كاربرد اجزاء محدود، در بررسي واكنش‌هاي ديناميكي سازه شناور تحت اثر امواج دريا

محمد علي لطف اللهي يقين[i]، مهدي رستـگار[ii]

چكيده

تعيين واكنشها و عملكرد شناورها در مقابل امواج دريا، از مسائل مهمي است كه در صنعت كشتي سازي مورد توجه قرار مي‌گيرد. از نظر اصول فيزيكي و ديناميكي سازه كشتي در امواج دريا بصورت يك تير آزاد و بدون تكيه گاه بعنوان تير ارتجاعي تحليل مي‌گردد. حل معادلات ديناميكي مربوطه، معمولا وقت گير و مشكل بوده بنابراين در بررسي رفتار اين سازه ها، استفاده از تحليلهاي عددي با كاربرد نرم‌افزارهائي ويژه براي مدلسازي و انجام تحليلهاي ديناميكي شناورها متداول است. بدليل هزينه زياد نرم‌افزارهاي مربوطه و عدم دسترسي بدانها، در اين مقاله از نرم افزار المان محدود ANSYS 5,0 بعنوان يك نرم افزار عمومي براي بررسي اثر عوامل مختلف بر يك شناور فرضي استفاده شده است. در اين راستا پس از تحليل مودال شناور با تغيير در مشخصات آن، مدلسازي و تحليل سازه در شرائط مختلف محيطي صورت گرفته و پاسخهاي ديناميكي آن تعيين و مورد تجزيه تحليل قرار گرفته اند. يكي از واكنشهاي مهم و موثر در طراحي كشتيها، لنگر خمشي مقطع عرضي بخش مياني سازه مي باشد كه در اين مقاله در ازاي تغييرات سرعت شناور، سختي مقطع، اين واكنش همراه با برش مقاطع مختلف طولي مورد توجه بوده و مقطع بحراني برش نيز تعيين گرديده است.

كلمات كليدي

سازه‌هاي شناور، آناليز مودال، المانهاي محدود، امواج دريا، لنگر خمشي، نيروي برشي

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

[i] دانشيار دانشكده مهندسي عمران، دانشگاه تبريز، Email: a_lotfollahi@yahoo.com

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

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,

۱- مقدمه

بحث ديناميك شناورها در مقابل امواج دريا و تعيين واكنشها و وابستگي آنها به پارامترهاي مختلف دريا و خواص مكانيكي و ديناميكي اين سازه ها از اهم مسائلي است كه در صنعت كشتي سازي مورد توجه قرار مي گيرد. برخلاف مشخص بودن اصول فيزيكي حاكم بر حركات كشتي در امواج كه بصورت يك تير آزاد و بدون تكيه گاه بعنوان تير ارتجاعي عمل مي كند [۱]، حل معادلات ديناميكي و محاسبات مربوط به آن وقت گير و مشكل مي باشد. تحقيق تجربي موضوع نيز نيازمند صرف هزينه هاي زياد براي تهيه مدل و تجهيز آزمايشگاه هاي سازه هاي دريايي دارد. شيوه ديگر بررسي رفتار شناورها، استفاده از تحليلهاي عددي با بكارگيري نرم افزارهايي است كه بطور ويژه براي مدلسازي و انجام تحليلهاي ديناميكي اين سازه ها ساخته شده است. بدليل هزينه زياد نرم افزارهاي خاص، در اين مقاله از نرم افزار المان محدود ANSYS 5/5 بعنوان يك نرم افزار عمومي براي بررسي اثر عوامل مختلف بر يك شناور فرضي استفاده شده است [۲]. براي اين منظور مدلسازي و تحليل شناور در شرايط مختلف محيطي با تغيير مشخصات سازه انجام و پاسخهاي ديناميكي آن تعيين و مورد تجزيه تحليل قرار گرفته اند. يكي از عوامل مهم و موثر در طراحي كشتيها، لنگر خمشي آنها در مقطع عرضي سازه مي باشد كه اين عامل باعث شكست و غرق شدن تعداد قابل توجهي از كشتي ها شده كه حساسترين نقطه براي اين پديده، مقطع وسط كشتي[1] است. در ازاي نوسانات امواج دريا، لنگر وسط تير همواره مثبت و منفي شده و در شرايط ساگينگ و هاگينگ[2] قرار مي گيرد. عوامل زيادی بر مقدار لنگر خمشي تاثير گذاشته و شدت آنرا تغيير مي دهد، از جمله اين عوامل گام شكلهاي كشتي، طول و سختي آن و نيز فركانس و دامنه امواج وارده مي باشد كه در مقاله حاضر مورد بررسي قرار مي گيرد.

۲- معرفي سيستم و مدلسازي شناور

شناورها معمولا بصورت تير آزاد۳ بر بستر الاستيك روی سطح آب قرار داده شده و بصورت ديناميكي تحليل مي شوند، البته واكنشهاي آنها تابع نوسانات امواج دريا مي باشد [۳].

شناوري كه در تحقيق حاضر در نظر گرفته شده يك مدل فولادي مكعب مستطيلي با مدول الاستيسيته ۲۱۰۰۰۰۰ كيلوگرم بر سانتيمتر مربع و ضريب پواسون ۰/۳ است كه طول، عرض و ارتفاع آن بترتيب ۱۰،۵۰ و ۵ متر و ضخامت ديواره ها ۵ سانتيمتر مي باشد. براي عملكرد ارتجاعي آب از فنرهای استفاده شده كه در زير شناور قرار داده شده اند. بدليل مستطيلي بودن شكل مقطع شناور، سختي اين فنرها ثابت در نظر گرفته شده و رابطه بين تغييرمكان و نيروی فنرها خطي است. در مدلسازی اين شناور از دو نوع المان در نرم افزار ANSYS استفاده شده، كه المان Beam2D برای مدلسازی بدنه شناور به همراه مشخصات مقطع و المان Combin40 كه يک فنر با خصوصيات غيرخطي استهلاكي و فاصله٤ (رها سازی) مي باشد. المان دوم قابليت آنرا دارد كه بصورت فنر يكطرفه و فقط در حالت فشار عمل كند، بنابراين زمانيكه شناور از سطح آب جدا مي شود خاصيت فاصله (رها سازی) اين المان باعث آزادي فنر شده و مشكل اعمال كشش توسط فنرها از بين خواهد رفت [۲]. طول شناور داراي ۱۰۰ قسمت مساوی و هر۵۰ سانتيمتر داراي يک گره و يک فنر است كه در زير شناور قرار داده شده و انتهاي ديگر آنها ثابت مي باشد. با استفاده از تعادل بين وزن شناور و نيروي ارشميدس سختي كل براي فنرها تعيين و با تقسيم آن بر تعداد فنرها سهم سختي هر فنر مشخص مي شود، گفتنی است براي فنرهای ابتدا و انتها نصف ضريب سختي تعلق مي گيرد [٤]، [۵].

۳- شيوه بـارگـذاری و آنالیز مدل

بيشترين نيروهايی كه علاوه بر وزن خود سازه و بار سرويس روی شناورها اعمال مي شود، بارهاي حاصل از امواج مي باشد، كه اين نيروها با زمان و مكان (طول، عرض و ارتفاع شناور) تغيير مي كند. در امواج با تاج طويل[5] كه در امتداد حركت كشتي٦ جريان پيدا مي كنند از تغييرات در جهت عرضي شناور صرف نظر مي شود. براي مدلسازي و اعمال اين نيروها روی مدل شناور در زمان و مكانهاي متفاوت, از گامها و زيرگامهای۷ بارگذاری نرم‌افزار Ansys و بهره‌گيری از دو حلقه تكرار تو در تو، استفاده مي شود. روش كار در امواج منظم و نامنظم قدري باهم متفاوت است. در امواج منظم براساس روابط تئوری موج خطي و حلقه های تكرار Do....*Enddo* و

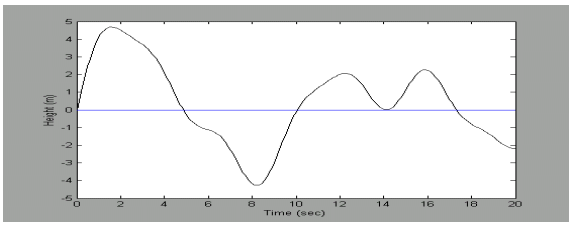
*If...*Then...*Endif و گامها و زيرگامهاى بارگذارى استفاده شده است. در اين روش كه بصورت فايل متني نوشته مي شود ابتدا مشخصات موج شامل زمان تناوب، فركانس زاويه اي، عدد و ارتفاع موج، عمق دريا در محل مورد نظر، سطح موج و شتاب ثقل، چگالي آب دريا و عرض شناور، براى نرم افزار مشخص مي‌شوند. بدليل اينكه وزن شناور يكى از پارامترهاى مهم در برقرارى تعادل شناور مي باشد و هر لحظه موجود است، بنابراين براى اعمال اين پارامتر، در شروع هر تحليل به شناور فرصت كافي داده مي شود تا تحت اثر وزن خود روى آب دريا يا به عبارت بهتر روى فنرها نوسان داشته و تعادل كامل بين وزن شناور و نيروى ارشميدس كه در حقيقت همان واكنش فنرهاست حاصل شود كه طول اين مدت در تمام تحليلها ۵۰ ثانيه در نظر گرفته شده است. بعد از تعادل كامل با استفاده از رابطه۱ مقدار فشار آب موجود در هر گره از زير شناور در هر لحظه محاسبه مي شود و با ضرب آن در سطح مقطع هر المان مقدار نيروى وارده روى گره آن المان بدست مي‌آيد [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 تكرار تو در تو، حلقه اول كنترل كننده زمان و حلقه دوم (حلقه داخلي) كنترل كننده مكان اعمال نيروى حاصل از موج مي‌باشد. پايان تحليل زماني است كه حلقه زمان به آخرين مقدار مشخص شده در برنامه برسد. براي بررسي اثر امواج نامنظم ابتدا موجي از تركيب پنج موج اختياري با مشخصات جدول (۱) توليد شده و از طريق آنها موج نامنظمي همانند شكل (۱) بدست مي آيد با افزايش تعداد آنها مي توان به نامنظمي امواج افزود. پس از تعيين عدد موج و فركانس زاويه‌اي براي هر موج توسط برنامه از دو حلقه تكرار تو در تو براي كـنترل زمان و مكان اعمال نـيرو استفاده مي‌شود.

جدول (۱): مشخصات امواج سينوسي دلخواه

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



شكل (۱): نمودار تركيبي امواج سينوسي و موج نامنظم حاصل

حلقه اول، زمان اعمال نيروى موج از لحظه صفر را باندازه يك نمو خاص كنترل و حلقه دوم (حلقه داخلي) نيروى هر گره را بر حسب موقعيت مكاني از جمع نيروهاي حاصل از امواج خطي يادشده تعيين و روي مدل شناور اعمال مي‌كند. در انتها نتايج آناليزهاى موج منظم يا نامنظم ذخيره سازى شده و پردازشگر Post26 واكنشهاى مربوطه شامل لنگرهاي خمشي، نيروهاي برشي و مقدار خيز قائم در نقاط مختلف را بر حسب زمان رسم مي‌كند.

٤- آناليز مودال

شناخت فركانسها و گام شكلهاي هر سازه براي بررسي واكنشهاي ديناميكي آن سازه در مقابل عوامل مختلف محرک، لازم مي باشد. سازه كشتي هم كه در برابر بارهاي ديناميكي زيادى قرار مي‌گيرد، از اين قاعده جدا نيست. بنابراين لازم است كه فركانسهاي ارتعاش طبيعي اين سازه بدست آيد تا تعيين رفتار ديناميكي آن به درستي انجام پذيرد [۷]. به همين دليل ابتدا يک آناليز مودال براي شناور مدلسازي شده صورت مي گيرد كه در اينصورت مقادير ده فركانس طبيعي اول اين شناور مطابق جدول (۲) خواهد بود.

مطابق اين جدول، گام شكل اول ارتعاشي مربوط به حركت چرخش كشتي حول محور عرضي و به نام حركت Pitch در كشتي معروف است [۸], [۹]. گام شكل دوم كه بيانگر بالا و پايين رفتن شناور مي‌باشد به حركت Heave در كشتي معروف است. ملاحظه مي گردد كه فركانس اين گام شكل به فركانس گام شكل قبلي نزديک است ولي با گام شكل بعدي تفاوت قابل ملاحظه اي داشته و قابل تفكيک مي باشد. گام شكل سوم ارتعاشي، گام شكل اول خمشي شناور است كه اين گام شكل در نتيجه وقوع حالت ساگينگ و هاگينگ در شناور بوجود مي آيد. گام شكل چهارم ارتعاشي، گام شكل دوم خمشي شناور است. اين گام شكل در اثر اعمال شدن نقطه تاج يك موج به قسمت جلويي و يا عقب شناور و اعمال تاج موج ديگر در يك چهارم طول كشتي در انتهاي ديگر تحريک مي‌شود. گام شكل پنجم گام شكل سوم خمشي سازه‌هاي شناور است كه اين گام شكل در اثر بالا بودن فركانس امواج برخوردي، درازى كشتي و وقوع حالت ساگينگ و هاگينگ در دو نقطه متقارن از كشتي تحريک مي‌شود. گام شكل ششم اولين گام شكل در تغيير طول محوري شناور است كه در نتيجه مولفه افقي امواج حاصل مي شود. همچنين گام شكلهاي ۷ و۸ و۱۰ مربوط به گام شكلهاى خمشي چهارم، پنجم و ششم خمشي مي باشد. گام شكل ۹ نيز دومين گام شكل در تغيير طول محوري شناور است

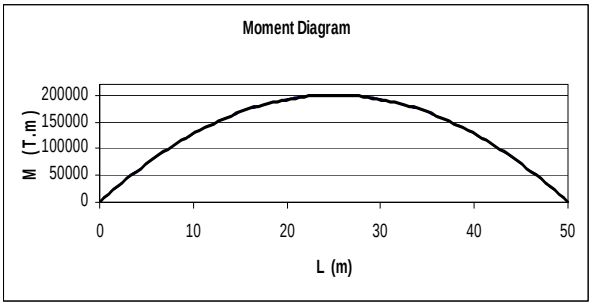
و در نتيجه مولفه افقي امواج حاصل مي‌شود. شايان گفتن است كه امكان تحريک گام شكل هاي سوم و چهارم خمشي و بالاتر اين شناور، بسيار مشكل بوده و تحريک جزئي اين مودها در اثر ضربات ناشي از پديده هاي با فركانس بالا مانند اسمينگ ۸ وفنريت۹ كشتي با انرژي هاي كم ديده مي‌شوند. همچنين دراز بودن كشتي و فركانس بالاي امواج برخوردي به آن، مي‌تواند عامل ديگري براي تحريک گام شكلهاى سوم خمشي و بالاتر باشد.

جدول (۲): مقادير فركانسهاي طبيعي شناور مفروض

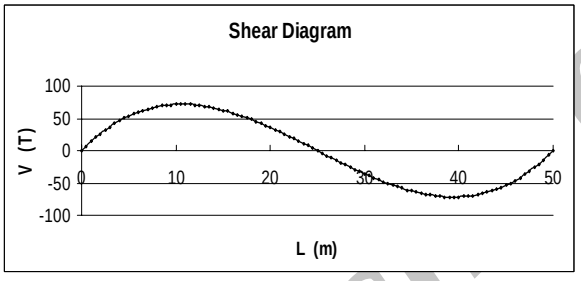
گام شكل	فركانس	نام گام شكل	شكل مود ارتعاشي
۱	۰/۴۶۲	Pitch	
۲	۰/۴۶۴	Heave	
۳	۰/۵۰۲	اول خمشي	
۴	۰/۷۲۱	دوم خمشي	
۵	۱/۱۷۲	سوم خمشي	
۶	۱/۶۴۱	تغيير طول ۱	
۷	۱/۸۱۹	چهارم خمشي	
۸	۲/۶۲۸	پنجم خمشي	
۹	۲/۲۸۲	تغيير طول ۲	
۱۰	۲/۵۷۹	ششم خمشي	

۵- تاثير فركانس امواج برخوردي روي واكنشها

فركانس امواج برخوردي ω_e يكي از عوامل مهمي است كه در مقادير واكنشهاي شناور موثر مي‌باشد. در طول سفرهاي دريايي امواج مختلفي با فركانسهاي گوناگون به يک كشتي برخورد مي‌كنند. طيف امواج و وضعيت كلي درياهاي مختلف نسبت به همديگر معمولا متفاوت هستند، اين امواج ممكن است بصورت منظم نيز باشند اما اكثرا به صورت تصادفي نوسان مي‌كنند. هر چند درصد وجود امواج منظم در درياها بسيار ناچيز است اما شناخت اين امواج و تاثير آنها در واكنشهاي ديناميكي شناورها سبب مي‌شود كه تحليل و بررسي امواج نامنظم از طريق امواج منظم با استفاده از اصل جمع آثار قوا بسيار ساده و امكان پذير شود. در تحقيق حاضر، از تاثير موج منظم به منظور پي بردن به نقاط حساس طراحي در امتداد طول كشتي يعني محلي از طول شناور كه واكنشهاي حداكثر ديناميكي اتفاق مي‌افتند استفاده شده است (زمان تناوب امواج از ۰/۹ تا ۲۰ ثانيه، ارتفاع امواج ۱۵۰ سانتيمتر). در اين راستا در طول يك زمان تعريف شده مقادير لنگر خمشي و نيروي برشي در نقاط مختلف طول شناور به ازاي موج مشخص محاسبه شده و تغييرات واكنشهاي مذكور بصورت نمودار شكلهاي (۲) و (۳) ترسيم شده است.



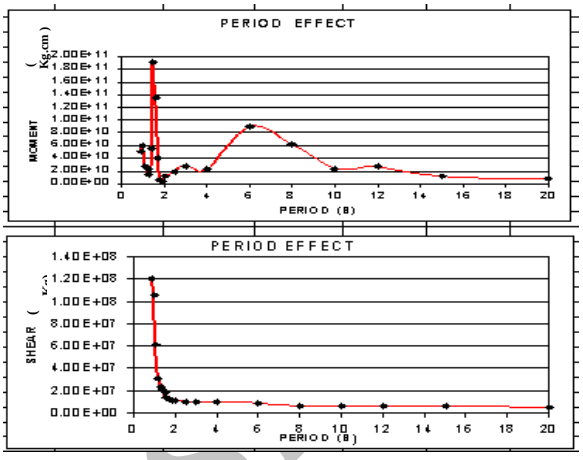
شكل (۲) نمودار لنگر خمشي طول شناور



شكل (۳) نمودار نيروي برشي طول شناور

آنطوريكه از اين شكلها پيداست، بيشترين لنگر خمشي در وسط شناور و بيشترين نيروي برشي در يک چهارم طول شناور روي مي‌دهد. بنابراين حساسترين محل براي طراحي لنگر و برش مشخص و بايستي تمهيدات لازم براي تامين مقاومت بدنه سازه در اين نقاط انديشيده شود. در ادامه، امواجي با زمانهاي تناوب مختلف از ۰/۹ تا۲۰ ثانيه توليد و به شناور مدلسازي شده اعمال مي‌شود. از بين پارامترهاي مختلف امواج فقط زمان تناوب و يا بعبارت بهتر فركانس امواج برخوردي و پيرو آن عدد موج k تغيير نموده و ساير پارامترها از جمله سختي خمشي مدل EI، ارتفاع موج H و سرعت امواج برخوردی ثابت در نظر گرفته شده اند. دليل اعمال محدوديت در بازه زمان تناوب يادشده، انجام نشدن تحليل ديناميكي غيرخطي در زمانهاي بسيار ريز توسط نرم افزار ANSYS

بدليل همگرا نشدن جواب معادلات حاصل مي‌باشد. با برداشت مقادير حداكثر لنگر خمشي و نيروي برشي در موقعيتهاي حساس يادشده براي شناور، نمودار شكل (٤) بدست مي‌آيد كه بيانگر وابستگي كامل واكنشهاي ديناميكي به زمان تناوب و يا به عبارت بهتر امواج برخوردي به شناور است.

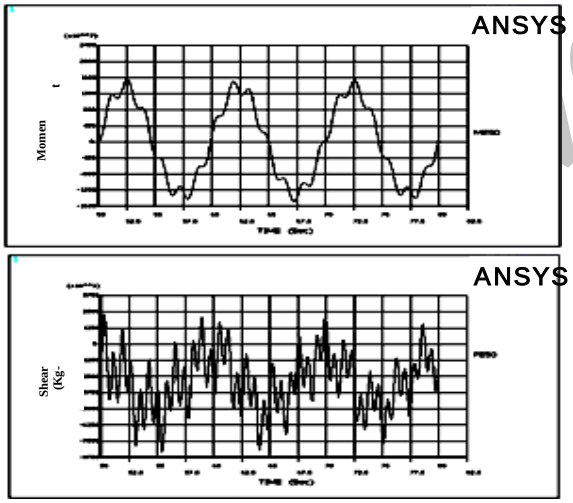


شكل (٤): نمودار تاثير زمان تناوب امواج برخوردي به شناور

همانطور كه از اين شكل پيداست، بيشترين لنگر خمشي شناور، در زمان تناوب ١/٥ ثانيه روي مي‌دهد كه اين زمان نزديك به زمان تناوب گام شكل دوم خمشي شناور مي‌باشد كه در بحث آناليز مودال به آن اشاره شد. امواجي با پريود ٣ و٦ ثانيه نيز باعث بوجود آمدن لنگرهاي بزرگتري نسبت به ساير امواج با پريودهاي مجاور مي‌شوند كه تحريك خمش شناور در پريود ٦ ثانيه بيشتر مي‌باشد. دليل تحريك خمش در اين زمان تناوب، برابر بودن طول موج اعمالي با طول سازه شناور بوده و در نتيجه وارد شدن چنين موجي نيروي حاصل از آن در قسمت جلويي و يا عقب كشتي باعث توليد لنگر حداكثر حالت هاگينگ و ساگينگ مي‌شود. بنابراين مي‌توان نتيجه گرفت كه از روي آمار تهيه شده براي فركانس امواج موجود در يک دريا در طول چندين سال، يک طول منطقي براي طراحي كشتي قابل پيش بيني است به طوريكه از وقوع لنگرهاي شديد در كشتي مورد نظر، به لحاظ فعال شدن مودهاي خمشي بخصوص مود دوم و نيز برابري طول موج با طول كشتي اجتناب گردد.

٦- تاثير ارتفاع امواج برخوردي دربردارنده فركانس تشديد روي واكنشها

به منظور بحث و بررسي پيرامون اثر ارتفاع امواج برخوردي روي عكس العملهاي كشتيها با فرض ثابت بودن سختي شناور، فركانس امواج برخوردي، عدد موج و طول موج فقط پارامتر ارتفاع امواج برخوردي را متغير در نظر گرفته و به ازاي اين تغييرات، شناور تحليل مي‌شود. ابتدا با انتخاب پريود ١٠ ثانيه، ارتفاع امواج از ٠/٥ تا ٥ متر تغيير يافته و براي هر مورد يک تحليل ديناميكي غيرخطي صورت گرفته و نتايج حاصل ذخيره مي‌شود. با عنايت به اينكه حداكثر خمش و برش بترتيب در وسط و يک چهارم طول شناور اتفاق مي افتد بنابراين مقادير لنگر خمشي و نيروي برشي در محلهاي ياد شده بحراني مورد توجه بيشتر قرار گرفته و براي حفظ اختصار يك نمونه از تغييرات خمش و برش براي مقاطع ياد شده براي موج با ارتفاع ١ متري در شكل (٥) ارائه شده و اطلاعات تكميلي در مرجع [٤] قابل دسترسي است. در شكل يادشده علاوه بر نوسان واكنشها در زمان تناوبي برابر با زمان تناوب موج (١٠ ثانيه)، نوساناتي با فركانسهاي بالا در حد فركانس گام شكلهاي خمشي اول و دوم نيز ملاحظه مي‌شود. با جمع بندي و رسم مقادير حداكثر خمش و برش نسبت به تغييرات ارتفاع امواج شكل (٦) حاصل مي شود، كه بيانگر يك رابطه خطي است. اين تغييرات نمي تواند دقيق بوده و به عنوان معيار طراحي مورد استفاده قرار گيرد. چون زمان تناوب امواج برخوردي بصورت اختياري انتخاب شده است و ممكن است در فركانس برخوردي ديگري غير از فركانس فوق اين رابطه ديگر خطي نباشد به همين منظور لازمست كه اين مورد كنترل شود.



شكل (٥): نمودار نيروي برشي و لنگر خمشي در امواجي با پريود١٠ ثانيه و ارتفاع ١ متر

در شناور حاضر ملاحظه گرديد كه به‌ازاي امواج برخوردي با زمان تناوب ١/٥ ثانيه، بيشترين لنگر خمشي در نقطه بحراني ايجاد مي گردد. براي بررسي اثر ارتفاع امواجي با زمان تناوب ياد شده كه باعث وقوع حالت تشديد در شناور است، امواجي با ارتفاعهاي مختلف كه از ١٠ سانتيمتر تا ١/٥ متر تغيير مي‌كند روي سازه اعمال مي‌گردد. با رسم مقادير حداكثر لنگر خمشي

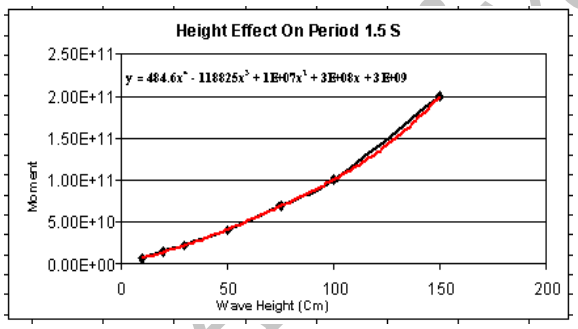
نسبت به ارتفاع امواج برخوردي منحني شكل (٧) بدست مي آيد. ملاحظه مي‌گردد كه لنگر خمشي وسط شناور با توان دوم ارتفاع امواج مرتبط مي‌باشد. بنابراين فركانس امواج برخوردي نيز در رابطه بين ارتفاع امواج و لنگر خمشي موثر است. با مقايسه اشكال (٥) و(٦) مي‌توان دريافت كه لنگر خمشي ايجاد شده در اثر موجي با ارتفاع كم (مانند ٠/٥ متر) و فركانس برخوردي ٠/٦٦٧ هرتز، نزديک پنج برابر لنگر خمشي ايجاد شده در اثر موجي به همان ارتفاع و فركانس برخوردي ٠/١ هرتز مي باشد. علت اين موضوع وقوع حالت تشديد[١٠] در فركانس ٠/٦٦٧ هرتز مي باشد كه اين فركانس نزديک فركانس طبيعي خمشي سازه كشتي است.

٧- تاثير سختي شناور روي واكنشها

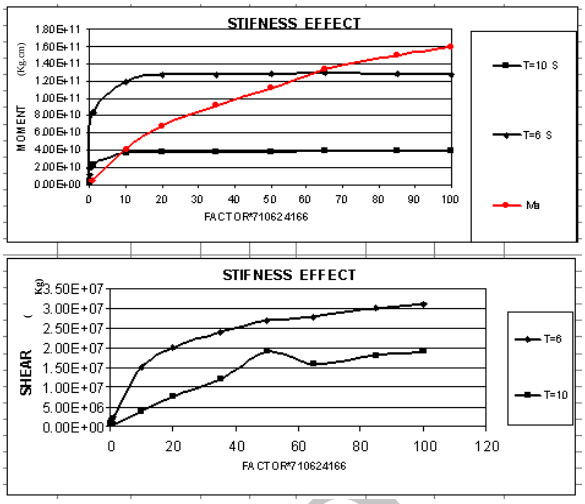
سختي خمشي شناورها و يا به عبارت بهتر ممان اينرسي شناورها I، نقش بسيار مهمي در واكنشهاي ديناميكي از جمله لنگر خمشي آنها دارد. به منظور بررسي تاثير اين پارامتر در واكنشهاي شناور سختي آن I ، از ٠/٠١ تا ١٠٠ برابر سختي در حالت عادي تغيير يافته و براي هر مساله يک تحليل ديناميكي غيرخطي انجام گرفت. ابتدا بررسي اثر سختي شناور به صورت اختياري براي امواج منظم با زمان تناوب ١٠ ثانيه انجام شد، سپس بدليل حساسيت سازه نسبت به زمان تناوب ٦ ثانيه (مطابق شكل ٤)، اين بررسي به ازاي امواج سينوسي يادشده نيز تكرار گرديد. هدف كلي از تحليل مسئله به ازاي دو موج مختلف، بررسي همزمان اثر سختي و پريود امواج روي واكنشهاي ديناميكي شناور مي‌باشد. با توجه به اينكه حداكثر لنگر خمشي در وسط شناور و نيروي برشي در يک چهارم طول شناور روي مي دهد بنابراين برداشتهاي مربوط به اين واكنشها در محلهاي ياد شده انجام گرفته و سري زماني واكنشها تهيه شده، در مرجع [٤] ارائه گرديده است.

مقادير حداكثر لنگر خمشي و نيروي برشي كليه سريهاي زماني يادشده شناسايي و مقادير آنها نسبت به تغييرات سختي در شكل (٨) آمده است. اين منحني بيانگر تغيير واكنشهاي ديناميكي شناور در ازاي تغييرات سختي سازه بوده و نيز اختلاف اساسي واكنشها به ازاي دو زمان تناوب مختلف مشهود است. مطابق شكل (٨)، شناور در مقابل امواج با زمان تناوب ٦ ثانيه نسبت به امواج با زمان تناوب١٠ ثانيه حساس تر بوده و لنگر خمشي شناور در اين امواج مقدار بيشتري دارد. دليل اين موضوع حساسيت شناور به امواج با زمان تناوب ٦ ثانيه بوده كه پيشتر بحث گرديد. در چنين شرايطي با استفاده از اصول مقاومت مصالح و رابطه $M_a = \sigma_a y / I$ (σ_a: تنش تسليم) مي‌توان يک ناحيه طراحي در حوزه الاستيك براي مقطع شناور تعريف نمود. چنانچه سختي شناور طوري انتخاب شود كه لنگر خمشي در ازاي امواج با زمانهاى تناوب١٠ و يا ٦ ثانيه از لنگر مجاز بيشتر نشود، يعني واكنشها زير سطح زير منحني M_a باشد سيستم مقاوم بوده و واكنش لنگر در ناحيه مطلوب طراحي قرار گرفته است.

شكل (٦): تاثير ارتفاع امواج برخوردي با پريود ١٠ ثانيه در واكنشهاي شناور



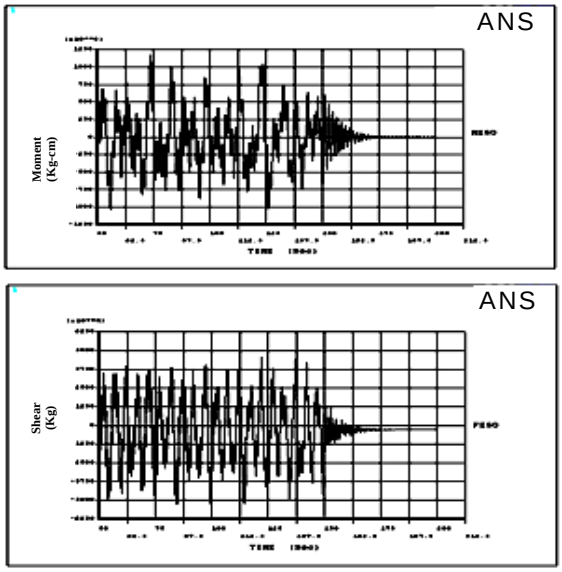
شكل (٧): تاثير ارتفاع امواج برخوردي با پريود ١/٥ ثانيه در لنگر خمشي شناور



شكل (۸): اثر سختي روي واكنشهاي ديناميكي و ناحيه طراحي

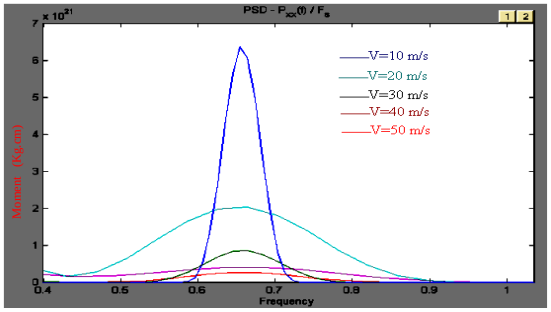
۸- تاثير امواج تصادفي و سرعت شناور در خمش

با توجه به تصادفي بودن امواج دريا، واكنشهاي ديناميكي ناشي از تاثير اين امواج بر شناورها نيز تصادفي خواهد بود. براي بحث پيرامون اثر اين امواج مي توان امواج نامنظم مختلفي را توليد و بر روي شناور مفروض اعمال نمود. در اين تحقيق تنها بمنظور بررسي اين موضوع موجي با نامنظمي جزئي بر اساس مراحل ذكر شده در بخش ۳-۲ با تركيب تعداد محدودي موج سينوسي توليد و به سازه مورد نظر اعمال شده است. ويژگي مهم ديگري كه همراه اعمال اين امواج در نظر گرفته مي شود تغييرات سرعت افقي شناور در ميان امواج مي باشد، كه اين سرعت از ۱۰ تا ۵۰ متر بر ثانيه در تحليل حاضر تغيير مي كند. در اثر برخورد موج نامنظم به مدل شناور، نمودار لنگر خمشي در وسط كشتي و نيروي برشي در يک چهارم طول شناور مطابق شكل (۹) خواهد شد كه شكل منظمي نداشته و گام شكلهای زيادی با فركانسهاي مختلف در آن تحريک مي شود. گفتني است كه اين شكل مربوط به سرعت ۳۰ متر بر ثانيه بوده و به عنوان نمونه ارائه شده، جهت ملاحظه اثر ساير سرعت ها به مرجع [٤] مراجعه شود. از آنجا كه يک كشتي در دريا، سرعتهاي متغيري در ميان امواج تصادفي مي‌تواند داشته باشد، بنابراين واكنشهاي ديناميكي مربوط به هر سرعتي، نسبت به سرعت ديگر متفاوت خواهد بود. با رسم طيف لنگر خمشي وسط شناور در سرعتهاي مختلف كه توسط نرم افزار Matlab صورت مي‌گيرد [۱۰]، اين موضوع بيشتر روشن مي شود. طيف ياد شده در شكل (۱۰) آمده است.



شكل (۹): نمودار لنگر خمشي و نيروي برشي شناور متحرك با سرعت ۳۰ متر بر ثانيه در اثر موج نامنظم

از شكل نيز پيداست كه با افزايش سرعت شناور، مقدار انرژي مربوط به لنگر خمشي كم مي‌شود اما محدوده فركانسها بيشتر مي‌گردد به عبارت بهتر هر چه سرعت شناور بيشتر مي شود، امواج زيادتري با فركانسهاي مختلف، به اين شناور برخورد مي كنند كه در نتيجه گام شكلهای فراواني از شناور مفروض تحريک مي گردد و اين امر باعث پهن تر شدن طيف لنگر حاصل مي‌شود. عكس اين مطلب نيز درست است يعني با كاهش سرعت شناور، تعداد فركانسهاي تحريک شده شناور كمتر شده و از اين رو، پهناي طيف لنگر خمشي در منطقه حساس كه وسط شناور مي باشد نيز كم مي‌شود اما مقدار انرژي اين لنگر افزايش پيدا مي كند. از طرف ديگر چون موج تصادفي اعمال شده مي تواند بصورت تركيب تعداد بسيار زيادي موج منظم فرض شود بنابراين هر چقدر تعداد موجهاي منظم تشكيل دهنده موج نامنظم بيشتر باشد پهناي باند طيف نيز بيشتر خواهد شد. برعكس هر چقدر تعداد موجهاي منظم كمتري بكار گرفته شود پهناي باند طيف نيز كمتر خواهد شد. به گونه ای كه در ازاي موجي كه فقط داراي يک فركانس باشد طيف حاصل به يک خط راست عمودي تبديل خواهد شد و مقدار فركانس اين طيف برابر فركانس موج است.



شكل (١٠): طيف واكنش شناور مفروض در سرعتهاي مختلف در اثر موج نامنظم

٩- نتايج كلي

١- در اثر امواج برخوردي به شناور مورد نظر، بيشترين لنگر خمشي در وسط شناور و بيشترين نيروي برشي در يک چهارم طول شناور روي مي‌دهد.

٢- در اثر برخورد امواج منظم با زمانهاي تناوب مختلف، در شناور حاضر بيشترين تحريک در زمان ١/٥ ثانيه روي مي‌دهد که اين زمان نزديک گام شکل دوم خمش سازه است.

٣- در اثر امواج با فرکانس تحريک (٠/٦٦٧ هرتز)، شناور مورد نظر واکنشهاي خيلي بالايي را نشان مي‌دهد. بعنوان نمونه در موجي با چنين فرکانس و با ارتفاع کم (مانند ٠/٥ متر) لنگر وسط شناور به ميزان پنج برابر واکنش مشابه نسبت به موج با ارتفاع يکسان و فرکانس برخورد ٠/١ هرتز خواهد بود.

٤- مقادير حداکثر خمش و برش در نقاط بحراني شناور، نسبت به تغييرات ارتفاع امواج منظم از يك رابطه خطي پيروی مي‌کند، اما به‌ازاي امواج با زمان تناوب ١/٥ ثانيه که باعث وقوع حالت تشديد در شناور حاضر مي شود، لنگر خمشي وسط شناور با توان دوم ارتفاع امواج مرتبط مي‌باشد.

٥- در امواج نامنظم با افزايش سرعت شناور ياد شده، طيف مربوط به واکنش لنگر خمشي پهن‌تر شده و محدوده وسيعي از فرکانسها را شامل مي‌شود اما مقدار انرژي لنگر خمشي کمتر مي‌شود و با کاهش سرعت شناور عکس حالت ياد شده اتفاق مي‌افتد يعني طيف مربوط به واکنش لنگر خمشي باريکتر شده و محدوده کمتري از فرکانسها را شامل مي‌شود اما مقدار انرژي لنگر خمشي افزايش پيدا مي‌کند.

١٠- مراجع

[١] رستگار، مهدي؛ "بررسي رفتار ديناميکي سازه هاي شناور باروش اجزاء محدود"، پايان نامه کارشناسي ارشد،دانشکده فني دانشگاه ارومیه، ايران، ١٣٨١.

[٢] لطف اللهي‌يقين، محمدعلي؛ رستگار، مهدي؛ "بررسي رفتار ديناميکي شناورها به روش اجزاء محدود" پنجمين کنفرانس بين‌المللي سواحل، بنادر و سازه هاي دريايي، "ICOPMAS 2002" رامسر، ايران، مهرماه، ١٣٨١.

[٣] 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.

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

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

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

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

١١- زيرنويس ها

١.Midship
٢.Sagging and Hogging
٣.Free Beam
٤.Gap
٥.Long Creast
٦.Head Sea
٧.Steps and Substeps
٨.Slamming
٩.Springging
١٠.Resonance