



سازمان بنادر و دریانوردی به عنوان تنها مرجع حاکمیتی کشور در امور بندری، دریایی و کشتی‌رانی بازرگانی به منظور ایفای نقش مرجعیت دانشی خود و در راستای تحقق راهبردهای کلان نقشه جامع علمی کشور مبنی بر "حمایت از توسعه شبکه‌های تحقیقاتی و تسهیل انتقال و انتشار دانش و سامان‌دهی علمی" از طریق "استانداردسازی و اصلاح فرایندهای تولید، ثبت، داوری و سنجش و ایجاد بانک‌های اطلاعاتی یکپارچه برای نشریات، اختراعات و اکتشافات پژوهشگران"، اقدام به ارایه این اثر در سایت SID می‌نماید.



بررسی واکنشهای دینامیکی سازه شناور در اثر پدیده اسلمینگ با بکارگیری روش اجزاء محدود

حمید احمدی
دانشگاه تبریز

مهدی رستگار
دانشگاه ارومیه

محمد علی لطف الهی یقین
دانشگاه تبریز

h_ahmadi_81@yahoo.com

a_lotfolahi@yahoo.com

lotfolahi@tabrizu.ac.ir

چکیده

روند رو به افزایش استفاده از سازه های شناور نظیر کشتی ها، شناور ها و یدک کش ها در حوزه های نظامی و اقتصادی، باعث شده است روند پیشرفت تکنولوژی صنعتی در طراحی و ساخت چنین سازه هایی تسریع گردد. همزمان با این پیشرفت ها، مباحث اساسی دینامیک سازه های شناور و انواع حرکات این سازه ها در دریا، همواره مورد بحث بوده است. پدیده اسلمینگ یکی از مهم ترین مسائلی است که در اثر ترکیب این حرکات بوجود می آید. این پدیده می تواند بسیار مخرب بوده و باعث فرسودگی کف سازه در دراز مدّت و یا حتّی شکست سازه شود. گرچه اصول حاکم بر حرکات کشتی در اثر امواج دریا، چندان پیچیده نیست، ولی محاسبات مربوطه وقت گیر میباشد. از طرفی انجام تحقیقات آزمایشگاهی جهت بررسی رفتار دینامیکی این سازه ها، دلیل نیاز به کانال موج طویل و مدل متحرک، بسیار پر هزینه خواهد بود. در نتیجه به نظر می رسد مدل سازی این سازه ها توسط نرم افزارهای کامپیوتری روش مناسبی جهت مطالعه رفتار دینامیکی آنها باشد. در این مقاله، ابتدا نیروهای ضربه ای ناشی از پدیده اسلمینگ بررسی می شود. سپس با استفاده از نرم افزار ANSYS، پاسخ دینامیکی یک شناور در اثر تحریکات ناشی از پدیده اسلمینگ مورد مطالعه قرار می گیرد. همچنین ضمن تعیین مقاطع تنش بحرانی، اثر سرعت شناور و سختی بدنه شناور روی مقادیر لنگر خمشی و نیروی برشی تولید شده در طول شناور بررسی می شود.

کلید واژگان: سازه های شناور، آنالیز مودال، روش اجزاء محدود، پدیده اسلمینگ، لنگر خمشی، نیروی برشی

مقدمه

طراحی و ساخت سازه های شناور مستلزم درک صحیح رفتار این سازه ها در شرایط محیطی گوناگون است. بررسی پاسخ دینامیکی این سازه ها به انواع تحریکات محیطی نظیر نیروهای ناشی از امواج، باد و جریان های دریائی، می تواند در نیل به این مقصود بسیار مفید باشد. روش های مختلفی جهت مطالعه دینامیک سازه های شناور وجود دارد. گرچه استفاده از مدل های آزمایشگاهی، روش بسیار مفیدی است لیکن بسیار پر هزینه خواهد بود چرا که نیاز به تجهیزاتی نظیر کانال موج طویل و مدل متحرک دارد. همچنین می توان از حل معادلات دینامیکی حاکم بر حرکت سازه های شناور استفاده نمود. با توجه به وقت گیر بودن روند حل، استفاده از روش های عددی، نظیر روش های اجزای محدود، تفاضلات محدود و احجام محدود، اجتناب ناپذیر به نظر می رسد. استفاده از نرم افزارهای کامپیوتری اجزای محدود مانند ANSYS، ABAQUS، COSMOS و غیره باعث تسریع در روند مطالعه خواهد شد. در حالت کلی، برای حرکت یک شناور در دریا در اثر برخورد امواج، ۶ درجه آزادی وجود دارد. حرکات Heave و Pitch، دو مورد از این درجات آزادی هستند که ترکیب آنها با نوسانات سطح آب باعث بوجود آمدن پدیده اسلمینگ می شود که یکی از مخرب ترین پدیده ها برای کشتی ها، شناور ها و یدک کش ها می باشد. طراحان و سازندگان سازه های شناور همواره سعی در کنترل این پدیده و کاهش خسارات ناشی از آن داشته اند [۱]. در این مقاله، ابتدا نیروهای ضربه ای ناشی از پدیده اسلمینگ بررسی می شود. سپس با استفاده از نرم افزار ANSYS، پاسخ دینامیکی یک شناور در اثر تحریکات ناشی از پدیده اسلمینگ مورد مطالعه قرار می گیرد و مقادیر فرکانس های طبیعی ارتعاش سازه و مود شکل های آن بدست می آید. همچنین ضمن تعیین مقاطع تنش بحرانی، اثر سرعت شناور و سختی بدنه شناور روی مقادیر لنگر خمشی و نیروی برشی تولید شده در طول شناور بررسی می شود.

بارهای ناشی از اسلمینگ

پدیده اسلمینگ، نتیجه غوطه ور شدن ناگهانی یک سازه در آب در حین عبور موج می باشد. زمانی که یک عضو افقی از یک سازه در مجاورت سطح آزاد آب قرار می گیرد، مواقعی پیش می آید که این عضو بطور متناوب در داخل آب یا خارج از آب قرار بگیرد. بخصوص اگر محور عرضی این عضو، با تاج موج موازی باشد، در حین اینکه موج در زیر عضو بالا می آید، این عضو بارهای ضربه ای ناگهانی را تجربه خواهد کرد که به بارهای ناشی

از اسلمینگ معروف هستند. این بار ضربه ای معمولاً برای تحریک عضو تحت فرکانس طبیعی خود کافی خواهد بود. همچنین این بارها، عمر خستگی اتصالات سازه را به میزان قابل توجهی، متأثر خواهد ساخت [۲]. این پدیده در مورد سازه های شناور در شرایط متفاوتی نسبت به آنچه در مورد یک عضو افقی از یک سازه ذکر شد، رخ می دهد. این پدیده در شرایط خروج سازه از داخل آب تحت اثر نوسانات شدید سازه شناور در اثر تحریکات ناشی از امواج و به صورت کاملاً تصادفی ایجاد می شود. بدیهی است که محدوده ذکر شده برای ارتفاع و پرپود امواجی که تولید اسلمینگ مینماید، از سازه ای به سازه دیگر متفاوت خواهد بود. به عنوان مثال امواج با طول موج کوتاه قادر نخواهند بود سازه های طویل را به اسلمینگ وا دارند و به همین ترتیب سازه های کوچک واکنش مشابهی در مقابل امواج بلند از خود نشان نمیدهند. به عبارت دیگر کلیه امواجی که طولشان در حدود طول سازه بوده و ارتفاع آنها نیز در حدی است که توان به نوسان آوردن سازه را دارد به احتمال بالائی تولید اسلمینگ در سازه شناور نموده و بدیهی است که شدت اسلمینگ تحت اثر امواج با دامنه بزرگتر بیشتر است [۳]. محاسبه شدت نیروها و لنگرهای ناشی از اسلمینگ مشکل است، ولی مشاهدات نشان داده است که شدت این لنگرها، بیش از دو برابر لنگر ناشی از امواج است [۴].

در اثر برخورد امواج به یک شناور در شرایط طوفانی، حرکات غالب بوجود آمده در شناور، دو نوع هستند. این دو نوع حرکت که بصورت همزمان رخ می دهند، عبارتند از حرکت Heave که عبارت است از حرکت انتقالی شناور در راستای قائم، و حرکت Pitch که عبارت است از حرکت دورانی شناور حول محور عرضی. عبور امواج خاصی از شناور ممکن است باعث تشدید این نوسانات گردد. مشخصات این امواج خاص به طول شناور بستگی دارد [۴].

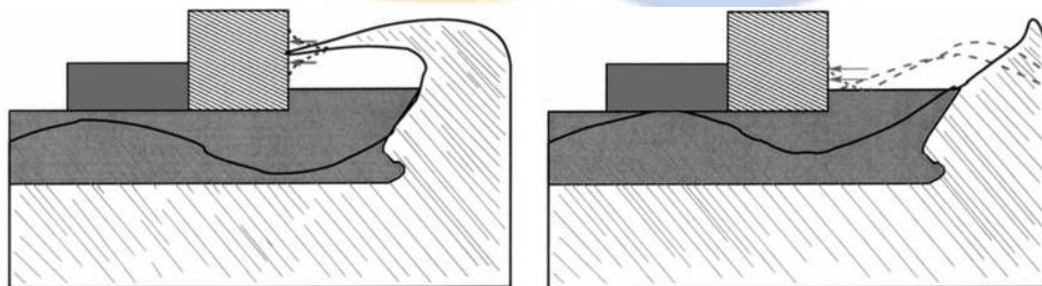
در اثر نوسانات شدید، این احتمال وجود دارد که بخشی از جلو یا عقب شناور از آب خارج شود. زمانی که این بخش به سمت آب بازگشته و مجدداً غوطه ور می شود، سینه شناور یک بار ضربه ای ناگهانی یعنی اسلمینگ را تجربه خواهد کرد. پدیده اسلمینگ زمانی رخ می دهد که سرعت نسبی بین صفحه زیرین شناور و سطح آب دریا، به حد کافی زیاد باشد [۵].

اولین پژوهش ها در زمینه پدیده اسلمینگ در سال ۱۹۲۹ توسط Van Karman صورت گرفت. وی یک تئوری مجانب^۱ برای مسائل ضربه تخت^۲ از طریق خطی سازی شرایط مرزی سطح آزاد و جسم ارائه نمود [۶]. روابط Van Karman توسط Wagner در سال ۱۹۳۲ اصلاح شد [۷]. پدیده های فیزیکی متفاوتی حین وقوع اسلمینگ رخ می دهد. زمانی که زاویه موضعی^۳ بین سطح آب و سطح جسم در محل ضربه کوچک باشد، ممکن است یک بالشتک هوا بین آب و جسم تشکیل شود. زمانی که این بالشتک هوا از هم پاشیده می شود، در محل حباب های هوا تشکیل خواهد شد. نیروهای بزرگی که در اثر کوچک بودن زاویه بین سطح آب و سطح جسم بوجود می آیند، میتوانند باعث ایجاد تأثیرات هیدرو الاستیک دینامیکی موضعی شوند [۸].

اسلمینگ در کشتی ها معمولاً در ۴ گروه طبقه بندی می شود که عبارت اند از:

- Bottom slamming
- Bow-flare slamming
- Bow-stem slamming
- Wet-deck slamming

دو نوع از اسلمینگ که در FPSO^۴ مهم هستند، در شکل های ۱ و ۲ نشان داده شده اند [۹].



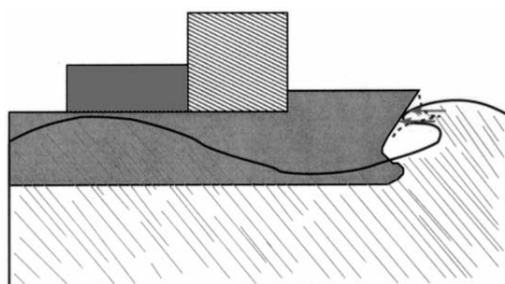
شکل (۱): اسلمینگ Green-water [۹]

¹ Asymptotic theory

² Flat impact problems

³ Local angle

⁴ Floating Production Storage and Offloading



شکل (۲): اسلمینگ Bow-stem [۹]

Morris در سال ۱۹۹۱، یک آنالیز سازه ای سه بعدی مدل اجزای محدود، با استفاده از نرم افزار NASTRAN، برای تنه اصلی^۱ و روسازه^۲ یک کاتاماران موج پیمای بزرگ آلومینیومی انجام داد. در این مطالعه، با استفاده از آنالیز شبه دینامیکی، موقعیت های ایجاد تمرکز تنش مورد بررسی قرار گرفت. الگوی بارگذاری اعمالی مطابق مقررات لویدز رجیستر^۳ بوده و تغییر شکل ها و توزیع تنش مورد بررسی قرار گرفت [۱۰]. مطالعات موردی شبیه سازی کامپیوتری و تکنیک های مدل سازی با استفاده از نرم افزار I-DEAS جهت طراحی کاتاماران های بزرگ آلومینیومی موج شکن INCAT^۴ توسط Yakimoff در سال ۱۹۹۷ صورت گرفت. Yakimoff توجه ما را به اهمیت استفاده از تکنیک های پیچیده کامپیوتری، جهت بررسی مسائل جدید، بهبود امنیت و طراحی سازه ای بهینه، برای کشتی ها جلب می کند [۱۱]. Hughes در سال ۱۹۹۷، یک استراتژی برای طرح سازه ای بهینه یک کشتی با استفاده از نرم افزار اجزای محدود MAESTRO ارائه نمود. در این مطالعه یک شناور تک جداره بزرگ تندرو^۵ مورد بررسی قرار گرفت. Hughes نتیجه گرفت که استفاده از مصالح کامپوزیت منجر به کاهش قابل توجه در وزن شناور خواهد شد [۱۲]. Ojeda و همکاران در سال ۲۰۰۳، پاسخ استاتیکی یک کاتاماران کامپوزیت به بارهای ناشی از پدیده اسلمینگ را بررسی نمودند. این بررسی به روش اجزای محدود و به کمک نرم افزار ANSYS 6.0 انجام گرفت. المان های مورد استفاده، SHELL 99 3-D و MASS 21 بودند. جهت اعمال حالت های بارگذاری شبه دینامیکی اسلمینگ از مقررات (1999) DNV HSLC استفاده شده و تنش ها و تغییر شکل ها در طول بدنه کاتاماران بررسی گردید [۱۳]. نیروهای وارد بر کف شناور در اثر پدیده اسلمینگ، ماهیتی ضربه ای داشته و دارای فرکانس بالائی می باشند. شکل تئوریک این نیروهای ضربه ای، مثلی است. در اثر ضربه وارده، مقادیر لنگر خمشی و نیروی برشی قابل توجهی در طول شناور بوجود می آید.

مدل سازی و بارگذاری

یک شناور را می توان بصورت یک تیر آزاد در نظر گرفت که روی سطح آب قرار گرفته است و واکنش های آن تابعی از نوسانات سطح آب می باشد. در واقع می توان سطح آب را بعنوان یک بستر ارتجاعی برای تیر آزاد در نظر گرفت. در این بررسی یک شناور که شکل هندسی آن بصورت مکعب مستطیل توخالی است، مورد مطالعه قرار گرفته است. مشخصات هندسی و فیزیکی شناور مورد بحث در این مقاله، در جدول ۱ ارائه شده است:

جدول (۱): مشخصات هندسی و فیزیکی شناور

طول	۵۰ متر
عرض	۱۰ متر
ارتفاع	۵ متر
ضخامت جداره	۵ سانتیمتر
مدول الاستیسیته	210000 Kgf/cm^2
ضریب پواسون	۰/۳
جرم مخصوص	0.0057 Kgf/cm^3

¹ Entire hull

² Superstructure

³ Lloyd's Register rules

⁴ INCAT's large wave piercing aluminum catamarans

⁵ Large mono-hull fast ferry

تعدادل شاور زمانی برقرار خواهد بود که نیروی ارشمیدس برابر وزن شناور شود. از آنجا که نیروی ارشمیدس برابر وزن آب جابجا شده است، با نوشتن معادله تعادل می توان عمق غوطه وری شناور را محاسبه نمود. در این مطالعه، آب دریا با یک سیستم الاستیک جایگزین شده و تعداد زیادی فنر در زیر شناور تعبیه گردیده است. سختی این فنر ها به شکل هندسی مقطع عرضی شناور بستگی دارد. برای شناور مورد بحث که دارای مقطع عرضی مستطیلی شکل می باشد، سختی فنر ها ثابت در نظر گرفته می شود. بعبارت دیگر، فنرها خطی هستند. محاسبات اولیه در جدول ۲ آورده شده است:

جدول (۲): محاسبات اولیه

مساحت مقطع عرضی	14900 cm^2
ممان اینرسی مقطع عرضی	710624167 cm^4
جرم شناور	581100 kg
عمق غوطه ور شناور	116 cm
نیروی شناوری	5689800 N
سختی کل سیستم فنرها	4905000 N/m
سختی فنرهای میانی	49050 N/m
سختی فنرهای کناری	24525 N/m

سختی کل سیستم فنرها از تقسیم نیروی شناوری به عمق غوطه ور شناور بدست می آید. تعداد کل فنر ها، ۱۰۰ عدد است که در فواصل ۵۰ سانتی متری از هم در زیر شناور تعبیه شده اند. در نتیجه سختی هر کدام از فنر های میانی از تقسیم سختی کل سیستم فنر ها به ۱۰۰ بدست می آید و سختی دو فنر کناری نصف این مقدار خواهد بود. جهت مدل سازی شناور در نرم افزار ANSYS، از دو نوع المان استفاده شده است [۱۴]. المان اول، *Beam 2D* نام دارد که از آن برای مدلسازی بدنه شناور و تعریف خصوصیات هندسی مقطع عرضی شناور مورد استفاده قرار گرفته است. المان دوم، *Combin 40* نام دارد که شامل یک فنر خطی و یک میراگر با ویژگی *Gap* می باشد. از آنجا که هنگام جدا شدن شناور از سطح آب، هیچ نیروی کششی قابل توجهی از طرف آب به شناور وارد نمیشود، در نتیجه هنگام جدا شدن شناور از سطح آب فنر ها نباید تحت کشش قرار بگیرند. ویژگی *Gap* باعث می شود در این حالت فنر ها از شناور جدا شوند.

روند تحلیل

بدلیل اینکه وزن شناور یکی از پارامترهای مهم در برقراری تعادل شناور بوده و هر لحظه موجود می باشد، لذا برای اعمال این پارامتر، در شروع هر تحلیل به شناور فرصت کافی داده می شود تا تحت اثر وزن خود روی آب دریا یا بعبارت بهتر روی فنرها نوسان داشته و تعادل کامل بین وزن شناور و نیروی ارشمیدس که در حقیقت همان عکس العمل فنرهاست حاصل شود که این مدت زمان در تمام تحلیل ها ۵۰ ثانیه در نظر گرفته شده است. بعد از تعادل کامل و حاصل شدن تغییر مکان ۱۱۶ سانتیمتر برای شناور مدل سازی شده، برای شبیه سازی تغییر مکان و نیروی ضربه ای مثلثی شکل ناشی از پدیده اسلیمینگ، از دو حلقه قدرتمند نرم افزار ANSYS که *Do... End do* و *Then... End if* هستند، استفاده می شود [۱۴]. پس از تعریف مشخصات هندسی و فیزیکی مدل، حلقه کنترلی *Do* محاسبه نیروی هر کدام از گره ها را در زمان *t* و با گام زمانی *dt* آغاز می کند. در حین این عملیات، حلقه *If* مثلثی بودن نیروی اعمالی را کنترل می کند. فرایند تحلیل زمانی پایان می یابد که مقدار نیرو در گره وسط شناور، صفر شود. بعد از این لحظه، شناور آزادانه ارتعاش خواهد نمود. نوسانات به علت میرایی سیستم به تدریج مستهلک شده و از بین می روند و نهایتاً شناور به حالت پایدار می رسد. سپس با استفاده از پردازشگر *Post 26* نرم افزار ANSYS، دیاگرام هائی برای نمایش تغییرات زمانی نیروهای داخلی ایجاد شده در نقاط مختلف در طول شناور، ترسیم می شوند. این نیروهای داخلی شامل لنگر خمشی و نیروی برشی هستند.

آنالیز مودال

تعیین مود شکل ها و فرکانس های طبیعی ارتعاش یک سازه، جهت بررسی رفتار دینامیکی آن، بسیار مفید است [۱۵]. سازه های شناور نظیر کشتی ها، شناور ها و یدک کش ها، بارهای دینامیکی متعددی را از طرف امواج تجربه می کنند. با انجام یک آنالیز مودال، فرکانس های طبیعی ده مود اول بدست آمده و در جدول ۳ ارائه شده است. ده مود شکل اول نوسان نیز در شکل های ۳ تا ۷ نشان شده اند.

جدول (۳): پریود و فرکانس های طبیعی سازه

شماره مود	زمان تناوب	فرکانس
۱	۲/۱۶۴	۰/۴۶۲
۲	۲/۱۶	۰/۴۶۳
۳	۲	۰/۵۰۳
۴	۱/۳۸۷	۰/۷۲۱
۵	۰/۸۵۳	۱/۱۷۲
۶	۰/۶۱	۱/۶۴۱
۷	۰/۵۵	۱/۸۱۹
۸	۰/۳۸	۲/۶۲۸
۹	۰/۳۰۵	۳/۲۸۲
۱۰	۰/۲۸	۳/۵۷۹

اولین مود طبیعی، حرکت Pitch است که عبارت است از دوران شناور حول محور عرضی. دومین مود طبیعی، حرکت Heave است که عبارت است از حرکت انتقالی شناور در راستای قائم. همان طور که دیده می شود، فرکانس های این دو مود بسیار به هم نزدیک هستند. سومین مود طبیعی، اولین مود خمشی است. این مود در اثر حرکات ساگینگ^۱ و هاگینگ^۲، تحریک می شود. چهارمین مود طبیعی، دومین مود خمشی سازه است. این مود معمولاً در اثر اسلمینگ تحریک می شود. پنجمین مود طبیعی، سومین مود خمشی سازه است. این مود در صورتی تحریک می شود که یکی از شرایط زیر وجود داشته باشد [۱۶]:

- فرکانس امواج برخوردی، بالا باشد.

- طول شناور زیاد باشد.

- حرکات هاگینگ و ساگینگ در دو نقطه متقارن روی کشتی، رخ دهند.

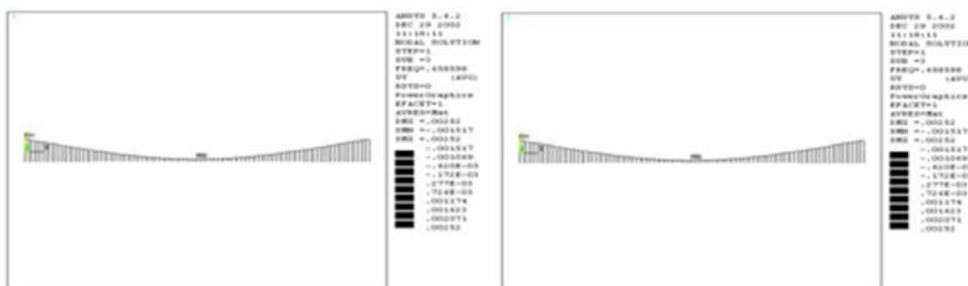
مود طبیعی ششم، اولین مود تغییر شکل طولی سازه است که می تواند ناشی از مؤلفه افقی نیروی ناشی از امواج باشد. مود های طبیعی هفتم، هشتم و دهم، بترتیب مودهای خمشی چهارم، پنجم و ششم هستند. مود طبیعی نهم نیز دومین مود تغییر شکل طولی سازه می باشد.



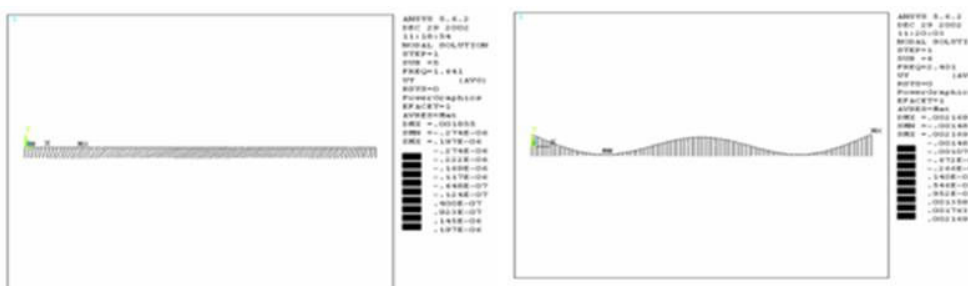
شکل (۳): مود اول (Pitch) (شکل سمت راست) و مود دوم (Heave) (شکل سمت چپ) ارتعاش طبیعی

¹ Sagging

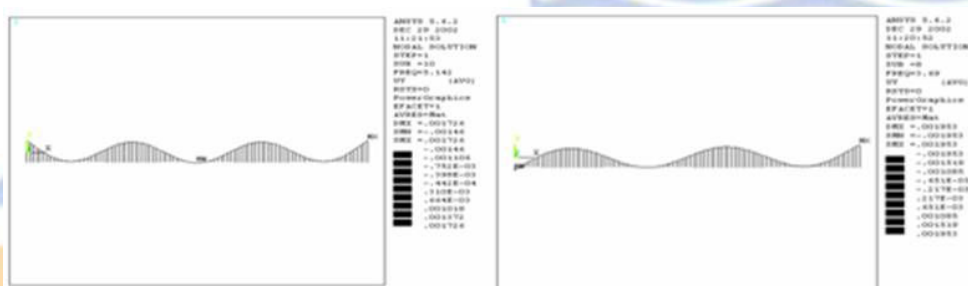
² Hogging



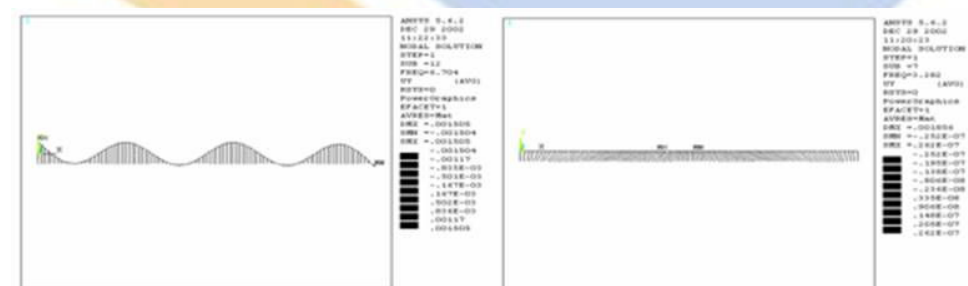
شکل (۴): مود سوم (شکل سمت راست) و مود چهارم (شکل سمت چپ) ارتعاش طبیعی



شکل (۵): مود پنجم (شکل سمت راست) و مود ششم (شکل سمت چپ) ارتعاش طبیعی



شکل (۶): مود هفتم (شکل سمت راست) و مود هشتم (شکل سمت چپ) ارتعاش طبیعی

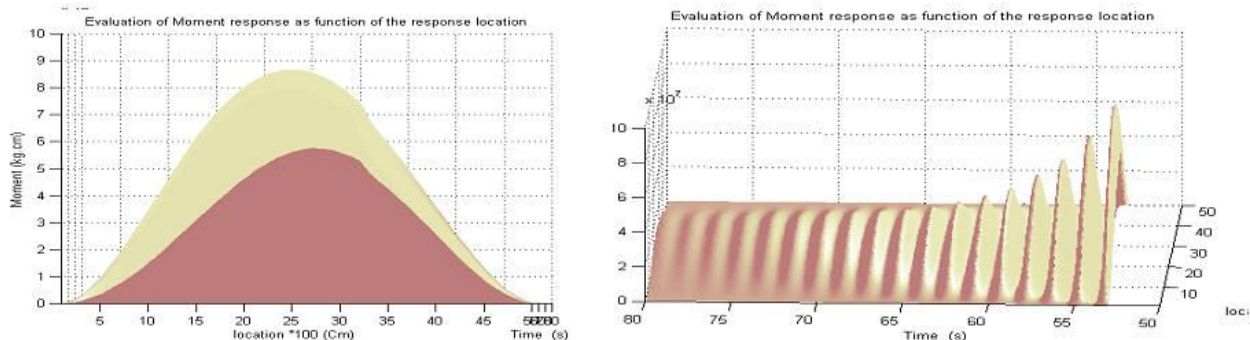


شکل (۷): مود نهم (شکل سمت راست) و مود دهم (شکل سمت چپ) ارتعاش طبیعی

تأثیر سرعت شناور بر روی نیروهای ناشی از اسلیمینگ

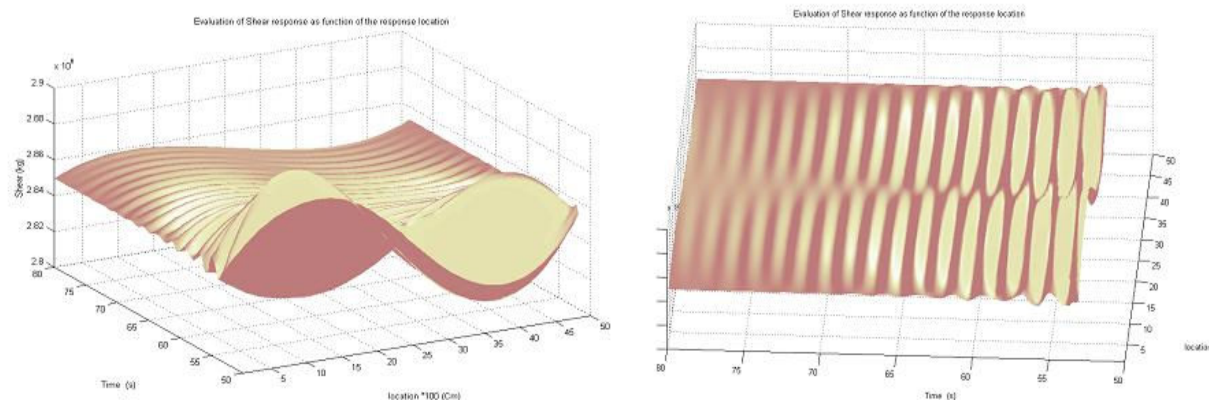
در حالت کلی، برای حرکت یک شناور در دریا در اثر برخورد امواج، ۶ درجه آزادی وجود دارد. حرکات Heave و Pitch، دو مورد از این درجات آزادی هستند که ترکیب آنها با نوسانات سطح آب باعث بوجود آمدن پدیده اسلیمینگ می شود که یکی از مخرب ترین پدیده ها برای کشتی ها، شناور ها و یدک کش ها می باشد. طراحان و سازندگان سازه های شناور همواره سعی در کنترل این پدیده و خسارات ناشی از آن داشته اند.

قبل از بررسی تأثیر سرعت شناور بر روی نیروهای داخلی ایجاد شده، باید موقعیت ایجاد حداکثر نیروهای داخلی یا همان مقاطع تنش بحرانی تعیین شود. شکل ۸ که تغییرات زمانی لنگر خمشی در طول شناور را نشان می دهد. همان طور که دیده میشود حداکثر لنگر خمشی در وسط شناور بوجود می آید.



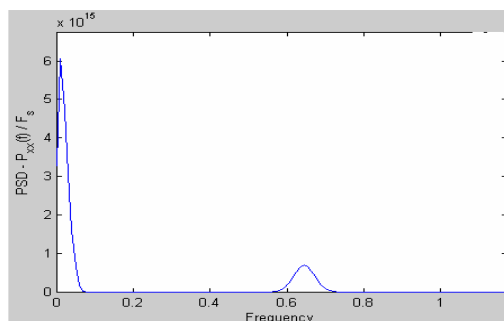
شکل (۸): نماهای دو بعدی و سه بعدی تغییرات زمانی لنگر خمشی در طول شناور

در شکل ۹ نیز تغییرات زمانی نیروی برشی در طول شناور نشان داده شده است. همان طور که دیده میشود حداکثر نیروی برشی در مقاطعی به فاصله یک چهارم طول شناور از دو سر آن بوجود می آید.



شکل (۹): نماهای دو بعدی و سه بعدی تغییرات زمانی نیروی برشی در طول شناور

در شکل ۱۰، طیف لنگر خمشی به کمک نرم افزار MATLAB رسم شده است [۱۷]. این شکل نشان می دهد که پدیده اسلیمینگ، مود چهارم طبیعی سازه را که مود دوم خمشی است، تحریک می کند.

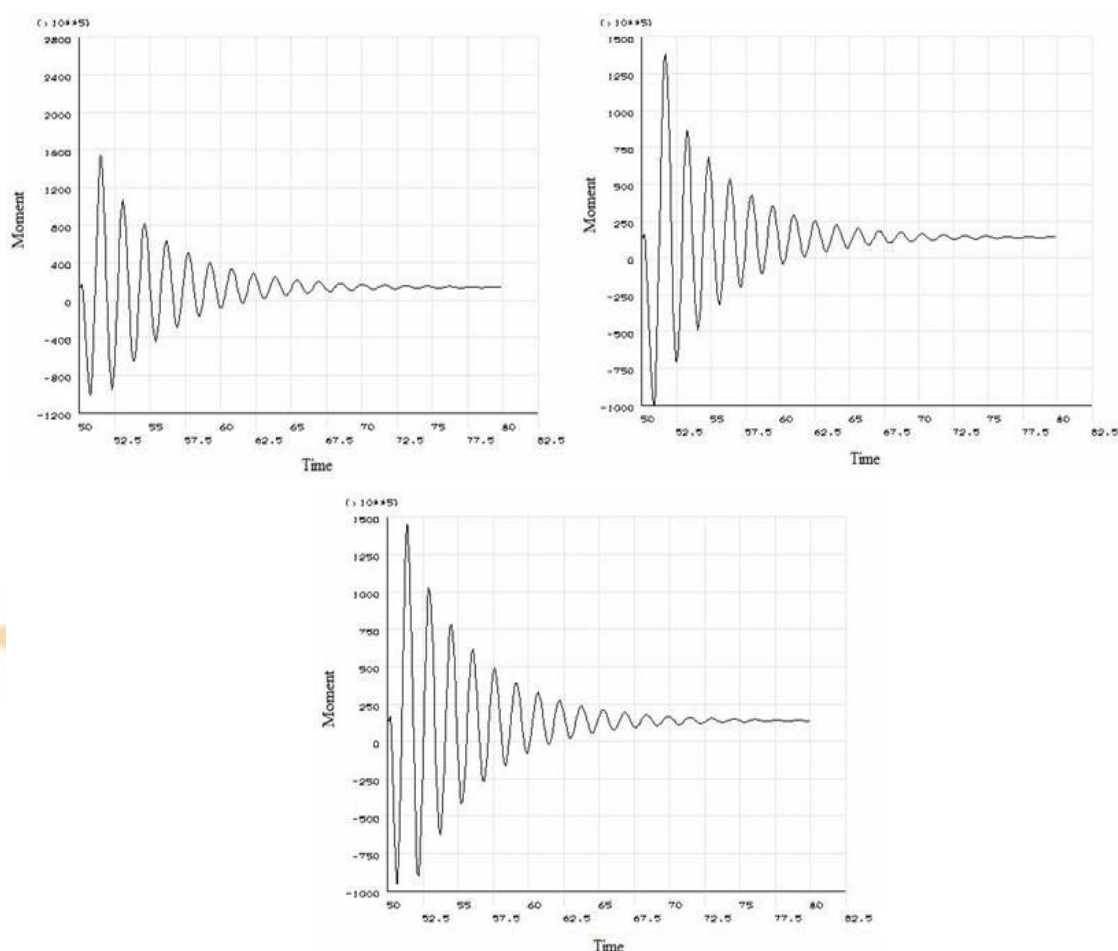


شکل (۱۰): طیف لنگر خمشی

یکی از مهم ترین پارامتر هائی که شدت نیروهای ضربه ای ناشی از اسلیمینگ را متأثر میسازد، سرعت شناور است. خسارات ناشی از پدیده اسلیمینگ را میتوان با محدود کردن سرعت شناور به یک مقدار مشخص و یا بعبارت دیگر تعریف یک سرعت مجاز، کاهش داد. جهت مطالعه این موضوع، تغییرات زمانی لنگر خمشی ماکزیموم به ازای سرعت های مختلف شناور مورد بررسی قرار گرفته است (پیشتر اشاره شد که حداکثر لنگر خمشی در وسط شناور بوجود می آید).

در این بررسی سرعت شناور از ۱۰ متر بر ثانیه تا ۱۰۰ متر بر ثانیه با گام های ۱۰ متر بر ثانیه تغییر داده شده است. نمونه هائی از این کار در شکل ۱۱ نشان داده شده است.

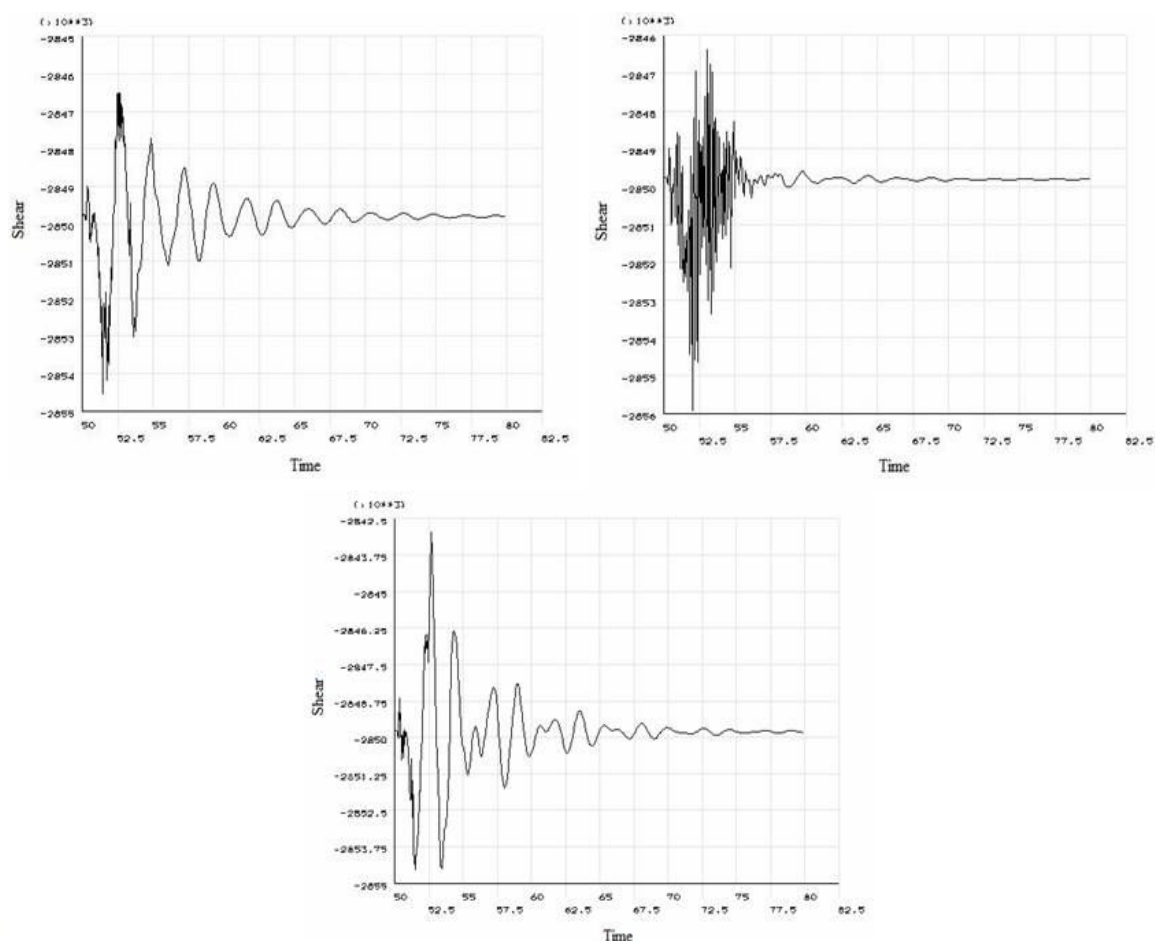
با توجه به این نمودار ها دیده میشود که مقدار لنگر خمشی ماکزیموم تا سرعت ۵۰ متر بر ثانیه روند صعودی داشته و بعد از آن روند نزولی خواهد داشت.



شکل (۱۱): تغییرات زمانی لنگر خمشی ماکزیموم به ازای سرعت های ۴۰ متر بر ثانیه (شکل بالا، سمت راست)، ۵۰ متر بر ثانیه (شکل بالا، سمت چپ) و ۶۰ متر بر ثانیه (شکل پائین)

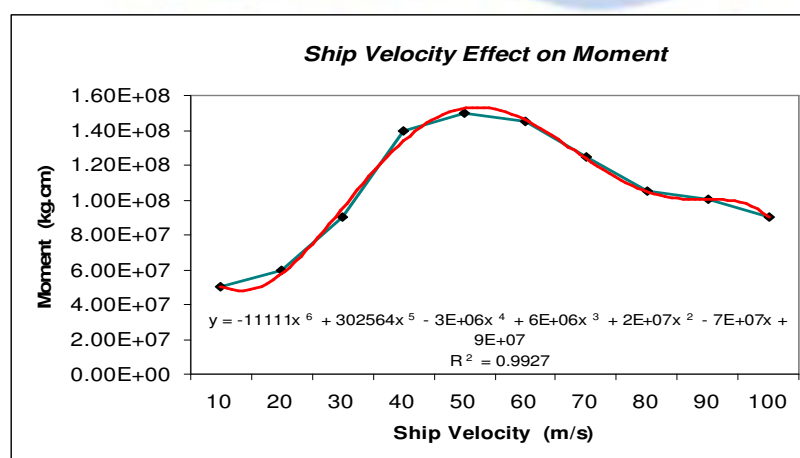
در شکل ۱۲ نیز نمودارهای مشابهی برای نیروی برشی ارائه شده است (پیشتر اشاره شد که حداکثر نیروی برشی در مقاطعی به فاصله یک چهارم دهانه از کناره ها بوجود می آید).

با توجه به این نمودار ها دیده میشود که مقدار نیروی برشی ماکزیموم تا سرعت ۳۰ متر بر ثانیه روند صعودی داشته و بعد از آن روند نزولی خواهد داشت.

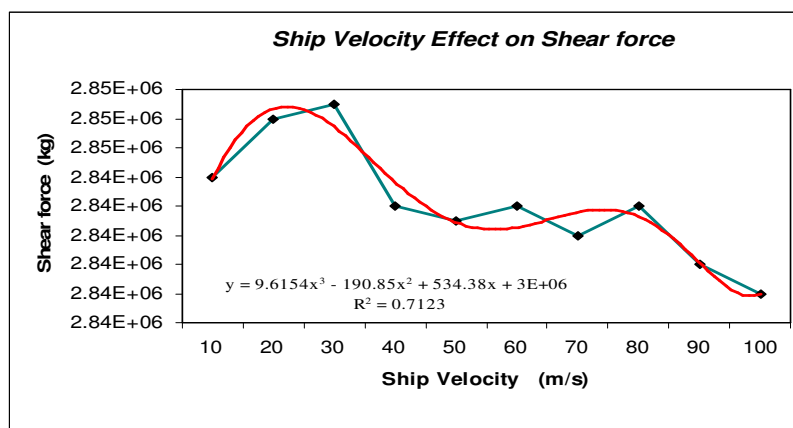


شکل (۱۲): تغییرات زمانی نیروی برشی ماکزیموم به ازای سرعت های ۲۰ متر بر ثانیه (شکل بالا، سمت راست)، ۳۰ متر بر ثانیه (شک بالا، سمت چپ) و ۴۰ متر بر ثانیه (شکل پایین)

پس از استخراج مقادیر پیک از این نمودارها، رابطه بین سرعت شناور و حداکثر نیروهای داخلی ایجاد شده در طول شناور در شکل های ۱۳ و ۱۴ نشان داده شده است. شکل ۱۳، رابطه بین سرعت شناور و حداکثر نیروی برشی ایجاد شده در طول شناور را نشان میدهد. شکل ۱۴ نیز رابطه بین سرعت شناور و حداکثر لنگر خمشی ایجاد شده را نشان می دهد.



شکل(۱۳): رابطه بین سرعت شناور و حداکثر لنگر خمشی ایجاد شده در طول شناور

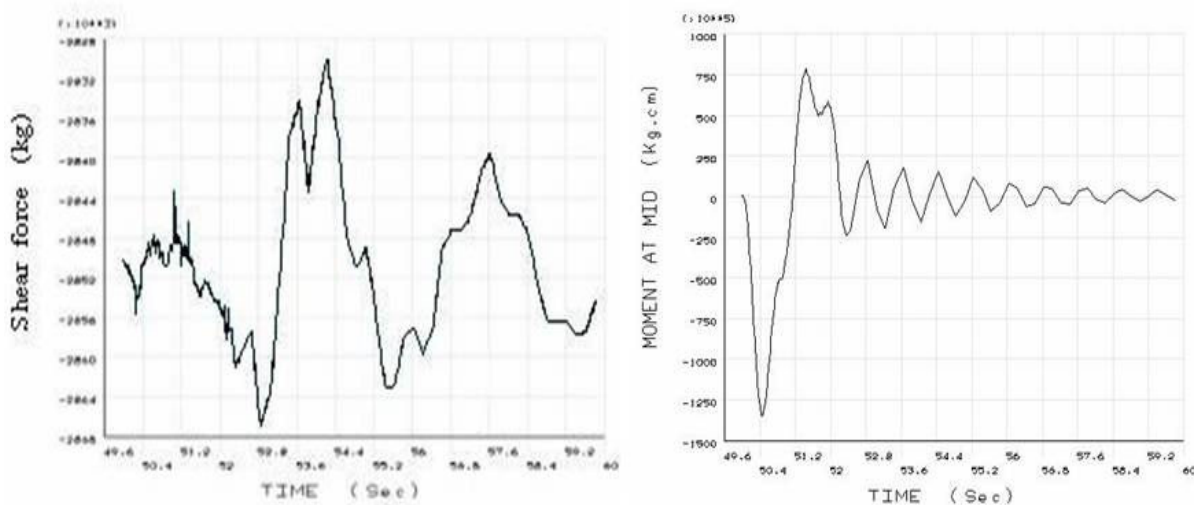


شکل(۱۴): رابطه بین سرعت شناور و حداکثر نیروی برشی ایجاد شده در طول شناور

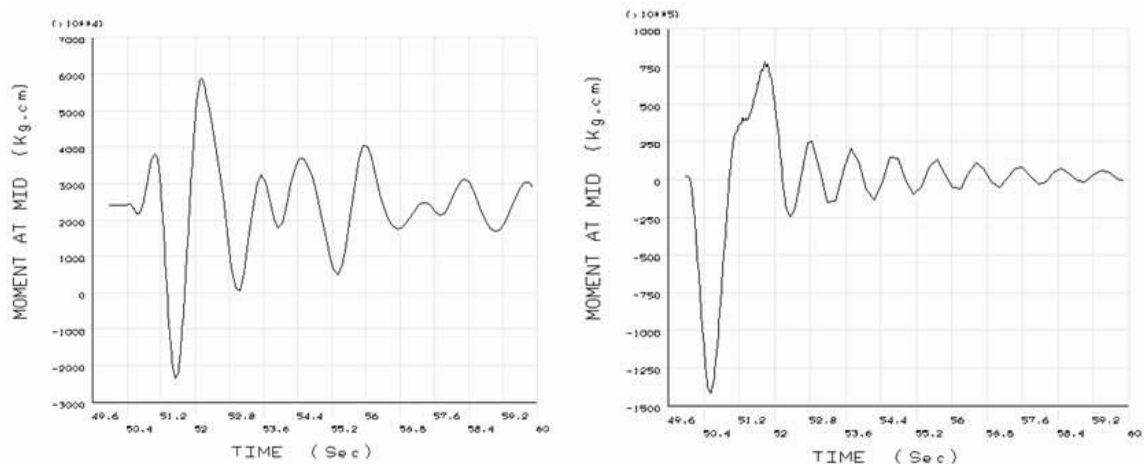
با توجه به شکل های ۱۳ و ۱۴، می توان گفت که حداکثر نیروی برشی، در سرعتی برابر با ۳۰ متر بر ثانیه، بیشترین مقدار را خواهد داشت و حداکثر لنگر خمشی در سرعتی برابر با ۵۰ متر بر ثانیه، بیشترین مقدار را خواهد داشت. در صورتی که سرعت شناور از این مقادیر بیشتر شود، مقادیر نیروها مجدداً کاهش خواهد یافت. با توجه به این که دسترسی به سرعت های بالا در اکثر شناورها، عملاً ممکن نیست، در نتیجه با محدود نمودن سرعت به مقادیری کمتر از این مقادیر بحرانی، میتوان تنش های بحرانی را و در نتیجه خسارات وارده را کاهش داد.

تأثیر سختی بدنه شناور بر روی نیروهای ناشی از اسلمینگ

سختی شناور تابعی است از طول شناور، شکل مقطع عرضی و جنس مصالح مصرفی در ساخت آن. همان طور که میدانیم در سازه های معین، مقدار نیرو های داخلی بستگی به سختی سازه ندارد ولی در سازه های نامعین مقادیر این نیروها تابعی از سختی سازه است. در این بخش، تأثیر سختی شناور (به عنوان یک تیر روی بستر الاستیک) بر روی نیروهای داخلی ناشی از پدیده اسلمینگ مورد مطالعه قرار گرفته است. در این راستا، تغییرات زمانی لنگر خمشی و نیروی برشی ماکزیموم به ازای مقادیر مختلف سختی شناور بررسی شده است. به منظور تغییر دادن سختی شناور، ممان اینرسی مقطع عرضی شناور در محدوده ۰/۱ تا ۱۰۰ برابر مقدار موجود (گرچه این محدوده، گسترده از محدوده عملی است) که 71.0624166 CM^4 است، تغییر داده شده است. به عنوان نمونه، واکنش سازه به ازای سختی ۱۰ برابر شده، در شکل ۱۵ نشان داده شده است. شکل ۱۶ نیز نشان دهنده تغییرات زمانی لنگر خمشی به ازای سختی ۱۰ در صد و ۱۰۰ برابر می باشد.

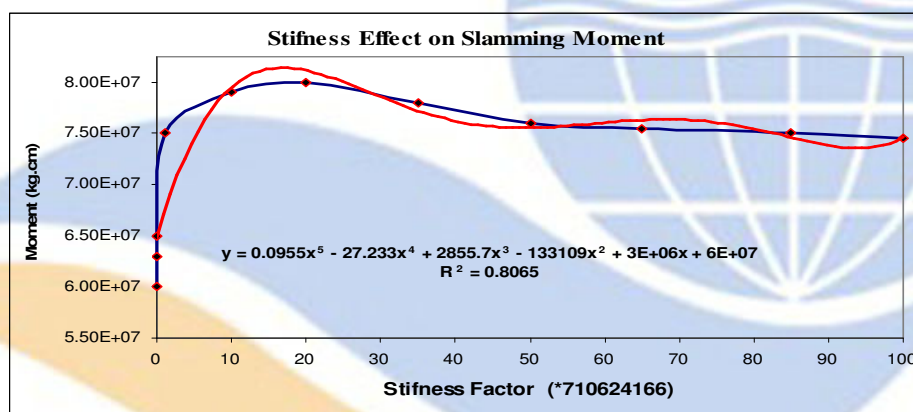


شکل (۱۵): نمودار لنگر خمشی (شکل سمت راست) و نیروی برشی (شکل سمت چپ) در اثر اسلمینگ، سختی شناور ۱۰ برابر حالت عادی.

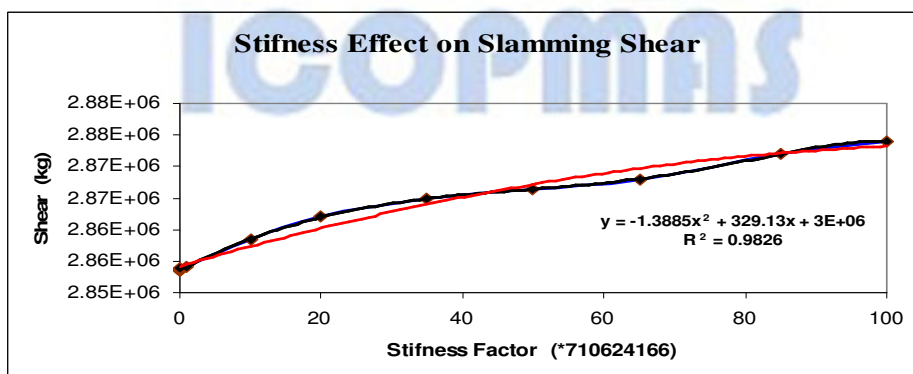


شکل (۱۶): نمودار لنگر خمشی در اثر اسلمینگ به ازای سختی ۱۰ درصد (شکل سمت راست) و سختی ۱۰۰ برابر (شکل سمت چپ) حالت عادی

پس از استخراج مقادیر پیک از این نمودارها، رابطه بین سختی شناور و حداکثر نیروهای داخلی ایجاد شده در طول شناور در شکل های ۱۷ و ۱۸ نشان داده شده است. شکل ۱۷، رابطه بین سختی شناور و حداکثر لنگر خمشی ایجاد شده در طول شناور را نشان میدهد. شکل ۱۸ نیز رابطه بین سختی شناور و حداکثر نیروی برشی ایجاد شده را نشان می دهد.



شکل (۱۷): رابطه بین سختی بدنه شناور و حداکثر لنگر خمشی ایجاد شده در طول شناور



شکل (۱۸): رابطه بین سختی بدنه شناور و حداکثر نیروی برشی ایجاد شده در طول شناور

پس از برآزش یک منحنی و حذف جملات قابل اغماض مراتب بالاتر، مشاهده می شود که رابطه بین سختی و نیروی برشی ماکزیموم، تقریباً خطی است و رابطه بین سختی و لنگر خمشی ماکزیموم، یک تابع درجه سوم است. در صورتی که رابطه بین سختی و مقادیر نیروهای داخلی ماکزیموم معلوم باشد، طراحی سخت کننده مناسب جهت تقویت مقاطع بحرانی، بسهولت امکان پذیر خواهد بود.

نتایج

۱- حداکثر لنگر خمشی ناشی از اسلمینگ در وسط شناور و حداکثر نیروی برشی ناشی از اسلمینگ در مقطعی به فاصله یک چهارم طول شناور از دو سر آن بوجود می آید.

۲- پدیده اسلمینگ، مود چهارم طبیعی سازه را که مود دوم خمشی است، تحریک می کند.

۳- یکی از مهم ترین پارامتر هائی که شدت نیروهای ضربه ای ناشی از اسلمینگ را متأثر میسازد، سرعت شناور است. در شناور مورد بحث در این مطالعه، حداکثر نیروی برشی، در سرعتی برابر با ۳۰ متر بر ثانیه، بیشترین مقدار را خواهد داشت و حداکثر لنگر خمشی در سرعتی برابر با ۵۰ متر بر ثانیه، بیشترین مقدار را خواهد داشت. در صورتی که سرعت شناور از این مقادیر بیشتر شود، مقادیر نیروها مجدداً کاهش خواهد یافت. با توجه به این که دسترسی به برعت های بالا در اکثر شناورها، عملاً ممکن نیست، در نتیجه با محدود نمودن سرعت به مقادیری کمتر از این مقادیر بحرانی، میتوان تنش های بحرانی را و در نتیجه خسارات وارده را کاهش داد.

۴- رابطه بین سختی بدنه شناور و نیروی برشی ماکزیموم، تقریباً خطی است و رابطه بین سختی و لنگر خمشی ماکزیموم، یک تابع درجه سوم است.

مراجع

- [۱] رستگار، مهدی، (۱۳۸۱)، بررسی رفتار دینامیکی سازه های شناور با روش اجزاء محدود، پایاننامه کارشناسی ارشد، دانشگاه ارومیه، ایران.
- [2] Hallam, M.G. et al (1978), Dynamics of Marine Structures, Atkins Research and Development, Report UR8, Second Edition, UK.
- [3] Lotfollahi-Yaghin, M.A. (1996), Joint Probabilities of Response to Wave Induced Loads on Monohull Floating Offshore Structures, Ph. D. Thesis, Heriot-Watt University, UK.
- [4] Bishop, R.E.D. (1979), Hydroelasticity of Ships, Cambridge University Press, First Edition, New York, USA.
- [5] Faltinsen, O.M. (1990), Sea Loads on Ships and Offshore Structures, Cambridge University Press, First Edition, New York, USA.
- [6] Von Karman, T. (1929), The Impact on Seaplane Floats during Landing, NACA TN321, Washington D. C., USA.
- [7] Wagner, H. U. (1932), ber Stoß- und Gleitvoga`nge an der Oberfla`che von Flu` ssigkeiten, Zeitsch. F. Angew. Math. Mech. 12 (4) 193-235.
- [8] Faltinsen, O. (2000), Hydroelastic Slamming, Journal of Marine Science and Technology, 5:49-65.
- [9] Faltinsen, O. et al (2003), Slamming in Marine Application, Journal of Engineering Mathematics, 48: 187-217.
- [10] Morris, J.A. (1991), A Three Dimensional Structural Analysis of a Large Wave Piercing Catamaran Design, IMAS 91 High Speed Marine Transportation.
- [11] Yakimoff, P. (1997), State-of-art Computer Simulation for Structural Analysis of High Speed Catamarans, FAST 97.
- [12] Hughes, O., Two first principles structural designs of a fast ferry all-aluminum and all-composite. FAST '97, 1997.
- [13] Ojeda, R. et al (2004), Finite Element Investigation on The Static Response of a Composite Catamaran under Slamming Loads, Ocean Engineering, 31: 901-929.
- [14] Swanson Analysis System, (1998), ANSYS User's Guide, Revision 5.5, Ninth Edition.
- [15] Clough, RAY.W. and Penzin, J. (1993), Dynamics of Structures, Mc-Graw Hill, Second Edition, USA.
- [16] Derrett, D.r. (1990), Ship Stability for Masters and Mates, Butterworth-Heinemonn Ltd, fourth Edition.
- [17] Krauss, T. P. et al (1994), Signal Processing Toolbox for Use with MATLAB, The Math Works Inc. Press.