کاربرد اجزاء محدود، در بررسی واکنش‌های دینامیکی سازه شناور تحت اثر امواج دریا

محمد علی لطف اللهی یقین[۱]، مهدی رستـگار[۲]

چکیده

تعیین واکنشها و عملکرد شناورها در مقابل امواج دریا، از مسائل مهمی است که در صنعت کشتی سازی مورد توجه قرار می‌گیرد. از نظر اصول فیزیکی و دینامیکی سازه کشتی در امواج دریا بصورت یک تیر آزاد و بدون تکیه گاه بعنوان تیر ارتجاعی تحلیل می‌گردد. حل معادلات دینامیکی مربوطه، معمولا وقت گیر و مشکل بوده بنابراین در بررسی رفتار این سازه ها، استفاده از تحلیلهای عددی با کاربرد نرم‌افزارهائی ویژه برای مدلسازی و انجام تحلیلهای دینامیکی شناورها متداول است. بدلیل هزینه زیاد نرم افزارهای مربوطه و عدم دسترسی بدانها، در این مقاله از نرم افزار المان محدود ANSYS ۵،۵ بعنوان یک نرم افزار عمومی برای بررسی اثر عوامل مختلف بر یک شناور فرضی استفاده شده است. در این راستا پس از تحلیل مودال شناور با تغییر در مشخصات آن، مدلسازی و تحلیل سازه در شرائط مختلف محیطی صورت گرفته و پاسخهای دینامیکی آن تعیین و مورد تجزیه تحلیل قرار گرفته اند. یکی از واکنشهای مهم و موثر در طراحی کشتیها، لنگر خمشی مقطع عرضی بخش میانی سازه می باشد که در این مقاله در ازای تغییرات سرعت شناور، سختی مقطع، این واکنش همراه با برش مقاطع مختلف طولی مورد توجه بوده و مقطع بحرانی برش نیز تعیین گردیده است.

کلمات کلیدي

سازه‌های شناور، آنالیز مودال، المانهای محدود، امواج دریا، لنگر خمشی، نیروی برشی

Using Finite Element in Investigation of Waves-Induced Dynamic Responses of a Floating Structure under Sea Waves

M.A.Lotfollahi Yaghin, M.Rastgar

ABSTRACT

Determining the responses of floating structures the 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, ANSYS 5.5 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.

[۱] دانشیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تبریز، Email: a_lotfollahi@yahoo.com

[۲] مربی دانشگاه آزاد اسلامی،دانشکده مهندسی عمران، واحد خوی، Emial: mrastgar@yahoo.com

KEYWORDS

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

۱- مقدمه

بحث دینامیک شناورها در مقابل امواج دریا و تعیین واکنشها و وابستگی آنها به پارامترهای مختلف دریا و خواص مکانیکی و دینامیکی این سازه ها از اهم مسائلی است که در صنعت کشتی سازی مورد توجه قرار می گیرد. برخلاف مشخص بودن اصول فیزیکی حاکم بر حرکات کشتی در امواج که بصورت یک تیر آزاد و بدون تکیه‌گاه بعنوان تیر ارتجاعی عمل می‌کند [۱]، حل معادلات دینامیکی و محاسبات مربوط به آن وقت گیر و مشکل می باشد. تحقیق تجربی موضوع نیز نیازمند صرف هزینه های زیاد برای تهیه مدل و تجهیز آزمایشگاه های سازه های دریایی دارد. شیوه دیگر بررسی رفتار شناورها، استفاده از تحلیلهای عددی با بکارگیری نرم افزارهایی است که بطور ویژه برای مدلسازی و انجام تحلیلهای دینامیکی این سازه‌ها ساخته شده است. بدلیل هزینه زیاد نرم افزارهای خاص، در این مقاله از نرم افزار المان محدود ANSYS 5/5 بعنوان یک نرم‌افزار عمومی برای بررسی اثر عوامل مختلف بر یک شناور فرضی استفاده شده است [۲]. برای این منظور مدلسازی و تحلیل شناور در شرایط مختلف محیطی با تغییر مشخصات سازه انجام و پاسخهای دینامیکی آن تعیین و مورد تجزیه تحلیل قرار گرفته اند. یکی از عوامل مهم و موثر در طراحی کشتیها، لنگر خمشی آنها در مقطع عرضی سازه می‌باشد که این عامل باعث شکست و غرق شدن تعداد قابل توجهی از کشتی‌ها شده که حساسترین نقطه برای این پدیده، مقطع وسط کشتی[۱] است. در ازای نوسانات امواج دریا، لنگر وسط تیر همواره مثبت و منفی شده و در شرایط ساگینگ و هاگینگ[۲] قرار می‌گیرد. عوامل زیادی بر مقدار لنگر خمشی تاثیر گذاشته و شدت آنرا تغییر می دهد، از جمله این عوامل گام شکلهای کشتی، طول و سختی آن و نیز فرکانس و دامنه امواج وارده می باشد که در مقاله حاضر مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۲- معرفي سيستم و مدلسازي شناور

شناورها معمولا بصورت تیر آزاد۳ بر بستر الاستیک روی سطح آب قرار داده شده و بصورت دینامیکی تحلیل می‌شوند، البته واکنشهای آنها تابع نوسانات امواج دریا می باشد [۳]. شناوری که در تحقیق حاضر در نظر گرفته شده یک مدل فولادی مکعب مستطیلی با مدول الاستیسیته ۲۱۰۰۰۰۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع و ضریب پواسون ۰/۳ است که طول، عرض و ارتفاع آن بترتیب ۵۰،۱۰ و ۵ متر و ضخامت دیواره ها ۵ سانتیمتر می باشد. برای عملکرد ارتجاعی آب از فنرهای استفاده شده که در زیر شناور قرار داده شده اند. بدلیل مستطیلی بودن شکل مقطع شناور، سختی این فنرها ثابت در نظر گرفته شده و رابطه بین تغییرمکان و نیروی فنرها خطی است. در مدلسازی این شناور از دو نوع المان در نرم افزار ANSYS استفاده شده، که المان Beam2D برای مدلسازی بدنه شناور به همراه مشخصات مقطع و المان Combin40 که یک فنر با خصوصیات غیرخطی استهلاکی و فاصله٤ (رها سازی) می باشد. المان دوم قابلیت آنرا دارد که بصورت فنر یکطرفه و فقط در حالت فشار عمل کند، بنابراین زمانیکه شناور از سطح آب جدا می‌شود خاصیت فاصله (رها سازی) این المان باعث آزادی فنر شده و مشکل اعمال کشش توسط فنرها از بین خواهد رفت [۲]. طول شناور دارای ۱۰۰ قسمت مساوی و هر۵۰ سانتیمتر دارای یک گره و یک فنر است که در زیر شناور قرار داده شده و انتهای دیگر آنها ثابت می‌باشد. با استفاده از تعادل بین وزن شناور و نیروی ارشمیدس سختی کل برای فنرها تعیین و با تقسیم آن بر تعداد فنرها سهم سختی هر فنر مشخص می‌شود، گفتنی است برای فنرهای ابتدا و انتها نصف ضریب سختی تعلق می‌گیرد [٤]، [٥].

۳- شيوه بـارگـذاری و آنالیز مدل

بیشترین نیروهایی که علاوه بر وزن خود سازه و بار سرویس روی شناورها اعمال می‌شود، بارهای حاصل از امواج می‌باشد، که این نیروها با زمان و مکان (طول، عرض و ارتفاع شناور) تغییر می‌کند. در امواج با تاج طویل[۵] که در امتداد حرکت کشتی٦ جریان پیدا می‌کنند از تغییرات در جهت عرضی شناور صرف نظر می‌شود. برای مدلسازی و اعمال این نیروها روی مدل شناور در زمان و مکانهای متفاوت، از گامها و زیرگامهای۷ بارگذاری نرم‌افزار Ansys و بهره‌گیری از دو حلقه تکرار تو در تو، استفاده می‌شود. روش کار در امواج منظم و نامنظم قدری باهم متفاوت است. در امواج منظم براساس روابط تئوری موج خطی و حلقه های تکرار Do....Enddo* و If...Then...Endif* و گامها و زیرگامهای بارگذاری استفاده شده است. در این روش که بصورت فایل متنی نوشته می شود ابتدا مشخصات موج شامل زمان تناوب، فرکانس زاویه ای، عدد و ارتفاع موج، عمق دریا در محل مورد نظر، سطح موج و شتاب

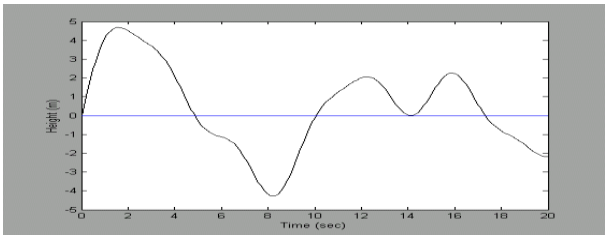
ثقل، چگالی آب دریا و عرض شناور، برای نرم افزار مشخص می شوند. بدلیل اینکه وزن شناور یکی از پارامترهای مهم در برقراری تعادل شناور می باشد و هر لحظه موجود است، بنابراین برای اعمال این پارامتر، در شروع هر تحلیل به شناور فرصت کافی داده می شود تا تحت اثر وزن خود روی آب دریا یا به عبارت بهتر روی فنرها نوسان داشته و تعادل کامل بین وزن شناور و نیروی ارشمیدس که در حقیقت همان واکنش فنرهاست حاصل شود که طول این مدت در تمام تحلیلها ۵۰ ثانیه در نظر گرفته شده است. بعد از تعادل کامل با استفاده از رابطه۱ مقدار فشار آب موجود در هر گره از زیر شناور در هر لحظه محاسبه می شود و با ضرب آن در سطح مقطع هر المان مقدار نیروی وارده روی گره آن المان بدست می‌آید [٦].

$$F = PA = \rho g A \frac{H}{2} \frac{\cosh ky}{\cosh kh} \cos(kx - \omega t) + \rho g a (h - y) \quad (۱)$$

از دو حلقه تکرار تو در تو، حلقه اول کنترل کننده زمان و حلقه دوم (حلقه داخلی) کنترل کننده مکان اعمال نیروی حاصل از موج می‌باشد. پایان تحلیل زمانی است که حلقه زمان به آخرین مقدار مشخص شده در برنامه برسد. برای بررسی اثر امواج نامنظم ابتدا موجی از ترکیب پنج موج اختیاری با مشخصات جدول (۱) تولید شده و از طریق آنها موج نامنظمی همانند شکل (۱) بدست می آید با افزایش تعداد آنها می توان به نامنظمی امواج افزود. پس از تعیین عدد موج و فرکانس زاویه‌ای برای هر موج توسط برنامه از دو حلقه تکرار تو در تو برای کنترل زمان و مکان اعمال نیرو استفاده می‌شود.

جدول (۱): مشخصات امواج سینوسی دلخواه

شماره موج	۱	۲	۳	۴	۵
ارتفاع موج (متر)	۰/۵	۱	۱/۲	۱/۵	۲
زمان تناوب موج (ثانیه)	۳	۵	۸	۱۰	۱۲



شکل (۱): نمودار ترکیبی امواج سینوسی و موج نامنظم حاصل

حلقه اول، زمان اعمال نیروی موج از لحظه صفر را باندازه یک نمو خاص کنترل و حلقه دوم (حلقه داخلی) نیروی هر گره را بر حسب موقعیت مکانی از جمع نیروهای حاصل از امواج خطی یادشده تعیین و روی مدل شناور اعمال می‌کند. در انتها نتایج آنالیزهای موج منظم یا نامنظم ذخیره سازی شده و پردازشگر Post26 واکنشهای مربوطه شامل لنگرهای خمشی، نیروهای برشی و مقدار خیز قائم در نقاط مختلف را بر حسب زمان رسم می‌کند.

٤- آنالیز مودال

شناخت فرکانسها و گام شکلهای هر سازه برای بررسی واکنشهای دینامیکی آن سازه در مقابل عوامل مختلف محرک، لازم می باشد. سازه کشتی هم که در برابر بارهای دینامیکی زیادی قرار می‌گیرد، از این قاعده جدا نیست. بنابراین لازم است که فرکانسهای ارتعاش طبیعی این سازه بدست آید تا تعیین رفتار دینامیکی آن به درستی انجام پذیرد [۷]. به همین دلیل ابتدا یک آنالیز مودال برای شناور مدلسازی شده صورت می گیرد که در اینصورت مقادیر ده فرکانس طبیعی اول این شناور مطابق جدول (۲) خواهد بود.

مطابق این جدول، گام شکل اول ارتعاشی مربوط به حرکت چرخش کشتی حول محور عرضی و به‌نام حرکت Pitch در کشتی معروف است [۸]، [۹]. گام شکل دوم که بیانگر بالا و پایین رفتن شناور می‌باشد به حرکت Heave در کشتی معروف است. ملاحظه می گردد که فرکانس این گام شکل به فرکانس گام شکل قبلی نزدیک است ولی با گام شکل بعدی تفاوت قابل ملاحظه ای داشته و قابل تفکیک می باشد. گام شکل سوم ارتعاشی، گام شکل اول خمشی شناور است که این گام شکل در نتیجه وقوع حالت ساگینگ و هاگینگ در شناور بوجود می آید. گام شکل چهارم ارتعاشی، گام شکل دوم خمشی شناور است. این گام شکل در اثر اعمال شدن نقطه تاج یک موج به قسمت جلویی و یا عقب شناور و اعمال تاج موج دیگر در یک چهارم طول کشتی در انتهای دیگر تحریک می‌شود. گام شکل پنجم گام شکل سوم خمشی سازه‌های شناور است که این گام شکل در اثر بالا بودن فرکانس امواج برخوردی، درازی کشتی و وقوع حالت ساگینگ و هاگینگ در دو نقطه متقارن از کشتی تحریک می‌شود. گام شکل ششم اولین گام شکل در تغییر طول محوری شناور است که در نتیجه مولفه افقی امواج حاصل می شود. همچنین گام شکلهای ۷ و۸ و۱۰ مربوط به گام شکلهای خمشی چهارم، پنجم و ششم خمشی می باشد. گام شکل ۹ نیز دومین گام شکل در تغییر طول محوری شناور است و در نتیجه مولفه افقی امواج حاصل می‌شود. شایان گفتن است که امکان تحریک گام شکل های سوم و چهارم خمشی و بالاتر این شناور، بسیار مشکل بوده و تحریک جزئی این مودها در اثر ضربات ناشی از پدیده های با فرکانس بالا مانند اسمینگ ۸

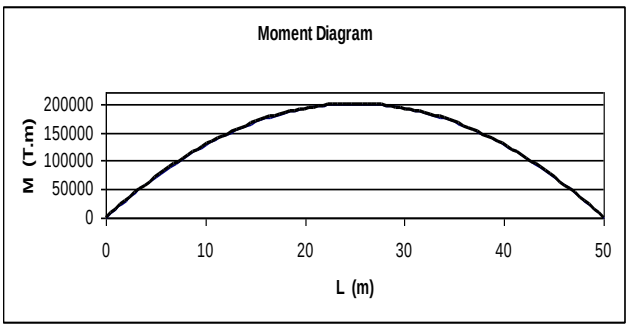
وفنریت۹ کشتی با انرژی های کم دیده می‌شوند. همچنین دراز بودن کشتی و فرکانس بالای امواج برخوردی به آن، می‌تواند عامل دیگری برای تحریک گام شکلهای سوم خمشی و بالاتر باشد.

جدول (۲): مقادیر فرکانسهای طبیعی شناور مفروض

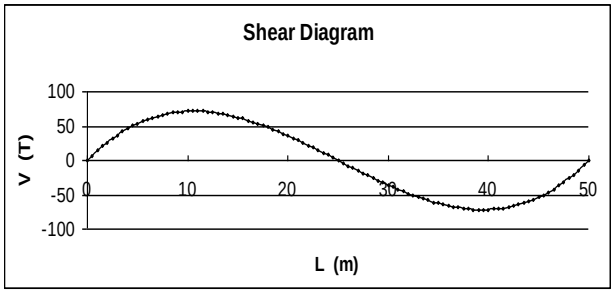
گام شکل	فرکانس	نام گام شکل	شکل مود ارتعاشی
۱	۰/۴۶۲	Pitch	
۲	۰/۴۶۴	Heave	
۳	۰/۵۰۳	اول خمشی	
۴	۰/۷۲۱	دوم خمشی	
۵	۱/۱۷۲	سوم خمشی	
۶	۱/۶۴۱	تغییر طول ۱	
۷	۱/۸۱۹	چهارم خمشی	
۸	۲/۶۲۸	پنجم خمشی	
۹	۲/۲۸۲	تغییر طول ۲	
۱۰	۲/۵۷۹	ششم خمشی	

۵- تاثیر فرکانس امواج برخوردی روی واکنشها

فرکانس امواج برخوردی ω_e یکی از عوامل مهمی است که در مقادیر واکنشهای شناور موثر می باشد. در طول سفرهای دریایی امواج مختلفی با فرکانسهای گوناگون به یک کشتی برخورد می کنند. طیف امواج و وضعیت کلی دریاهای مختلف نسبت به همدیگر معمولا متفاوت هستند، این امواج ممکن است بصورت منظم نیز باشند اما اکثرا به صورت تصادفی نوسان می کنند. هر چند درصد وجود امواج منظم در دریاها بسیار ناچیز است اما شناخت این امواج و تاثیر آنها در واکنشهای دینامیکی شناورها سبب می شود که تحلیل و بررسی امواج نامنظم از طریق امواج منظم با استفاده از اصل جمع آثار قوا بسیار ساده و امکان پذیر شود. در تحقیق حاضر، از تاثیر موج منظم به منظور پی بردن به نقاط حساس طراحی در امتداد طول کشتی یعنی محلی از طول شناور که واکنشهای حداکثر دینامیکی اتفاق می‌افتند استفاده شده است (زمان تناوب امواج از ۰/۹ تا ۲۰ ثانیه، ارتفاع امواج ۱۵۰ سانتیمتر). در این راستا در طول یک زمان تعریف شده مقادیر لنگر خمشی و نیروی برشی در نقاط مختلف طول شناور به ازای موج مشخص محاسبه شده و تغییرات واکنشهای مذکور بصورت نمودار شکلهای (۲) و (۳) ترسیم شده است.

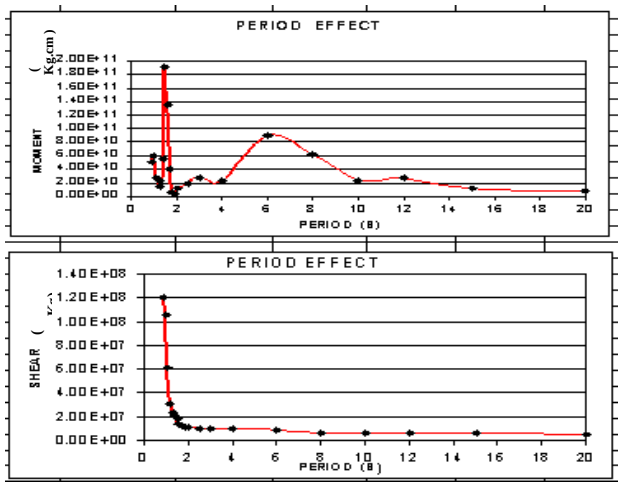


شکل (۲) نمودار لنگر خمشی طول شناور



شکل (۳) نمودار نیروی برشی طول شناور

آنطوریکه از این شکلها پیداست، بیشترین لنگر خمشی در وسط شناور و بیشترین نیروی برشی در یک چهارم طول شناور روی می دهد. بنابراین حساسترین محل برای طراحی لنگر و برش مشخص و بایستی تمهیدات لازم برای تامین مقاومت بدنه سازه در این نقاط اندیشیده شود. در ادامه، امواجی با زمانهای تناوب مختلف از ۰/۹ تا ۲۰ ثانیه تولید و به شناور مدلسازی شده اعمال می شود. از بین پارامترهای مختلف امواج فقط زمان تناوب و یا بعبارت بهتر فرکانس امواج برخوردی و پیرو آن عدد موج k تغییر نموده و سایر پارامترها از جمله سختی خمشی مدل EI، ارتفاع موج H و سرعت امواج برخوردی ثابت در نظر گرفته شده اند. دلیل اعمال محدودیت در بازه زمان تناوب یادشده، انجام نشدن تحلیل دینامیکی غیرخطی در زمانهای بسیار ریز توسط نرم افزار ANSYS بدلیل همگرا نشدن جواب معادلات حاصل می‌باشد. با برداشت مقادیر حداکثر لنگر خمشی و نیروی برشی در موقعیتهای حساس یادشده برای شناور، نمودار شکل (٤) بدست می‌آید که بیانگر وابستگی کامل واکنشهای دینامیکی به زمان تناوب و یا به عبارت بهتر امواج برخوردی به شناور است.

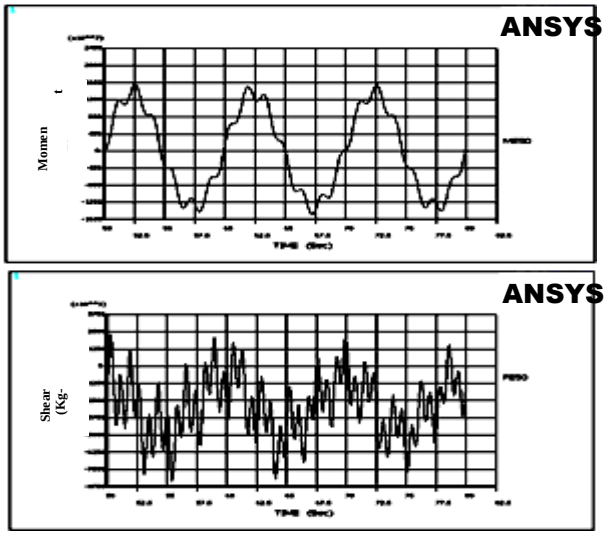


شکل (٤): نمودار تاثیر زمان تناوب امواج برخوردی به شناور

همانطور که از این شکل پیداست، بیشترین لنگر خمشی شناور، در زمان تناوب ۱/۵ ثانیه روی می‌دهد که این زمان نزدیک به زمان تناوب گام شکل دوم خمشی شناور می‌باشد که در بحث آنالیز مودال به آن اشاره شد. امواجی با پریود ۳ و٦ ثانیه نیز باعث بوجود آمدن لنگرهای بزرگتری نسبت به سایر امواج با پریودهای مجاور می‌شوند که تحریک خمش شناور در پریود ٦ ثانیه بیشتر می‌باشد. دلیل تحریک خمش در این زمان تناوب، برابر بودن طول موج اعمالی با طول سازه شناور بوده و در نتیجه وارد شدن چنین موجی نیروی حاصل از آن در قسمت جلویی و یا عقب کشتی باعث تولید لنگر حداکثر حالت هاگینگ و ساگینگ می‌شود. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که از روی آمار تهیه شده برای فرکانس امواج موجود در یک دریا در طول چندین سال، یک طول منطقی برای طراحی کشتی قابل پیش بینی است به طوریکه از وقوع لنگرهای شدید در کشتی مورد نظر، به لحاظ فعال شدن مودهای خمشی بخصوص مود دوم و نیز برابری طول موج با طول کشتی اجتناب گردد.

۶- تاثیر ارتفاع امواج برخوردي دربردارنده فرکانس تشدید روي واکنشها

به منظور بحث و بررسی پیرامون اثر ارتفاع امواج برخوردی روی عکس العملهای کشتیها با فرض ثابت بودن سختی شناور، فرکانس امواج برخوردی، عدد موج و طول موج فقط پارامتر ارتفاع امواج برخوردی را متغیر در نظر گرفته و به ازای این تغییرات، شناور تحلیل می‌شود. ابتدا با انتخاب پریود ۱۰ ثانیه، ارتفاع امواج از ۰/۵ تا ۵ متر تغییر یافته و برای هر مورد یک تحلیل دینامیکی غیرخطی صورت گرفته و نتایج حاصل ذخیره می‌شود. با عنایت به اینکه حداکثر خمش و برش بترتیب در وسط و یک چهارم طول شناور اتفاق می افتد بنابراین مقادیر لنگر خمشی و نیروی برشی در محلهای یاد شده بحرانی مورد توجه بیشتر قرار گرفته و برای حفظ اختصار یک نمونه از تغییرات خمش و برش برای مقاطع یاد شده برای موج با ارتفاع ۱ متری در شکل (۵) ارائه شده و اطلاعات تکمیلی در مرجع [٤] قابل دسترسی است. در شکل یادشده علاوه بر نوسان واکنشها در زمان تناوبی برابر با زمان تناوب موج (۱۰ ثانیه)، نوساناتی با فرکانسهای بالا در حد فرکانس گام شکلهای خمشی اول و دوم نیز ملاحظه می‌شود. با جمع بندی و رسم مقادیر حداکثر خمش و برش نسبت به تغییرات ارتفاع امواج شکل (٦) حاصل می شود، که بیانگر یک رابطه خطی است. این تغییرات نمی تواند دقیق بوده و به عنوان معیار طراحی مورد استفاده قرار گیرد. چون زمان تناوب امواج برخوردی بصورت اختیاری انتخاب شده است و ممکن است در فرکانس برخوردی دیگری غیر از فرکانس فوق این رابطه دیگر خطی نباشد به همین منظور لازمست که این مورد کنترل شود.



شکل (۵): نمودار نیروی برشی و لنگر خمشی در امواجی با پریود ۱۰ ثانیه و ارتفاع ۱ متر

در شناور حاضر ملاحظه گردید که به‌ازای امواج برخوردی با زمان تناوب ۱/۵ ثانیه، بیشترین لنگر خمشی در نقطه بحرانی ایجاد می گردد. برای بررسی اثر ارتفاع امواجی با زمان تناوب یاد شده که باعث وقوع حالت تشدید در شناور است، امواجی با ارتفاعهای مختلف که از ۱۰ سانتیمتر تا ۱/۵ متر تغییر می‌کند روی سازه اعمال می‌گردد. با رسم مقادیر حداکثر لنگر خمشی نسبت به ارتفاع امواج برخوردی منحنی شکل (۷) بدست می آید. ملاحظه می‌گردد که لنگر خمشی وسط شناور با توان دوم ارتفاع امواج مرتبط می‌باشد. بنابراین فرکانس امواج برخوردی نیز در رابطه بین ارتفاع امواج و لنگر خمشی موثر است. با مقایسه اشکال (۵) و(٦) می‌توان دریافت که لنگر خمشی ایجاد

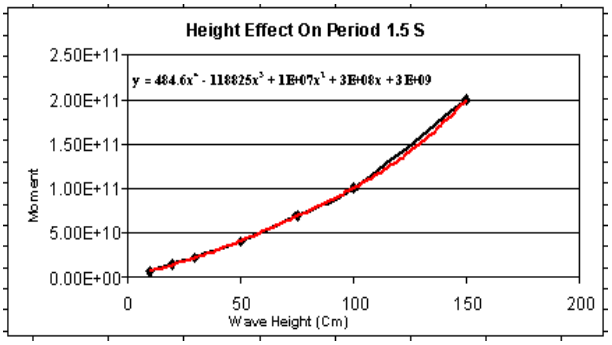
شده در اثر موجی با ارتفاع کم (مانند ۰/۵ متر) و فرکانس برخوردی ۰/٦٦٧ هرتز، نزدیک پنج برابر لنگر خمشی ایجاد شده در اثر موجی به همان ارتفاع و فرکانس برخوردی ۰/۱ هرتز می باشد. علت این موضوع وقوع حالت تشدید[۱۰] در فرکانس ۰/٦٦٧ هرتز می باشد که این فرکانس نزدیک فرکانس طبیعی خمشی سازه کشتی است.

۷- تاثیر سختي شناور روي واکنشها

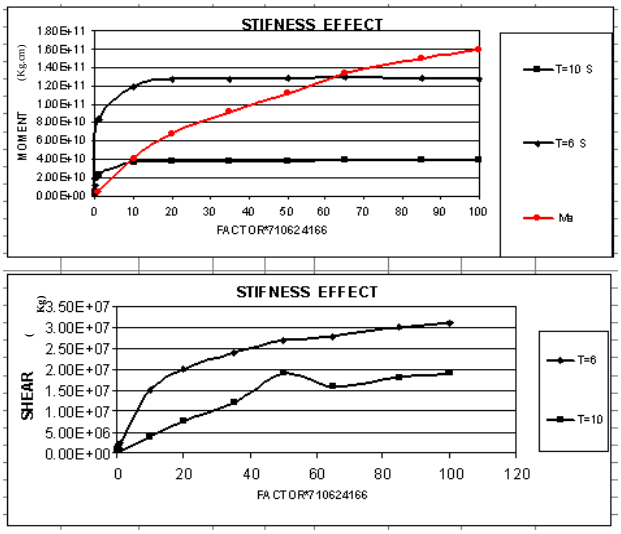
سختی خمشی شناورها و یا به عبارت بهتر ممان اینرسی شناورها I، نقش بسیار مهمی در واکنشهای دینامیکی از جمله لنگر خمشی آنها دارد. به منظور بررسی تاثیر این پارامتر در واکنشهای شناور سختی آن I، از ۰/۰۱ تا ۱۰۰ برابر سختی در حالت عادی تغییر یافته و برای هر مساله یک تحلیل دینامیکی غیرخطی انجام گرفت. ابتدا بررسی اثر سختی شناور به صورت اختیاری برای امواج منظم با زمان تناوب ۱۰ ثانیه انجام شد، سپس بدلیل حساسیت سازه نسبت به زمان تناوب ٦ ثانیه (مطابق شکل ٤)، این بررسی به ازای امواج سینوسی یادشده نیز تکرار گردید. هدف کلی از تحلیل مسئله به ازای دو موج مختلف، بررسی همزمان اثر سختی و پریود امواج روی واکنشهای دینامیکی شناور می‌باشد. با توجه به اینکه حداکثر لنگر خمشی در وسط شناور و نیروی برشی در یک چهارم طول شناور روی می دهد بنابراین برداشتهای مربوط به این واکنشها در محلهای یاد شده انجام گرفته و سری زمانی واکنشها تهیه شده، در مرجع [٤] ارائه گردیده است.

مقادیر حداکثر لنگر خمشی و نیروی برشی کلیه سریهای زمانی یادشده شناسایی و مقادیر آنها نسبت به تغییرات سختی در شکل (۸) آمده است. این منحنی بیانگر تغییر واکنشهای دینامیکی شناور در ازای تغییرات سختی سازه بوده و نیز اختلاف اساسی واکنشها به ازای دو زمان تناوب مختلف مشهود است. مطابق شکل (۸)، شناور در مقابل امواج با زمان تناوب ٦ ثانیه نسبت به امواج با زمان تناوب ۱۰ ثانیه حساس تر بوده و لنگر خمشی شناور در این امواج مقدار بیشتری دارد. دلیل این موضوع حساسیت شناور به امواج با زمان تناوب ٦ ثانیه بوده که پیشتر بحث گردید. در چنین شرایطی با استفاده از اصول مقاومت مصالح و رابطه $M_a = \sigma_a y / I$ (σ_a: تنش تسلیم) می‌توان یک ناحیه طراحی در حوزه الاستیک برای مقطع شناور تعریف نمود. چنانچه سختی شناور طوری انتخاب شود که لنگر خمشی در ازای امواج با زمانهای تناوب ۱۰ و یا ٦ ثانیه از لنگر مجاز بیشتر نشود، یعنی واکنشها زیر سطح زیر منحنی M_a باشد سیستم مقاوم بوده و واکنش لنگر در ناحیه مطلوب طراحی قرار گرفته است.

شکل (٦): تاثیر ارتفاع امواج برخوردی با پریود ۱۰ ثانیه در واکنشهای شناور



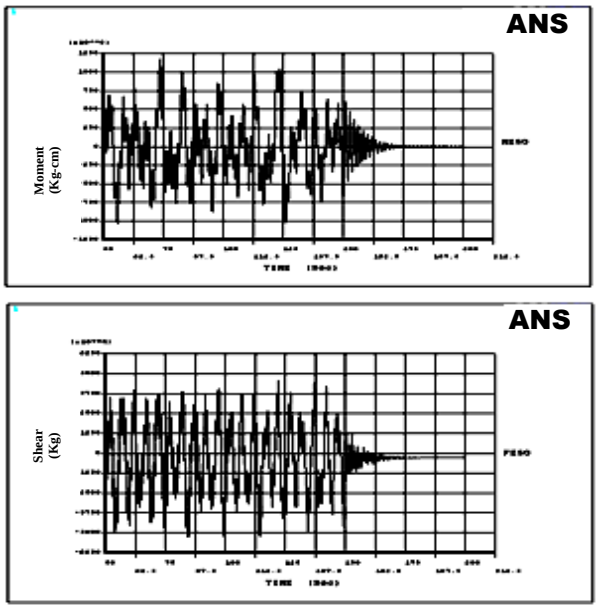
شکل (۷): تاثیر ارتفاع امواج برخوردی با پریود ۱/۵ ثانیه در لنگر خمشی شناور



شکل (۸): اثر سختی روی واکنشهای دینامیکی و ناحیه طراحی

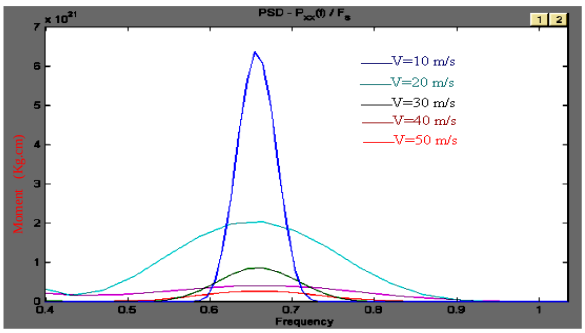
۸- تاثیر امواج تصادفي و سرعت شناور در خمش

با توجه به تصادفی بودن امواج دریا، واکنشهای دینامیکی ناشی از تاثیر این امواج بر شناورها نیز تصادفی خواهد بود. برای بحث پیرامون اثر این امواج می توان امواج نامنظم مختلفی را تولید و بر روی شناور مفروض اعمال نمود. در این تحقیق تنها بمنظور بررسی این موضوع موجی با نامنظمی جزئی بر اساس مراحل ذکر شده در بخش ۳-۲ با ترکیب تعداد محدودی موج سینوسی تولید و به سازه مورد نظر اعمال شده است. ویژگی مهم دیگری که همراه اعمال این امواج در نظر گرفته می شود تغییرات سرعت افقی شناور در میان امواج می باشد، که این سرعت از ۱۰ تا ۵۰ متر بر ثانیه در تحلیل حاضر تغییر می کند. در اثر برخورد موج نامنظم به مدل شناور، نمودار لنگر خمشی در وسط کشتی و نیروی برشی در یک چهارم طول شناور مطابق شکل (۹) خواهد شد که شکل منظمی نداشته و گام شکلهای زیادی با فرکانسهای مختلف در آن تحریک می شود. گفتنی است که این شکل مربوط به سرعت ۳۰ متر بر ثانیه بوده و به عنوان نمونه ارائه شده، جهت ملاحظه اثر سایر سرعت ها به مرجع [٤] مراجعه شود. از آنجا که یک کشتی در دریا، سرعتهای متغیری در میان امواج تصادفی می‌تواند داشته باشد، بنابراین واکنشهای دینامیکی مربوط به هر سرعتی، نسبت به سرعت دیگر متفاوت خواهد بود. با رسم طیف لنگر خمشی وسط شناور در سرعتهای مختلف که توسط نرم افزار Matlab صورت می‌گیرد [۱۰]، این موضوع بیشتر روشن می شود. طیف یاد شده در شکل (۱۰) آمده است.



شکل (۹): نمودار لنگر خمشی و نیروی برشی شناور متحرک با سرعت ۳۰ متر بر ثانیه در اثر موج نامنظم

از شکل نیز پیداست که با افزایش سرعت شناور، مقدار انرژی مربوط به لنگر خمشی کم می‌شود اما محدوده فرکانسها بیشتر می‌گردد به عبارت بهتر هر چه سرعت شناور بیشتر می شود، امواج زیادتری با فرکانسهای مختلف، به این شناور برخورد می کنند که در نتیجه گام شکلهای فراوانی از شناور مفروض تحریک می گردد و این امر باعث پهن تر شدن طیف لنگر حاصل می‌شود. عکس این مطلب نیز درست است یعنی با کاهش سرعت شناور، تعداد فرکانسهای تحریک شده شناور کمتر شده و از این رو، پهنای طیف لنگر خمشی در منطقه حساس که وسط شناور می باشد نیز کم می‌شود اما مقدار انرژی این لنگر افزایش پیدا می کند. از طرف دیگر چون موج تصادفی اعمال شده می تواند بصورت ترکیب تعداد بسیار زیادی موج منظم فرض شود بنابراین هر چقدر تعداد موجهای منظم تشکیل دهنده موج نامنظم بیشتر باشد پهنای باند طیف نیز بیشتر خواهد شد. برعکس هر چقدر تعداد موجهای منظم کمتری بکار گرفته شود پهنای باند طیف نیز کمتر خواهد شد. به گونه ای که در ازای موجی که فقط دارای یک فرکانس باشد طیف حاصل به یک خط راست عمودی تبدیل خواهد شد و مقدار فرکانس این طیف برابر فرکانس موج است.



شکل (۱۰): طیف واکنش شناور مفروض در سرعتهای مختلف در اثر موج نامنظم

۹- نتایج کلي

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

۲- در اثر برخورد امواج منظم با زمانهای تناوب مختلف، در شناور حاضر بیشترین تحریک در زمان ۱/۵ ثانیه روی می‌دهد که این زمان نزدیک گام شکل دوم خمش سازه است.

۳- در اثر امواج با فرکانس تحریک (۰/٦٦٧ هرتز)، شناور مورد نظر واکنشهای خیلی بالایی را نشان می‌دهد. بعنوان نمونه در موجی با چنین فرکانس و با ارتفاع کم (مانند ۰/۵ متر) لنگر وسط شناور به میزان پنج برابر واکنش مشابه نسبت به موج با

ارتفاع یکسان و فرکانس برخورد ۰/۱ هرتز خواهد بود.

٤- مقادیر حداکثر خمش و برش در نقاط بحرانی شناور، نسبت به تغییرات ارتفاع امواج منظم از یک رابطه خطی پیروی می‌کند، اما به‌ازای امواج با زمان تناوب ۱/۵ ثانیه که باعث وقوع حالت تشدید در شناور حاضر می شود، لنگر خمشی وسط شناور با توان دوم ارتفاع امواج مرتبط می‌باشد.

٥- در امواج نامنظم با افزایش سرعت شناور یاد شده، طیف مربوط به واکنش لنگر خمشی پهن‌تر شده و محدوده وسیعی از فرکانسها را شامل می شود اما مقدار انرژی لنگر خمشی کمتر می‌شود و با کاهش سرعت شناور عکس حالت یاد شده اتفاق می‌افتد یعنی طیف مربوط به واکنش لنگر خمشی باریکتر شده و محدوده کمتری از فرکانسها را شامل می‌شود اما مقدار انرژی لنگر خمشی افزایش پیدا می‌کند.

۱۰- مراجع

[۱] رستگار، مهدی؛ "بررسی رفتار دینامیکی سازه های شناور باروش اجزاء محدود"، پایان نامه کارشناسی ارشد،دانشکده فنی دانشگاه ارومیه، ایران، ۱۳۸۱.

[۲] لطف اللهی‌یقین، محمدعلی؛ رستگار، مهدی؛ "بررسی رفتار دینامیکی شناورها به روش اجزاء محدود" پنجمین کنفرانس بین‌المللی سواحل، بنادر و سازه های دریایی، "ICOPMAS 2002" رامسر، ایران، مهرماه، ۱۳۸۱.

[۳] R.E.D. Bishop, "Hydroelasticity of Ships" , Syndics of Cambridge University, First Edition, New York, 1979.

[٤] ANSYS User's Giud, "Revision 5.5, Swanson Analysis System" , Ninth Edition, 1998.

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

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

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

[۸] O.M. Faltinsen, "Sea Loads on Ships and Offshore Structures" , Syndicate of the University of Cambridge, First Edition, New York, 1990.

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

[۱۰] T. P. Krauss, et al, "Signal Processing Toolbox, For Use with MATLAB" , The Math Works, Inc., 1994.

۱۱- زیرنویس ها

۱.Midship
۲.Sagging and Hogging
۳.Free Beam
٤.Gap
٥.Long Creast
٦.Head Sea
۷.Steps and Substeps
۸.Slamming
۹.Springging
۱۰.Resonance