



مرکز بررسی‌ها و 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



دهمین همایش بین المللی سواحل، بنادر و سازه های دریایی  
 ۲۹ آبان لغایت ۱ آذر ۹۱ (تهران - ایران)



بررسی آزمایشگاهی اندرکنش امواج آبی سطحی و ورق های شناور روی آب

علی احمدی آذری<sup>۱</sup>

کلید واژه: موج آبی، روش بسطهای تابع ویژه تطبیقی، ورق شناور محدود، ضریب عبوری

مقدمه

در این تحقیق یک مدل آزمایشگاهی جهت بررسی اندرکنش امواج آبی سطحی و ورق های شناور روی آب توسعه داده شده است. مایع مورد بررسی همگن، غیرچسبنده و غیرقابل تراکم فرض شده است. با بررسی یک ورق شناور محدود به عنوان سازه شناور بزرگ که با کابلپهائی به کف فلوم آزمایشگاهی متصل شده است در عمق های آبخور مختلف، جابجائی های سازه شناور به وسیله سنسورهای صوتی و نوسانات سطح آزاد آب به وسیله سنسورهای امیدانسی اندازه گیری گردید. نتایج نشان دادند که مقدار جابجائی سازه با طول موج و ارتفاع موج نسبت مستقیم و با عمق آبخور نسبت عکس دارد. در ادامه با قرار دادن سنسورهای امیدانسی در قبل و بعد از ورق شناور محدود، نوسانات سطح آزاد آب بررسی گردید و به کمک آن ضریب عبوری آزمایشگاهی محاسبه شد. نتایج آزمایشگاهی نشان دادند که با افزایش طول موج و پیروی ضریب عبوری افزایش می یابد. همچنین با استفاده از تئوری MMEE (روش بسطهای تابع ویژه تطبیقی) نیز ضریب عبوری محاسبه گردید، که تطابق مناسبی با نتایج آزمایشگاهی از خود نشان می دهد.

سازه های شناور

در دو دهه اخیر راهکارهای متعددی برای پرداختن به اندرکنش امواج آبی با یک ورق الاستیک، که اکثراً آنها را می توان در مقالات [۱-۳] یافت، ارائه شده است. همانطور که مشخص است، از روش بسطهای تابع ویژه تطبیقی (MMEE) اغلب در تحلیل مسایل مهندسی استفاده می شود. این روش، از روش جداسازی متغیرها که مرحله محوری آن تعیین ضرایب بسط است سرچشمه می گیرد. [۴ و ۵] از این روش برای بررسی اندرکنش امواج سطحی یک ناحیه یخ پوش استفاده نمودند، و ضرایب بسط را به کمک روش تابع خطا که شامل سه ضریب لاگرانژ قراردادی است تعیین نمودند.

فرضیات اولیه بکار رفته در آنالیز سازه های شناور

در آنالیز هیدروالاستیک سازه های شناور بزرگ نوع پانتون فرضیاتی به کار رفته است [۶]. سازه شناور به عنوان صفحه نازک الاستیک با گوشه های آزاد می باشد. سیال غیرقابل تراکم، غیریویز و دارای حرکت غیرچرخشی می باشد که در این صورت پتانسیل سرعت می تواند بر مساله حاکم باشد. دامنه موج برخوردی و حرکت سازه شناور هر دو کوچک بوده و حرکت قائم سازه قابل توجه می باشد.

## مدل فیزیکی آزمایش

مدل آزمایشگاهی سازه شناور (شکل ۱) ، یک سازه شناور از جنس چوب MDF می باشد. جرم این مدل ۱۳ کیلوگرم و به شکل مکعب مستطیل با طول ۱۳۰ سانتی متر و عرض ۴۰ سانتی متر و ارتفاع ۵ سانتی متر می باشد.



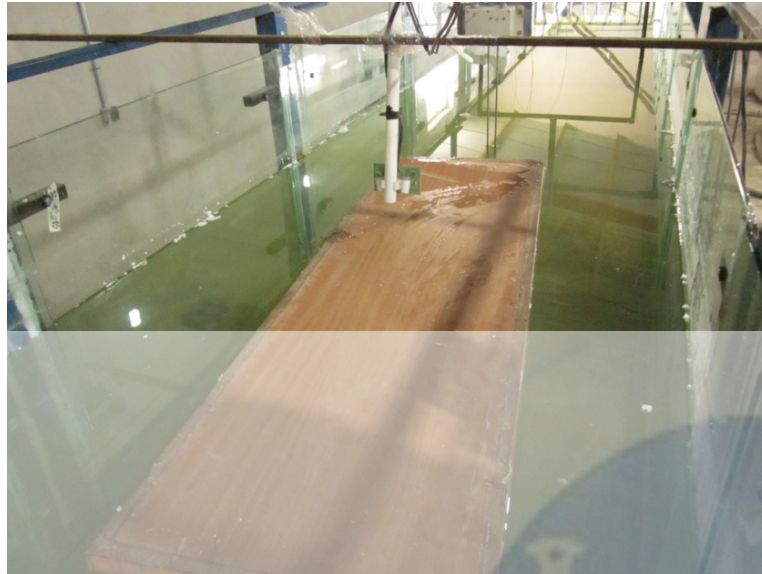
شکل ۱) نمای کلی از فلوم موج ساز. این فلوم دارای طول ۲۰ متر، عرض بیرون به بیرون ۱ متر و ارتفاع ۱ متر می باشد.

سازه شناور تحت وزن خود دارای ۲/۵ سانتی متر عمق آبخوردگی می باشد (شکل ۲). سازه در دو عمق آبخور ۳ و ۴ سانتی متر قرار گرفت.



شکل ۲) مدل آزمایشگاهی سازه شناور بزرگ که تحت اثر وزن خود دارای عمق آبخور ۲,۵ سانتیمتر می باشد. جنس این سازه از چوب M.D.F بوده و بصورت مکعب مستطیل تو خالی ساخته شد. فضای خالی داخل مدل نیروی شناوری لازم برای کار در عمق آبخور بالاتر را فراهم می کند.

پس از کالیبراسیون شش نوع موج سینوسی و سه نوع طیف Jonswap با  $\gamma = 3/3$  و با ارتفاع های  $H_s = 3\text{cm}, 5\text{cm}, 6\text{cm}$  به مدل تابیده شد. تغییر مکان های ورق شناور توسط سنسورهای صوتی و نوسانات سطح آب به وسیله سنسورهای امپدانسی که هم قبل و هم بعد از ورق قرار گرفته بودند، اندازه گیری گردید (شکل های ۳ و ۴).



شکل ۳) نمایش چگونگی سنجش جابجایی قائم مدل سازه شناور در فلوم آزمایشگاه مرکز علوم. این سنسور جابجایی مرکز مدل را تحت موج وارده ثبت می‌کند. این سنسور خود فاقد حرکت است

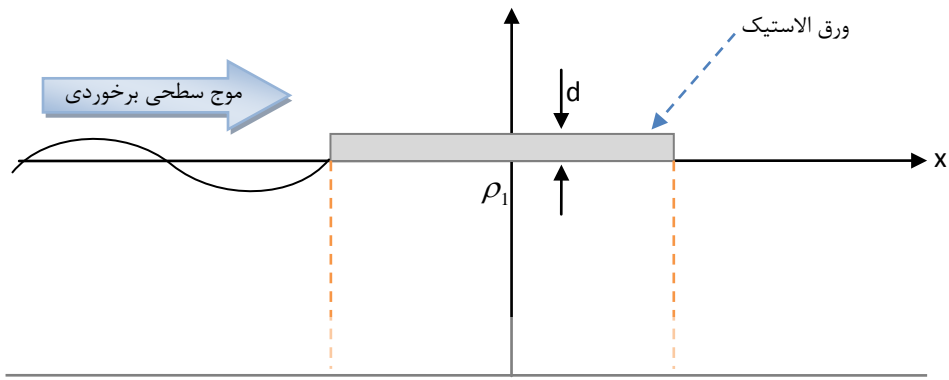


شکل ۴) نمودار جابجایی قائم سازه شناور بر حسب سانتی متر تحت طیف موج Jonswap با  $H_s = 3cm, X = 150cm, d = 3cm$  برای رسم این نمودار از داده های بدست آمده از سنسور صوتی استفاده شد. این سنسور در هر ثانیه ۳ داده ثبت می‌کند.

### مروری بر روش MMEE (روش بسط‌های تابع ویژه تطبیقی)

در این روش با توجه به محدود بودن ورق انتخابی (شکل ۵) سه نوع تابع پتانسیل انتخاب می‌گردد. سپس با اعمال شرایط لبه ای خمش و برش صفر و شرایط تطبیقی فشار و سرعت در دو سوی ورق و معرفی ضرب داخلی جدیدی، با حل  $4N + 8$  معادله و مجهول به وسیله دستگاه معادلات هم زمان، ضرایب مجهول تابع پتانسیل محاسبه شده و از روی آن می‌توان ضریب انتقال را به صورت عددی به راحتی محاسبه نمود (فرمول های شماره ۱ تا ۱۲).





شکل ۵) ورق شناور محدود تحت اثر موج سطحی برخوردی

$$\phi^L(x, z) = [I_o^L e^{iko(x+L)} + R_o^L e^{-iko_1(x+L)}] z_o + \sum_{m=1}^{\infty} R_n^L e^{-ikn(x+L)} z_n = I_o^L e^{iko(x+L)} z_o + \sum_i R_i^L e^{-ki(x+L)} z_i \quad (1)$$

$$\phi^M(x, z) = [T_o^M e^{iko(x+L)} + R_o^M e^{-iko(x-L)}] Y_{o1} + \sum_{n=1}^{\pi} [T_n^M e^{-ikn(x+L)} + R_n^M e^{-ikn(x-L)}] Y_n \quad (2)$$

$$+ \sum_{n=1}^{\infty} [T_{o1}^M e^{ikn(x+L)} + R_n^M e^{-ikn(x-L)}] Y_n = \sum_j [T_j^M e^{ikj(x+L)} + R_j^M e^{-ikj(x-L)}] Y_j,$$

$$\phi^R(x, z) = T_o^R e^{iko(x-L)} z_{o1} + \sum_{m=1}^{\infty} T_n^R e^{ikn(x-L)} z_n = \sum_i T_i^R e^{iki(x-L)} z_i \quad (3)$$

که در آن  $L$  نصف طول ورق و  $I_o^L, R_i^L, R_j^M, T_j^M, T_i^R$  ضرایب بسط هستند که باید تعیین شوند.

$$Y_j(z) = v(kj, z) \quad (4)$$

$$v(k, z) = \frac{1}{2k\gamma \cosh kH} \{K(1+\gamma) \cosh k(H+z) + (1-\gamma)[K \cosh k(h-h_2+z) + k(\sinh k(h-h_2+z) - \sinh k(H+z))]\} \quad (5)$$

که در آن وزن  $\gamma$  وزن مخصوص مایع موردنظر می باشد.

$$\left[ \sum_j K_j^2 (T_j^M e^{ik_j(x+L)} + R_j^M e^{-ik_j(x-L)}) \frac{\partial Y_i}{\partial z} \right]_{x=\pm L, z=0} = 0 \quad (6) \quad \text{شرایط لبه‌ای برش صفر}$$

$$\left[ \sum_j K_j^3 (T_j^M e^{ik_j(x+L)} - R_j^M e^{-ik_j(x-L)}) \frac{\partial Y_i}{\partial z} \right]_{x=\pm L, z=0} = 0 \quad (7) \quad \text{شرایط لبه‌ای خمش صفر}$$

$$I_o z_o + \sum_i R_i^L z_i = \sum_j (T_j^M + R_j^M e^{2ik_j L}) Y_j \quad (8) \quad \text{شرایط تطبیقی فشار در } x = -L$$

$$\sum_j (T_j^M e^{2ik_j L} + R_j^M) Y_j = \sum_i T_i^R z_i \quad (9) \quad \text{شرایط تطبیقی سرعت در } x = -L$$

$$K_o I_o z_o - \sum_i K_i R_i^L z_i = \sum_j K_j (T_j^M - R_j^M e^{2ikjL}) Y_j \quad x = L \quad \text{شرایط تطبیقی فشار در} \quad (10)$$

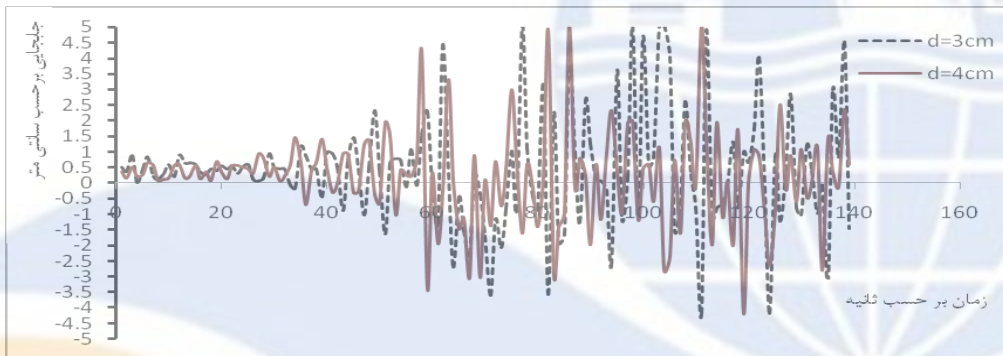
$$\sum_j K_j (T_j^M e^{2ikjL} - R_j^M) Y_j = \sum_i K_i T_i^R z_i \quad x = L \quad \text{شرایط تطبیقی سرعت در} \quad (11)$$

در نهایت ضریب انتقال با فرمول زیر محاسبه می شود:

$$K_t = \left\| \frac{T_o^R}{I_o^L} \right\| \quad (12)$$

### نتیجه گیری

موج سینوسی با طول موج ۱/۸ متر و ارتفاع موج ۶ سانتی متر و فاصله مهاربند تا سازه ۱/۵ با عمق های آبخور ۳ و ۴ سانتی متر به سازه تاییده شدند. نتیجه نشان داد که با افزایش عمق آبخور، مقدار جابجایی سازه به طور محسوسی کاهش می یابد، (شکل ۶). سپس موج سینوسی با عمق آبخور ۳ سانتی متر و ارتفاع موج ۶ سانتی متر و فاصله مهاربند تا سازه ۱/۵ متر با طول موج های ۲ متر و ۲/۲ متر به سازه تاییده شدند. نتیجه نشان داد که مقدار جابجایی سازه با افزایش طول موج به طور محسوسی افزایش می یابد، (شکل ۷).

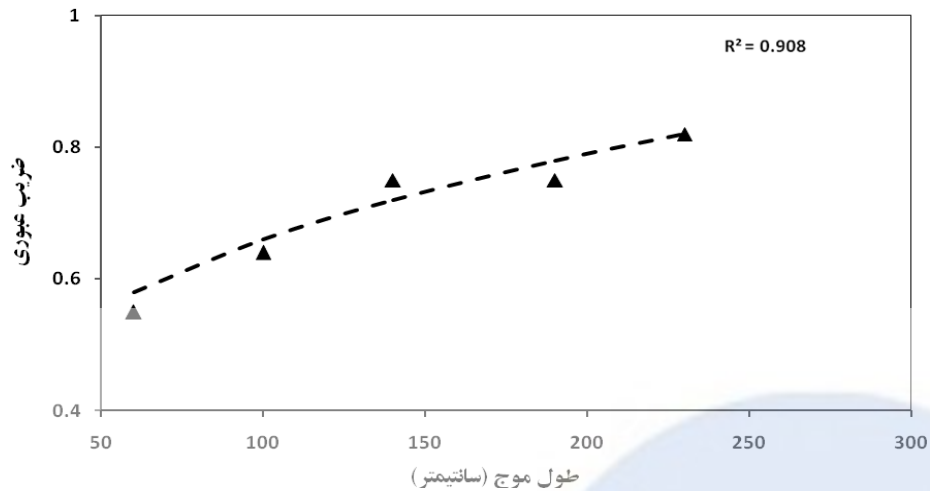


شکل ۶) موج سینوسی با  $H=6\text{cm}$ ,  $L=1.8\text{m}$  و  $X=1.5\text{m}$  با عمق آبخور ۳cm و ۴cm. مطابق شکل مقدار جابجایی سازه با افزایش عمق آبخوری بطور محسوسی کاهش می یابد.

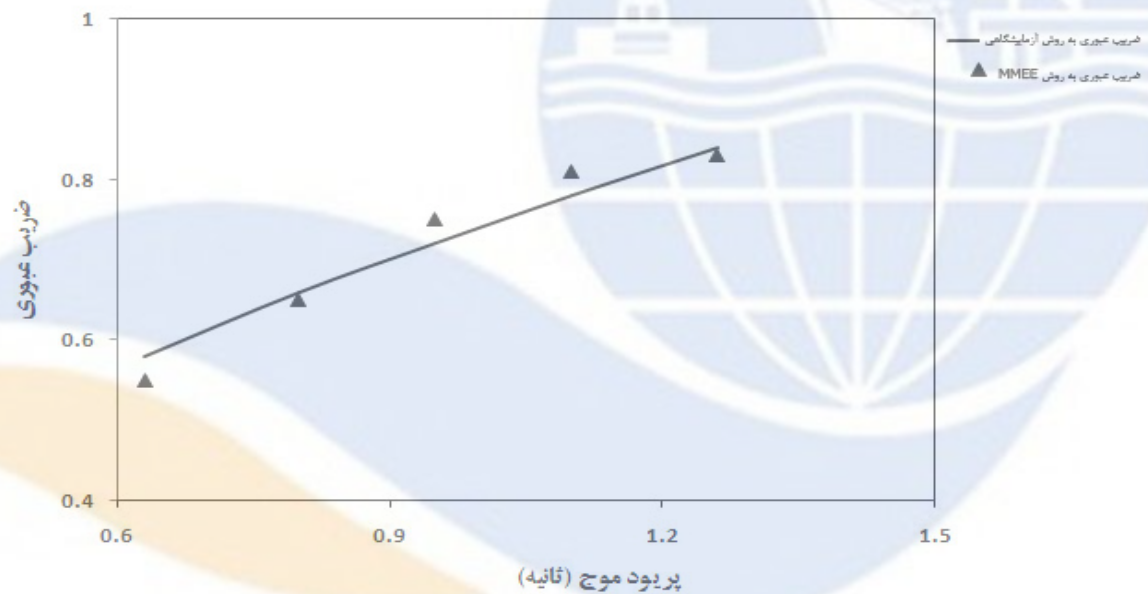


شکل ۷) موج سینوسی با  $d=3\text{cm}$ ,  $H=6\text{cm}$  و  $X=1.5\text{m}$  با طول موج ۲m و ۲.۲m. مطابق شکل مقدار جابجایی سازه با افزایش طول موج بطور محسوسی افزایش می یابد.

ضریب انتقال موج از نسبت ارتفاع موج عبوری به ارتفاع موج تابشی در آزمایشگاه بدست می آید، لذا با تغییر طول موج و پریود ضریب عبوری آزمایشگاهی حاصل گردید و مجدداً ضریب عبوری با تغییر طول موج و پریود با استفاده از روش MMEE (روش بسطهای تابع ویژه تطبیقی) به صورت عددی محاسبه گردید. نتایج نشان دادند که ضریب عبوری عددی و آزمایشگاهی برهم منطبق بوده و صحت نتایج مورد تایید می باشد، (شکل های ۸ و ۹).



شکل ۸) نمودار مقایسه ای ضریب عبوری بدست آمده از آزمایشگاه با نمودار حاصل از روش عددی MMEE



شکل ۹) نمودار مقایسه ای ضریب عبوری بدست آمده از آزمایشگاه با نمودار حاصل از روش عددی MMEE

### مراجع

- [۱]- Watanabe, E., Utsunomiya, T., Wang, C.M. (۲۰۰۴), Hydroelastic Analysis of Pantoon-Type VLFs, Eng. Struct, Vol ۲۶, NO. ۲, ۲۴۵-۲۵۶.
- [۲]- Kashiwagi, M. (۲۰۰۰), Research on Hydroelastic Responses of VLFs, Int. J. Offshore Polar Eng, Vol ۱۰, No. ۲, ۸۱-۹۰.
- [۳]- Squire, V. A. (۲۰۰۸), Synergies Between VLFs Hydroelasticity and Sea Ice Research, Int. J. Offshore Polar Eng, Vol ۱۸, No. ۴, ۲۴۱-۲۵۳.
- [۴]- Fox, C., Spuire, V.A. (۱۹۹۴), On The Oblique Reflexion and Transmission of Ocean Waves at Shore Fast Sea Ice, Philos Trans, Lond, Vol ۳۴۷, No. ۳, ۱۸۵-۲۱۸.
- [۵]- Squire, V. A. (۱۹۹۸), Ocean Waves and Sea – Ice Revisited, Cold Regions Sci. Technol. Vol ۲, ۱۱۰-۱۳۳.
- [۶]- Sorensen, R. (۱۹۹۹), Basic Coastal Engineering, Department of Civil and Environmental Engineering Lehigh University, Bethlehem, Pennsylvania, Vol ۴۵, No. ۳, ۳۶۳-۳۸۷.

## Experimental Investigation of Interaction between Surface Shallow Water Waves and Floating Plates

A. Ahmadi Azari, Islamic Azad University

[Ali\\_azari1999@yahoo.com](mailto:Ali_azari1999@yahoo.com)

### Abstract:

The present study has developed an experimental model for analyzing the interaction between surface shallow water waves and floating plates. The fluid is considered homogenous, non-adhesive and non-compressive. Using a restricted floating plate as a large floating structure which is connected to the bottom of the flume via cables, the floating structure's movements and the level fluctuations of free waters were measured in various draught depths using acoustic and impedance sensors. The results revealed that the structure's movements have a positive correlation with wave length and height and a negative correlation with draught depth. In the next stage, the fluctuations of the free water's surface were investigated using impedance sensors both in front and at the behind of the floating plate. The results indicated that an increase of wave length and period causes in increase of transmission coefficient. In addition the transmission coefficient was calculated using matched Eigen function expansions (MMEE) method, which was reasonably consistent with the lab results.

**Key words:** water wave, MMEE, limited floating plate, transmission coefficient

The logo for ICOPMAS (International Conference on Ocean, Port and Marine Structures) features a stylized globe with latitude and longitude lines, set against a blue circular background. Below the globe is a yellow and white wave-like shape. The acronym 'ICOPMAS' is written in large, bold, blue capital letters at the bottom of the logo.

ICOPMAS