بررسی اثر هیدروالاستیک در تغییر خمشی شاهتیر بدنه در پدیده کوبش سینه شناور به سطح آب

مصطفی یوسف نیا[۱*] ، محمدرضا حیرانی نوبری[۲]، پرویز قدیمی[۳]، حسن قاسمی[۴]

[۱] دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی دریا – دانشگاه صنعتی امیرکبیر؛ m.yousefnia@aut.ac.ir
[۲] استاد، دانشکده مهندسی مکانیک – دانشگاه صنعتی امیرکبیر؛ mrnobari@aut.ac.ir
[۳] استاد، دانشکده مهندسی دریا – دانشگاه صنعتی امیرکبیر
[۴] استاد، دانشکده مهندسی دریا – دانشگاه صنعتی امیرکبیر

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:
تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۶/۱۰/۰۵
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۷/۰۲/۲۹

کلمات کلیدی:
هیدروالاستیک
نیروی کوبش سینه
شاهتیر بدنه
روش تفاضل محدود
آنالیز گذرا

چکیده

کوبش سینه[۱] موجب تاثیرات عمومی و منطقه ای بر شناور می‌گردد و نقش مهمی در طراحی سازه‌ای شناور دارد. در این مقاله اثر عمومی کوبش سینه شناور بر سطح آب که ویپینگ[۲] نامیده می‌شود با در نظر گرفتن هیدروالاستیسیته بررسی خواهد شد. بدین منظور با در نظر گرفتن سیال ایده آل، غیر ویسکوز و تراکم ناپذیر نیروهای ناشی از پدیده کوبش تعیین می‌شوند. پس از انتخاب مدل تیر مناسب، معادله ارتعاشی تیر کشتی به منظور توصیف تأثیرات عمومی هیدروالاستیک استخراج می‌گردد. از آنجاییکه در استخراج معادله ارتعاشی تیر، هیدروالاستیسیته مورد توجه قرار گرفته است، حل معادله ارتعاشی تیر به تحلیل هیدروالاستیکی پدیده کوبش می‌انجامد. برای حل معادله ارتعاشی از دینامیک سیالات محاسباتی و روش تفاضل محدود استفاده می‌شود. برای معتبرسازی نتایج حاصل از روش تفاضل محدود، شاهتیر کشتی بصورت تیر یک بعدی بر بستر الاستیک در نرم افزار ANSYS مدل می‌گردد و با اعمال نیروی کوبش در انتهای تیر تغییر شکل خمشی استخراج می‌شود.

Hydroelastic Effect on Hull Girder Deformation in Bow Flare Water Impact

Mostafa Yousefnia[1],MohammadReza Heirani Nobari[2], Parviz Ghadimi[3], Hassan Ghassemi[4]

[1] MSc, Department of Marine Technology, Amirkabir University of Technology; m.yousefnia@aut.ac.ir
[2] Professor, Department of Mechanical Engineering, Amirkabir University of Technology; mrnobari@aut.ac.ir
[3] Professor, Department of Marine Technology, Amirkabir University of Technology
[4] Professor, Department of Marine Technology, Amirkabir University of Technology

ARTICLE INFO

Article History:
Received: 26 Dec. 2017
Accepted : 19 May 2018

Keywords:
Hydroelastic
Bow Flare Slamming Force
Hull Girder Beam
Finite Difference Method
Transient Analysis

ABSTRACT

Slamming loads are important in the structural design of high speed vessels. Slamming can cause global and local effects on the ship structure. Here global effect of slamming (bow flare water impact) means whipping considering hydroelasticity investigated. Considering ideal, non-viscous and non-compressible fluid, bow flare impact loads is developed after determination Bow flare impact forces, with considering of proper beam model and exerting condition due to hydroelasticity, new form of beam deflection model is derived. In deriving of the beam deflection equation, hydroelasticity is considered, thus solving beam equation leads to hydroelastic analysis of bow flare slamming. Finite difference method is used for solving this equation. In order to validate the computation of results, the third party software ANSYS is used. The ship hull girder is represented by a uniform one-dimensional beam that is supported by a uniform elastic foundation. Time depending load is applied as a pressure on end beam and deflection is calculated.

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1397.14.27.8.5]

۱- مقدمه

پدیده کوبش از مهمترین پدیده‌هایی است که در اثر برخورد موج به سینه کشتی اتفاق می‌افتد و موجب اثرات عمومی و منطقه‌ای بر کشتی می‌گردد. تاثیر عمومی کوبش را ویپینگ[۲] می‌نامند. ویپینگ پاسخ های الاستیک گذرا از تغییر شکلهای انعطاف پذیر شاهتیر بدنه[۳] می‌باشد. هنگامیکه مدت زمان اعمال نیروی برخورد هم مرتبه با پایین ترین پریود طبیعی شاهتیر بدنه باشد ویپینگ رخ می‌دهد. در نظر گرفتن هیدروالاستیسیته در پدیده کوبش بدین معناست که جریان سیال و عکس العمل سازه ای بطور همزمان در نظر گرفته شود. به بیان دیگر، ارتعاشات الاستیک، جریانی از سیال همراه با میدان فشار ایجاد می‌کنند و همچنین نیروهای هیدرودینامیکی بر ارتعاشات الاستیک سازه‌ای اثر می‌گذارد. اهمیت هیدروالاستیسیته به فرکانس طبیعی سازه و مدت زمان اعمال نیروی اسلمینگ بستگی دارد. هیدروالاستیسیته در برخوردهای با سرعت بالا و پریودهای طبیعی بالاتر اهمیت به مراتب بیشتری دارد. در حالت کوبش سینه، هنگامیکه مقطع سینه وارد آب می‌شود، نیروهای محلی در اطراف سینه شناور تحت تاثیر هیدروالاستیسیته قرار ندارند. از اینرو هیدروالاستیسیته فقط در تحلیل عمومی شناورهای تک بدنه حائز اهمیت است. در این مقاله با اعمال اثرات هیدروالاستیسیته در معادله تیر اویلر-برنولی، فرم جدیدی از معادله ارتعاشی تیر استخراج می‌شود که حل این معادله ارتعاشی به تحلیل هیدروالاستیکی شاهتیر بدنه می‌انجامد. با در نظر گرفتن سیال ایده آل، غیر ویسکوز و تراکم ناپذیر نیروهای ناشی از برخورد کل به صورت مجموع چهار نیرو شامل: نیروی کوبش، نیروی جرم‌اضافه، نیروی هیدرواستاتیک و نیروی فرودکریلوف و در قالب برنامه کامپیوتری IMPACT LOAD تعیین می‌گردد. از روش تفاضل محدود برای حل معادله ارتعاشی تیر اولر-برنولی اصلاح شده استفاده می‌گردد و تحت برنامه کامپیوتری HYDROELASTIC تغییر شکل شاهتیر بدنه در شرایط مختلف تعیین می‌شود. برای معتبر سازی نتایج حاصل از روش تفاضل محدود و برنامه کامپیوتری HYDROELASTIC، از روش المان محدود و نرم افزار ANSYS استفاده شده است. در پایان نتایج حاصل از روش عددی تفاضل محدود و نتایج حاصل از محاسبات انجام شده توسط نرم افزار ANSYS با یکدیگر مقایسه می شود.

۲- معادله ارتعاشی هیدروالاستیک شاهتیر بدنه کشتی

از معادله تیر اولر-برنولی برای توصیف اثرات کلی هیدروالاستیک در شناورهای تک بدنه استفاده می‌گردد.

$$m(x)\frac{\partial^2 w}{\partial t^2}+\frac{\partial^2}{\partial x^2}\left[EI(x)\frac{\partial^2 w}{\partial x^2}\right]=f_3(x,t) = f_3^{HD}+f_3^{ext} \quad (۱)$$

در رابطه (۱) $f_3(x,t)$ نیروی عمودی در طول واحد است. f_3^{HD} نیروی عمودی دو بعدی روی بدنه است که در نتیجه فشار دینامیکی ناشی از ارتعاشات بدنه ایجاد می‌شود و برای شناوری که با سرعت U حرکت می کند به صورت زیر بیان می‌گردد:

$$f_3^{HD}=-(\frac{\partial}{\partial t}+U\frac{\partial}{\partial x})[a_{33}(\frac{\partial w}{\partial t}+U\frac{\partial w}{\partial x})] \quad (۲)$$

با در نظر گرفتن تغییرات بویانسی ناشی از خمش تیر[۴]، مدل جدیدی از معادله ارتعاشی تیر بدست می‌آید که اثرات متقابل سیال و سازه (هیدروالاستیسیته) در آن لحاظ شده است.

$$(m+a_{33})\frac{\partial^2 w}{\partial t^2}+2a_{33}U\frac{\partial^2 w}{\partial x\,\partial t}+U\frac{da_{33}}{dx}\frac{\partial w}{\partial x} +U^2\frac{\partial}{\partial x}(a_{33}\frac{\partial w}{\partial x})+\rho g b w+\frac{\partial^2}{\partial x^2}\left[EI\frac{\partial^2 w}{\partial x^2}\right]=f_3^{ext} \quad (۳)$$

در این معادله تغییر شکل تیر کوچک در نظر گرفته شده است $(\partial\omega/\partial x<<1)$. در رابطه (۳)، x مختصات طولی کشتی، w تغییر شکل عمودی، $m(x)$ جرم بدنه به ازای طول واحد، $EI(x)$ سختی خمشی، b عرض خیس شده مقطع و a_{33} جرم اضافه حرکت هیو در فرکانس بی نهایت است (شرط $\varphi=0$ بر روی سطح آزاد) که با استفاده از روش لوئیس تعیین می‌گردد.

برای حل معادله فوق نیاز به شرایط تکیه گاهی دو سر تیر و شرایط اولیه تیر است. شرایط اولیه تیر مشتمل بر تغییر شکل خمشی اولیه صفر و سرعت ارتعاشی اولیه صفر در طول تیر می‌باشد. شرایط انتهای تیر مشتمل بر نیروی برشی صفر و ممان خمشی صفر در دو انتهای کشتی است. با توجه به اینکه نیروی برشی و ممان خمشی به ترتیب متناسب با $\partial^3 w/\partial x^3$ و $\partial^2 w/\partial x^2$ است، در دو انتهای کشتی شرایط زیر صادق است:

$$\frac{\partial^2 w}{\partial x^2}=0,\ \frac{\partial^3 w}{\partial x^3}=0 \quad (۴)$$

۳- نیروهای وارد بر جسم شناور در پدیده کوبش در فاز ورود به آب و فازخروج از آب

بر مسئله ورود به آب فرضیات زیر حاکم است:

۱- سیال ایده ال، غیر ویسکوز و تراکم ناپذیر است.

۲- ورود به آب سریع صورت می گیرد، از اینرو:

الف) شتاب سیال پیرامون جسم بسیار بیشتر از شتاب گرانش است.

ب) ضرایب جرم اضافه برای حالتی که فرکانس موج زیاد است (فرکانس بی نهایت) محاسبه می گردد.

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-10-30]

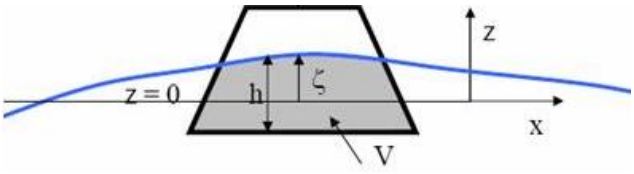
[DOR: 20.1001.1.17357608.1397.14.27.8.5]

۳- ابعاد جسم به مراتب کوچکتر از طول موج است در نتیجه از نیروی انکساری[۵] چشم پوشی می‌شود.

۴- روی سطح آزاد $\varphi = 0$ است. بنابراین در اثر حرکت جسم شناور موجی تولید نمی‌شود و نیروی تشعشعی[۶] (دمپینگ) صفر می‌باشد.

در هنگام ورود جسم به آب (شکل ۱) نیروهای وارد بر جسم شناور به شرح زیر است:

$$F_{h3} = \rho g V + \rho V \ddot{\zeta} + A_{33}(\ddot{\zeta} - \ddot{\eta}) + \frac{dA_{33}}{dh}(\dot{\zeta} - \dot{\eta})^2 \qquad (۵)$$



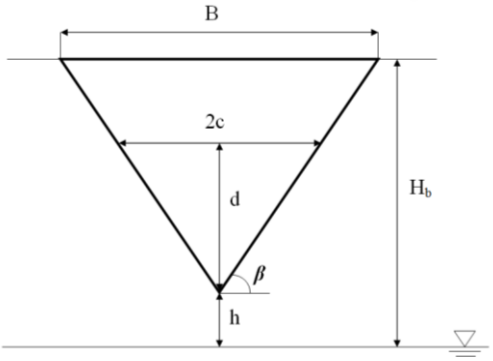
شکل ۱- ورود به آب در شرایط آب مواج

در رابطه (۵)، $(dA_{33}/dh)(\dot{\zeta} - \dot{\eta})^2$ نیروی کوبش، $A_{33}(\ddot{\zeta} - \ddot{\eta})$ نیروی جرم اضافه، $\rho V \ddot{\zeta}$ نیروی فرودکریلوف و $\rho g V$ نیروی بویانسی (هیدرواستاتیک) است.

با در نظر گرفتن مقطع گوه‌ای مشابه مقطع سینه شناور(شکل ۲)، ضریب جرم اضافه (A_{33}) طبق روش ون کارمن برابر $0.5\rho\pi c^2$ می‌باشد. نیروهای وارد بر جسم شناور در طول واحد بصورت زیر بازنویسی می‌گردد:

$$f_{h3} = \rho g A(x,t) - \frac{1}{2}\rho\pi c^2 \frac{dV_R}{dt} - \rho\pi V_R c \frac{dc}{dt} K_1 \qquad (۶)$$

در رابطه (۶)، $A(x,t)$ سطح مقطع غوطه‌ور و $\rho g A(x,t)$ مجموع نیروهای هیدرواستاتیک و فرودکریلوف می‌باشد. در فاز خروج از آب نیروی کوبش صفر است، از اینرو ضریب K_1 در رابطه (۶) در فاز ورود به آب یک و در فاز خروج از آب صفر می‌باشد.

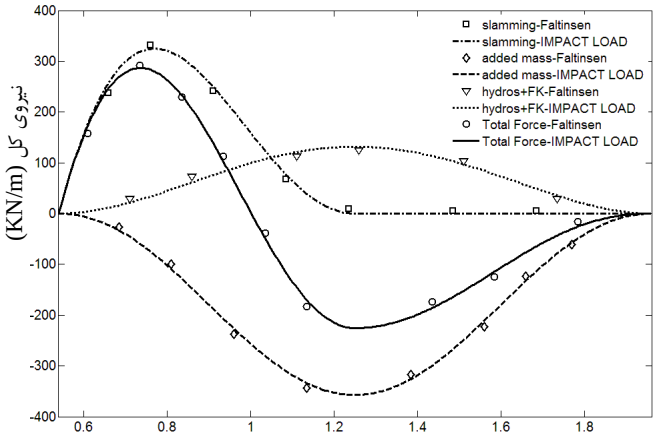


شکل۲- مقطع گوه ای سینه شناور تندرو تک بدنه

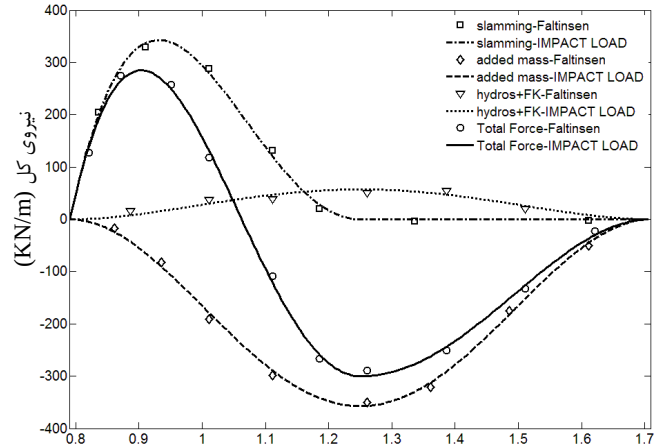
رابطه های (۵) و (۶) تحت برنامه کامپیوتری IMPACT LOAD برای تعیین نیروی برخورد مقاطع هندسی متداول شناورها فرمول نویسی شده است.

۴- معتبر سازی نتایج برنامه کامپیوتری IMPACT LOAD

برای معتبرسازی نتایج حاصل از برنامه کامپیوتری IMPACT LOAD در تعیین نیروهای برخورد، نتایج حاصل از این برنامه کامپیوتری را با نتایج ارائه شده توسط فالتینسن [۱] در شرایط برخوردی مشابه مقایسه می‌گردد. بدین منظور در موجی با پریود برخوردی ۵ ثانیه و دامنه حرکت نسبی ۹ متر نیروی برخورد شامل نیروی جرم اضافه، نیروی کوبش و نیروی هیدرواستاتیک را بر روی گوه‌هایی با زاویه عرضی ۲۰ درجه و۴۰ درجه که دارای عرض ۸ متر و ارتفاع برخورد ۹ متر از سطح آب هستند، محاسبه می‌شود. نتایج این محاسبات در شکل ۳ و شکل ۴ ارائه شده است. شایان ذکر است که برای صرف نظر از محاسبه اثرات خیسی عرشه[۷] دامنه حرکت نسبی برابر با ارتفاع برخورد در نظر گرفته شده است.



شکل ۳- معتبرسازی نتایج برای برخورد گوه با زاویه عرضی ۴۰ درجه



شکل ۴- معتبرسازی نتایج برای برخورد گوه با زاویه عرضی ۲۰ درجه

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.17357608.1397.14.27.8.5]

مشاهده می‌گردد که نتایج حاصل از برنامه کامپیوتری در تعیین نیروهای هیدرودینامیکی با دقت بسیار زیادی با نتایج ارائه شده توسط فالتینسن مطابقت دارند، از اینرو این برنامه در شرایط مختلف پدیده کوبش سینه شناور مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۵- محاسبه ارتعاش کشتی مورد مطالعه در اثر اسلمینگ

مشخصات عمومی کشتی آلومینیومی مورد مطالعه در جدول ۱ ذکر شده است و نمای کلی شناور و مقطع عرضی آن به ترتیب در شکل ۵ و شکل ۶ نمایش داده شده است. برای شبیه سازی پدیده کوبش، شرایط محیطی مطابق با جدول ۲ در نظر گرفته می شود. نیروی کل وارد برسینه کشتی در طی پدیده کوبش (نیروی گذرای تحریک) برای مقطع مورد مطالعه در شکل ۷ نشان داده شده است. با توجه به شکل ۷، پریود نیروی گذرای تحریک ۲/۲۷۵ ثانیه و فرکانس آن ۰/۴۴ هرتز می‌باشد. در ادامه با اعمال نیروی برخورد بر انتهای تیر کشتی و با استفاده از روش عددی تفاضل محدود در محیط نرم افزار MATLAB و همچنین مدلسازی و تحلیل در نرم‌افزار ANSYS، ارتعاش خمشی تیر کشتی محاسبه می‌شود.

جدول ۱- مشخصات عمومی شناور مورد مطالعه

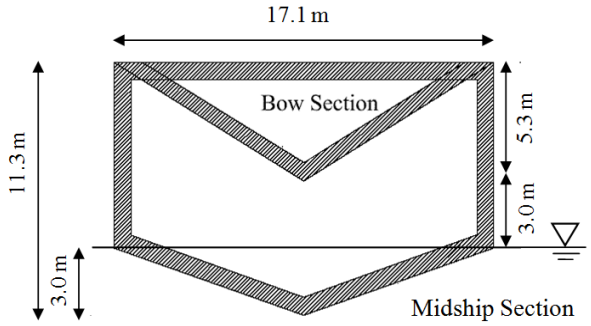
مشخصه	مقدار
طول کلی (متر)	۱۰۰
طول بین دو عمود (متر)	۸۸
عرض (متر)	۱۷/۱
ارتفاع (متر)	۱۱/۳
ارتفاع دماغه از سطح آب (متر)	۸/۳
آبخور (متر)	۳
ضریب بدنه	۰/۵
سرعت کشتی (متر بر ثانیه)	۱۹
زاویه مقطع سینه شناور[8] (درجه)	۳۱/۸
وزن (تن)	۱۲۰۰
تنش مجاز آلومینیوم (نیوتن بر متر مربع)	۱۵۶×۱۰^۶
مدول یانگ آلومینیوم (نیوتن بر متر مربع)	۷۰×۱۰^۶
چگالی جرمی آلومینیوم (کیلوگرم بر متر مکعب)	۲۷۰۰

جدول ۲- شرایط محیطی

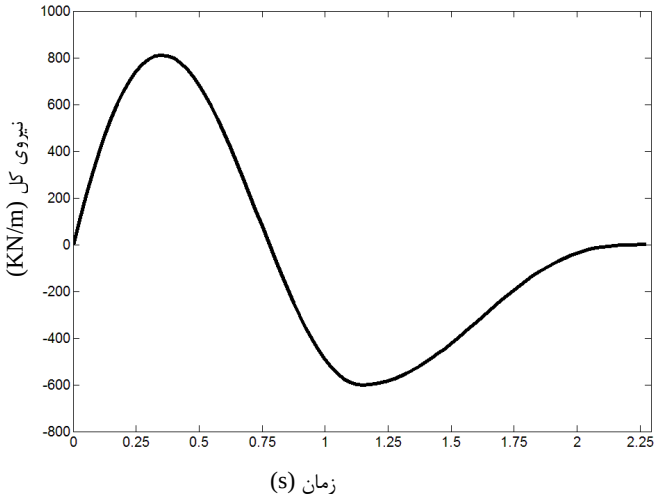
مشخصه	مقدار
پریود برخورد (ثانیه)	۶
فرکانس زاویه ای برخورد (رادیان بر ثانیه)	۱/۰۴۷۲
فرکانس برخورد (هرتز)	۰/۱۶۷
دامنه حرکت نسبی (متر)	۸/۳



شکل ۵- نمای کلی شناور آلومینیومی مورد مطالعه-
MDV 1200 Superseacat/ Fincantieri



شکل ۶- مقطع عرضی بدنه شناور آلومینیومی مورد مطالعه



شکل ۷- نیروی گذرای کل اعمال شده بر سینه شناور مورد مطالعه در پدیده اسلمینگ

۶- محاسبه ارتعاش کشتی به روش عددی تفاضل محدود

روش تفاضل محدود یکی از روشهای عددی برای حل تقریبی معادلات دیفرانسیل است. منطق روش تفاضل محدود جایگزینی مشتقات با کسرهای جبری تفاضلی با استفاده از سری تیلور می‌باشد. در روش تفاضل محدود مورد استفاده در این مقاله از گسسته سازی به روش صریح[9] استفاده شده است و جملات دیفرانسیلی بصورت تفاضل پیشرو در زمان و تفاضل مرکزی در زمان[10] تجزیه می‌گردند. معادله ارتعاشی الاستیک شاهتیر بدنه که در رابطه ۳ بیان شده است با توجه به توضیحات ارائه شده بصورت زیر تجزیه می‌گردد:

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.17357608.1397.14.27.8.5]

$$(m_i+a_i^n)\frac{w_i^{n+1}-2w_i^n+w_i^{n-1}}{\Delta t^2}+2u.a_i^n\frac{w_{i+1}^{n+1}-w_{i-1}^{n+1}-w_{i+1}^n+w_{i-1}^n}{2\Delta t\Delta x}$$
$$+u.\frac{a_{i+1}^n-a_{i-1}^n}{2\Delta x}.\frac{w_i^{n+1}-w_i^{n-1}}{2\Delta t}+u^2\frac{a_{i+1}^n-a_{i-1}^n}{2\Delta x}.\frac{w_{i+1}^n-w_{i-1}^n}{2\Delta x}+$$
$$u^2.a_i^n.\frac{w_{i+1}^n-2w_i^n+w_{i-1}^n}{\Delta x^2}+\rho gb(i)w_i^n+$$
$$EI(i).\frac{w_{i+2}^n-4w_{i+1}^n+6w_i^n-4w_{i-1}^n+w_{i-2}^n}{\Delta x^4}+ \qquad (۷)$$
$$\frac{EI(i+1)-2EI(i)+EI(i-1)}{\Delta x^2}.\frac{w_{i+1}^n-2w_i^n+w_{i-1}^n}{\Delta x^2}=f^{ext}(x,t)$$

با قرار دادن جملات هم مرتبه در کنار یکدیگر معادله ۶ بصورت زیر باز نویسی می‌شود:

$$(\frac{2u.a_i^n}{2.\Delta t.\Delta x})w_{i+1}^{n+1}+[\frac{(m_i+a_i^n)}{\Delta t^2}+\frac{u(a_{i+1}^n-a_{i-1}^n)}{4.\Delta t.\Delta x}]w_i^{n+1}+$$
$$(\frac{-2u.a_i^n}{2.\Delta t.\Delta x})w_{i-1}^{n+1}=\Big\{[\frac{2(m_i+a_i^n)}{\Delta t^2}-\rho gb(i)-\frac{6EI(i)}{\Delta x^4}$$
$$+\frac{2u^2.a_i^n}{\Delta x^2}+2\frac{EI(i+1)-2EI(i)+EI(i-1)}{\Delta x^4}]w_i^n$$
$$+[\frac{-u^2(a_{i+1}^n-a_{i-1}^n)}{4.\Delta t.\Delta x}-\frac{u^2.a_i^n}{\Delta x^2}+\frac{4EI(i)}{\Delta x^4}+\frac{2u.a_i^n}{2.\Delta t.\Delta x}$$
$$-\frac{EI(i+1)-2EI(i)+EI(i-1)}{\Delta x^4}]w_{i+1}^n+[\frac{u^2(a_{i+1}^n-a_{i-1}^n)}{4.\Delta t.\Delta x}$$
$$-\frac{u^2.a_i^n}{\Delta x^2}+\frac{4EI(i)}{\Delta x^4}-\frac{EI(i+1)-2EI(i)+EI(i-1)}{\Delta x^4}$$
$$-\frac{2u.a_i^n}{2.\Delta t.\Delta x}]w_{i-1}^n+[\frac{-EI(i)}{\Delta x^4}]w_{i-2}^n+[\frac{-EI(i)}{\Delta x^4}]w_{i+2}^n\Big\}+$$
$$\Big\{[-\frac{(m_i+a_i^n)}{\Delta t^2}+\frac{u(a_{i+1}^n-a_{i-1}^n)}{4.\Delta t.\Delta x}]w_i^{n-1}\Big\}+f^{ext}(x,t) \qquad (۸)$$

برای درک بهتر معادله ۶، این معادله به صورت رابطه ماتریسی زیر بیان می‌گردد.

$$[A]w^{n+1}=[B]w^n+[C]w^{n-1}+[f^{ext}(x,t)] \qquad (۹)$$

برای حل معادله فوق نیاز به شرایط اولیه و شرایط مرزی مسئله می‌باشد.

۶-۱- بررسی شرایط مرزی و شرایط اولیه:

الف) شرایط مرزی

بر روی نقاط مرزی ابتدایی و انتهایی تیر نیروی برشی و گشتاور خمشی صفر است.

$$\frac{\partial^2 w}{\partial x^2}=0 \rightarrow \frac{w_{i+1}^n-2w_i^n+w_{i-1}^n}{\Delta x^2}=0$$
$$\rightarrow w_{i-1}^n=2w_i^n-w_{i+1}^n$$

$$\frac{\partial^3 w}{\partial x^3}=0 \rightarrow \frac{w_{i+2}^n-2w_{i+1}^n+2w_{i-1}^n-w_{i-2}^n}{2\Delta x^3}=0$$
$$\rightarrow w_{i-2}^n=4w_i^n-4w_{i+1}^n+w_{i+2}^n$$

ب) شرایط اولیه

کشتی در حالت سکون قرار دارد لذا:

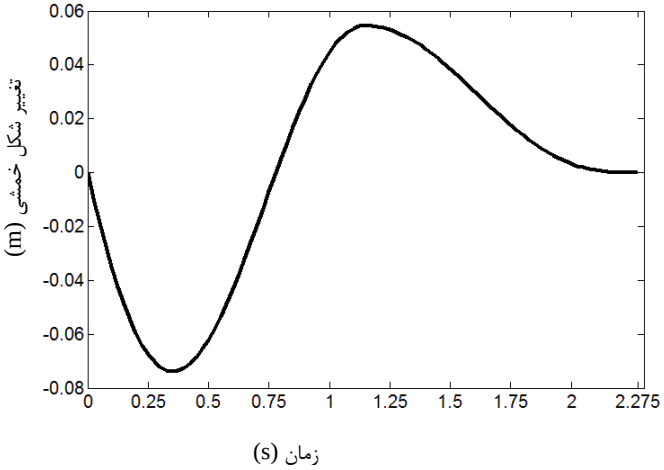
۱- تغییر شکل اولیه تیر صفر است :

$$w_i^0=0$$

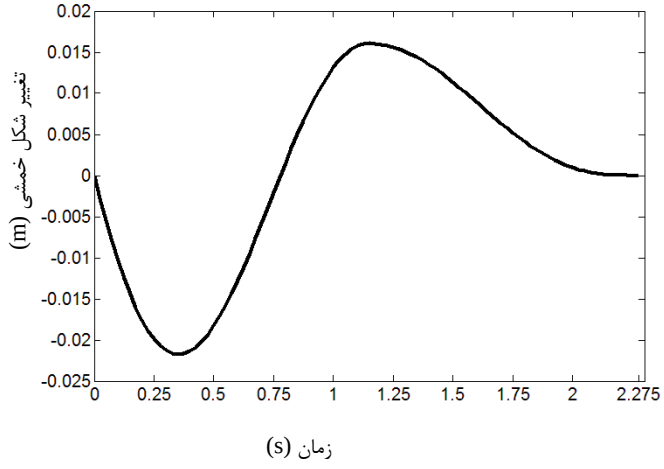
۲- سرعت اولیه ارتعاش تیر ($\dot{w}$) صفر است:

$$\frac{\partial w}{\partial t}=\frac{w_i^{n+1}-w_i^n}{\Delta t}\xrightarrow{n=0}\frac{w_i^1-w_i^0}{\Delta t}=0\rightarrow w_i^1=0$$

گام زمانی (Δt) مورد استفاده در حل معادله ۰/۰۲۵ ثانیه و فاصله نودها (Δx) ۱ متر در نظر گرفته شده است. رابطه ۹ با استفاده از نرم افزار MATLAB و در قالب برنامه HYDROELASTIC تحلیل شده است. تغییر شکل خمشی در نقاط مختلف شاهتیر بدنه که با استفاده از برنامه HYDROELASTIC بدست آمده است، در شکل های ۸ تا ۱۲ ارائه شده است.



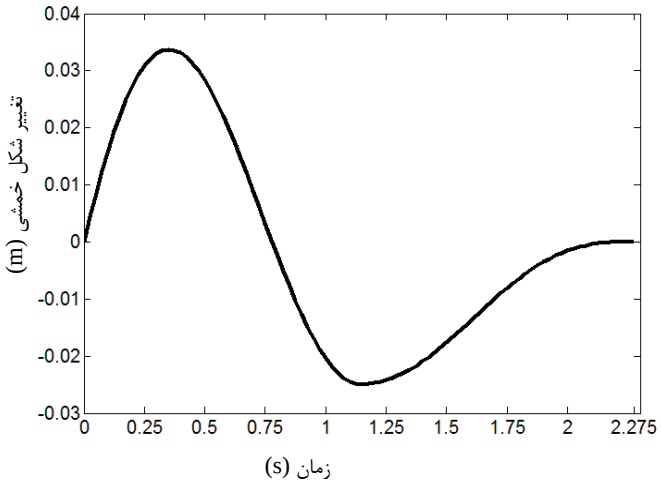
شکل ۸- تغییر شکل خمشی پاشنه کشتی (x=۰) به روش تفاضل محدود



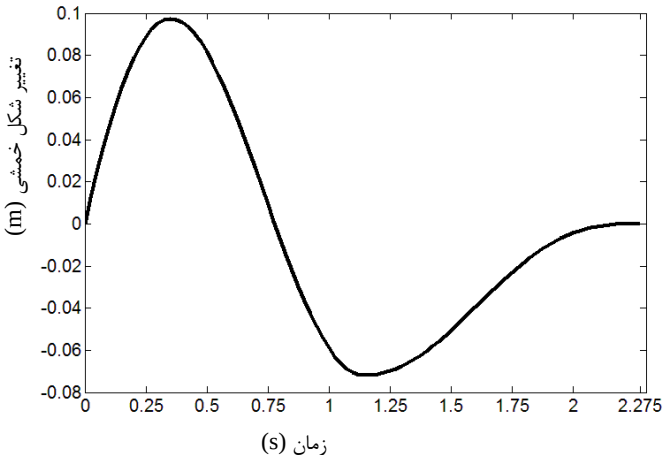
شکل ۹ - تغییر شکل خمشی در مقطع (x=۲۲متر) به روش تفاضل محدود

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-10-30]

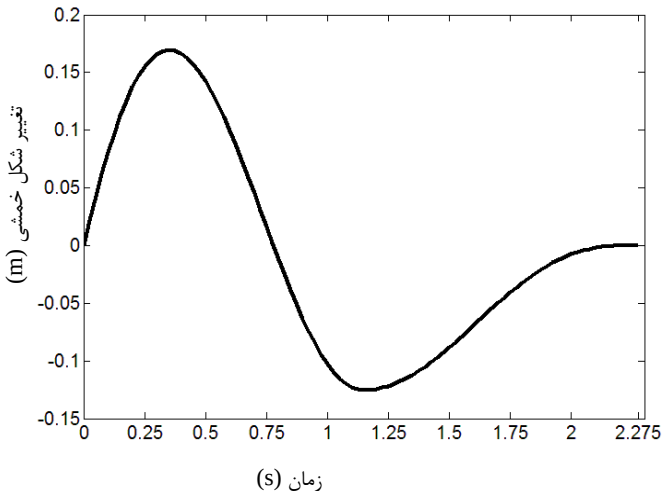
[DOR: 20.1001.1.17357608.1397.14.27.8.5]



شکل ۱۰ - تغییر شکل خمشی در مقطع (x=۴۴متر)
به روش تفاضل محدود



شکل ۱۱ - تغییر شکل خمشی در مقطع (x=۶۶متر)
به روش تفاضل محدود



شکل ۱۲- تغییر شکل خمشی سینه کشتی(x=۸۸متر)
به روش تفاضل محدود

۷- محاسبه ارتعاش کشتی با استفاده از نرم افزار ANSYS

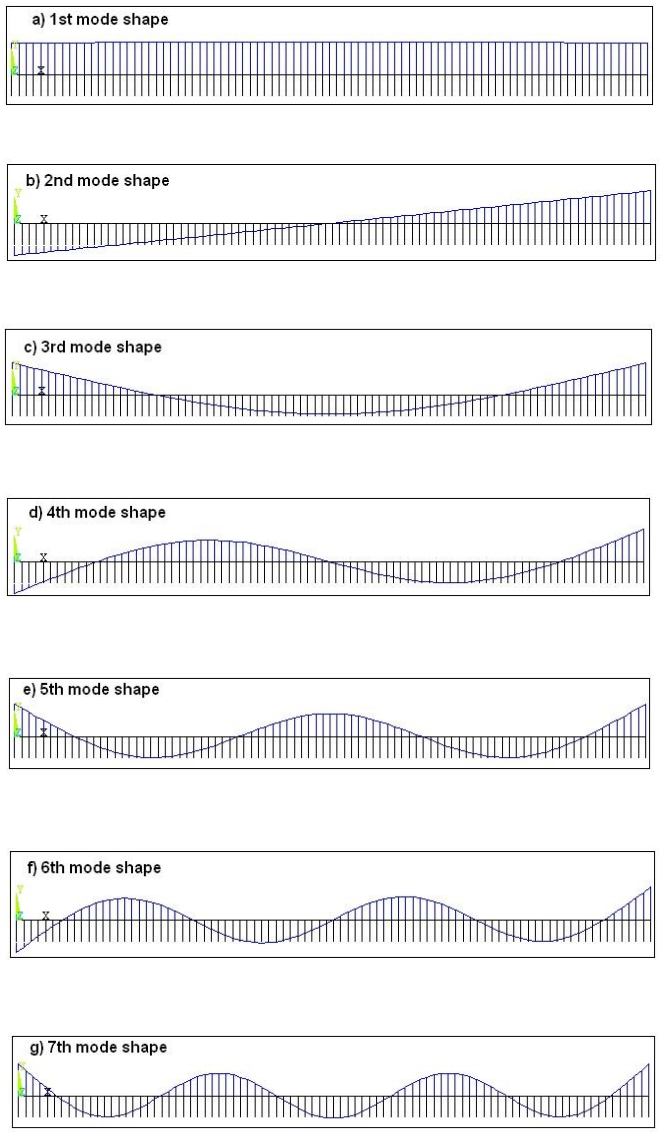
بطور متداول برای نشان دادن ارتعاش کشتی از مدل تیر پیوسته و یکنواخت استفاده می‌شود و شاهتیر بدنه کشتی بوسیله تیر یکنواخت یک بعدی مدل می‌گردد و تیر بوسیله فونداسیون الاستیک یکنواخت تقویت می‌شود. ضریب سختی k که نشان دهنده فنریت بویانسی آب است از حاصلضرب وزن مخصوص آب در سطح مقطع خیس شده تیر بدست می‌آید. فونداسیون کشتی دربرگیرنده توزیع یکنواخت ضریب دمپینگ هیدرودینامیکی c می‌باشد، ولی چون دمپینگ کوچک است و تاثیری بر ماکزیمم پاسخ ناشی از یک بارگذرا ندارد در این تحلیل از دمپینگ هیدرودینامیکی صرفنظر می‌شود. تیر دارای سختی یکنواخت EI است بطوریکه E مدول الاستیسیته و I ممان اینرسی مقطع می‌باشد. تیر تحت تاثیر تابع توزیع نیروی $f(x,t)$ قرار می‌گیرد که برای حالت مورد مطالعه بار کوبش است. برای مدل کردن تیر از المان Beam-2D elastic 3 و برای تعریف بستر الاستیک از المان Combination-spring-damper 14 استفاده می‌شود. فاصله میان المان‌های فنری یک متر است لذا با توجه به طول شناور از ۸۹ فنر برای مدل سازی بستر الاستیک شناور استفاده می‌گردد. نیروی وابسته به زمان در المان انتهای تیر بین نود های ۸۸ و ۸۹ اعمال می‌شود. با توجه به فیزیک مسئله از آنالیز گذرا استفاده می‌شود. انجام آنالیز گذرا نیازمند فهم مناسب از رفتار دینامیکی سازه می‌باشد، از اینرو در ابتدا می‌بایست آنالیز مودال انجام شود تا اطلاعات رفتار دینامیکی شناور از قبیل فرکانس طبیعی و مودهای ارتعاشی به دست آید. فرکانس طبیعی و مودهای ارتعاشی که از انجام آنالیز مودال به دست آمده است در جدول ۳ و شکل ۱۳ ارائه شده است. آنالیز دینامیکی گذرا روش مناسب جهت تعیین پاسخ-های دینامیک سازه تحت بارهای متغیر با زمان است. برای حالت مورد مطالعه نیروی کوبش به صورت نیروی متغیر با زمان در یک متر انتهای تیر وارد می‌گردد. برای مدلسازی و اعمال نیرو از روش ماکرونویسی در محیط ANSYS استفاده شده است. تغییر شکل خمشی در نقاط مختلف شاهتیر بدنه در شکل‌های ۱۴ تا ۱۸ ارائه شده است.

جدول۳- فرکانس طبیعی و پریود طبیعی مدل مورد مطالعه

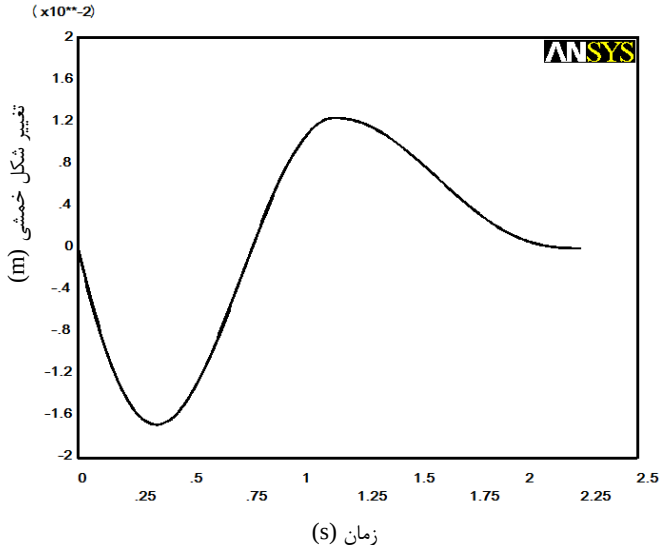
شماره مود	فرکانس طبیعی (هرتز)	پریود طبیعی (ثانیه)
۱	۰/۲۸۸	۳/۴۷۴
۲	۰/۲۹۱	۳/۴۳۸
۳	۲/۳۵۵	۰/۴۲۵
۴	۶/۴۲۴	۰/۱۵۶
۵	۱۲/۵۲۲	۰/۰۸۰
۶	۲۰/۵۷۰	۰/۰۴۹
۷	۳۰/۵۰۳	۰/۰۳۳

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-10-30]

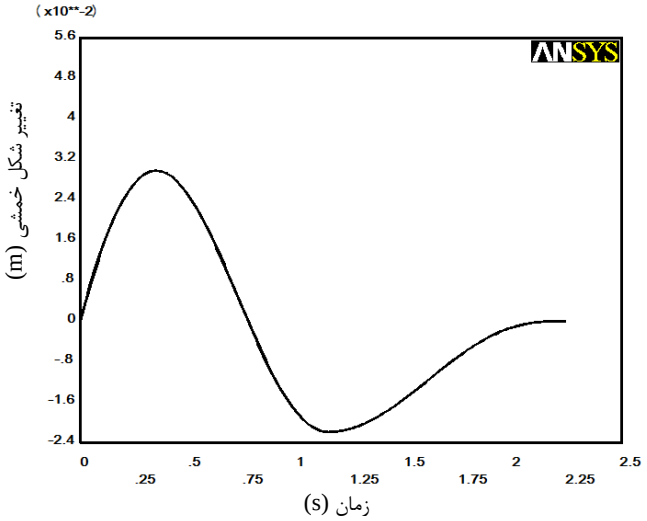
[DOR: 20.1001.1.17357608.1397.14.27.8.5]



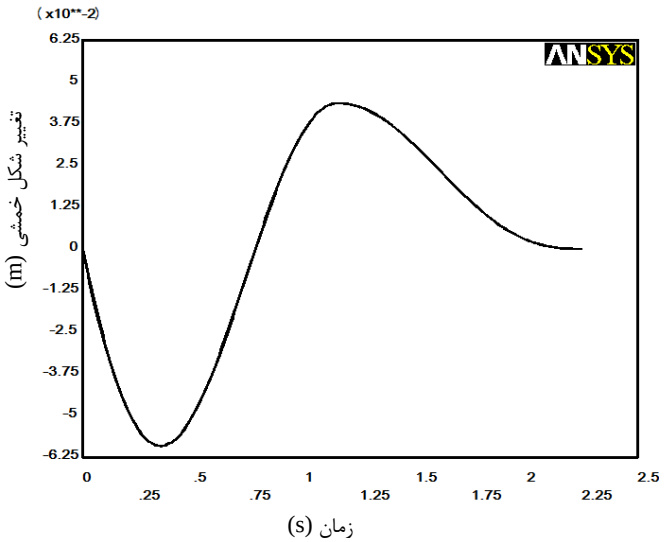
شکل ۱۳- هفت مود اول ارتعاش طبیعی



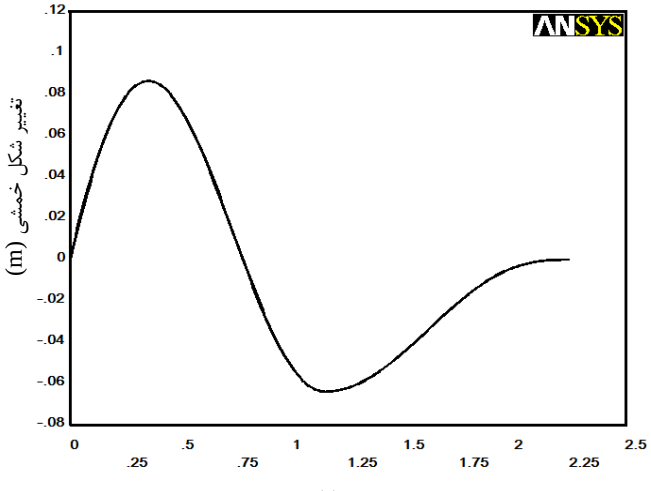
شکل ۱۵- محاسبه تغییر شکل خمشی مقطع (x=۲۲متر) با نرم افزارANSYS



شکل ۱۶- محاسبه تغییر شکل خمشی مقطع (x=۴۴متر) با نرم افزارANSYS



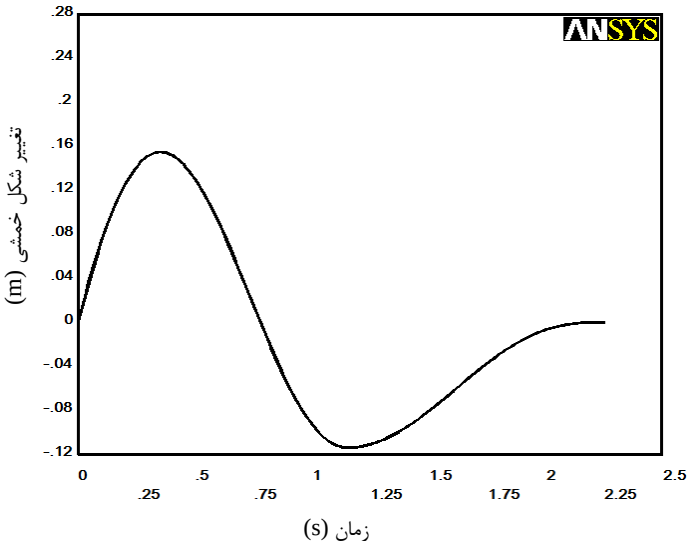
شکل ۱۴- محاسبه تغییر شکل خمشی پاشنه کشتی (x=۰) با نرم افزارANSYS



شکل ۱۷- محاسبه تغییر شکل خمشی مقطع (x=۶۶متر) با نرم افزارANSYS

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-10-30]

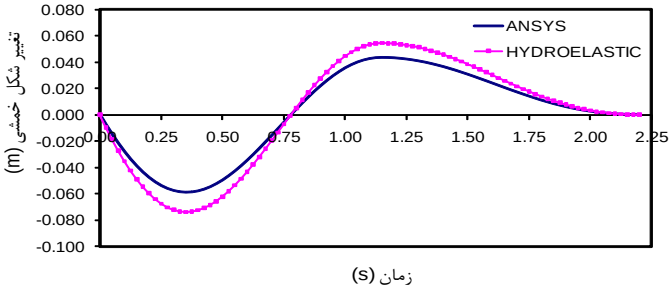
[DOR: 20.1001.1.17357608.1397.14.27.8.5]



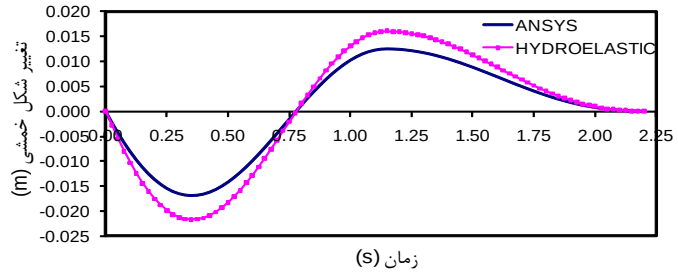
شکل ۱۸- محاسبه تغییر شکل خمشی مقطع (x=متر۸۸)
با نرم افزارANSYS

۸- مقایسه نتایج نرم افزار ANSYS و روش عددی تفاضل محدود در محاسبه ارتعاش کشتی

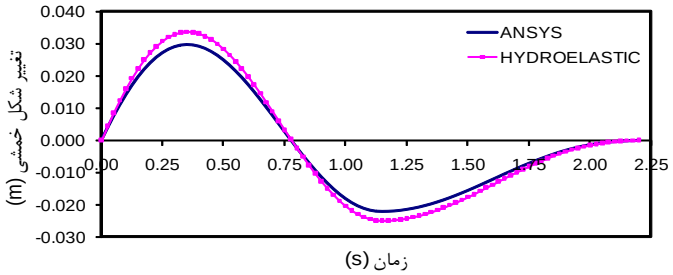
مقایسه نتایج حاصل از مدلسازی و تحلیل عمومی شاهتیر بدنه کشتی مورد مطالعه در نرم‌افزار ANSYS، با نتایج حاصل از حل معادله ارتعاشی هیدروالاستیک شاهتیر بدنه کشتی به روش عددی تفاضل محدود و در محیط برنامه MATLAB و برنامه کامپیوتری HYDROELASTIC در شکل‌های ۱۹ تا ۲۳ ارائه شده است. نزدیکی پاسخ های ارائه شده از نرم افزارهای فوق که الگوریتم، روش و منطق متفاوتی دارند و دست یافتن به پاسخ های یکسان و منطقی نشانگر صحت فرضیات و روش بکارگرفته شده می‌باشد. با توجه به قابلیت برنامه HYDROELASTIC، می‌توان از این برنامه برای محاسبه تغییر شکل شاهتیر بدنه شناورهای مختلف استفاده کرد. برای شناورهایی که بطور دائم در معرض پدیده کوبش قرار دارند فهم دقیق رفتار سازه حائز اهمیت است.



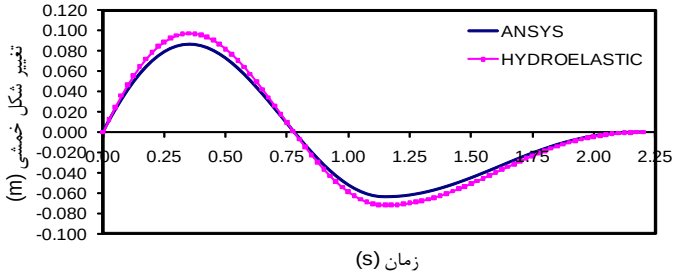
شکل ۱۹- مقایسه نتایج حاصل از نرم افزار ANSYS و برنامه HYDROELASTIC در محاسبه تغییر شکل خمشی پاشنه کشتی (x=۰) در پدیده کوبش سینه



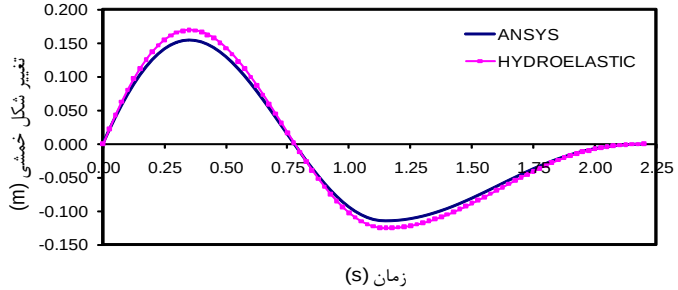
شکل ۲۰ - مقایسه نتایج حاصل از نرم افزار ANSYS و برنامه HYDROELASTIC در محاسبه تغییر شکل مقطع (x=متر۲۲) در پدیده کوبش سینه



شکل ۲۱- مقایسه نتایج حاصل از نرم افزار ANSYS و برنامه HYDROELASTIC در محاسبه تغییر شکل مقطع (x=متر۴۴) در پدیده کوبش سینه



شکل ۲۲ - مقایسه نتایج حاصل از نرم افزار ANSYS و برنامه HYDROELASTIC در محاسبه تغییر شکل مقطع (x=متر۶۶) در پدیده کوبش سینه



شکل ۲۳- مقایسه نتایج حاصل از نرم افزار ANSYS و برنامه HYDROELASTIC در محاسبه تغییر شکل خمشی سینه کشتی (x=متر۸۸) در پدیده کوبش سینه

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.17357608.1397.14.27.8.5]

۹- نتیجه گیری

هدف از این مقاله بررسی ارتعاش خمشی شاهتیر کشتی با در نظر گرفتن تاثیر هیدروالاستیسیته و بدون در نظر گرفتن این تاثیر می‌باشد. در یک شرایط مشابه، مقایسه نتایج حاصل از برنامه HYDROELASTIC که با استفاده از روش عددی تفاضل محدود در محیط نرم افزار MATLAB انجام شده است، با نتایج حاصل از مدلسازی و تحلیل در نرم افزار ANSYS همگرایی بسیار خوب نتایج حاصل را نشان می‌دهد. مشاهده گردید که تغییر شکل خمشی شاهتیر کشتی با در نظر گرفتن اثرات هیدروالاستیسیته بیشتر از حالتی است که این تاثیر نادیده گرفته می‌شود. با در اختیار داشتن نیروهای عمودی وارد بر سینه یا پاشنه شناور و با استفاده از برنامه HYDROELASTIC، تغییر شکل خمشی شاهتیر بدنه که نقش بسزایی در طراحی سازه‌ای کشتی ایفا می‌کند با دقت بالایی محاسبه می‌گردد.

کلید واژگان:

1- Bow Impact, Slamming
2- Whipping
3- Flexible Hull Girder Deformation
4- Beam Deflection
5- Diffraction Force
6- Radiation Force
7- Deck Wetness
8- Deadrise Angle
9- Explicit
10- FTSC

مراجع:

1. Faltinsen, ODD M., (2005), *Hydrodynamics of High-Speed Marine Vehicles*. 1th ed. Cambridge University Press.
2. Edward, V.Lewis., (1988), *Principles of Naval Architecture. Vol.II, Resistance, Propulsion and vibration*. 2th ed. Published by The Society of Naval Architects and Marine Engineers
3. Bertram, Volker., (2000), *Practical Ship Hydrodynamics*, 1th ed. Printed in Great Britain by PLANTA TREE.
4. Newman, J.N., (1977), *Marine Hydrodynamics*, 1th ed. London, MIT Press.
5. Von Karman, T., (1929), *The impact of seaplane floats during landing*, NACA TN 321.
6. Fairlie-Clarke, A.C., Tveitnes, T., (2008) *Momentum and gravity effects during the constant velocity water entry of wedge-shaped sections*, j. Ocean Engineering, Vol. 35, No. 7, pp 706-716
7. Zhao, R., Faltinsen, O., (1993), *Water entry of two-dimensional bodies*, j. Fluid Mechanics, Vol. 246, pp 593–612.
8. Faltinsen, O.M., Landrini, M., (2004), *Greco, M. Slamming in marine applications*, j. Engineering Mathematics, Vol. 48, pp 187–217.
9. Malenica S., Molin B., Remy F. & Senjanovic I., (2003), *Hydroelastic response of a barge to impulsive and non impulsive wave load*, 3rd. International Confference on Hydroelasticity, Oxford, UK.
10. Faltinsen, O.M., (1997), *The effect of hydroelasticity on ship slamming*, Philosophical Transactions of Royal Society A, Vol. 355, No. 1724, pp. 575-591
11. Kamlesh S. Varyania, Rama M. Gatigantib, Miroslaw Gerigkc, (2000), *Motions and slamming impact on catamaran*, j.Ocean Engineering, Vol.27, pp 729–747.
12. Andrianov, A.I., Hermans, A.J., (2005), *Hydroelasticity of a circular plate on water of finite or infinite depth*, j.Fluids and Structures, Vol. 20, pp 719–733
13. Koo, W.C. , Kim, M.H. , (2006), *Numerical simulation of nonlinear wave and force generated by a wedge-shape wave maker*, j. Ocean Engineering Vol. 33, pp 983–1006
14. Kvalsvold J., Faltinsen O., (1995), *Hydroelastic Modelling of Wet Deck Slamming on Multihull Vessels*, j.Ship Research, Vol. 39, pp. 225-239.
15. Bereznitski A., (2001), *Slamming & The Role of Hydroelasticity*, j. International Shipbuilding Progress, Vol. 48, No. 4, pp. 333-351.
16. Cointe, R., (1989), *Two-dimensional water-solid impact*, j. Offshore Mechanics and Arctic Engineering, Vol. 111, pp109-114.
17. Yousefnia M., (2008), *Hydroelastic analysis of monohulls hull girder deflection due to bow sections impacts with free surface*, Master Thesis, Department of Marine Engineering, Amirkabir University of Technology, Iran. (In Persian)
18. MATLAB, The language of technical computing, 201
19. ANSYS® Academic Research Mechanical, Release 9.0

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.17357608.1397.14.27.8.5]