بررسی پاسخهای دینامیکی سازه های دریایی شناوراز نوع یدک کش تحت تاثیر امواج دریا

مهدی رستگار
مربی گروه عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد خوی

محمدعلی لطف اللهی یقین
استادیار گروه سازه های دریایی، دانشگاه تبریز

چکـیده:

امروزه بعلت استفاده از شناورها در زمینه های مختلف اقتصادی و نظامی و ... صنعت کشتی سازی پیشرفت زیادی نموده است. همگام با این پیشرفت ها مباحث اصلی دینامیک شناورها مطرح شده و بررسی حرکات مختلف این سازه ها در اقیانوسها، بخصوص خسارات وارده بر قسمت جلویی سینه کشتیها بر اثر حرکات مذکور که مهمترین آنها در اثر پدیده اسلمینگ [۱]حاصل میشود، مورد توجه قرار گرفته است. اگر چه اصول فیزیکی حاکم بر حرکات کشتی در امواج چندان پیچیده نیست ولی معادلات و محاسبات مربوطه بسیار وقت گیر بوده، از طرفی دیگر تجهیز و استفاده از آزمایشگاه های سازه های دریایی برای بررسی عملی رفتار دینامیکی شناورها بسیار پرهزینه میباشد. در این مقاله ضمن توجه به اصول حاکم بر تحریکات دینامیکی شناورها در رابطه با حرکت امواج و مشخصات فیزیکی و هندسی مقطع، پاسخهای دینامیکی یک شناور از نوع یدک کش، مورد توجه قرار گرفته است. به این ترتیب که ابتدا با استفاده از نرم افزار اجزاء محدود ANSYS9 سازه شناور، مدلسازی شده و تحت تحریکات دینامیکی امواجی با مشخصات مختلف از نظر طول موج، فرکانس، ارتفاع موج، امواج دارای فرکانس تشدید، امواج تصادفی و سرعتهای مختلف شناور در این شرایط قرار میگیرد. بستر ایجاد شده برای این شناور فنرهایی خواهند بود که جایگزین آب دریا شده و از نوع فنرهای یکطرفه فشاری میباشند تا مشکل کشش فنرها هنگام تلاطم های دریایی شناور بخصوص زمان برخاستن شناور از سطح آب وجود نداشته باشد. در تحلیل نمونه ها برای هر نمونه یک آنالیز جداگانه انجام میشود و کلیه آنالیزها دینامیکی غیر خطی میباشند. با ذخیره سازی و استخراج نتایج مورد نظر از مجموعه آنالیزهای انجام شده، نمودارهای لنگر خمشی دینامیکی، نیروی برشی دینامیکی و نیز تغییرمکانهای دینامیکی حداکثر بصورت گرافهای سه بعدی با استفاده از نرم افزار MATLAB6 رسم میشوند. نهایتا با توجه به نمودارهای بدست آمده پاسخهای دینامیکی شناور ارزیابی میگردد.

واژه های کلیدی :

دینامیک شناورها – تحریکات دینامیکی امواجی – فنرهای یکطرفه – پاسخهای دینامیکی شناور

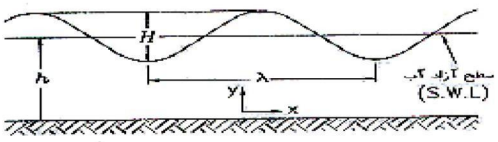
۱- مقدمه

بدلیل موقعیت استراتژیک کشورمان از نظر منابع نفتی و وجود دریاچه های مختلف داخلی، همچنین دسترسی به دریاهای آزاد، استفاده از شناورها و کشتیها جهت حمل و نقل اجناس و یا نفت خام مقرون به صرفه بوده و هزینه های سنگین حمل و نقل توسط راه های زمینی و هوایی بشدت کاهش می یابد، از اینرو شناورها بعنوان مهمترین وسیله حمل و نقل کالا و مواد نفتی، مسافرت، تفریح وحتی برای اهداف نظامی مورد استفاده قرار میگیرند. برای شناخت رفتار دینامیکی شناورها روشهای مختلفی وجود دارد. یکی از این روشها استفاده از آزمایشگاه سازه های دریایی است که در آن شناور مورد نظر به صورت مدل عملی تحت آزمایشهای مختلفی قرار میگیرد. تجهیز و استفاده از چنین آزمایشگاههایی مستلزم صرف هزینه های بسیار سنگین میباشد که در کشور ما تاکنون به دلیل گران بودن وسایل و تجهیزات و همچنین کمبود نیروی انسانی متخصص چنین آزمایشگاهی تاسیس نشده است. روش دیگری که برای بررسی رفتار دینامیکی شناورها در سطح دنیا انجام میشود استفاده از کامپیوتر و نرم افزارهای کامپیوتری است. این روش نسبت به روش قبلی هزینه کمتری دارد اما خرید این برنامه ها و نحوه استفاده از آنها نیز هزینه بر بوده و در شرایط کنونی بسیاری از این برنامه ها قابل دسترس نمیباشند. اما در تحقیق حاضر برنامه کامپیوتری دیگری بنام ANSYS9 که کاربرد کلی داشته و برای شناورها هم قابل استفاده است بکار برده میشود. این نرم افزار در اکثر مراکز تحقیقاتی کشور موجود بوده و قابل دسترسی میباشد.

همانطوریکه میدانیم دریاها و اقیانوسها معمولا متلاطم بوده و دارای امواج نامنظم هستند که این امواج طبیعتی تصادفی دارند. شناورهایی که تحت شرایط مختلف دریایی رفت و آمد میکنند با این امواج برخورد کرده و واکنشهایی در آنها ظاهر میشود که این واکنشها نیز طبیعتی تصادفی از خود بروز میدهند. بنابراین برای بررسی این عکس العملها شناخت امواج تصادفی و اثر آنها روی کشتیها لازم است. تاثیر امواج نامنظم و تصادفی را میتوان بطور تقریبی بر اساس ترکیب تعداد کثیری از امواج منظم مدل کرده و مورد بررسی قرار داد. لذا امواج منظم اهمیت بسزایی در تحلیل امواج تصادفی که شناورها با آنها روبرو میشوند را دارند، بنابراین ابتدا لازم است که اصول حاکم برامواج منظم تشریح گردد. امواج منظم هیچگاه در دریاها بوجود نمیآیند و تنها در آزمایشگاهها امکان ایجاد آنها وجود داردولی با این وجود، نشان داده میشود که اینگونه امواج نیز به نوعی بر حرکات شناورها موثر میباشند هر چند که در واقعیت هیچگاه شناور با آنها برخورد نخواهد کرد این شناورها بایستی در مقابل عوامل مختلف محیطی که بر اساس آنها طراحی میشوند مقاومت و کارآیی لازم را داشته باشند طراحی و ساخت چنین شناورهایی مستلزم تحلیل دقیق و کاملی از رفتار آنها در مقابل عوامل یاد شده میباشد. بنابراین بررسی رفتار دینامیکی شناورها لازم و ضروری به نظر رسیده و هدف اصلی این تحقیق شناخت و بحث روی این عکس العملهاست.

۲- تئوری موج ایری

تئوری نسبتا ساده و خطی موج در سال ۱۸۴۲ توسط آقای ایری ارائه شد. در این تئوری شکل موج سینوسی به ارتفاع H بوده و فرض میشود که در مقایسه با طول موج λ و عمق آب h کوچک است. این تئوری به عنوان پایه ای در مدلسازی آماری موج در حین طوفان به کار میرود. شکل (۱) پارامترهای مختلف موج را نشان میدهد. مطابق شکل محورهای x و y در جهات نشانداده شده فرض میشوند.



شکل(۱) تشریح پارامترهای موج. [۴]

معادله سطح آب در این تئوری عبارتست از :

$$\eta = \frac{H}{2}\cos(kx - \omega t) \qquad (۱)$$

u و v بترتیب سرعتهای افقی و قائم ذرات آب در موقعیت $(x,y)^2$ و زمان t با استفاده از اصول هیدرودینامیک و تئوری ایری به صورت زیر بدست می آید:

$$u = \frac{\omega H}{2}\frac{\cosh ky}{\sinh kh}\cos(kx - \omega t) \qquad (۲)$$

$$v = \frac{\omega H}{2}\frac{\sinh ky}{\sinh kh}\sin(kx - \omega t) \qquad (۳)$$

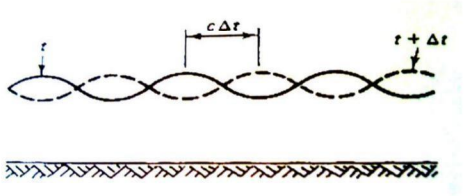
در این روابط k و ω بترتیب عدد موج و تواتر موج هستند که بصورت زیر بر حسب طول موج و زمان تناوب موج بیان میشوند. (زمان تناوب، زمان لازم برای یک ارتعاش کامل میباشد.)

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} \quad , \quad \omega = \frac{2\pi}{T}$$
$$\omega^2 = gk\tanh kh \qquad (۴)$$

مقدار $(kx - \omega t)$ فرمولهای فوق در زمان $t + \Delta t$ پس از پیشروی موج به اندازه $\Delta x = \omega\frac{\Delta t}{k}$ ثابت میماند.

$$kx - \omega t = k(x + \Delta x) - \omega(t + \Delta t) \qquad (۵)$$

بنابراین معادله موج (۲) نشان دهنده یک شکل ثابت است که با سرعت C به راست حرکت میکند این امر در شکل (۲) نشانداده شده است.



شکل(۲) موج پیشرو. [۸]

پارامتر C بصورت زیر بیان میشود:

$$C = \frac{\omega}{k} = \frac{\lambda}{T} \qquad (۶)$$

با استفاده از رابطه (۴) سرعت موج ایری بصورت زیر حاصل میشود:

$$C = \left[\frac{g}{k}\tanh kh\right]^{1/2} \qquad (۷)$$

شتاب افقی و قائم a_x و a_y ذرات آب، برای امواج با ارتفاع کم بر اساس تئوری ایری از مشتق سرعت نسبت به زمان محاسبه میشود بطوریکه:

$$a_x = \frac{\partial u}{\partial t} \quad , \quad a_y = \frac{\partial v}{\partial t}$$

$$a_x = \frac{\omega^2 H}{2}\frac{\cosh ky}{\sinh kh}\sin(kx - \omega t) \qquad (۸)$$

$$a_y = -\frac{\omega^2 H}{2}\frac{\sinh ky}{\sinh kh}\cos(kx - \omega t) \qquad (۹)$$

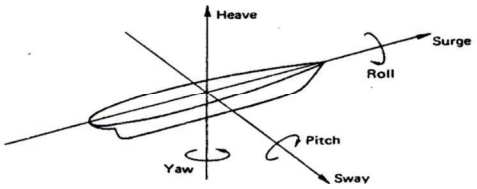
در تئوری ایری فشار آزاد[۳] یا اختلاف فشار واقعی و فشار اتمسفر از رابطه زیر بدست میآید که در این رابطه ρ نشان دهنده دانسیته جرمی آب و g شتاب ثقل است.

$$P = \rho g\frac{H}{2}\frac{\cosh ky}{\cosh kh}\cos(kx - \omega t) + \rho g(h - y) \qquad (۱۰)$$

با داشتن فشار در هر نقطه شناور، میتوان نیروی حاصله را از حاصلضرب فشار در سطح محاسبه نمود.

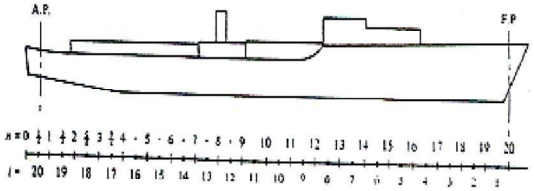
۳-درجات آزادی شناور و مدهای ارتعاشی طبیعی

کشتی به عنوان یک جسم صلب دارای شش درجه آزادی است این درجات آزادی در شکل زیر نشانداده شده اند. این حرکات عبارتند از حرکاتی دینامیکی که نسبت به یک شرایط متوسط پدید می آید. در یک مسیر مستقیم کلیه حرکات دینامیکی فوق بغیر از حرکت طولی[۴] صفر هستند.



شکل(۳) درجات آزادی حرکت کشتی [۴]

در شرایطی خاص که امواج کاملاً از مقابل[۵] و یا کاملا از پشت سر[۶] به کشتی برخورد میکنند، کشتی دارای حرکت قائم[۷]، حرکت غلتش طولی[۸] و حرکت طولی است، اما حرکت عرضی[۹] حرکت غلتشی عرضی[۱۰] و حرکت گردشی[۱۱] صفر خواهد بود. در شرایطی که امواج کاملا از عرض[۱۲] به کشتی برخورد کنند کشتی فقط دارای حرکت قائم ، حرکت غلتش عرضی خواهد بود. برای تعیین مودهای اصلی و فرکانسهای طبیعی یک شناور که میتواند به صورت یک تیر آزاد فرض شود روشهای زیادی وجود دارد. مهمترین روش در بحث دینامیک کشتی روش Prohi-Myklestad نامیده میشود که در مورد تئوری ارتعاش بحث میکند. در این روش بدنه کشتی به قطعات مساوی تقسیم میشود، تعداد این قطعات به دقت مورد نیاز بستگی دارد. اگر مودهای با فرکانسهای بالا مورد نظر باشد لازم است که تعداد قطعات زیاد باشد. در عمل حداقل ۲۰ قطعه برای محاسبات مناسب است. براساس توصیه های آزمایشگاهی تعداد ۵۰ قطعه برای نیل به اهداف آزمایشگاهی بسیار مناسب خواهد بود. شکل (۴) بدنه یک کشتی را که به ۲۰ قسمت مساوی تقسیم شده است نشان میدهد. فرض میشود که جرم هر قطعه در مرکز آن قرار گرفته باشد. قطعات با شماره های $i = ۱,۲,۳,۴,...۲۰$ نشان داده شده اند که این شماره گذاری از قسمت جلویی شناور به سمت عقب آن میباشد [۴].



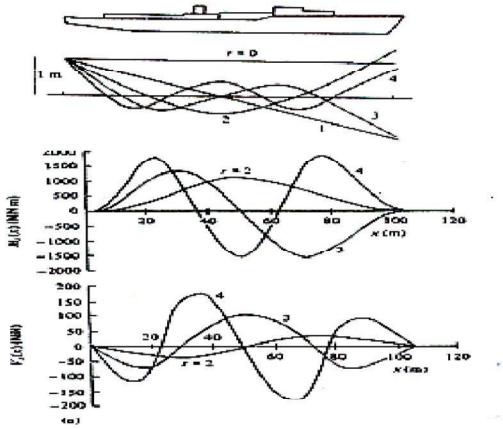
شکل(٤) نحوه شماره گذاری بدنه یک کشتی[۴] .

لنگر خمشی و نیروی برشی شناور در r امین مود ارتعاشی نیز به صورت زیر بیان میشود:

$$M_r = EI \frac{d^2 W_r(x)}{dx^2} \qquad (۱۱)$$

$$V_r = -EI \frac{d^3 W_r(x)}{dx^3} \qquad (۱۲)$$

در شکل (۵) پنج مود اصلی ارتعاش طبیعی نخست کشتی مفروض به همراه لنگرهای خمشی و نیروهای برشی مربوطه آمده است.



شکل (۵) پنج مود ارتعاش طبیعی شناور مفروض، به همراه نمودار های خمش و برش مربوطه [۴].

٤- معرفی مدل و نحوه آنالیز

شناورها میتوانند بصورت یک تیر آزاد[۱۳] در نظر گرفته شوند که روی سطح آب قرار گرفته و واکنشهای آن تابع نوسانات دریاها و اقیانوسها میباشد. در حقیقت آب دریاها بمنزله تکیه گاه ارتجاعی (فنر مانند) برای شناورها است.

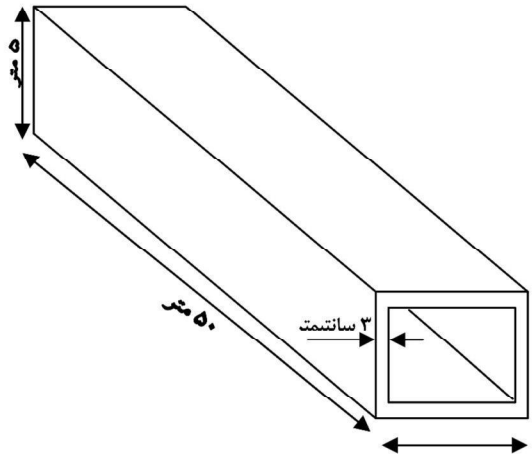
مطابق شکل (۶) مدل شناور و مشخصات هندسی و فیزیکی آن بصورت زیر میباشد:

- طول شناور (L): ۵۰ متر
- عرض شناور (B): ۱۶ متر
- ارتفاع شناور (H): ۵ متر
- ضخامت دیواره های شناور (t): ۳ سانتیمتر
- مدول الاستیسیته

$$E = ۲.۱\times۱۰^{۶} \qquad Kg/cm^2$$

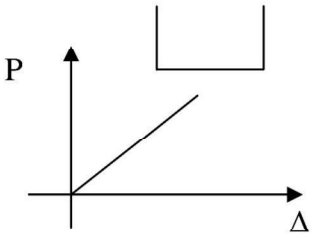
- ضریب پواسون

$$\nu = ۰.۳$$



شکل (٦) شناور مدلسازی شده

همچنانکه میدانیم شناور تحت اثر وزن خود درآب فرو میرود، از سوی دیگر نیروی ارشمیدس که برابر وزن آب جابجا شده است در خلاف جهت نیروی وزن، روی شناور اعمال میشود، زمانیکه این دو نیرو مساوی شدند شناور به حالت تعادل میرسد. لذا میزان عمقی که شناور در آب فرو میرود[۱٤] به راحتی قابل محاسبه است .در این تحقیق بجای آب دریا از سیستم فنر استفاده شده است. فنرهای متعددی بجای آب زیر شناور تعبیه شده اند که سختی این فنرها به شکل مقطع شناور بستگی دارد. مطابق شکل (۷) در شناورهای با مقطع مستطیلی سختی فنرها ثابت بوده و در شناورهای با مقطع مثلثی سختی فنرها غیرخطی میباشد به عبارت بهتر رابطه بین تغییر مکان و نیروی فنرها سهمی خواهد بود.



مقطع مستطیلی

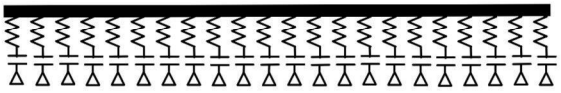
شکل (۷) رابطه تغییر مکان و نیروی فنرها در مقاطع مستطیلی

در مدلسازی این شناور با ANSYS از دو نوع المان به شرح زیر استفاده شده است :

۱ـ المان Beam2D برای مدلسازی بدنه شناور به همراه معرفی پارامترهای سطح مقطع تیر A، ممان اینرسی مقطع I، ارتفاع تیر H.

۲- المان Combin40 که یک فنر با خصوصیات غیرخطی از جمله Damping و Gap میباشد و میتواند بصورت فنر یکطرفه عمل کرده و فقط در حالت فشار کار کند، بنابراین زمانیکه شناور از سطح آب جدا میشود Gap این المان باعث آزاد شدن فنر شده و مشکل اعمال کشش توسط فنرها از بین خواهد رفت.

در این مدل طول شناور به ۱۰۰ قسمت مساوی تقسیم شده است. به عبارت بهتر در هر۵۰ سانتیمتر یک گره و یک فنر تعبیه شده است . با داشتن سختی کل تقسیم آن به تعداد فنرهای تعبیه شده، سهم سختی هر فنر به راحتی بدست میآید. لازم به ذکر است که سختی فنرهای ابتدا و انتهای شناور نصف بقیه خواهند بود.



شکل (۸) جزئیات جایگذاری فنرها در زیر شناور

۵- بـارگـذاری و نحوه آنالیز

در این تحقیق بارهای ناشی از امواج به دو صورت بر شـناور اعمال شده‌اند: امواج سینوسی و امواج تصادفی

۵-۱- امواج منظم سـینوسـی

براساس روابط گفته شده در بخش ۲ برای اعمال نیروی حاصل از امواج که لحظه به لحظه مکان اعمال این نیروها روی شناور تغییر میکند از حلقه های تکرار Enddo*....Do*و Endif*...*Then...*If*... و گامها و زیرگامهای بارگذاری که از ابزارهای نیرومند Ansys هستند استفاده شده است. در این روش که بصورت فایل مـتنی نوشته میشود ابتدا مشـخصات مـوج شامل زمان تناوب موج T، فرکانس زاویه ای موج ω ، عدد موج k، ارتفاع موج H، عمق دریا در محل مورد نظر h، سطح موج η ، شتاب ثقل g، چگالی آب دریا ρ و عرض شناور برای نـرم افزار مشخص مـیشوند.

بدلیل اینکه وزن شناور یکی از پارامترهای مهم در برقراری تعادل شناور میباشد و هر لحظه موجود است، لذا برای اعمال این پارامتر، در شروع هر تحلیل به شناور فرصت کافی داده میشود تا تحت اثر وزن خود روی آب دریا یا به عبارت بهتر روی فنرها نوسان داشته و تـعادل کـامل بین وزن شناور و نیروی ارشمیدس که در حقیقت همان عکس العمل فنرهاست حاصل شود که طول این مدت در تمام تحلیلها ۶۰ ثانیه در نظر گرفته شده است.

با استفاده از رابطه (۱۰) در هر لحظه مقدار فشار آب موجود در هر گره از زیر شناور محاسبه میشود و سپس با ضرب آن در سطح مقطع هر المان مقدار نیروی وارده روی گره آن المان بدست میآید دو حلقه تکرار تودرتو وظیفه کـنترل زمان و مکان اعمال نـیرو را دارند. به اینصورت که Ansys با ورود به حلقه اول، زمان اعمال نیروی موج را از لحظه شروع به اندازه نمو مشخص شده برای برنامه، افزایش داده سپس وارد حلقه دوم میشود. در حلقه دوم (حلقه داخلی) ابتدا تمام نیروهای موجود روی مدل حذف شده و آنگاه سهم نیروی حاصل از موج برای تمامی گره‌ها بر حسب موقعیت آنها و بر اساس فرمول (۱۰) اعمال میشود. سپس یکدور آنالیز صورت گرفته و نتایج ذخیره میگردند آنگاه با بازگشت به حلقه اول و افزایش زمان به اندازه نمو، دوباره به حلقه دوم وارد شده، نیروهای موجود را حذف نموده، نیروی جدید را روی تمامی گره ها اعمال میکند و آنالیز بعدی انجام میشود. پایان تحلیل زمانی است که حلقه کنترل کننده زمان به آخرین مقدار مشخص شده برسد.

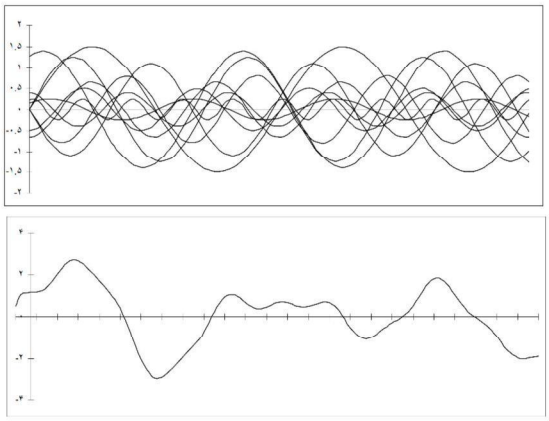
بعد از اتمام و ذخیره سازی نتایج کلیه آنالیزها، پردازشگر Post26 عکس العملهای مربوطه را که شامل لنگرهای خمشی، نیروهای برشی و مقدار خیز قائم در نقاط مختلف و مورد نظر است، بر حسب زمان رسم میکند.

۵-۲- امـواج تصادفی (راندوم)

بیشتر امواجی که در دریاها و اقیانوسها وجود دارند بصورت تصادفی بوده و از قاعده و فرمول خاصی پیروی نمیکنند و بندرت پیش میآید که امواج سینوسی روی شناورها اثر بگذارند. لذا در این تحقیق، اثر امواج تصادفی روی شناورها نیز مورد مطالعه قرار گرفته است به این ترتیب که ابتدا ده موج اختیاری که از تئوری موج Airy پیروی می کنند، با مشخصات معلوم و به شرح جدول (۱) انتخاب شده و با هم ترکیب میشوند که تعداد آنها میتواند بیشتر هم باشد. با این رویه یک موج نامنظم تولید میگردد. بطور کلی هر موج نامنظم یا به طور عام، موج تصادفی تولید شده در طبیعت، میتواند با همان شیوه امواج منظم روی شناور اعمال و تاثیر نیروهای حاصله بررسی گردد.

جدول(۱)مشخصات امواج سینوسی دلخواه بکار گرفته شده در ترکیب موج نامنظم

شماره موج	ارتفاع موج (متر)	زمان تناوب موج(ثانیه)
۱	۰/۵	۳
۲	۰/۸	٤
۳	۱	٤/۵
٤	۱/۳	۵
۵	۱/٦	۵/۲
٦	۲	۵/۷
۷	۲/۲	٦/۵
۸	۲/۵	۷
۹	۲/۸	۸
۱۰	۳	۱۰



شکل (۹) نمودار ده موج سینوسی دلخواه و موج نامنظم حاصله

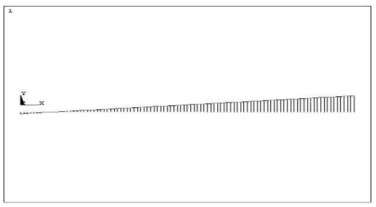
٦- آنالیز مودال

بررسی واکنشهای دینامیکی هر سازه ای در مقابل عوامل محرک مختلف مستلزم شناخت فرکانسهای طبیعی آن سازه میباشد. سازه شناور نیز که در معرض بارهای دینامیکی متعددی قرار میگیرد، از این قاعده مستثنی نیست. آنالیز مودال[۱۵] برای شناور مدلسازی شده صورت گرفته و مقادیر فرکانسهای طبیعی این شناور برای ۵ مود اول طبق جدول (۲) میباشد.

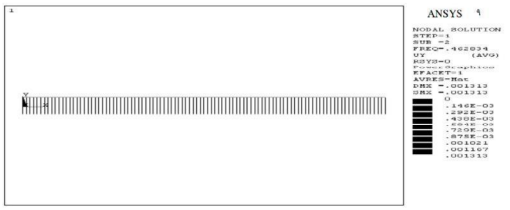
جدول (۲) مقادیر فرکانسهای طبیعی شناور مفروض

شماره مود	زمان تناوب	فرکانس
۱	۲/۱٦٤٤	۰/٤٦۲۰۱
۲	۲/۱٦٤۳	۰/٤٦۲۰۳٤
۳	۱/۹۸۹۲	۰/۵۰۲۷
٤	۱/۳۸۷۷	۰/۷۲۰٦
۵	۰/۸۵۳۲	۱/۱۷۲

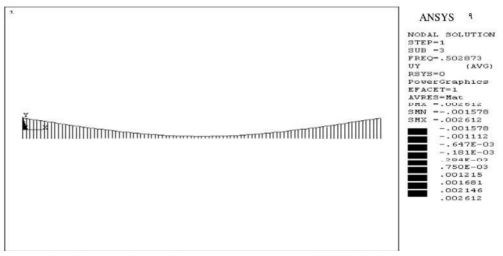
همچنین در شکلهای (۱۰) تا (۱۴) تصاویر پنج مود ارتعاش طبیعی نخست این شناور اول آمده است. ملاحظه میگردد که شکل این مودها منطبق بر موارد ارائه شده در قسمت مربوط به مودهای ارتعاش طبیعی کشتیها و شکل (۵) میباشد. مود اول ارتعاش طبیعی این شناور مربوط به حرکت Heave، مود دوم مربوط به حرکت Pitch و مودهای سوم و بالاتر مربوط به خمش سازه میباشد.



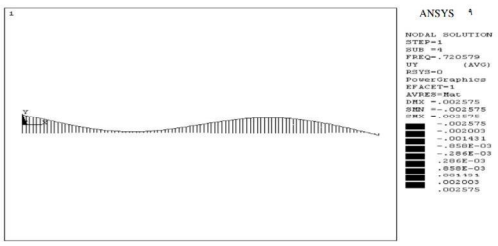
شکل (۱۰) مود اول ارتعاش طبیعی شناور ـ حرکت Pitch



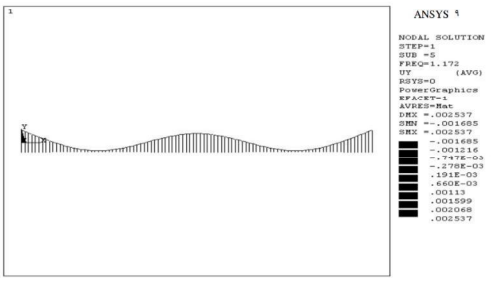
شکل (۱۱) مود دوم ارتعاش طبیعی شناور ـ حرکت Heave



شکل(۱۲) مود سوم ارتعاش طبیعی شناور



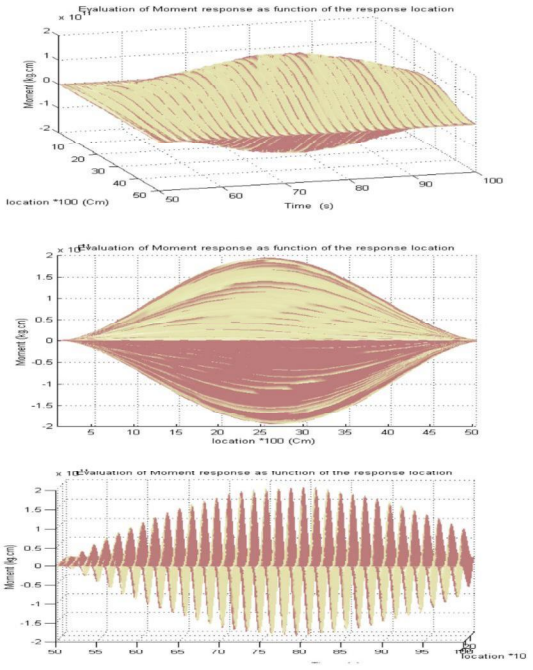
شکل(۱۳)مودچهارم ارتعاش طبیعی شناور



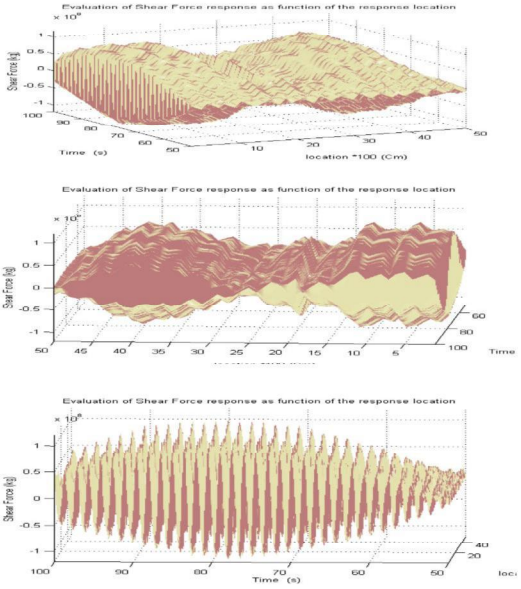
شکل(۱٤)مود پنجم ارتعاش طبیعی شناور

تاثیر فرکانس امواج برخوردی

همانطوریکه در قسمتهای گذشته نیز عنوان گردید، به منظور بررسی عوامل گوناگون موثر بر واکنشهای دینامیکی شناورها، پارامترهای مختلفی مطرح و مسائل مربوطه آنالیز شده‌اند به منظور بررسی اثر فرکانس امواج برخوردی به شناورها، فرکانس امواج برخوردی از ۰/۰۵ تا ۱/۱۱ هرتز منظور شده است. دلیل وجود محدودیت در رنج فوق، انجام نشدن تحلیل دینامیکی غیرخطی در زمانهای بسیار ریز توسط نرم‌افزار مربوطه بوده است. با برداشت لنگر خمشی و نیروی برشی به عنوان مهمترین واکنشهای دینامیکی شناورها در نقاط مختلف از طول شناور مفروض و در طول زمان تعریف شده برای تحلیل، به نمودار سه بعدی شکل (۱۵) و (۱۶) می توان رسید. همانطوریکه از این شکلها پیداست، بیشترین لنگر خمشی در وسط شناور و بیشترین نیروی برشی در یک چهارم طول شناور روی میدهد. وجود لرزشهای متعدد در این گرافها بیانگر بعد زمانی و یا به عبارت بهتر وابسته بودن تحلیلها به زمان میباشد. با برداشت مقادیر لنگر خمشی و نیروی برشی در موقعیتهای فوق الذکر، نمودار شکل (۱۷) بدست میآید که بیانگر وابستگی کامل واکنشهای مذکور به فرکانس امواج برخوردی به شناور است. همانطوریکه از شکل (۱۷) نیز پیداست ، بیشترین لنگر خمشی شناور، در زمان تناوب ۱/۵ ثانیه روی میدهد.



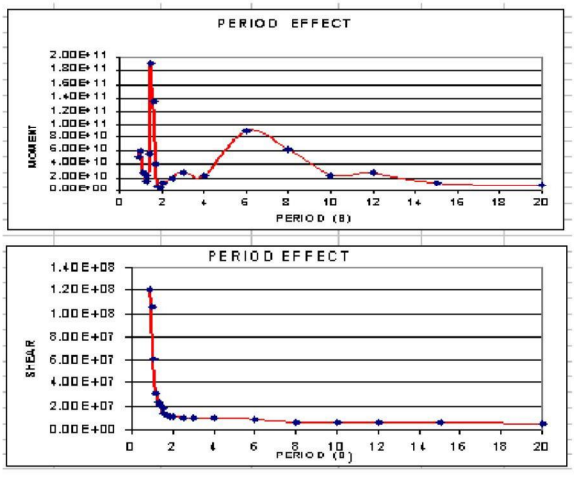
شکل (۱۵) نمودار سه بعدی لنگر خمشی ـ طول شناور ـ زمان، از سه زاویه دید



شکل (۱۶) نمودار سه بعدی نیروی برشی ـ طول شناور ـ زمان، از سه زاویه دید

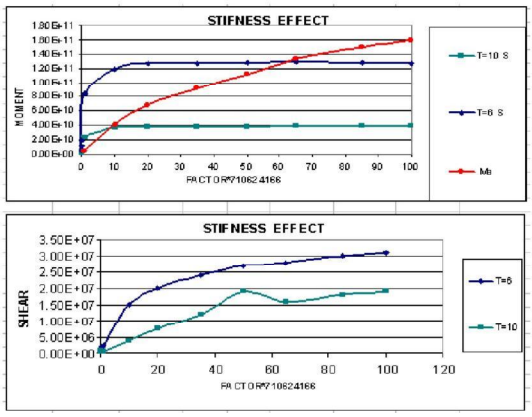
۷- تاثیر سختی خمشی

سختی خمشی یک شناور و یا به عبارت بهتر تغییرات ممان اینرسی با فرض ثابت بودن مدول الاستیسیته، یکی دیگر از پارامترهای مورد بحث در واکنشهای دینامیکی شناورهاست. با توجه به حداکثر شدن لنگر خمشی در وسط شناور و نیروی برشی در یک چهارم طول شناور بر اساس بخش ۷، برداشتهای مربوط به این واکنشها در محلهای یادشده انجام گرفته‌اند. لازم به توضیح است که در این نمودارها زمان تناوب امواج برخوردی بترتیب ۶ و ۱۰ ثانیه در نظر گرفته شده است.



شکل(۱۷) تاثیر فرکانس امواج برخوردی به شناور

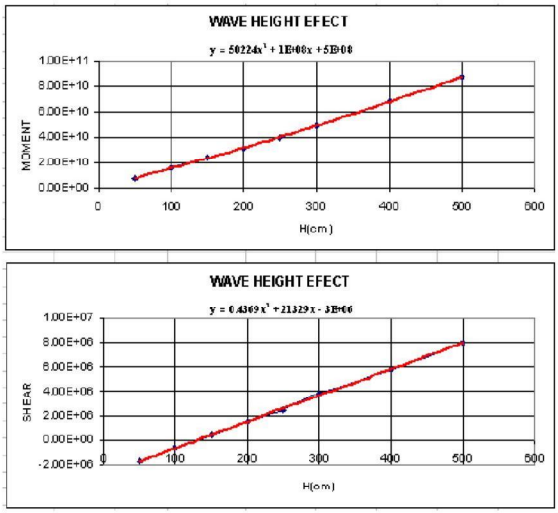
شکل (۱۸) تاثیر سختی شناور روی واکنشهای دینامیکی شناور را نشان میدهد. همانطوریکه از شکل نیز پیداست شناور در مقابل امواج با زمان تناوب ۶ ثانیه حساستر بوده و لنگر خمشی شناور در این امواج نسبت به امواج با زمان تناوب ۱۰ ثانیه مقدار بیشتری دارد. در چنین شرایطی با استفاده از اصل تنش تسلیم میتوان یک ناحیه طراحی تعریف نمود این ناحیه میتواند بعنوان معیاری برای طراحی مقطع شناور مورد استفاده قرار گیرد. ناحیه مذکور در شکل (۱۸) نشان داده شده است.



شکل (۱۸) تاثیر سختی شناور روی واکنشهای دینامیکی شناور و ناحیه طراحی

۸- تاثیر ارتفاع امواج برخوردی

ارتفاع امواج برخوردی به شناورها نقش بسیار مهمی در واکنشهای دینامیکی مربوطه دارد. به منظور تائید این مطلب، ارتفاع امواج برخوردی از ۰/۵ تا ۵ متر تغییر کرده و با فرکانس برخوردی ۰/۱ ثانیه به شناور مفروض اعمال شده است. از جمع‌بندی آنالیزهای انجام شده و برداشت لنگر خمشی و نیروی برشی در محلهای بحرانی شناور شکل (۱۹) بدست میآید، ملاحظه میگردد رابطه لنگر خمشی و نیروی برشی این شناور با ارتفاع امواج برخوردی بصورت خطی تغییر میباید.

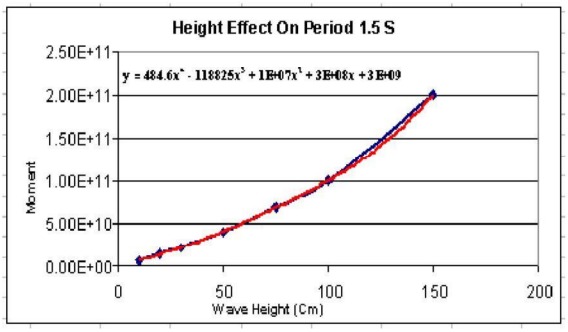


شکل (۱۹) تاثیر ارتفاع امواج برخوردی با فرکانس ۰/۱ ثانیه در واکنشهای شناور

۹- تاثیر امواج حاوی فرکانس بحرانی

مسائل این گروه، بیانگر تاثیر ارتفاعهای مختلف و محدود برای امواجی با زمان تناوب ۱/۵ ثانیه که بیشترین تحریک را در شناور مورد نظر ایجاد میکنند، میباشد.

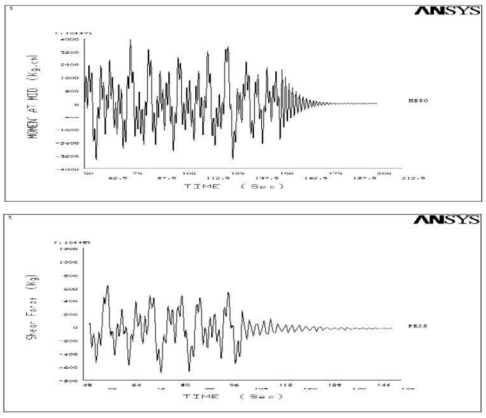
در شکل (۲۰) تاثیر ارتفاع امواج برخوردی با زمان تناوب ۱/۵ ثانیه در لنگر خمشی شناور آمده است. ملاحظه میگردد که لنگر خمشی وسط شناور با توان دوم ارتفاع امواج مرتبط میباشد. همچنین با مقایسه شکلهای (۱۹) و (۲۰) میتوان دریافت که لنگر خمشی ایجاد شده در اثر موجی به ارتفاع کم (مثلا ۰/۵ متر) و فرکانس برخوردی ۰/۶۶۷ هرتز، تقریبا پنج برابر لنگر خمشی ایجاد شده در اثر موجی به همان ارتفاع و فرکانس برخوردی ۰/۱ هرتز میباشد. دلیل این موضوع وقوع حالت تشدید در فرکانس ۰/۶۶۷ هرتز میباشد که تقریبا مساوی با فرکانس طبیعی سازه شناور نیز میباشد.



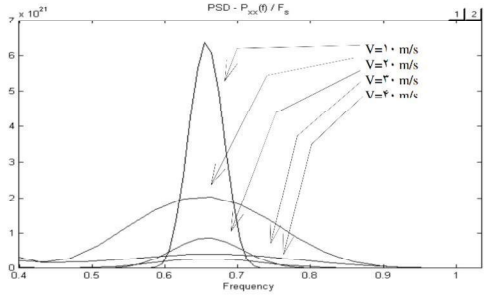
شکل (۲۰) تاثیر ارتفاع امواج برخوردی با زمان تناوب ۱/۵ ثانیه در لنگر خمشی شناور

۱۱- اثر امواج تصادفی بر شناور با سرعتهای مختلف

همانگونه که قبلا هم اشاره شد بیشتر امواج تاثیرگذار بر شناورها امواج تصادفی هستند بدین منظور در این تحقیق اثر این امواج بر واکنشهای دینامیکی شناور مفروض نیز لحاظ شده است. در اثر برخورد یک موج تصادفی به مدل شناور، نمودار لنگر خمشی در وسط شناور و نیروی برشی در یک چهارم طول شناور مطابق شکل (۲۱) خواهد شد. همچنین به لحاظ سرعتهای مختلفی که یک کشتی در دریا و در میان امواج تصادفی دارد واکنشهای مربوط به هر سرعت، با دیگری متفاوت خواهد بود. با رسم طیف لنگر خمشی وسط شناور در سرعتهای مختلف، که در شکل (۲۲) آمده است این موضوع بیشتر روشن میشود. همانطوریکه از این شکل نیز پیداست با افزایش سرعت شناور، مقدار واکنش کم میشود اما محدوده فرکانسها وسیعتر میشود به عبارت بهتر در سرعتهای بالاتر شناور فرکانسهای بیشتری را تجربه میکند.



شکل (۲۱) نمودار لنگر خمشی و نیروی برشی در اثرموج تصادفی



شکل (۲۲) طیف واکنش شناور مفروض در سرعتهای مختلف در اثر موج تصادفی

۱۲- نتایج

۱- در اثر امواج برخوردی، بیشترین لنگر خمشی در وسط شناور و بیشترین نیروی برشی در یک چهارم طول شناور روی میدهد.

۲- در اثر برخورد امواج با زمانهای تناوب مختلف، بیشترین تحریک در زمان ۱/۵ ثانیه روی میدهد که این زمان تقریبا معادل مود دوم خمش سازه است.

۳- سختی شناور یکی از پارامترهای موثر در واکنشهای دینامیکی مربوطه میباشد. در امواج برخوردی به شناورها، رابطه بین سختی و لنگر خمشی شناور از نوع تابع سهمی میباشد.

۴- رابطه نیروی برشی و سختی شناور بصورت درجه دوم است.

۵- رابطه بین ارتفاع امواج برخوردی به شناورها با لنگر خمشی و نیروی برشی بصورت سهمی میباشد.

۶- در فرکانس تحریک حداکثر (۰/۶۶۷ هرتز)، امواج با ارتفاعهای کم (مثلا ۰/۵ متر) واکنشهای خیلی بالا و در حدود ۵ برابر سایر فرکانسهای برخوردی را تولید میکنند.

۷- در امواج تصادفی با افزایش سرعت شناور طیف مربوط به واکنش لنگر خمشی پهن تر شده و محدوده وسیعی از فرکانسها را شامل میشود اما مقدار لنگرخمشی کمتر میشود و با کاهش سرعت شناور عکس حالت یاد شده اتفاق میافتد به عبارت بهتر طیف مربوط به واکنش لنگر خمشی باریکتر شده و محدوده کمتری از فرکانسها را شامل میشود اما مقدار لنگر خمشی افزایش پیدا میکند.

مراجع

[۱] ANSYS User's Giud, Revision 9, Swanson Analysis System, Ninth Edition, 2006.

[۲] Belik, O., Bishop, R.E.D., and Price, W.G., "A Simulation of Ship Responses Due to Slamming in Irregular Head Waves," Trans. RINA 125, 1983.

[۳] Belik, O., Bishop, R.E.D., and Price, W.G., "Influence of Bottom and Flare Slamming on Structural Responses," Trans. R. Inst. Nav. Arch., 130, pp. 261-275, 1988.

[۴] Bishop, R.E.D., & Price, W.G., "Hydroelasticity of Ship," First Edition, Cambridge University Press, Cambridge UK, 1979.

[۵] Bishop, R.E.D., Price, W.G., and Tam, P.K.Y., "On the Dynamics of Slamming," Trans. R. Inst. Nav. Arch., 120, pp. 259-280, 1978.

[۶] Chakrabarti, S.K., "Hydrodynamics of Offshore Structures," Computational Mechanics publication, New York, 1987.

[۷] Clough, RAY.W. & Penzin, J., "Dynamics of Structures," Second Edition, Mc GRAW-HILL, New York, 1993.

[۸] Dawson, H.D., "Offshore Structural Engineering, " PRENTICE-HALL, USA, 1983.

[۹] Derrett, D.r., "Ship Stability for Masters and Mates," Fourth Edition, Butterworth-Heinemonn Ltd, 1990.

[۱۰] Faltinsen, O.M., "Sea Loads on Ships and Offshore Structures," First Edition, Syndicate of the

University of Cambridge, New york,
of the Offshore Structures," First Edition, Syndicate
University of Cambridge, New york, 1990.
[۱۱] Ochi, M.K., Motter, L.E., "Prediction of Slamming Characteristic and Hull Responses for Ship Design," SNAME, Vol.81, pp. 144-176, 1973.
[۱۲] Lotfollahi Yaghin, M.A., "Joint Probabilities of Responses to Wave Induced Loads on Monohull Floating Offshore Structures," Ph.D. Thesis, Heriot-Watt University, United Kingdom, 1996.

Investigation of dynamic responses of floating structures such as a barge under sea waves

Mehdi Rastgar
Islamic Azad University, Khoy Branch

Mohammad-Ali Lotfollahi Yaghin
Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Tabriz University

Abstract:

Determining the responses of floating structures at sea are the most important concerns in shipbuilding industry. In physical and dynamical principles a ship can be analyzed as a free elastic beam floating in sea without any supports. The analysis of corresponding dynamic equations are difficult and time-consuming, thus investigation on the behavior of floating structures can be done numerically using specific software. In this research, instead of using expensive specific software, ANSYS9 as a typical finite element software is used for investigating the effect of various parameters on an assumed floating structure. In this way, after structural modal analysis, modeling and analysis of the structure with variation on its properties under different sea environment have been done and the responses are illustrated.
Amid-ship moment is one of the most important and effective parameters in ship design. In this paper, due to different ship speed and stiffness of cross section, amid-ship moment beside the shear force of various cross section along the ship are considered and the critical shear cross section is determined.

Keywords*:*

Floating structures, Modal analysis, Finite element, Sea waves, Amid-ship moment, Shear force