

بررسی اثر مختصات مهاربندی بر نیروهای مهاري شناورهای پانتونی چند ردیفه

سید مجتبی هادیان^۱، مهدی شفیعی فر^{۲*}

۱- کارشناس ارشد سازه های دریایی، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس

۲- دانشیار سازه های دریایی، دانشکده عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس

چکیده

سازه های شناور متشکل از پانتون ها دارای کاربردهای بسیاری در کارهای دریایی نظیر اسکله های و موج شکن های شناور، پل های شناور و سازه های شناور فراساحلی هستند. در این مقاله به بررسی تاثیر همزمان مختصات مهاربندی و زاویه ی برخورد امواج بر نیروهای مهاربندی شناورهای پانتونی چند ردیفه پرداخته شده است. مختصات مهاربندی شامل آرایش، تعداد مهاربندها و پیش کشیدگی مهاربندها می باشد. شناورهای پانتونی مورد نظر از ۱۲ پانتون که با اتصالات صلب به یکدیگر متصل شده اند، تشکیل شده و در معرض امواج نامنظم دریا گرفته اند. برای انجام تحلیل های هیدرودینامیکی از نرم افزار MOSES استفاده شده است. با توجه به نتایج مشاهده می شود، هرچند با افزایش پیش کشیدگی، سختی مهارها و کل سازه افزایش می یابد و قابلیت جذب نیروی بیشتری پیدا می کند و این امر باعث باز توزیع بهتر و متعادل تر نیروی وارد بر شناور در کل مهاربندها می شود، ولی افزایش بیشتر پیش کشیدگی مهارها از یک مقدار مشخص تاثیر چندانی در رفتار سازه نخواهد داشت.

کلمات کلیدی: شناور چندپانتونی، آرایش مهارها، پیش کشیدگی، جهت برخورد امواج، پاسخ سازه ی شناور

TECHNICAL NOTE

AN INVESTIGATION ON EFFECT OF MOORING CHARACTERISTICS ON MOORING FORCES OF MULTI ROWS FLOATING PIERS

S.M. Hadian¹, M. Shafieefar²

1-Graduated Student, Civil Engineering Department, Tarbiat Modares University

2- Associate Professor, Civil Engineering Department, Tarbiat Modares University

Abstract

Simultaneous effects of mooring characteristics and waves heading on mooring forces of a multi-rows floating pier which is composed of pontoons have been investigated in this paper. The investigated variable parameters include the moorings array, number of mooring lines and their pretensions. A floating structure consisting of 12 pontoons connected together with rigid connectors and is located under irregular sea waves. Hydrodynamic analyses have been carried

* نویسنده مسوول مقاله shafiee@modares.ac.ir

out for various conditions. Results show that even though pre-tensioning of mooring lines results in increasing of the structure stiffness and better force distributions between mooring lines, however, increasing the pre-tensioning from critical values has no considerable effect on the structure responses. Using the results of present work and requirements from multi-pontoons, it is possible to suggest a proper mooring system and direction of floating structure in the conceptual design of such structures.

Keywords: Multi pontoons, Mooring Array, Pretension, Wave Heading, Structure Response

۱- مقدمه

در تحقیقات قبلی عمدتاً تاکید بر بررسی تاثیر مختصات مهاربندی مانند آرایش مهاربندی، حالت پیش کشیدگی و عدم پیش کشیدگی معمولاً به صورت جداگانه بر روی عملکرد سازه‌ی شناور بوده است و تاثیر همزمان چندین مشخصه‌ی مهاربندی با هم مورد بررسی قرار نگرفته است. علاوه بر آن، تاثیر بعضی از مشخصه‌ها از جمله تعداد مهاربندها و مقدار پیش کشیدگی بر عملکرد سازه‌ی شناور مورد بررسی قرار نگرفته است.

مشخصه‌ی اصلی تحقیق حاضر آن است که اولاً تاثیر مشخصاتی از مهاربندی چون تعداد مهاربندها و مقدار پیش کشیدگی (علاوه بر مشخصاتی که در تحقیقات قبلی مورد بررسی قرار گرفته بودند) بر عملکرد سازه‌ی شناور را مورد ارزیابی قرار داده و ثانیاً از آنجاییکه ارزیابی همزمان چندین پارامتر با هم به منظور اطمینان از عملکرد مناسب سازه‌ی شناور در حالت‌های مختلف محیطی و سازه‌ای و تعیین زمان‌های مجاز برای بهره برداری از سازه‌ی شناور از اهمیت بالایی برخوردار است، این تحقیق به بررسی همزمان تاثیر مشخصه‌های مختلف مهاربندی شامل تاثیر تعداد مهاربندها، پیش کشیدگی و عدم پیش کشیدگی، مقدار پیش کشیدگی، جهت برخورد امواج، بر دو آرایش مختلف مهاربندی، می‌پردازد. در ضمن ابعاد شناور پانتونی مورد نظر نسبتاً بزرگ بوده و لذا برای مدل کردن آن، ۱۲ پانتون توسط اتصالات صلب به یکدیگر متصل شده‌اند. البته ابعاد این شناور پانتونی نه به کوچکی ابعاد اسکله‌های شناور با پانتون‌های محدود بوده و نه به بزرگی VLFS^۲ ها

سازه‌های شناور متشکل از پانتون‌ها دارای کاربردهای بسیاری در پروژه‌های عمرانی و صنعتی نظیر اسکله‌های شناور، پل‌های شناور و سازه‌های شناور فراساحلی، می‌باشند. اسکله‌های شناور به منظور پهلوگیری و مهاربندی کشتی‌ها و تامین فضای لازم جهت نقل و انتقال مسافر، تخلیه و بارگیری کالا مورد استفاده قرار می‌گیرد. همچنین سازه‌های شناور پانتونی فراساحلی، به منظورهای مختلفی از جمله مقاصد تفریحی مثل رستوران‌های دریایی، پایگاه‌های ذخیره موادی چون نفت و گاز مایع و مواد دیگر و پایگاه‌های نظامی ساخته و بهره‌برداری می‌شوند [۱].

از آنجاییکه بعثت محدودیت‌های اجرایی، ساخت یک سازه شناور با ابعاد بزرگ و بصورت یکپارچه به لحاظ اقتصادی مقرون بصره نمی‌باشد، در عمل معمولاً سعی می‌گردد با اتصال پانتون‌های با ابعاد مناسب، سازه شناور با ابعاد مورد نظر ایجاد گردد. با توجه به مزایا و فواید زیاد شناورهای پانتونی نظیر تغییرپذیری و انتقال آسان آن‌ها، ثابت بودن موقعیت آن‌ها نسبت به سطح آزاد آب، تامین شناوری کافی حتی در صورت خرابی تعدادی از پانتون‌ها و عدم آسیب رساندن به سیستم زیست محیطی، استفاده از این سازه‌ها در حال توسعه می‌باشد. از جمله کارهایی که در این زمینه انجام شده است می‌توان به مراجع [۲]، [۳] و [۴] اشاره کرد.

یک مدل عددی برای تخمین دینامیک غیر خطی یک موج شکن مستغرق پانتونی مهار شده در برابر امواج و برای دو آرایش قائم و مورب مهارها توسط Rahman و همکاران ارائه شده است [۵]؛ موج شکن مورد بررسی ایشان مستغرق بود که با شناورهای شناور پانتونی این تحقیق فرق دارد.

² Very Large Floating Structure

۲-۱- نوع تحلیل انتخابی و شرایط محیطی

از آنجاییکه معمولاً مهاربندها (خصوصاً جنس پلی استر) در برابر نیروهای محیطی از خود رفتار غیر خطی نشان می‌دهند، بنابراین گریزی از انجام تحلیل‌ها در حوزه‌ی زمان نیست. از سوی دیگر در تحلیل نیروی مهارها باید مقدار حداکثر نیرو در هر مهار در طول زمان مشخص باشد تا از عدم گسیختگی آن در طول زمان اطمینان حاصل شود. بنابراین کلیه‌ی تحلیل‌های مربوط به مهاربندی در این تحقیق در حوزه‌ی زمان انجام گرفته‌اند. مدت زمان تحلیل در حوزه‌ی زمان با توجه به تعدادی تحلیل انجام گرفته برابر ۱۰۰۰ ثانیه انتخاب شد. این زمان برای همگرا شدن نیروهای مهار و پاسخ‌های شناور پانتونی در برابر نیروهای محیطی کفایت می‌کند. به کمک این تحلیل، نرم افزار پاسخهای مختلف را در زمانهای مختلف محاسبه خواهد کرد. در تحلیل‌ها از اثر لزجت صرف نظر شده و از تئوری تفرق برای حل مساله استفاده شده است. در این رابطه اثر موج تفرق یافته و موج ناشی از حرکت سازه^۴ و بازتابش موج در نظر گرفته شده است.

از آنجاییکه شناورهای مورد بررسی این مقاله قابلیت کاربری در فراساحل را نیز خواهند داشت، شرایط محیطی به گونه‌ای انتخاب شدند تا نیروهای نسبتاً بزرگی به مهارها وارد آید، در نتیجه امواج نامنظم با طیف جانسواپ با ارتفاع مشخصه‌ی ۲/۵ متر و پریود پیک ۷ ثانیه در سه زاویه‌ی برخورد ۰، ۴۵ و ۹۰ به شناور پانتونی تابانده شد. در شکل ۱ جهت برخورد امواج نشان داده شده است.

۳- تحلیل هیدرودینامیکی شناور پانتونی مهاربندی شده

۳-۱- روند تحلیل مهاربندی

روند تحلیل بدین صورت انجام شد که ابتدا به بررسی تاثیر تعداد مهاربندهای استفاده شده در مهاربندی بر نیروهای مهار و پاسخ شناور پانتونی در برابر امواج اقدام شد، سپس با انتخاب تعداد مناسب برای مهاربندها به بررسی همزمان (۱) تاثیر پیش

می‌باشد. در این مقاله از این پس از عنوان شناور پانتونی که عنوان کلی تری است استفاده می‌شود. در این تحقیق شناور چند پانتونی مورد نظر توسط نرم افزار MOSES^۳ مدل‌سازی شده و تحلیل‌های هیدرودینامیکی در شرایط مختلف بر روی آن انجام شده است. این نرم‌افزار قابلیت مدل‌سازی انواع سازه‌های دریایی مانند انواع شناورها، سکوها و لوله‌ها را در مراحل حمل، نصب و بهره‌برداری دارد [۶]. با توجه به قابلیت نرم‌افزار در تحلیل سازه‌های شناور مهار شده با در نظر گرفتن اندرکنش سازه و مهارها، در تحقیق حاضر از این نرم‌افزار استفاده شده است.

۲- سازه شناور مورد مطالعه

سازه‌ی شناور مورد نظر دارای طول ۲۴۰ متر، عرض ۲۴ متر و ارتفاع ۳ متر می‌باشد و شامل ۱۲ پانتون با ابعاد ۳×۱۲×۴۰ متر مطابق شکل ۱ است. این پانتون‌ها تک تک مدل‌سازی شده و در عمق مورد نظر (۹ متر) در دو ردیف با اتصالات صلب (به منظور تشکیل یک سطح یکپارچه) به یکدیگر متصل شده‌اند. با توجه به وزن در نظر گرفته شده برای پانتونها، آب‌خور هر پانتون توسط برنامه محاسبه می‌شود. به منظور بررسی تاثیر آب‌خور، با تغییر وزن پانتون‌ها مقادیر مختلف آب‌خور حاصل و مورد تحلیل دینامیکی قرار گرفتند. نتایج ارایه شده در مقاله حاضر مربوط به پانتون‌های با آب‌خور ۱/۵ متر است. برای تامین اتصالات صلب، در هر وجه اتصال از دو ردیف پنج تایی اتصال دهنده‌ی صلب که از امکانات نرم‌افزار MOSES است، استفاده شده است.

سازه‌ی شناور توسط کابل‌های پلی‌استری مهاربندی شده است. علت استفاده از جنس پلی‌استر، قابلیت پیش‌کشیدگی به دلیل خاصیت الاستیسیته‌ی بالا، وزن کم، دوام بالا و هزینه‌ی پایین آن می‌باشد. قطر کابل‌ها ۷۰ میلیمتر، طول مهاربندها در حالت بدون پیش‌کشیدگی ۶۰ متر و تعداد مهاربندها ۴ و ۸ عدد برای انجام تحلیل‌های هیدرودینامیکی انتخاب شدند.

³Multi-Operation Structural Engineering Simulator

⁴ Radiation

همانطور که ملاحظه می شود تغییر تعداد مهارها به طور کلی در مقدار نیروهایی که به مهارهای مختلف اعمال می شود، تاثیر می گذارد؛ در حدی که در حالت مهاربندی با ۴ مهار (الف)، بیشترین نیرو متعلق به مهاربند ۴ است در حالیکه در حالت مهاربندی با ۸ مهار (ب)، بیشترین نیرو متعلق به مهاربند ۸ می باشد. از طرفی مجموع نیروهای مهاری در حالت (الف) برابر ۹۳ تن و در حالت (ب) برابر ۸۱ تن می شود. این مسئله نشان می دهد در حالتی که از تعداد مهارهای بیشتری در مهاربندی شناور استفاده شده است، نیرویی که در مجموع مهاربندها می افتد کمتر از حالتی است که تعداد مهارها کمتر باشد. این امر به خاطر توزیع منظم تر نیروها با داشتن تعداد مهاربندهای بیشتر و در نتیجه عدم اعمال نیروی اضافی در تعداد محدودتری از مهاربندها می باشد. بنابراین برای اجتناب از نیروهای زیاد در مهارها و داشتن حاشیه ای اطمینان در عدم گسیختگی مهارها، بهتر است تعداد مهارها را در حد معقول انتخاب کرد که نه باعث ازدیاد نیروهای مهاری شود و نه تعداد آنها بیش از حد زیاد شود که خود باعث افزایش هزینه ها و مشکلات اجرایی می شود.

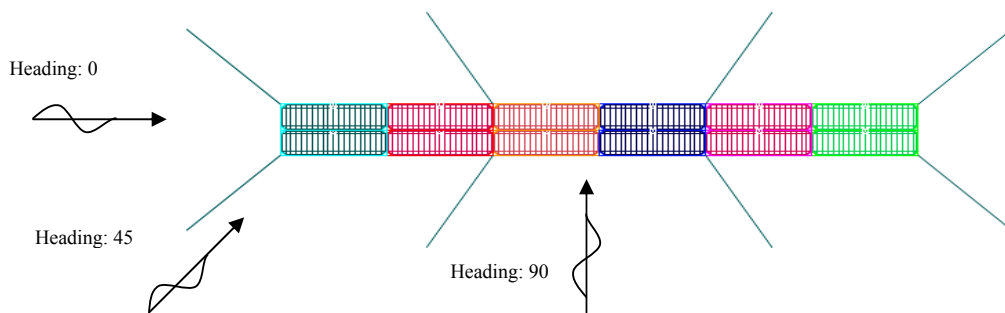
بعد از بررسی تاثیر تعداد مهاربندها و نتایج بدست آمده گزینه ی بهتر یعنی تعداد مهاربندی بیشتر انتخاب گردید و در ادامه، تحلیل ها بر روی شناور پانتونی با تعداد ۸ مهاربند صورت گرفت.

کشیدگی مهارها و ۲) تاثیر جهت برخورد امواج بر I) نیروهای مهاری و II) پاسخ شناور پانتونی، پرداخته شد. برای این منظور امواج در زوایای ۰، ۴۵ و ۹۰ درجه به شناور پانتونی مهارشده با پیش کشیدگی های ۰، ۵، ۱ و ۲ تن، تابیده و تحلیل هیدرودینامیکی انجام گرفته است. نهایتا جمع بندی و نتیجه گیری تحلیل های انجام شده، ارائه شده است.

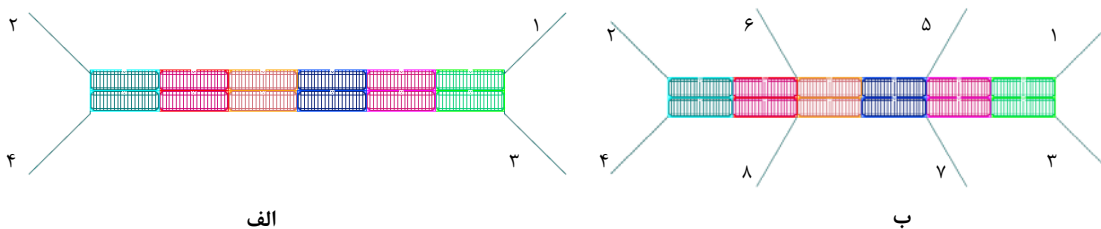
۲-۳- بررسی تاثیر تعداد مهاربندها بر عملکرد شناور پانتونی

برای بررسی تاثیر تعداد مهاربندی بر عملکرد شناور پانتونی، شناور یک بار با ۴ مهاربند و بار دیگر با ۸ مهاربند، مهاربندی شد و امواج نامنظم با زاویه مورب ۴۵ درجه که مهاربندها و پاسخ های بیشتری را درگیر می کند، به شناور پانتونی تابیده شد. در این حالت کابل ها بدون پیش کشیدگی فرض شده اند. در شکل ۲ دو نوع مهاربندی شناور پانتونی با دو تعداد ۴ و ۸ مهاربند و شماره ی مهاربندها نشان داده شده است. مهارهای گوشه زاویه ی ۴۵ درجه و مهارهای وسط زاویه ی ۶۰ درجه با افق می سازند. علت انتخاب چنین جهت هایی امکان استفاده از حداکثر ظرفیت کابل ها در جهت های مختلف بوده است.

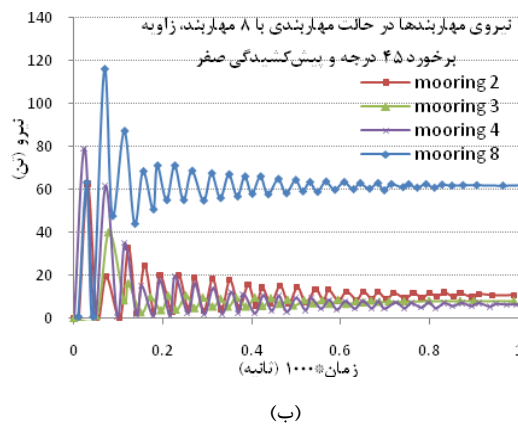
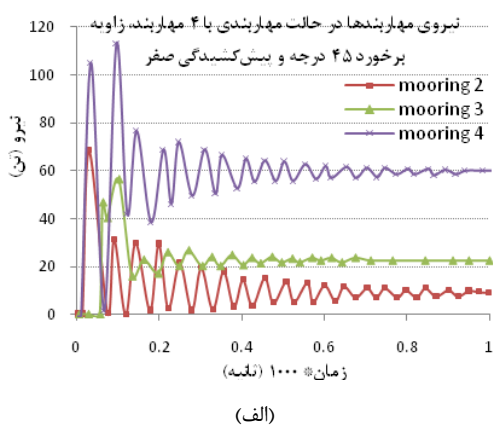
در شکل ۳ نمودارهای نیروهای کششی مهاربندهایی که در تحلیل هیدرودینامیکی به کشش افتاده اند، در دو حالت (الف) و (ب) نشان داده شده است.



شکل ۱- شناور پانتونی مهارشده با ۸ مهاربند و جهت برخورد امواج



شکل ۲- نمایی از شیوه‌ی مهاربندی با ۴ مهار (الف) و ۸ مهار (ب)



شکل ۳- مقایسه‌ی نیروهای مهار بندها در دو حالت مهاربندی با ۴ (الف) و ۸ (ب) مهار بند

نیرویی که تحمل می‌کنند عبارتند از: ۳، ۷، ۲، ۴، ۸، ۶. مهاربندهای ۱ و ۵ به دلیل زاویه‌ی برخورد امواج شل شده و نیروی چندانی در همه‌ی حالات پیش کشیدگی در آنها نمی‌افتد.

نتایج نیرو در مهاربندها در زاویه‌ی برخورد ۴۵ درجه‌ی امواج، در پیش کشیدگی‌های مختلف در شکل ۴ نشان داده شده است. در مهار بند ۸، با افزایش پیش کشیدگی در مهارها، نیروی موجود در مهار بند کاهش می‌یابد و در سایر مهاربندها با افزایش پیش کشیدگی، نیروی مهارها افزایش می‌یابد. علت این مسئله آن است که با توجه به زاویه‌ی برخورد امواج، مهار بند ۸ بیشتر در معرض نیروهای امواج بوده و هر قدر پیش کشیدگی در مهاربندها کمتر باشد، مهار بند ۸ مجبور است نیروی بیشتری را تحمل کند تا جاییکه در حالت بدون پیش کشیدگی حدود ۶۰ تن نیرو در مهار بند ۸ می‌افتد در حالیکه مهاربندهای دیگر کمتر از ۱۱ تن نیرو خواهند داشت.

۳-۳- تاثیر پیش کشیدگی مهاربندها بر نیروهای مهاربندی

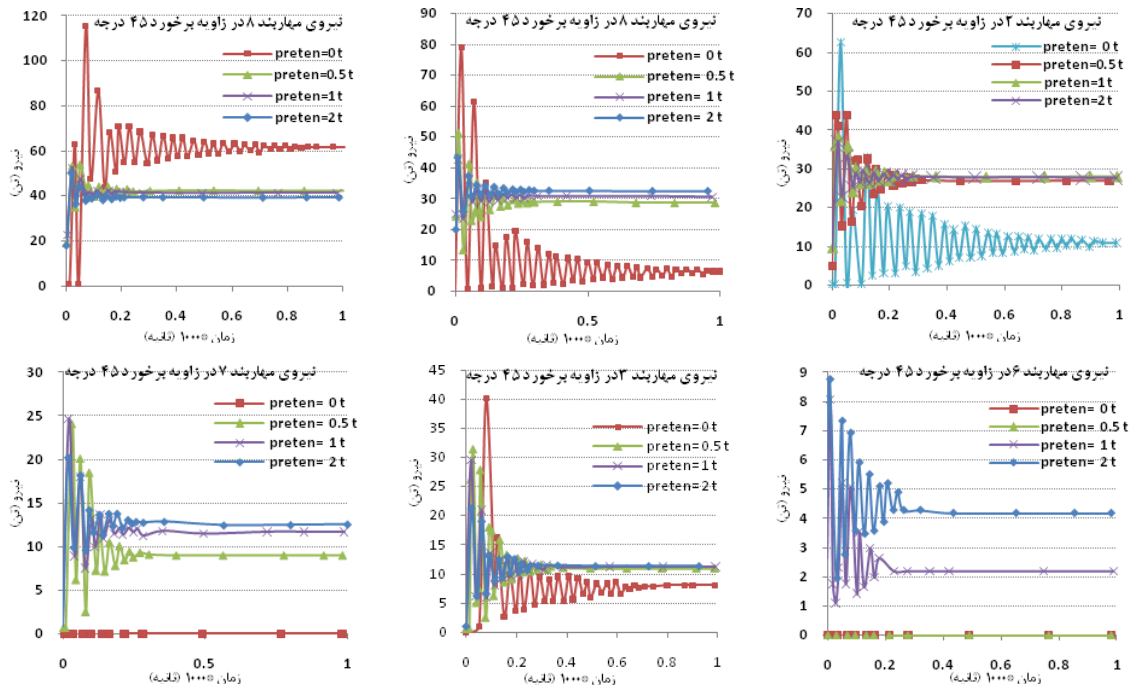
به منظور بررسی تاثیر پیش کشیدگی بر نیروهای مهاربندی، شناور پانتونی با مهاربندها با پیش کشیدگی‌های مختلف در معرض امواج در جهت‌های مختلف قرار گرفته و تحلیل هیدرودینامیکی در محدوده‌ی زمان بر روی آن انجام شد. مهاربندها در هر تحلیل دارای پیش کشیدگی یکسان هستند، چهار مقدار پیش کشیدگی ۰، ۵، ۱۰، ۲۰ تن برای مقدار پیش کشیدگی کابل‌ها انتخاب شده است؛ در هر یک از مقادیر پیش کشیدگی، شناور پانتونی مهارشده در سه جهت ۰، ۴۵ و ۹۰ درجه در معرض امواج نامنظم تعریف شده در شرایط محیطی، قرار داده شده و بعد از انجام تحلیل‌ها، نتایج مورد بررسی قرار گرفته است. در ادامه نتایج جهت ۴۵ درجه ارائه می‌شود. در این جهت از زاویه‌ی برخورد بیشتر مهارها دارای نیرو می‌شوند؛ شماره‌ی مهاربندها به ترتیب بزرگی

زیاد و بعد از آن به شدت کاهش می یابد. می توان نتیجه گرفت که وقتی پیش کشیدگی از حدی بیشتر شود، دیگر تاثیر چندانی در تغییر نیروهایی که در مهارها می افتند نخواهد داشت؛ بنابراین پیش کشیدگی بیش از حد تنها باعث سختی عملیات اجرایی و بالا رفتن هزینه ها خواهد شد.

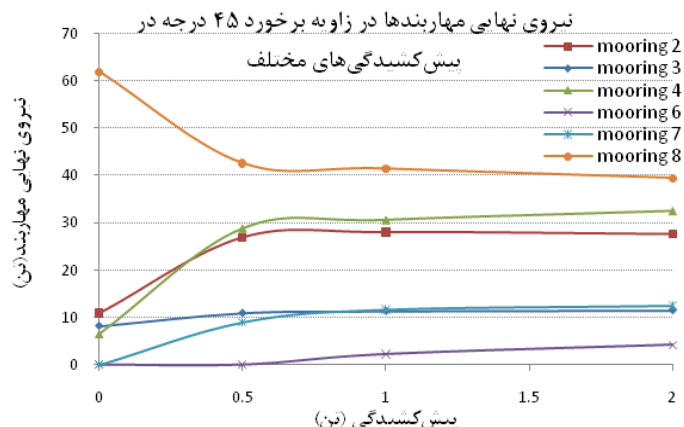
بنابراین روند کلی، افزایش قابلیت جذب نیرو در اثر افزایش سختی (یا پیش کشیدگی) است؛ اما در مواردی به خاطر هندسه مهاربندی، بعضی مهاربندها در رقابت با دیگر مهاربندها نیروی بیشتری جذب کرده و حتی باعث کاهش نیرو در مهارهای دیگر شده و در نتیجه روند کلی را تحت تاثیر قرار می دهند.

با افزایش پیش کشیدگی در کابلها، سختی مهارها افزایش یافته و در نتیجه ی آن، قابلیت جذب نیروی آن ها نیز بیشتر می شود و توزیع نیروها متعادل تر شده و مهارهای دیگر در رقابت با یکدیگر مقداری از نیروهایی را که قبلا توسط مهاربند ۸ جذب می شد به سمت خود جذب می کنند. بنابراین با افزایش پیش کشیدگی، نیروی مهاربند ۸ کاهش یافته و نیروی بقیه ی مهاربندها (۴، ۲، ۷، ۳ و ۶) افزایش می یابد.

در شکل ۵ روند تغییر نیروها در مهاربندهای مختلف با افزایش پیش کشیدگی در حالت زاویه ی برخورد ۴۵ درجه نشان داده شده است. در این جا نیز مانند حالت زاویه ی برخورد صفر درجه، روند تغییر نیرو از حالت بدون پیش کشیدگی (صفر) به پیش کشیدگی ۰/۵ تن



شکل ۴- نمودار نیروهای مهاربندها ۸، ۴، ۲، ۷، ۳، ۶ در پیش کشیدگی های مختلف در تحلیل زمانی



شکل ۵- روند تغییر نیروهای مهارهای در بیش کشیدگی های مختلف در زاویه برخورد ۴۵ درجه

۵- مراجع

- 1-Watanabe, E., Wang, C.M., Utsunomiya, T. and Moan, T. (2004), Very Large Floating Structures: Applications, Analysis and Design, Centre for offshore research and engineering, National University of Singapore, Core Report No. 2004-02.
- 2-Chen, Wu, Cui and Tang, (2003), Nonlinear hydroelastic analysis of a moored floating body, Journal of Ocean Engineering, Vol. 30, pp.965-1003.
- 3-Sannasiraj, S. A., Sundar, V. and Sundaravadivelu, R., (1998), Mooring forces and motion responses of pontoon-type floating breakwaters, Journal of Ocean Engineering, Vol. 25, No. 1, p. 27-8.
- 4-Daghigh, M., Paein Koulaei, R.T. and Seif. M.S., (2002), Mooring system design and optimization for floating bridge of Urmia Lake, Proceeding of 21st International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering, OMAE2002-28343 , Oslo, Norway; June 23-28, 2002. pp. 1-8.
- 6-Rahman, M. A., Mizutani, N. and Kawasaki, K., (2006), Numerical modeling of dynamic responses and mooring forces of submerged floating breakwater, Journal of Coastal Engineering, Vol. 53, pp.799-815.
- 7-Ultramarine, Inc, MOSES Software, Version 7.01.047 reference manual, December, 2005.

۴- جمع بندی و نتیجه گیری

در این مقاله به بررسی همزمان تاثیر بیش کشیدگی مهاربندها و جهت برخورد امواج بر مقدار نیروهای مهاربندی پرداخته شده و نتایج زیر بدست آمده است:

۱. به طور کلی با افزایش بیش کشیدگی، سختی مهارها و کل سازه افزایش یافته و قابلیت جذب نیروی بیشتری پیدا خواهد کرد و نیروی مهاربندها افزایش می یابد. این امر باعث بازتوزیع بهتر و متعادل تر نیروی وارد بر شناور در کل مهاربندها شده و از گسیختگی زودرس مهاربندها جلوگیری می کند.
۲. بعد از آنکه مهارها مقداری بیش کشیده شوند، افزایش بیشتر بیش کشیدگی کابل تاثیر چندانی در رفتار سازه نخواهد داشت یعنی سرعت روند بسیار کاهش می یابد.
۳. عامل مهم دیگری که در جذب نیرو توسط مهاربندها موثر است، رقابت مهارها با یکدیگر در جذب نیرو با توجه به شرایط هندسی و محیطی می باشد. این مسئله می تواند قاعده ی کلی افزایش نیرو با افزایش سختی را نیز تحت الشعاع قرار دهد.

