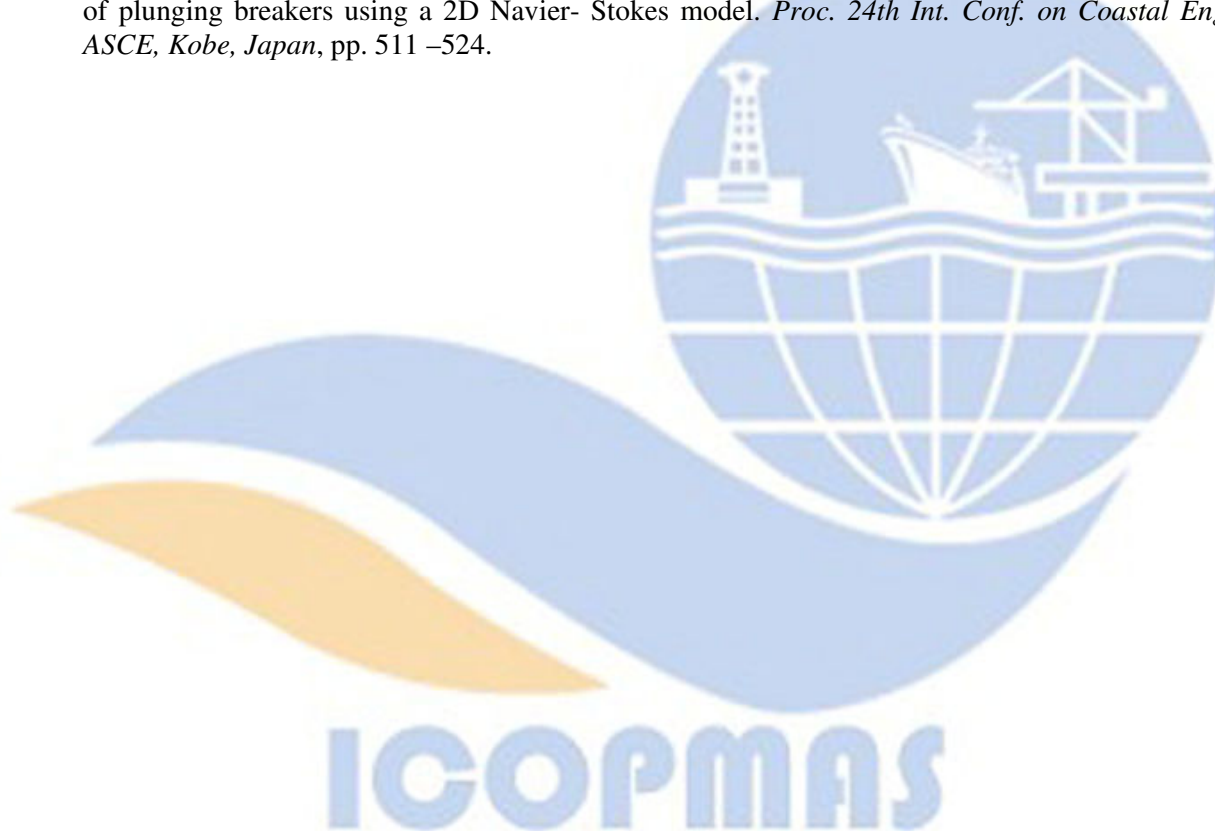
در این تحقیق یک مدل عددی بر اساس معادلات RANS توسعه داده شد تا بوسیله آن شکل گیری امواج ایستا در مقابل موجشکن قائم قرار گرفته روی بستر افقی و شیبدار شبیه سازی شود و به این وسیله تاثیر شیب بستر روی الگوی امواج ایستا مورد بررسی قرار گیرد. شدت آشفتگی به کمک مدل آشفتگی $k-\epsilon$ منظور شده است و تغییرات سطح آزاد به کمک روش VOF محاسبه شده است، نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که:

- الگوی سلولهای جریان چرخشی پایدار در حالت بستر صاف نسبتاً یکنواخت است، حال آنکه فاصله سلولها در حالت بستر شیبدار نسبت به عمق تغییر می کند.
- از طرف دیگر سرعتهای محاسبه شده اربیتالی افقی و عمودی در حالت بستر شیبدار قدری بیشتر است و مقدار انرژی جنبشی و اتلاف آن در نزدیکی بستر در حالت بستر شیبدار بیشتر است که نشان دهنده تاثیر بستر شیبدار و پدیده ژرفاکاستگی در شکل گیری آشفتگی می باشد.

مراجع

1. Carter, T.G, Liu, L.F.P. and Mei, C.C. (1973): Mass transport by waves and offshore sand bedforms. *Journal of Waterway Harbors and Coastal Engineering, ASCE*, Vol. 99, No. WW2, 165-184.
2. Xie, S.L. (1981): Scouring pattern in front of vertical breakwaters and their influence on the stability of the foundation of the breakwaters. *Report, Department of civil Engineering, Delft University of technology, Delft, Netherlands*, September, 61 p.

3. Gislason, K., Fredsøe, J., Mayer, S. and Sumer, B.M. (2000): The mathematical modeling of the scour in front of the toe of a rubble-mound breakwater. In: Book of Abstracts, 27th International Coastal Engineering Conference, ASCE, Sydney, Australia, Vol. 1, Paper No. 130.
4. Shaosong, Z., Cornett, A. and Yanbao, L., (2001): Experimental study of kinematic and dynamical characteristics of standing waves. Proc. 29th IAHR conference, Beijing, China.
5. فاطمه حاجی ولیئی، عباس یگانه بختیاری و علی اکبر هاشمی جوان، (۱۳۸۷)، شبیه سازی عددی میدان جریان حاصل از برخورد امواج در مقابل یک موجشکن کیسونی قائم، چهارمین کنگره ملی مهندسی عمران، تهران، ایران.
6. Sumer, B. M., Fredsøe, J., 2000. Experimental study of 2D scour and its production at a rubble-mound breakwater. *Journal of Coastal Engineering*, Vol. 40, pp. 59-87.
7. Hirt, C. W., and Nichols, B. D., (1981): Volume of fluid (VOF) method for the dynamics of free boundaries. *Journal of Computational Physics*, 39, 201-225.
8. *Report of the Port and Harbor Research Institute*, 23, 3-52, (in Japanese).
9. Launder, B.E. and Spalding, D.B., (1971): The numerical computation of turbulent flow. *Journal of Computational Mechanic in Application of Mechanic and Engineering*, No. 3, pp. 269-289.
10. Lin, P., (1998): Numerical modeling of breaking waves, PhD thesis, *Cornell University*.
11. Petit, H.A.H, van Gent, M.R.A., van den Boscj, P., (1994): Numerical simulation and validation of plunging breakers using a 2D Navier- Stokes model. *Proc. 24th Int. Conf. on Coastal Eng. ASCE, Kobe, Japan*, pp. 511 –524.



A Comparison of Standing Waves Model in Front of Vertical Breakwater in Even and Sloped Surface

*F. Haji,
A. Bakhtiari,
H. Gotoh*

Abstract

Standing waves are typically observed in front of vertical breakwaters. The characteristics of such waves depend on certain factors including initial wave properties, breakwater's shape and the slope of surface. To study on standing waves that are created in front of vertical breakwaters in even and sloped surfaces needs a numerical 2D model. Noise-Stocks equation and Volume of Fluid (VOF) are building blocks of such model. Creating a boundary condition simultaneous with producer can send the waves that have been created in the computational boundary from one hand and attract the radiated waves from other. At first, outcome of the numerical analysis is then compared to the experimental results of Shaosong et al (2001) and by this way, their accuracy was authenticated.

Keywords: *sanding waves, vertical breakwaters, volume of fluid, numerical 2D model*