

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده مهندسی عمران

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی سواحل، بنادر و سازه های دریایی

ارزیابی و انتخاب طرح مناسب پل شناور خلیج فارس بر اساس تحلیل های دینامیکی و دریامانی

نگارنده: سجاد مقدس پور

استاد راهنما

دکتر مهدی عجمی

اسفند ۱۴۰۰

شماره: ۴۲۵ / ت س ع

تاریخ: ۱۴۰۱/۱۲/۱۴

ویرایش:

باسمه تعالی

فرمهای ارزشیابی پایان نامه کارشناسی ارشد
مربوط به ورودی‌های ۹۴ به بعد



مدیریت تحصیلات تکمیلی

فرم شماره (۳): صورتجلسه نهایی دفاع از پایان نامه دوره کارشناسی ارشد

با نام و یاد خداوند متعال، ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد آقای سجاد مقدس پور با شماره دانشجویی ۹۷۳۴۲۰۴ رشته مهندسی عمران گرایش سواحل، بنادر و سازه های دریایی تحت عنوان ارزیابی و انتخاب طرح مناسب پل شناور خلیج فارس بر اساس تحلیل های دینامیکی و دریامانی در تاریخ ۱۴۰۰/۱۲/۱۴ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار شد به شرح ذیل اعلام می گردد:

☐ الف) درجه عالی: نمره ۱۹-۲۰	☐ ب) درجه خیلی خوب: نمره ۱۸/۹۹-۱۸
☐ ج) درجه خوب: نمره ۱۶-۱۷/۹۹	☐ د) درجه متوسط: نمره ۱۴-۱۵/۹۹
☐ ه) کمتر از ۱۴ غیر قابل قبول و نیاز به دفاع مجدد دارد	
نوع تحقیق: ☐ نظری ☒ عملی	

عضو هیأت داوران	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	امضاء
۱- استاد راهنمای اول	دکتر مهدی عجمی	استادیار	
۲- استاد راهنمای دوم	-	-	-
۳- استاد مشاور	-	-	-
۴- استاد داور اول	دکتر محمد مونسان	استادیار	
۵- استاد داور دوم	دکتر حسین پهلوان	دانشیار	
۶- نماینده تحصیلات تکمیلی	خانم دکتر طاهره تقی زاده	استادیار	

نام و نام خانوادگی رئیس دانشکده:

تاریخ و امضاء و مهر دانشکده:



تقدیم اثر

خدای را بسی شاکرم که از روی کرم، پدر و مادری فداکار نصیبم ساخته تا در سایه درخت پر بار وجودشان بیاسایم و از ریشه آنها شاخ و برگ گیرم و از سایه وجودشان در راه کسب علم و دانش تلاش نمایم. والدینی که بودنشان تاج افتخاری است بر سرم و نامشان دلیلی است بر بودنم. چرا که این دو وجود، پس از پروردگار، مایه هستی‌ام بوده‌اند، دستم را گرفتند و راه رفتن در این وادی زندگی پر از فراز و نشیب را آموختند.

تقدیم به **پدر و مادر** عزیز و مهربانم که در سختی‌ها و دشواری‌های زندگی همواره یآوری دلسوز و فداکار و پشتیبانی محکم و مطمئن برایم بوده‌اند.

و تقدیم به **همسر** عزیزم، به او که سایبان عشق و آرامش، تکیه‌گاه امن و آسایش، برترین آموزگار خوش‌بینی و امید من در دوران تحصیل بود.

تشکر و قدردانی

به مصداق «من لم یشکر المخلوق لم یشکر الخالق» بسی شایسته است از

استاد فرهیخته و فرزانه جناب آقای دکتر مهدی عجمی

که با کرامتی چون خورشید، سرزمین دل را روشنی بخشیدند و گلشن سرای علم و دانش

را با راهنمایی‌های کارساز و سازنده بارور ساختند، تقدیر و تشکر نمایم.

تعمدنامه

اینجانب سجاد مقدس پور دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی عمران گرایش مهندسی سواحل، بنادر و سازه‌های دریایی دانشکده مهندسی عمران دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان‌نامه ارزیابی و انتخاب طرح مناسب پل شناور خلیج فارس بر اساس تحلیل‌های دینامیکی و دریامانی تحت راهنمایی جناب آقای دکتر مهدی عجمی متعهد می‌شوم.

- تحقیقات در این پایان‌نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان‌نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « Shahrood University of Technology » به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان‌نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان‌نامه رعایت می‌گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان‌نامه، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان‌نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است.

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه های رایانه ای، نرم افزارها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود. استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان‌نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی‌باشد.

چکیده

یکی از مسائل مطرح در حوزه گردشگری و تجاری خلیج فارس، ایجاد یک راه ارتباطی مناسب بین جزیره قشم و سواحل جنوبی ایران در قالب یک طرح ملی با در نظر گرفتن تمام جوانب از جمله جنبه اقتصادی، ایمنی، محیط زیستی و ... می باشد. با توجه به اینکه بسترسازی کف دریا و شمع کوبی ها نیاز به عملیات پرهزینه و مخاطره آمیز از لحاظ محیط زیستی و خطر و ریسک تخریب مرجان های منطقه وجود دارد، یکی از راه کارها استفاده از پل شناور می باشد که در این تحقیق به این موضوع پرداخته شده است. طرح پیشنهادی تحقیق، استفاده از یک پل با دهانه های معلق است که پایه پل ها از نوع پانتونی شناور در سطح دریا می باشد. در این تحقیق با مدل سازی پانتون های شناور در آزمایشگاه ملی دریایی شهدای خلیج فارس و مقایسه آن با مدل عددی Ansys Aqwa به بررسی پاسخ هیدرودینامیک پانتون های پل شناور پرداخته شده است.

نتایج مدل سازی عددی نشان دهنده این مسئله است که با افزایش تعداد پانتون ها از یک عدد به سه عدد، میزان حداکثر جابجایی عمودی پانتون ها کاهش می یابد و از طرف دیگر هر چه زاویه قرارگیری محور طولی پانتون ها نسبت به زاویه جهت موج کمتر باشد، میزان حداکثر جابجایی عمودی پانتون ها کمتر خواهد شد. یکی دیگر از نتایج مهم، با افزایش میزان آبخور پانتون ها، اثر تعداد پانتون ها در حداکثر جابجایی عمودی کاهش پیدا می کند.

نتایج به طور کلی نشان می دهد که در طراحی پل های شناور می توان با بهینه ساختن تعداد پانتون ها و آبخور پانتون ها و زاویه قرارگیری آنها نسبت به موج های محتمل منطقه، به یک طرح اقتصادی و ایمن رسید.

کلمات کلیدی: پل شناور، سازه شناور، پل پانتونی، خلیج فارس، قشم

پیش‌گفتار

یکی از مسائل مطرح در خلیج فارس، ایجاد یک راه ارتباطی مناسب بین جزیره قشم و سواحل جنوبی ایران در قالب یک پل هست که به علت اهمیت موضوع در این زمینه تاکنون فعالیت‌های مختلفی صورت گرفته است. با توجه به شرایط خاص منطقه و شرایط موجود، پیشنهادهایی مطرح و حتی اجرا شده که تاکنون به نتیجه نرسیده است. در همین راستا، استفاده از یک پل شناور به عنوان یک راه ارتباطی مناسب می‌تواند راهگشا باشد، که به همین منظور، شناسایی و مطالعه ویژگی‌ها و مشخصات این نوع خاص از پل‌ها و بررسی امکان استفاده از آن در خلیج فارس به عنوان یک پل ارتباطی مهم و با ترافیک بالا، حائز اهمیت است.

لیست مقالات مستخرج از پایان نامه

۱-

۲-

۳-

فهرست مطالب

فصل اول: مقدمه و کلیات	۱
۱-۱- مقدمه	۲
۱-۲- بیان مسئله	۲
۱-۳- هدف از مطالعه	۳
۱-۴- ضرورت انجام تحقیق	۳
۱-۵- سؤالات اصلی تحقیق	۴
۱-۶- شرح روش مطالعه	۴
۱-۷- جنبه جدید بودن و نوآوری در تحقیق	۵
۱-۸- تقسیم‌بندی موضوعی پایان‌نامه	۵
۱-۹- نتیجه‌گیری	۶
فصل دوم: تعاریف و پیشینه تحقیق	۷
۲-۱- مقدمه	۸
۲-۲- پل شناور	۸
۲-۳- تاریخچه پل شناور	۸
۲-۴- لیست پل‌های شناور موجود در جهان و طرح‌های آتی	۱۳
۲-۵- مرور تحقیقات گذشته	۲۰
فصل سوم: مواد و روش‌ها	۳۷
۳-۱- مقدمه	۳۸
۳-۲- تئوری‌های موج تولید شده توسط باد	۳۸
۳-۲-۱- تئوری موج منظم	۳۹
۳-۲-۲- تئوری موج غیرمنظم	۴۰
۳-۲-۳- طیف چگالی انرژی	۴۲
۳-۲-۴- مدل‌های طیفی موج	۴۴
۳-۲-۵- مدل طیفی استفاده شده در تحقیق	۴۶
۳-۳- حرکت‌های جسم شناور	۴۷
۳-۳-۱- پاسخ شناور در امواج غیرمنظم	۵۰
۳-۴- بارگذاری هیدرودینامیکی	۵۱

۵۲	۳-۴-۱- نیروی شناوری.....
۵۲	۳-۴-۲- نیروی اینرسی و دراگ.....
۵۴	۳-۴-۳- نیروی کوبش و خروج آب.....
۵۷	فصل چهارم: مدل سازی
۵۸	۴-۱- مقدمه.....
۵۸	۴-۲- مورد مطالعاتی.....
۵۹	۴-۳- راه اندازی مدل آزمایشگاهی.....
۶۰	۴-۳-۱- مشخصات آزمایشگاه ملی دریایی شهدای خلیج فارس.....
۶۱	۴-۳-۲- مشخصات مدل فیزیکی.....
۶۱	۴-۳-۲-۱- مشخصات هندسی مدل.....
۶۳	۴-۳-۲-۲- روش ساخت مدل.....
۶۷	۴-۴- راه اندازی مدل عددی.....
۶۷	۴-۴-۱- نرم افزار مدل عددی.....
۶۷	۴-۴-۲- مشخصات مدل عددی.....
۶۸	۴-۴-۲-۱- مشخصات هندسه مدل.....
۶۸	۴-۴-۲-۲- مش بندی.....
۷۰	۴-۴-۲-۳- تنظیمات آنالیز تفرق.....
۷۱	۴-۴-۲-۴- تنظیمات آنالیز پاسخ.....
۷۳	فصل پنجم: نتایج و بحث
۷۴	۵-۱- مقدمه.....
۷۴	۵-۲- سناریوهای آزمایش.....
۷۵	۵-۳- نتایج آزمایشگاهی.....
	۵-۳-۱- آزمایش اول (تعداد پانتون یک عدد) آبخور ۵ سانتیمتر، زاویه موج ۰ درجه با ارتفاع موج
۷۵	۶ سانتیمتر و پریود ۰.۷۶ ثانیه.....
	۵-۳-۲- آزمایش دوم (تعداد پانتون یک عدد) آبخور ۵ سانتیمتر، زاویه موج ۰ درجه با ارتفاع موج
۷۶	۸ سانتیمتر و پریود ۰.۷۶ ثانیه.....
	۵-۳-۳- آزمایش سوم (تعداد پانتون یک عدد) آبخور ۵ سانتیمتر، زاویه موج ۴۵ درجه با ارتفاع موج
۷۷	۶ سانتیمتر و پریود ۱.۰۷۵ ثانیه.....
	۵-۳-۴- آزمایش چهارم (تعداد پانتون دو عدد) آبخور ۵ سانتیمتر، زاویه موج ۰ درجه با ارتفاع موج
۷۸	۶ سانتیمتر و پریود ۰.۷۶ ثانیه.....
	۵-۳-۵- آزمایش پنجم (تعداد پانتون دو عدد) آبخور ۵ سانتیمتر، زاویه موج ۴۵ درجه با ارتفاع موج
۷۹	۶ سانتیمتر و پریود ۱.۰۷۵ ثانیه.....

۵-۳-۶- آزمایش ششم (تعداد پانتون سه عدد) آبخور ۵ سانتیمتر، زاویه موج ۰ درجه با ارتفاع موج ۶ سانتیمتر و پریود ۰.۷۶ ثانیه.....	۸۰
۵-۳-۷- آزمایش هفتم (تعداد پانتون سه عدد) آبخور ۵ سانتیمتر، زاویه موج ۴۵ درجه با ارتفاع موج ۶ سانتیمتر و پریود ۰.۷۶ ثانیه.....	۸۱
۵-۴: خلاصه نتایج آزمایشگاهی.....	۸۲
۵-۵- سناریوهای مدل عددی.....	۸۳
۵-۶- نتایج مدل عددی برای آبخور ۶ متر.....	۸۵
۵-۶-۱- سناریو اول (تعداد پانتون یک عدد).....	۸۵
۵-۶-۲- سناریو دوم (تعداد پانتون دو عدد).....	۹۴
۵-۶-۳- سناریو سوم (تعداد پانتون سه عدد).....	۱۰۳
۵-۷- نتایج مدل عددی برای آبخور ۱.۵ متر.....	۱۱۲
۵-۷-۱- سناریو چهارم (تعداد پانتون یک عدد).....	۱۱۲
۵-۷-۲- سناریو پنجم (تعداد پانتون دو عدد).....	۱۲۱
۵-۷-۳- سناریو ششم (تعداد پانتون سه عدد).....	۱۳۰
۵-۸- مقایسه نتایج مدل عددی با آزمایشگاهی.....	۱۳۹
فصل ششم: نتیجه گیری و پیشنهادها.....	۱۴۱
۶-۱- مقدمه.....	۱۴۲
۶-۲- اثر تعداد پانتون ها روی حداکثر اختلاف جابجایی.....	۱۴۲
۶-۲-۱- برای آبخور ۶ متر.....	۱۴۲
۶-۳- اثر تعداد پانتون ها روی حداکثر اختلاف جابجایی در زوایای ثابت.....	۱۴۵
۶-۳-۱- آبخور ۶ متر.....	۱۴۵
۶-۳-۲- آبخور ۱.۵ متر.....	۱۴۶
۶-۴- اثر زاویه روی حداکثر اختلاف جابجایی.....	۱۴۸
۶-۴-۱- آبخور ۶ متر.....	۱۴۸
۶-۴-۲- آبخور ۱.۵ متر.....	۱۴۹
۶-۵- نتیجه گیری.....	۱۵۱
۶-۶- پیشنهادها.....	۱۵۲
فهرست مراجع.....	۱۵۳

فهرست جداول

جدول ۱-۲ - لیست پل‌های شناور موجود در جهان و طرح‌های آتی.....	۱۳
جدول ۱-۳ - تعریف جابجایی RAOs برای شش درجه آزادی.....	۴۹
جدول ۲-۳ - مقادیر ضریب جرمی برای یک استوانه ارائه شده توسط استاندارد (DNV, 2011 b, p. 142)...	۵۳
جدول ۱-۴ - مشخصات آزمایشگاه ملی دریایی شهدای خلیج فارس.....	۶۰
جدول ۲-۴ - مشخصات هندسی مدل آزمایشگاهی و مدل واقعی.....	۶۱
جدول ۱-۵ - سناریوهای آزمایش‌های انجام شده روی مدل آزمایشگاهی.....	۷۴
جدول ۲-۵ - نتایج آزمایشگاهی.....	۸۲
جدول ۳-۵ - سناریوهای مربوط به آبخور ۶ متر.....	۸۳
جدول ۴-۵ - سناریوهای مربوط به آبخور ۱.۵ متر.....	۸۴
جدول ۵-۵ - مقایسه نتایج مدل عددی با آزمایشگاهی.....	۱۳۹

فهرست اشکال

- شکل ۱-۱- موقعیت جغرافیایی پل خلیج فارس..... ۲
- شکل ۱-۲- موقعیت جغرافیایی پل خلیج فارس..... ۴
- شکل ۱-۲- پل NORDHORLAND..... ۲۰
- شکل ۲-۲- جزئیات و ابعاد پل NORDHORLAND..... ۲۰
- شکل ۳-۲- ابعاد مقطع پل NORDHORLAND..... ۲۱
- شکل ۴-۲- فاصله بین پانتون ها در پل شناور Bergsoysund نروژ..... ۲۱
- شکل ۵-۲- پل شناور Yumemai در ژاپن..... ۲۲
- شکل ۶-۲- پل شناور دریاچه ارومیه..... ۲۲
- شکل ۷-۲- پانتون های مهاری دریاچه ارومیه در تحقیق Seif و Kaloui (۲۰۰۵)..... ۲۳
- شکل ۸-۲- تونل شناور پروژه fjordcrossing در نروژ..... ۲۳
- شکل ۹-۲- پل های شناور نظامی..... ۲۴
- شکل ۱۰-۲- پل شناور Bergsøysund..... ۲۵
- شکل ۱۱-۲- پل و تونل شناور Masfjorden در نروژ..... ۲۵
- شکل ۱۲-۲- پل شناور Xu Xiang و همکاران (۲۰۱۷)..... ۲۶
- شکل ۱۳-۲- پل شناور Jianqun Sun و همکاران (۲۰۱۷)..... ۲۷
- شکل ۱۴-۲- پل شناور Ahnaf Rahman و همکاران (۲۰۱۷)..... ۲۷
- شکل ۱۵-۲- پل شناور E39-fjordcrossing شرکت Statens Vegvesen..... ۲۸
- شکل ۱۶-۲- جزئیات و ابعاد پانتون پل شناور E39-fjordcrossing شرکت Statens Vegvesen..... ۲۹
- شکل ۱۷-۲- پل شناور E39 Bj_rnafjorden توسط Zhengshun Cheng و همکاران (۲۰۱۸)..... ۳۰
- شکل ۱۸-۲- پل شناور E39-fjordcrossing توسط Xu Xiang و همکاران (۲۰۱۸)..... ۳۰
- شکل ۱۹-۲- پل شناور Sulafjord در غرب نروژ..... ۳۱
- شکل ۲۰-۲- پل شناور E39- Bjornefjorden توسط Yanyan Sha و همکاران (۲۰۱۸)..... ۳۱
- شکل ۲۱-۲- پل شناور E39- Bjornefjorden توسط Thomas Viuff و همکاران (۲۰۱۸)..... ۳۲
- شکل ۲۲-۲- پل شناور E39- Bjornefjorden توسط Thomas Viuff و همکاران (۲۰۱۹)..... ۳۲
- شکل ۲۳-۲- پل شناور E39-fjordcrossing توسط Xu Xiang و Arne Løken (۲۰۱۹)..... ۳۳
- شکل ۲۴-۲- پل شناور Bjornefjorden توسط Jian Dai و همکاران (۲۰۲۰)..... ۳۴
- شکل ۲۵-۲- مدل سازی اثر امواج روی پانتون در نرم افزار Sesam Xtract..... ۳۴
- شکل ۲۶-۲- ابعاد پانتون های استفاده شده در تحقیق Marius Lien Killi ۲۰۱۸..... ۳۵

شکل ۲-۲۷- جانمایی مورد مطالعاتی.....	۳۵
شکل ۲-۲۸- پل خلیج فارس.....	۳۶
شکل ۳-۱- انواع امواج در دریا.....	۳۸
شکل ۳-۲- موج تولید شده توسط باد در دریا.....	۳۹
شکل ۳-۳- موج دورا.....	۳۹
شکل ۳-۴- پروفیل سطح آب در موج خطی تئوری موج منظم.....	۴۰
شکل ۳-۵- موج غیرمنظم تولیدشده از مجموع چندین موج منظم.....	۴۱
شکل ۳-۶- ارتفاع موج برحسب زمان در امواج غیرمنظم.....	۴۱
شکل ۳-۷- تعریف چگالی طیفی.....	۴۳
شکل ۳-۸- طیف چگالی انرژی.....	۴۴
شکل ۳-۹- تفاوت بین طیف جانسواپ، طیف مدل جدید (PG) برای خلیج فارس و داده‌های اندازه‌گیری شده.....	۴۶
شکل ۳-۱۰- تفاوت بین طیف‌های رایج در دنیا با طیف استخراج‌شده (PG) از داده‌های واقعی در خلیج فارس.....	۴۷
شکل ۳-۱۱- درجات آزادی و حرکت شناور.....	۴۷
شکل ۳-۱۲- مثالی از نمودارهای RAOs برای یک نمونه شناور.....	۴۹
شکل ۳-۱۳- تبدیل امواج به پاسخ شناور.....	۵۰
شکل ۳-۱۴- گرداب‌های تولید شده توسط جریان سیال پشت یک استوانه.....	۵۴
شکل ۴-۱- جانمایی مورد مطالعاتی.....	۵۸
شکل ۴-۲- پل خلیج فارس.....	۵۸
شکل ۴-۳- آزمایشگاه ملی دریایی شهدای خلیج فارس.....	۵۹
شکل ۴-۴- آزمایشگاه ملی دریایی شهدای خلیج فارس.....	۶۰
شکل ۴-۵- ابعاد مقیاسی جهت تبدیل ابعاد آزمایشگاهی به ابعاد واقعی.....	۶۲
شکل ۴-۶- ابعاد هندسی مدل آزمایشگاهی.....	۶۲
شکل ۴-۷- صفحه نمایش دستگاه برش CNC.....	۶۳
شکل ۴-۸- دستگاه برش CNC.....	۶۳
شکل ۴-۹- مرحله سرهم کردن مدل آزمایشگاهی.....	۶۴
شکل ۴-۱۰- وضعیت سرهم شدن نهایی مدل آزمایشگاهی.....	۶۴
شکل ۴-۱۱- مدل آزمایشگاهی بعد از رنگ‌آمیزی.....	۶۵
شکل ۴-۱۲- شبیه‌سازی آزمایشگاهی در حالت‌های بدون بارگذاری و همراه با بارگذاری در حالت سه پانتون.....	۶۵
شکل ۴-۱۳- نرم‌افزار ANSYS 18.2.....	۶۷
شکل ۴-۱۴- ابعاد هندسی پانتون مدل عددی.....	۶۸
شکل ۴-۱۵- مشخصات مش بندی.....	۶۹
شکل ۴-۱۶- تنظیمات آنالیز تفرق.....	۷۰

- شکل ۴-۱۷- تنظیمات آنالیز پاسخ..... ۷۱
- شکل ۵-۱- آزمایش اول (تعداد پانتون ۱ عدد، زاویه موج ۰ درجه، ارتفاع موج ۶ سانتیمتر، پریود موج ۰.۷۶) ۷۵
- شکل ۵-۲- آزمایش دوم (تعداد پانتون ۱ عدد، زاویه موج ۰ درجه، ارتفاع موج ۸ سانتیمتر، پریود موج ۰.۷۶) ۷۶
- شکل ۵-۳- آزمایش سوم (تعداد پانتون ۱ عدد، زاویه موج ۴۵ درجه، ارتفاع موج ۶ سانتیمتر، پریود موج ۱.۰۷۵) ۷۷
- شکل ۵-۴- آزمایش چهارم (تعداد پانتون ۲ عدد، زاویه موج ۰ درجه، ارتفاع موج ۶ سانتیمتر، پریود موج ۰.۷۶) ۷۸
- شکل ۵-۵- آزمایش پنجم (تعداد پانتون ۲ عدد، زاویه موج ۴۵ درجه، ارتفاع موج ۶ سانتیمتر، پریود موج ۱.۰۷۵) ۷۹
- شکل ۵-۶- آزمایش ششم (تعداد پانتون ۳ عدد، زاویه موج ۰ درجه، ارتفاع موج ۶ سانتیمتر، پریود موج ۰.۷۶) ۸۰
- شکل ۵-۷- آزمایش هفتم (تعداد پانتون ۳ عدد، زاویه موج ۴۵ درجه، ارتفاع موج ۶ سانتیمتر، پریود موج ۰.۷۶) ۸۱
- شکل ۵-۸- نتایج مدل عددی آبخور ۶ متر زاویه موج ۰ درجه با ارتفاع موج ۱.۸ متر و پریود ۵.۹ ثانیه..... ۸۵
- شکل ۵-۹- نتایج مدل عددی آبخور ۶ متر زاویه موج ۰ درجه با ارتفاع موج ۲.۴ متر و پریود ۵.۹ ثانیه..... ۸۶
- شکل ۵-۱۰- نتایج مدل عددی آبخور ۶ متر زاویه موج ۰ درجه با ارتفاع موج ۳.۶ متر و پریود ۵.۹ ثانیه..... ۸۷
- شکل ۵-۱۱- نتایج مدل عددی آبخور ۶ متر زاویه موج ۴۵ درجه با ارتفاع موج ۱.۸ متر و پریود ۵.۹ ثانیه.. ۸۸
- شکل ۵-۱۲- نتایج مدل عددی آبخور ۶ متر زاویه موج ۴۵ درجه با ارتفاع موج ۲.۴ متر و پریود ۵.۹ ثانیه.. ۸۹
- شکل ۵-۱۳- نتایج مدل عددی آبخور ۶ متر زاویه موج ۴۵ درجه با ارتفاع موج ۳.۶ متر و پریود ۵.۹ ثانیه.. ۹۰
- شکل ۵-۱۴- نتایج مدل عددی آبخور ۶ متر زاویه موج ۹۰ درجه با ارتفاع موج ۱.۸ متر و پریود ۵.۹ ثانیه.. ۹۱
- شکل ۵-۱۵- نتایج مدل عددی آبخور ۶ متر زاویه موج ۹۰ درجه با ارتفاع موج ۲.۴ متر و پریود ۵.۹ ثانیه.. ۹۲
- شکل ۵-۱۶- نتایج مدل عددی آبخور ۶ متر زاویه موج ۹۰ درجه با ارتفاع موج ۳.۶ متر و پریود ۵.۹ ثانیه.. ۹۳
- شکل ۵-۱۷- نتایج مدل عددی آبخور ۶ متر زاویه موج ۰ درجه با ارتفاع موج ۱.۸ متر و پریود ۵.۹ ثانیه..... ۹۴
- شکل ۵-۱۸- نتایج مدل عددی آبخور ۶ متر زاویه موج ۰ درجه با ارتفاع موج ۲.۴ متر و پریود ۵.۹ ثانیه..... ۹۵
- شکل ۵-۱۹- نتایج مدل عددی آبخور ۶ متر زاویه موج ۰ درجه با ارتفاع موج ۳.۶ متر و پریود ۵.۹ ثانیه..... ۹۶
- شکل ۵-۲۰- نتایج مدل عددی آبخور ۶ متر زاویه موج ۴۵ درجه با ارتفاع موج ۱.۸ متر و پریود ۵.۹ ثانیه.. ۹۷
- شکل ۵-۲۱- نتایج مدل عددی آبخور ۶ متر زاویه موج ۴۵ درجه با ارتفاع موج ۲.۴ متر و پریود ۵.۹ ثانیه.. ۹۸
- شکل ۵-۲۲- نتایج مدل عددی آبخور ۶ متر زاویه موج ۴۵ درجه با ارتفاع موج ۳.۶ متر و پریود ۵.۹ ثانیه.. ۹۹
- شکل ۵-۲۳- نتایج مدل عددی آبخور ۶ متر زاویه موج ۹۰ درجه با ارتفاع موج ۱.۸ متر و پریود ۵.۹ ثانیه ۱۰۰
- شکل ۵-۲۴- نتایج مدل عددی آبخور ۶ متر زاویه موج ۹۰ درجه با ارتفاع موج ۲.۴ متر و پریود ۵.۹ ثانیه ۱۰۱
- شکل ۵-۲۵- نتایج مدل عددی آبخور ۶ متر زاویه موج ۹۰ درجه با ارتفاع موج ۳.۶ متر و پریود ۵.۹ ثانیه ۱۰۲
- شکل ۵-۲۶- نتایج مدل عددی آبخور ۶ متر زاویه موج ۰ درجه با ارتفاع موج ۱.۸ متر و پریود ۵.۹ ثانیه.. ۱۰۳
- شکل ۵-۲۷- نتایج مدل عددی آبخور ۶ متر زاویه موج ۰ درجه با ارتفاع موج ۲.۴ متر و پریود ۵.۹ ثانیه.. ۱۰۴
- شکل ۵-۲۸- نتایج مدل عددی آبخور ۶ متر زاویه موج ۰ درجه با ارتفاع موج ۳.۶ متر و پریود ۵.۹ ثانیه.. ۱۰۵

- شکل ۵-۶۱- نتایج مدل عددی آبخور ۱.۵ متر زاویه موج ۹۰ درجه با ارتفاع موج ۳.۶ متر و پریود ۵.۹ ثانیه ۱۳۸
- شکل ۶-۱- اثر تعداد پانتون ها روی حداکثر اختلاف جابجایی برای آبخور ۶ متر و ارتفاع موج ۱.۸ ۱۴۲
- شکل ۶-۲- اثر تعداد پانتون ها روی حداکثر اختلاف جابجایی برای آبخور ۶ متر و ارتفاع موج ۲.۴ ۱۴۲
- شکل ۶-۳- اثر تعداد پانتون ها روی حداکثر اختلاف جابجایی برای آبخور ۶ متر و ارتفاع موج ۳.۶ ۱۴۳
- شکل ۶-۴- اثر تعداد پانتون ها روی حداکثر اختلاف جابجایی برای آبخور ۱.۵ متر و ارتفاع موج ۱.۸ ۱۴۳
- شکل ۶-۵- اثر تعداد پانتون ها روی حداکثر اختلاف جابجایی برای آبخور ۱.۵ متر و ارتفاع موج ۲.۴ ۱۴۴
- شکل ۶-۶- اثر تعداد پانتون ها روی حداکثر اختلاف جابجایی برای آبخور ۱.۵ متر و ارتفاع موج ۳.۶ ۱۴۴
- شکل ۶-۷- اثر تعداد پانتون ها روی حداکثر اختلاف جابجایی در آبخور ۶ متر زاویه صفر درجه ۱۴۵
- شکل ۶-۸- اثر تعداد پانتون ها روی حداکثر اختلاف جابجایی در آبخور ۶ متر زاویه ۴۵ درجه ۱۴۵
- شکل ۶-۹- اثر تعداد پانتون ها روی حداکثر اختلاف جابجایی در آبخور ۶ متر زاویه ۹۰ درجه ۱۴۶
- شکل ۶-۱۰- اثر تعداد پانتون ها روی حداکثر اختلاف جابجایی در آبخور ۱.۵ متر زاویه صفر درجه ۱۴۶
- شکل ۶-۱۱- اثر تعداد پانتون ها روی حداکثر اختلاف جابجایی در آبخور ۱.۵ متر زاویه ۴۵ درجه ۱۴۷
- شکل ۶-۱۲- اثر تعداد پانتون ها روی حداکثر اختلاف جابجایی در آبخور ۱.۵ متر زاویه ۹۰ درجه ۱۴۷
- شکل ۶-۱۳- اثر زاویه روی حداکثر اختلاف جابجایی در آبخور ۶ متر و سناریو یک ۱۴۸
- شکل ۶-۱۴- اثر زاویه روی حداکثر اختلاف جابجایی در آبخور ۶ متر و سناریو دو ۱۴۸
- شکل ۶-۱۵- اثر زاویه روی حداکثر اختلاف جابجایی در آبخور ۶ متر و سناریو سه ۱۴۹
- شکل ۶-۱۶- اثر زاویه روی حداکثر اختلاف جابجایی در آبخور ۱.۵ متر و سناریو چهارم ۱۴۹
- شکل ۶-۱۷- اثر زاویه روی حداکثر اختلاف جابجایی در آبخور ۱.۵ متر و سناریو پنجم ۱۵۰
- شکل ۶-۱۸- اثر زاویه روی حداکثر اختلاف جابجایی در آبخور ۱.۵ متر و سناریو ششم ۱۵۰

فصل اول: مقدمه و کلیات

۱-۱- مقدمه

در فصل یک پایان نامه به بیان مسئله، هدف از مطالعه، ضرورت انجام تحقیق، سؤال‌های اصلی تحقیق، شرح روش مطالعه و جنبه جدید بودن و نوآوری در تحقیق پرداخته شده است.

۱-۲- بیان مسئله

یکی از مسائل مطرح در خلیج فارس، ایجاد یک راه ارتباطی مناسب بین جزیره قشم و سواحل جنوبی ایران در قالب یک پل هست که به علت اهمیت موضوع در این زمینه تاکنون فعالیت‌های مختلفی صورت گرفته است. با توجه به شرایط خاص منطقه و شرایط موجود، پیشنهادهایی مطرح و حتی اجرا شده که تاکنون به نتیجه نرسیده است. در همین راستا، استفاده از یک پل شناور به عنوان یک راه ارتباطی مناسب می‌تواند راهگشا باشد، که به همین منظور، شناسایی و مطالعه ویژگی‌ها و مشخصات این نوع خاص از پل‌ها و بررسی امکان استفاده از آن در خلیج فارس به عنوان یک پل ارتباطی مهم و با ترافیک بالا، حائز اهمیت است. برای دستیابی به این هدف در این پایان نامه، ضمن مروری بر کارهای انجام شده قبل، پیشرفت‌های حاصل در خصوص احداث پل‌های شناور عظیم‌الجثه، مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرد. سپس شرایط هیدرولیکی و هیدرودینامیکی، هندسه طرح، نحوه و مشخصات مهاربندی، نحوه اجرا و مسائل مربوط دیگر در مورد چندین پل شناور بزرگ و معروف اجرا شده بررسی و با یکدیگر مقایسه می‌گردند. در انتها، در مورد امکان استفاده از پل شناور در خلیج فارس و مزایا و معایب آن بحث و نتیجه‌گیری خواهد شد.



شکل ۱-۱- موقعیت جغرافیایی پل خلیج فارس

۳-۱- هدف از مطالعه

هدف از این تحقیق، بررسی پاسخ هیدرودینامیک پانتون‌های شناور پل خلیج فارس به روش آزمایشگاهی و عددی هست.

۴-۱- ضرورت انجام تحقیق

با احداث پل شناور در خلیج فارس به طول بیش از ۳.۴ کیلومتر، و ساخت ۸۹ کیلومتر راه‌آهن و ۶۲ کیلومتر اتوبان، جزیره‌ی قشم به سرزمین اصلی و شبکه‌ی بزرگراه‌ها و راه‌های ریلی کشور متصل می‌شود [1]. این پل به‌عنوان کریدور اتصال شمال و جنوب، امکان ترانزیت و خروج آسان کالا را از جزیره‌ی قشم به مقصد کشورهای تازه استقلال‌یافته و در نتیجه اروپا فراهم خواهد آورد. با احداث این پل که دارای مسیر رفت و برگشت خط آهن نیز خواهد بود، این امکان فراهم می‌شود تا محموله‌های تخلیه شده در قشم، به سرعت وارد ناوگان حمل و نقل جاده‌ای و ریلی شده و در اسرع وقت، محصولات صادراتی را به پایانه دریایی صادرات، برساند. با سهولت دستیابی جاده‌ای به جزیره‌ی قشم علاوه بر ازدیاد سفرهای زمینی، از موهبت انتقال آسان آب، برق، مخابرات، و تأسیسات زیربنایی از سرزمین اصلی به جزیره و برعکس نیز بهره‌مند خواهیم شد، چراکه در این منطقه در آینده‌ی نزدیک، تولید برق و استحصال نفت و گاز اتفاق خواهد افتاد. با راه‌اندازی پل شناور در خلیج فارس هزینه‌های حمل و نقل و زمان ترانزیت کالا از جزیره‌ی قشم کاهش یافته و قیمت تمام‌شده‌ی کالا و خدمات به دلیل ایجاد شبکه‌ی حمل و نقل ریلی و جاده‌ای کمتر خواهد شد و توجیه اقتصادی پیدا خواهد کرد، به‌طوری‌که بخش عمده‌ی کالاهایی که از طریق کریدور شمال-جنوب ترانزیت می‌شدند، از طریق این پل، منتقل شده و واردات و صادرات کالا بر اساس قوانین و مقررات آسان‌تری، صورت خواهد گرفت.

بندر کاوه در منطقه شمالی جزیره قشم (در عرض جغرافیایی ۲۷ درجه و ۲۶ دقیقه و طول جغرافیایی ۵۶ درجه و ۵۵ دقیقه) در زمینه‌ی سوخت‌رسانی به کشتی‌های عبوری می‌تواند یکی از جاذبه‌های سرمایه‌گذاری باشد. بندر کاوه از هر نظر آمادگی دارد به کشتی‌های با تناژ بالا خدمات دهد. پل شناور خلیج فارس راهی ایمن برای صادرات کالا از بندرهای منطقه آزاد قشم فراهم خواهد کرد. با اتصال بندر لافت در قشم به بندر

پهل در هرمزگان، به حوزه‌ی آبی کشور، دوازده مایل دریایی، به سبب دسترسی به خشکی، افزوده می‌شود. این امر علاوه بر سودی که به حاکمیت ملی در مسئله‌ی کنترل تنگه‌ی هرمز و به ویژه سوخت‌رسانی به کشتی‌ها می‌رساند، تأثیرات مثبت آشکاری بر حوزه‌ی گردشگری خواهد گذاشت.



شکل ۱-۲- موقعیت جغرافیایی پل خلیج فارس

۵-۱- سوالات اصلی تحقیق

- ۱- پارامترهای مؤثر در کارایی و راندمان پل‌های شناور چیست؟
- ۲- شکل‌های رایج پل‌های شناور در دنیا کدام‌اند؟
- ۳- عملکرد پانتون با آب‌خورهای متفاوت چگونه است؟
- ۴- تغییر مشخصات هندسی پانتون پل شناور چه تاثیری روی به حداقل رساندن جابجایی آن دارد؟
- ۵- در پل خلیج فارس چه ترکیبی از پانتون‌های شناور می‌تواند بهینه باشد؟

۶-۱- شرح روش مطالعه

در این پژوهش، پل شناور با روش مدل‌سازی آزمایشگاهی و عددی با استفاده از امکانات و تجهیزات آزمایشگاه ملی شهدای خلیج فارس مدل‌سازی شده و نتایج با خروجی مدل‌سازی عددی با نرم‌افزار Ansys AQWA مقایسه شده است. با مطالعه مرور منابع پل‌های شناور، می‌توان پارامترهای دخیل در عملکرد این

نوع پل‌ها را به دو دسته پارامترهای محیطی (ارتفاع موج، پریود موج، تیزی موج، عمق آب و...) و پارامترهای هندسی و سازه‌ای (عمق آبخور، عرض پل، شکل هندسی مقطع، سختی سازه، جنس سازه، زبری سطح، موقعیت نقطه متاسنتریک، نحوه مهاربندی، جنس مهارها و...) تقسیم‌بندی کرد. در تحقیق حاضر اثر پارامترهایی از قبیل ارتفاع موج، پریود موج، زاویه موج، تعداد پانتون‌ها و ارتفاع آبخور بر روی حداکثر جابجایی عمودی پانتون‌ها مورد بررسی قرار گرفته است.

۷-۱- جنبه جدید بودن و نوآوری در تحقیق

مدل‌سازی آزمایشگاهی پانتون شناور با شرایط محیطی دریایی بین دو جزیره قشم و بندرعباس و مقایسه نتایج آن با مدل عددی به عنوان یک نوآوری در ایران محسوب می‌گردد، و با بررسی مطالعات مقالات بین‌المللی در رابطه با اثر تعداد پانتون‌ها، و ارتفاع آبخور پانتون‌ها روی حداکثر جابجایی عمودی پانتون‌ها، خلأ مشاهده گردید که در این تحقیق به عنوان نوآوری به آن پرداخته شده است. از نظر شرایط جغرافیایی و محیطی منطقه مورد مطالعاتی تحقیق، پل خلیج فارس به عنوان یک جنبه جدید تحقیقاتی محسوب می‌شود.

۸-۱- تقسیم‌بندی موضوعی پایان‌نامه

این پایان‌نامه از ۶ فصل تشکیل شده است.

فصل ۱ که مربوط به مقدمه و کلیات است به اهمیت موضوع تحقیق پرداخته است و لزوم انجام تحقیق را بیان می‌کند و به مسائل و فرضیه‌هایی که در طول تحقیق به آن‌ها پرداخته می‌شود اشاره کرده است و شیوه تحقیق را به صورت کلی بیان می‌کند.

فصل ۲ مربوط به تعاریف و مروری بر تحقیقات گذشته است که از مراجع علمی موجود در جهان گردآوری شده است.

فصل ۳ مربوط به مواد و روش‌های استفاده شده در این تحقیق هست.

فصل ۴ به راه‌اندازی مدل آزمایشگاهی و مدل عددی پرداخته شده است.

فصل ۵ مربوط به تجزیه و تحلیل نتایج هست.

فصل ۶ مربوط به نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهادها هست.

۹-۱- نتیجه‌گیری

این فصل، مبانی پایان‌نامه را پایه‌ریزی نمود و مسائل، سؤالات تحقیق و همچنین، فرضیه‌های اصلی مورد استفاده معرفی شد. سپس علت تحقیق انجام یافته و ضرورت انجام آن، بیان گردید؛ تعاریف مورد استفاده، ارائه شد؛ روش تحقیق به اختصار تشریح و توجیه گردید؛ خلاصه پایان‌نامه، بیان شد و محدودیت‌های تحقیق، ارائه گردید. بر پایه مبانی ذکرشده می‌توان، در طول پایان‌نامه برای تشریح جزئیات تحقیق، پیش رفت.

فصل دوم: تعاریف و پیشینه تحقیق

۲-۱- مقدمه

در فصل دو پایان نامه به تعاریف و پیشینه تحقیق پرداخته شده است.

۲-۲- پل شناور^۱

پل‌های شناور در عمل برای گذر از مسیرهای طولانی روی آب، در مکانی که احداث پایه پل مشکل هست مورد استفاده قرار می‌گیرد. به عبارت دیگر در مکان‌هایی که عمق آب زیاد است یا خاک بستر ضعیفی برای شمع‌کوبی پایه‌ها وجود دارد مورد استفاده قرار می‌گیرد. در تحقیق حاضر (پل خلیج فارس) با توجه به اینکه در قسمت نزدیک به جزیره قشم، خاک بستر سست هست، و دلیل دیگر، مسائل محیط زیستی منطقه هست و با توجه به زیست‌بوم مرجانی منطقه و رعایت محدودیت‌های محیط زیستی برای حفظ این زیست، طرح پل شناور در این منطقه پیشنهاد شده است.

۲-۳- تاریخچه پل شناور

شواهد تاریخی نشان می‌دهد که پل شناور یک اختراع جدید نیست، بلکه در حدود ۴۰۰۰ سال پیش به شکل دیگری مورد استفاده قرار گرفته است. اعتقاد بر این است که یک قوم چینی باستان، در اوایل سال ۲۰۰۰ پیش از میلاد مسیح، برای اولین بار با استفاده از نوعی مهاربند و قایق‌های چوبی کوچک، تخته‌های چوبی را در فواصل خیلی کم در کنار هم قرار داده و ابتدایی‌ترین نوع پل شناور را ابداع نموده‌اند. ساده‌ترین نوع این پل‌ها، در ابتدا برای انتقال نیروهای ارتش و تجهیزات نظامی بر روی رودخانه‌ها و دریاچه‌ها ایجاد شدند. بعدها، در اواسط قرن پنجم پیش از میلاد مسیح، تاریخ‌دان یونانی هرودوتس^۲، از سه پل شناور مهم نظامی دیگر که در منطقه دریای سیاه ساخته شده بود، نام برد. داریوش، پادشاه پارسی، دو پل شناوری که بر روی دانوب^۳ و بوسفروس^۴ ساخته شده بودند را در انتهای قرن ششم پیش از میلاد مسیح در اختیار داشت. با این وجود، پل‌های شناوری که پسرش، خشایار شاه، در سال ۴۸۰ پیش از میلاد مسیح در هلسپونت^۵ (امروزه به نام

¹ Floating Bridge

² Herodotus

³ Danube

⁴ Bosphorus

⁵ Hellespont

داردانلس^۱ شناخته می‌شود) ساخته بود، بسیار شگفت‌انگیز بود. این مسیر بیش از ۱.۵ کیلومتر طول داشت و شامل دو ردیف در حدود ۳۰۰ کشتی بود که هر یک با کابل‌های کتانی و پاپيروس در هم پیچیده بودند. با استفاده از چوب و خاک، نرده‌هایی را احداث و به طرفین اضافه کردند. بنا بر گفته‌های هرودوتس، هفت شبانه‌روز به طول انجامید تا تمامی سربازان به علت تعداد زیاد از روی پل راهپیمایی کنند. [2].

با وجود اینکه زمان بسیاری از گذشته تاکنون طی شده است و با توجه به تغییرات بسیار در فناوری، مواد و مصالح و طراحی پل‌های شناور، اما ایده اصلی که همان شناوری برای افزایش ظرفیت ترافیکی است، حفظ شده است. اگرچه پل‌های شناور موقت، هم‌اکنون نیز در حال استفاده نیروهای ارتش هستند، چندین پل دائمی شناور برای مصارف غیرنظامی در طول دو قرن گذشته ساخته شده‌اند.

در سال ۱۸۲۰ در ورمونت^۲ آمریکا، نخستین پل آزمایشی را در کنار یک دریاچه محلی در واکنش به یکی از ساکنین آنجا که در فصل بهار به هنگام عبور از روی یخ‌ها، غرق شد، احداث کردند. به این صورت که در زمستان، قطعات چوب را بروی یخ قرار دادند و به هم متصل کردند که هنگامی که یخ در فصل بهار ذوب شد، به اولین پل شناور ایالات متحده آمریکا تبدیل شد. این پل از زمان احداث تاکنون چندین بار مورد بازسازی و تقویت با مصالح مدرن‌تری قرار گرفته است. در آخرین مورد، که برای هشتمین مرتبه بود، در سال ۲۰۱۵ بازگشایی شد و به‌عنوان اولین پل شناور در جهان که با پایه پلیمر تقویت شده بود، معرفی شد. پلیمر، یک ماده بسیار مقاوم در برابر خوردگی، تنش و کرنش هست. عرشه پل با قطعات و نرده‌های چوبی، برای حفظ ظاهر سنتی که از اهمیت بالایی برای جامعه محلی برخوردار است، پوشیده شده است. [3]

از اواسط تا اواخر دهه ۱۸۰۰، ترافیک ریلی در اطراف رودخانه می‌سی‌سی‌پی^۳ در ایالت‌های آیووا^۴ و مین‌سوتا^۵ آمریکا به دلیل گسترش شمال راه‌آهن، افزایش یافت. با این حال عبور از رودخانه به منزله یک چالش بود و در ابتدا واگن‌های قطار بر روی قایق‌های یدک‌کش حمل می‌شدند. این امر، بسیار کند و

¹ Dardanelles

² Vermont

³ Mississippi

⁴ Iowa

⁵ Minnesota

ناخوشایند بود، به همین منظور در سال ۱۸۷۴ میلادی، پل راه‌آهن چوبی ساخته شد. این مسیر، از دو کانال موجود در رودخانه که در هر کانال یک پانتون چوبی به طول ۱۲۴ متر احداث شده بود، تشکیل می‌شد که می‌توانست جابجا شود و حجم آب ناشی از رفت‌وآمد را عبور دهد. این پل در سال ۱۹۶۱ بازسازی شد و هم‌اکنون قطارها از رودخانه می‌سی‌سی‌پی در ساوانا^۱، ایلی‌نویز^۲ یا لاکروس^۳ از ایالت ویسکانسین^۴ عبور می‌کنند. [4]

در سال ۱۹۱۲، اولین پل فولادی شناور در استانبول^۵ ترکیه ساخته شد. زیرا کف نرم ورودی گلدن هورن^۶ برای نگه‌داشتن پایه‌های منظم، مناسب نبود. عرشه پل گالاتا^۷ به طول ۴۶۰ متر، ۲۵ متر عرض و حاوی ۲۶ پانتون جهت حمل ترافیک، احداث شد. در اقدامی مشابه در سال ۱۹۳۸، پل آنکاپانی^۸ احداث شد که تنها چند صد متری بالاتر از پل گلدن هورن قرار داشت. هر دو پل در سال ۱۹۹۳ جهت برآورده نمودن تقاضای بالای ترافیکی شهر، جایگزین شدند. پل‌های جدید دارای پایه‌های تکیه‌گاهی می‌باشند که به دلیل فناوری جدید امکان‌پذیر است. [5]

منطقه اطراف سیاتل^۹ آمریکا نیز در اوایل قرن بیستم شاهد افزایش ترافیک بود که به دلیل دریاچه واشینگتن^{۱۰}، جدایی شهر از مناطق اطراف، یک چالش جدی به حساب می‌آمد. بنابراین در سال ۱۹۴۰، یک پل بتونی بر روی پهنای دریاچه به طول ۲۰۱۸ متر احداث شد و آن را به بزرگ‌ترین پل شناور زمان خود تبدیل کرد. پل لاسی‌وی‌ماروو^{۱۱} هم‌اکنون در دریاچه واشینگتن مورد استفاده قرار می‌گیرد و از ساخت مشابهی نسبت به دو پل دیگر برخوردار است و به صدها هزار مسافر اجازه می‌دهد که روزانه از داخل و خارج از شهر عبور کنند. [6]

¹ Savanna

² Illinois

³ La Crosse

⁴ Wisconsin

⁵ Istanbul

⁶ Golden Horn

⁷ Galata

⁸ Unkapani

⁹ Seattle

¹⁰ Washington

¹¹ Lacey V. Murrow

در دهه ۱۹۶۰، تعداد مسافران در بخش‌هایی از سواحل غربی نروژ به قدری زیاد بود که عبور کشتی‌های باری از گذرگاه مرزی دیگر راهی مؤثر برای عبور از مرز نبود. برنامه‌ریزی، طراحی و گرفتن مجوز برای ساخت یک راه‌حل امکان‌پذیر، چندین سال طول کشید، اما در اوایل دهه ۱۹۹۰ دو پل شناور برای غلبه بر چالش ترافیک ساخته شدند. پل اول در سراسر برگسویسون^۱ در شمال مولد^۲ و دیگری توسط سالهوس^۳ دقیقاً در شمال برگن^۴ ساخته شدند. این پل‌ها از پانتون‌های بتنی و منحصر به فرد و ابر سازه‌های فلزی نوآورانه تشکیل شده‌اند، فناوری‌ای که بخشی از آن حاصل تجربه و تخصص مرتبط با صنعت نفت در حال پیشرفت در کشور نروژ بود. [7]

در حال حاضر فناوری‌های جدید در نروژ به منظور پاسخ‌گویی به افزایش تقاضای ترافیک و عبور از گذرگاه‌های عمیق‌تر و گسترده‌تر در حال توسعه هستند.

پل‌های شناور یکی از سازه‌های شگفت‌انگیز بشر است. در این میان در شهر سیاتل آمریکا، روی دریاچه‌ی واشنگتن، سه پل شناور بتنی قرار دارد که جزو پنج پل شناور طولانی جهان هستند. طولانی‌ترین پل شناور دائمی جهان پل اورگرینت‌پوینت^۵ است که معمولاً به آن پل SR520 می‌گویند. این پل به طول بیش از ۴ کیلومتر در سراسر دریاچه‌ی واشنگتن کشیده شده است که در شهر سیاتل قرار دارد.

و اما، در ایران، در سال ۱۳۵۱ دولت وقت تصمیم گرفت نخستین بندر آزاد تجاری ایران در جزیره قشم ایجاد شود. در اولین گام، تصمیم گرفته شد با ایجاد یک پل سنگی از ناحیه لافت که در میانه شمالی جزیره است و تا ساحل مقابل ۲ کیلومتر فاصله دارد، ارتباط زمینی بین قشم و سواحل جنوبی ایران برقرار شده و جزیره قشم به یک مرکز بزرگ توریستی و تجاری بزرگ در دهانه خلیج فارس و تنگه هرمز مبدل شود. در روز پنجم فروردین سال ۱۳۵۴، استاندار وقت استان هرمزگان اعلام کرد: «جزیره قشم، که بزرگ‌ترین جزیره خلیج فارس است، به صورت بندر آزاد درمی‌آید و با نصب یک پل، ارتباط زمینی با آن برقرار می‌شود.» با این حال، چنین

¹ Bergsøysund

² Molde

³ Salhus

⁴ Bergen

⁵ Evergreen Point

اتفاقی رخ نداد و با وقوع انقلاب اسلامی و سپس جنگ تحمیلی، این پروژه به تأخیر افتاد. در سال ۱۳۶۹ که جنگ به تازگی تمام شده بود، قشم منطقه آزاد تجاری و صنعتی اعلام شد و آرام آرام رو به توسعه گذاشت و در همان اوایل کار، بار دیگر زمزمه طرح احداث پل مطرح شد اما در حد حرف ماند.

طرح ساخت پل خلیج فارس از هنگام دولت هاشمی رفسنجانی مطرح گردید و نهایتاً در سال ۱۳۸۸ طرح‌های مطالعاتی تکمیل و در هیئت دولت مطرح شد اما پیشنهاد احمدی‌نژاد برای احداث تونل، طرح را مجدداً به تعویق انداخت.

برخی دلایلی که کارشناسان در مخالفت با احداث تونل بجای پل مطرح کرده‌اند چنین است:

۱- مشکلات عبور تونل از گسل‌ها و همچنین شکاف بزرگ موجود در بستر گذرگاه به عمق حداکثر ۳۵ متر و سرعت جریان آب در حدود ۳.۵ متر بر ثانیه و نیاز به فناوری اجرایی بالا، جهت اجرای تونل در عمق حدود ۶۵ متر از سطح دریا.

۲- در صورت برابری هزینه‌های احداث هر متر پل و تونل، با توجه به افزایش طول تونل به دلیل عبور از میان گسل‌ها و بستر موجود، هزینه‌های ساخت تونل در حدود ۹ برابر به نسبت ساخت پل، افزایش خواهد داشت.

۳- ریسک بالا و در نتیجه، نیاز به نگهداری زیاد در طول بهره‌برداری از تونل.

۴- امکان استفاده از توان اجرایی داخل کشور و نیاز کمتر به فناوری‌های خاص و تجهیزات ویژه در اجرای پل، در قیاس با تونل.

۵- قابلیت مدیریت و کنترل خسارت موضعی در حوادث قهری، در گزینه پل.

۶- امنیت روانی بیشتر در هنگام عبور از پل.

۷- امکان تخریب و بازسازی مجدد به‌طور سهل در پدافند غیرعامل در گزینه پل به نسبت تونل.

۸- وجود جاذبه توریستی و گردشگری در گزینه پل.

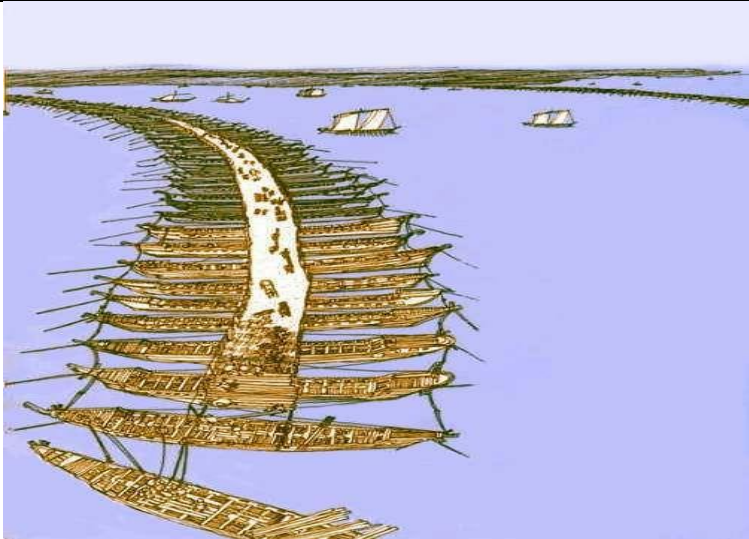
۹- محدودیت فضای تونل در عبور تأسیسات و اتصالات مخابراتی و خطوط انتقال آب، برق، فاضلاب، گاز و نفت.

بدیهی است که تاریخچه پل شناور در هر دو محدوده زمانی و جغرافیایی گسترده است. اگرچه پیشرفت‌های عمده‌ای در چند دهه گذشته صورت گرفته است، اما فناوری به توسعه و باز کردن فرصت‌های جدید ادامه می‌دهد. استفاده از فناوری جدید و دانش همراه با مفاهیمی که از زمان باستان تا به امروز مورد استفاده قرار گرفته‌اند، ممکن است فقط طیف وسیعی از تخصص موردنیاز برای ایجاد طرح‌های نوین جدید را فراهم کند که بیشتر از قبل ادامه داشته است.

۴-۲- لیست پل‌های شناور موجود در جهان و طرح‌های آتی

در جدول زیر لیست پل‌های شناور موجود در جهان و طرح‌های آتی آورده شده است.

جدول ۲-۱- لیست پل‌های شناور موجود در جهان و طرح‌های آتی

ردیف	نام پل	سال ساخت	کشور	تصویر
۱	پل‌های قایقی	باستان	چین	

	چين	۱۸۸۸	Queen Emma Bridge	۲
	ترکيه	۱۹۱۲	Galata	۳
	امريکا	۱۹۳۶	Brookfield	۴
	امريکا	۱۹۴۰	Lacey V. Murrow Memorial	۵

	امريکا	۱۹۶۳	SR 520 (Old)	۶
	گویان امريکای جنوبی	۱۹۷۸	Demerara Harbour Bridge	۷
	امريکا	۱۹۸۹	Homer M. Hadley Memorial Bridge	۸

 ROMDAL- pont "flottant" de Bergsøysund, route E 36, près de Kristiansund (le 17 juin 2009).	نروژ	۱۹۹۲	Bergsøysund	۹
	نروژ	۱۹۹۹	NORDHORLAND	۱۰
	هند	۲۰۰۰	River Ganges bridge	۱۱

	ژاپن	۲۰۰۱	Yumemai Bridge	۱۲
	هلند	۲۰۰۳	Berbice	۱۳
	امارات	۲۰۰۸	Al Maktoum	۱۴

	کانادا	۲۰۰۸	William R. Bennett Bridge	۱۵
	امريکا	۲۰۱۶	Evergreen point	۱۶
	امريکا	۲۰۱۶	Evergreen point OR SR 520 (New)	۱۷

طرح‌های آتی

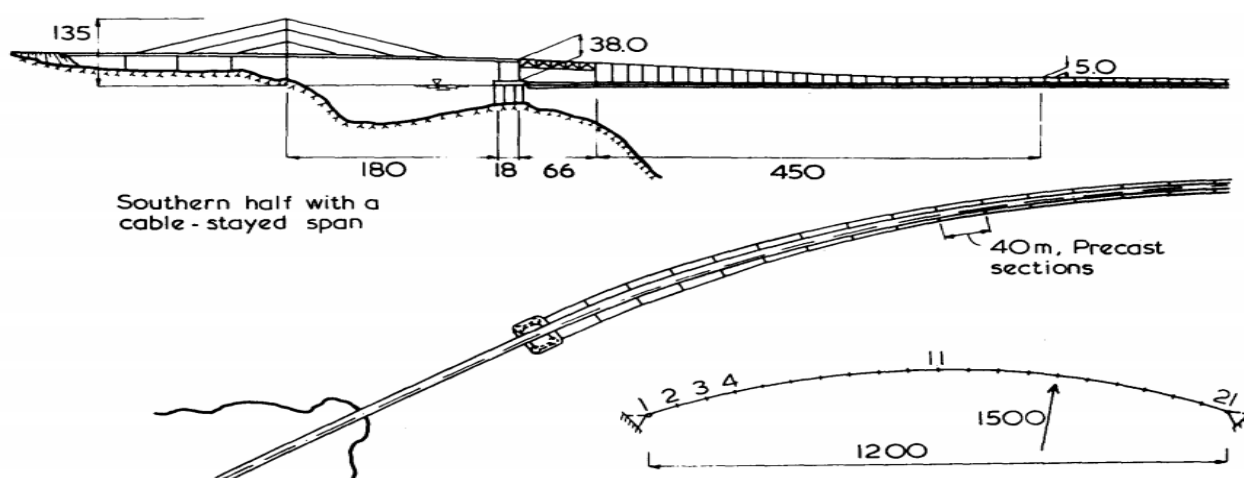
ردیف	نام	سال	کشور	تصویر
۱۸	E39 across Bjørnafjorde	آتی	نروژ	
۱۹	E39 across Bjørnafjorde	آتی	نروژ	
۲۰	E39 across Bjørnafjorde	آتی	نروژ	

۵-۲- مرور تحقیقات گذشته

ایوار لانگن^۱ و راگنار سیگ بیم سون^۲ (۱۹۸۰) به بررسی پاسخ پل شناور در منطقه سالهاس^۳ نروژ که به اسم پل نوردهرلند^۴ معروف است به روش عددی و احتمالاتی پرداختند. [8]



شکل ۲-۱- پل NORDHORLAND



شکل ۲-۲- جزئیات و ابعاد پل NORDHORLAND

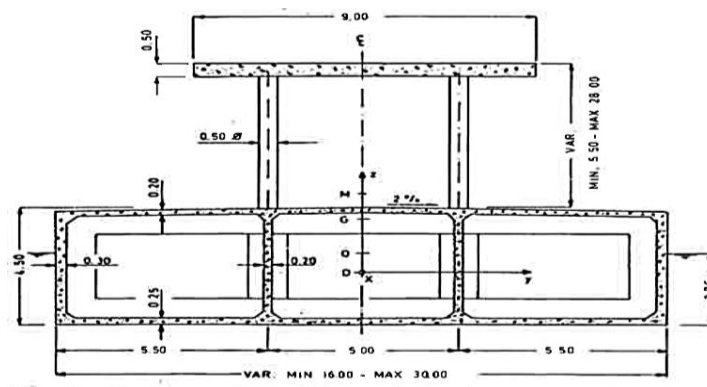
ایوار لانگن و همکاران (۱۹۸۳) با روش احتمالاتی به پاسخ پانتون های شناور پل نوردهرلند پرداختند. این تحقیق ادامه کار تحقیق سال ۱۹۸۰ هست. [9]

¹ Ivar Langen

² Ragnar Sigbjørnsson

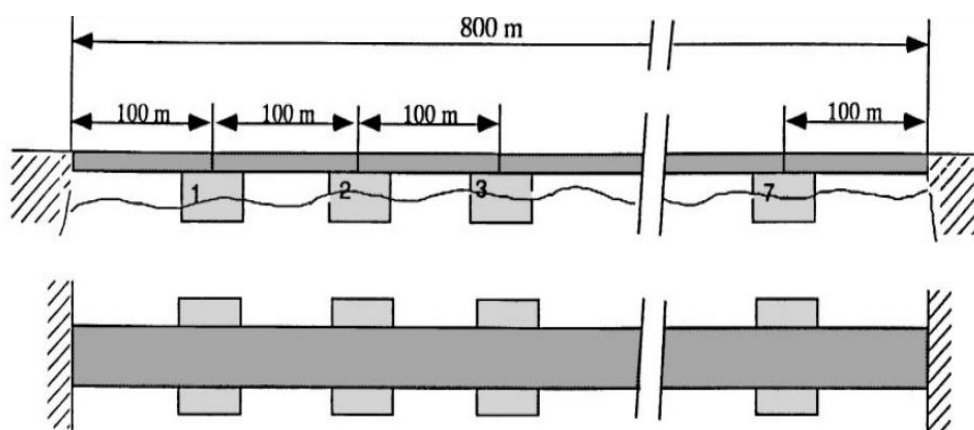
³ Salhus

⁴ NORDHORLAND



شکل ۲-۳- ابعاد مقطع پل NORDHORLAND

محمد سعید سیف^۱ و یوشیوکی اینوئه^۲ (۱۹۹۸) به حل عددی معادلات حاکم شناوری در پانتون شناور پل بریگسویسون نروژ پرداخته‌اند و نتایج مدل عددی خود را با نتایج آزمایشگاهی تحقیق ایکوما^۳ و همکاران [10] مقایسه نمودند. [11]



شکل ۲-۴- فاصله بین پانتون ها در پل شناور BERGSOYSUND نروژ

تاداکی مارویاما^۴ و همکاران (۲۰۰۰) به امکان‌سنجی نصب پل شناور یوما^۵ در ژاپن با استفاده از نتایج آزمایشگاهی و عددی پرداختند. [12]

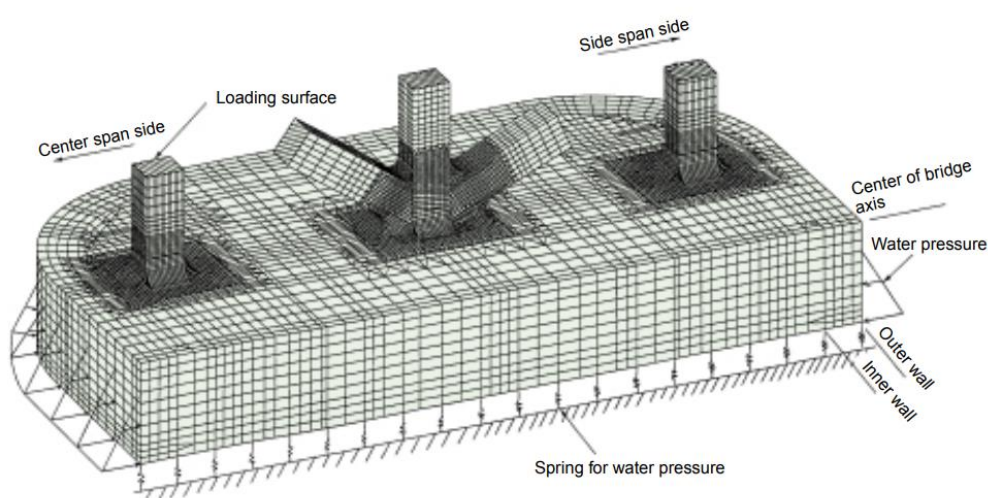
¹ Mohammad Saeed Seif

² Yoshiyuki Inoue

³ Ikoma

⁴ Tadaaki Maruyama

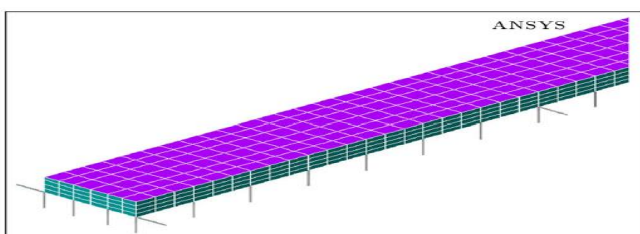
⁵ Yumemai



شکل ۲-۵- پل شناور یومای در ژاپن

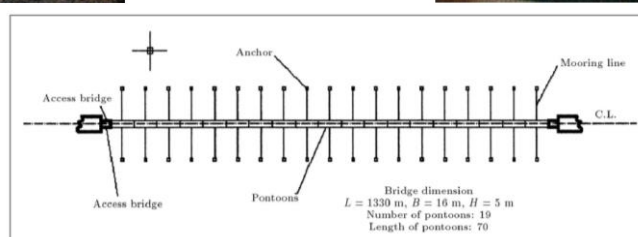
دکتر دقیق (۲۰۰۲) با استفاده از نرم‌افزار انسیس به مدل‌سازی طرح پل شناور دریاچه ارومیه پرداخته است.

[13]

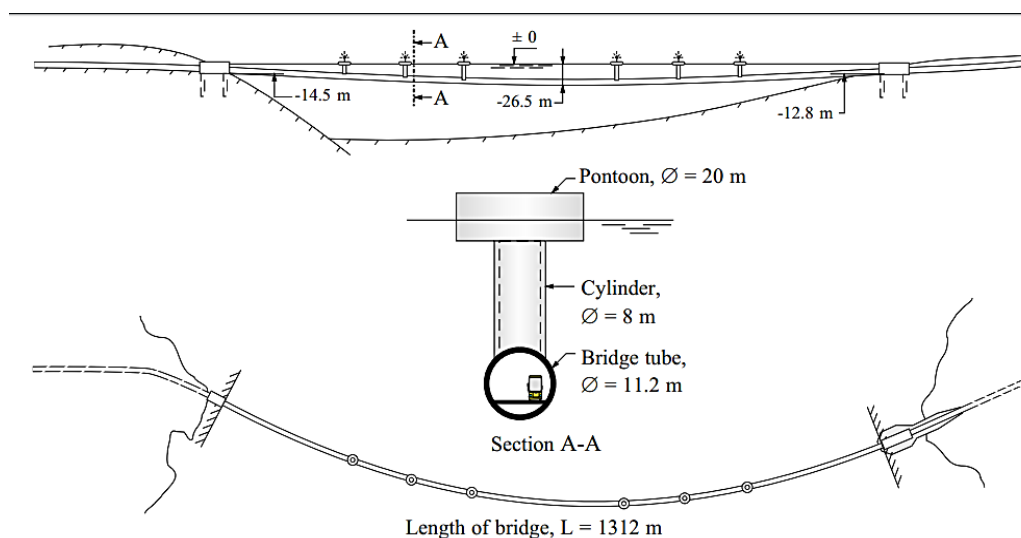


شکل ۲-۶- پل شناور دریاچه ارومیه

دکتر سیف و کلویی (۲۰۰۵) به مدل سازی عددی جریان اطراف طرح پل شناور دریاچه ارومیه پرداختند. طرح استفاده شده در این مقاله پانتون های مهاری با مورینگ هست. [14]



شکل ۲-۷- پانتون های مهاری دریاچه ارومیه در تحقیق دکتر سیف و کلویی (۲۰۰۵)
 رولف مگن لارسن^۱ و همکاران (۲۰۱۰) به امکان سنجی اجرای تونل شناور پروژه فیورد کراسینگ^۲ در نروژ پرداختند. در طرح ارائه شده، تونل توسط پانتون هایی که بر روی آب شناور هستند آویزان خواهد شد. [15]



شکل ۲-۸- تونل شناور پروژه FJORDCROSSING در نروژ

^۱ Rolf Magne Larssen

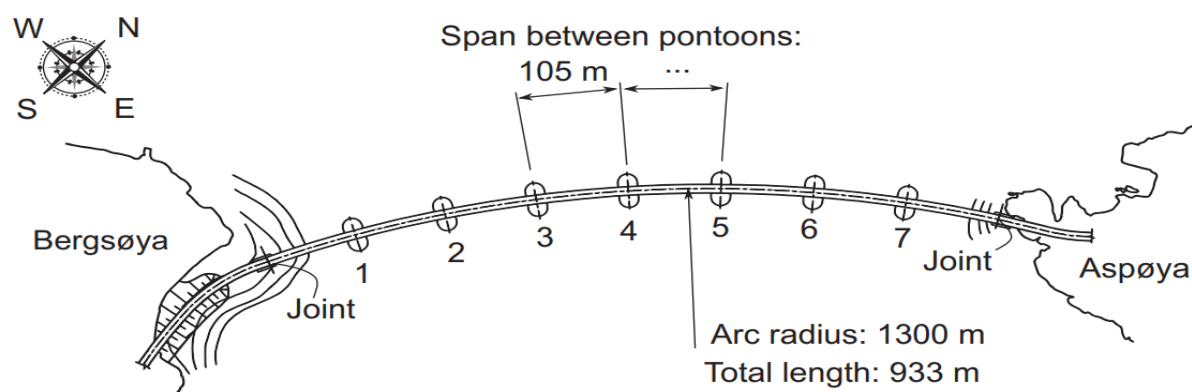
^۲ fjordcrossing

جیانین ویسیلی^۱ و همکاران (۲۰۱۴) به بهینه‌سازی پل‌های شناور نظامی با استفاده از نتایج آزمایشگاهی و عددی پرداختند. [16]



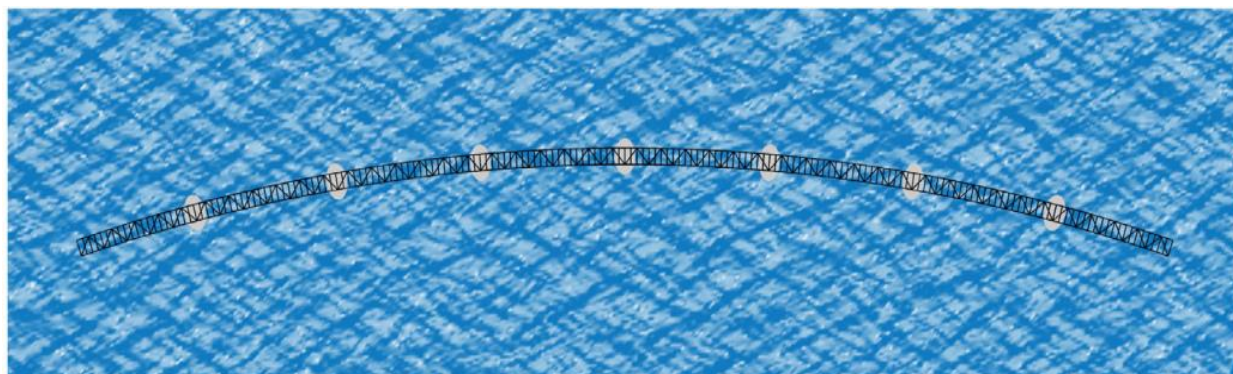
شکل ۲-۹- پل‌های شناور نظامی

کнут آندرس کویلا^۲ و همکاران (۲۰۱۶) به صورت موردی به بررسی رفتار دینامیک پانتون‌های پل شناور روی پل بریگسویسون با استفاده از روش عددی پرداختند. [17]



¹ Giannin Vecili

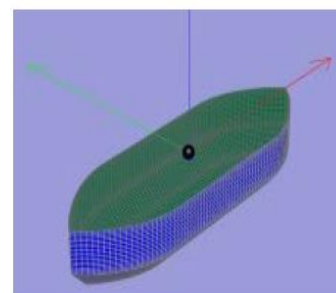
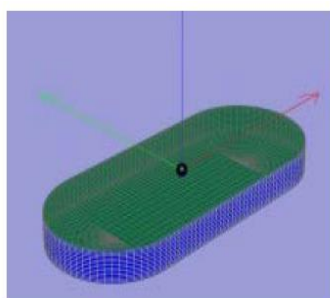
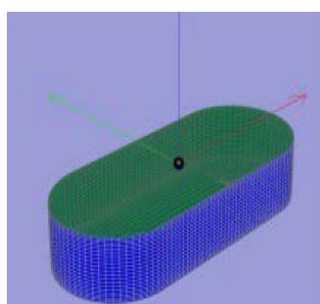
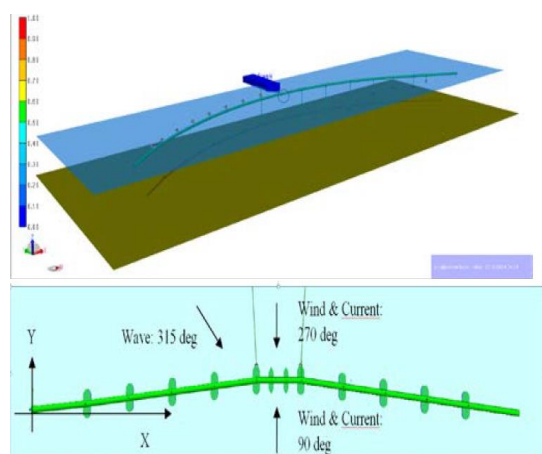
² Knut Andreas Kvåle



شکل ۲-۱۰- پل شناور بریگسویسون

هالور لی^۱ و همکاران (۲۰۱۶) به بررسی رفتار هندسه‌های مختلف پانتون‌ها در پل و تونل شناور ماسفوردن^۲ در نروژ با استفاده از نرم‌افزارهای عددی رفلکس، سیمو و سیمما^۳ در برابر نیروهای موج، باد و جریان پرداختند.

[18]



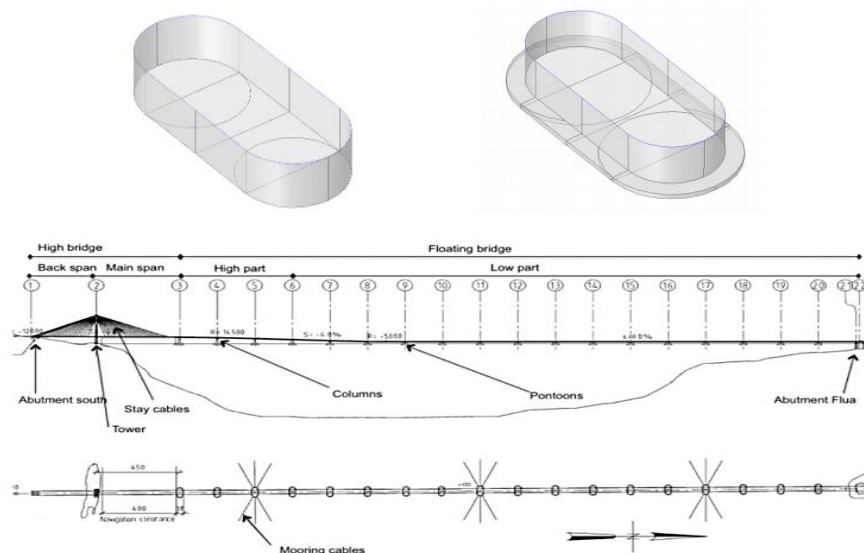
شکل ۲-۱۱- پل و تونل شناور ماسفوردن در نروژ

¹ Halvor Lie

² Masfjorden

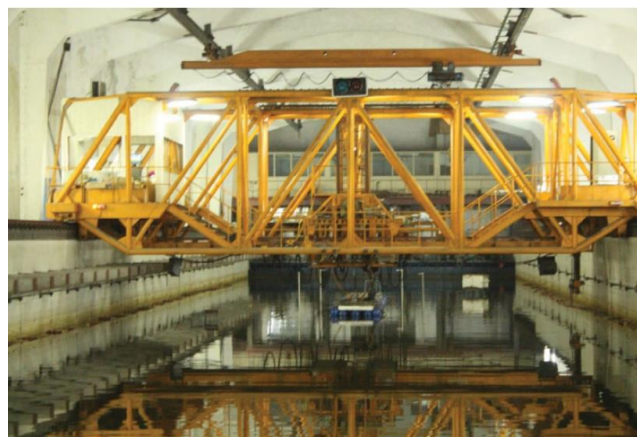
³ RIFLEX/SIMO/SIMA

شوشیانگ^۱ و همکاران (۲۰۱۷) به بررسی حالت میراگری در پل‌های شناور پرداختند. در این مقاله با طراحی یک فلنچ در کف پانتون، حالت میراگری را نسبت به حالت عادی پانتون مقایسه کردند. [19]



شکل ۲-۱۲- پل شناور شوشیانگ و همکاران (۲۰۱۷)

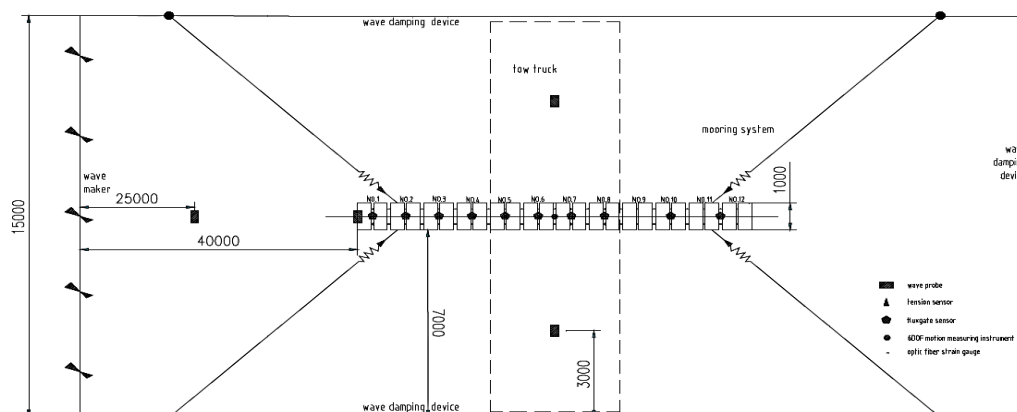
جیانقون سان^۲ و همکاران (۲۰۱۷) به بررسی آزمایشگاهی پاسخ پل‌های شناور از نوع پانتون در برابر موج‌های منظم پرداختند. در این تحقیق از مخزن موج کششی^۳ استفاده شده است. [20]



¹ Xu Xiang

² Jianqun Sun

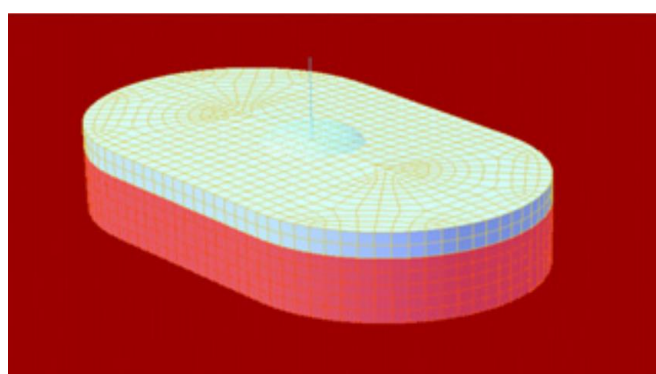
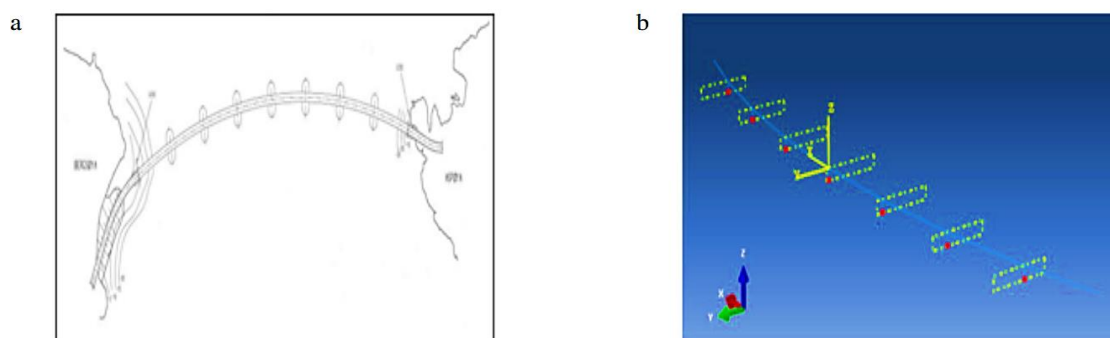
³ towing tanks



شکل ۲-۱۳- پل شناور جیانقون سان و همکاران (۲۰۱۷)

احناف رحمان^۱ و همکاران (۲۰۱۷) با استفاده از نرم‌افزار آباکوس به بررسی دینامیک و رفتار پانتون‌های شناور

پل بریگسویسون پرداخته است. [21]



شکل ۲-۱۴- پل شناور احناف رحمان و همکاران (۲۰۱۷)

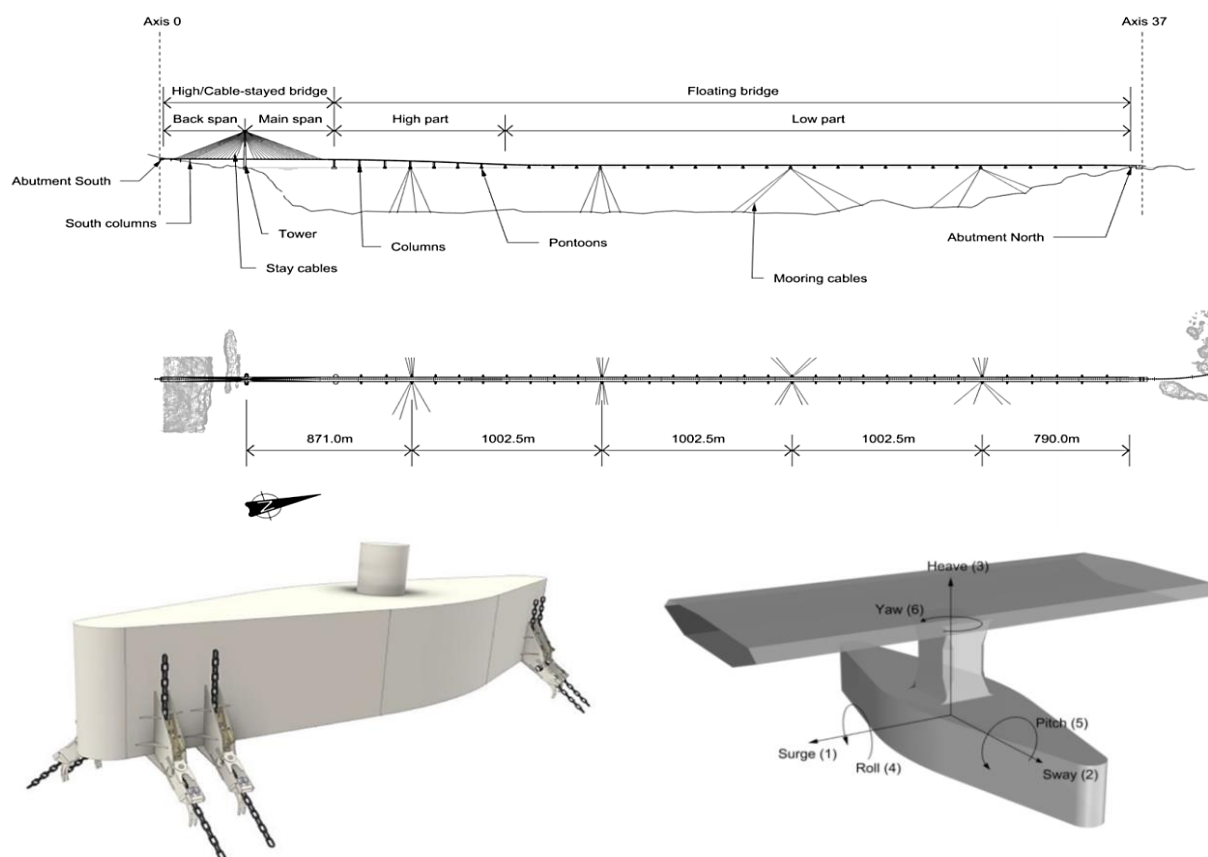
شرکت استاتنس وگفسن^۲ (۲۰۱۷) در گزارش طراحی و آنالیز پل شناور فیورد کراسین ای^۳ اطلاعات جامعی از طراحی پانتون‌های شناور از نوع مورینگ آورده است که دارای جزئیات دقیق و قابل استناد هست.

^۱ Ahnaf Rahman

^۲ Statens Vegvesen

^۳ E39-fjordcrossing

این گزارش توسط پیمانکاران مشاور حرفه‌ای از جمله اکر سولیشن^۱، ان جی آی^۲، هالت^۳ و ... صورت پذیرفته است.

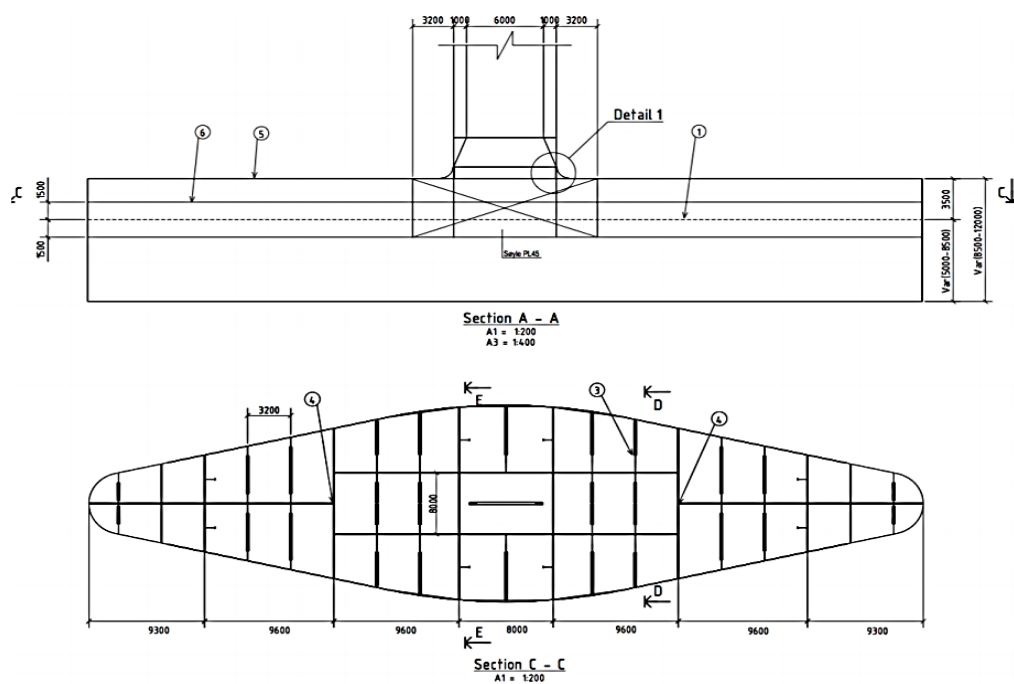


شکل ۱۵-۲- پل شناور فیورد کراسین ای ۳۹ شرکت استاتنس وگفسن

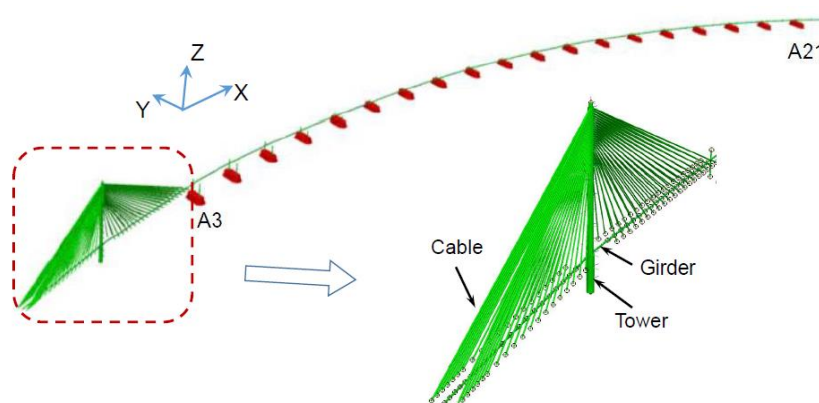
^۱ Aker Solutions

^۲ NGI

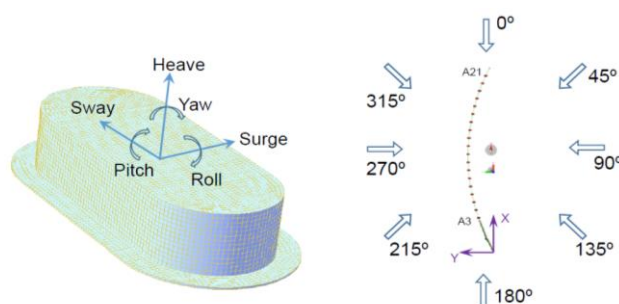
^۳ HOLT



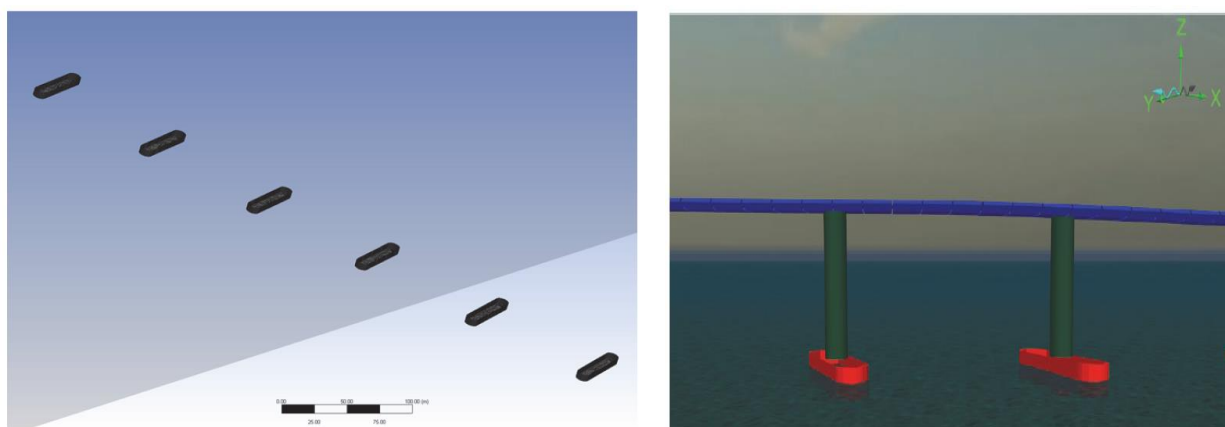
شکل ۲-۱۶- جزئیات و ابعاد پانتون پل شناور فیورد کراسین ای ۳۹ شرکت استاتنس وگفسن ژنگ شون چنگ^۱ و همکاران (۲۰۱۸) به مدل سازی طرح پل شناور فیورد کراسین ای ۳۹ به طول ۴۶۰۰ متر به تعداد ۱۹ عدد پانتون به صورت آزمایشگاهی و عددی پرداختند. هدف از انجام آزمایشها، بررسی هیدرودینامیک مسئله و به دست آوردن نیروهای دراگ در اطراف پانتونها ذکر شده است. در شکل زیر موقعیت پانتونها و هندسه پانتون نشان داده شده است. [22] [23]



¹ Zhengshun Cheng



شکل ۲-۱۷- پل شناور فیورد کراسین ای ۳۹ توسط ژنگ شون چنگ و همکاران (۲۰۱۸)
 شوشیانگ و همکاران (۲۰۱۸) به بررسی هیدرودینامیکی رفتار پل شناور فیورد کراسین ای ۳۹ از دو طرف بسته شده با استفاده از نرم‌افزارهای انسیس آکوا^۱ و اورکافلکس^۲ پرداختند. در این تحقیق تعداد ۴۶ پانتون شناور مدل شده است. [24]



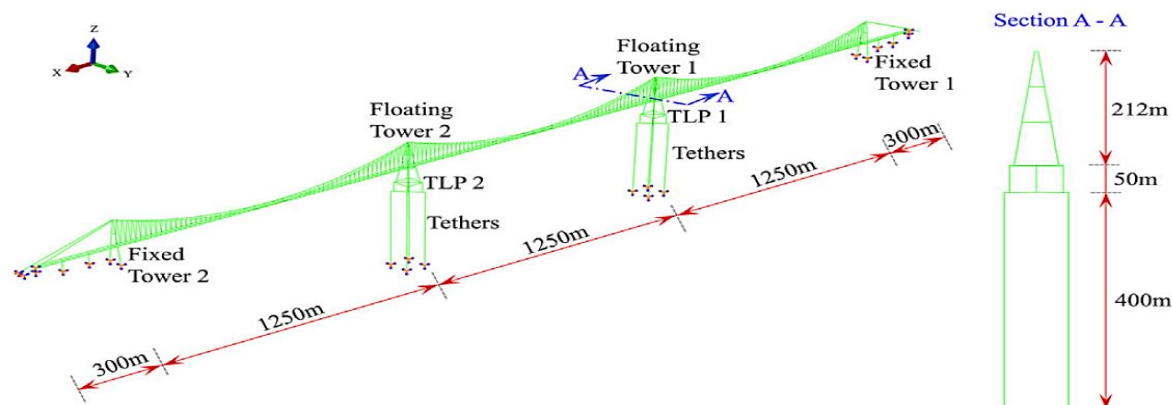
شکل ۲-۱۸- پل شناور فیورد کراسین ای ۳۹ توسط شوشیانگ و همکاران (۲۰۱۸)
 جونگائو وانگ^۳ و همکاران (۲۰۱۸) با ترکیبی از آئرویدینامیک و هیدرودینامیک، به بررسی رفتار پایه‌های شناور کششی پل Sulafjord در غرب نروژ با استفاده از نرم‌افزار آباکوس پرداختند. پایه‌های پل از نوع سکو پایه کششی^۴ (TLP) هست. [25]

¹ ANSYS AQWA

² Orcaflex

³ Jungao Wang

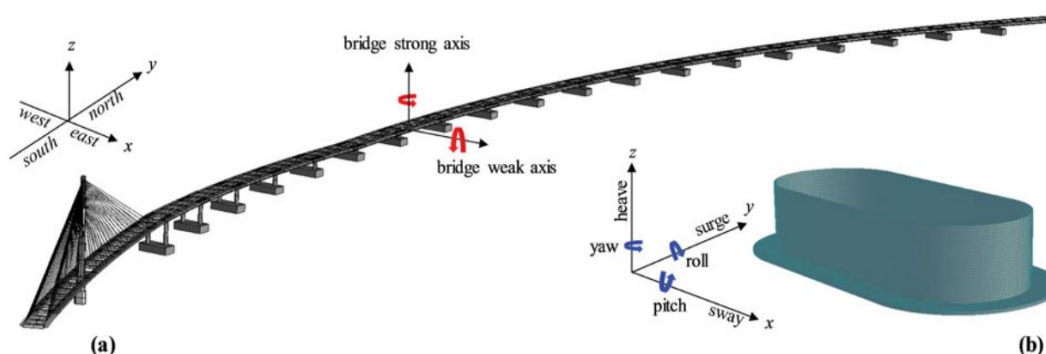
⁴ Tension-leg platform



شکل ۲-۱۹- پل شناور SULAFJORD در غرب نروژ

یانیان شا^۱ و همکاران (۲۰۱۸) با استفاده از روش عددی و نرم افزار وادم^۲ به بررسی پانتون های شناور

پل بیورنافوردن^۳ تحت شرایط بارهای محیطی پرداختند. [26]



شکل ۲-۲۰- پل شناور E39- BJORNEFJORDEN توسط YANYAN SHA و همکاران (۲۰۱۸)

توماس وایف^۴ و همکاران (۲۰۱۸) به مقایسه نتایج شبیه سازی پانتون های شناور در پل بیورنافوردن توسط

نرم افزارهای موجود در بازار پرداخته اند. نرم افزارهای سیمو رفلکس و اورکافلکس و در بحث هیدرودینامیک دو

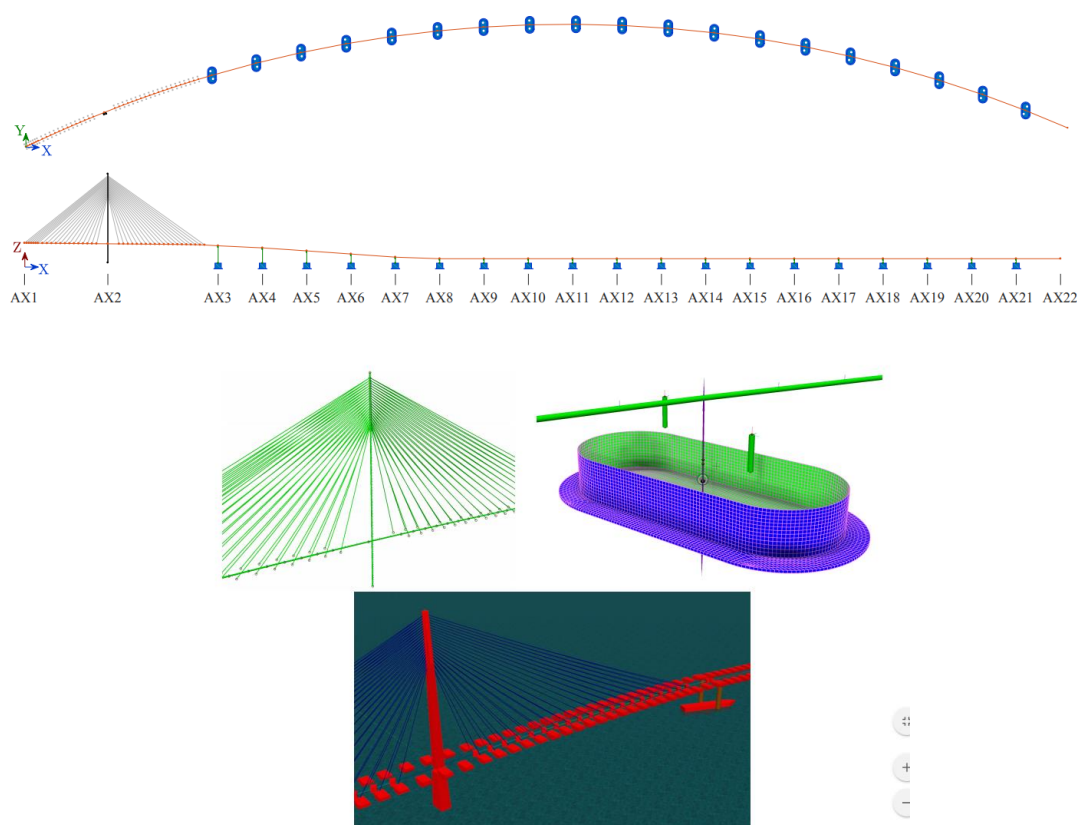
نرم افزار انسیس آکوا و وادم باهم مقایسه شده اند. [27]

¹ Yanyan Sha

² WADAM

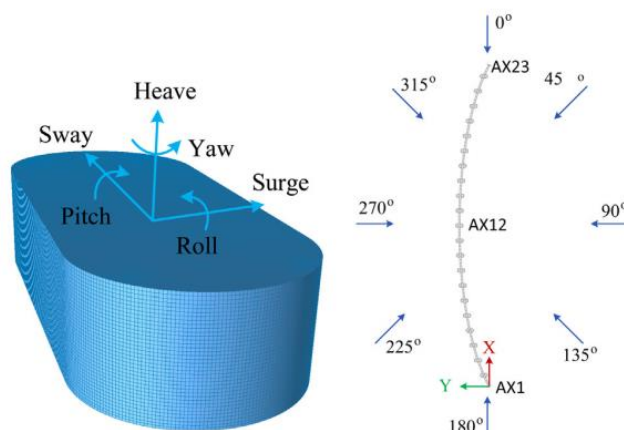
³ Bjornefjorden

⁴ Thomas Viuff



شکل ۲-۲۱- پل شناور بیورناتفوردن E39 توسط توماس وایف و همکاران (۲۰۱۸)

توماس وایف و همکاران (۲۰۱۹) به بررسی اثر موج‌ها با جهت‌های مختلف روی پاسخ پانتون‌های پل شناور از نوع لنگری بیورناتفوردن پرداختند. آن‌ها از نرم‌افزار سیمو رفلکس جهت شبیه‌سازی مسئله استفاده کردند. [28]



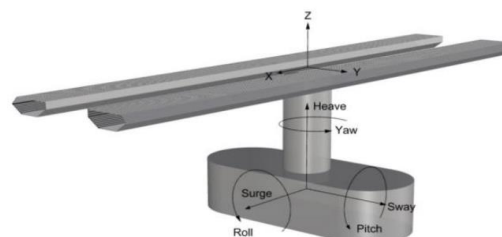
شکل ۲-۲۲- پل شناور بیورناتفوردن E39 توسط توماس وایف و همکاران (۲۰۱۹)

شوشیانگ و همکاران (۲۰۱۹) به کالیراسیون مدل عددی با نتایج آزمایشگاهی که توسط آزمایشگاه مارین‌تک^۱ (۱۹۹۰) ارائه شده پرداخته است. مدل قسمتی از پل بیورناتفوردن E39 به طول ۸۵۰ متر هست. در

^۱ MARINTEK

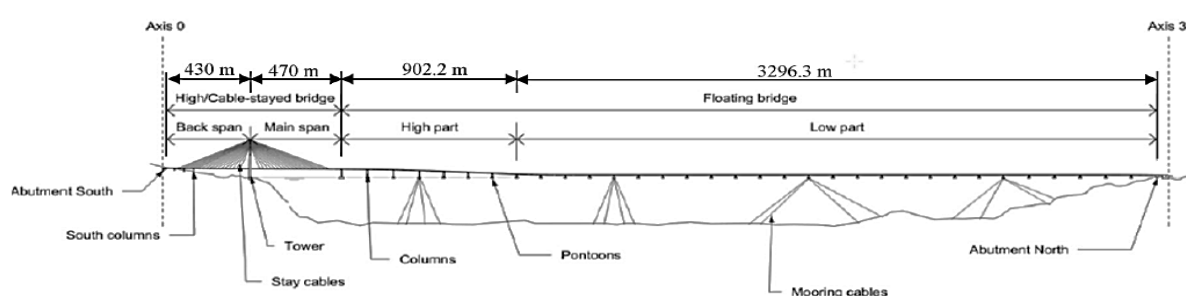
این تحقیق از دو نرم‌افزار انسیس آکوا و اورکافلکس استفاده شده است. در شکل زیر مشخصات پانتون‌های مدل شده نشان داده شده است. [29]

Item	Full Scale (m)
Pontoon length (m)	45
Pontoon breath (m)	22
Pontoon draft (m)	2.64*
Pontoon freeboard (m)	1.66**
Z CoG / Rel. to free surface	2.62**

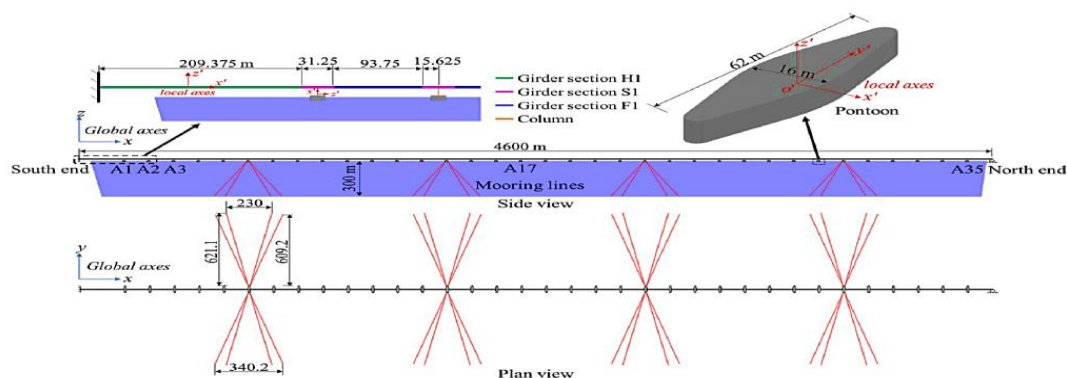


شکل ۲-۲۳- پل شناور بیورنافوردن E39 توسط شوشیانگ و همکاران (۲۰۱۹)

ژیان دای^۱ و همکاران (۲۰۲۰) به مدل‌سازی پل بیورنافوردن به طول ۴.۶ کیلومتر در نروژ که توسط تعداد ۳۵ پانتون از نوع مورینگ مهار شده است، پرداخته‌اند. در این تحقیق از بسته نرم‌افزاری سیما که با نرم‌افزار رفلکس سیمو کوپل شده استفاده شده است. [30]

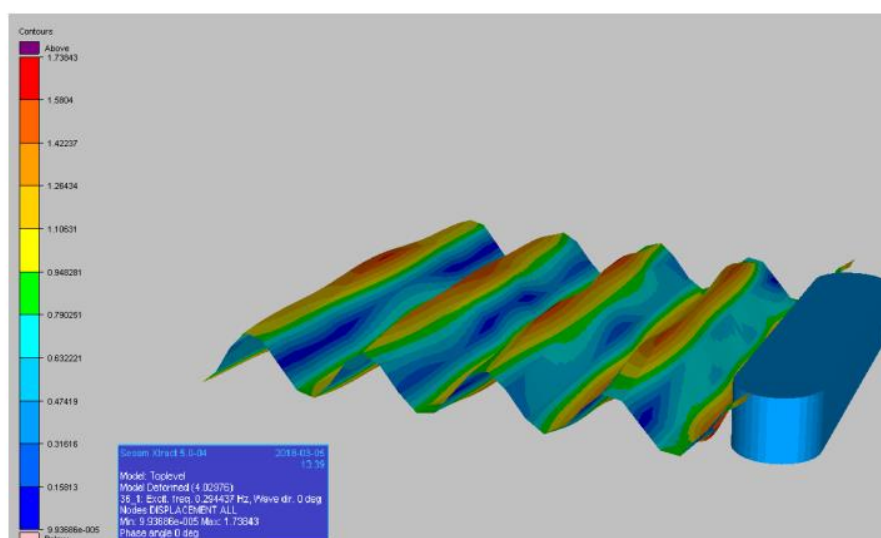


¹ Jian Dai



شکل ۲-۲۴- پل شناور بیورنافوردن توسط ژیان دایی و همکاران (۲۰۲۰)

ماریوس لین کیلی^۱ در سال ۲۰۱۸ در پایان نامه ارشد خود به مدل سازی پانتون های پل بیورنافوردن در نروژ پرداخته است و با استفاده از نرم افزار سی سم^۲ به شبیه سازی اثرات امواج روی پانتون ها پرداخته است.



شکل ۲-۲۵- مدل سازی اثر امواج روی پانتون در نرم افزار سی سم

در این تحقیق اثرات تعداد پانتون و زاویه جهت موج بر روی حداکثر جابجایی ها مورد بررسی قرار گرفته است. پانتون های استفاده شده در این تحقیق دارای ابعاد زیر هست:

¹ Marius Lien Killi

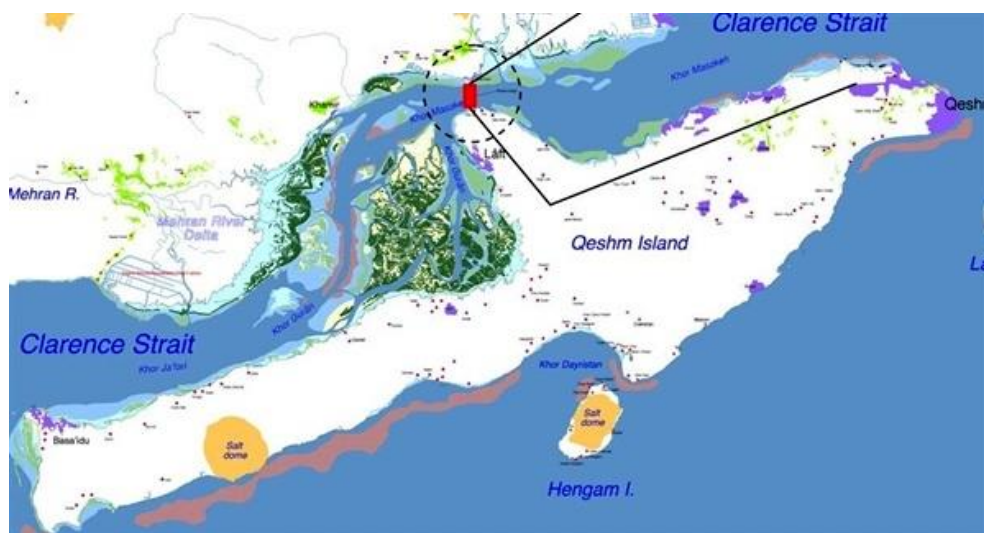
² Sesam

Parameter	Pontoon 1	Pontoon 2	Pontoon 3	Unit
Length	58	58	58	m
Width	10	12	14	m
Radius end	5	6	7	m
Draft	5	5	5	m
Total Volume	5027	5986	6929	m^3
Displacement	2793	3325	3850	m^3
Marine growth	560	615	669	kN
Roll stiffness	-1.66E7	3.22E6	3.79E7	m
Pitch stiffness	1.404E9	1.64E9	1.86E9	m
Heave stiffness	5.61E9	6.68E6	7.73E6	m
mass	754	898	1039	ton
Position	12-46	6-11	2-5	-

شکل ۲-۲۶- ابعاد پانتون‌های استفاده شده در تحقیق ماریوس لین کیلی ۲۰۱۸

طرح پل معلق خلیج فارس:

طرح پل خلیج فارس قرار است بندرعباس را به جزیره قشم اتصال دهد؛ این پل دارای سازه‌ای از نوع کابلی با سیستم ترکه‌ای با ۶ پایه اصلی است، که عبور قطار و وسایل نقلیه از طریق یک خط آهن، ۴ باند اتومبیل (رفت و برگشت) و یک مسیر پیاده‌رو را که جمعاً برابر ۳۲ متر خواهد بود و همچنین عبور کشتی از زیر آن را فراهم می‌سازد.



شکل ۲-۲۷- جانمایی مورد مطالعاتی



شکل ۲-۲۸- پل خلیج فارس

با توجه به مطالب ارائه شده در فصل دو پایان نامه که مربوط به مرور منابع و تاریخچه تحقیق هست، موارد زیر جهت انجام این تحقیق لحاظ شده است:

- ابعاد و شکل پانتون ها بر اساس تحقیق انجام شده بر روی پل Bjørnafjorden که توسط Marius Lien Killi در سال ۲۰۱۸ صورت گرفته انجام شده است.
- نرم افزار مورد مطالعه تحقیق، Ansys AQWA با توجه به اینکه از نظر معادلات حاکم و ساختاری و مدل سازی پاسخ سازه در برابر امواج، مشابه اکثر نرم افزارهای استفاده شده در تحقیقات قبلی هست، انتخاب شده است.
- با توجه به اینکه اثر آبخور بر روی حداکثر جابجایی عمودی پانتون ها مسئله مهمی هست و در کارهای قبلی روی آن مطالعه ای صورت نگرفته است، لذا در این تحقیق به این موضوع به صورت ویژه پرداخته شده است.
- با بررسی معایب زیست محیطی و اجرایی طرح حاضر پل خلیج فارس که توسط شرکت های مشاوره در ایران ارائه شده است، به این نتیجه رسیدیم که با مرور منابع و پروژه های موجود در جهان یک طرح قابل اجرا برای این پل در نظر بگیریم. لذا با جمع بندی مرور منابع به این نتیجه رسیدیم که طرح پل شناور روی پانتون ها را مورد بررسی قرار دهیم.

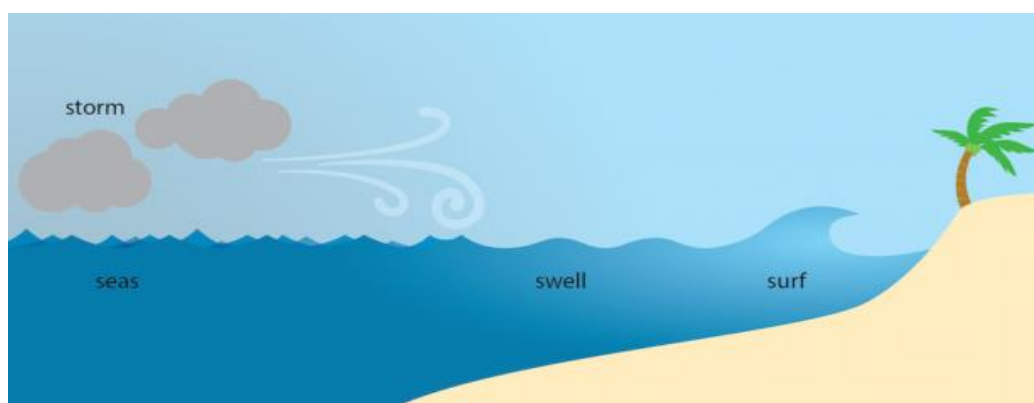
فصل سوم: مواد و روش ها

۳-۱- مقدمه

در فصل سوم پایان‌نامه به تئوری‌های استفاده شده در تحقیق اشاره شده است. جهت بررسی هیدرودینامیک پایه پل شناور در دریا، شرایط دریا و مشخصات پایه پل مورد بررسی قرار گرفته است.

۳-۲- تئوری‌های موج تولید شده توسط باد

هنگامی که باد بر روی یک سطح صاف آب می‌وزد با یک اصطکاک سطحی روبرو می‌شود که منجر به تولید موج‌های کوچکی می‌شود. این موج‌ها با افزایش سرعت باد، بزرگ‌تر شده تا جایی که توسط باد در امتداد جهت وزش باد رانده می‌شوند و سرعت حرکت این موج‌ها از سرعت وزش باد کمتر هست. موج‌های تولید شده توسط باد در طول زمان، یک مسافتی را طی می‌کنند که این مسافت به عنوان موجگاه^۱ شناخته می‌شود. موج‌های تولید شده توسط باد به دو دسته اصلی موج دریا باد^۲ و موج دورا^۳ تقسیم‌بندی شده است.



شکل ۳-۱- انواع امواج در دریا

موج تولید شده توسط باد دریا: به امواجی گفته می‌شود که توسط بادهای وزیده شده در محل به وجود می‌آیند. این امواج خیلی نامنظم به نظر می‌آیند و شامل امواج بلند و کوتاه غیرقابل پیش‌بینی هست. امواج در این حالت در جهت‌های مختلف پخش می‌شود.

¹ Fetch

² Sea wind waves

³ Swell waves



شکل ۳-۲- موج تولید شده توسط باد در دریا

موج دورا: امواجی که تازه تولید شده باشند، دارای تاج کوتاه بوده و خصوصیات آن‌ها غیر مؤثر خواهد بود. این تاج‌های موج، در محدوده‌ای از جهت‌های اطراف جهت غالب باد منتشر می‌شوند. وقتی که امواج در طول ناحیه‌ای که باد می‌وزد، منتشر می‌شوند، متوسط ارتفاع و پریود آن‌ها افزایش می‌یابد. پس از ترک ناحیه وزش باد، نیمرخ سطح آب صاف‌تر شده و تاج‌ها بزرگ‌تر و به سادگی بیشتری شناسایی می‌شوند. این انتشار آزادانه امواج معمولاً امواج دورا نامیده می‌شوند. وقتی امواج دورا منتشر می‌شوند، به دلیل مقاومت هوا و اصطکاک داخلی، ولی بیشتر به دلیل سرعت زاویه‌ای میدان موج، متوسط ارتفاع آن‌ها کاهش می‌یابد. همچنین پخش‌شدگی پریود رخ می‌دهد که باعث انتشار امواج بلند در جلوی امواج کوتاه‌تر در میدان امواج کوتاه‌تر در میدان امواج دورا می‌شود.



شکل ۳-۳- موج دورا

۳-۲-۱- تئوری موج منظم

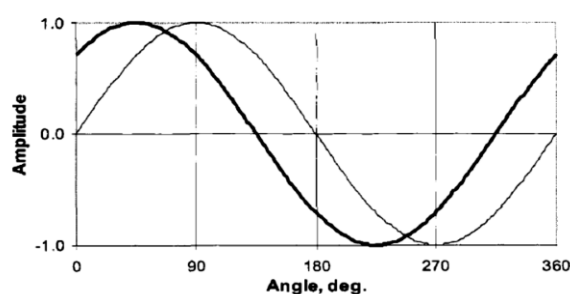
امواج منظم به امواجی گفته می‌شود که دارای مشخصات پریودی یکسانی برای هر سیکل را دارا هست. تئوری امواج منظم، ویژگی‌های یک سیکل از امواج منظم را توصیف می‌کند و ویژگی‌های آن از یک سیکل به سیکل دیگر ثابت هست. موج‌های دورا را می‌توان با این تئوری شبیه‌سازی نمود.

یکی از رایج‌ترین تئوری‌های موج‌های منظم، تئوری موج خطی هست که تئوری ایری نیز نامیده می‌شود. در این تئوری، ارتفاع سطح آزاد با مکان و زمان تغییر می‌کند. این نوع امواج شکل سینوسی دارند و پروفیل سطح آزاد را می‌توان با استفاده از فرمول زیر رسم نمود.

$$\zeta(x, t) = a \sin(kx - \omega t)$$

معادله ۳-۱

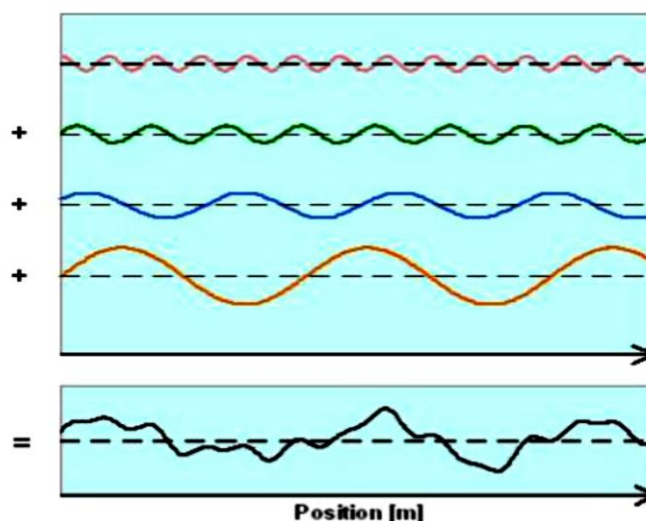
که در این معادله a دامنه موج، ω فرکانس نوسان موج، k عدد موج هست.



شکل ۳-۴- پروفیل سطح آب در موج خطی تئوری موج منظم

۳-۲-۲- تئوری موج غیرمنظم

در واقعیت، امواج تولید شده توسط باد، معمولاً مجموع چندین موج منظم هستند که وقتی باهم ترکیب می‌شوند موج‌های غیرمنظم را تولید می‌کنند، که پیچیدگی‌های بیشتری نسبت به موج‌های منظم دارند. برای اولین بار St. Denis & Pierson (1953) تئوری هیدرودینامیک موج‌های غیرمنظم را بیان نمود [31]. در شکل ۳-۵ نتیجه جمع کردن چند موج خطی سینوسی با طول موج، دامنه و فرکانس‌های مختلف مخصوص خودشان نشان داده شده است.

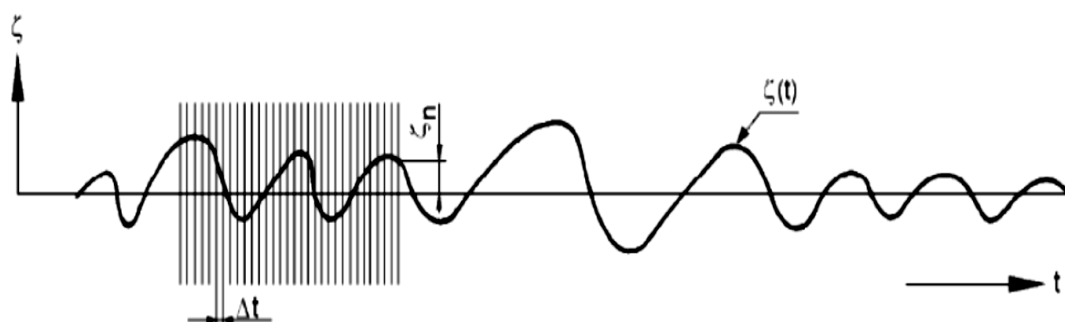


شکل ۳-۵- موج غیرمنظم تولید شده از مجموع چندین موج منظم

تئوری امواج نامنظم که ترکیبی از امواج منظم هستند با استفاده از معادله زیر بیان می‌شود.

$$\zeta(t) = \sum_{n=1}^N \zeta_{a_n} \cos(k_n x - \omega_n t + \varepsilon_n) \quad \text{معادله ۳-۲}$$

که در این معادله ζ_{a_n} مؤلفه دامنه موج ω_n ، (m) مؤلفه فرکانس دایره‌ای k_n ، (rad/s) مؤلفه عدد موج (rad/m) و ε_n مؤلفه زاویه فاز تصادفی (rad) هست.



شکل ۳-۶- ارتفاع موج برحسب زمان در امواج غیرمنظم

۳-۲-۳- طیف چگالی انرژی

با فرض یک تاریخچه زمانی برای موج، مانند شکل ۳-۶، تراز موج در یک طول کافی اما پریود دلخواه از فرمول زیر به دست می‌آید [32]:

$$\tau = N \cdot \Delta t \quad \text{معادله ۳-۳}$$

علاوه بر این فرض کنید که تراز موج لحظه‌ای، یک توزیع گاوسی (توزیع نرمال) با مقدار میانگین صفر دارد، که مطابق با توزیع آماری قابل قبول برای امواج است، با این شرط که محدوده فرکانس‌ها در یک میدان موج، خیلی زیاد نباشد.

دامنه ζ_{a_n} می‌تواند به وسیله آنالیز فوریه به دست بیاید. اگرچه برای کوچک‌ترین تغییر در زمان تاریخچه‌ای، یک سری جدید از دامنه ζ_{a_n} پیدا خواهد شد. بنابراین مقادیر متوسط مربع ζ_{a_n} بایستی در نظر گرفته شود:

$$\overline{\zeta_{a_n}^2}$$

هنگامی که $\zeta(t)$ یک سیگنال غیرمنظم بدون فرکانس‌های غالب است، مقادیر میانگین $\overline{\zeta_{a_n}^2}$ نزدیک به ω_n به صورت یک تابعی از فرکانس، خیلی تغییر نخواهد کرد. بنابراین $\overline{\zeta_{a_n}^2}$ یک تابع پیوسته است.

واریانس σ_{ζ}^2 برای این سیگنال برابر است با:

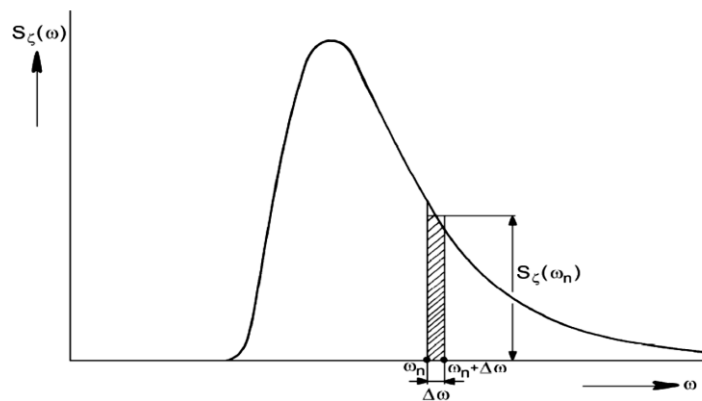
$$\begin{aligned} \sigma_{\zeta}^2 &= \overline{\zeta^2} \\ &= \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \zeta_n^2 = \frac{1}{N \cdot \Delta t} \sum_{n=1}^N \zeta_n^2 \cdot \Delta t \\ &= \frac{1}{\tau} \int_0^{\tau} \zeta^2(t) \cdot dt \\ &= \frac{1}{\tau} \int_0^{\tau} \left\{ \sum_{n=1}^N \zeta_{a_n} \cos(\omega_n t - k_n x + \varepsilon_n) \right\}^2 \cdot dt \\ &= \sum_{n=1}^N \frac{1}{2} \zeta_{a_n}^2 \end{aligned} \quad \text{معادله ۳-۴}$$

به منظور اینکه بررسی کنیم که چگونه انرژی در دریا در فرکانس‌های مختلف توزیع می‌شود، دامنه موج ζ_{a_n} در یک طیف موج $S_\zeta(\omega_n)$ به صورت فرمول زیر توصیف می‌شود:

$$S_\zeta(\omega_n) \cdot \Delta\omega = \sum_{\omega_n}^{\omega_n + \Delta\omega} \frac{1}{2} \zeta_{a_n}^2(\omega) \quad \text{معادله ۵-۳}$$

در این معادله $\Delta\omega$ تفاضل ثابت بین دو فرکانس متوالی است، همان‌طور که در شکل ۳-۷ مشاهده می‌شود، با ضرب کردن ρg (ρ چگالی آب است و g شتاب گرانشی زمین) این بیان برابر با انرژی در سطح واحدی از امواج دو فرکانس متوالی $\Delta\omega$ است. [32]

$$E_\omega = \frac{1}{2} \rho g \zeta_a^2 \quad \text{معادله ۶-۳}$$

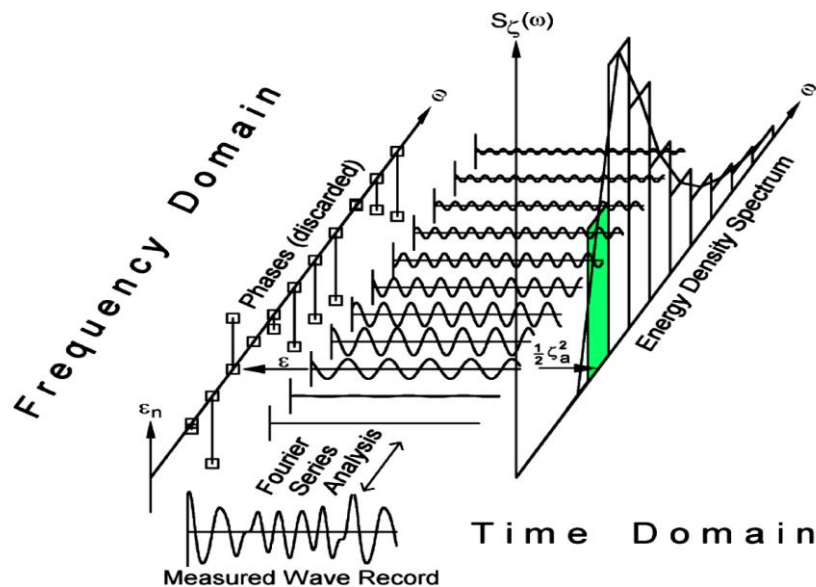


شکل ۳-۷- تعریف چگالی طیفی [32]

رابطه برای انرژی کل موج از تئوری پتانسیل به دست می‌آید. با فرض $\Delta\omega \rightarrow 0$ ، تعریف طیف انرژی موج $S_\zeta(\omega)$ از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$S_\zeta(\omega_n) \cdot d\omega = \frac{1}{2} \zeta_{a_n}^2 \quad \text{معادله ۷-۳}$$

در شکل زیر (شکل ۳-۸) یک تفسیر گرافیکی از طیف‌های موج و چگونگی ارتباط آن با امواج آورده شده است [32].



شکل ۳-۸- طیف چگالی انرژی [32]

همان‌طور که از شکل بالا مشاهده می‌شود هر موج غیرمنظم با استفاده از سری فوریه به موج‌های منظم با فرکانس‌ها و دامنه موج مخصوص خودش تقسیم‌بندی می‌شود و برای هر موج منظم یک مقدار طیف چگالی انرژی $S_z(\omega)$ با استفاده از معادله ۳-۷ محاسبه می‌گردد، حال با رسم مقادیر $S_z(\omega)$ نسبت به فرکانس همان موج ω ، نمودار طیف چگالی انرژی به دست می‌آید.

۴-۲-۳- مدل‌های طیفی موج

در سال‌های اخیر چندین طیف مختلف جهت بیان ویژگی‌های دریا با موج‌های نامنظم در مناطق مختلف توسعه داده شده است. یکی از عناصر اصلی در استخراج مدل‌های طیفی، دنباله فرکانس بالا هست. رفتار جزء فرکانس بالای طیف به وسیله تعادل انرژی برای موج‌های تولید شده به وسیله میدان‌های باد محلی مشخص می‌شود. به اصطلاح، محدوده تعادل، یک مفهوم مهم در شرح دادن تولید موج باد است. این بر این فرض بنا می‌شود که، باد به طور پیوسته به مدت طولانی بر روی محدوده بادخور طولانی می‌وزد و در نهایت امواج به حالت تعادل با باد خواهند رسید. انرژی امواج برای یک فرکانس داده شده به یک حد بالایی می‌رسد، در جایی که ورودی انرژی از باد به وسیله تلفات انرژی دیگر فرکانس‌ها یا شکست امواج به تعادل

برسد. این مفهوم برای اولین بار توسط Phillips (1958) بیان شده است [33]. نخستین و ساده‌ترین تلاش‌ها برای تولید طیف موج براساس مفهوم دریای کاملاً توسعه یافته، بنا شده است. طیف توسعه داده شده به وسیله Pierson & Moskowitz (1964) یک مثال از آن است [34]. آن‌ها از اندازه‌گیری‌های امواج توسط شتاب‌سنج‌های نصب شده بر روی کشتی‌های هواشناسی بریتانیا در آتلانتیک شمالی جهت توسعه آن طیف‌ها استفاده کردند. یک پروژه اندازه‌گیری طیف وسیع امواج در دریای شمال که به اسم پروژه مشترک دریای شمال^۱ (JONSWAP) مشهور است، در بازه زمانی ۱۰ هفته در سال ۱۹۶۸ و ۱۹۶۹ صورت پذیرفته است [35]. از آنالیز کردن اطلاعات جمع‌آوری شده، مشخص شد که طیف موج هرگز کاملاً توسعه یافته نیست، همان‌طور که توسط Pierson and Moskowitz فرض شده بود، اما برای اندرکنش غیرخطی بین امواج برای فاصله‌ها و زمان‌های بسیار طولانی ادامه خواهد یافت. طیف Pierson and Moskowitz بر اساس بادخور بینهایت تئوریکال بنا شده است. به عنوان یک بسط برای مدل Pierson-Moskowitz، طیف جانسواپ یک فاکتور تقویت اوج γ برای بیان شرایط بادخور محدود شده، معرفی کرده است. طیف جانسواپ شبیه طیف پیرسون ماسکوویچ است، با این تفاوت که در طیف جانسواپ امواج نسبت به زمان و مکان رشد می‌کنند، در صورتی که در طیف پیرسون ماسکوویچ امواج کاملاً توسعه یافته در نظر گرفته می‌شود. طیف جانسواپ یکی از رایج‌ترین طیف‌های مورد استفاده شده در دریای شمال هست. معادله طیف جانسواپ به صورت زیر هست.

$$S_j(f) = \beta(2\pi)^{-4} g^2 f^{-5} \cdot e^{(-1.25(\frac{f}{f_p})^{-4})} \cdot \gamma \exp(-0.5(\frac{f-f_p}{\sigma f_p})^2) \quad \text{معادله ۳-۸}$$

که در این معادله β عدد ثابت مربوط به محدوده تعادل، f فرکانس مؤلفه موج، f_p فرکانس اوج طیفی و γ فاکتور تقویت اوج هست. σ پارامتر عرض طیف نامیده می‌شود و برابر است با:

$$\sigma = 0.07 \quad \text{for } f \leq f_p$$

$$\sigma = 0.09 \quad \text{for } f > f_p$$

¹ the Joint North Sea Wave Project

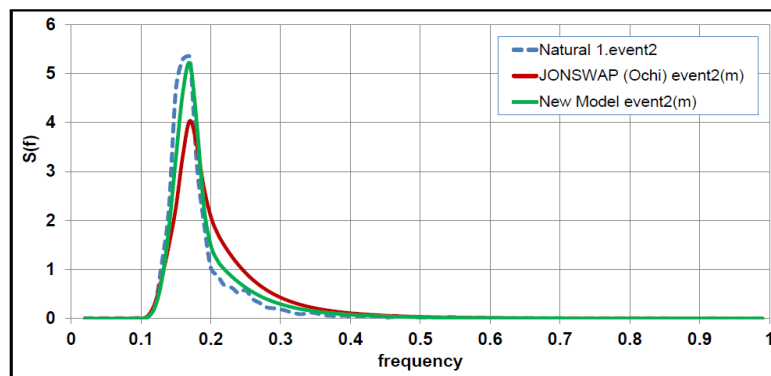
در طیف جانسواپ، ضریب γ معمولاً مقادیری بین ۱.۶ تا ۶ دارد اما برای استفاده عمومی عدد ۳.۳ توصیه می‌شود.

۵-۲-۳- مدل طیفی استفاده شده در تحقیق

Niroomand و همکارانش (2014) با بررسی و تجزیه و تحلیل اطلاعات اندازه‌گیری شده توسط بویه‌های سازمان بنادر در خلیج فارس، توانستند طیف موج منطقه خلیج فارس را با واقعیت بیشتری استخراج کنند و معادله زیر را برای طیف پیشنهاد داده (طیف PG^1) ارائه بدهند.

$$S(f) = AH_s^2 \frac{f_p^4}{f^5} e^{B(f_p/f)^4} \gamma e^{-\frac{(f-f_p)^2}{2\sigma^2 f_p^2}} \quad \sigma = \begin{cases} \sigma_1 & f < f_p \\ \sigma_2 & f \geq f_p \end{cases}$$

معادله ۳-۹

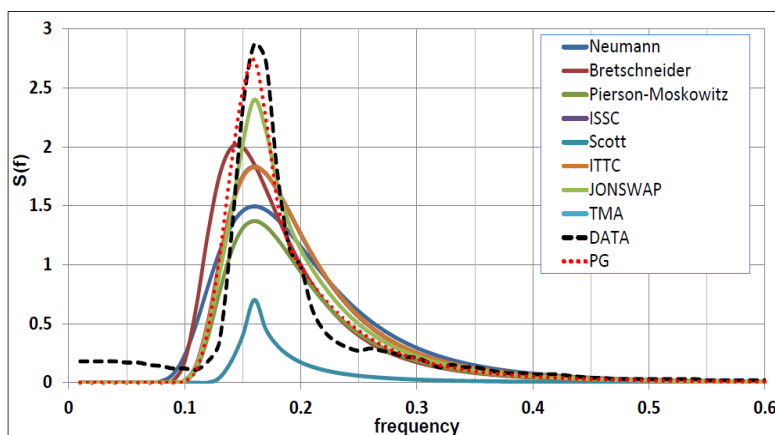


شکل ۳-۹- تفاوت بین طیف جانسواپ، طیف مدل جدید (PG) برای خلیج فارس و داده‌های اندازه‌گیری شده

[36]

طبق تحقیقات انجام شده توسط مهندس نیرومند و همکارانش [36] مطابق با شکل ۳-۱۰ طیف جانسواپ نسبت به طیف‌های دیگر نزدیکی بیشتری به طیف استخراج شده (طیف PG) از داده‌های اندازه‌گیری در خلیج فارس را دارد.

¹ Persian Golf

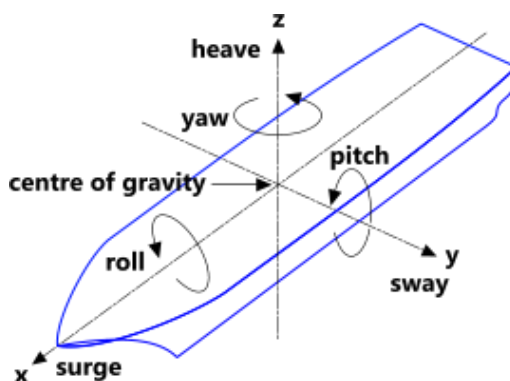


شکل ۳-۱۰- تفاوت بین طیف‌های رایج در دنیا با طیف استخراج شده (PG) از داده‌های واقعی در خلیج فارس [36]

در تحقیق حاضر جهت بررسی هیدرودینامیکی پایه‌های پل شناور از طیف جانسواپ استفاده شده است.

۳-۳- حرکت‌های جسم شناور

یک جسم شناور بدون محدودیت‌ها در ۶ درجه آزادی قابلیت حرکت دارد. با توجه به شکل زیر حرکت شناور به سه دسته کلی تقسیم‌بندی می‌شود:



شکل ۳-۱۱- درجات آزادی و حرکت شناور

سه حرکت انتقالی شامل:

۱- جلو و عقب رفتن شناور حول محور x که Surge نامیده می‌شود.

۲- چپ و راست رفتن شناور حول محور y که Sway نامیده می‌شود.

۳- بالا پایین رفتن شناور حول محور z که Heave نامیده می‌شود.

سه حرکت چرخشی شامل:

۱- چپ شدن شناور محور x که Roll نامیده می‌شود.

۲- اوج گرفتن شناور حول محور y که Pitch نامیده می‌شود.

۳- پیچیدن شناور در سطح آب حول محور z که Yaw نامیده می‌شود.

مشخصات حرکت شناورها در امواج معمولاً توسط توابع انتقال به صورت عملگر دامنه پاسخ‌ها^۱ (RAOs) تعریف می‌شود. جابجایی RAOs، حرکت تک جهت شناور در برابر پاسخ امواج را تعریف می‌کند. بنابراین مقدار آن برابر با حاصل نسبت دامنه حرکت شناور به دامنه موج است. مقدار RAO منفرد بیان‌کننده نسبت درجه خاصی از آزادی برای امواجی با پریود خاص در یک جهت تعریف شده هست. هر مقدار RAO بستگی به یک تغییر فاز متناظر خواهد داشت که زمان پاسخ شناور مربوط به موج را تعریف می‌کند.

RAOs برای حرکت‌های انتقالی، بی‌بعد هستند، به این دلیل که دامنه حرکت و دامنه موج هر دو با واحد متر داده می‌شوند. به عنوان مثال برای مقدار RAO برای حرکت از نوع جلو و عقب رفتن شناور حول محور x (Surge) برابر با ۰.۵ درجایی که دامنه موج ۲ متر است، بدان معنی است که حرکت جلو عقب شناور بین ۱- متر و ۱+ متر در یک موقعیت استاتیک هست.

RAOs برای حرکت‌های چرخشی با واحد درجه بر متر بیان می‌شود. به عنوان مثال برای مقدار RAO برای حرکت از نوع اوج گرفتن شناور حول محور y (Pitch) برابر با $0.5^\circ/m$ درجایی که دامنه موج ۲ متر است، بدان معنی است که حرکت اوج گرفتن شناور بین 1° و $1^\circ+$ هست.

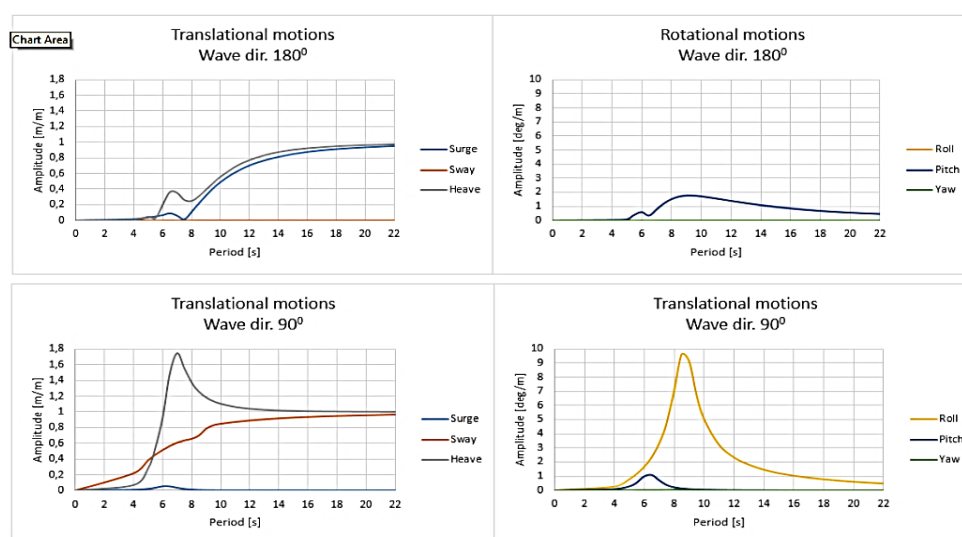
¹ Response Amplitude Operators

تعریف جابجایی RAOs در جدول زیر آورده شده است:

جدول ۱-۳ تعریف جابجایی RAOs برای شش درجه آزادی

Motion	Surge	Sway	Heave	Pitch	Roll	Yaw
RAO definition	$\frac{x_a}{\zeta_a}$	$\frac{y_a}{\zeta_a}$	$\frac{z_a}{\zeta_a}$	$\frac{\theta_a}{\zeta_a}$	$\frac{\phi_a}{\zeta_a}$	$\frac{\psi_a}{\zeta_a}$

مشخصات حرکت وابسته به طراحی شناور هست، همه انواع شناورها مقادیر RAOs منحصر به فرد خودشان را دارند. بنابراین یک شناور خاص به صورت معمول، مقادیر RAO تعریف شده برای آب‌خورهای^۱ متفاوت که متأثر از مشخصات حرکت است خواهد داشت. مقادیر RAO می‌تواند به روش‌های مختلف بیان شود، اما با مقادیر تعریف شده برای تعداد کافی از پریودهای موج می‌تواند به صورت گرافیکی مثل شکل ۱۲-۳ نشان داده شود.



شکل ۱۲-۳ مثالی از نمودارهای RAOs برای یک نمونه شناور

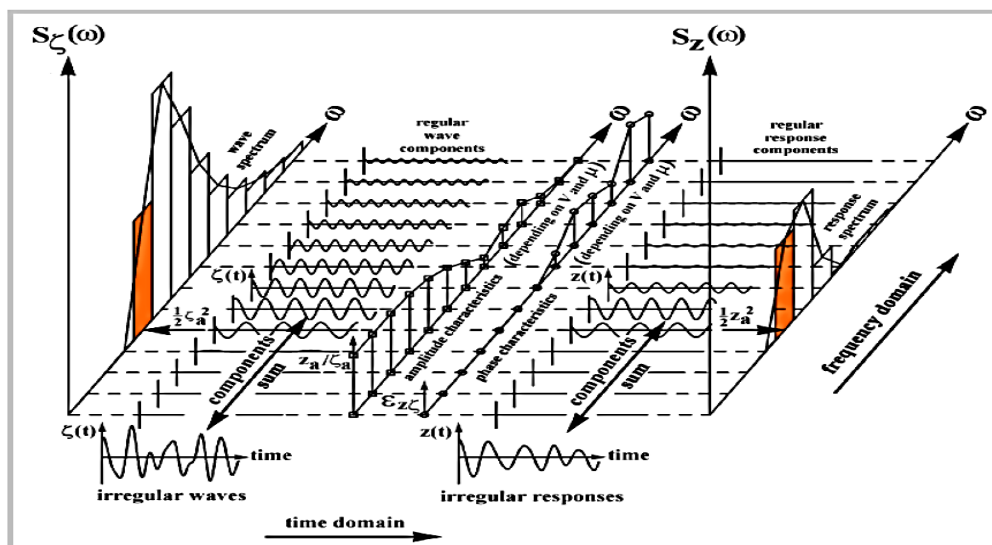
نمودارهای مربوط به شکل ۱۲-۳ مربوط به یک نفت‌کش به طول ۱۰۳ متر است که توسط نرم‌افزار ORCA Flex شبیه‌سازی شده است. همان‌طور که از نمودارها مشاهده می‌شود، مادامی که موج با زاویه ۱۸۰ درجه با کشتی برخورد می‌کند، حرکت انتقالی به وجود آمده در شناور از نوع Surge و Heave هست و مقدار حرکت

¹ draft

Sway صفر هست و منجر به حرکت چرخشی از نوع Pitch می‌شود و حرکت‌های چرخشی از نوع Roll و Yaw در آن صفر است. مادامی‌که موج با زاویه ۹۰ درجه با کشتی برخورد می‌کند، شرایط با حالت ۱۸۰ درجه کاملاً متفاوت هست. در این حالت حرکت انتقالی از نوع Sway و Heave هست و مقدار Surge ناچیز هست و در حالت حرکت چرخشی Roll و Pitch قابل‌توجه می‌باشند و مقدار Yaw برابر با صفر هست.

۱-۳-۳- پاسخ شناور در امواج غیرمنظم

امواج غیرمنظم وارده بر روی یک شناور، منجر به پاسخ نامنظم شناور خواهد شد. همان‌طور که امواج غیرمنظم می‌تواند به صورت مجموع تعدادی موج منظم هماهنگ توصیف شود، پاسخ شناور نیز در امواج نامنظم حاصل مجموعه‌ای از پاسخ همه اجزا حالت‌های دریا خواهد بود. در شکل ۳-۱۳ این اصل برای حرکت از نوع heave نشان داده شده است.



شکل ۳-۱۳- تبدیل امواج به پاسخ شناور [32]

در شکل بالا قسمت سمت چپ، معرف تاریخچه موج نامنظم که مجموعه‌ای از اجزا موج منظم است، می‌باشد. هر موج نامنظم می‌تواند به یک جزء heave منظم به وسیله‌ی یک ضرب با مقدار $z_a(t)$ RAO تبدیل شود. تاریخچه heave غیرمنظم $z(t)$ به وسیله اضافه کردن اجزاء heave منظم به دست می‌آید.

به همان صورت که امواج غیرمنظم به وسیله یک طیف انرژی موج تعریف می‌شد، پاسخ‌های شناور نیز می‌تواند به وسیله‌ی طیف انرژی تعریف شوند. رسم مقدار $\frac{1}{2}z_a^2(\omega)/\Delta\omega$ برای هر جزء heave روی محور ω در سمت راست منتج به طیف پاسخ heave می‌گردد $S_z(\omega)$ [32]

۴-۳- بارگذاری هیدرودینامیکی

اندرکنش بین آب و یک جسم فرورفته در منطقه موج، منجر به تولید نیروهای هیدرودینامیکی می‌شود. در کل، نیروهای هیدرودینامیکی تولید شده توسط امواج با در نظر گرفتن پاسخ جسم عبارت‌اند از: (DNV, 2011 b, p. 27)

- نیروی شناوری F_B ¹
- نیروی اینرسی F_I ²
- نیروی دراگ F_D ³
- نیروی میراگر موج F_{wd} ⁴
- نیروی محرکه موج F_{we} ⁵
- نیروی کوبش F_S ⁶
- نیروی خروج آب F_E ⁷

موردی که DNV از آن به عنوان نیروهای محرکه موج نام می‌برد، بارهای داخل یک سازه است که از هر پاسخ حرکت در زمانی که در معرض امواج قرار دارد ممانعت می‌کند. در کل زمانی که یک جسم در

¹ buoyancy force

² inertia force

³ drag force

⁴ wave damping force

⁵ wave excitation force

⁶ slamming force

⁷ water exit force

مجاورت یک سطح آزاد حرکت می‌کند، امواج سطحی تولید خواهند شد. انرژی این امواج به عنوان یک میراگر در برابر حرکت جسم عمل می‌کنند.

۱-۴-۳- نیروی شناوری

نیروی شناوری برای یک جسم مغروق بر اساس اصل ارشمیدس، وزن جسم برابر با آب جابجا شده به صورت زیر بیان می‌شود:

$$F_B(t) = \rho g V(t) \quad [N] \quad \text{معادله ۳-۱۲}$$

که در این معادله $V(t)$ حجم آب جابجا شده لحظه‌ای است. اگر مرکز شناوری به صورت عمودی بالای مرکز ثقل نباشد، نیروی شناوری منجر به ایجاد گشتاور چرخشی روی جسم بلند شده خواهد شد. وزن غوطه‌وری جسم به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$W(t) = W_0 - F_B(t) = [M - \rho V(t)].g \quad [N] \quad \text{معادله ۳-۱۳}$$

برای یک جسم، مانند پل شناور، نیروی شناوری در واحد طول در حالت کاملاً غوطه‌ور از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$F_{B,riser} = \rho g \cdot \frac{\pi}{4} D_0^2 \quad [N/M] \quad \text{معادله ۳-۱۴}$$

که در این معادله D_0 عرض پایه پل هست.

۲-۴-۳- نیروی اینرسی و دراگ

اینرسی و دراگ به ترتیب اجزاء نیروی مربوط به شتاب ذره آب و سرعت ذره آب وارده بر جسم هستند. نیروهای وارده از طرف امواج بر روی اشیاء لاغر استوانه‌ای، معمولاً توسط معادله مورینسن^۱ بیان می‌شود [37]. معادله مورینسن در اصل برای محاسبه بارهای موج در شمع^۲ های عمودی که از تاج موج بیرون زده، هست.

¹ Morison's equation

² pile

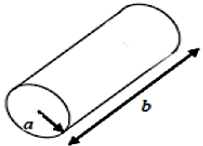
در طول سال‌ها این معادله برای انواع مختلف اشیاء لاغر و برای اعضای که سطح مقطع کوچک‌تری نسبت به طول موج دارند مورد استفاده قرار گرفته است. معادله حاصل از مجموع نیروی اینرسی و نیروی دراگ در واحد طول در یک استوانه به صورت زیر هست:

$$f_w = f_M + f_D = \frac{\pi D_0^2}{4} \cdot \rho \cdot \dot{u} \cdot c_M + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot C_D \cdot D_0 \cdot u \cdot |u| \quad \text{معادله ۳-۱۵}$$

در این معادله f_w نیروی سیال در واحد طول، f_M نیروی اینرسی در واحد طول، f_D نیروی دراگ در واحد طول، u سرعت ذره آب، $\dot{u}$ شتاب ذره آب، c_M ضریب اینرسی و C_D ضریب دراگ هست.

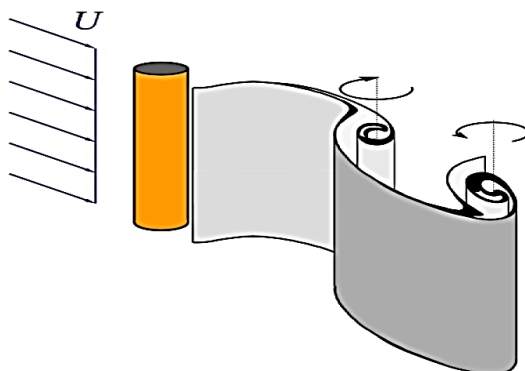
اجزاء نیروی اینرسی: نیروی اینرسی متناسب با شتاب سیال است، که در اینجا قسمت $\frac{\pi D_0^2}{4} \cdot \rho \cdot \dot{u}$ به عنوان پارامتر فرود-کریولف^۱ شناخته می‌شود. این نیرو بهتر درک می‌شود وقتی که استوانه مورد نظر به وسیله حجم معادل آب $\frac{\pi D_0^2}{4} \cdot \rho$ جایگزین شده باشد، به طوری که جرم در واحد طول یک استوانه آب در معرض یک شتاب $\dot{u}$ قرار گیرد. به عبارت دیگر به صورت تجربی نیرو برابر با $\frac{\pi D_0^2}{4} \cdot \rho \cdot \dot{u}$ می‌شود. اگر استوانه فیزیکی دوباره جایگزین شود، همان نیرو باید به آن نیز وارد شود. ضریب اینرسی c_M ، یک ضریب بدون بعد جهت اعمال اثر اضافه کردن جرم استوانه لحاظ می‌گردد. جرم اضافه شده، نیروی اضافی مربوط به اعوجاج جریان سیال به خاطر وجود بدنه است. این یک عدد ثابت است که به شکل بدنه و جابجایی آن مرتبط هست. استاندارد DNV مطابق جدول زیر مقادیری برای این ضریب با توجه به ابعاد استوانه ارائه داده است.

جدول ۳-۲- مقادیر ضریب جرمی برای یک استوانه ارائه شده توسط استاندارد (DNV, 2011 b, p. 142)

Body shape		Direction of motion	C_A		V_R
			$b/2a$	C_A	
Right circular cylinder		Vertical	1.2	0.62	$\pi a^2 b$
			2.5	0.78	
			5.0	0.90	
			9.0	0.96	
			∞	1.00	

¹ Froude-Krylov

اجزاء نیروی دراگ: اجزاء نیروی دراگ در معادله مورپسن ناشی از گرداب‌های^۱ تولید شده در جریان حول جسم است [38]. شکل ۳-۱۴ نشان می‌دهد که چگونه گرداب‌ها پشت یک استوانه تشکیل می‌شوند.



شکل ۳-۱۴- گرداب‌های تولید شده توسط جریان سیال پشت یک استوانه [39]

تحلیل جریان‌های گردابی^۲ بسیار پیچیده هست، بنابراین از روابط تجربی برای بیان نیروهای دراگ استفاده می‌شود. نتیجه یک آزمایش ارزشمند نشان داده که نیروی دراگ، توسط یک رابطه متناسب با مربع سرعت جریان قابل نشان دادن است. [39] جزء دیگر نیروی دراگ ضریب دراگ هست که با C_D در معادله ۳-۱۵ نشان داده شده است.

۳-۴-۳- نیروی کوبش و خروج آب

نیروهای کوبش، بارهای ضربه‌ای با فشارهای بالا هستند که در اثر تماس آب با بدنه اتفاق می‌افتد. برای مثال هنگامی که جسم وارد منطقه موج می‌شود [40]، در زمان تماس بین بدنه و سطح آزاد آب، سیال یک تخلخلی را به وجود می‌آورد که منجر به این می‌شود که جرم سیال شتاب گرفته و به سمت دور از بدنه پیشروی کند. این بدان معنی است که نیروی وارد بر پشت بدنه برابر با مقداری است که بتواند جرمی از سیال را تولید و به آن شتاب دهد.

¹ vortices

² Eddy currents

بر طبق *DNV, 2011 b, p. 33*، نیروی کوبش بر روی یک جسم با یک سرعت کوبش ثابت v_s (با فرض مثبت بودن) در آب راکد می‌تواند به صورت نرخ تغییر مومنتم سیال به صورت زیر بیان شود:

$$F_s(t) = v_s \frac{dA_{33}^{\infty}(t)}{dt} \quad [N] \quad \text{معادله ۳-۱۶}$$

در این معادله $A_{33}^{\infty}(t)$ ، *heave* محدود با فرکانس بالای لحظه‌ای اضافه شده به جرم است. با احتساب این فرض که شتاب‌های محلی سیال مربوط به ورودی آب در جسم خیلی بیشتر از شتاب گرانشی است.

نیروی خروج آب، مربوط به جرم اضافه شده است و در کل برای اشیاء بلند شده به خارج از آب تعریف می‌شود. جرم اضافه شده *heave* به صورت شیئی که به سطح نزدیک می‌شود افزایش پیدا می‌کند. لذا، نیروی خروج آب به سمت پایین، در خلاف جهت سرعت خروج عمل می‌کند. بر طبق استاندارد *DNV, 2011 b, p. 35*، نیروی خروج آب $F_E(t)$ در یک جسم بلند شده در نزدیکی سطح آزاد آب با سرعت ثابت بلند کردن v_e (با فرض مثبت بودن) در آب راکد می‌تواند به وسیله نرخ تغییر انرژی جنبشی سیال از رابطه زیر به دست آید:

$$v_e F_E(t) = -\frac{dE_k}{dt} \quad \left[\frac{Nm}{s} \right] \quad \text{معادله ۳-۱۷}$$

$$E_k = \frac{1}{2} A_{33}^0 v_e^2 \quad [NM]$$

که در این معادله A_{33}^0 ، *heave* محدود با فرکانس پایین لحظه‌ای اضافه شده به جرم است. با احتساب این فرض که شتاب‌های محلی سیال مربوط به ورودی آب در جسم خیلی کمتر از شتاب گرانشی است.

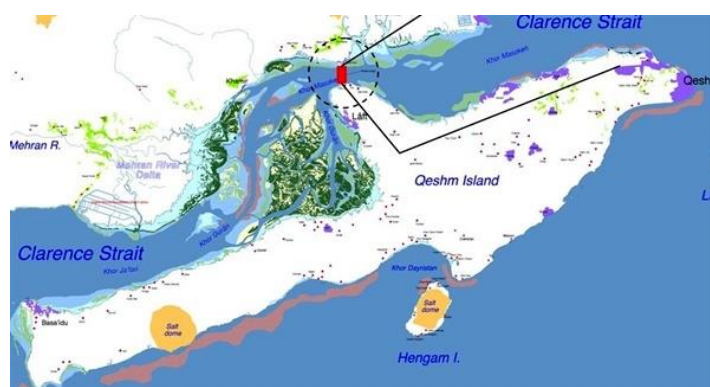
فصل چهارم: مدل سازی

۴-۱- مقدمه

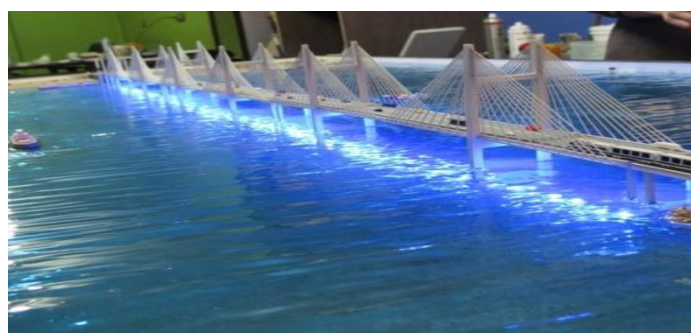
در فصل چهارم پایان نامه به شرح مورد مطالعاتی و نحوه راه اندازی مدل آزمایشگاهی و مدل عددی پرداخته شده است.

۴-۲- مورد مطالعاتی

مورد مطالعاتی تحقیق، پل خلیج فارس است که قرار است بندرعباس را به جزیره قشم اتصال دهد؛ این پل دارای سازه‌ای از نوع کابلی با سیستم ترکیبی با ۶ پایه اصلی است که عبور قطار و وسایل نقلیه از طریق یک خط آهن، ۴ باند اتومبیل (رفت و برگشت) و یک مسیر پیاده‌رو را که جمعاً برابر ۳۲ متر خواهد بود و همچنین عبور کشتی از زیر آن را فراهم می‌سازد، که در تحقیق حاضر شناور در نظر گرفته شده است.



شکل ۴-۱- جانمایی مورد مطالعاتی



شکل ۴-۲- پل خلیج فارس

۳-۴- راه اندازی مدل آزمایشگاهی

آزمایش‌های مربوط به این پایان‌نامه در آزمایشگاه ملی دریایی شهدای خلیج فارس واقع در شمال شرق تهران انجام شده است. آزمایشگاه خلیج فارس با رویکرد انجام کلیه تست های طراحی- مهندسی کشتی‌های تجاری، شناورهای پروازی و نیمه پروازی و کشتی‌های نظامی تأسیس شده است.

طراحی، خرید، نصب، راه اندازی و کالیبراسیون آزمایشگاه از معتبرترین شرکت‌های بین‌المللی و با استفاده از مدارک ITTC¹ انجام گردیده است. علاوه بر کالیبراسیون هر یک از وسایل اندازه‌گیری، کالیبراسیون کل آزمایش‌ها نیز بر اساس مدل‌های استاندارد صورت پذیرفته است.



شکل ۳-۴- آزمایشگاه ملی دریایی شهدای خلیج فارس

¹ International Towing Tank Conference

۴-۳-۱- مشخصات آزمایشگاه ملی دریایی شهدای خلیج فارس

مشخصات اصلی آزمایشگاه در جدول زیر آمده است.

جدول ۴-۱- مشخصات آزمایشگاه ملی دریایی شهدای خلیج فارس

طول حوضچه	۴۰۲ متر
عرض حوضچه	۶ متر
ارتفاع حوضچه	۴.۵ متر
عمق آب حوضچه	۴ متر
سرعت ماکزیمم ارابه	۱۹ متر بر ثانیه



شکل ۴-۲- آزمایشگاه ملی دریایی شهدای خلیج فارس

۲-۳-۴- مشخصات مدل فیزیکی

مدل فیزیکی با استفاده از چوب MDF ۳ میلی متری و ورق گالوانیزه به همراه سیلر آب پایه، هم رنگی سفید پوششی پایه آب و کیلر براق آب پایه مخصوص چوب ساخته شده است.

۱-۲-۳-۴- مشخصات هندسی مدل

در جدول زیر مشخصات هندسی مدل آزمایشگاهی و مدل واقعی آورده شده است.

جدول ۲-۴- مشخصات هندسی مدل آزمایشگاهی و مدل واقعی

ردیف	مشخصه (متر)	مدل واقعی	مدل آزمایشگاهی
۱	طول	57	1.9
۲	عرض	12	0.4
۳	ارتفاع	12	0.4
۴	شعاع انتها	6	0.2

جهت تبدیل ابعاد آزمایشگاهی به ابعاد واقعی از روابط موجود در شکل ۴-۵ می توان استفاده کرد:

Quantity	Scaling
Wave height and length	s
Wave period	$s^{0.5}$
Wave frequency	$s^{-0.5}$
Power density	$s^{2.5}$
Linear displacement	s
Angular displacement	l
Linear velocity	$s^{0.5}$
Angular velocity	$s^{-0.5}$
Linear acceleration	l
Angular acceleration	s^{-1}
Mass	s^3
Force	s^3
Torque	s^4
Power	$s^{3.5}$
Linear stiffness	s^2
Angular stiffness	s^4
Linear damping	$s^{2.5}$
Angular damping	$s^{4.5}$

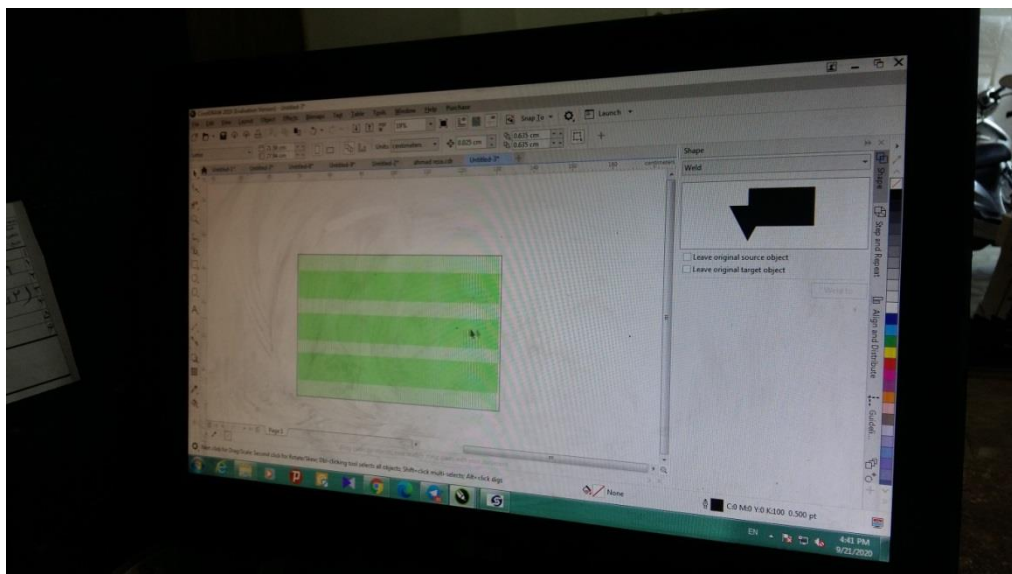
شکل ۴-۵- ابعاد مقیاسی جهت تبدیل ابعاد آزمایشگاهی به ابعاد واقعی



شکل ۴-۶- ابعاد هندسی مدل آزمایشگاهی

۲-۳-۴- روش ساخت مدل

- وارد کردن مشخصات هندسی مدل به دستگاه CNC



شکل ۴-۷- صفحه نمایش دستگاه برش CNC

- برش قطعات با استفاده از دستگاه CNC



شکل ۴-۸- دستگاه برش CNC

- سرهم کردن قطعات برش خورده به هم



شکل ۴-۹- مرحله سرهم کردن مدل آزمایشگاهی



شکل ۴-۱۰- وضعیت سرهم شدن نهایی مدل آزمایشگاهی

- رنگ آمیزی و اصلاحات نهایی



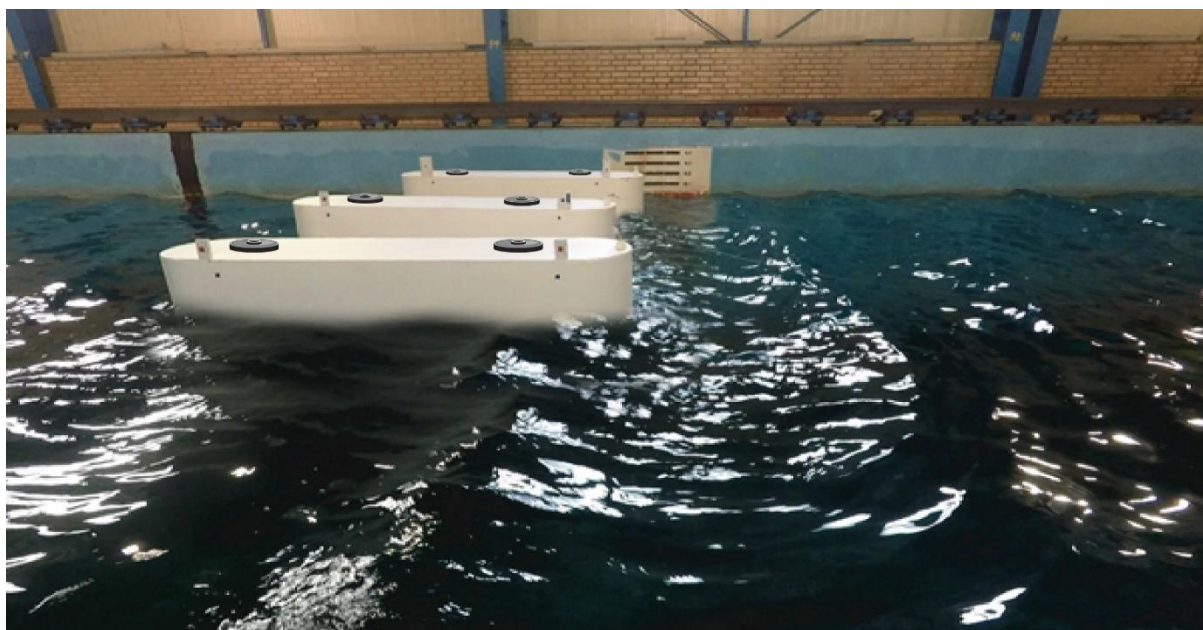
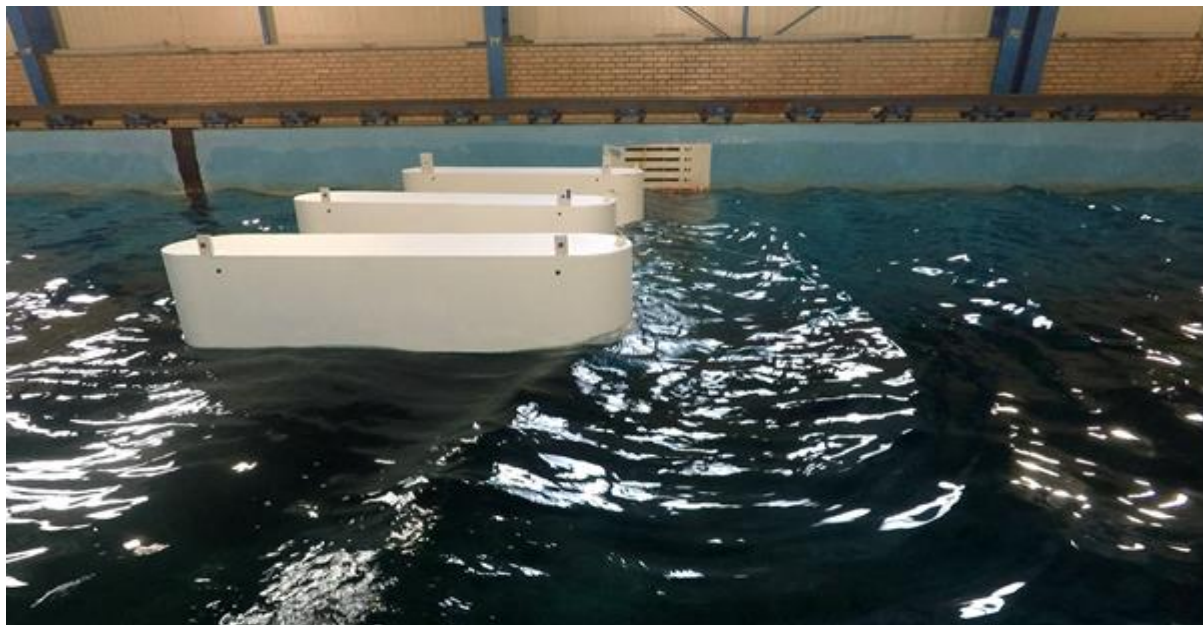
شکل ۴-۱۱- مدل آزمایشگاهی بعد از رنگ آمیزی

- به آب اندازی مدل و شبیه سازی بار گذاری در آزمایشگاه

با توجه به طرح موجود ولی اجرا نشده پل خلیج فارس و اطلاعات موجود از سازه پل، وزن کل سازه عرشه پل ۳۵۰۰۰ تن لحاظ شده است [41]. اگر طول پل را ۳ کیلومتر در نظر بگیریم، میزان بار وارده در هر کیلومتر پل برابر است با ۱۱۶۶۷ تن که با تبدیل ابعاد، در هر متر ۱۱۶۶۷ کیلوگرم بار وارد می شود. با تبدیل مقیاس ۱:۳۰ در آزمایشگاه، میزان بار وارده در هر متر حدوداً برابر است با ۰.۵ کیلوگرم که جهت برآورده نمودن انتظارات در فضای آزمایشگاهی و با توجه به ۶ متر عرض حوضچه، باید بار متمرکز ۳ کیلوگرم به مدل وارد شود که با توجه به نوع آزمایش در حالت های یک پانتون، دو پانتون و سه پانتون، این بار اعمال گردید. به عنوان نمونه با توجه به شکل ۴-۱۲ در حالت سه پانتون، بر روی هر پانتون از دو وزنه ۰.۵ کیلوگرمی در مجموع ۱ کیلوگرم استفاده شد.

به آب اندازی مدل در دو حالت، یکی بدون قرارگیری بار عرشه پل روی سازه و تنها بر اثر وزن خود پانتونها و دیگری با شبیه سازی بار عرشه پل به صورت بار متمرکز انجام شد که حالت اول آبخور ۵ سانتی متری و حالت دوم آبخور ۲۰ سانتی متری (نصف ارتفاع پانتون) را حاصل نمود. با توجه به انواع بارهای وارد بر یک سازه شناور که شامل بارهای عملکردی (مرده و زنده)، بارهای محیطی (باد، موج، جریان، زلزله و ...)، بارهای

تغییر شکل (بار گرمایی) و بارهای مهاربندی (مورینگ و ...) می باشد، تمرکز اصلی ما بر بارهای محیطی از نوع موج بوده است، بدین جهت در ادامه و در فصل پنجم، نتایج حالت اول ارائه شده است.

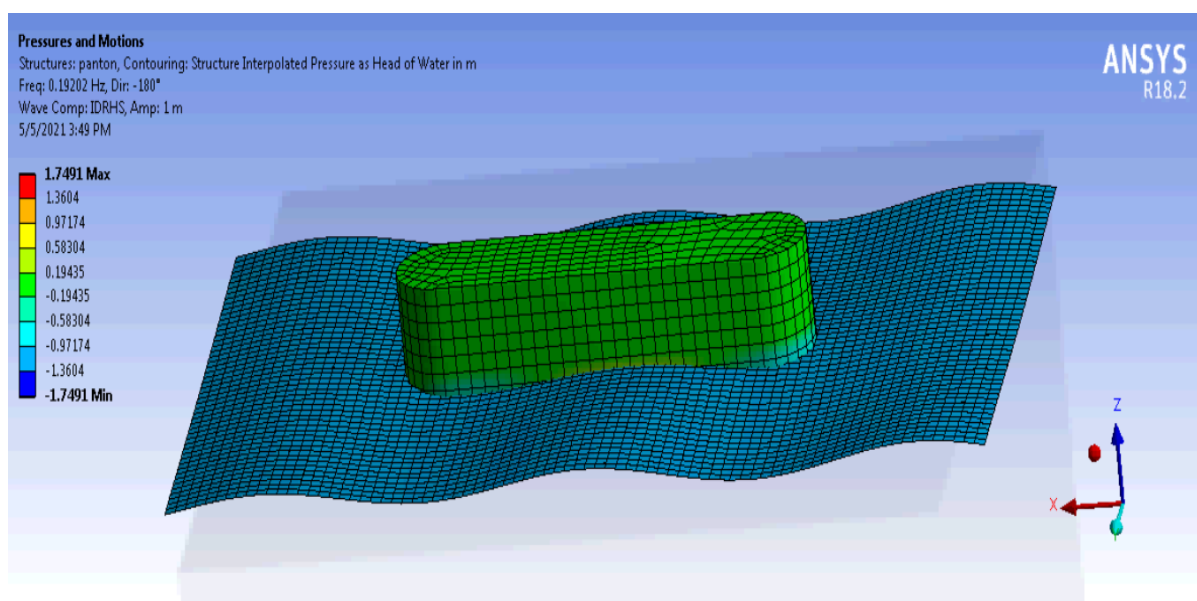


شکل ۴-۱۲- شبیه سازی آزمایشگاهی در حالت های بدون بارگذاری و همراه با بارگذاری در حالت سه پانتون نحوه اتصال پانتون ها به یکدیگر از طریق یک محور طولی می باشد، که سازوکاری لولایی دارد و موجب بالا و پایین شدن پانتون ها در صفحه عمودی می گردد و رفتار هریک بر رفتار دیگری تاثیر گذار است.

۴-۴- راه اندازی مدل عددی

۴-۴-۱- نرم افزار مدل عددی

مدل سازی عددی حرکت پانتون های پل شناور توسط نرم افزار ANSYS AQWA نسخه ۱۸.۲ انجام شده است. این نرم افزار قابلیت شبیه سازی استاتیک، دینامیک، هیدرودینامیک و پاسخ سازه در شرایط محیطی دریا را دارد.

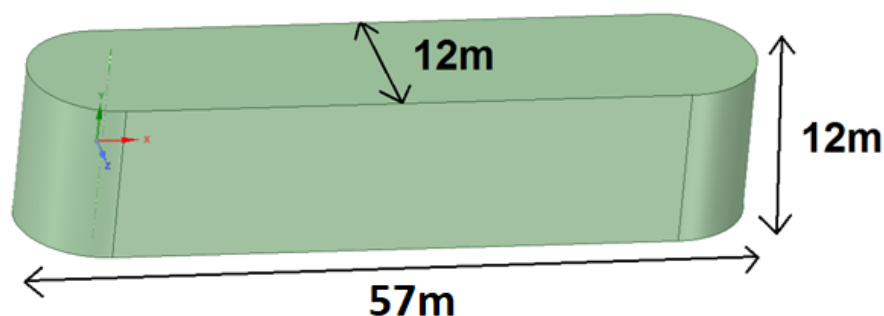


شکل ۴-۱۳- نرم افزار ANSYS 18.2

۴-۴-۲- مشخصات مدل عددی

مدل عددی مطابق با مشخصات مدل اصلی در نرم افزار Ansys Aqwa مدل سازی شده است.

۴-۴-۲-۱- مشخصات هندسه مدل

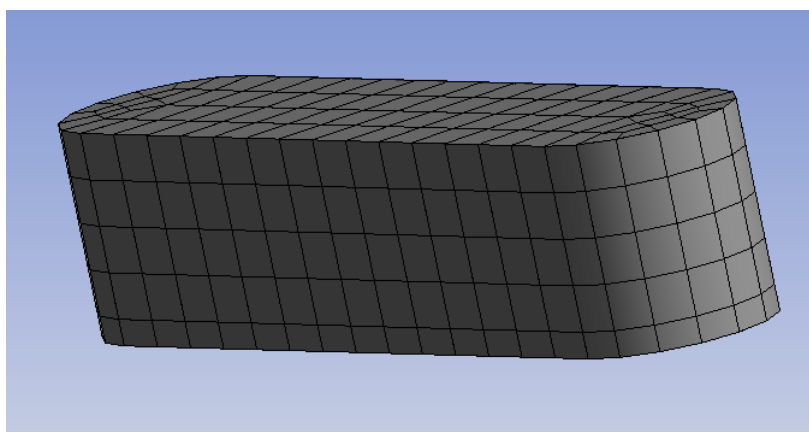


شکل ۴-۱۴- ابعاد هندسی پانتون مدل عددی

۴-۴-۲-۲- مش بندی

جواب های بدست آمده از حل یک مساله به روش المان محدود، همواره به سائز مش و اندازه المان های مورد استفاده وابسته می باشد. به دلیل وابستگی نتایج حل المان محدود به سائز مش استفاده شده، همواره باید در نواحی از مدل که مقادیر تنش، کرنش، فشار تماسی (contact pressure) و یا هر پارامتر دیگری که باید به طور دقیق محاسبه گردد، همگرایی مش چک شود. بهبود سائز مش باید به گونه ای هوشمندانه انجام شود تا سبب افزایش شدید حجم محاسبات نشود. از آنجایی که معمولاً فرآیند پیش پردازش و پردازش در این پروژه به شدت زمان بر بود، از همان ابتدا با اتخاذ داده پیش فرض نرم افزار و استفاده از شهود فیزیکی، مش ایجاد شده را استفاده و تنها یکبار عملیات تحلیل انجام شد.

Details of Mesh	
Defaults	
Control Type	Basic Controls
Mesh Parameters	
Defeaturing Tolerance	2 m
Maximum Element Size	5 m
Maximum Allowed Frequency	0.271 Hz
Meshing Type	Program Controlled
Generated Mesh Information	
Total Nodes	792
Total Elements	788
Diffraction Nodes	310
Diffraction Elements	264
Line Body Nodes	0
Line Body Elements	0
Field Points	0



شکل ۴-۱۵- مشخصات مش بندی

تمامی مراحل تحلیل نرم افزاری بر اساس گام های تعبیه شده در نرم افزار جهت تحلیل یک سازه شناور، صورت گرفت. به این صورت که در ابتدا تنظیمات مش بندی سازه و سپس تنظیمات آنالیز تفرق و تنظیمات آنالیز پاسخ، بررسی و اعمال گردید.

۳-۲-۴- تنظیمات آنالیز تفرق^۱

در سازه‌های حجیم، روابط موريسون به منظور انجام محاسبه نیروهای وارد بر سازه و همچنین تحلیل‌های دینامیکی صادق نیست و لازم است که از تئوری تفرق در محاسبه نیروهای وارد بر سازه و تحلیل دینامیکی آن‌ها استفاده گردد.

Details of Analysis Settings	
Name	Analysis Settings
Parallel processing	Program Controlled
Generate Wave Grid Pres...	Yes
Wave Grid Size Factor	2
Common Analysis Options	
Ignor Modelling Rule Viol...	Yes
Calculate Extreme Low/Hi...	Yes
Include Multi-Directional...	Yes
Near Field Solution	Program Controlled
Linearized Morison Drag	No
QTF Options	
Calculate Full QTF Matrix	No
Output File Options	
Full QTF Matrix	No
Field Point Wave Elevation	Yes
Source Strengths	No
potentials	No
Centroid Pressures	No
Element Properties	No
ASCII Hydrodynamic Data...	No
Example of Hydrodynamic...	No

شکل ۴-۱۶- تنظیمات آنالیز تفرق

¹ Diffraction

۴-۴-۲-۴- تنظیمات آنالیز پاسخ

تحلیل دینامیکی برحسب زمان در گام زمانی و مدت زمان تعریف شده، لحاظ گردید.

Details of Analysis Settings	
Name	Analysis Settings
Computation Type	Time Response Analysis
Parallel Processing	Program Controlled
Use Cable Dynamics	Yes
Time Response Specific Options	
Analysis Type	Regular Wave Response
☐ Start Time	0.0 s
☐ Time Step	0.1 s
☐ Duration	1000 s
Number of Steps	10001
Finish Time	1000 s
Starting Position	Based on Geometry
X-Position for Wave Surface	0.0 m
Y-Position for Wave Surface	0.0 m
Common Analysis Options	
Convolution	Yes
Call Routine "user_force"	No
Use Linear Starting Conditions	No
Use Linear Stiffness Matrices	No
Account for Current Phases	Yes
Use Wheeler Stretching	Yes
Output File Options	
Axis System for Joint Reactions	Fixed Reference Axes
Data List	Yes
Element Properties	No

شکل ۴-۱۷- تنظیمات آنالیز پاسخ

فصل پنجم: نتایج و بحث

۵-۱- مقدمه

در فصل پنج پایان نامه به ذکر نتایج مدل های آزمایشگاهی و عددی پرداخته شده است. از نرم افزار Tracker جهت پردازش تصویر و تعیین میزان جابجایی های عمودی پانتون ها استفاده گردید.

۵-۲- سناریوهای آزمایش

در جدول زیر سناریوهای مربوط به نحوه انجام آزمایش ها آورده شده است.

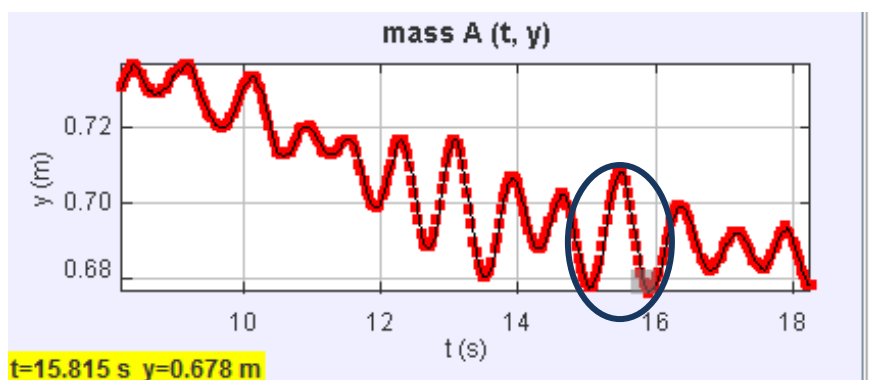
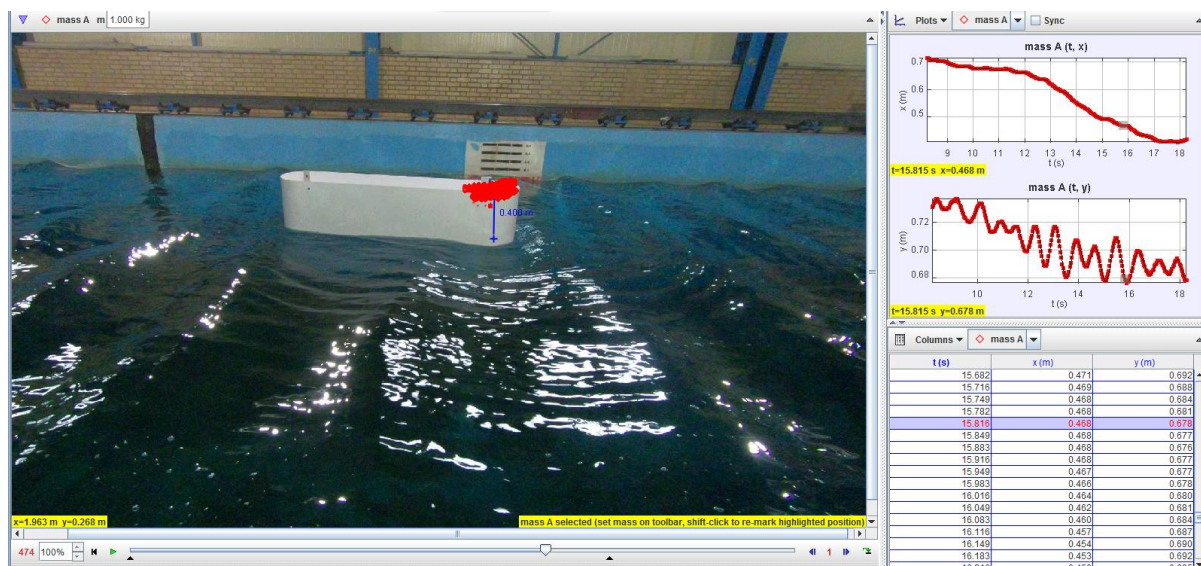
جدول ۵-۱- سناریوهای آزمایش های انجام شده روی مدل آزمایشگاهی

ردیف	شماره آزمایش	شرح آزمایش
۱	آزمایش اول	تعداد پانتون ۱ عدد، زاویه موج ۰ درجه، ارتفاع موج ۶ سانتیمتر، پریود موج ۰.۷۶
۲	آزمایش دوم	تعداد پانتون ۱ عدد، زاویه موج ۰ درجه، ارتفاع موج ۸ سانتیمتر، پریود موج ۰.۷۶
۳	آزمایش سوم	تعداد پانتون ۱ عدد، زاویه موج ۴۵ درجه، ارتفاع موج ۶ سانتیمتر، پریود موج ۱.۰۷۵
۴	آزمایش چهارم	تعداد پانتون ۲ عدد، زاویه موج ۰ درجه، ارتفاع موج ۶ سانتیمتر، پریود موج ۰.۷۶
۵	آزمایش پنجم	تعداد پانتون ۲ عدد، زاویه موج ۴۵ درجه، ارتفاع موج ۶ سانتیمتر، پریود موج ۱.۰۷۵
۶	آزمایش ششم	تعداد پانتون ۳ عدد، زاویه موج ۰ درجه، ارتفاع موج ۶ سانتیمتر، پریود موج ۰.۷۶
۷	آزمایش هفتم	تعداد پانتون ۳ عدد، زاویه موج ۴۵ درجه، ارتفاع موج ۶ سانتیمتر، پریود موج ۰.۷۶

۳-۵- نتایج آزمایشگاهی

۳-۵-۱- آزمایش اول (تعداد پانتون یک عدد) آبخور ۵ سانتیمتر، زاویه موج ۰ درجه با ارتفاع موج ۶ سانتیمتر و

پریود ۰.۷۶ ثانیه



شکل ۵-۱- آزمایش اول (تعداد پانتون ۱ عدد، زاویه موج ۰ درجه، ارتفاع موج ۶ سانتیمتر، پریود موج ۰.۷۶)

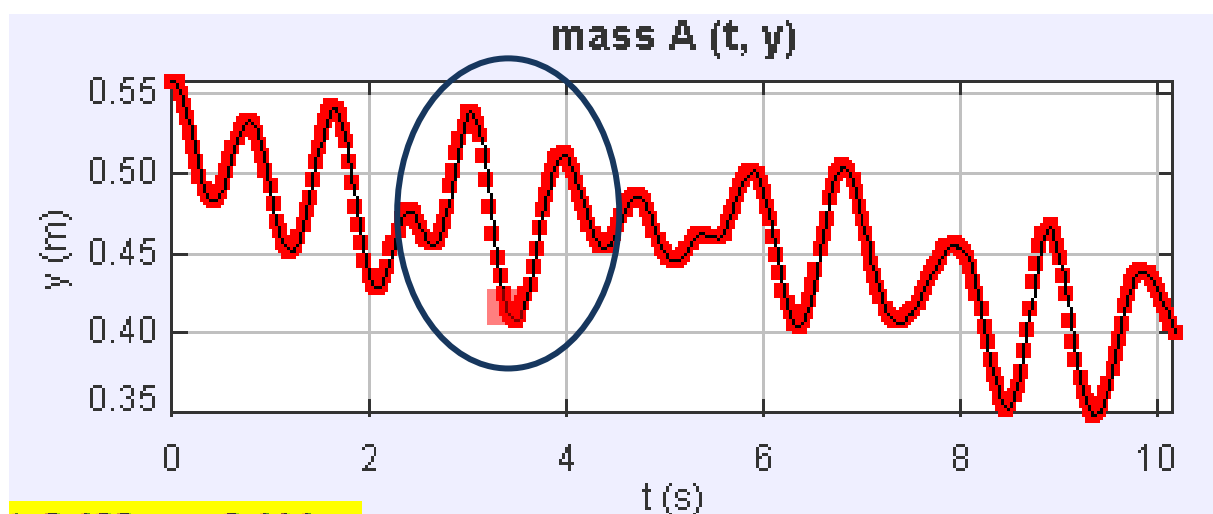
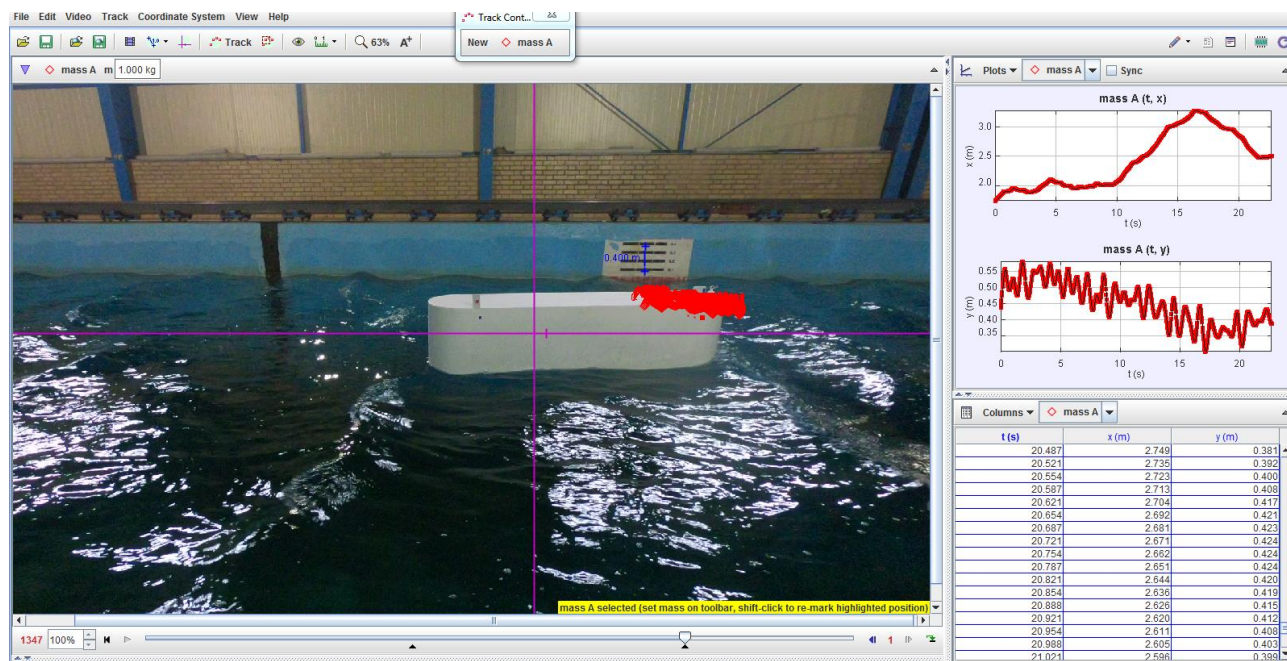
با خارج کردن قسمتی از نمودار که نتایج قابل اعتمادی دارد، نتایج زیر استخراج شده است:

همان طور که از نمودار بالا مشخص است، در محدوده مشخص شده کمترین جابجایی ۰.۶۷۶ متر و بیشترین

جابجایی ۰.۷۰۸ متر است که اختلاف جابجایی در آن برابر است با ۰.۰۳۲ متر در مدل آزمایشگاهی که

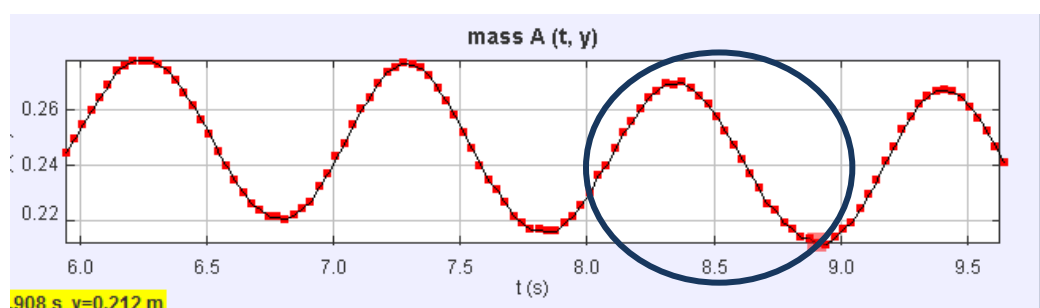
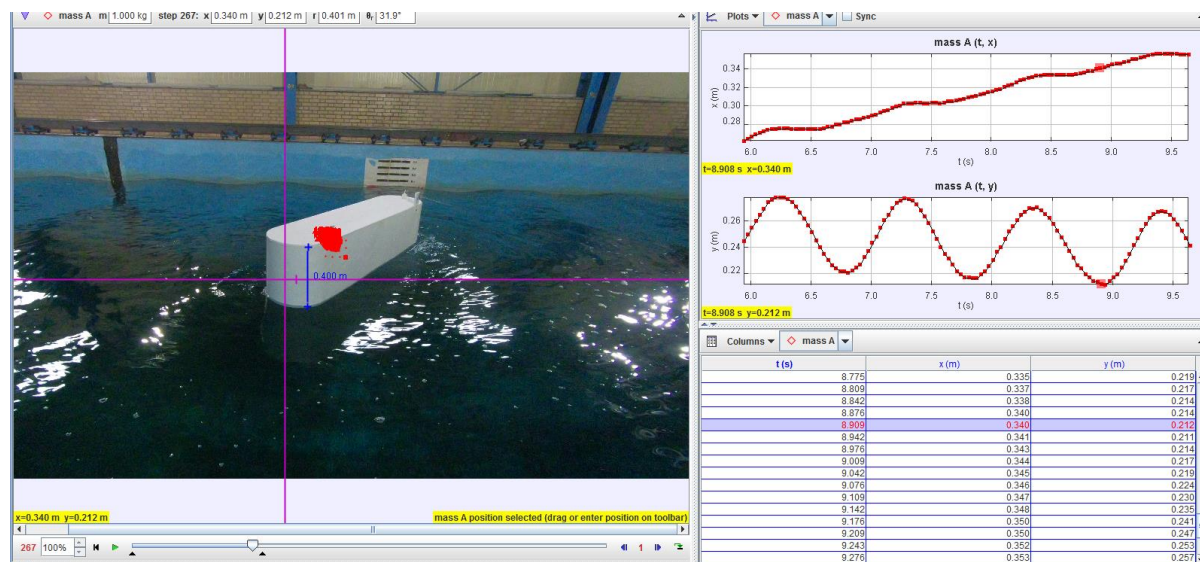
مقدار آن در مدل واقعی با تبدیل مقیاس ۱/۳۰ طول برابر با ۰.۹۶ متر می باشد.

۲-۳-۵- آزمایش دوم (تعداد پانتون یک عدد) آبخور ۵ سانتیمتر، زاویه موج ۰ درجه با ارتفاع موج ۸ سانتیمتر و پریود ۰.۷۶ ثانیه



شکل ۵-۲- آزمایش دوم (تعداد پانتون ۱ عدد، زاویه موج ۰ درجه، ارتفاع موج ۸ سانتیمتر، پریود موج ۰.۷۶). همان‌طور که از نمودار بالا مشخص است در محدوده مشخص شده کمترین جابجایی ۰.۴۹۱ متر و بیشترین جابجایی ۰.۵۳۹ متر است که اختلاف جابجایی در آن برابر است با ۰.۰۴۸ متر در مدل آزمایشگاهی که مقدار آن در مدل واقعی با تبدیل مقیاس ۱/۳۰ طول برابر با ۱.۴۴ متر می‌باشد.

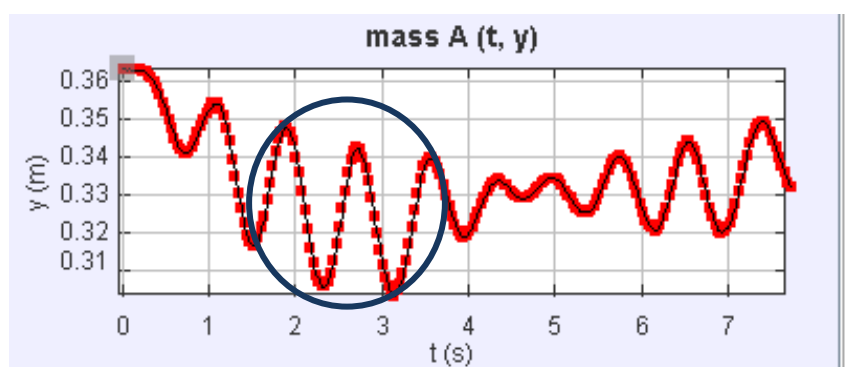
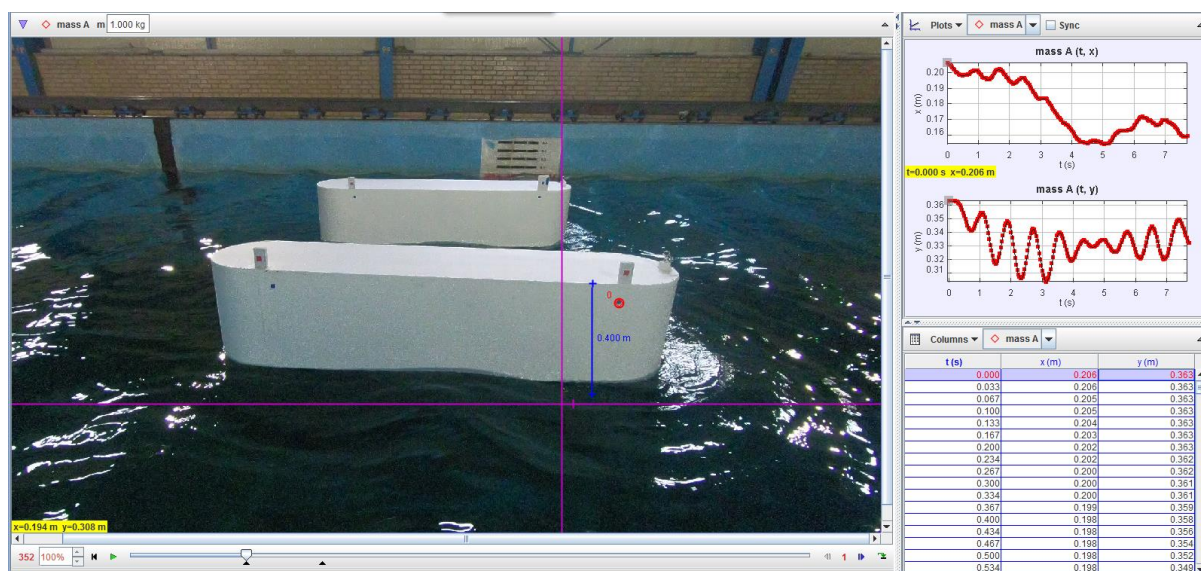
۳-۵- آزمایش سوم (تعداد پانتون یک عدد) آبخور ۵ سانتیمتر، زاویه موج ۴۵ درجه با ارتفاع موج ۶ سانتیمتر و پریود ۱.۰۷۵ ثانیه



شکل ۳-۵- آزمایش سوم (تعداد پانتون ۱ عدد، زاویه موج ۴۵ درجه، ارتفاع موج ۶ سانتیمتر، پریود موج ۱.۰۷۵)

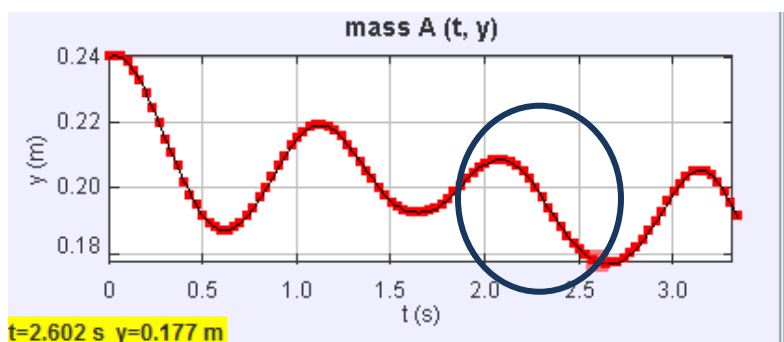
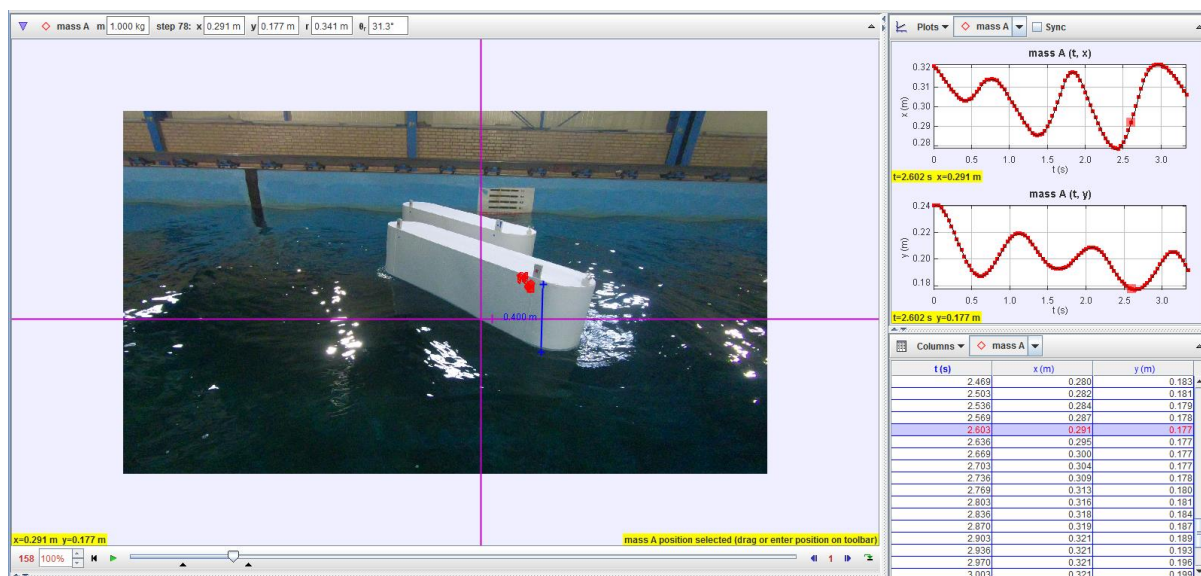
همان‌طور که از نمودار بالا مشخص است در محدوده مشخص شده کمترین جابجایی ۰.۲۱۱ متر و بیشترین جابجایی ۰.۲۷۰ متر است که اختلاف جابجایی در آن برابر است با ۰.۰۵۹ متر در مدل آزمایشگاهی که مقدار آن در مدل واقعی با تبدیل مقیاس $۱/۳۰$ طول برابر با ۱.۷۷ متر می‌باشد.

۴-۳-۵- آزمایش چهارم (تعداد پانتون دو عدد) آبخور ۵ سانتیمتر، زاویه موج ۰ درجه با ارتفاع موج ۶ سانتیمتر و پریود ۰.۷۶ ثانیه



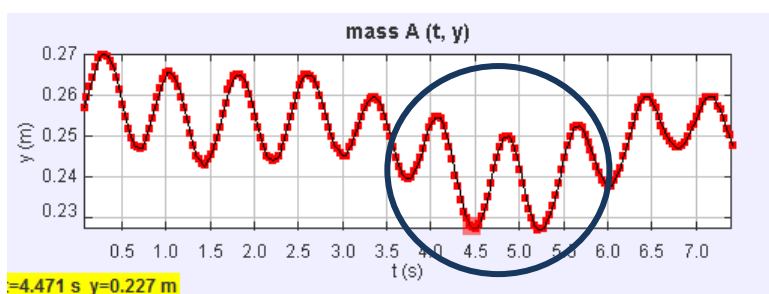
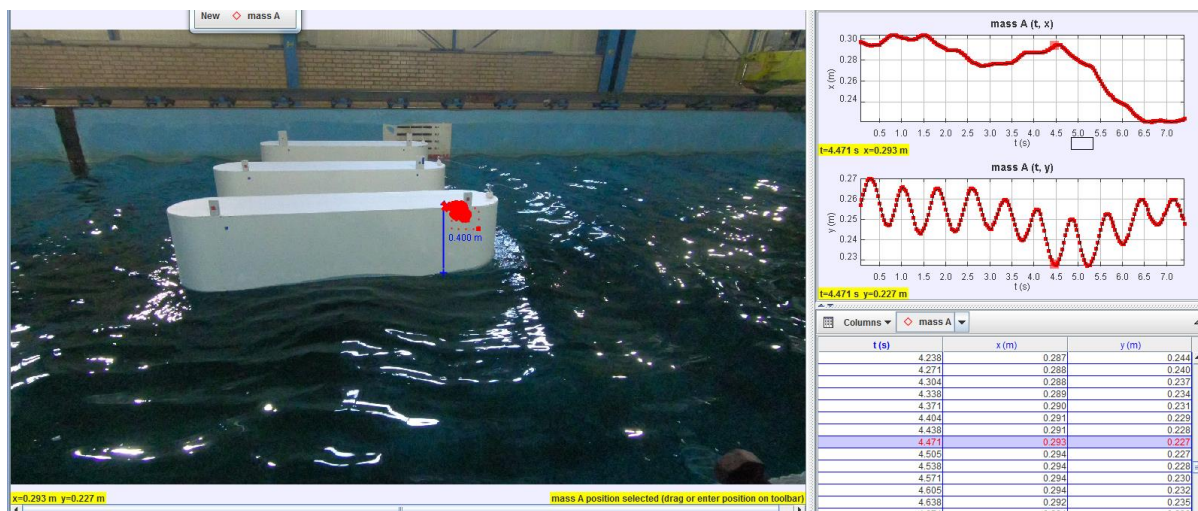
شکل ۴-۵- آزمایش چهارم (تعداد پانتون ۲ عدد، زاویه موج ۰ درجه، ارتفاع موج ۶ سانتیمتر، پریود موج ۰.۷۶) همان طور که از نمودار بالا مشخص است در محدوده مشخص شده کمترین جابجایی ۰.۳۰۵ متر و بیشترین جابجایی ۰.۳۴۱ متر است که اختلاف جابجایی در آن برابر است با ۰.۰۳۶ متر در مدل آزمایشگاهی که مقدار آن در مدل واقعی با تبدیل مقیاس $1/30$ طول برابر با ۱.۰۸ متر می باشد.

۵-۳-۵- آزمایش پنجم (تعداد پانتون دو عدد) آبخور ۵ سانتیمتر، زاویه موج ۴۵ درجه با ارتفاع موج ۶ سانتیمتر و پریود ۱.۰۷۵ ثانیه



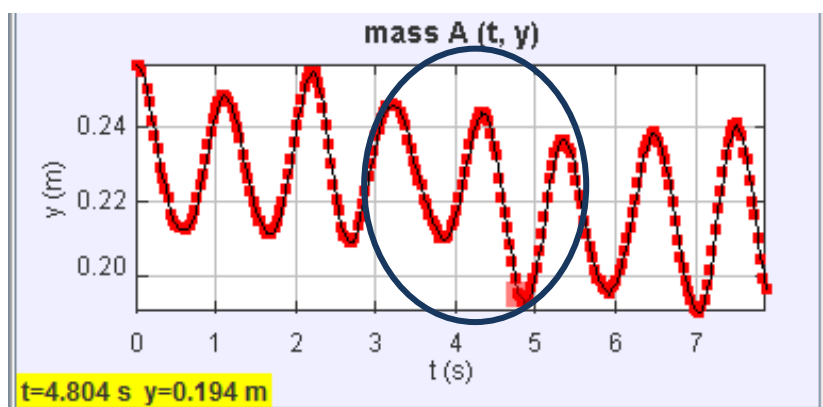
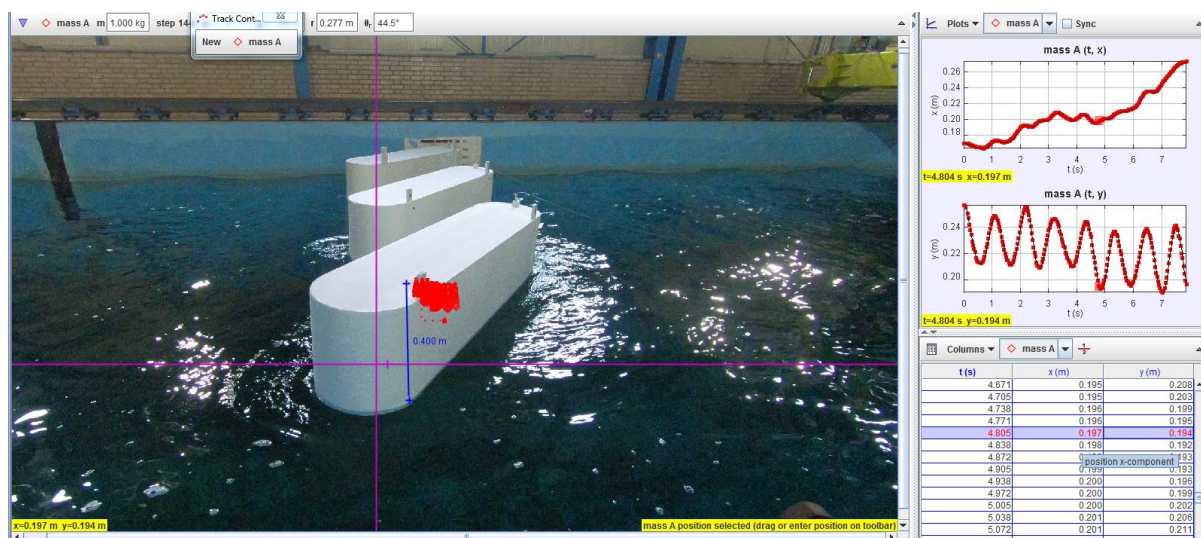
شکل ۵-۵- آزمایش پنجم (تعداد پانتون ۲ عدد، زاویه موج ۴۵ درجه، ارتفاع موج ۶ سانتیمتر، پریود موج ۱.۰۷۵) همان طور که از نمودار بالا مشخص است در محدوده مشخص شده کمترین جابجایی ۰.۱۷۷ متر و بیشترین جابجایی ۰.۲۰۹ متر است که اختلاف جابجایی در آن برابر است با ۰.۰۳۲ متر در مدل آزمایشگاهی که مقدار آن در مدل واقعی با تبدیل مقیاس ۱/۳۰ طول برابر با ۰.۹۶ متر می باشد.

۶-۳-۵- آزمایش ششم (تعداد پانتون سه عدد) آبخور ۵ سانتیمتر، زاویه موج ۰ درجه با ارتفاع موج ۶ سانتیمتر و پریود ۰.۷۶ ثانیه



شکل ۵-۶- آزمایش ششم (تعداد پانتون ۳ عدد، زاویه موج ۰ درجه، ارتفاع موج ۶ سانتیمتر، پریود موج ۰.۷۶) همان طور که از نمودار بالا مشخص است در محدوده مشخص شده کمترین جابجایی ۰.۲۲۷ متر و بیشترین جابجایی ۰.۲۵۴ متر است که اختلاف جابجایی در آن برابر است با ۰.۰۲۷ متر در مدل آزمایشگاهی که مقدار آن در مدل واقعی با تبدیل مقیاس ۱/۳۰ طول برابر با ۰.۸۱ متر می باشد.

۷-۳-۵- آزمایش هفتم (تعداد پانتون سه عدد) آبخور ۵ سانتیمتر، زاویه موج ۴۵ درجه با ارتفاع موج ۶ سانتیمتر و پریود ۰.۷۶ ثانیه



شکل ۵-۷- آزمایش هفتم (تعداد پانتون ۳ عدد، زاویه موج ۴۵ درجه، ارتفاع موج ۶ سانتیمتر، پریود موج ۰.۷۶) همان‌طور که از نمودار بالا مشخص است در محدوده مشخص شده کمترین جابجایی ۰.۱۹۲ متر و بیشترین جابجایی ۰.۲۴۴ متر است که اختلاف جابجایی در آن برابر است با ۰.۰۵۲ متر در مدل آزمایشگاهی که مقدار آن در مدل واقعی با تبدیل مقیاس ۱/۳۰ طول برابر با ۱.۵۶ متر می‌باشد.

۴-۵: خلاصه نتایج آزمایشگاهی

در جدول زیر نتایج آزمایشگاهی آورده شده است:

جدول ۵-۲- نتایج آزمایشگاهی

ردیف	شماره آزمایش	شرح آزمایش	ماکزیمم اختلاف جابجایی (سانتی متر)
۱	آزمایش اول	تعداد پانتون ۱ عدد، زاویه موج ۰ درجه، ارتفاع موج ۶ سانتیمتر، پریود موج ۰.۷۶	۳.۲
۲	آزمایش دوم	تعداد پانتون ۱ عدد، زاویه موج ۰ درجه، ارتفاع موج ۸ سانتیمتر، پریود موج ۰.۷۶	۴.۸
۳	آزمایش سوم	تعداد پانتون ۱ عدد، زاویه موج ۴۵ درجه، ارتفاع موج ۶ سانتیمتر، پریود موج ۱.۰۷۵	۵.۹
۴	آزمایش چهارم	تعداد پانتون ۲ عدد، زاویه موج ۰ درجه، ارتفاع موج ۶ سانتیمتر، پریود موج ۰.۷۶	۳.۶
۵	آزمایش پنجم	تعداد پانتون ۲ عدد، زاویه موج ۴۵ درجه، ارتفاع موج ۶ سانتیمتر، پریود موج ۱.۰۷۵	۳.۲
۶	آزمایش ششم	تعداد پانتون ۳ عدد، زاویه موج ۰ درجه، ارتفاع موج ۶ سانتیمتر، پریود موج ۰.۷۶	۲.۷
۷	آزمایش هفتم	تعداد پانتون ۳ عدد، زاویه موج ۴۵ درجه، ارتفاع موج ۶ سانتیمتر، پریود موج ۰.۷۶	۵.۲

۵-۵- سناریوهای مدل عددی

در این تحقیق برای هر یک از آبخورهای ۶ متر و ۱.۵ متر از سه سناریو اصلی که مربوط به تعداد پانتون ها هست استفاده شده و برای هر سناریو حالت های مختلف ارتفاع موج و جهت موج در نظر گرفته شده است.

جدول ۵-۳- سناریوهای مربوط به آبخور ۶ متر

ردیف	نام سناریو	تعداد پانتون	زاویه موج	ارتفاع موج	پریود موج	حداقل	حداکثر	اختلاف
۱	سناریو ۱	۱	۰	۱.۸	۵.۹	-۰.۲۶	۰.۱۲	۰.۳۸
۲				۲.۴		-۰.۳۷	۰.۱۶	۰.۵۳
۳				۳.۶		-۰.۶۴	۰.۲۲	۰.۸۶
۴			۴۵	۱.۸	۵.۹	-۰.۹۱	۰.۷۷	۱.۶۸
۵				۲.۴		-۱.۲۶	۱.۰۴	۲.۳
۶				۳.۶		-۲.۰۵	۱.۵۹	۳.۶۴
۷			۹۰	۱.۸	۵.۹	-۲.۱۹	۲.۰۱	۴.۲
۸				۲.۴		-۳.۰۳	۲.۷۴	۵.۷۷
۹				۳.۶		-۴.۵۴	۳.۸۶	۸.۴
۱۰	سناریو ۲	۲	۰	۱.۸	۵.۹	-۰.۱۷	۰.۰۴	۰.۲۱
۱۱				۲.۴		-۰.۲۵	۰.۰۴	۰.۲۹
۱۲				۳.۶		-۰.۴۶	۰.۰۳	۰.۴۹
۱۳			۴۵	۱.۸	۵.۹	-۰.۳۱	۰.۱۷	۰.۴۸
۱۴				۲.۴		-۰.۴۳	۰.۲۱	۰.۶۴
۱۵				۳.۶		-۰.۷۱	۰.۲۶	۰.۹۷
۱۶			۹۰	۱.۸	۵.۹	-۱.۸۴	۱.۶	۳.۴۴
۱۷				۲.۴		-۲.۵۴	۲.۱۴	۴.۶۸
۱۸				۳.۶		-۳.۵۳	۲.۶	۶.۱۳
۱۹	سناریو ۳	۳	۰	۱.۸	۵.۹	-۰.۲۴	۰.۱	۰.۳۴
۲۰				۲.۴		-۰.۳۴	۰.۱۳	۰.۴۷
۲۱				۳.۶		-۰.۶	۰.۱۷	۰.۷۷
۲۲			۴۵	۱.۸	۵.۹	-۰.۱۹	۰.۰۶	۰.۲۵
۲۳				۲.۴		-۰.۲۷	۰.۰۷	۰.۳۴
۲۴				۳.۶		-۰.۴۹	۰.۰۷	۰.۵۶
۲۵			۹۰	۱.۸	۵.۹	-۱.۹۸	۱.۷۱	۳.۶۹
۲۶				۲.۴		-۲.۷۴	۲.۲۹	۵.۰۳
۲۷				۳.۶		-۳.۶۴	۲.۵۶	۶.۲

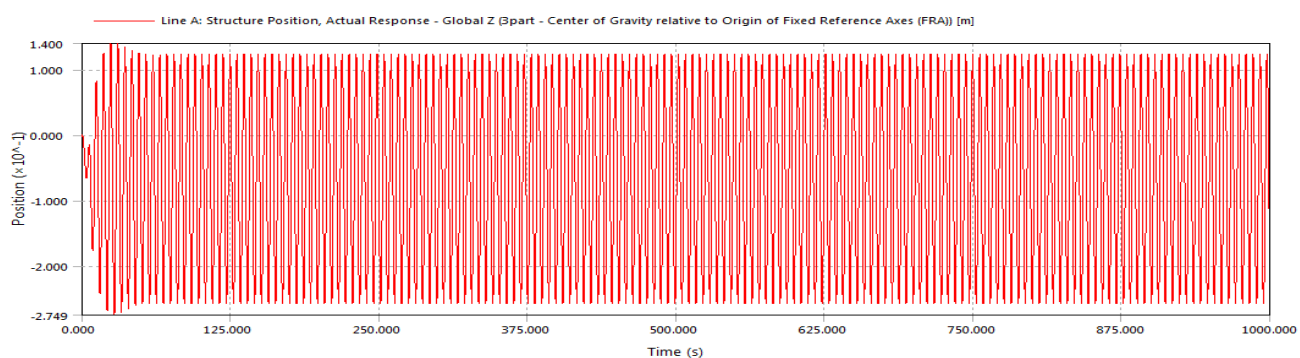
جدول ۵-۴- سناریوهای مربوط به آبخور ۱.۵ متر

ردیف	نام سناریو	تعداد پاتون	زاویه موج	ارتفاع موج	پریود موج	حداقل	حداکثر	اختلاف
۱	سناریو ۴	۱	۰	۱.۸	۵.۹	۴.۰۹	۴.۶۵	۰.۵۶
۲				۲.۴		۳.۸۹	۴.۸۵	۰.۹۶
۳				۳.۶		۳.۸۳	۵.۲۳	۱.۴
۴			۴۵	۱.۸	۵.۹	۳.۵۵	۵.۲۶	۱.۷۱
۵				۲.۴		۳.۲	۵.۶۵	۲.۴۵
۶				۳.۶		۲.۷۶	۶.۳۲	۳.۵۶
۷			۹۰	۱.۸	۵.۹	۲.۵۶	۶.۲۷	۳.۷۱
۸				۲.۴		۱.۹	۶.۸۲	۴.۹۲
۹				۳.۶		۰.۶۴	۸.۱۱	۷.۴۷
۱۰	سناریو ۵	۲	۰	۱.۸	۵.۹	۴.۲	۴.۵۳	۰.۳۳
۱۱				۲.۴		۴.۰۹	۴.۶۲	۰.۵۳
۱۲				۳.۶		۴.۱۷	۴.۸۷	۰.۷
۱۳			۴۵	۱.۸	۵.۹	۳.۹	۴.۸۵	۰.۹۵
۱۴				۲.۴		۳.۸۱	۴.۹۲	۱.۱۱
۱۵				۳.۶		۴.۰۶	۴.۹۴	۰.۸۸
۱۶			۹۰	۱.۸	۵.۹	۲.۳۵	۶.۵۶	۴.۲۱
۱۷				۲.۴		۱.۹	۷.۱	۵.۲
۱۸				۳.۶		۱.۷۶	۷.۵۷	۵.۸۱
۱۹	سناریو ۶	۳	۰	۱.۸	۵.۹	۴.۱۸	۴.۵۵	۰.۳۷
۲۰				۲.۴		۴.۱۲	۴.۵۸	۰.۴۶
۲۱				۳.۶		۴.۲	۴.۸۲	۰.۶۲
۲۲			۴۵	۱.۸	۵.۹	۴.۲۳	۴.۵	۰.۲۷
۲۳				۲.۴		۴.۱۸	۴.۵۲	۰.۳۴
۲۴				۳.۶		۴.۲۶	۴.۷۵	۰.۴۹
۲۵			۹۰	۱.۸	۵.۹	۲.۷۵	۶.۴۲	۳.۶۷
۲۶				۲.۴		۲.۹۸	۶.۳۵	۳.۳۷
۲۷				۳.۶		۳.۴۷	۶.۱۹	۲.۷۲

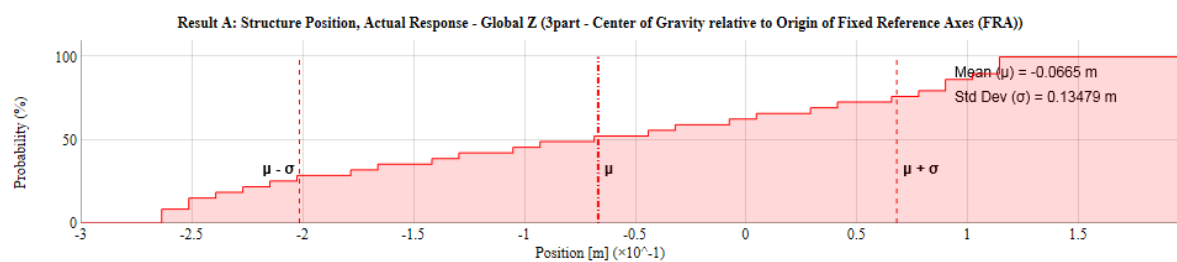
۵-۶- نتایج مدل عددی برای آبخور ۶ متر

۵-۶-۱- سناریو اول (تعداد پانتون یک عدد)

۱- آبخور ۶ متر زاویه موج ۰ درجه با ارتفاع موج ۱.۸ متر و پریود ۵.۹ ثانیه



Time Domain Statistic Results

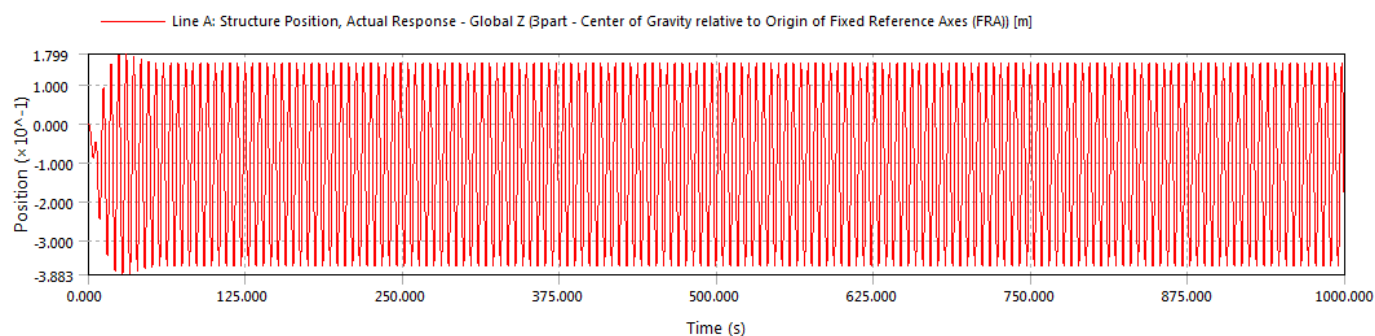


Statistics Parameters A	
Mean Value	-0.0665 m
Standard Deviation	0.13479 m
Minimum Value	-0.25758 m
Maximum Value	0.12343 m
Mean of Lowest-Third ...	-0.25758 m
Mean of Highest-Third ...	0.12342 m

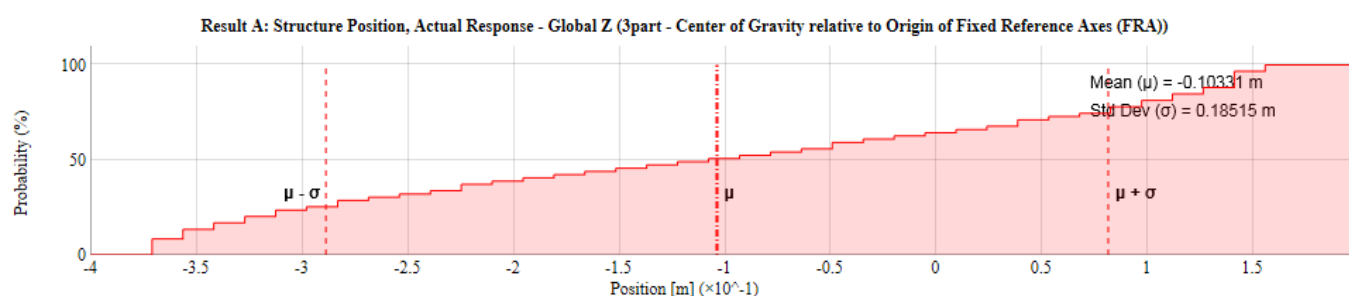
شکل ۵-۸- نتایج مدل عددی آبخور ۶ متر زاویه موج ۰ درجه با ارتفاع موج ۱.۸ متر و پریود ۵.۹ ثانیه

حداقل جابجایی برابر با ۰.۲۶- متر و حداکثر جابجایی برابر با ۰.۱۲ متر است. اختلاف جابجایی برابر با ۰.۳۸ متر می‌باشد.

۲- آبخور ۶ متر زاویه موج ۰ درجه با ارتفاع موج ۲.۴ متر و پریود ۵.۹ ثانیه



Time Domain Statistic Results

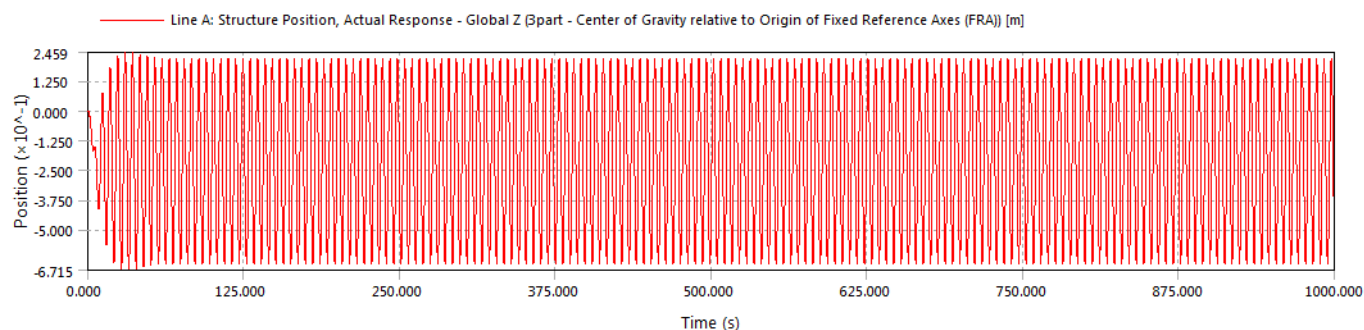


Statistics Parameters A	
☐ Mean Value	-0.10331 m
☐ Standard Deviation	0.18515 m
☐ Minimum Value	-0.36568 m
☐ Maximum Value	0.1578 m
☐ Mean of Lowest-Third ...	-0.36567 m
☐ Mean of Highest-Third ...	0.1578 m

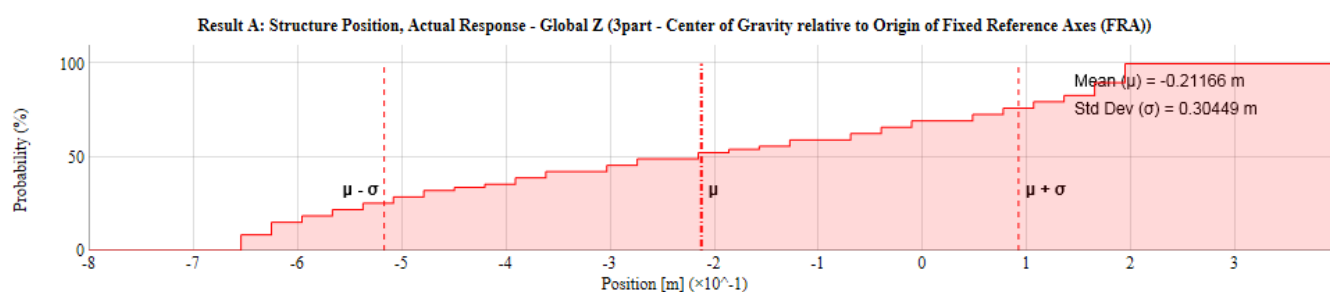
شکل ۵-۹- نتایج مدل عددی آبخور ۶ متر زاویه موج ۰ درجه با ارتفاع موج ۲.۴ متر و پریود ۵.۹ ثانیه

حداقل جابجایی برابر با ۰.۳۷- متر و حداکثر جابجایی برابر با ۰.۱۶ متر است. اختلاف جابجایی برابر با ۰.۵۳ متر می باشد.

۳- آبخور ۶ متر زاویه موج ۰ درجه با ارتفاع موج ۳.۶ متر و پریود ۵.۹ ثانیه



Time Domain Statistic Results

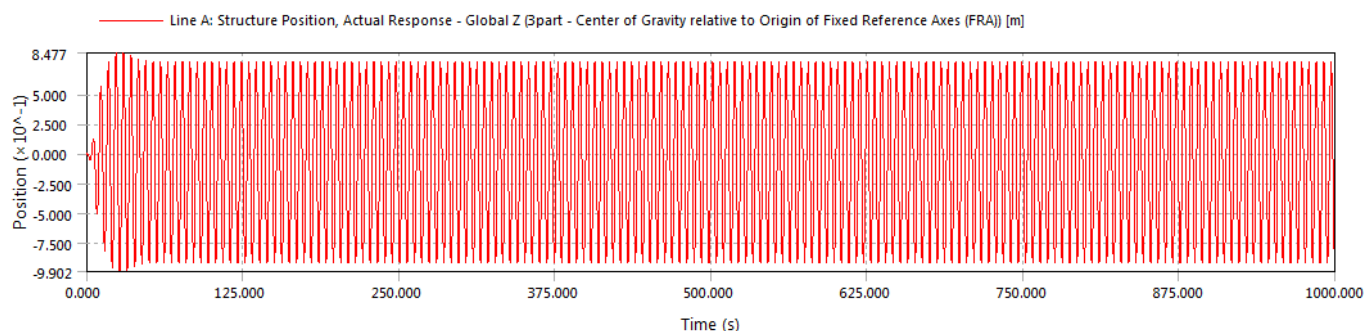


Statistics Parameters A	
☐ Mean Value	-0.21166 m
☐ Standard Deviation	0.30449 m
☐ Minimum Value	-0.64329 m
☐ Maximum Value	0.21746 m
☐ Mean of Lowest-Third ...	-0.64328 m
☐ Mean of Highest-Third ...	0.21745 m

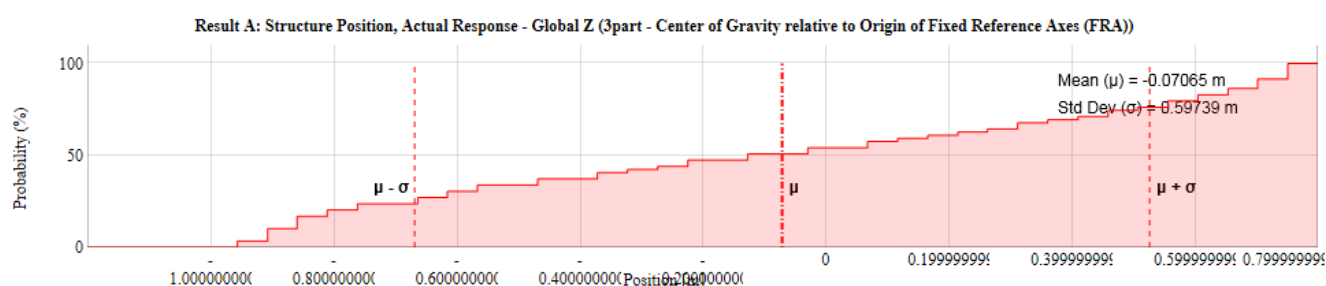
شکل ۵-۱۰- نتایج مدل عددی آبخور ۶ متر زاویه موج ۰ درجه با ارتفاع موج ۳.۶ متر و پریود ۵.۹ ثانیه

حداقل جابجایی برابر با ۰.۶۴- متر و حداکثر جابجایی برابر با ۰.۲۲ متر است. اختلاف جابجایی برابر با ۰.۸۶ متر می باشد.

۴- آبخور ۶ متر زاویه موج ۴۵ درجه با ارتفاع موج ۱.۸ متر و پریود ۵.۹ ثانیه



Time Domain Statistic Results

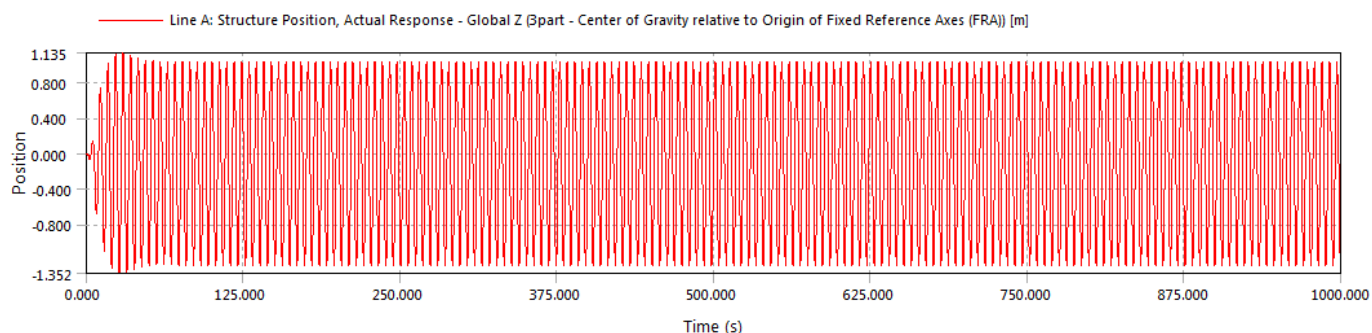


Statistics Parameters A	
Mean Value	-0.07065 m
Standard Deviation	0.59739 m
Minimum Value	-0.9138 m
Maximum Value	0.77424 m
Mean of Lowest-Third ...	-0.91377 m
Mean of Highest-Third ...	0.77421 m

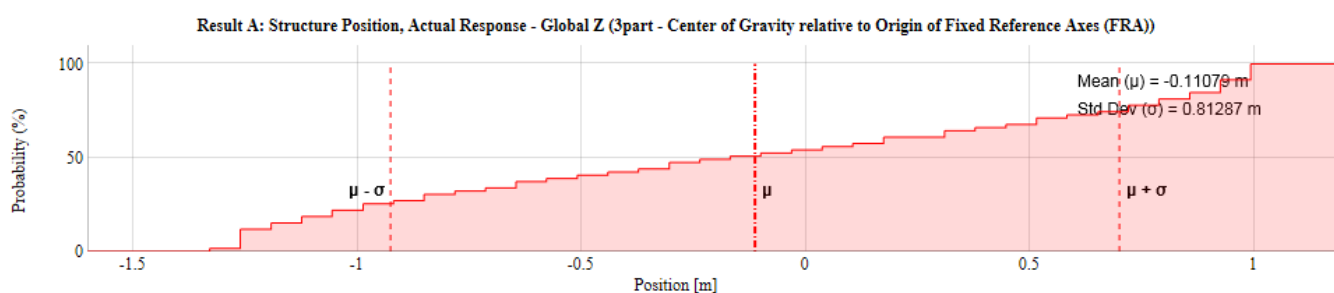
شکل ۵-۱۱- نتایج مدل عددی آبخور ۶ متر زاویه موج ۴۵ درجه با ارتفاع موج ۱.۸ متر و پریود ۵.۹ ثانیه

حداقل جابجایی برابر با ۰.۹۱- متر و حداکثر جابجایی برابر با ۰.۷۷ متر است. اختلاف جابجایی برابر با ۱.۶۸ متر می‌باشد.

۵- آبخور ۶ متر زاویه موج ۴۵ درجه با ارتفاع موج ۲.۴ متر و پریود ۵.۹ ثانیه



Time Domain Statistic Results

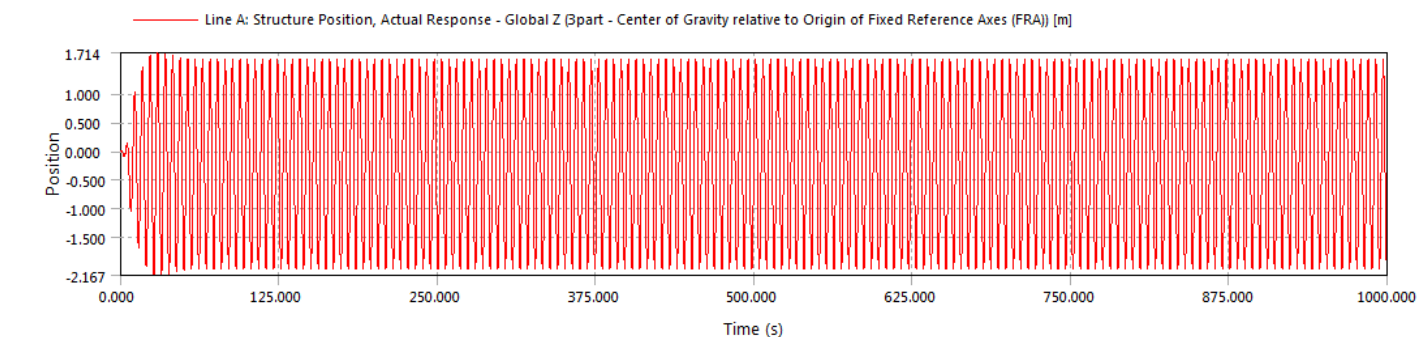


Statistics Parameters A	
☐ Mean Value	-0.11079 m
☐ Standard Deviation	0.81287 m
☐ Minimum Value	-1.25901 m
☐ Maximum Value	1.03937 m
☐ Mean of Lowest-Third ...	-1.25898 m
☐ Mean of Highest-Third ...	1.03933 m

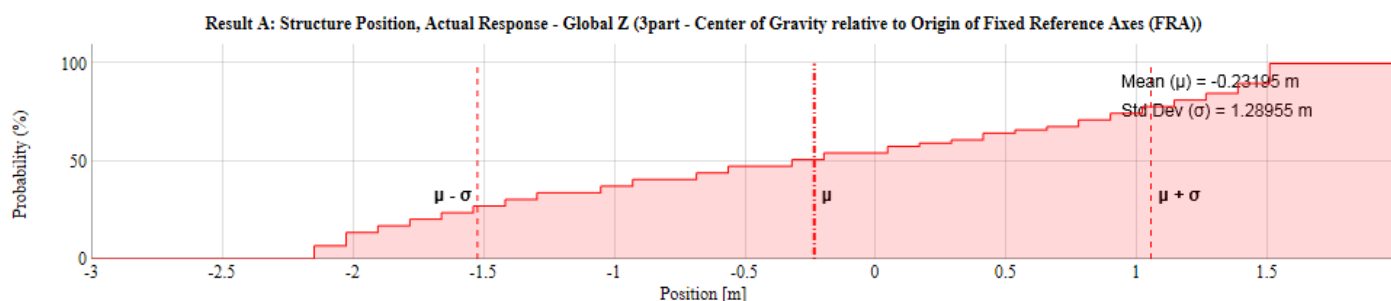
شکل ۵-۱۲- نتایج مدل عددی آبخور ۶ متر زاویه موج ۴۵ درجه با ارتفاع موج ۲.۴ متر و پریود ۵.۹ ثانیه

حداقل جابجایی برابر با ۱.۲۶- متر و حداکثر جابجایی برابر با ۱.۰۴ متر است. اختلاف جابجایی برابر با ۲.۳۰ متر می‌باشد.

۶- آبخور ۶ متر زاویه موج ۴۵ درجه با ارتفاع موج ۳.۶ متر و پریود ۵.۹ ثانیه



Time Domain Statistic Results



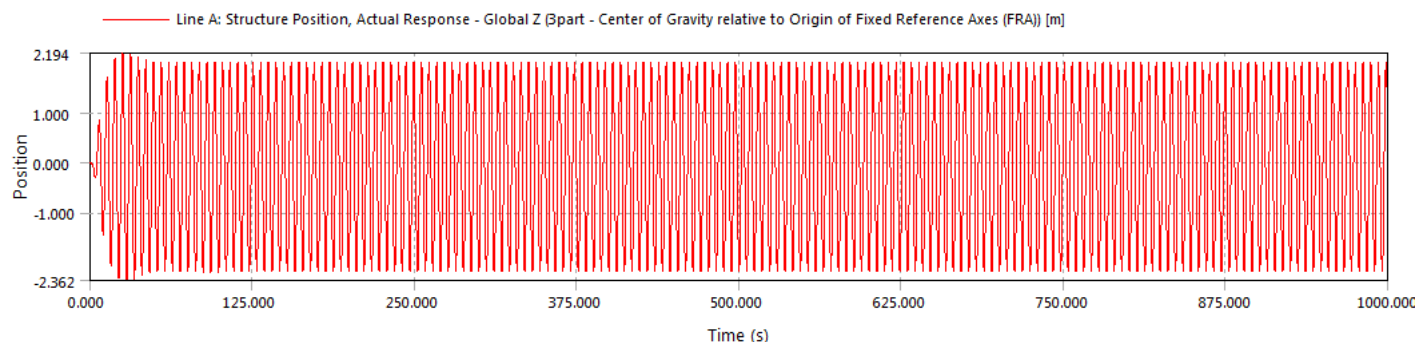
Statistics Parameters A	
Mean Value	-0.23195 m
Standard Deviation	1.28955 m
Minimum Value	-2.04976 m
Maximum Value	1.5939 m
Mean of Lowest-Third ...	-2.04971 m
Mean of Highest-Third ...	1.59385 m

شکل ۵-۱۳- نتایج مدل عددی آبخور ۶ متر زاویه موج ۴۵ درجه با ارتفاع موج ۳.۶ متر و پریود ۵.۹ ثانیه

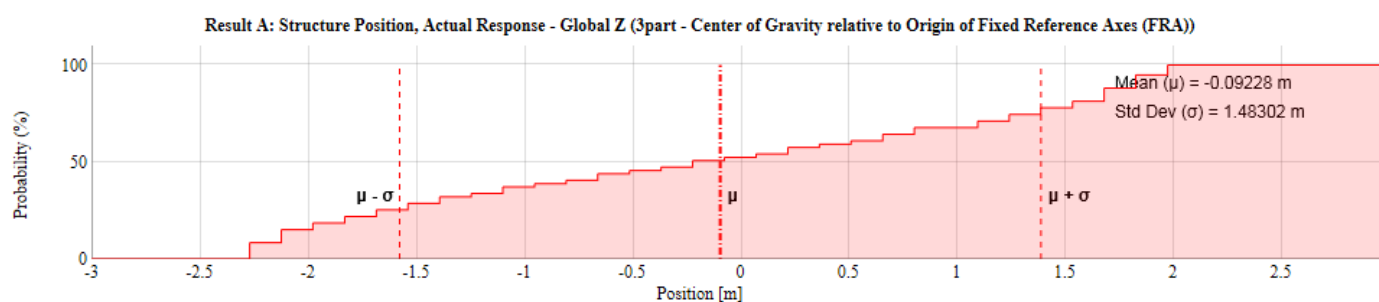
حداقل جابجایی برابر با ۲.۰۵- متر و حداکثر جابجایی برابر با ۱.۵۹ متر است. اختلاف جابجایی برابر با

۳.۶۴ متر می‌باشد.

۷- آبخور ۶ متر زاویه موج ۹۰ درجه با ارتفاع موج ۱.۸ متر و پریود ۵.۹ ثانیه



Time Domain Statistic Results

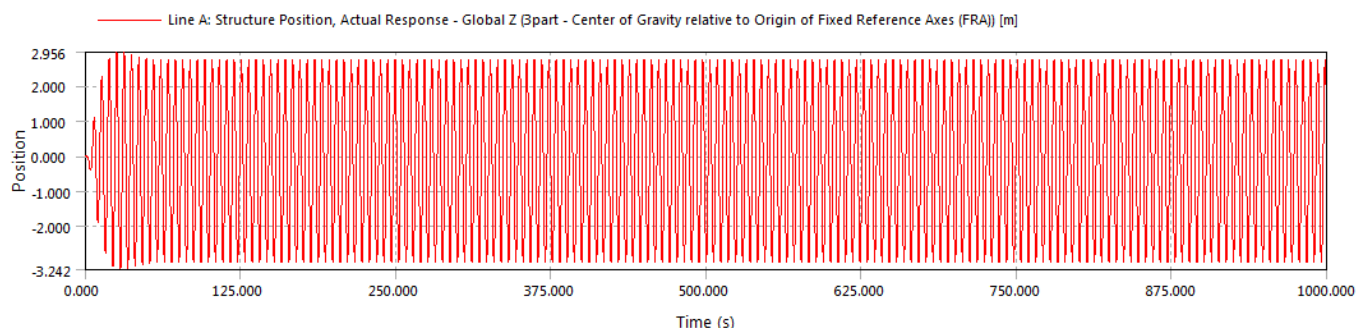


Statistics Parameters A	
☐ Mean Value	-0.09228 m
☐ Standard Deviation	1.48302 m
☐ Minimum Value	-2.18753 m
☐ Maximum Value	2.00933 m
☐ Mean of Lowest-Third ...	-2.18747 m
☐ Mean of Highest-Third ...	2.00928 m

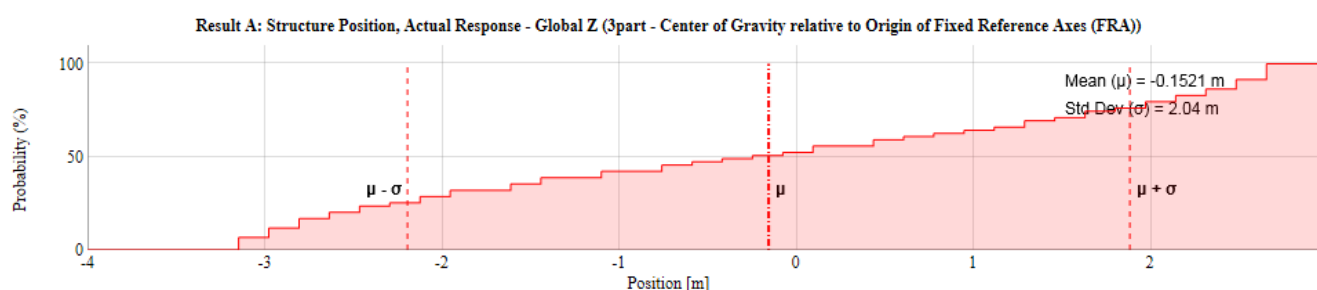
شکل ۵-۱۴- نتایج مدل عددی آبخور ۶ متر زاویه موج ۹۰ درجه با ارتفاع موج ۱.۸ متر و پریود ۵.۹ ثانیه

حداقل جابجایی برابر با ۲.۱۹- متر و حداکثر جابجایی برابر با ۲.۰۱ متر است. اختلاف جابجایی برابر با ۴.۲۰ متر می‌باشد.

۸- آبخور ۶ متر زاویه موج ۹۰ درجه با ارتفاع موج ۲.۴ متر و پریود ۵.۹ ثانیه



Time Domain Statistic Results

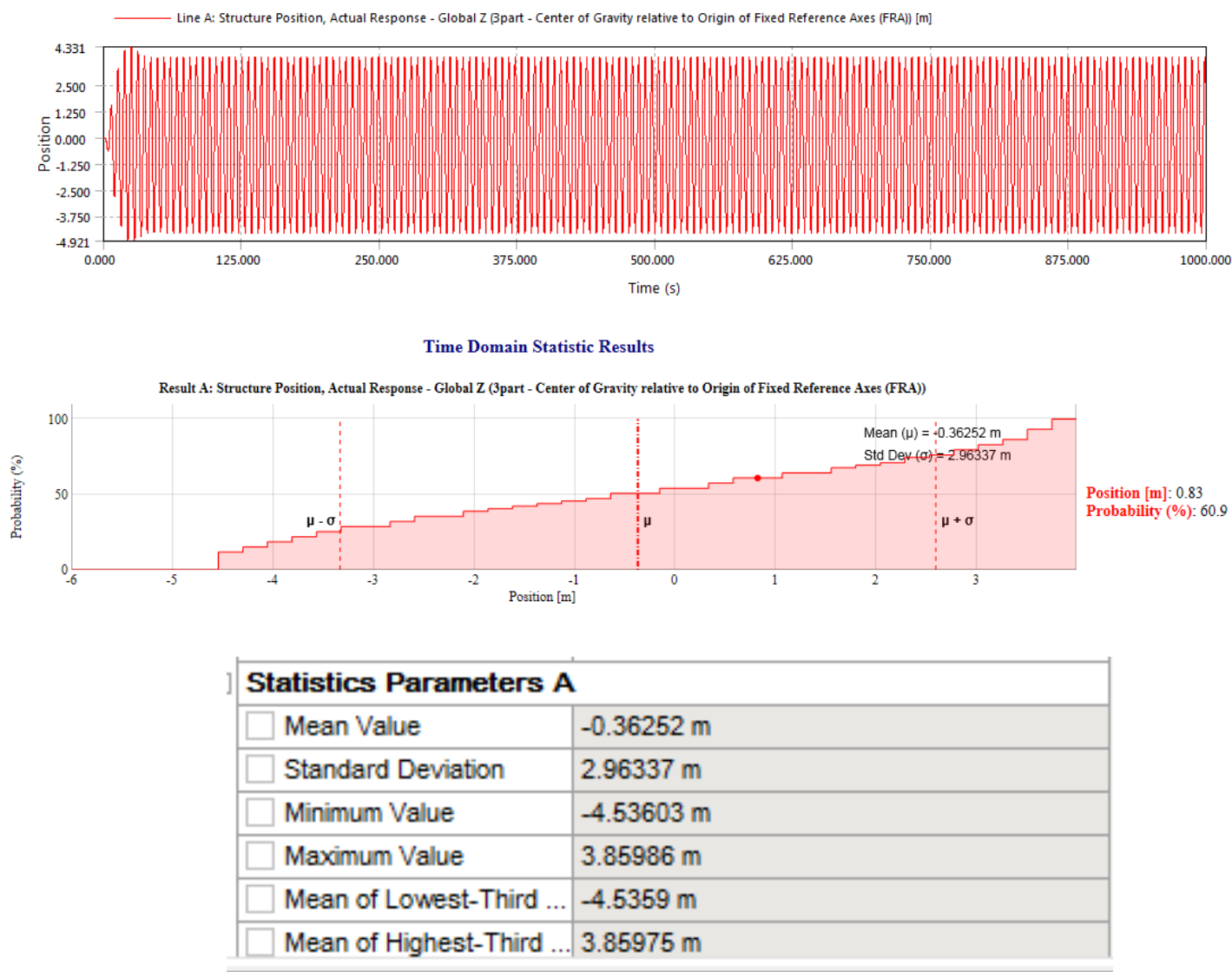


Statistics Parameters A	
☐ Mean Value	-0.1521 m
☐ Standard Deviation	2.04 m
☐ Minimum Value	-3.03144 m
☐ Maximum Value	2.7434 m
☐ Mean of Lowest-Third ...	-3.03136 m
☐ Mean of Highest-Third ...	2.74332 m

شکل ۵-۱۵- نتایج مدل عددی آبخور ۶ متر زاویه موج ۹۰ درجه با ارتفاع موج ۲.۴ متر و پریود ۵.۹ ثانیه

حداقل جابجایی برابر با ۳.۰۳- متر و حداکثر جابجایی برابر با ۲.۷۴ متر است. اختلاف جابجایی برابر با ۵.۷۷ متر می باشد.

۹- آبخور ۶ متر زاویه موج ۹۰ درجه با ارتفاع موج ۳.۶ متر و پریود ۵.۹ ثانیه

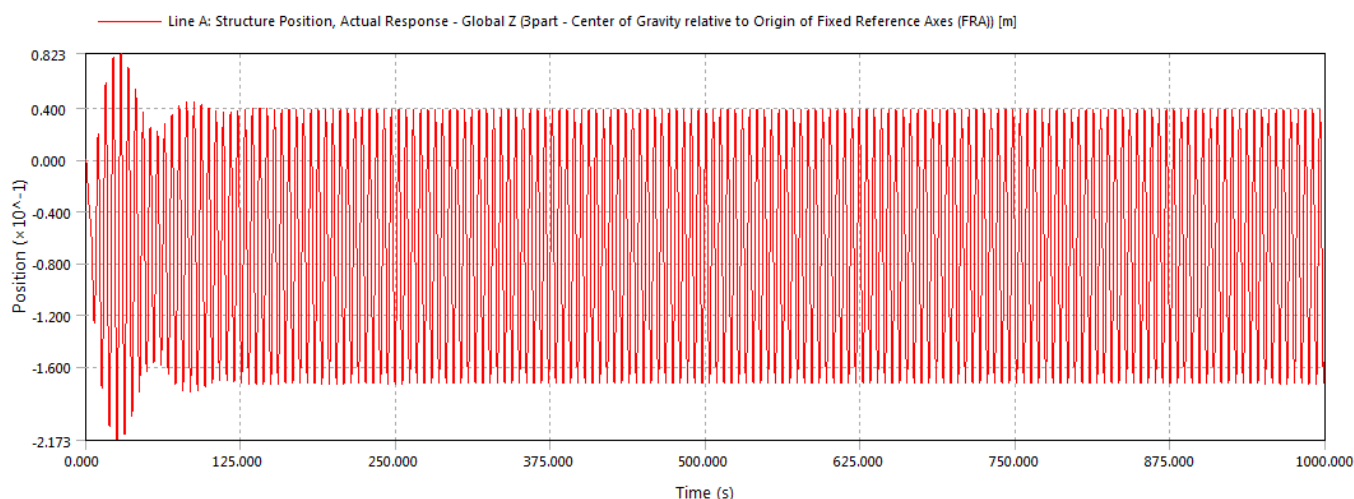


شکل ۵-۱۶- نتایج مدل عددی آبخور ۶ متر زاویه موج ۹۰ درجه با ارتفاع موج ۳.۶ متر و پریود ۵.۹ ثانیه

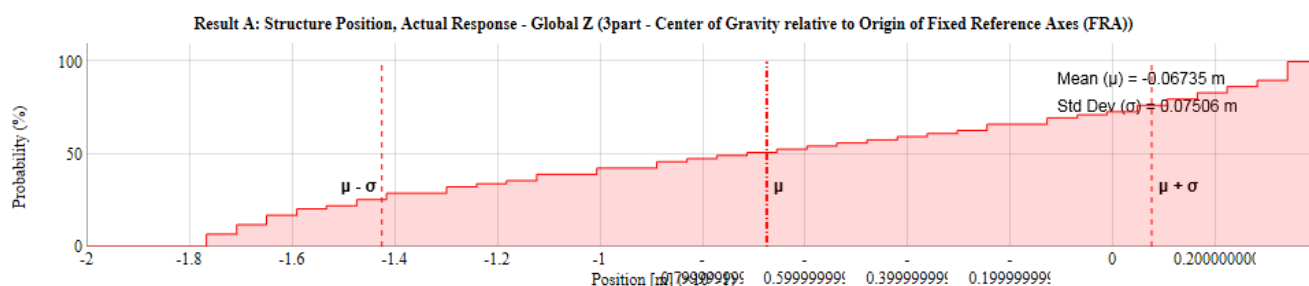
حداقل جابجایی برابر با ۴.۵۴- متر و حداکثر جابجایی برابر با ۳.۸۶ متر است. اختلاف جابجایی برابر با ۸.۴۰ متر می‌باشد.

۲-۶-۵- سناریو دوم (تعداد پانتون دو عدد)

۱- آبخور ۶ متر زاویه موج ۰ درجه با ارتفاع موج ۱.۸ متر و پریود ۵.۹ ثانیه



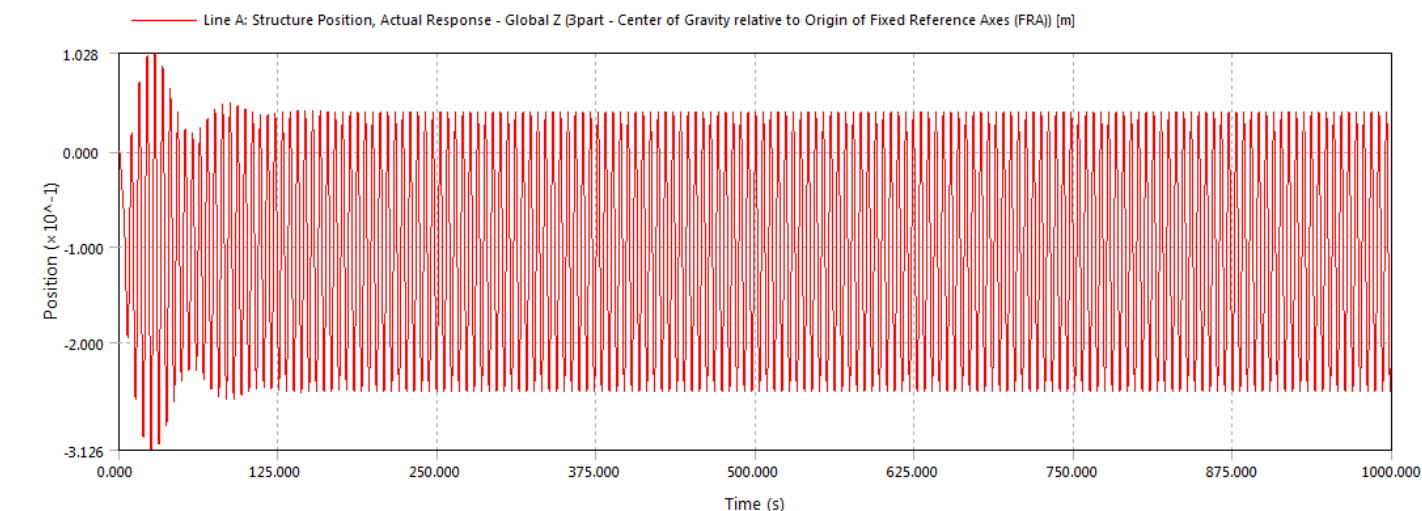
Time Domain Statistic Results



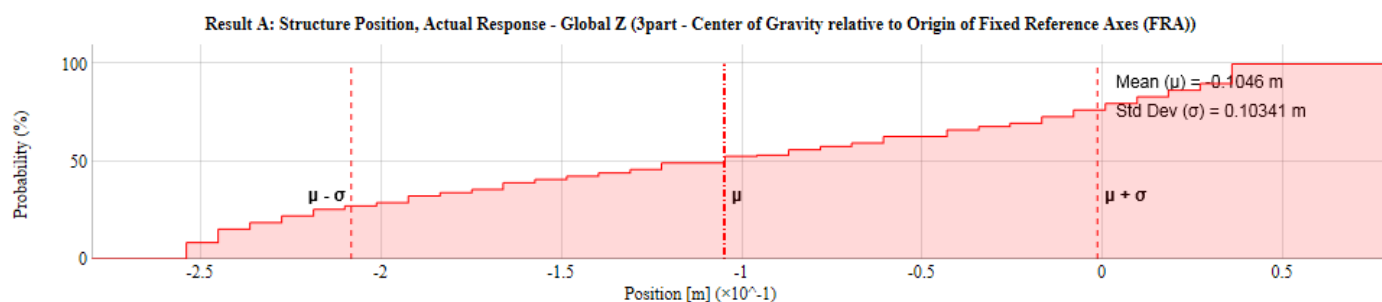
Statistics Parameters A	
☐ Mean Value	-0.06735 m
☐ Standard Deviation	0.07506 m
☐ Minimum Value	-0.1734 m
☐ Maximum Value	0.03889 m
☐ Mean of Lowest-Third ...	-0.1733 m
☐ Mean of Highest-Third ...	0.03882 m

شکل ۵-۱۷- نتایج مدل عددی آبخور ۶ متر زاویه موج ۰ درجه با ارتفاع موج ۱.۸ متر و پریود ۵.۹ ثانیه
 حداقل جابجایی برابر با ۰.۱۷- متر و حداکثر جابجایی برابر با ۰.۰۴ متر است. اختلاف جابجایی برابر با
 ۰.۲۱ متر می‌باشد.

۲- آبخور ۶ متر زاویه موج ۰ درجه با ارتفاع موج ۲.۴ متر و پریود ۵.۹ ثانیه



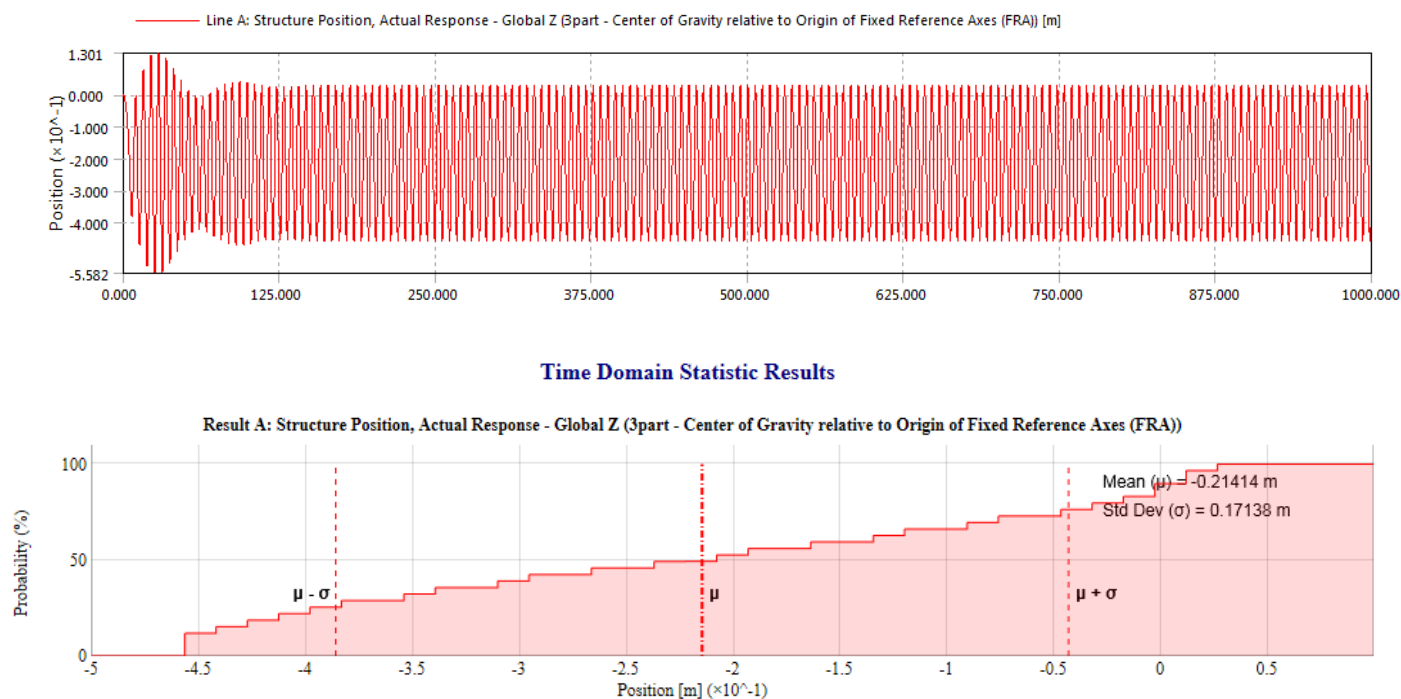
Time Domain Statistic Results



Statistics Parameters A	
☐ Mean Value	-0.1046 m
☐ Standard Deviation	0.10341 m
☐ Minimum Value	-0.25068 m
☐ Maximum Value	0.04168 m
☐ Mean of Lowest-Third ...	-0.25056 m
☐ Mean of Highest-Third ...	0.04156 m

شکل ۵-۱۸- نتایج مدل عددی آبخور ۶ متر زاویه موج ۰ درجه با ارتفاع موج ۲.۴ متر و پریود ۵.۹ ثانیه
حداقل جابجایی برابر با ۰.۲۵- متر و حداکثر جابجایی برابر با ۰.۰۴ متر است. اختلاف جابجایی برابر با ۰.۲۹ متر می‌باشد.

۳- آبخور ۶ متر زاویه موج ۰ درجه با ارتفاع موج ۳.۶ متر و پریود ۵.۹ ثانیه

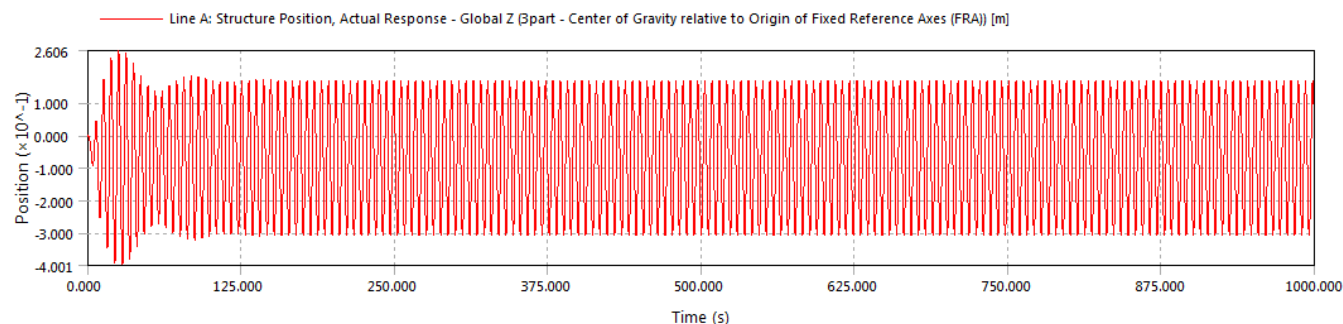


Statistics Parameters A	
☐ Mean Value	-0.21414 m
☐ Standard Deviation	0.17138 m
☐ Minimum Value	-0.45611 m
☐ Maximum Value	0.02774 m
☐ Mean of Lowest-Third ...	-0.45601 m
☐ Mean of Highest-Third ...	0.02763 m

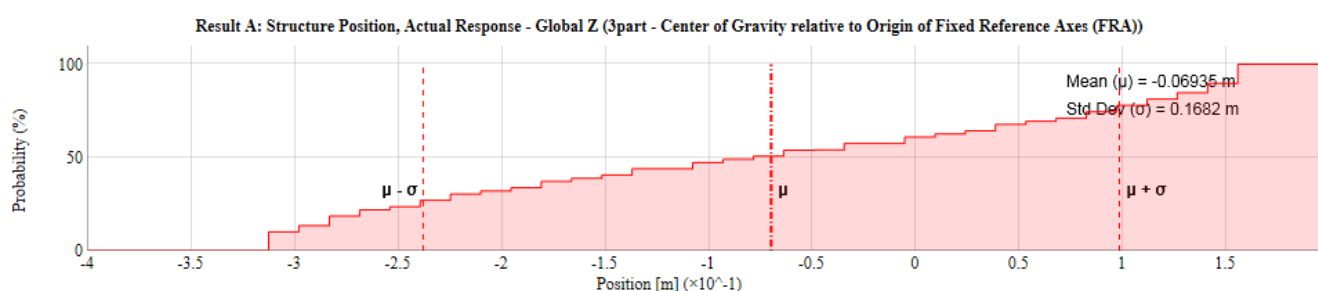
شکل ۵-۱۹- نتایج مدل عددی آبخور ۶ متر زاویه موج ۰ درجه با ارتفاع موج ۳.۶ متر و پریود ۵.۹ ثانیه

حداقل جابجایی برابر با ۰.۴۶- متر و حداکثر جابجایی برابر با ۰.۰۳ متر است. اختلاف جابجایی برابر با ۰.۴۹ متر می‌باشد.

۴- آبخور ۶ متر زاویه موج ۴۵ درجه با ارتفاع موج ۱.۸ متر و پریود ۵.۹ ثانیه



Time Domain Statistic Results

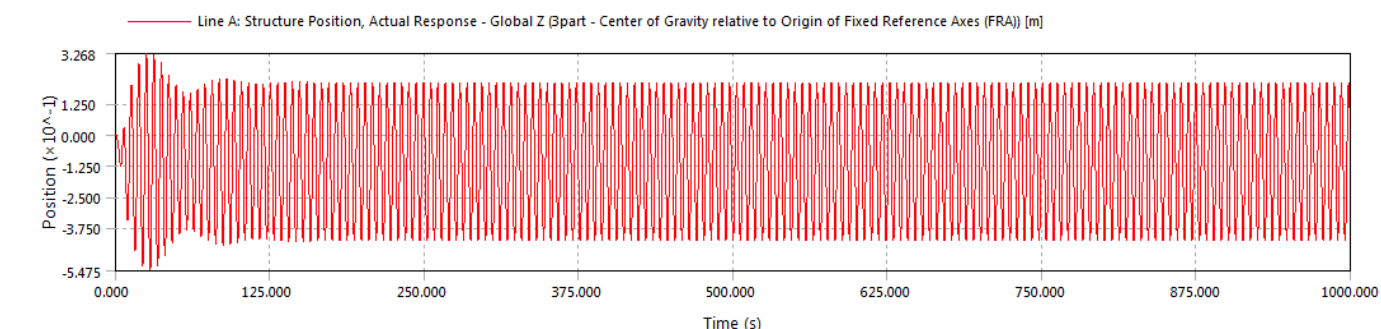


Statistics Parameters A	
☐ Mean Value	-0.06935 m
☐ Standard Deviation	0.1682 m
☐ Minimum Value	-0.30718 m
☐ Maximum Value	0.16891 m
☐ Mean of Lowest-Third ...	-0.307 m
☐ Mean of Highest-Third ...	0.16868 m

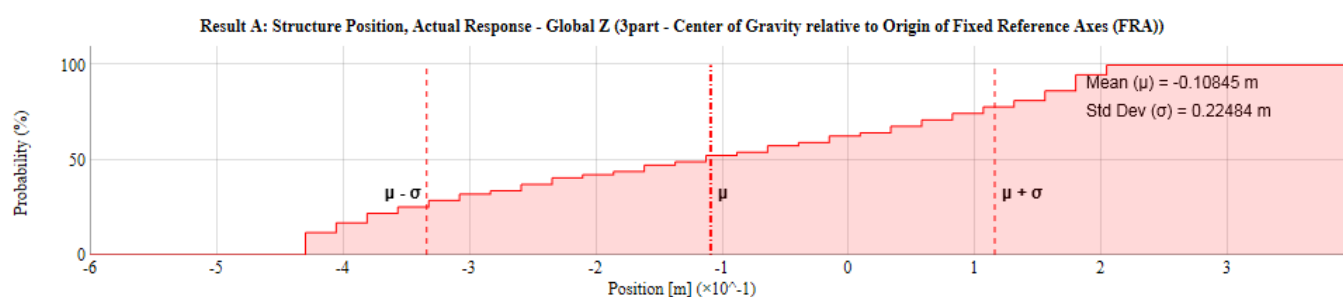
شکل ۵-۲۰- نتایج مدل عددی آبخور ۶ متر زاویه موج ۴۵ درجه با ارتفاع موج ۱.۸ متر و پریود ۵.۹ ثانیه

حداقل جابجایی برابر با ۰.۳۱- متر و حداکثر جابجایی برابر با ۰.۱۷ متر است. اختلاف جابجایی برابر با ۰.۴۸ متر می‌باشد.

۵- آبخور ۶ متر زاویه موج ۴۵ درجه با ارتفاع موج ۲.۴ متر و پریود ۵.۹ ثانیه



Time Domain Statistic Results

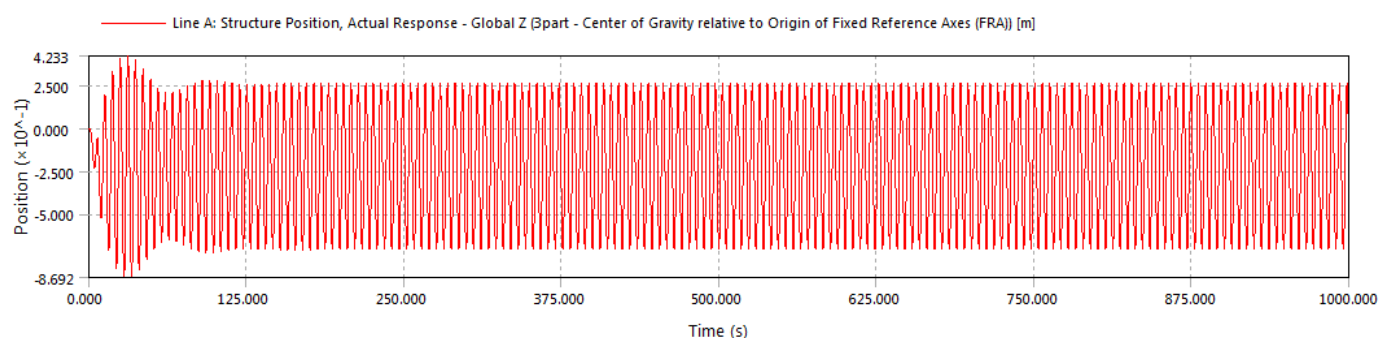


Statistics Parameters A	
☐ Mean Value	-0.10845 m
☐ Standard Deviation	0.22484 m
☐ Minimum Value	-0.4263 m
☐ Maximum Value	0.21019 m
☐ Mean of Lowest-Third ...	-0.42603 m
☐ Mean of Highest-Third ...	0.20994 m

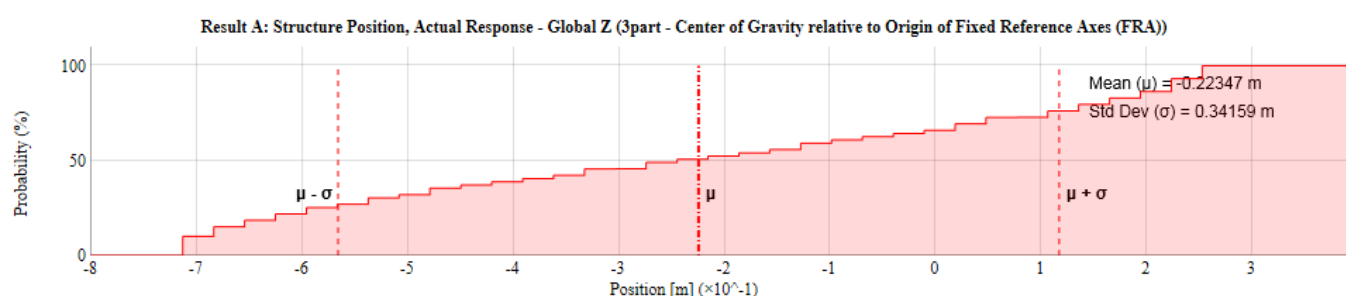
شکل ۵-۲۱- نتایج مدل عددی آبخور ۶ متر زاویه موج ۴۵ درجه با ارتفاع موج ۲.۴ متر و پریود ۵.۹ ثانیه

حداقل جابجایی برابر با ۰.۴۳- متر و حداکثر جابجایی برابر با ۰.۲۱ متر است. اختلاف جابجایی برابر با ۰.۶۴ متر می‌باشد.

۶- آبخور ۶ متر زاویه موج ۴۵ درجه با ارتفاع موج ۳.۶ متر و پریود ۵.۹ ثانیه



Time Domain Statistic Results

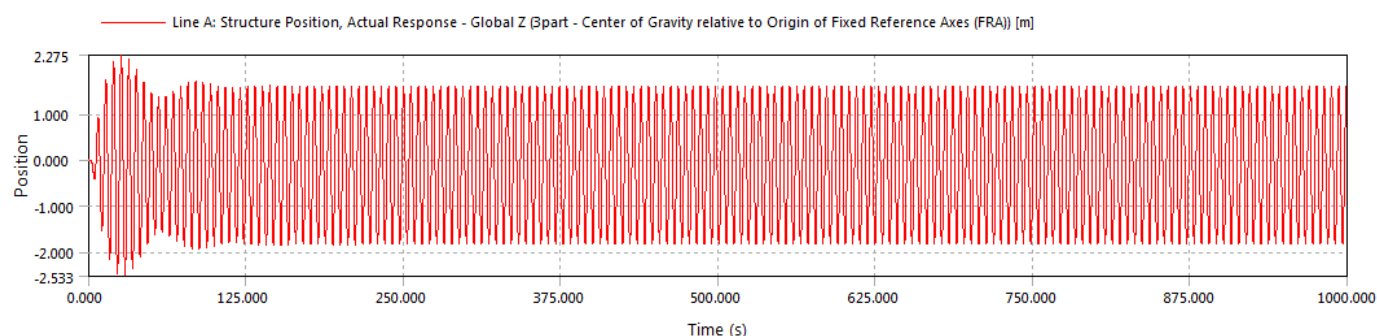


Statistics Parameters A	
☐ Mean Value	-0.22347 m
☐ Standard Deviation	0.34159 m
☐ Minimum Value	-0.70543 m
☐ Maximum Value	0.26083 m
☐ Mean of Lowest-Third ...	-0.70523 m
☐ Mean of Highest-Third ...	0.26062 m

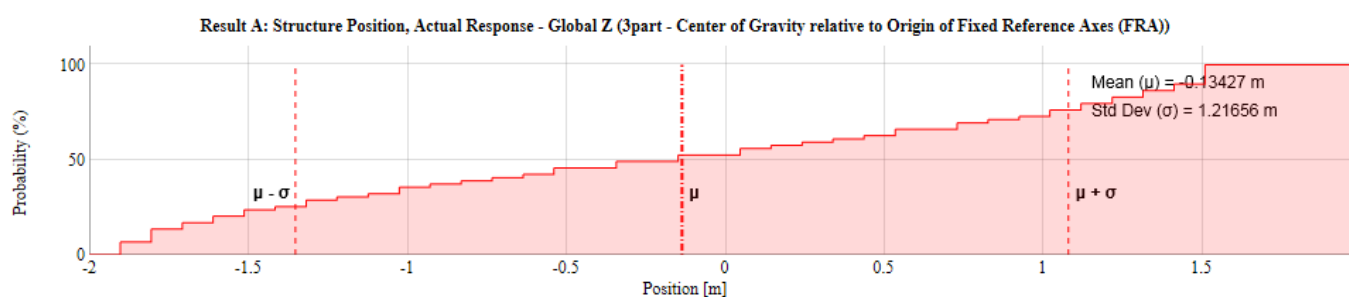
شکل ۵-۲۲- نتایج مدل عددی آبخور ۶ متر زاویه موج ۴۵ درجه با ارتفاع موج ۳.۶ متر و پریود ۵.۹ ثانیه

حداقل جابجایی برابر با ۰.۷۱- متر و حداکثر جابجایی برابر با ۰.۲۶ متر است. اختلاف جابجایی برابر با ۰.۹۷ متر می‌باشد.

۷- آبخور ۶ متر زاویه موج ۹۰ درجه با ارتفاع موج ۱.۸ متر و پریود ۵.۹ ثانیه



Time Domain Statistic Results

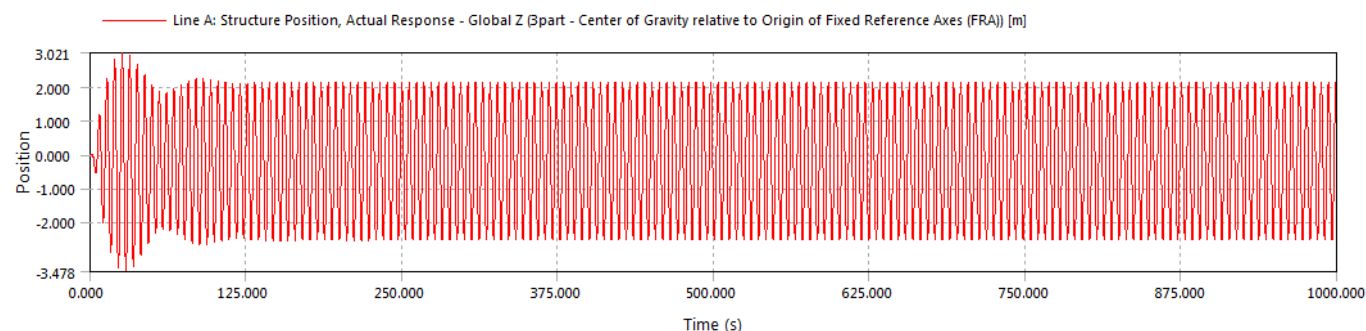


Statistics Parameters A	
☐ Mean Value	-0.13427 m
☐ Standard Deviation	1.21656 m
☐ Minimum Value	-1.84157 m
☐ Maximum Value	1.59986 m
☐ Mean of Lowest-Third ...	-1.83998 m
☐ Mean of Highest-Third ...	1.5983 m

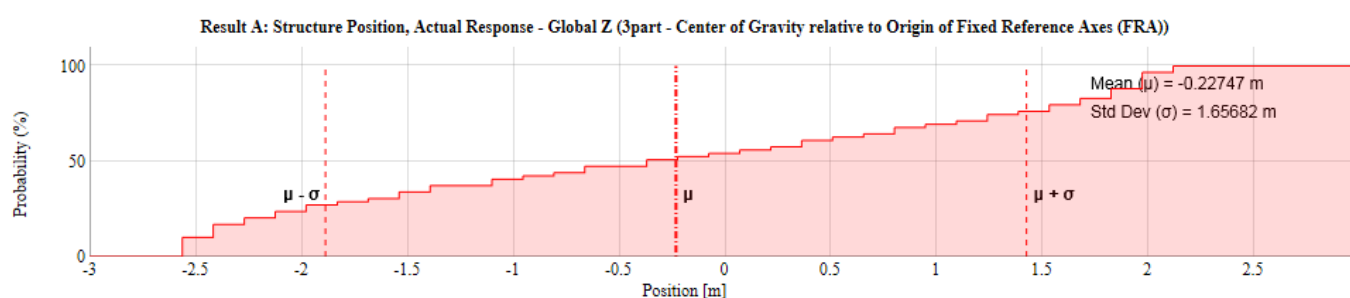
شکل ۵-۲۳- نتایج مدل عددی آبخور ۶ متر زاویه موج ۹۰ درجه با ارتفاع موج ۱.۸ متر و پریود ۵.۹ ثانیه

حداقل جابجایی برابر با ۱.۸۴- متر و حداکثر جابجایی برابر با ۱.۶۰ متر است. اختلاف جابجایی برابر با ۳.۴۴ متر می‌باشد.

۸- آبخور ۶ متر زاویه موج ۹۰ درجه با ارتفاع موج ۲.۴ متر و پریود ۵.۹ ثانیه



Time Domain Statistic Results

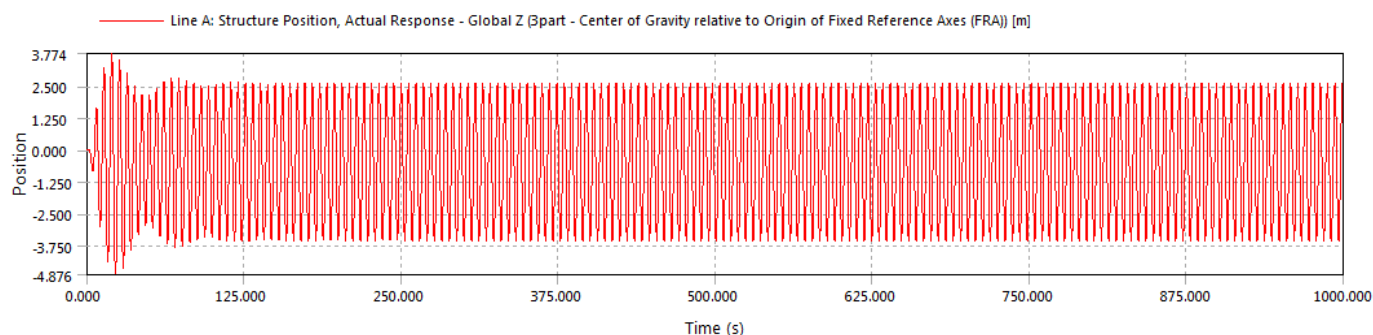


Statistics Parameters A	
☐ Mean Value	-0.22747 m
☐ Standard Deviation	1.65682 m
☐ Minimum Value	-2.54292 m
☐ Maximum Value	2.14343 m
☐ Mean of Lowest-Third ...	-2.54144 m
☐ Mean of Highest-Third ...	2.14205 m

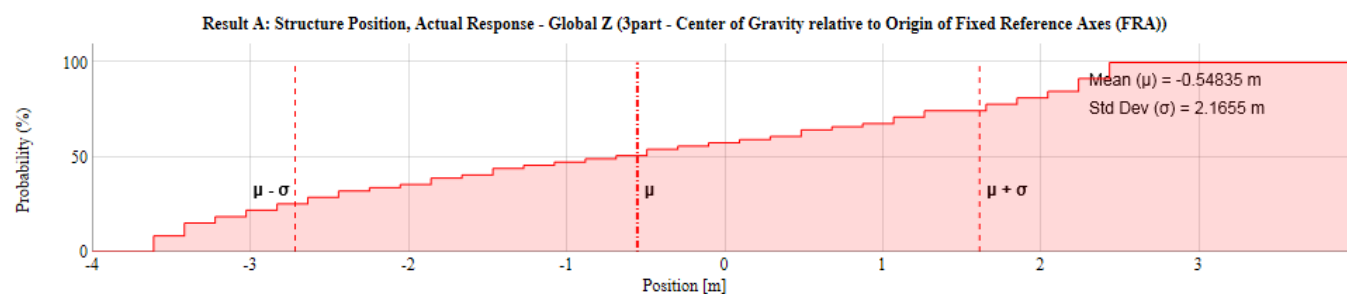
شکل ۵-۲۴- نتایج مدل عددی آبخور ۶ متر زاویه موج ۹۰ درجه با ارتفاع موج ۲.۴ متر و پریود ۵.۹ ثانیه

حداقل جابجایی برابر با ۲.۵۴- متر و حداکثر جابجایی برابر با ۲.۱۴ متر است. اختلاف جابجایی برابر با ۴.۶۸ متر می‌باشد.

۹- آبخور ۶ متر زاویه موج ۹۰ درجه با ارتفاع موج ۳.۶ متر و پریود ۵.۹ ثانیه



Time Domain Statistic Results



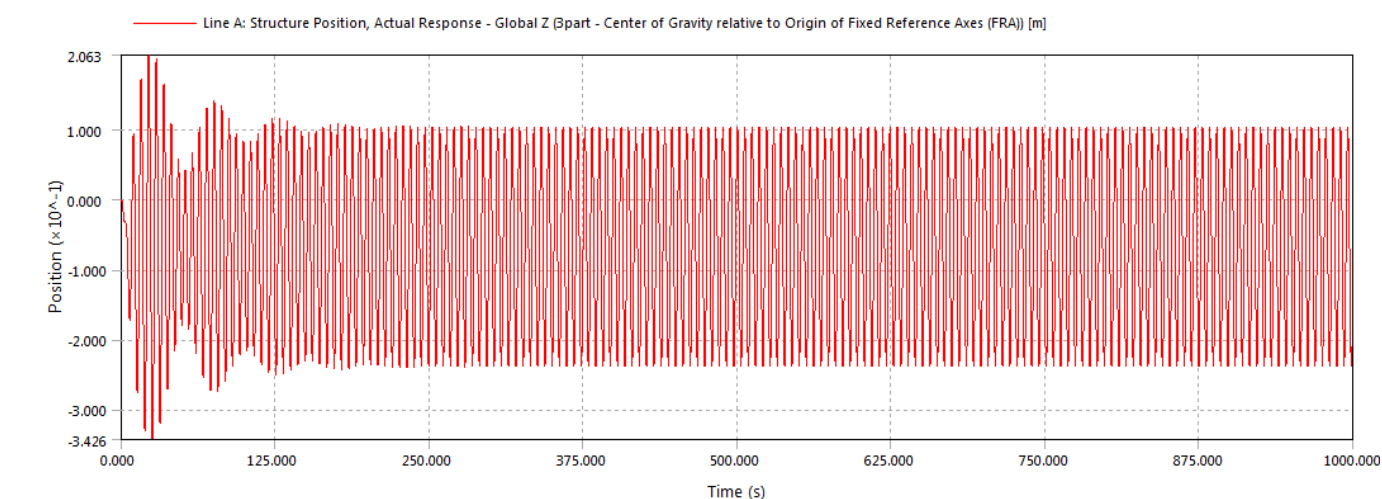
Statistics Parameters A	
☐ Mean Value	-0.54835 m
☐ Standard Deviation	2.1655 m
☐ Minimum Value	-3.53091 m
☐ Maximum Value	2.59887 m
☐ Mean of Lowest-Third ...	-3.52837 m
☐ Mean of Highest-Third ...	2.59683 m

شکل ۵-۲۵- نتایج مدل عددی آبخور ۶ متر زاویه موج ۹۰ درجه با ارتفاع موج ۳.۶ متر و پریود ۵.۹ ثانیه

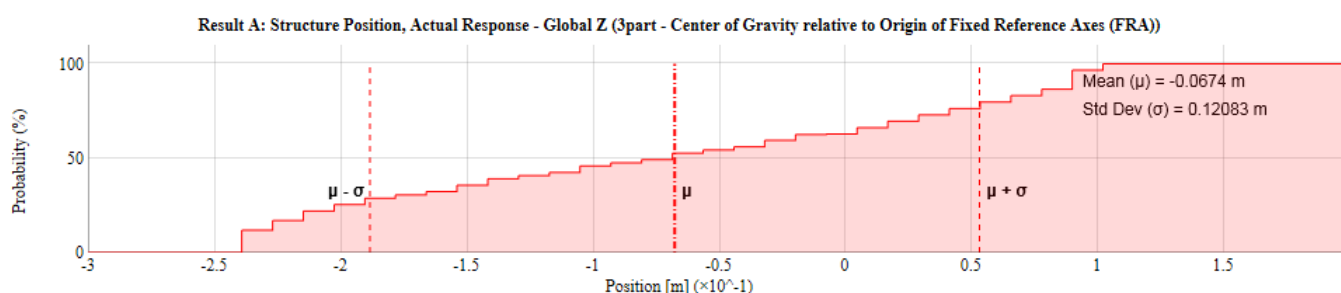
حداقل جابجایی برابر با ۳.۵۳- متر و حداکثر جابجایی برابر با ۲.۶ متر است. اختلاف جابجایی برابر با ۶.۱۳ متر می‌باشد.

۳-۶-۵- سناریو سوم (تعداد پانتون سه عدد)

۱- آبخور ۶ متر زاویه موج ۰ درجه با ارتفاع موج ۱.۸ متر و پریود ۵.۹ ثانیه



Time Domain Statistic Results

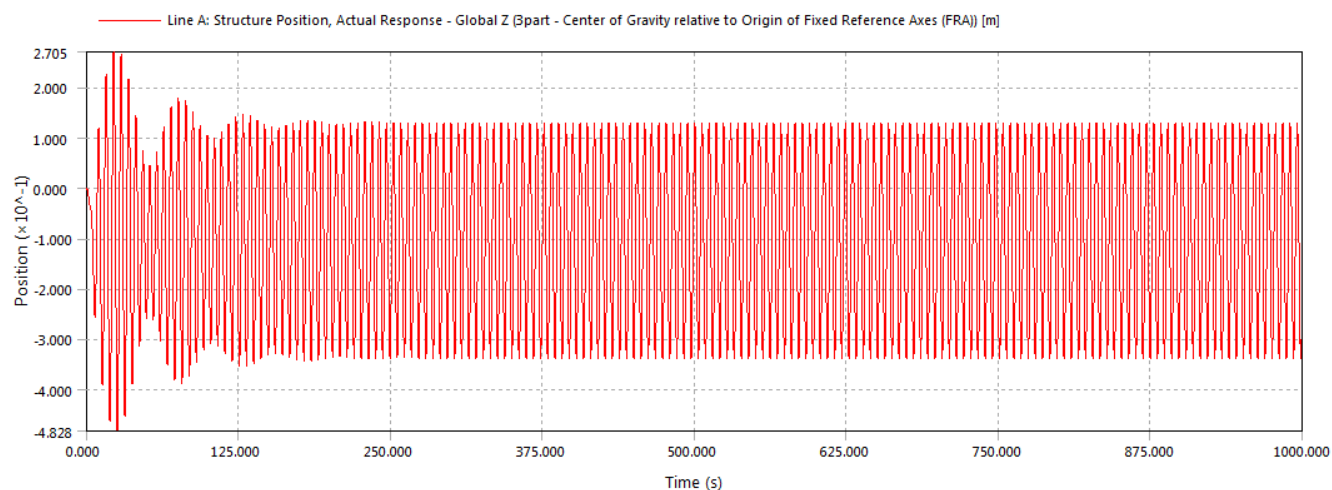


Statistics Parameters A

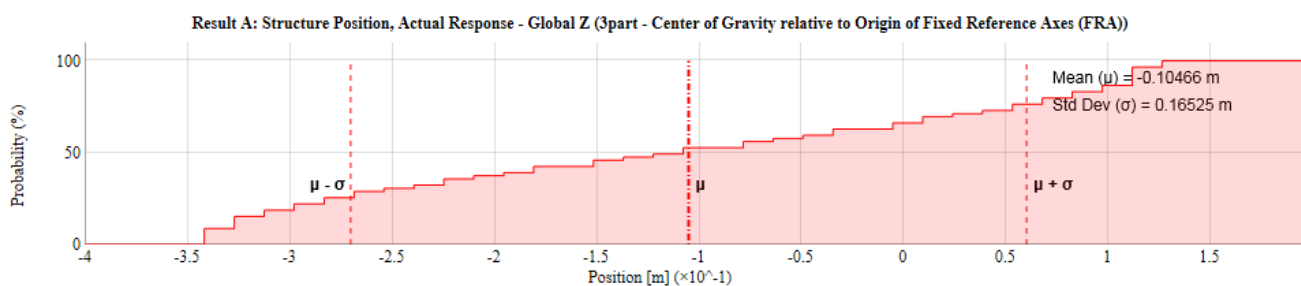
☐ Mean Value	-0.0674 m
☐ Standard Deviation	0.12083 m
☐ Minimum Value	-0.23938 m
☐ Maximum Value	0.10493 m
☐ Mean of Lowest-Third ...	-0.23814 m
☐ Mean of Highest-Third ...	0.10365 m

شکل ۵-۲۶- نتایج مدل عددی آبخور ۶ متر زاویه موج ۰ درجه با ارتفاع موج ۱.۸ متر و پریود ۵.۹ ثانیه
 حداقل جابجایی برابر با ۰.۲۴- متر و حداکثر جابجایی برابر با ۰.۱۰ متر است. اختلاف جابجایی برابر با
 ۰.۳۴ متر می‌باشد.

۲- آبخور ۶ متر زاویه موج ۰ درجه با ارتفاع موج ۲.۴ متر و پریود ۵.۹ ثانیه



Time Domain Statistic Results

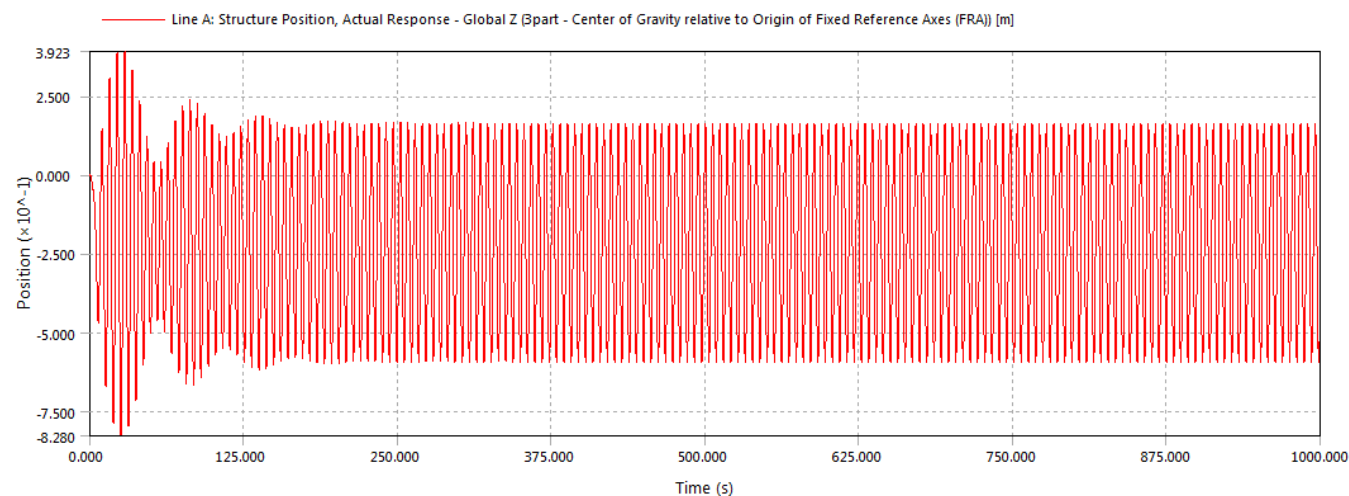


Statistics Parameters A	
Mean Value	-0.10466 m
Standard Deviation	0.16525 m
Minimum Value	-0.33976 m
Maximum Value	0.13073 m
Mean of Lowest-Third ...	-0.33815 m
Mean of Highest-Third ...	0.12914 m

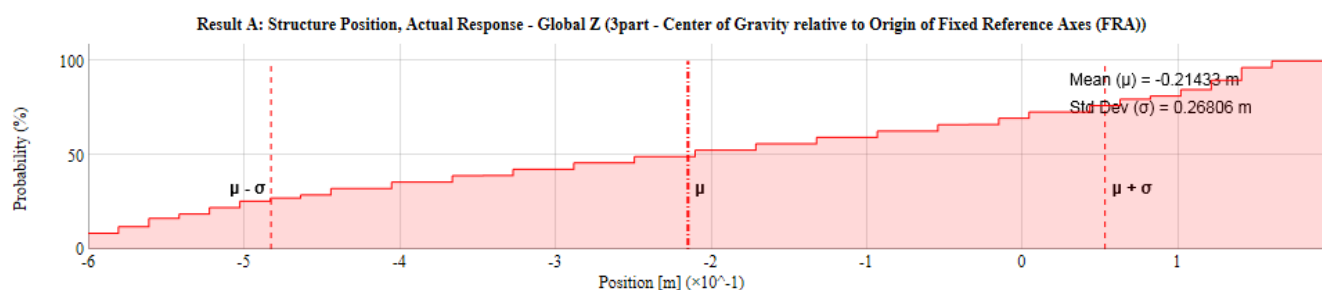
شکل ۵-۲۷- نتایج مدل عددی آبخور ۶ متر زاویه موج ۰ درجه با ارتفاع موج ۲.۴ متر و پریود ۵.۹ ثانیه

حداقل جابجایی برابر با ۰.۳۴- متر و حداکثر جابجایی برابر با ۰.۱۳ متر است. اختلاف جابجایی برابر با ۰.۴۷ متر می‌باشد.

۳- آبخور ۶ متر زاویه موج ۰ درجه با ارتفاع موج ۳.۶ متر و پریود ۵.۹ ثانیه



Time Domain Statistic Results

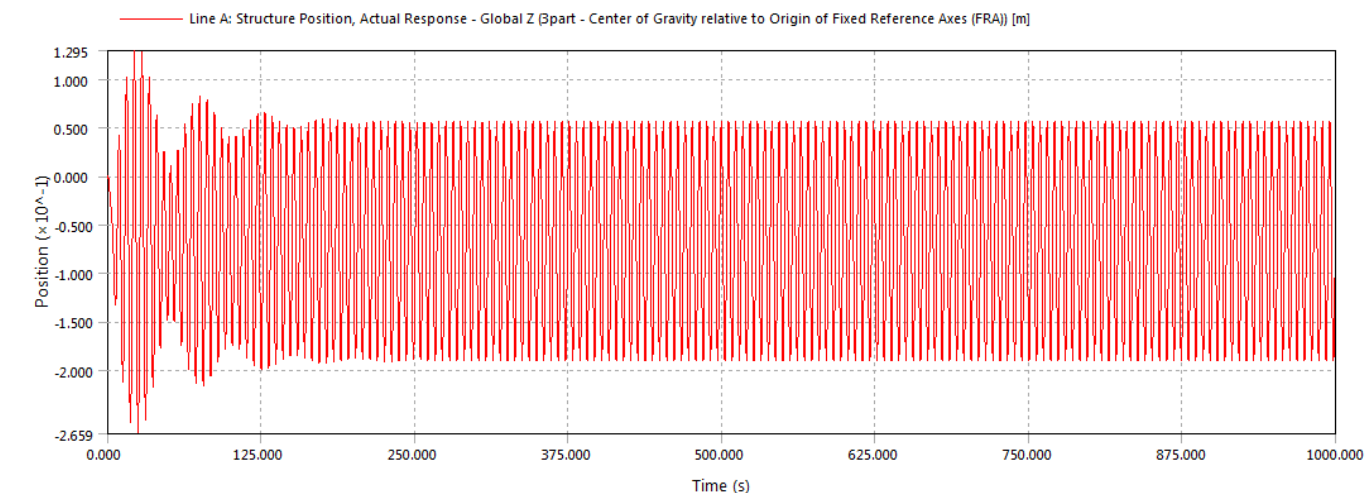


Statistics Parameters A	
☐ Mean Value	-0.21433 m
☐ Standard Deviation	0.26806 m
☐ Minimum Value	-0.59754 m
☐ Maximum Value	0.16729 m
☐ Mean of Lowest-Third ...	-0.59309 m
☐ Mean of Highest-Third ...	0.16463 m

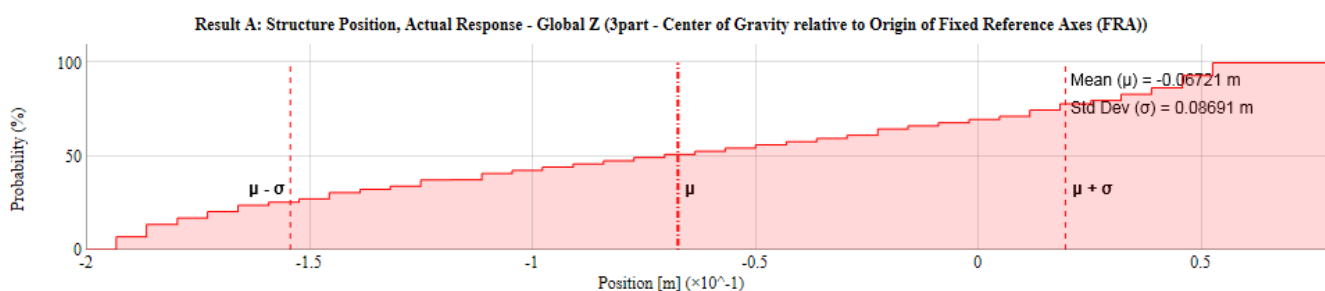
شکل ۵-۲۸- نتایج مدل عددی آبخور ۶ متر زاویه موج ۰ درجه با ارتفاع موج ۳.۶ متر و پریود ۵.۹ ثانیه

حداقل جابجایی برابر با ۰.۶۰- متر و حداکثر جابجایی برابر با ۰.۱۷ متر است. اختلاف جابجایی برابر با ۰.۷۷ متر می‌باشد.

۴- آبخور ۶ متر زاویه موج ۴۵ درجه با ارتفاع موج ۱.۸ متر و پریود ۵.۹ ثانیه



Time Domain Statistic Results

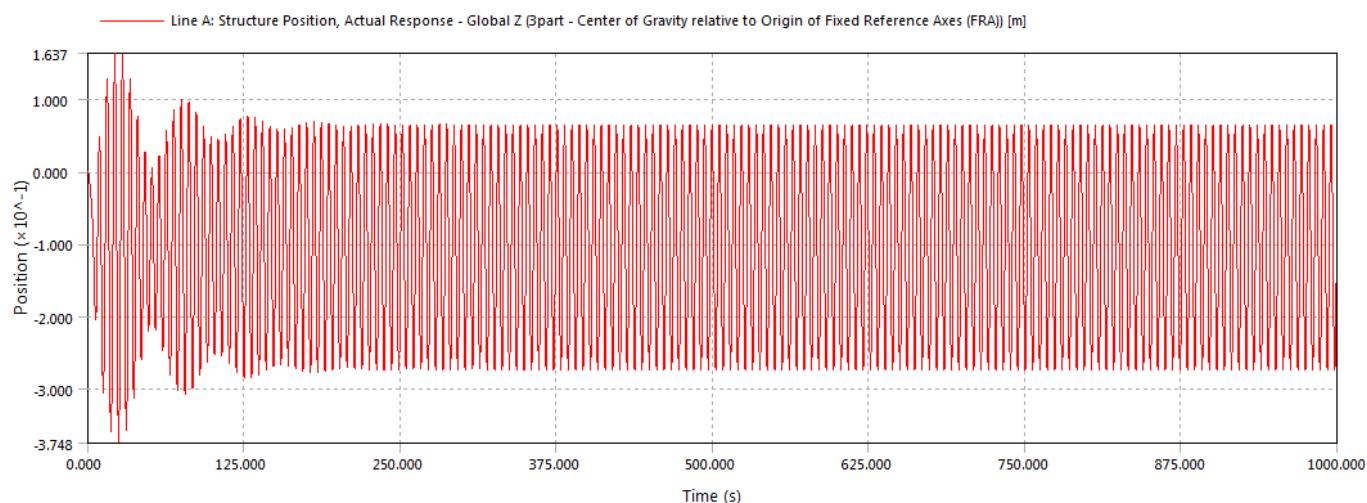


Statistics Parameters A	
☐ Mean Value	-0.06721 m
☐ Standard Deviation	0.08691 m
☐ Minimum Value	-0.1909 m
☐ Maximum Value	0.05697 m
☐ Mean of Lowest-Third ...	-0.19004 m
☐ Mean of Highest-Third ...	0.05603 m

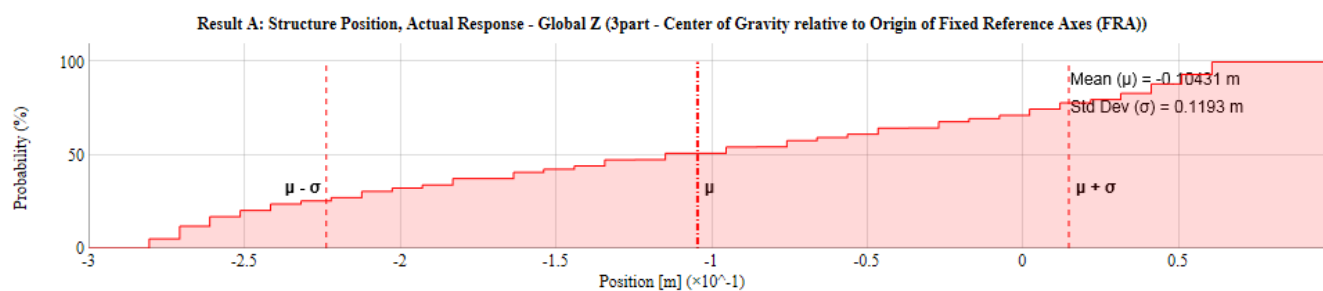
شکل ۵-۲۹- نتایج مدل عددی آبخور ۶ متر زاویه موج ۴۵ درجه با ارتفاع موج ۱.۸ متر و پریود ۵.۹ ثانیه

حداقل جابجایی برابر با ۰.۱۹- متر و حداکثر جابجایی برابر با ۰.۰۶ متر است. اختلاف جابجایی برابر با ۰.۲۵ متر می‌باشد.

۵- آبخور ۶ متر زاویه موج ۴۵ درجه با ارتفاع موج ۲.۴ متر و پریود ۵.۹ ثانیه



Time Domain Statistic Results

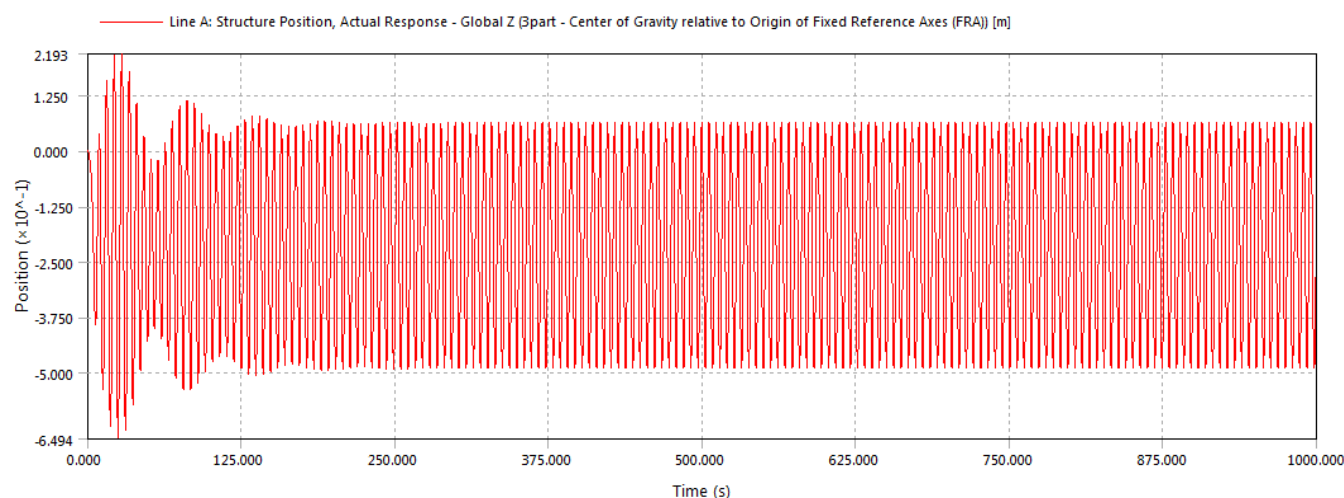


Statistics Parameters A	
☐ Mean Value	-0.10431 m
☐ Standard Deviation	0.1193 m
☐ Minimum Value	-0.274 m
☐ Maximum Value	0.06598 m
☐ Mean of Lowest-Third ...	-0.2729 m
☐ Mean of Highest-Third ...	0.06484 m

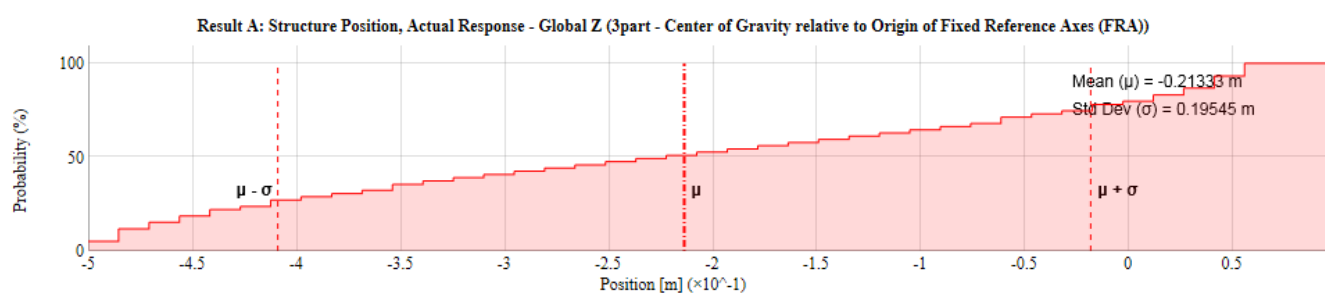
شکل ۵-۳۰- نتایج مدل عددی آبخور ۶ متر زاویه موج ۴۵ درجه با ارتفاع موج ۲.۴ متر و پریود ۵.۹ ثانیه

حدافل جابجایی برابر با ۰.۲۷- متر و حداکثر جابجایی برابر با ۰.۰۷ متر است. اختلاف جابجایی برابر با ۰.۳۴ متر می‌باشد.

۶- آبخور ۶ متر زاویه موج ۴۵ درجه با ارتفاع موج ۳.۶ متر و پریود ۵.۹ ثانیه



Time Domain Statistic Results

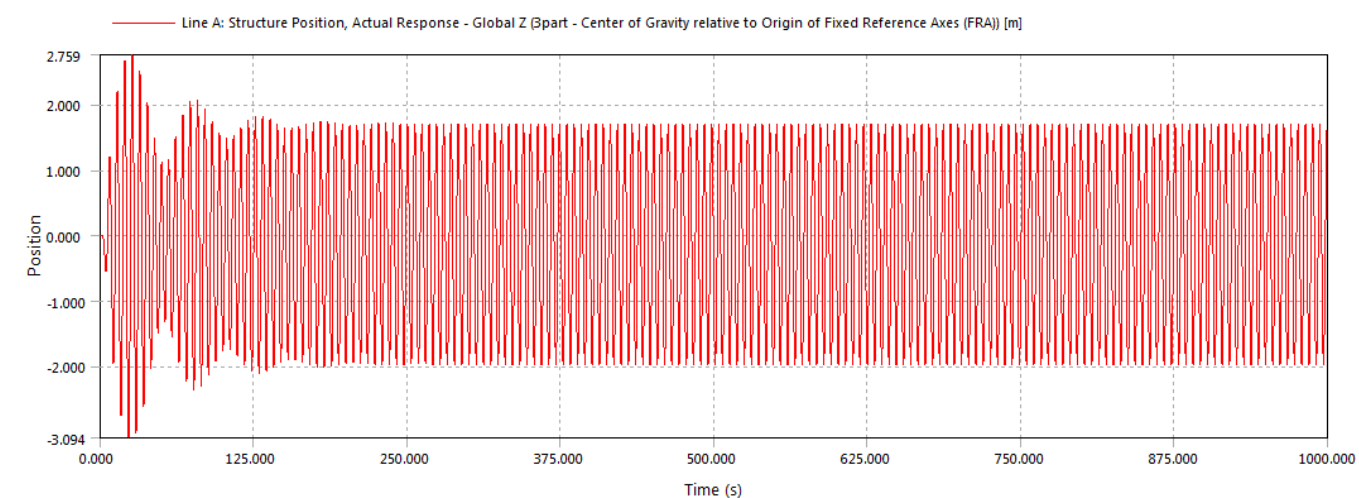


Statistics Parameters A	
☐ Mean Value	-0.21333 m
☐ Standard Deviation	0.19545 m
☐ Minimum Value	-0.49297 m
☐ Maximum Value	0.06548 m
☐ Mean of Lowest-Third ...	-0.49001 m
☐ Mean of Highest-Third ...	0.06354 m

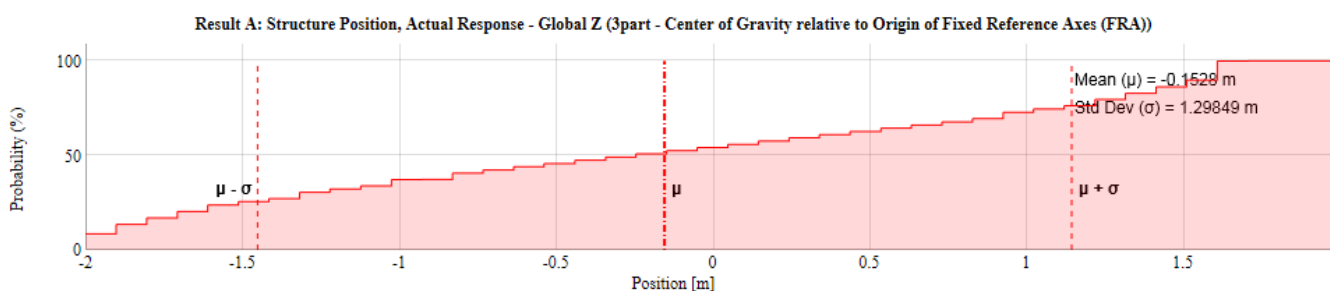
شکل ۵-۳۱- نتایج مدل عددی آبخور ۶ متر زاویه موج ۴۵ درجه با ارتفاع موج ۳.۶ متر و پریود ۵.۹ ثانیه

حداقل جابجایی برابر با ۰.۴۹- متر و حداکثر جابجایی برابر با ۰.۰۷ متر است. اختلاف جابجایی برابر با ۰.۵۶ متر می‌باشد.

۷- آبخور ۶ متر زاویه موج ۹۰ درجه با ارتفاع موج ۱.۸ متر و پریود ۵.۹ ثانیه



Time Domain Statistic Results

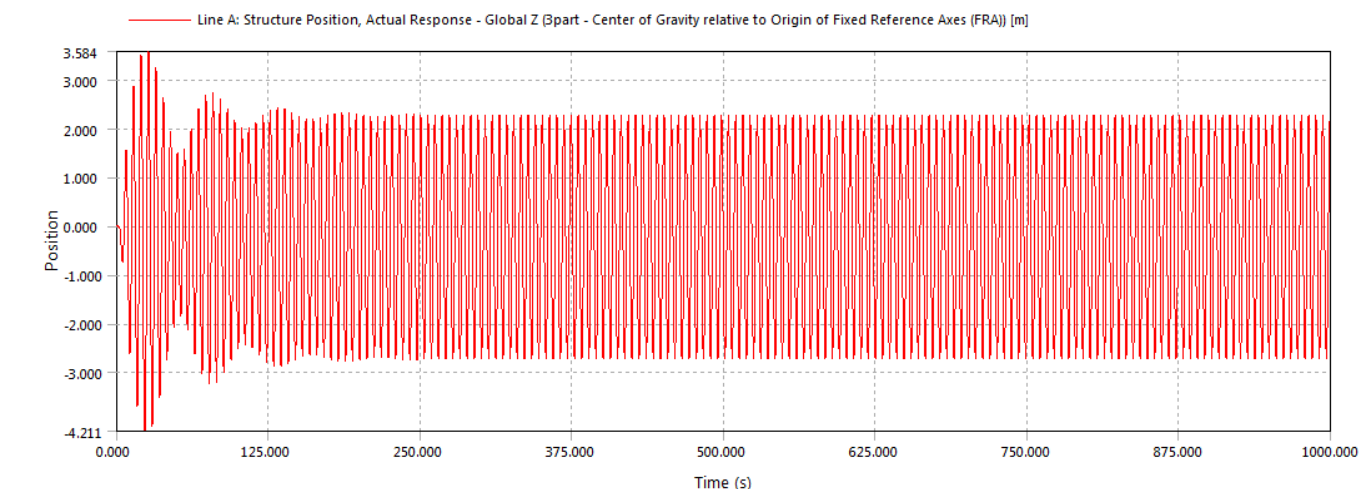


Statistics Parameters A

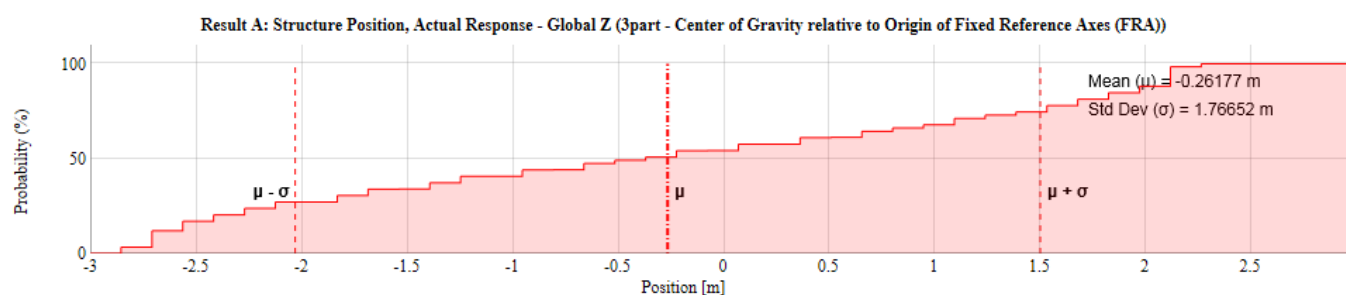
☐ Mean Value	-0.1528 m
☐ Standard Deviation	1.29849 m
☐ Minimum Value	-1.98203 m
☐ Maximum Value	1.71488 m
☐ Mean of Lowest-Third ...	-1.96964 m
☐ Mean of Highest-Third ...	1.70282 m

شکل ۵-۳۲- نتایج مدل عددی آبخور ۶ متر زاویه موج ۹۰ درجه با ارتفاع موج ۱.۸ متر و پریود ۵.۹ ثانیه
حداقل جابجایی برابر با ۱.۹۸- متر و حداکثر جابجایی برابر با ۱.۷۱ متر است. اختلاف جابجایی برابر با ۳.۶۹ متر می باشد.

۸- آبخور ۶ متر زاویه موج ۹۰ درجه با ارتفاع موج ۲.۴ متر و پریود ۵.۹ ثانیه



Time Domain Statistic Results



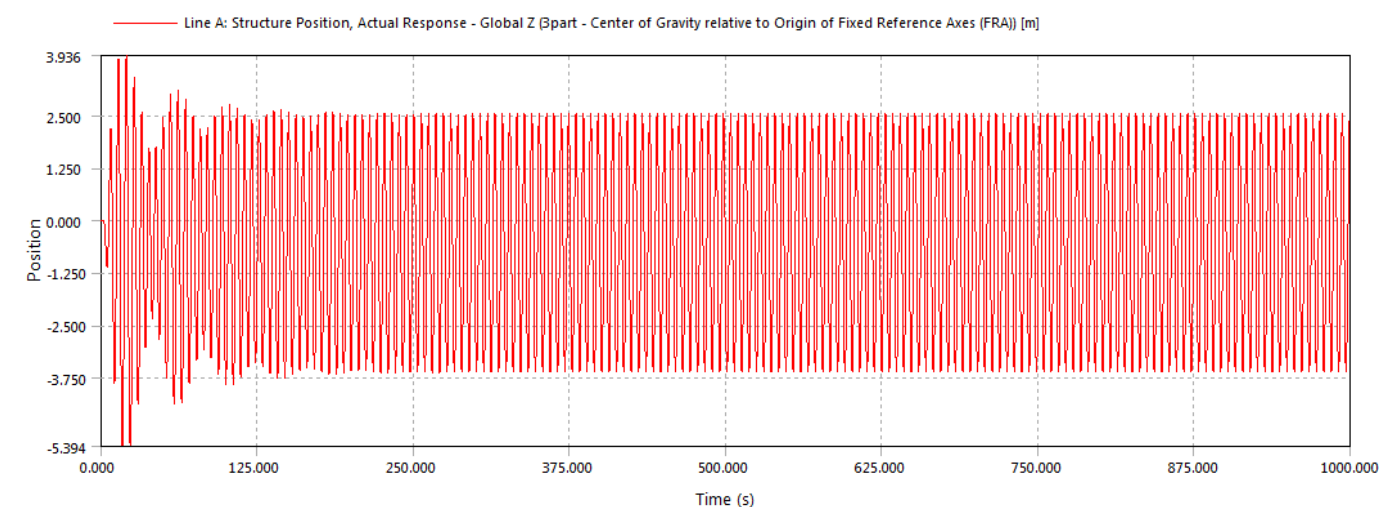
Statistics Parameters A

☐ Mean Value	-0.26177 m
☐ Standard Deviation	1.76652 m
☐ Minimum Value	-2.73836 m
☐ Maximum Value	2.28537 m
☐ Mean of Lowest-Third ...	-2.7235 m
☐ Mean of Highest-Third ...	2.27245 m

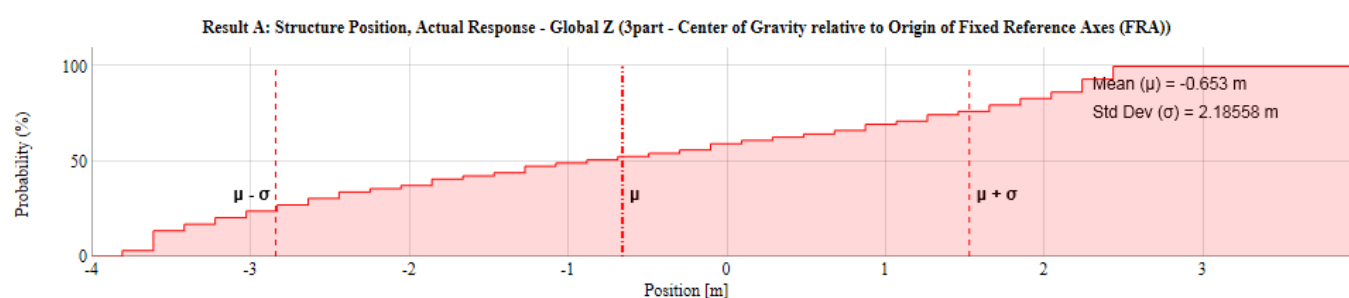
شکل ۵-۳۳- نتایج مدل عددی آبخور ۶ متر زاویه موج ۹۰ درجه با ارتفاع موج ۲.۴ متر و پریود ۵.۹ ثانیه

حداقل جابجایی برابر با ۲.۷۴- متر و حداکثر جابجایی برابر با ۲.۲۹ متر است. اختلاف جابجایی برابر با ۵.۰۳ متر می‌باشد.

۹- آبخور ۶ متر زاویه موج ۹۰ درجه با ارتفاع موج ۳.۶ متر و پریود ۵.۹ ثانیه



Time Domain Statistic Results



Statistics Parameters A

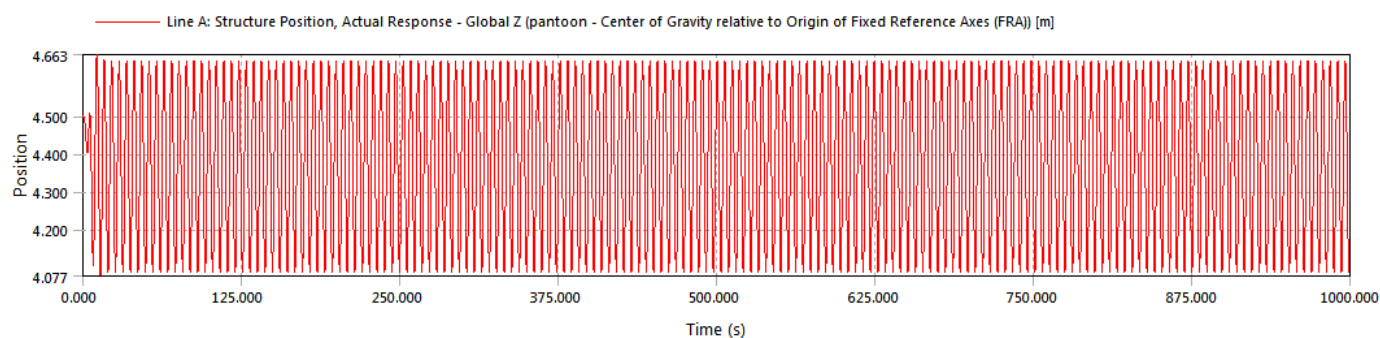
☐ Mean Value	-0.653 m
☐ Standard Deviation	2.18558 m
☐ Minimum Value	-3.64157 m
☐ Maximum Value	2.55764 m
☐ Mean of Lowest-Third ...	-3.61848 m
☐ Mean of Highest-Third ...	2.53935 m

شکل ۵-۳۴- نتایج مدل عددی آبخور ۶ متر زاویه موج ۹۰ درجه با ارتفاع موج ۳.۶ متر و پریود ۵.۹ ثانیه
 حداقل جابجایی برابر با ۳.۶۴- متر و حداکثر جابجایی برابر با ۲.۵۶ متر است. اختلاف جابجایی برابر با ۶.۲۰ متر می‌باشد.

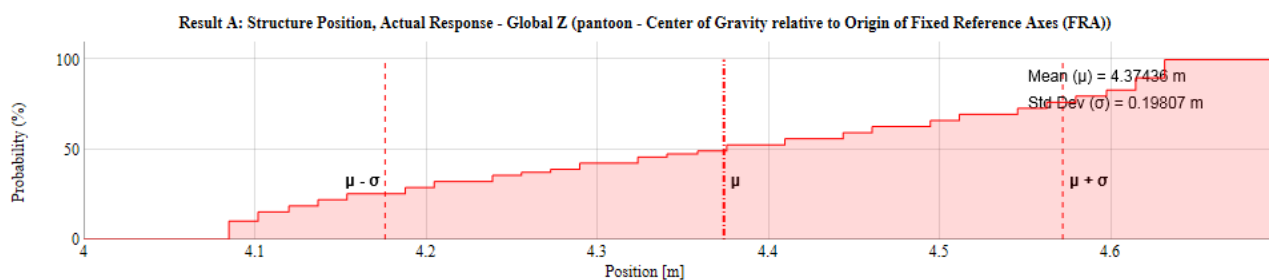
۷-۵- نتایج مدل عددی برای آبخور ۱.۵ متر

۷-۵-۱- سناریو چهارم (تعداد پانتون یک عدد)

۱- آبخور ۱.۵ متر زاویه موج ۰ درجه با ارتفاع موج ۱.۸ متر و پریود ۵.۹ ثانیه



Time Domain Statistic Results



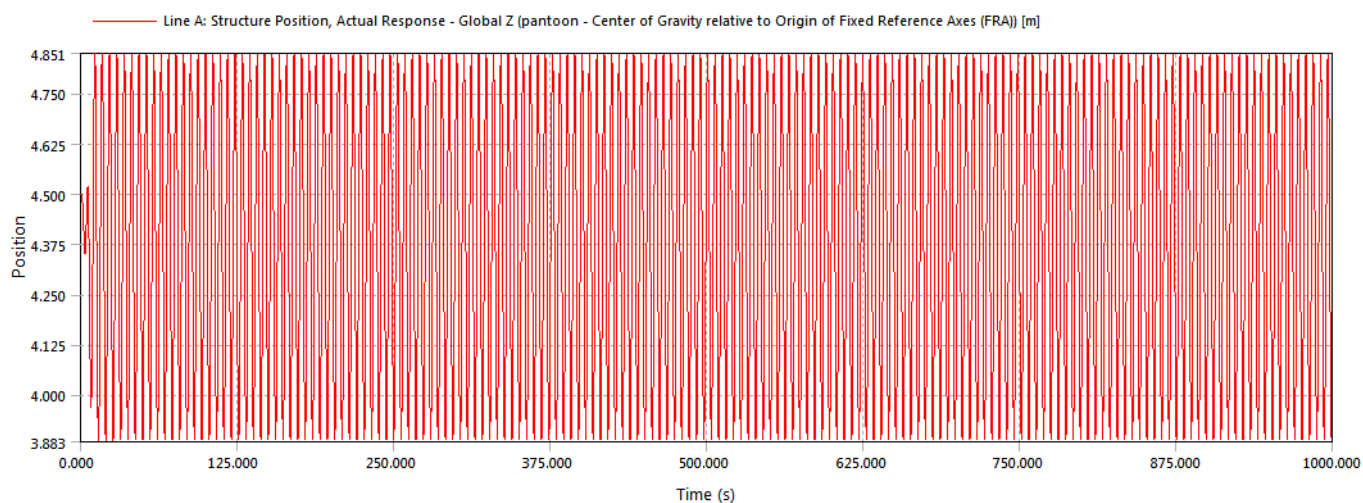
Statistics Parameters A

☐ Mean Value	4.37436 m
☐ Standard Deviation	0.19807 m
☐ Minimum Value	4.088 m
☐ Maximum Value	4.64608 m
☐ Mean of Lowest-Third ...	4.08801 m
☐ Mean of Highest-Third ...	4.64607 m

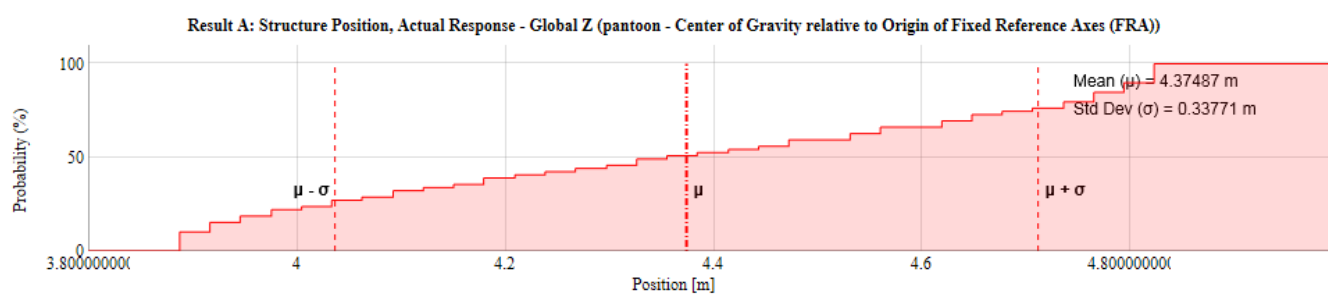
شکل ۵-۳- نتایج مدل عددی آبخور ۱.۵ متر زاویه موج ۰ درجه با ارتفاع موج ۱.۸ متر و پریود ۵.۹ ثانیه

حداقل جابجایی برابر با ۴.۰۹ متر و حداکثر جابجایی برابر با ۴.۶۵ متر است. اختلاف جابجایی برابر با ۰.۵۶ متر می باشد.

۲- آبخور ۱.۵ متر زاویه موج ۰ درجه با ارتفاع موج ۲.۴ متر و پریود ۵.۹ ثانیه



Time Domain Statistic Results

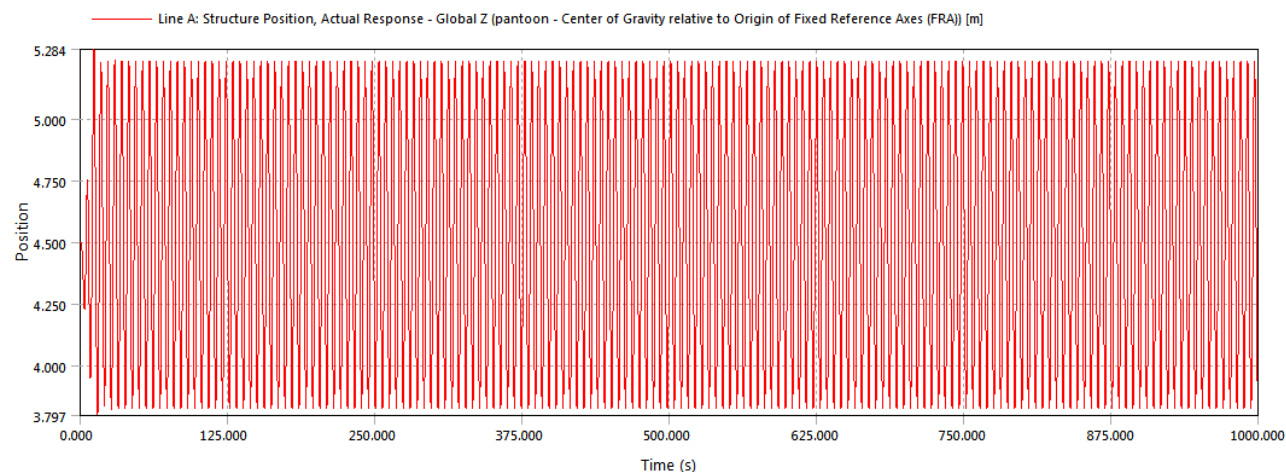


Statistics Parameters A	
☐ Mean Value	4.37487 m
☐ Standard Deviation	0.33771 m
☐ Minimum Value	3.88917 m
☐ Maximum Value	4.84683 m
☐ Mean of Lowest-Third ...	3.88918 m
☐ Mean of Highest-Third ...	4.84682 m

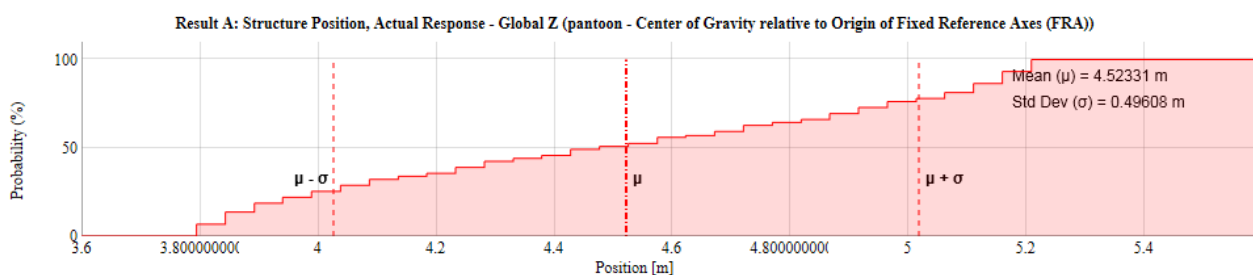
شکل ۵-۳۶- نتایج مدل عددی آبخور ۱.۵ متر زاویه موج ۰ درجه با ارتفاع موج ۲.۴ متر و پریود ۵.۹ ثانیه

حداقل جابجایی برابر با ۳.۸۹ متر و حداکثر جابجایی برابر با ۴.۸۵ متر است. اختلاف جابجایی برابر با ۰.۹۶ متر می باشد.

۳- آبخور ۱.۵ متر زاویه موج ۰ درجه با ارتفاع موج ۳.۶ متر و پریود ۵.۹ ثانیه



Time Domain Statistic Results

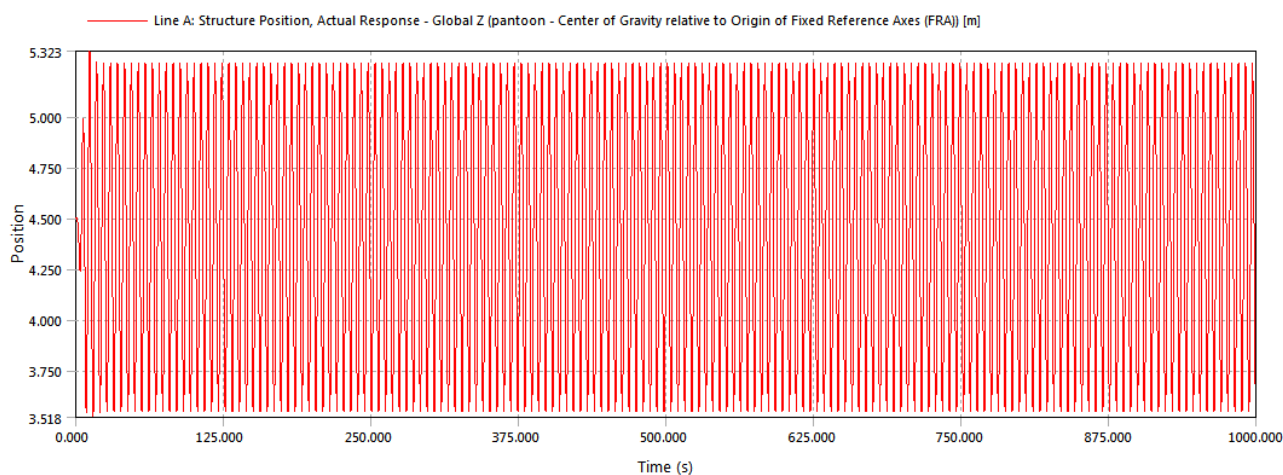


Statistics Parameters A	
☐ Mean Value	4.52331 m
☐ Standard Deviation	0.49608 m
☐ Minimum Value	3.82773 m
☐ Maximum Value	5.23414 m
☐ Mean of Lowest-Third ...	3.82774 m
☐ Mean of Highest-Third ...	5.23413 m

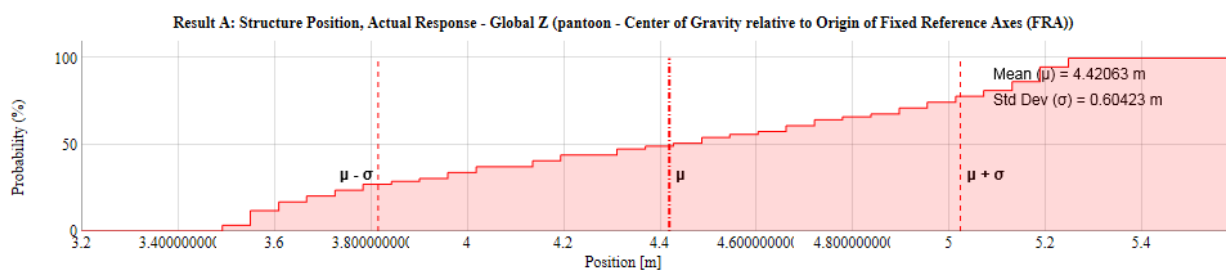
شکل ۵-۳۷- نتایج مدل عددی آبخور ۱.۵ متر زاویه موج ۰ درجه با ارتفاع موج ۳.۶ متر و پریود ۵.۹ ثانیه

حداقل جابجایی برابر با ۳.۸۳ متر و حداکثر جابجایی برابر با ۵.۲۳ متر است. اختلاف جابجایی برابر با ۱.۴ متر می‌باشد.

۴- آبخور ۱.۵ متر زاویه موج ۴۵ درجه با ارتفاع موج ۱.۸ متر و پریود ۵.۹ ثانیه



Time Domain Statistic Results



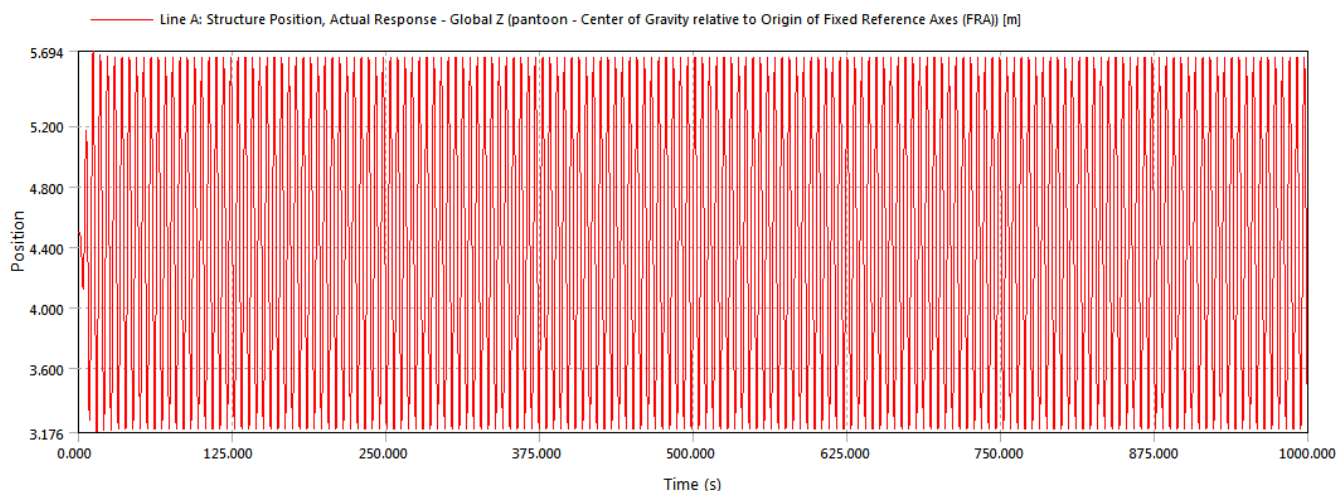
Statistics Parameters A	
☐ Mean Value	4.42063 m
☐ Standard Deviation	0.60423 m
☐ Minimum Value	3.54611 m
☐ Maximum Value	5.26088 m
☐ Mean of Lowest-Third ...	3.54614 m
☐ Mean of Highest-Third ...	5.26084 m

شکل ۵-۳۸- نتایج مدل عددی آبخور ۱.۵ متر زاویه موج ۴۵ درجه با ارتفاع موج ۱.۸ متر و پریود ۵.۹ ثانیه

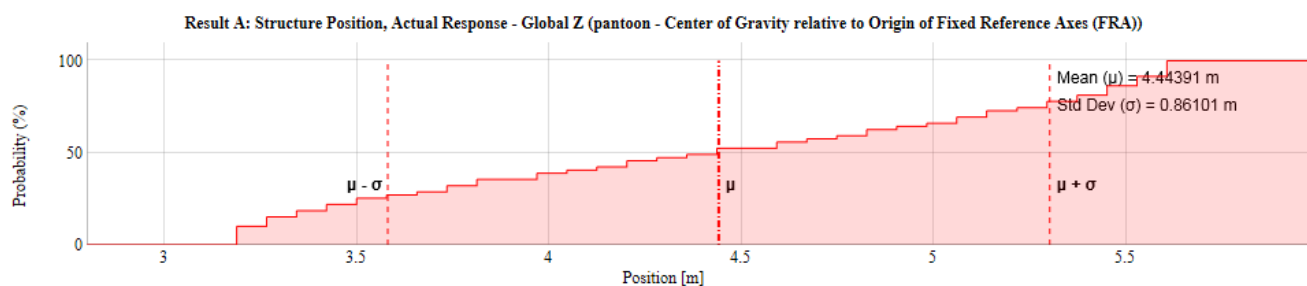
حداقل جابجایی برابر با ۳.۵۵ متر و حداکثر جابجایی برابر با ۵.۲۶ متر است. اختلاف جابجایی برابر با ۱.۷۱

متر می باشد.

۵- آبخور ۱.۵ متر زاویه موج ۴۵ درجه با ارتفاع موج ۲.۴ متر و پریود ۵.۹ ثانیه



Time Domain Statistic Results

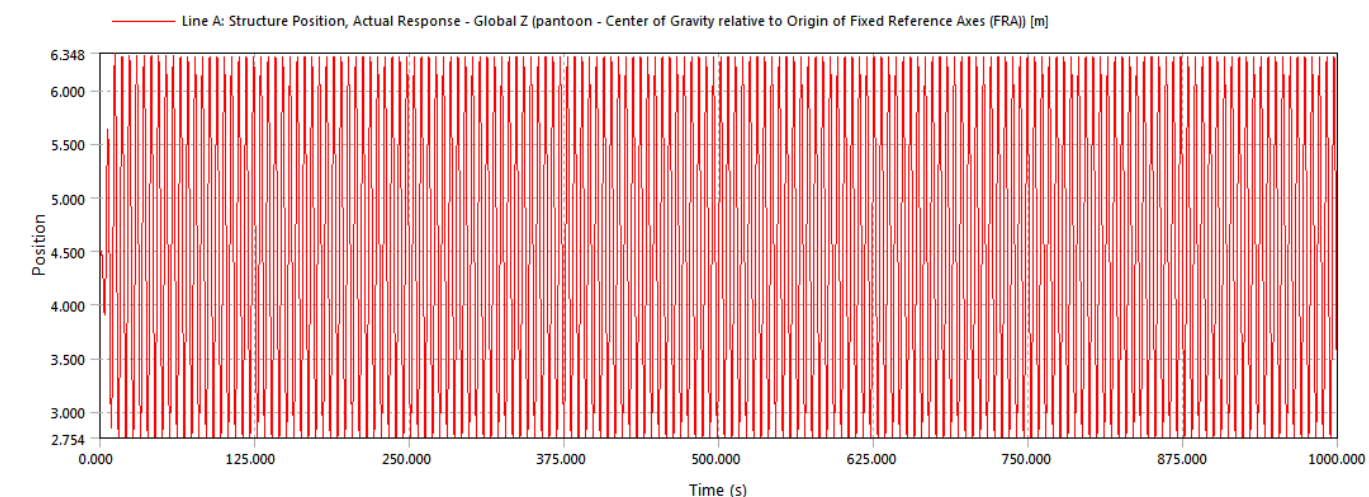


Statistics Parameters A	
☐ Mean Value	4.44391 m
☐ Standard Deviation	0.86101 m
☐ Minimum Value	3.19819 m
☐ Maximum Value	5.65438 m
☐ Mean of Lowest-Third ...	3.19823 m
☐ Mean of Highest-Third ...	5.65432 m

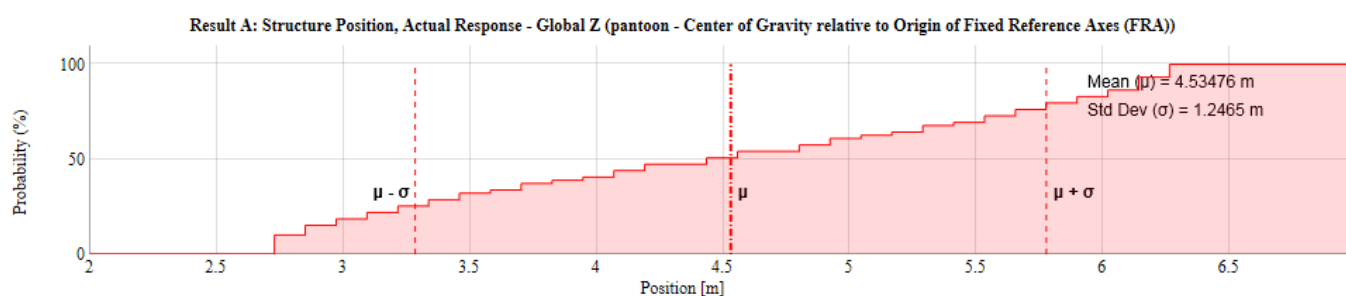
شکل ۵-۳۹- نتایج مدل عددی آبخور ۱.۵ متر زاویه موج ۴۵ درجه با ارتفاع موج ۲.۴ متر و پریود ۵.۹ ثانیه

حداقل جابجایی برابر با ۳.۲ متر و حداکثر جابجایی برابر با ۵.۶۵ متر است. اختلاف جابجایی برابر با ۲.۴۵ متر می باشد.

۶- آبخور ۱.۵ متر زاویه موج ۴۵ درجه با ارتفاع موج ۳.۶ متر و پریود ۵.۹ ثانیه



Time Domain Statistic Results



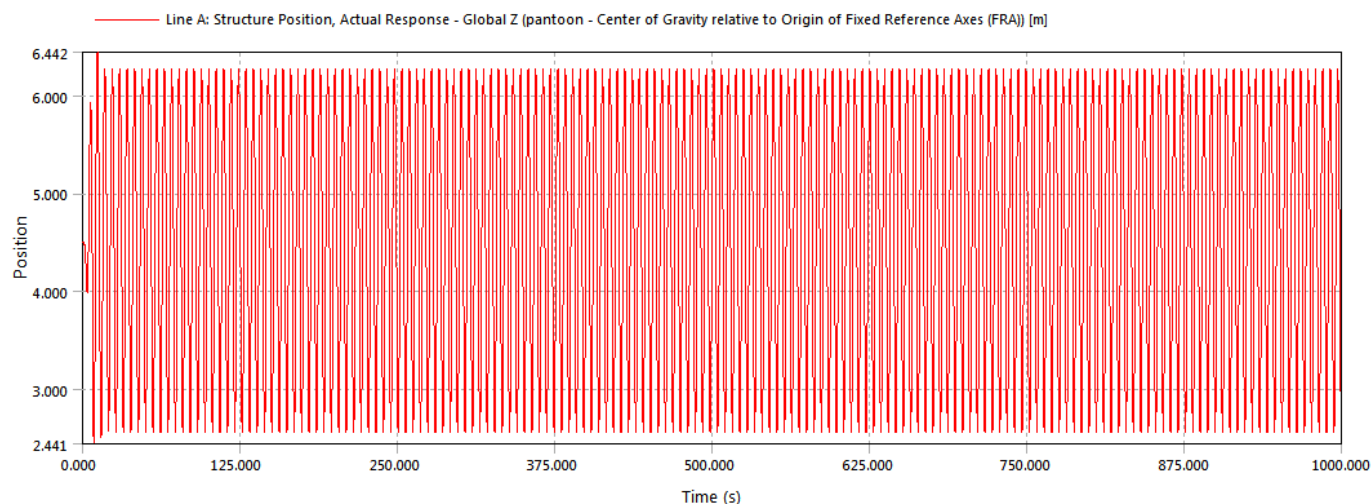
Statistics Parameters A

☐ Mean Value	4.53476 m
☐ Standard Deviation	1.2465 m
☐ Minimum Value	2.76009 m
☐ Maximum Value	6.31747 m
☐ Mean of Lowest-Third ...	2.76012 m
☐ Mean of Highest-Third ...	6.31738 m

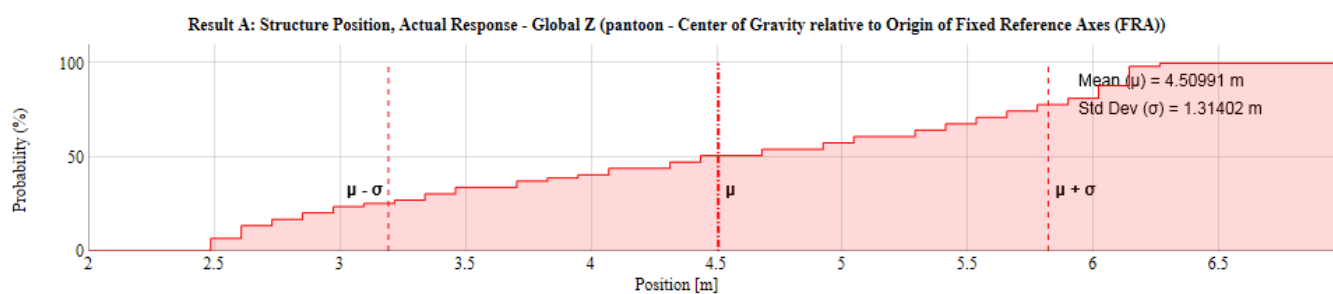
شکل ۵-۴۰- نتایج مدل عددی آبخور ۱.۵ متر زاویه موج ۴۵ درجه با ارتفاع موج ۳.۶ متر و پریود ۵.۹ ثانیه

حداقل جابجایی برابر با ۲.۷۶ متر و حداکثر جابجایی برابر با ۶.۳۲ متر است. اختلاف جابجایی برابر با ۳.۵۶ متر می باشد.

۷- آبخور ۱.۵ متر زاویه موج ۹۰ درجه با ارتفاع موج ۱.۸ متر و پریود ۵.۹ ثانیه



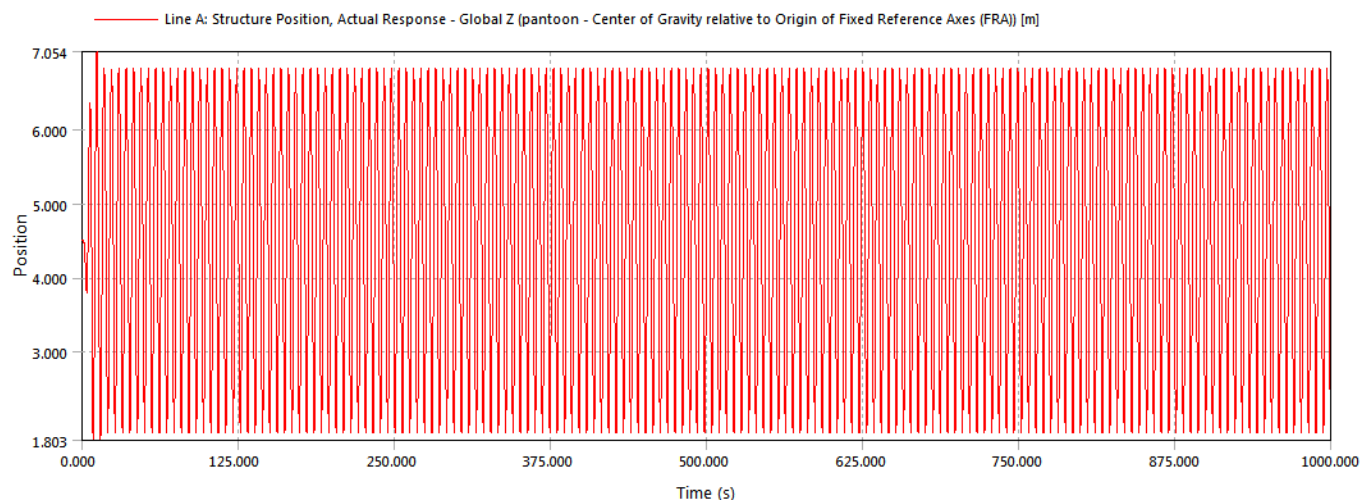
Time Domain Statistic Results



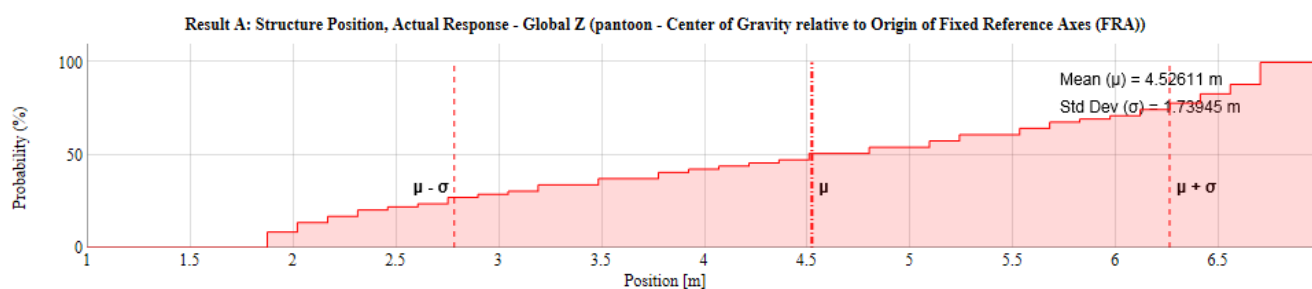
Statistics Parameters A	
☐ Mean Value	4.50991 m
☐ Standard Deviation	1.31402 m
☐ Minimum Value	2.55921 m
☐ Maximum Value	6.27156 m
☐ Mean of Lowest-Third ...	2.55924 m
☐ Mean of Highest-Third ...	6.27153 m

شکل ۵-۴۱- نتایج مدل عددی آبخور ۱.۵ متر زاویه موج ۹۰ درجه با ارتفاع موج ۱.۸ متر و پریود ۵.۹ ثانیه
حداقل جابجایی برابر با ۲.۵۶ متر و حداکثر جابجایی برابر با ۶.۲۷ متر است. اختلاف جابجایی برابر با ۳.۷۱ متر می‌باشد.

۸- آبخور ۱.۵ متر زاویه موج ۹۰ درجه با ارتفاع موج ۲.۴ متر و پریود ۵.۹ ثانیه



Time Domain Statistic Results



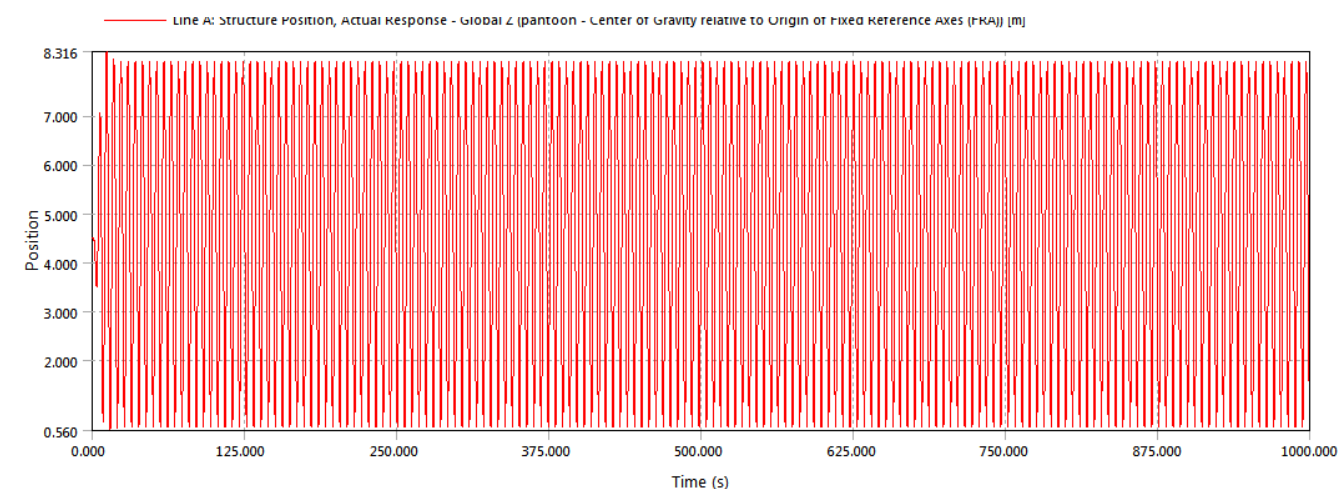
Statistics Parameters A

☐ Mean Value	4.52611 m
☐ Standard Deviation	1.73945 m
☐ Minimum Value	1.90494 m
☐ Maximum Value	6.82425 m
☐ Mean of Lowest-Third ...	1.90501 m
☐ Mean of Highest-Third ...	6.82418 m

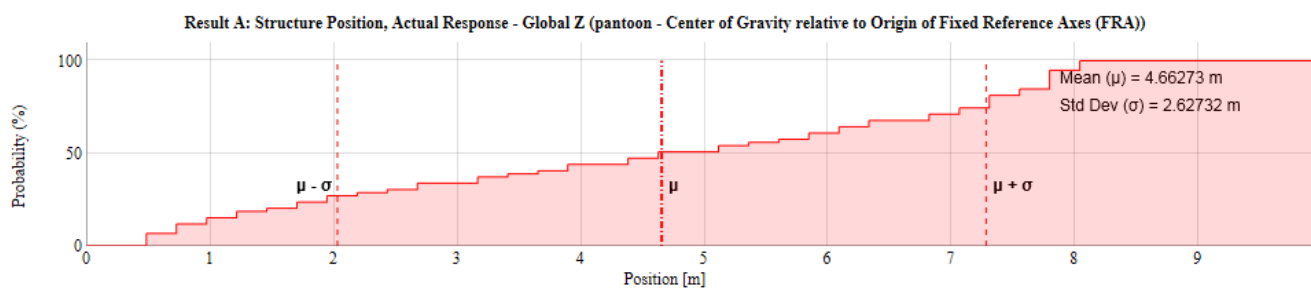
شکل ۵-۴۲- نتایج مدل عددی آبخور ۱.۵ متر زاویه موج ۹۰ درجه با ارتفاع موج ۲.۴ متر و پریود ۵.۹ ثانیه

حداقل جابجایی برابر با ۱.۹۰ متر و حداکثر جابجایی برابر با ۶.۸۲ متر است. اختلاف جابجایی برابر با ۴.۹۲ متر می‌باشد.

۹- آبخور ۱.۵ متر زاویه موج ۹۰ درجه با ارتفاع موج ۳.۶ متر و پریود ۵.۹ ثانیه



Time Domain Statistic Results



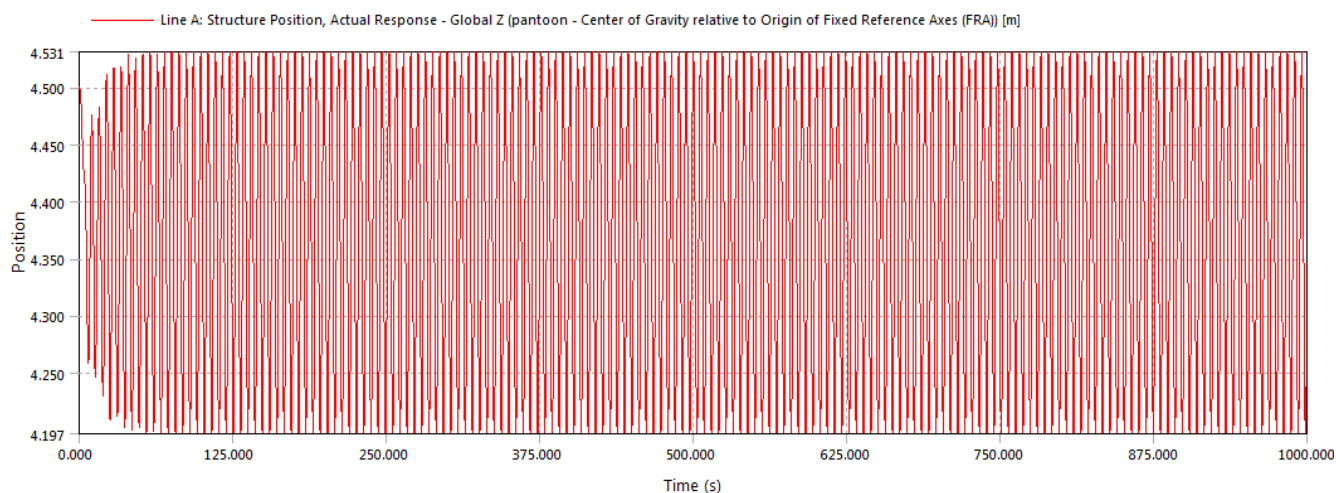
Statistics Parameters A	
☐ Mean Value	4.66273 m
☐ Standard Deviation	2.62732 m
☐ Minimum Value	0.63726 m
☐ Maximum Value	8.10555 m
☐ Mean of Lowest-Third ...	0.63739 m
☐ Mean of Highest-Third ...	8.10535 m

شکل ۵-۴۳- نتایج مدل عددی آبخور ۱.۵ متر زاویه موج ۹۰ درجه با ارتفاع موج ۳.۶ متر و پریود ۵.۹ ثانیه

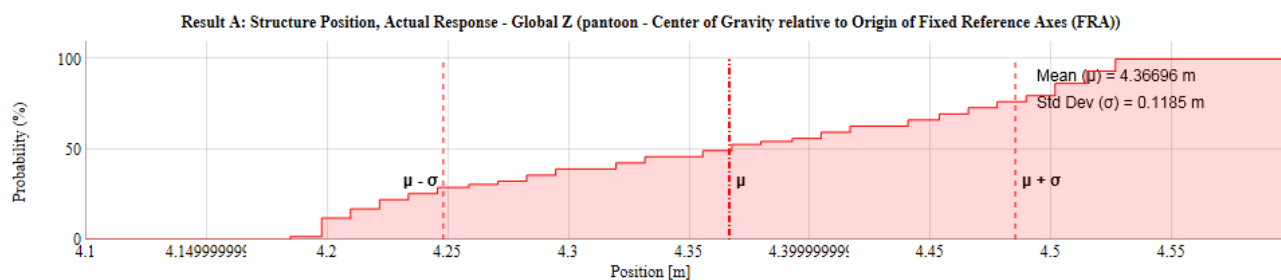
حداقل جابجایی برابر با ۰.۶۴ متر و حداکثر جابجایی برابر با ۸.۱۱ متر است. اختلاف جابجایی برابر با ۷.۴۷ متر می‌باشد.

۲-۷-۵- سناریو پنجم (تعداد پانتون دو عدد)

۱- آبخور ۱.۵ متر زاویه موج ۰ درجه با ارتفاع موج ۱.۸ متر و پریود ۵.۹ ثانیه



Time Domain Statistic Results

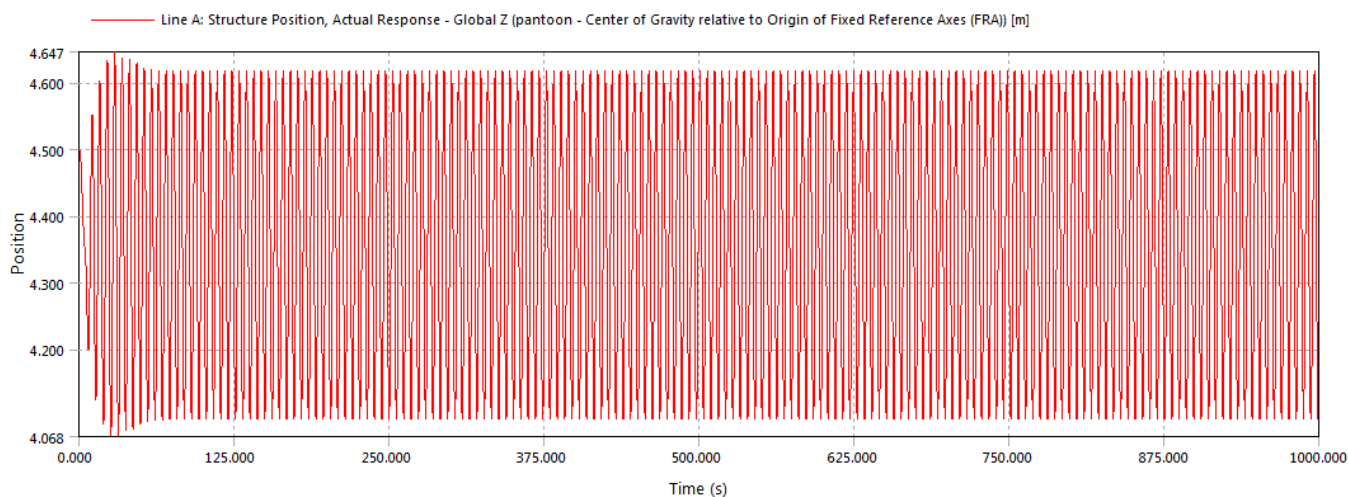


Statistics Parameters A

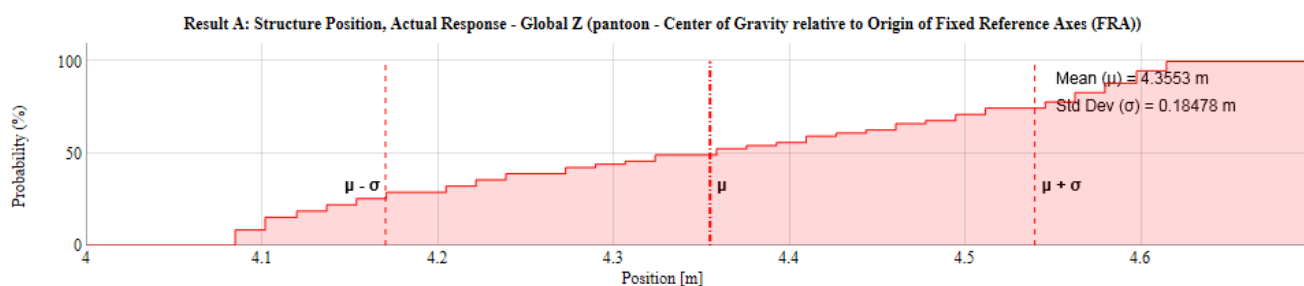
☐ Mean Value	4.36696 m
☐ Standard Deviation	0.1185 m
☐ Minimum Value	4.19692 m
☐ Maximum Value	4.53112 m
☐ Mean of Lowest-Third ...	4.19692 m
☐ Mean of Highest-Third ...	4.53111 m

شکل ۵-۴۴- نتایج مدل عددی آبخور ۱.۵ متر زاویه موج ۰ درجه با ارتفاع موج ۱.۸ متر و پریود ۵.۹ ثانیه
حداقل جابجایی برابر با ۴.۲ متر و حداکثر جابجایی برابر با ۴.۵۳ متر است. اختلاف جابجایی برابر با ۰.۳۳ متر می باشد.

۲- آبخور ۱.۵ متر زاویه موج ۰ درجه با ارتفاع موج ۲.۴ متر و پریود ۵.۹ ثانیه



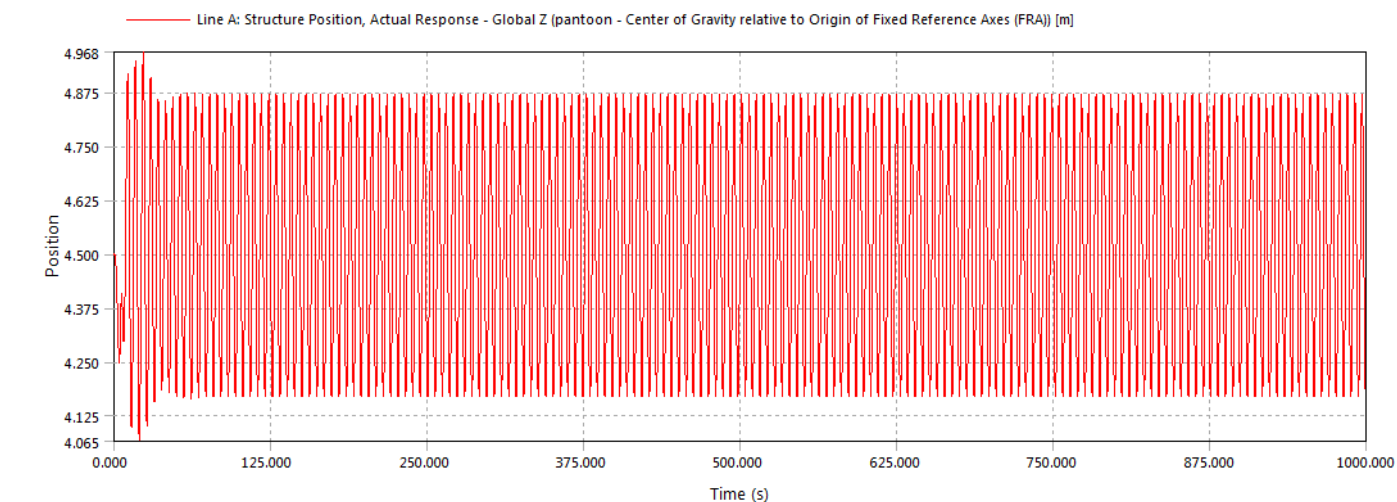
Time Domain Statistic Results



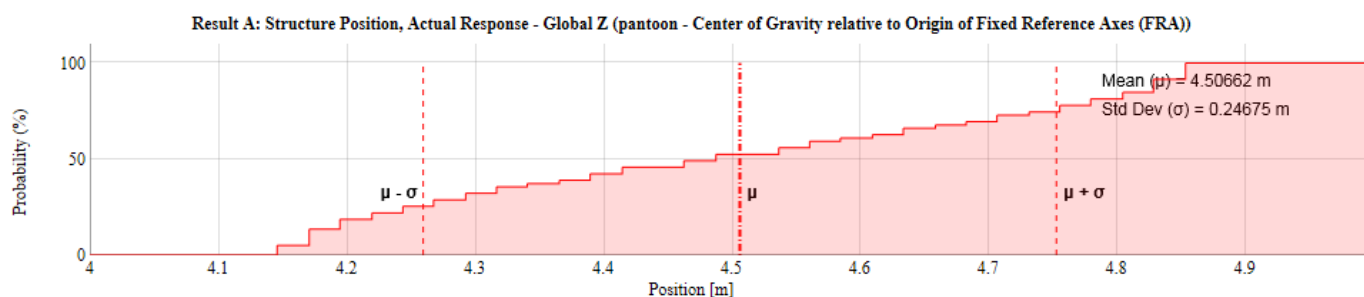
Statistics Parameters A	
☐ Mean Value	4.3553 m
☐ Standard Deviation	0.18478 m
☐ Minimum Value	4.09433 m
☐ Maximum Value	4.61754 m
☐ Mean of Lowest-Third ...	4.09433 m
☐ Mean of Highest-Third ...	4.61754 m

شکل ۵-۴۵- نتایج مدل عددی آبخور ۱.۵ متر زاویه موج ۰ درجه با ارتفاع موج ۲.۴ متر و پریود ۵.۹ ثانیه
حداقل جابجایی برابر با ۴.۰۹ متر و حداکثر جابجایی برابر با ۴.۶۲ متر است. اختلاف جابجایی برابر با ۰.۵۳ متر می‌باشد.

۳- آبخور ۱.۵ متر زاویه موج ۰ درجه با ارتفاع موج ۳.۶ متر و پریود ۵.۹ ثانیه



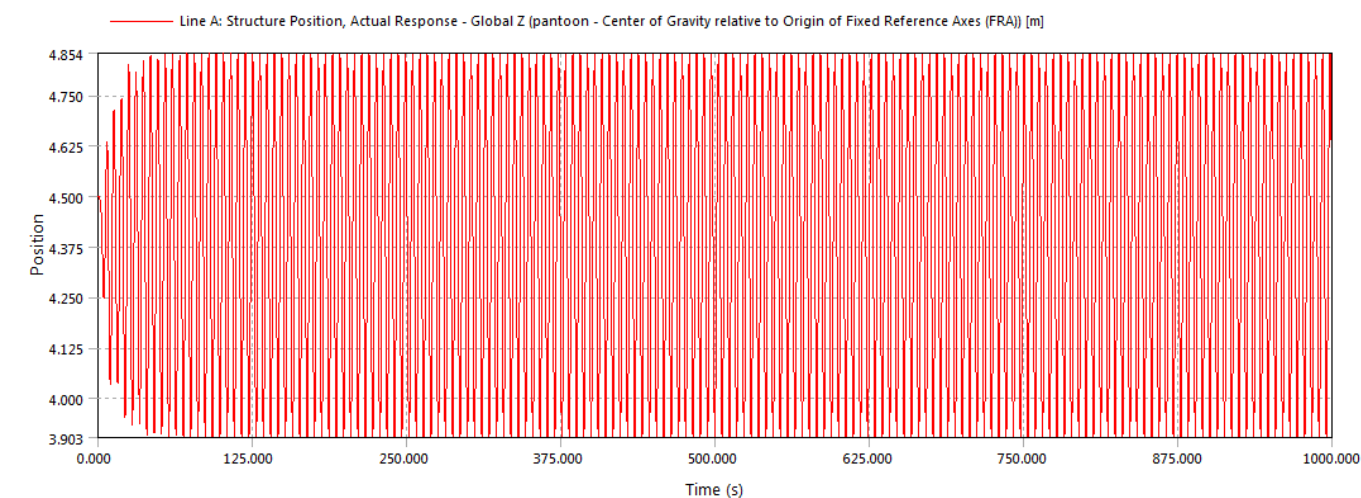
Time Domain Statistic Results



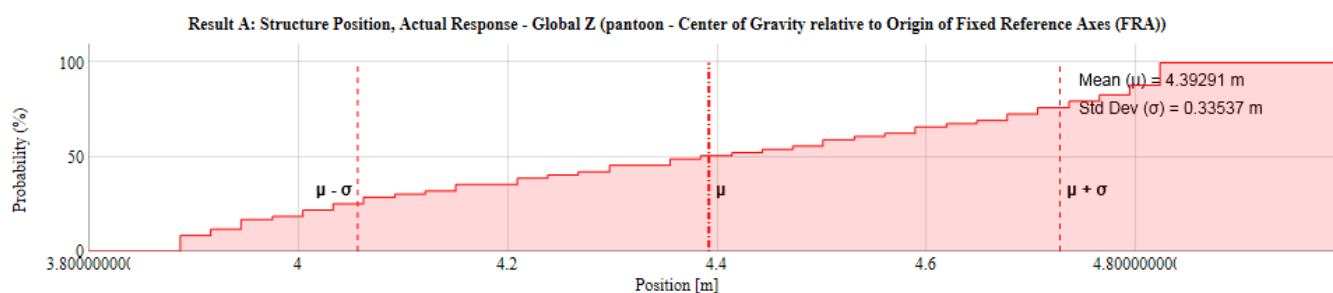
Statistics Parameters A	
☐ Mean Value	4.50662 m
☐ Standard Deviation	0.24675 m
☐ Minimum Value	4.16819 m
☐ Maximum Value	4.86888 m
☐ Mean of Lowest-Third ...	4.16819 m
☐ Mean of Highest-Third ...	4.86888 m

شکل ۵-۴۶- نتایج مدل عددی آبخور ۱.۵ متر زاویه موج ۰ درجه با ارتفاع موج ۳.۶ متر و پریود ۵.۹ ثانیه
حداقل جابجایی برابر با ۴.۱۷ متر و حداکثر جابجایی برابر با ۴.۸۷ متر است. اختلاف جابجایی برابر با ۰.۷ متر می‌باشد.

۴- آبخور ۱.۵ متر زاویه موج ۴۵ درجه با ارتفاع موج ۱.۸ متر و پریود ۵.۹ ثانیه



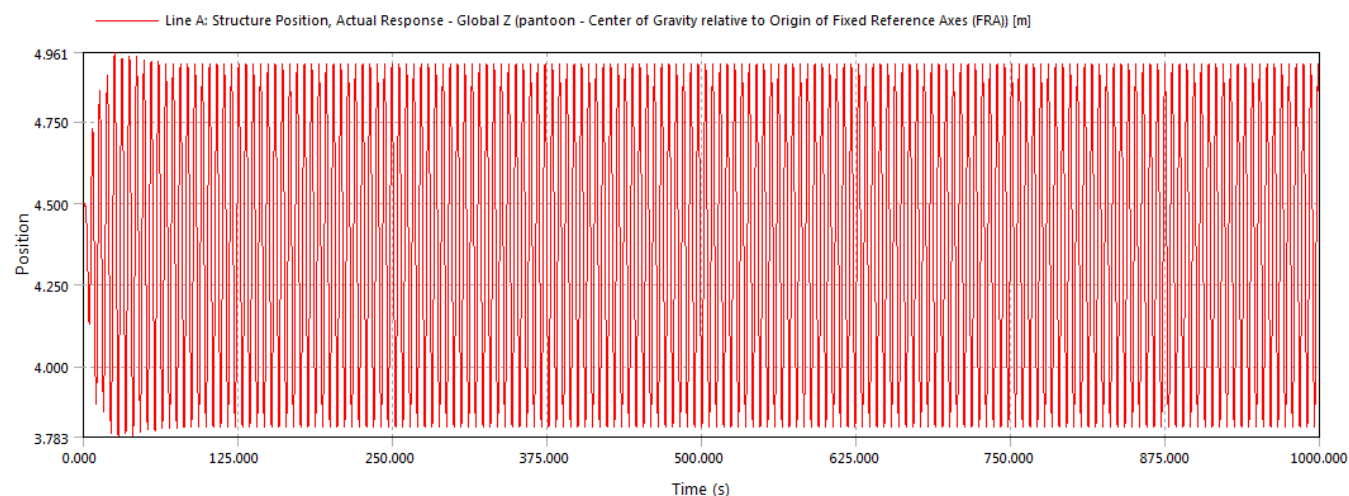
Time Domain Statistic Results



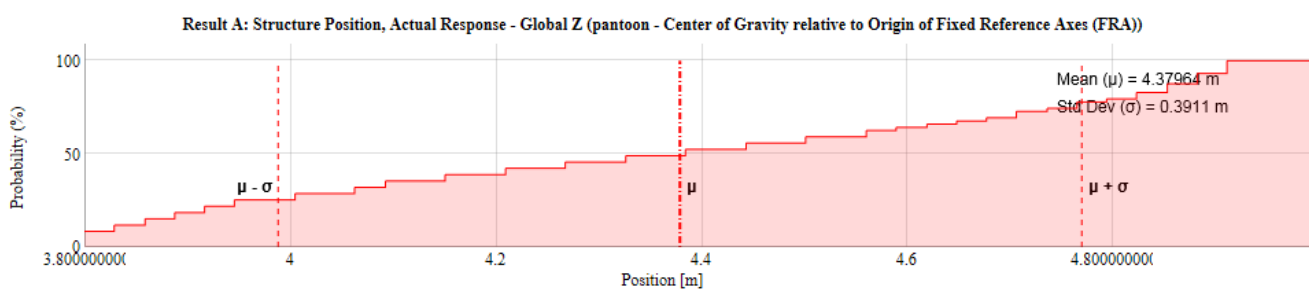
Statistics Parameters A	
☐ Mean Value	4.39291 m
☐ Standard Deviation	0.33537 m
☐ Minimum Value	3.904 m
☐ Maximum Value	4.85226 m
☐ Mean of Lowest-Third ...	3.90402 m
☐ Mean of Highest-Third ...	4.85224 m

شکل ۵-۴۷- نتایج مدل عددی آبخور ۱.۵ متر زاویه موج ۴۵ درجه با ارتفاع موج ۱.۸ متر و پریود ۵.۹ ثانیه
 حداقل جابجایی برابر با ۳.۹ متر و حداکثر جابجایی برابر با ۴.۸۵ متر است. اختلاف جابجایی برابر با ۰.۹۵ متر می‌باشد.

۵- آبخور ۱.۵ متر زاویه موج ۴۵ درجه با ارتفاع موج ۲.۴ متر و پریود ۵.۹ ثانیه



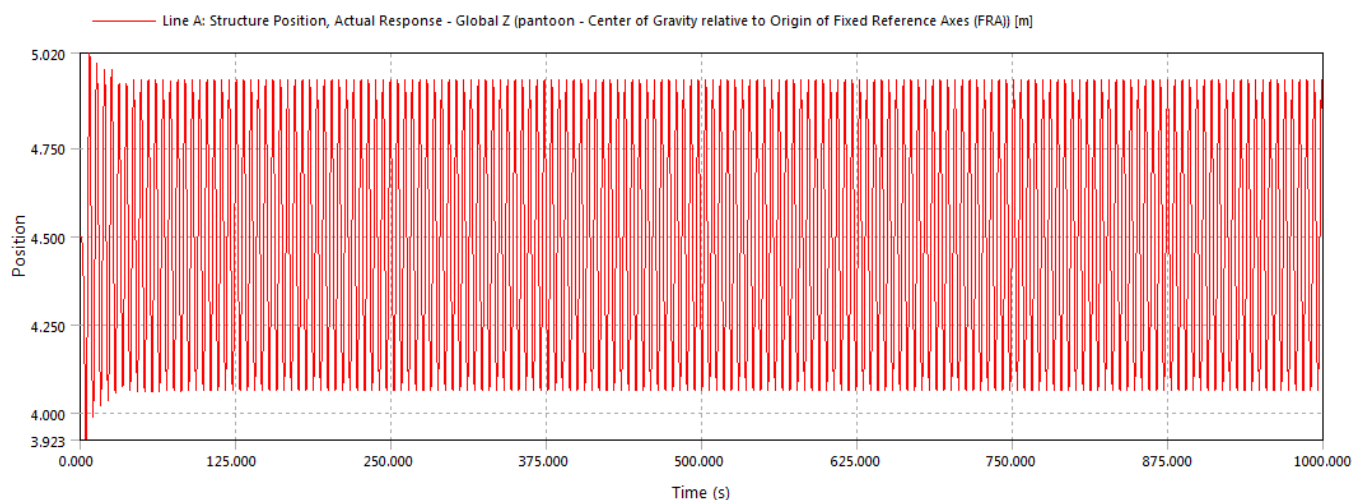
Time Domain Statistic Results



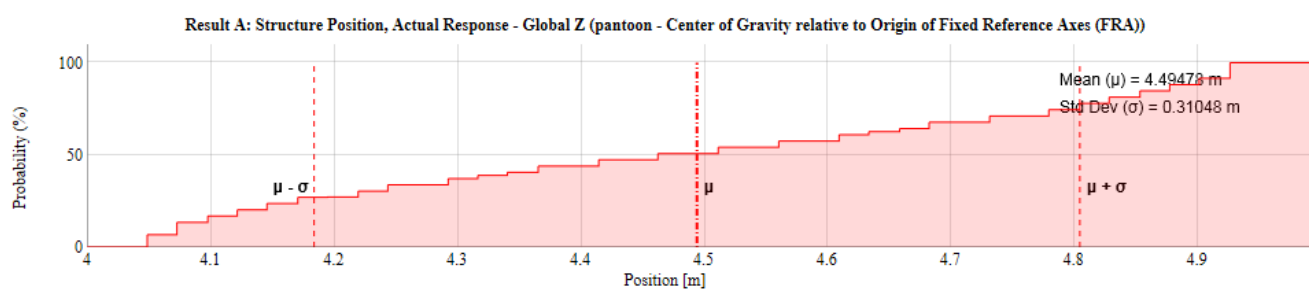
Statistics Parameters A	
☐ Mean Value	4.37964 m
☐ Standard Deviation	0.3911 m
☐ Minimum Value	3.81326 m
☐ Maximum Value	4.92422 m
☐ Mean of Lowest-Third ...	3.81328 m
☐ Mean of Highest-Third ...	4.92416 m

شکل ۵-۴۸- نتایج مدل عددی آبخور ۱.۵ متر زاویه موج ۴۵ درجه با ارتفاع موج ۲.۴ متر و پریود ۵.۹ ثانیه
 حداقل جابجایی برابر با ۳.۸۱ متر و حداکثر جابجایی برابر با ۴.۹۲ متر است. اختلاف جابجایی برابر با ۱.۱۱ متر می‌باشد.

۶- آبخور ۱.۵ متر زاویه موج ۴۵ درجه با ارتفاع موج ۳.۶ متر و پریود ۵.۹ ثانیه



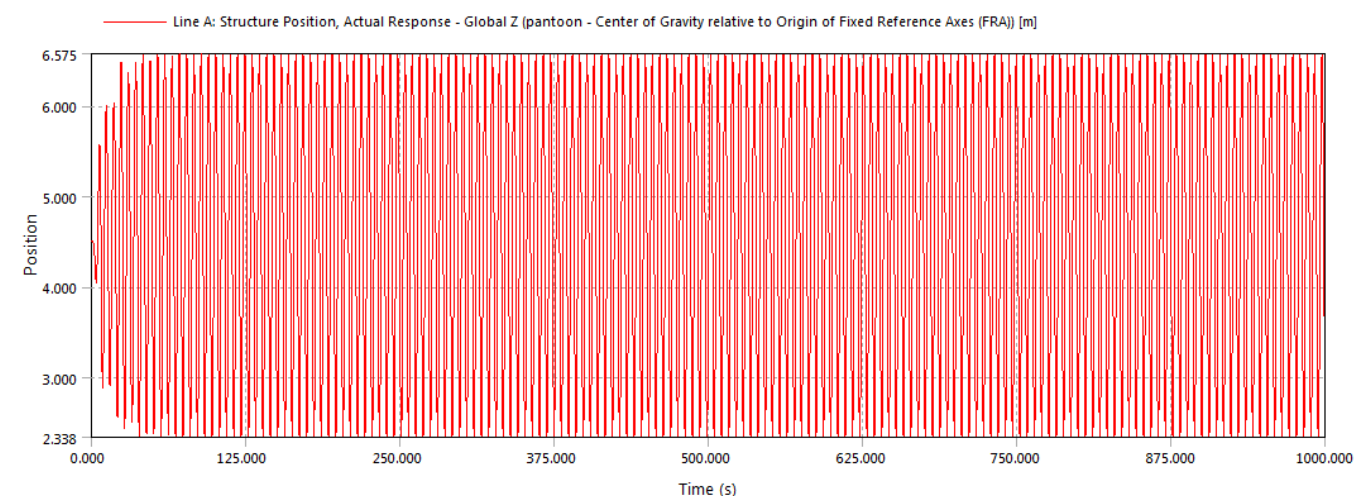
Time Domain Statistic Results



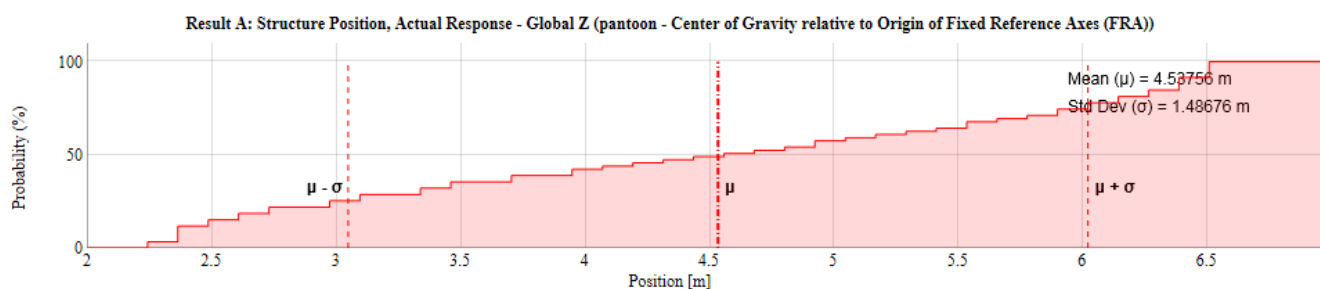
Statistics Parameters A	
☐ Mean Value	4.49478 m
☐ Standard Deviation	0.31048 m
☐ Minimum Value	4.06236 m
☐ Maximum Value	4.94203 m
☐ Mean of Lowest-Third ...	4.06238 m
☐ Mean of Highest-Third ...	4.94199 m

شکل ۵-۴۹- نتایج مدل عددی آبخور ۱.۵ متر زاویه موج ۴۵ درجه با ارتفاع موج ۳.۶ متر و پریود ۵.۹ ثانیه
 حداقل جابجایی برابر با ۴.۰۶ متر و حداکثر جابجایی برابر با ۴.۹۴ متر است. اختلاف جابجایی برابر با ۰.۸۸ متر می‌باشد.

۷- آبخور ۱.۵ متر زاویه موج ۹۰ درجه با ارتفاع موج ۱.۸ متر و پریود ۵.۹ ثانیه



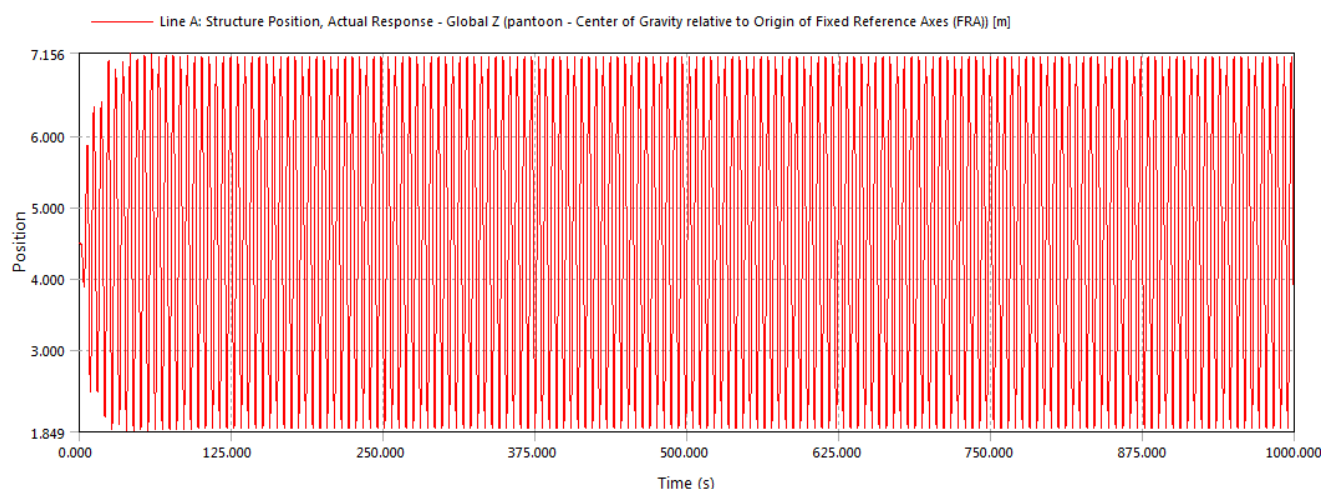
Time Domain Statistic Results



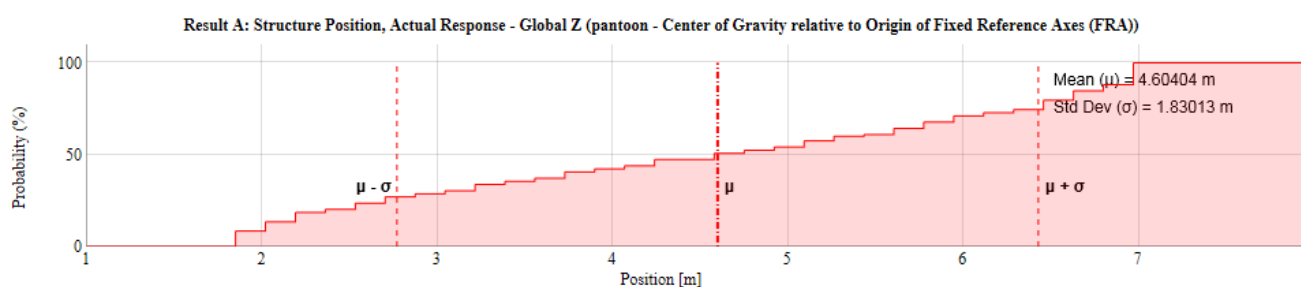
Statistics Parameters A	
☐ Mean Value	4.53756 m
☐ Standard Deviation	1.48676 m
☐ Minimum Value	2.35035 m
☐ Maximum Value	6.56452 m
☐ Mean of Lowest-Third ...	2.35041 m
☐ Mean of Highest-Third ...	6.56438 m

شکل ۵-۵- نتایج مدل عددی آبخور ۱.۵ متر زاویه موج ۹۰ درجه با ارتفاع موج ۱.۸ متر و پریود ۵.۹ ثانیه
 حداقل جابجایی برابر با ۲.۳۵ متر و حداکثر جابجایی برابر با ۶.۵۶ متر است. اختلاف جابجایی برابر با ۴.۲۱ متر می‌باشد.

۸- آبخور ۱.۵ متر زاویه موج ۹۰ درجه با ارتفاع موج ۲.۴ متر و پریود ۵.۹ ثانیه



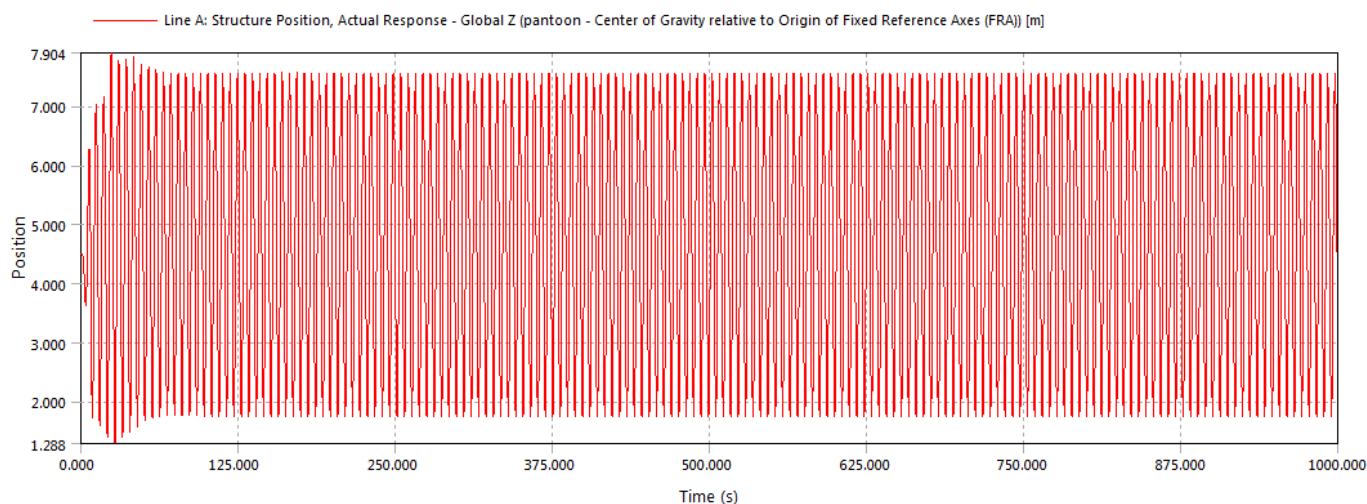
Time Domain Statistic Results



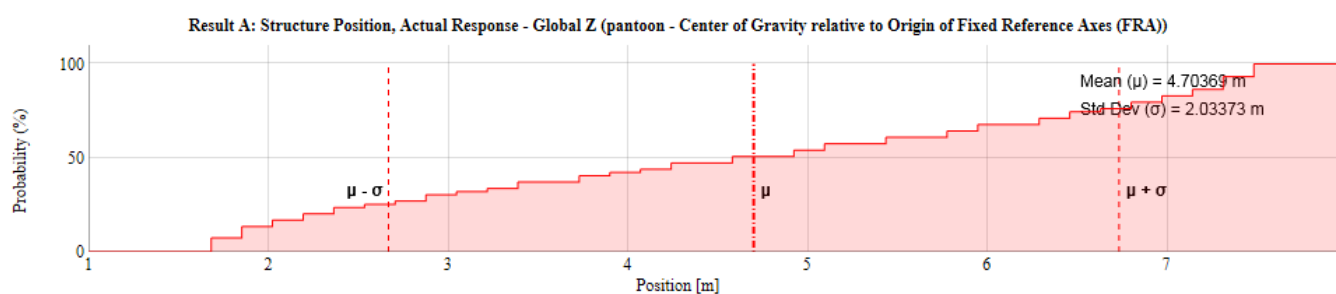
Statistics Parameters A	
☐ Mean Value	4.60404 m
☐ Standard Deviation	1.83013 m
☐ Minimum Value	1.89793 m
☐ Maximum Value	7.10368 m
☐ Mean of Lowest-Third ...	1.89799 m
☐ Mean of Highest-Third ...	7.10351 m

شکل ۵-۵- نتایج مدل عددی آبخور ۱.۵ متر زاویه موج ۹۰ درجه با ارتفاع موج ۲.۴ متر و پریود ۵.۹ ثانیه
 حداقل جابجایی برابر با ۱.۹ متر و حداکثر جابجایی برابر با ۷.۱ متر است. اختلاف جابجایی برابر با ۵.۲ متر می‌باشد.

۹- آبخور ۱.۵ متر زاویه موج ۹۰ درجه با ارتفاع موج ۳.۶ متر و پریود ۵.۹ ثانیه



Time Domain Statistic Results

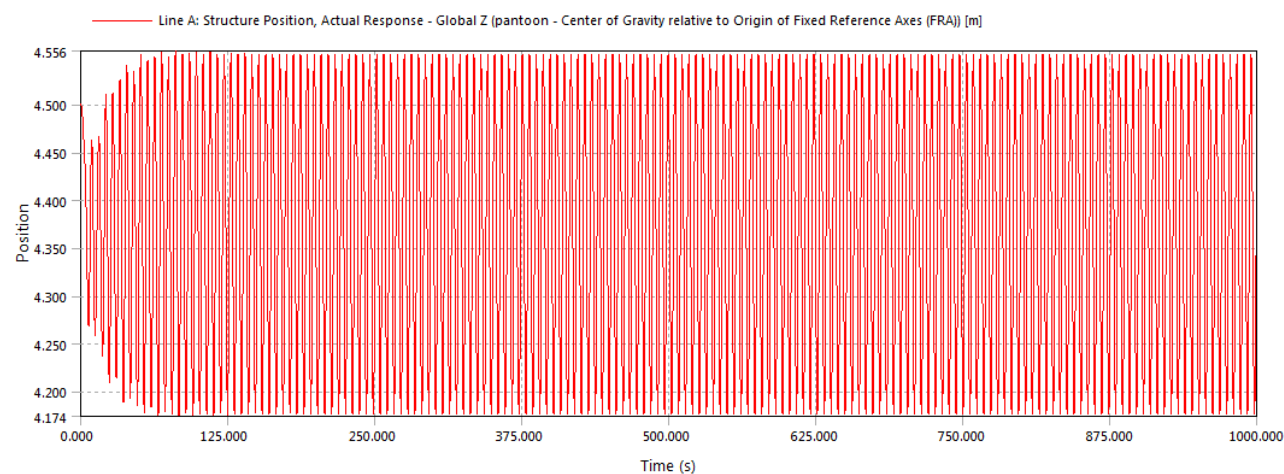


Statistics Parameters A	
☐ Mean Value	4.70369 m
☐ Standard Deviation	2.03373 m
☐ Minimum Value	1.75571 m
☐ Maximum Value	7.56529 m
☐ Mean of Lowest-Third ...	1.7559 m
☐ Mean of Highest-Third ...	7.56503 m

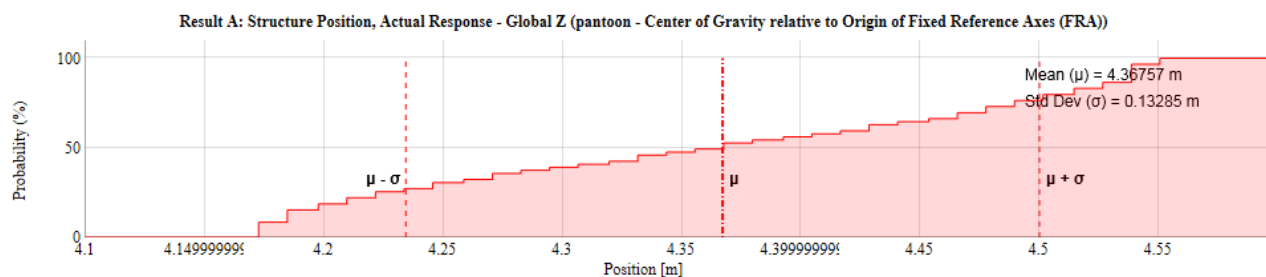
شکل ۵-۲- نتایج مدل عددی آبخور ۱.۵ متر زاویه موج ۹۰ درجه با ارتفاع موج ۳.۶ متر و پریود ۵.۹ ثانیه
 حداقل جابجایی برابر با ۱.۷۶ متر و حداکثر جابجایی برابر با ۷.۵۷ متر است. اختلاف جابجایی برابر با ۵.۸۱ متر می‌باشد.

۳-۷-۵- سناریو ششم (تعداد پانتون سه عدد)

۱- آبخور ۱.۵ متر زاویه موج ۰ درجه با ارتفاع موج ۱.۸ متر و پریود ۵.۹ ثانیه



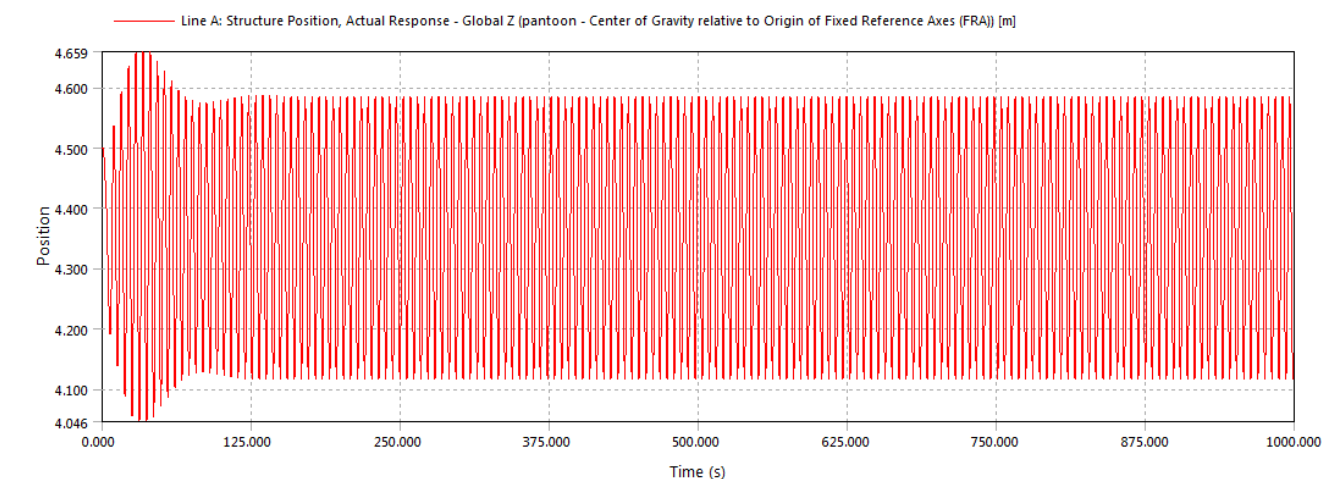
Time Domain Statistic Results



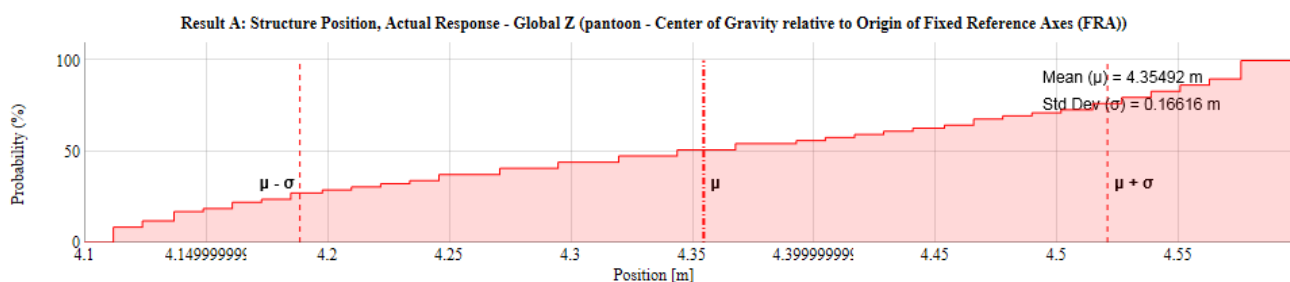
Statistics Parameters A	
☐ Mean Value	4.36757 m
☐ Standard Deviation	0.13285 m
☐ Minimum Value	4.17678 m
☐ Maximum Value	4.55251 m
☐ Mean of Lowest-Third ...	4.17687 m
☐ Mean of Highest-Third ...	4.55243 m

شکل ۵-۳- نتایج مدل عددی آبخور ۱.۵ متر زاویه موج ۰ درجه با ارتفاع موج ۱.۸ متر و پریود ۵.۹ ثانیه
 حداقل جابجایی برابر با ۴.۱۸ متر و حداکثر جابجایی برابر با ۴.۵۵ متر است. اختلاف جابجایی برابر با ۰.۳۷ متر می‌باشد.

۲- آبخور ۱.۵ متر زاویه موج ۰ درجه با ارتفاع موج ۲.۴ متر و پریود ۵.۹ ثانیه



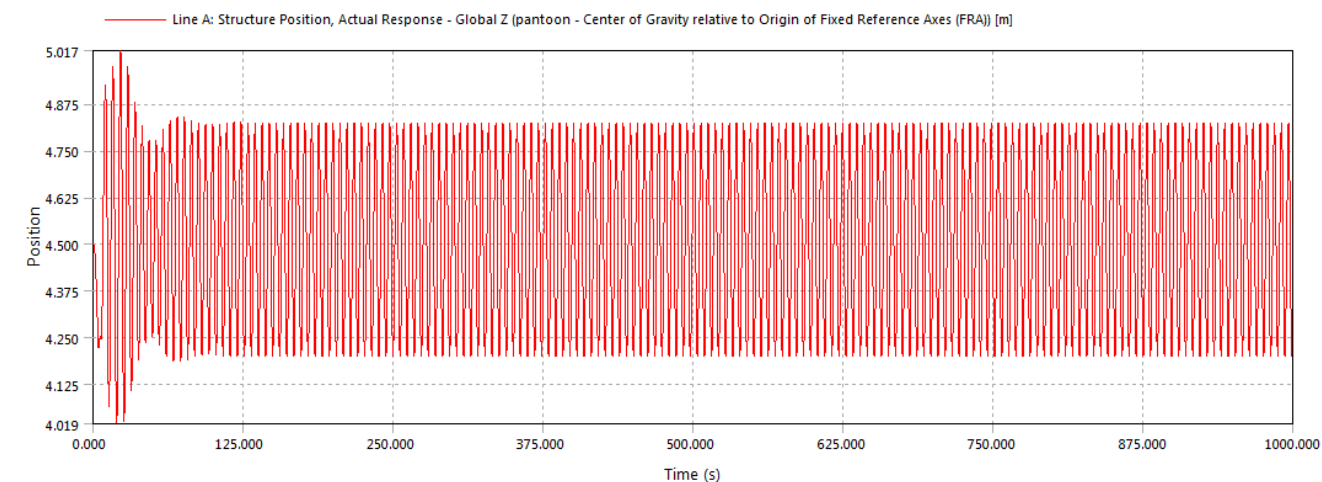
Time Domain Statistic Results



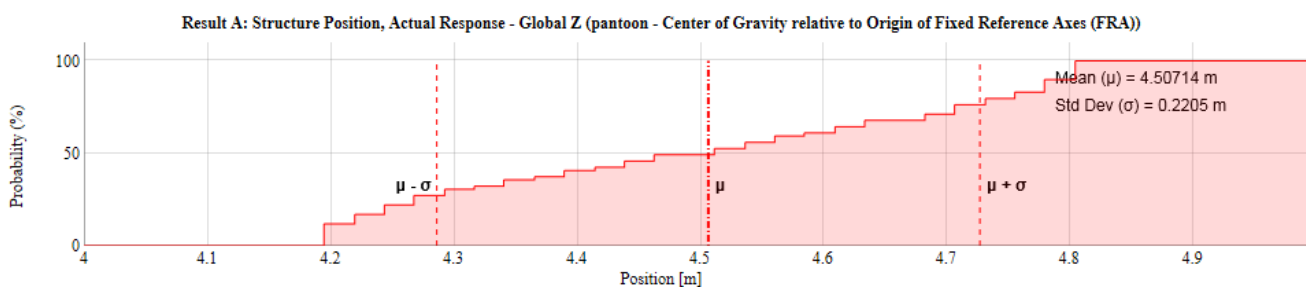
Statistics Parameters A	
☐ Mean Value	4.35492 m
☐ Standard Deviation	0.16616 m
☐ Minimum Value	4.11736 m
☐ Maximum Value	4.58443 m
☐ Mean of Lowest-Third ...	4.11737 m
☐ Mean of Highest-Third ...	4.58442 m

شکل ۵-۴- نتایج مدل عددی آبخور ۱.۵ متر زاویه موج ۰ درجه با ارتفاع موج ۲.۴ متر و پریود ۵.۹ ثانیه
 حداقل جابجایی برابر با ۴.۱۲ متر و حداکثر جابجایی برابر با ۴.۵۸ متر است. اختلاف جابجایی برابر با ۰.۴۶ متر می‌باشد.

۳- آبخور ۱.۵ متر زاویه موج ۰ درجه با ارتفاع موج ۳.۶ متر و پریود ۵.۹ ثانیه



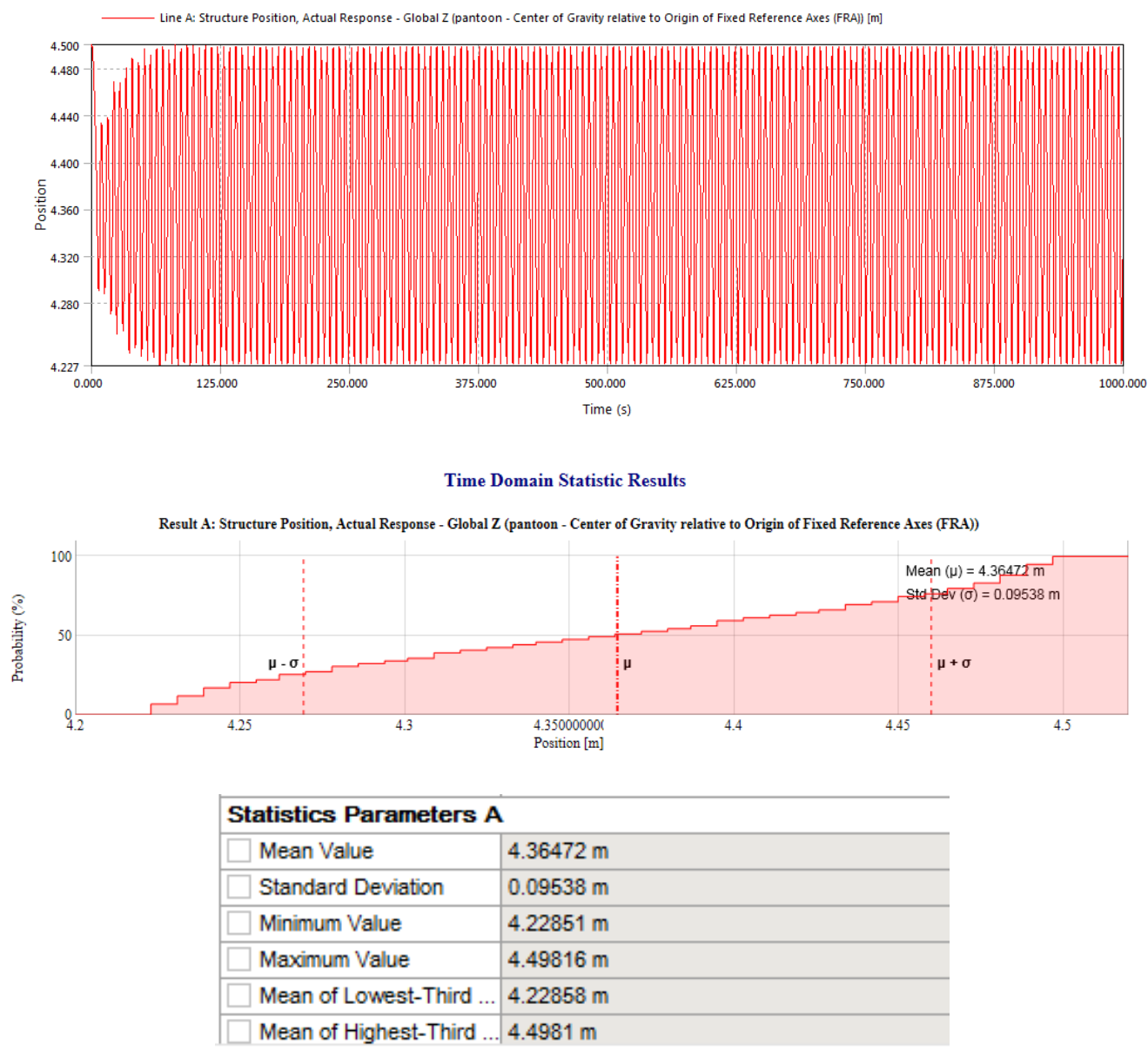
Time Domain Statistic Results



Statistics Parameters A	
☐ Mean Value	4.50714 m
☐ Standard Deviation	0.2205 m
☐ Minimum Value	4.20032 m
☐ Maximum Value	4.82374 m
☐ Mean of Lowest-Third ...	4.20036 m
☐ Mean of Highest-Third ...	4.82366 m

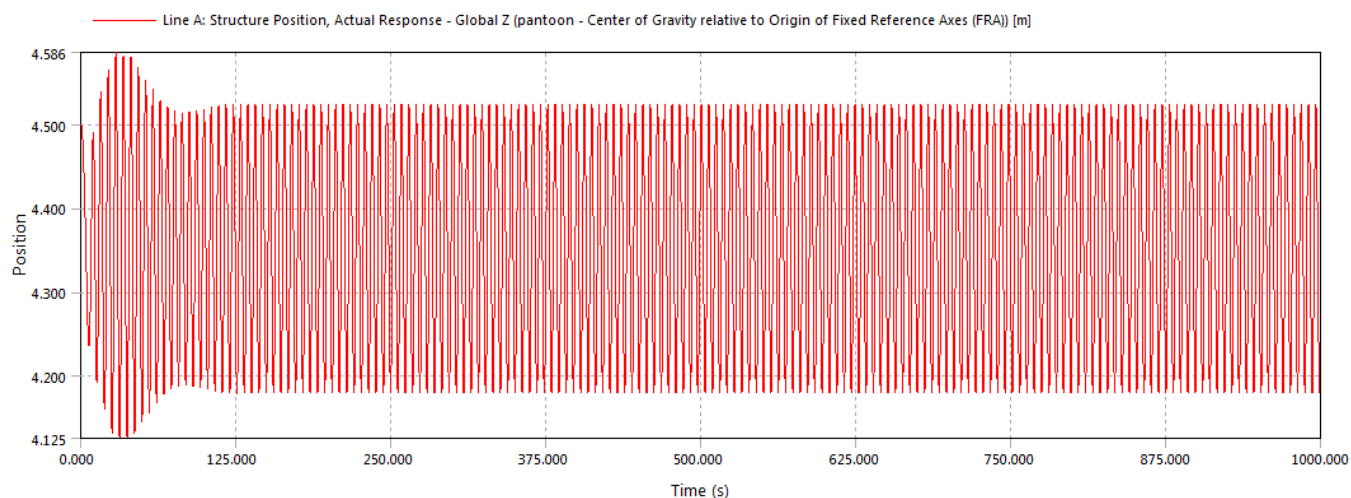
شکل ۵-۵- نتایج مدل عددی آبخور ۱.۵ متر زاویه موج ۰ درجه با ارتفاع موج ۳.۶ متر و پریود ۵.۹ ثانیه
حداقل جابجایی برابر با ۴.۲ متر و حداکثر جابجایی برابر با ۴.۸۲ متر است. اختلاف جابجایی برابر با ۰.۶۲ متر می‌باشد.

۴- آبخور ۱.۵ متر زاویه موج ۴۵ درجه با ارتفاع موج ۱.۸ متر و پریود ۵.۹ ثانیه

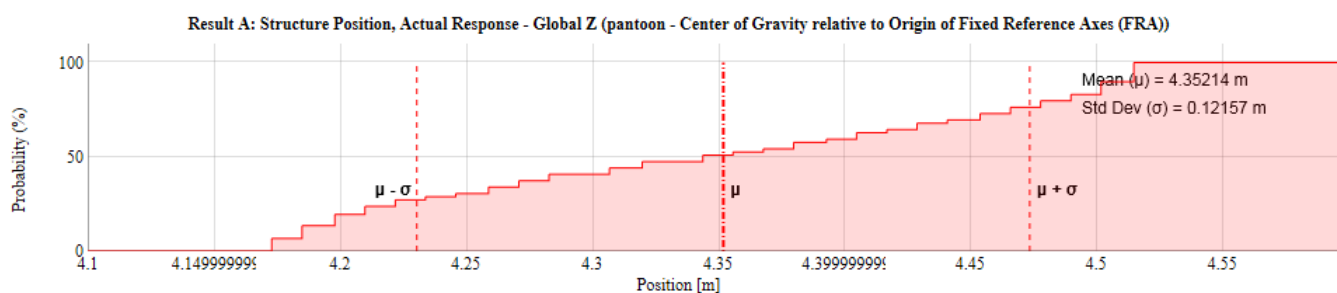


شکل ۵-۵۶- نتایج مدل عددی آبخور ۱.۵ متر زاویه موج ۴۵ درجه با ارتفاع موج ۱.۸ متر و پریود ۵.۹ ثانیه
حداقل جابجایی برابر با ۴.۲۳ متر و حداکثر جابجایی برابر با ۴.۵ متر است. اختلاف جابجایی برابر با ۰.۲۷ متر می‌باشد.

۵- آبخور ۱.۵ متر زاویه موج ۴۵ درجه با ارتفاع موج ۲.۴ متر و پریود ۵.۹ ثانیه



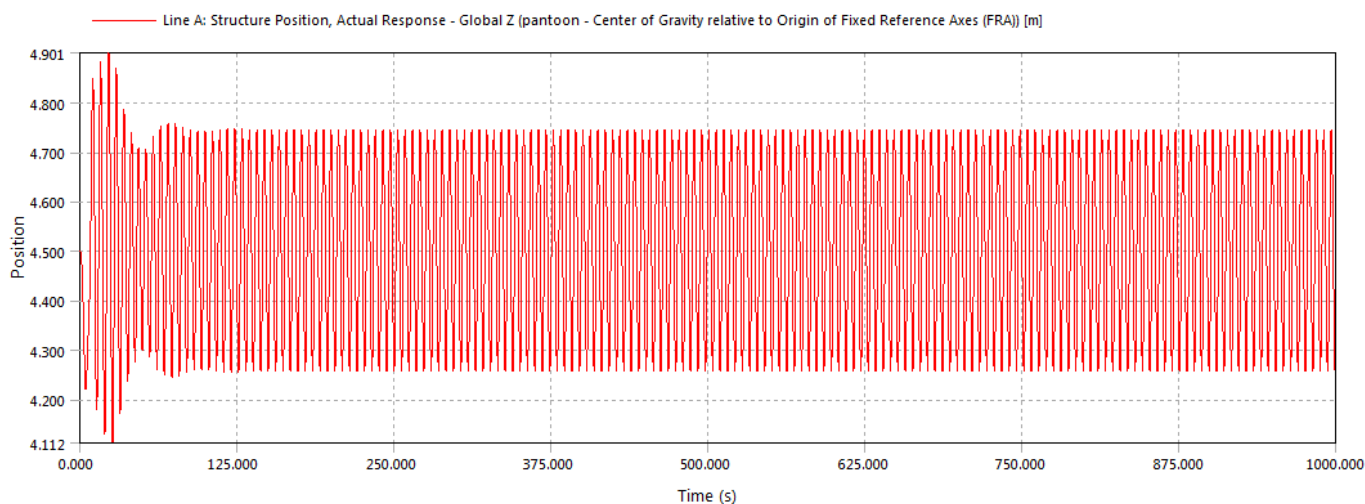
Time Domain Statistic Results



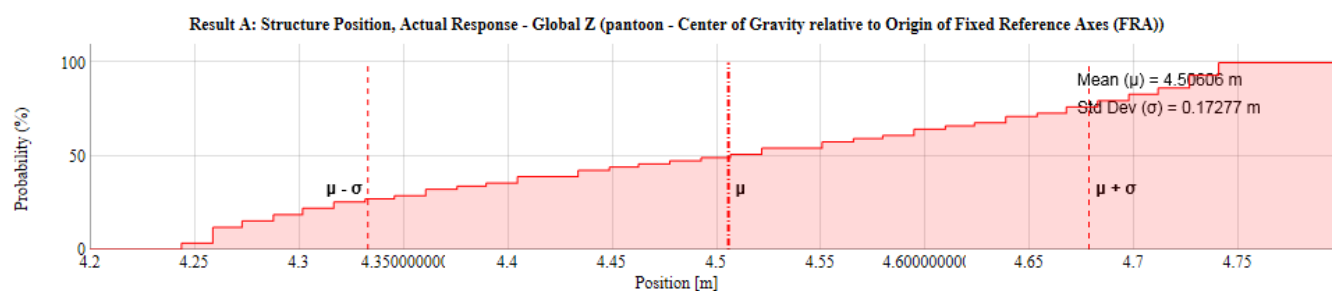
Statistics Parameters A	
☐ Mean Value	4.35214 m
☐ Standard Deviation	0.12157 m
☐ Minimum Value	4.18021 m
☐ Maximum Value	4.52345 m
☐ Mean of Lowest-Third ...	4.18021 m
☐ Mean of Highest-Third ...	4.52344 m

شکل ۵-۵۷- نتایج مدل عددی آبخور ۱.۵ متر زاویه موج ۴۵ درجه با ارتفاع موج ۲.۴ متر و پریود ۵.۹ ثانیه حداقل جابجایی برابر با ۴.۱۸ متر و حداکثر جابجایی برابر با ۴.۵۲ متر است. اختلاف جابجایی برابر با ۰.۳۴ متر می‌باشد.

۶- آبخور ۱.۵ متر زاویه موج ۴۵ درجه با ارتفاع موج ۳.۶ متر و پریود ۵.۹ ثانیه



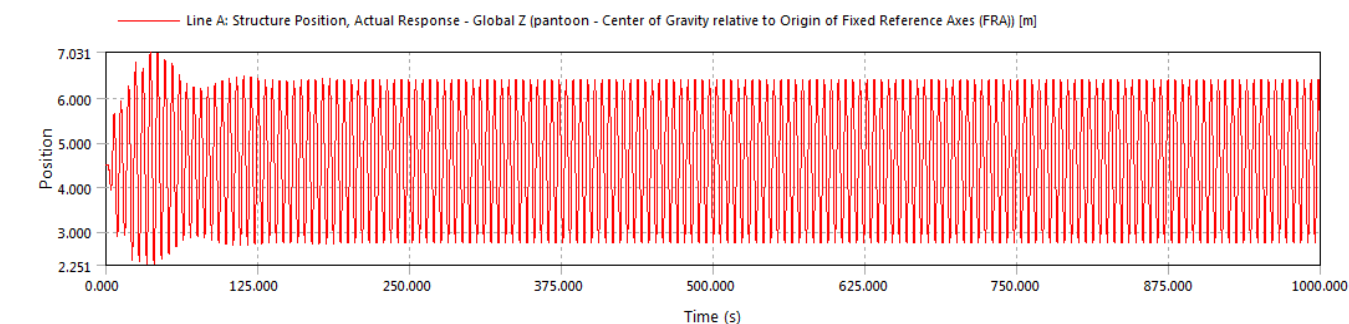
Time Domain Statistic Results



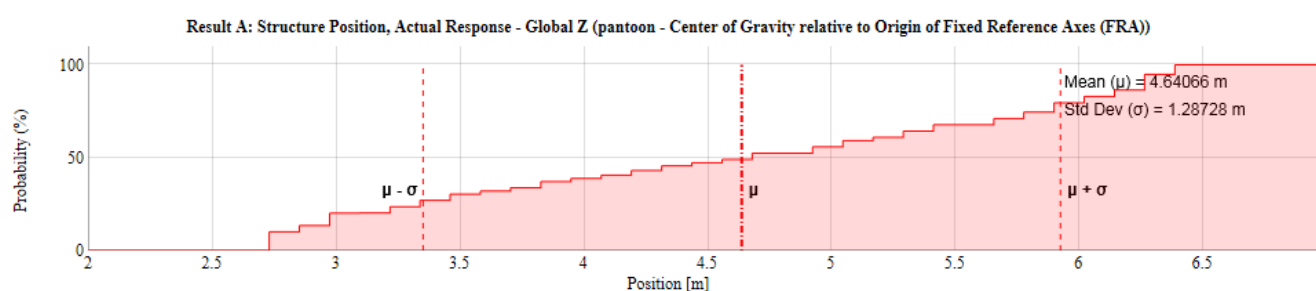
Statistics Parameters A	
☐ Mean Value	4.50606 m
☐ Standard Deviation	0.17277 m
☐ Minimum Value	4.25666 m
☐ Maximum Value	4.74542 m
☐ Mean of Lowest-Third ...	4.2567 m
☐ Mean of Highest-Third ...	4.74536 m

شکل ۵-۵۸- نتایج مدل عددی آبخور ۱.۵ متر زاویه موج ۴۵ درجه با ارتفاع موج ۳.۶ متر و پریود ۵.۹ ثانیه
 حداقل جابجایی برابر با ۴.۲۶ متر و حداکثر جابجایی برابر با ۴.۷۵ متر است. اختلاف جابجایی برابر با ۰.۴۹ متر می‌باشد.

۷- آبخور ۱.۵ متر زاویه موج ۹۰ درجه با ارتفاع موج ۱.۸ متر و پریود ۵.۹ ثانیه



Time Domain Statistic Results

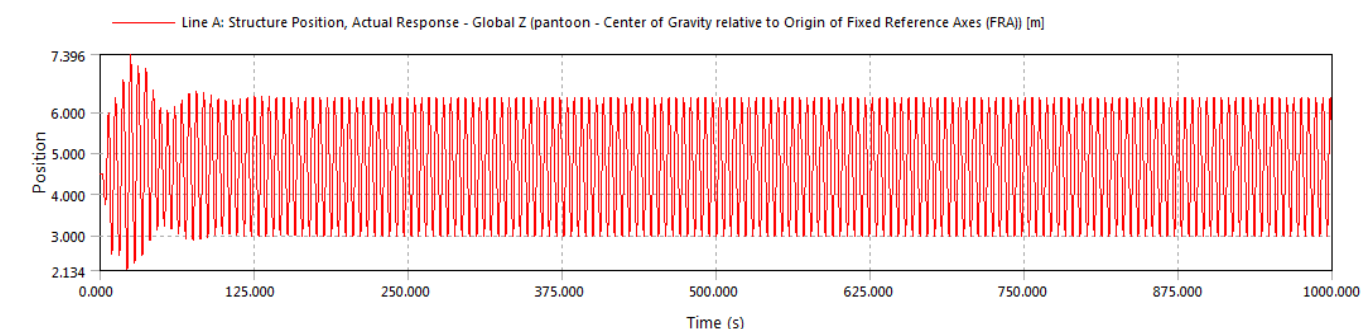


Statistics Parameters A	
☐ Mean Value	4.64066 m
☐ Standard Deviation	1.28728 m
☐ Minimum Value	2.74562 m
☐ Maximum Value	6.42037 m
☐ Mean of Lowest-Third ...	2.74693 m
☐ Mean of Highest-Third ...	6.41864 m

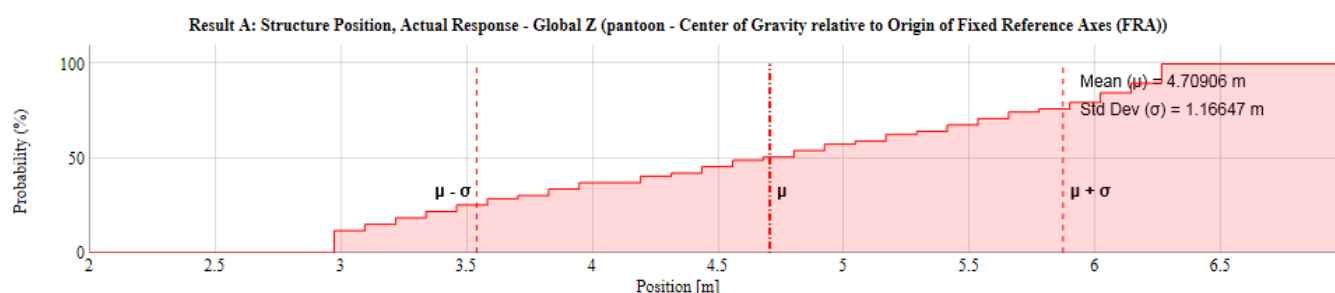
شکل ۵-۹- نتایج مدل عددی آبخور ۱.۵ متر زاویه موج ۹۰ درجه با ارتفاع موج ۱.۸ متر و پریود ۵.۹ ثانیه

حداقل جابجایی برابر با ۲.۷۵ متر و حداکثر جابجایی برابر با ۶.۴۲ متر است. اختلاف جابجایی برابر با ۳.۶۷ متر می‌باشد.

۸- آبخور ۱.۵ متر زاویه موج ۹۰ درجه با ارتفاع موج ۲.۴ متر و پریود ۵.۹ ثانیه



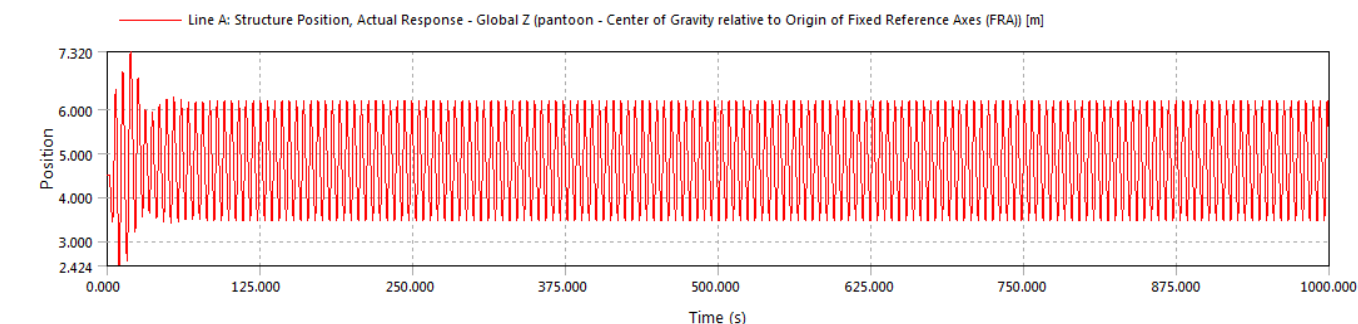
Time Domain Statistic Results



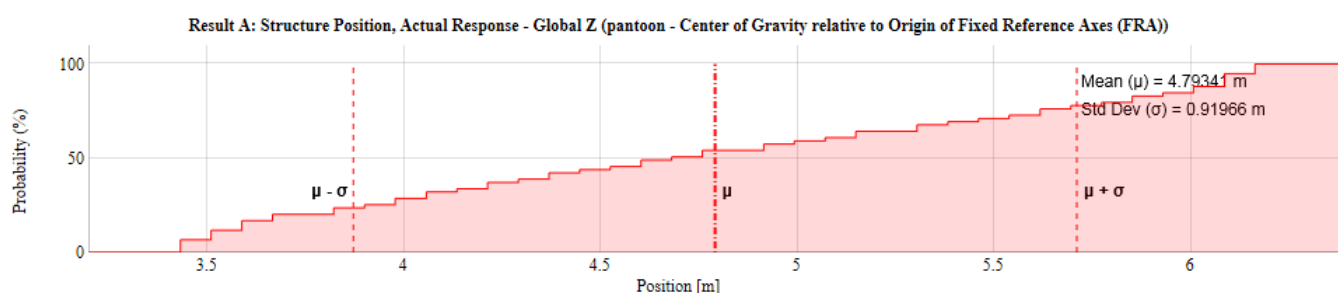
Statistics Parameters A	
☐ Mean Value	4.70906 m
☐ Standard Deviation	1.16647 m
☐ Minimum Value	2.98112 m
☐ Maximum Value	6.3489 m
☐ Mean of Lowest-Third ...	2.98125 m
☐ Mean of Highest-Third ...	6.34868 m

شکل ۵-۶۰- نتایج مدل عددی آبخور ۱.۵ متر زاویه موج ۹۰ درجه با ارتفاع موج ۲.۴ متر و پریود ۵.۹ ثانیه حداقل جابجایی برابر با ۲.۹۸ متر و حداکثر جابجایی برابر با ۶.۳۵ متر است. اختلاف جابجایی برابر با ۳.۳۷ متر می‌باشد.

۹- آبخور ۱.۵ متر زاویه موج ۹۰ درجه با ارتفاع موج ۳.۶ متر و پریود ۵.۹ ثانیه



Time Domain Statistic Results



Statistics Parameters A

☐ Mean Value	4.79341 m
☐ Standard Deviation	0.91966 m
☐ Minimum Value	3.46728 m
☐ Maximum Value	6.19284 m
☐ Mean of Lowest-Third ...	3.4674 m
☐ Mean of Highest-Third ...	6.19264 m

شکل ۵-۶۱- نتایج مدل عددی آبخور ۱.۵ متر زاویه موج ۹۰ درجه با ارتفاع موج ۳.۶ متر و پریود ۵.۹ ثانیه
حداقل جابجایی برابر با ۳.۴۷ متر و حداکثر جابجایی برابر با ۶.۱۹ متر است. اختلاف جابجایی برابر با ۲.۷۲ متر می‌باشد.

۸-۵- مقایسه نتایج مدل عددی با آزمایشگاهی

جدول ۵-۵- مقایسه نتایج مدل عددی با آزمایشگاهی

ردیف	شماره آزمایش	شرح آزمایش	ماکزیمم اختلاف جابجایی آزمایشگاه (متر)	ماکزیمم اختلاف جابجایی مقیاس شده آزمایشگاه (متر)	ماکزیمم اختلاف جابجایی مدل عددی (متر)
۱	آزمایش اول	تعداد پانتون ۱ عدد، زاویه موج ۰ درجه، ارتفاع موج ۶ سانتیمتر، پریود موج ۰.۷۶	۰.۰۳۲	۰.۹۶	
۲	آزمایش دوم	تعداد پانتون ۱ عدد، زاویه موج ۰ درجه، ارتفاع موج ۸ سانتیمتر، پریود موج ۰.۷۶	۰.۰۴۸	۱.۴۴	
۳	آزمایش سوم	تعداد پانتون ۱ عدد، زاویه موج ۴۵ درجه، ارتفاع موج ۶ سانتیمتر، پریود موج ۱.۰۷۵	۰.۰۵۹	۱.۷۷	۱.۷۱
۴	آزمایش چهارم	تعداد پانتون ۲ عدد، زاویه موج ۰ درجه، ارتفاع موج ۶ سانتیمتر، پریود موج ۰.۷۶	۰.۰۳۶	۱.۰۸	
۵	آزمایش پنجم	تعداد پانتون ۲ عدد، زاویه موج ۴۵ درجه، ارتفاع موج ۶ سانتیمتر، پریود موج ۱.۰۷۵	۰.۰۳۲	۰.۹۶	۰.۹۵
۶	آزمایش ششم	تعداد پانتون ۳ عدد، زاویه موج ۰ درجه، ارتفاع موج ۶ سانتیمتر، پریود موج ۰.۷۶	۰.۰۲۷	۰.۸۱	
۷	آزمایش هفتم	تعداد پانتون ۳ عدد، زاویه موج ۴۵ درجه، ارتفاع موج ۶ سانتیمتر، پریود موج ۰.۷۶	۰.۰۵۲	۱.۵۶	

همانطور که از جدول بالا مشاهده می‌گردد اعداد مدل عددی با مدل آزمایشگاهی در آزمایش های سوم و پنجم مقادیر یکسانی از خود نشان می دهند و با توجه به محدودیت‌های آزمایشگاهی، سناریوهای مختلف در مدل عددی مورد بررسی قرار گرفته است.

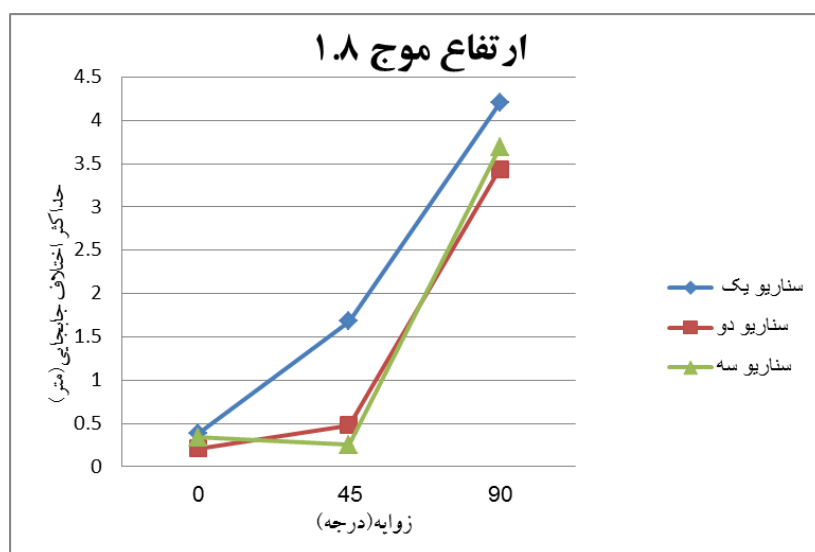
فصل ششم: نتیجه گیری و پیشنهادها

۶-۱- مقدمه

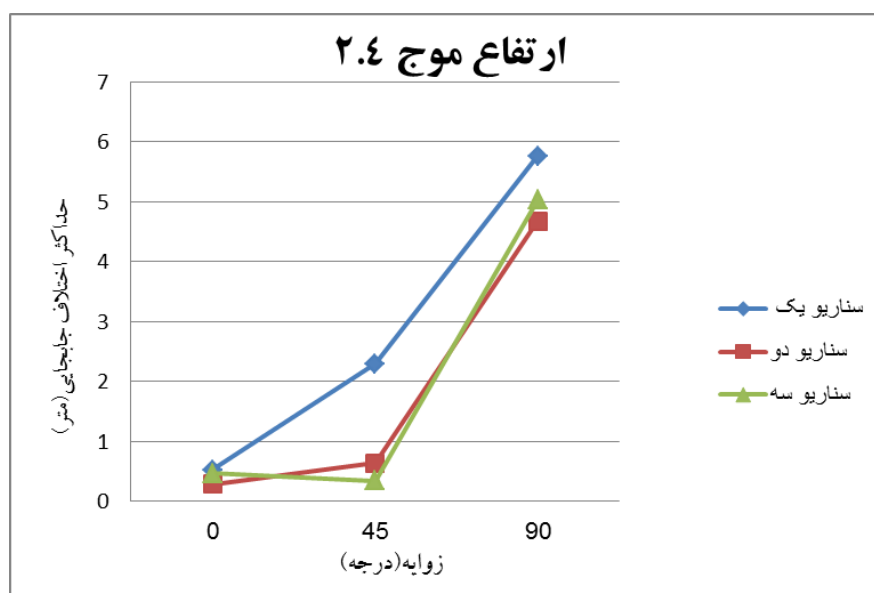
در فصل ۵ پایان نامه به خلاصه‌ای از نتایج حاصل از تحقیق پرداخته و در انتهای این فصل پیشنهادها برای ادامه تحقیق جهت بهبود آن آورده شده است.

۶-۲- اثر تعداد پانتون ها روی حداکثر اختلاف جابجایی

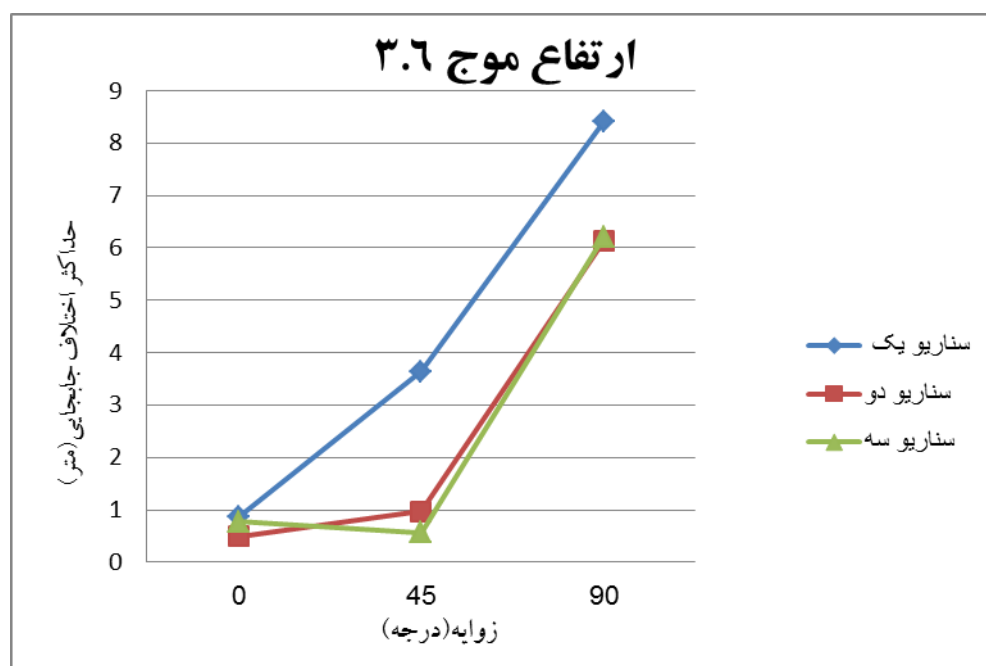
۶-۲-۱- برای آبخور ۶ متر



شکل ۶-۱- اثر تعداد پانتون ها روی حداکثر اختلاف جابجایی برای آبخور ۶ متر و ارتفاع موج ۱.۸

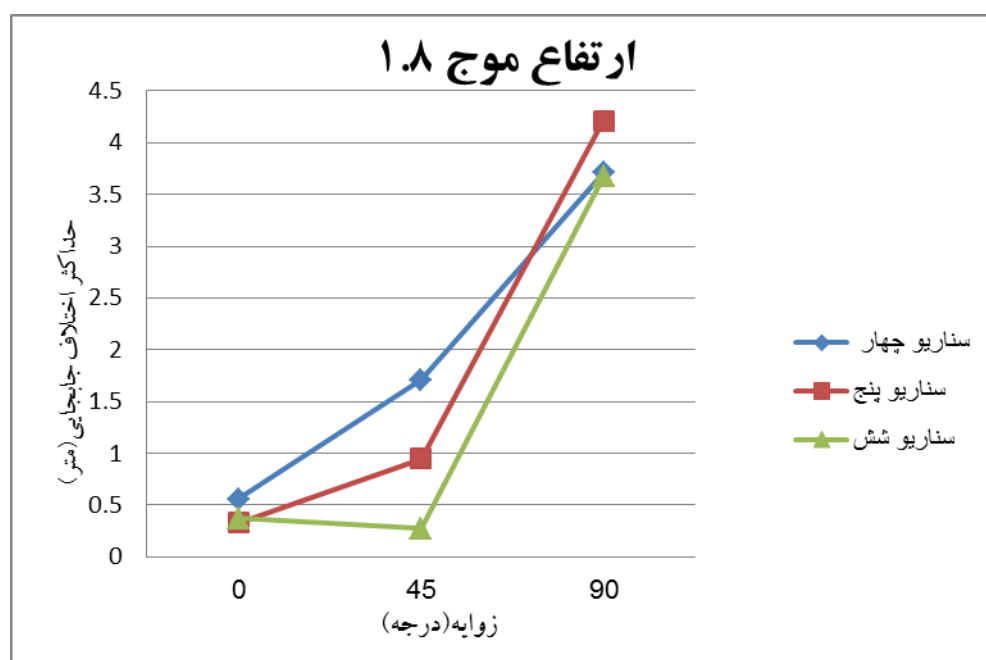


شکل ۶-۲- اثر تعداد پانتون ها روی حداکثر اختلاف جابجایی برای آبخور ۶ متر و ارتفاع موج ۲.۴

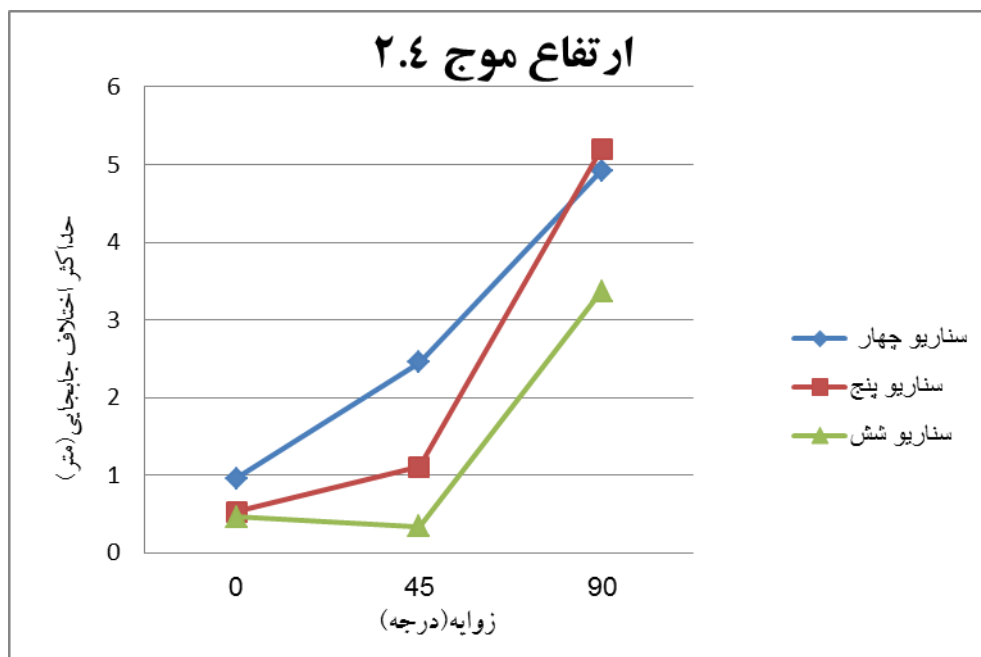


شکل ۶-۳- اثر تعداد پانتون ها روی حداکثر اختلاف جانبی برای آبخور ۶ متر و ارتفاع موج ۳.۶ در آبخور ۶ متر با تغییر تعداد پانتون از یک عدد به دو و سه عدد تغییر قابل توجهی در حداکثر اختلاف جانبی داریم. بدین صورت که با افزایش تعداد پانتون ها جانبی کاهش پیدا می کند.

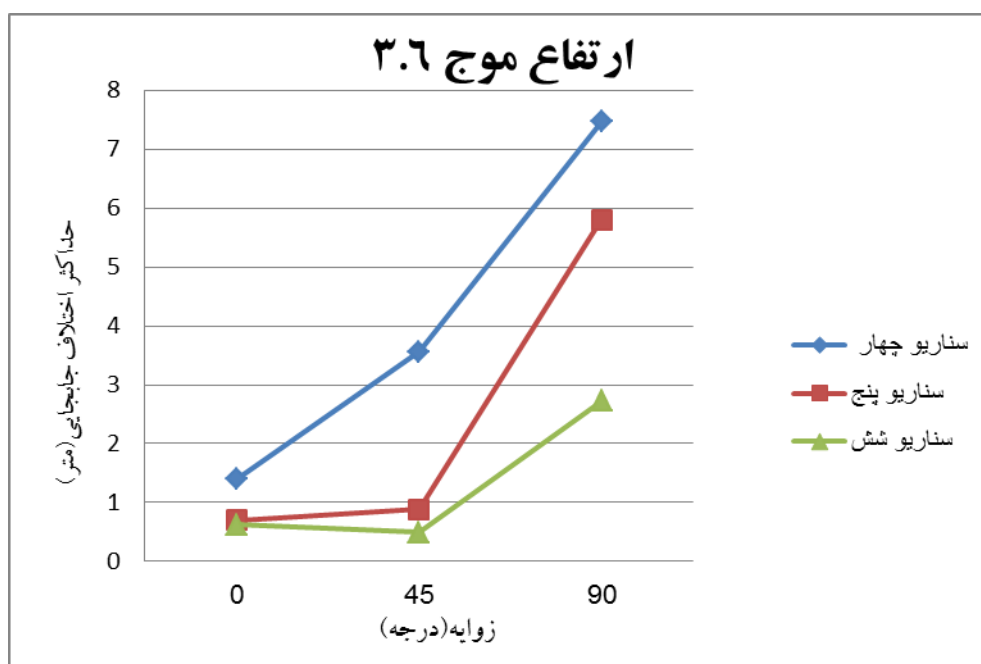
۶-۲-۲- برای آبخور ۱.۵ متر



شکل ۶-۴- اثر تعداد پانتون ها روی حداکثر اختلاف جانبی برای آبخور ۱.۵ متر و ارتفاع موج ۱.۸



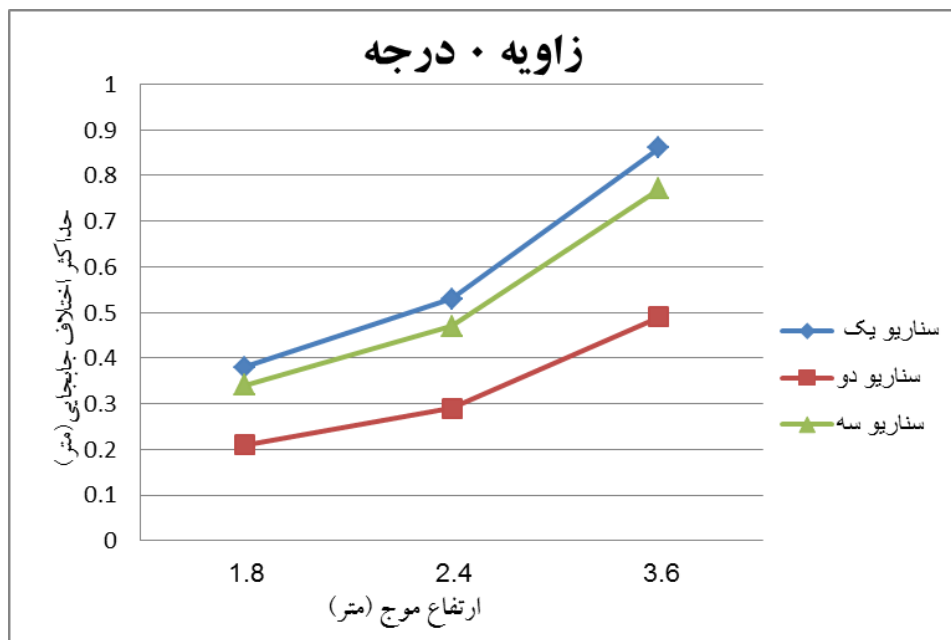
شکل ۶-۵- اثر تعداد پانتون ها روی حداکثر اختلاف جابجایی برای آب‌خور ۱.۵ متر و ارتفاع موج ۲.۴



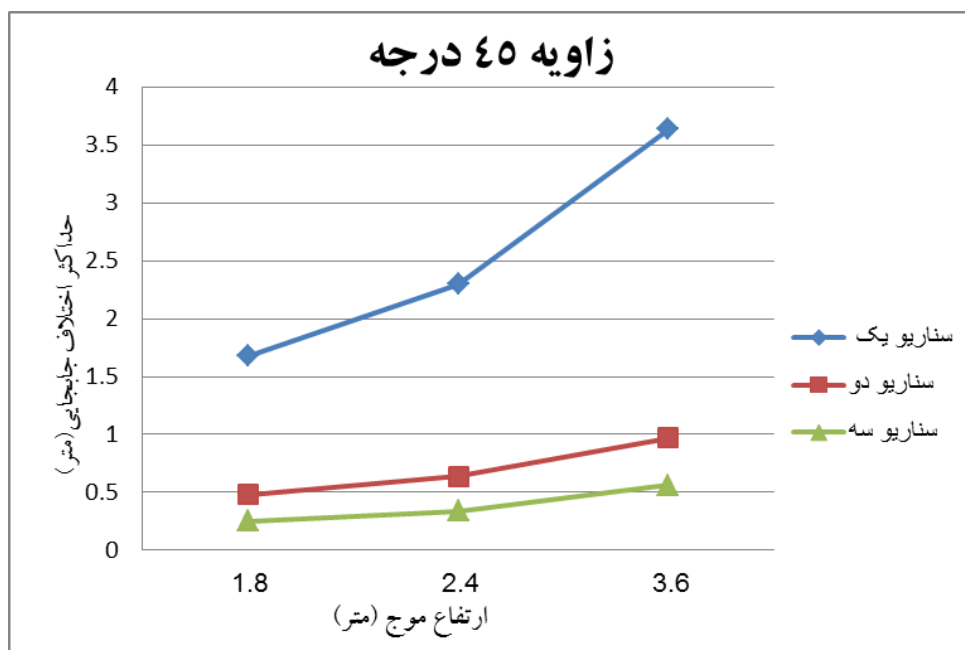
شکل ۶-۶- اثر تعداد پانتون ها روی حداکثر اختلاف جابجایی برای آب‌خور ۱.۵ متر و ارتفاع موج ۳.۶
در آب‌خور ۱.۵ متر با تغییر تعداد پانتون از یک عدد به دو و سه عدد، اثر کمتری بر روی اختلاف جابجایی داریم. بدین‌صورت که با افزایش تعداد پانتون ها جابجایی کاهش پیدا می‌کند اما اثرش نسبت به آب‌خور ۶ متر کمتر است.

۳-۶- اثر تعداد پانتون‌ها روی حداکثر اختلاف جابجایی در زوایای ثابت

۱-۳-۶- آبخور ۶ متر



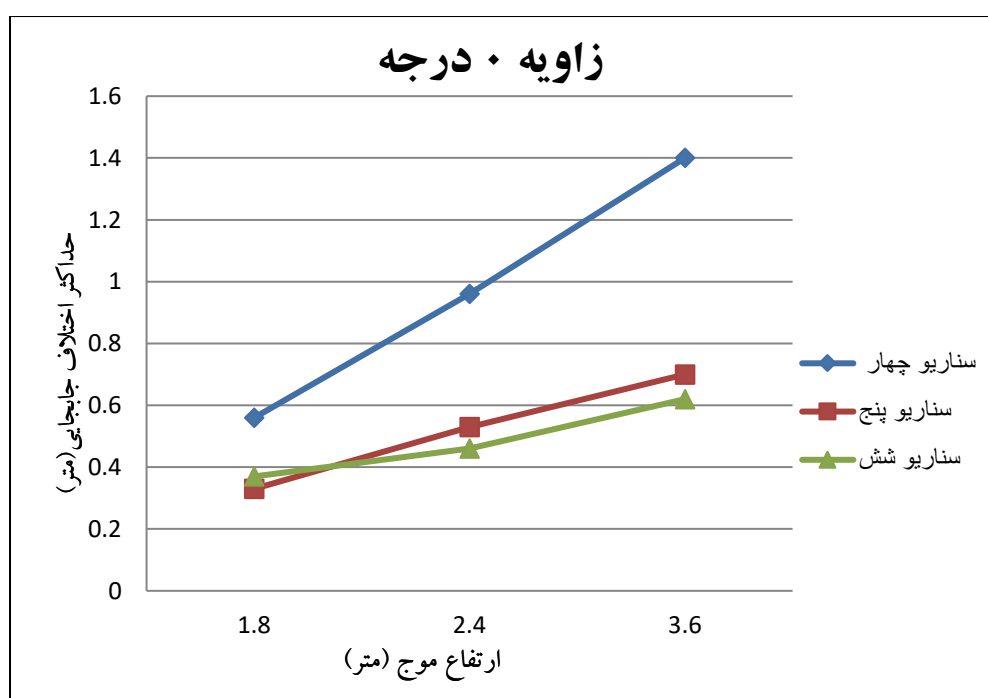
شکل ۶-۷- اثر تعداد پانتون‌ها روی حداکثر اختلاف جابجایی در آبخور ۶ متر زاویه صفر درجه



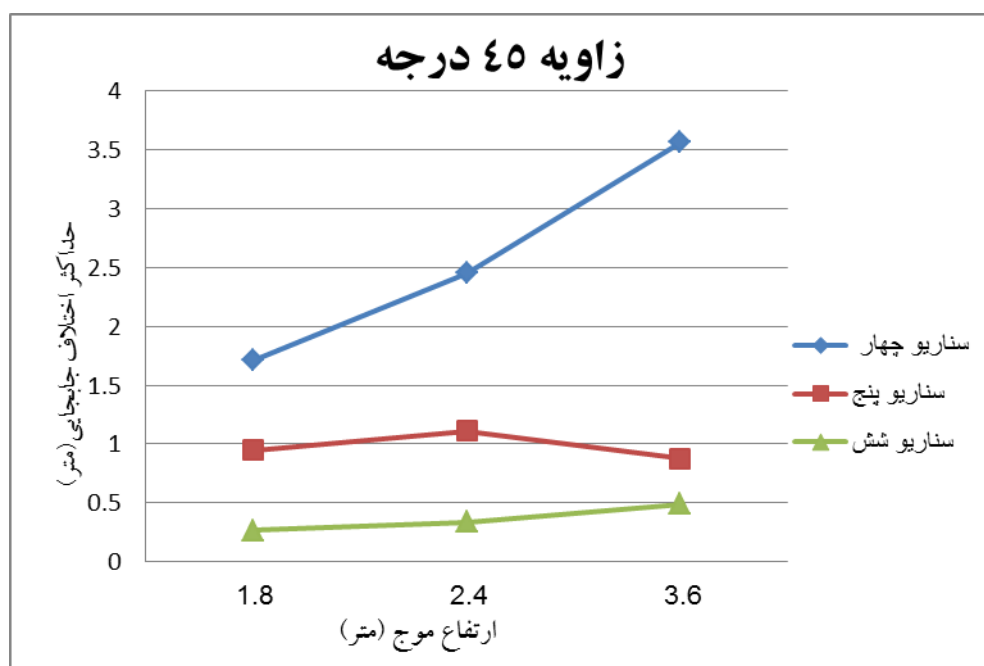
شکل ۶-۸- اثر تعداد پانتون‌ها روی حداکثر اختلاف جابجایی در آبخور ۶ متر زاویه ۴۵ درجه



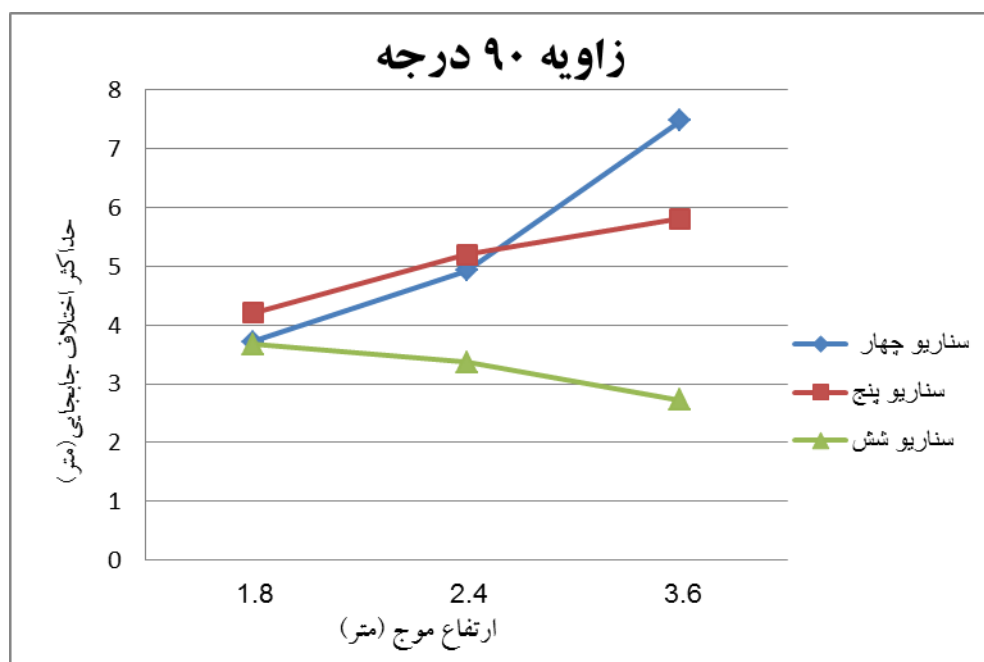
شکل ۹-۶- اثر تعداد پانتون ها روی حداکثر اختلاف جابجایی در آب‌خور ۶ متر زاویه ۹۰ درجه
۲-۳-۶- آب‌خور ۱.۵ متر



شکل ۱۰-۶- اثر تعداد پانتون ها روی حداکثر اختلاف جابجایی در آب‌خور ۱.۵ متر زاویه صفر درجه



شکل ۶-۱۱- اثر تعداد پانتون ها روی حداکثر اختلاف جابجایی در آبخور ۱.۵ متر زاویه ۴۵ درجه



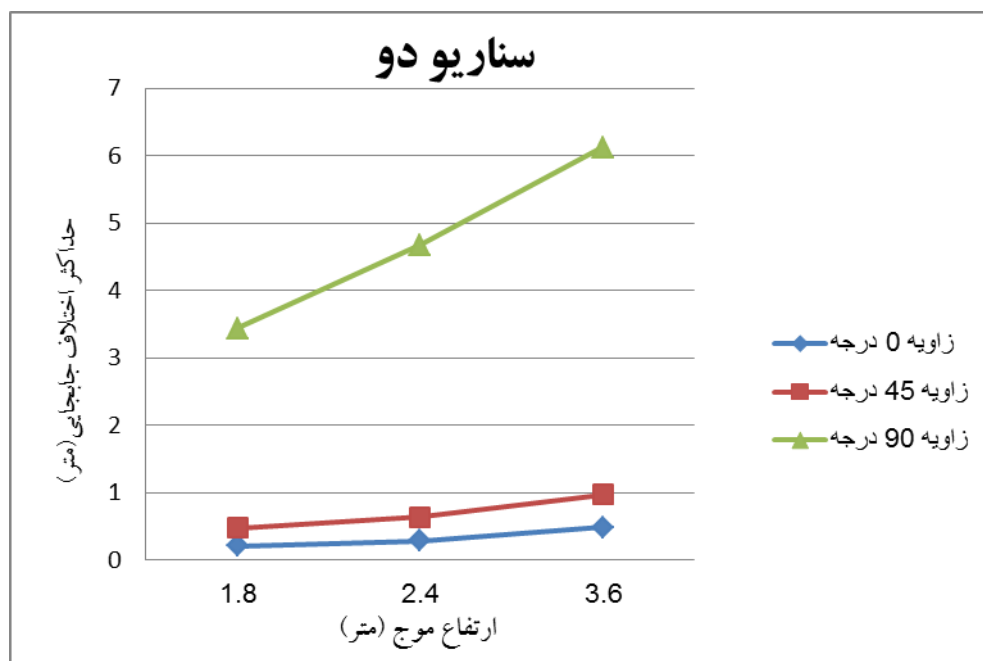
شکل ۶-۱۲- اثر تعداد پانتون ها روی حداکثر اختلاف جابجایی در آبخور ۱.۵ متر زاویه ۹۰ درجه
در زوایای ۰ و ۹۰ درجه با افزایش تعداد پانتون ها از دو به سه عدد میزان حداکثر جابجایی افزایش می یابد، ولی در زاویه ۴۵ درجه برعکس هست یعنی با افزایش تعداد پانتون ها میزان حداکثر جابجایی کاهش می یابد.

۶-۴- اثر زاویه روی حداکثر اختلاف جابجایی

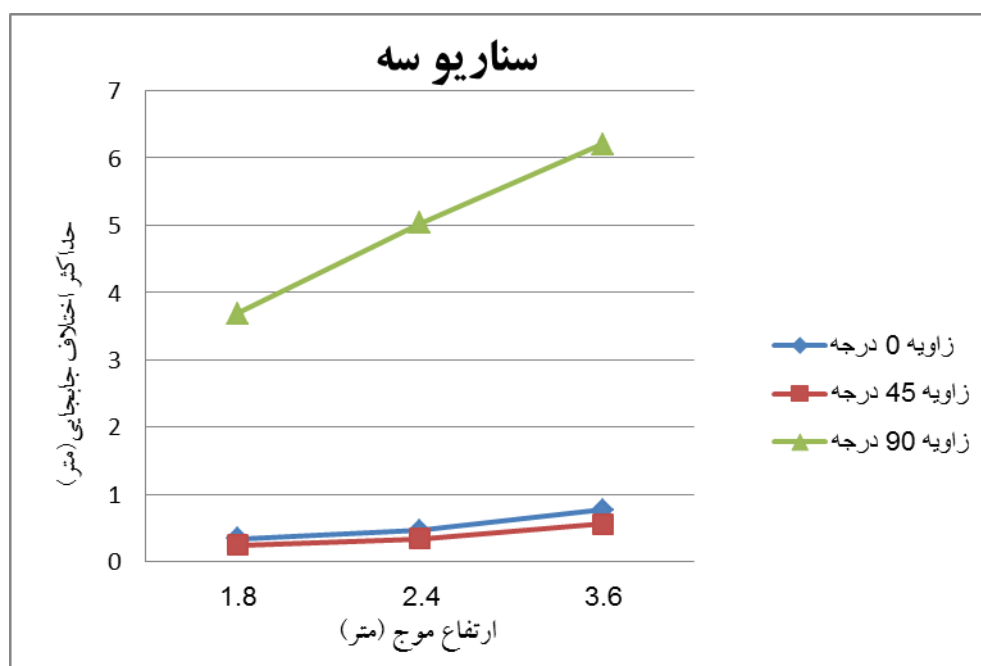
۶-۴-۱- آبخور ۶ متر



شکل ۶-۱۳- اثر زاویه روی حداکثر اختلاف جابجایی در آبخور ۶ متر و سناریو یک



شکل ۶-۱۴- اثر زاویه روی حداکثر اختلاف جابجایی در آبخور ۶ متر و سناریو دو

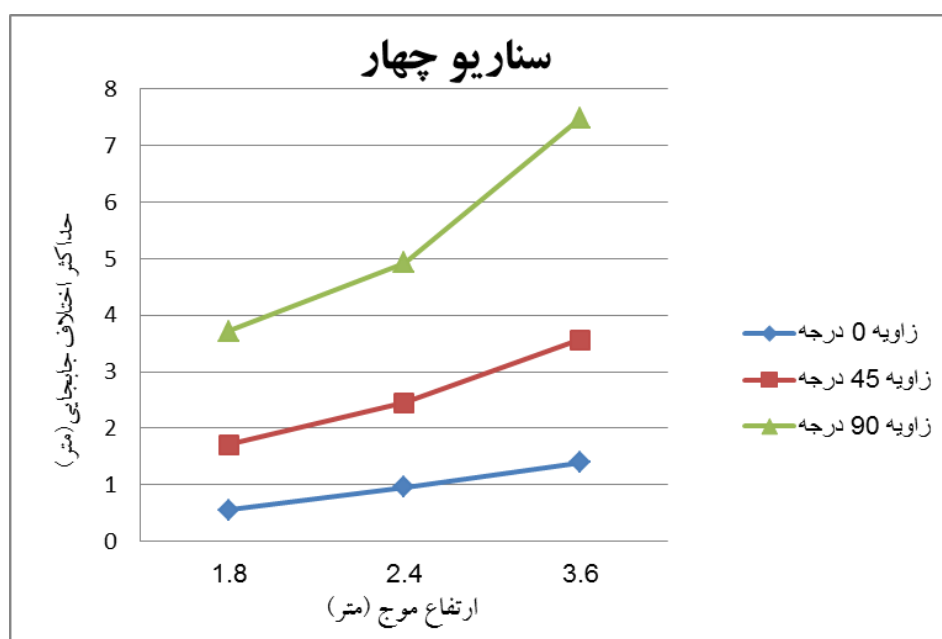


شکل ۶-۱۵- اثر زاویه روی حداکثر اختلاف جابجایی در آبخور ۶ متر و سناریو سه

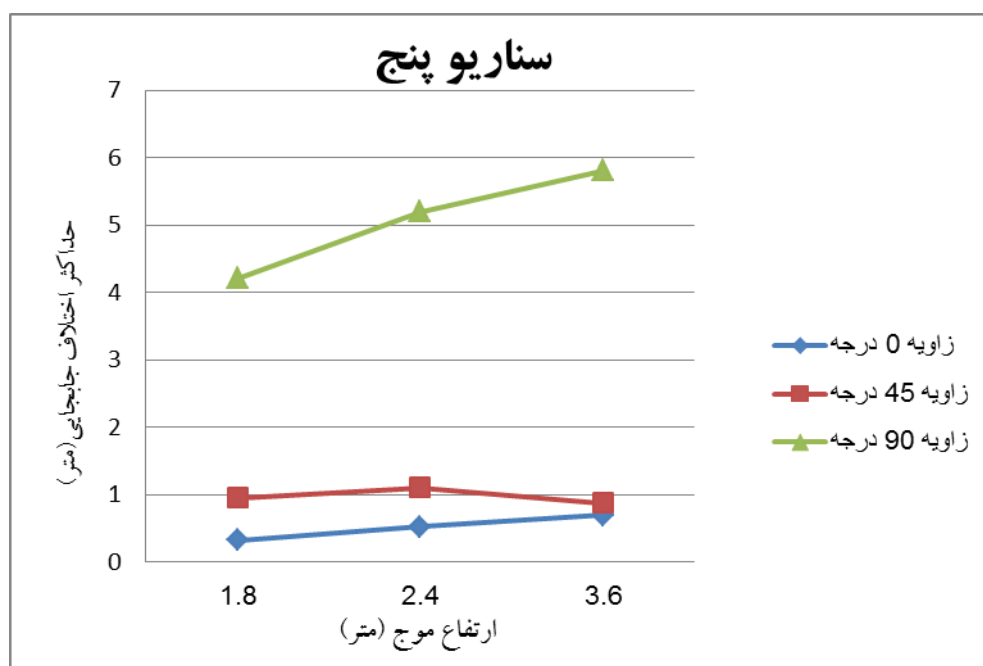
با افزایش زاویه در هر سه سناریو مقدار ماکزیمم اختلاف جابجایی افزایش پیدا کرده است.

افزایش تعداد پانتون‌ها همراه با افزایش زاویه، تأثیر کمتری روی جابجایی پانتون‌ها خواهد داشت.

۲-۴-۶- آبخور ۱.۵ متر



شکل ۶-۱۶- اثر زاویه روی حداکثر اختلاف جابجایی در آبخور ۱.۵ متر و سناریو چهارم



شکل ۶-۱۷- اثر زاویه روی حداکثر اختلاف جابجایی در آبخور ۱.۵ متر و سناریو پنجم



شکل ۶-۱۸- اثر زاویه روی حداکثر اختلاف جابجایی در آبخور ۱.۵ متر و سناریو ششم

۵-۶- نتیجه گیری

نتایج اصلی این پایان نامه به شرح زیر هست.

- افزایش تعداد پانتون ها منجر به کاهش حداکثر اختلاف جابجایی می گردد. به عبارت دیگر در پل های شناور، هر چه تعداد پانتون ها در طول پل بیشتر گردد، سازه پایدارتر خواهد بود.
- هرچه قدر آبخور پانتون ها بیشتر باشد، اثر تعداد پانتون ها روی کاهش حداکثر اختلاف جابجایی بیشتر هست. به عبارت دیگر در پل های شناور می توان با افزایش آبخور طراحی از تعداد پانتون های مورد استفاده کاست و طرح را از نظر اقتصادی بهینه نمود.
- با افزایش زاویه جهت موج نسبت به پانتون ها از صفر درجه تا ۹۰ درجه، مقدار حداکثر اختلاف جابجایی به طور چشمگیری افزایش پیدا می کند. لذا در طراحی ها می توان با محاسبه فراوانی و احتمال وقوع زوایای موج در منطقه موردنظر، بهینه ترین زاویه پانتون ها را محاسبه نمود.
- با افزایش تعداد پانتون ها، اثر زاویه بر روی مقدار حداکثر اختلاف جابجایی کمتر شده است.
- در زاویه های بیشتر (۹۰ درجه) اثر ارتفاع موج روی مقدار حداکثر اختلاف جابجایی، بیشتر هست. بنابراین با رعایت کردن زاویه صفر درجه پانتون ها با جهت موج های محتمل، می توان پایداری پل را در ارتفاع های بیشتر موج حفظ نمود.
- به طور کلی در طراحی پل های شناور می توان با بهینه ساختن تعداد پانتون ها و آبخور پانتون ها و زاویه قرارگیری آن ها نسبت به موج های محتمل منطقه، به یک طرح اقتصادی و ایمن رسید.

۶-۶- پیشنهادها

- با توجه به موجود بودن مدل‌های آزمایشگاهی پیشنهاد می‌گردد که دانشجویان در کارهای آتی با راه‌اندازی آزمایش‌های مختلف، مثل تغییر در آبخور و مشخصات موج به توسعه این تحقیق بپردازند.
- پیشنهاد می‌گردد با استفاده از روش‌های شبکه عصبی و فازی، بهینه‌ترین تعداد پانتون‌ها و جهت زاویه پانتون‌ها نسبت به امواج محتمل منطقه، مورد بررسی قرار گیرد.
- تحقیق حاضر امواج منظم را مورد بررسی قرار داده است، پیشنهاد می‌گردد امواج غیرمنظم نیز توسط دانشجویان در کارهای آتی مورد بررسی قرار بگیرد.

فهرست مراجع

- [1] "<https://www.pmo.ir/fa/news/19326/%D8%A2%D8%AE%D8%B1%DB%8C%D9%86-%D8%AC%D8%B2%D8%A6%DB%8C%D8%A7%D8%AA-%D8%A7%D8%B2-%D8%A7%D8%AD%D8%AF%D8%A7%D8%AB-%D9%BE%D9%84-%D9%85%D9%84%DB%8C-%D8%AE%D9%84%DB%8C%D8%AC-%D9%81%D8%A7%D8%B1%D8%B3-%D9%85%D8%B4%D8%AE%D8%B5%D8%>", [Online].
- [2] " (Watanabe and Utsunomiya, 2003; Brown, 1993)".
- [3] "(Vermont Agency of Transportation, nd; VtransTV, 2015)".
- [4] "(Lindeman, 1965)".
- [5] "(Arda et al., 1996; Shixiao et al., 2005;Watanabe and Utsunomiya, 2003)".
- [6] "(Lwin, 93)".
- [7] "(Lwin, 2000; Watanabe and Utsunomiya, 2003)".
- [8] Ivar Langen and Ragnar Sigbjhmsson , “On stochastic dynamics of floating bridges,” *Eng. Struct.*, 1980, Vol. 2, October, 1980.
- [9] Ivar Langen , “Probabilistic methods for dynamic analysis of floating bridges,” *Norweg Marit Res* 1983;11(1):2–15., 1983.
- [10] “Ikoma T, Masuda K, Maeda H. Elastic response of very large floating structures. 13th Ocean”.
- [11] Mohammad Saeed Seif and Yoshiyuki Inoue, “Dynamic analysis of floating bridges,” *Marine Structures* 11 (1998) 29—46, 1998.
- [12] “Maruyama T, Kawamura Y. Construction of a floating swing bridge – Yumemai bridge. Osaka Technol 2000;39:28–43.”.
- [13] M. Daghigh, “Aspects of finite element modeling in design and response analysis of floating bridge of Urmia lake in IRAN,” *onference: ICOPMAS2002At: Tehran-IRAN*, 2002.
- [14] Seif and Koulaci, “Floating Bridge Modeling and Analysis,” *Scientia Iranica/Sharif University of Technology*, 2005.
- [15] R. Larssen and etal, “Submerged floating tunnels for crossing of wide and deep fjords,” *Proc Eng* 2010;4:171–8., 2010.
- [16] Giannin Viccili and etal, “Transportation Optimization of Ribbon Floating Bridges: Analytical and Experimental Investigation,” *The Open Civil Engineering Journal*, 2014, 8, 42-56, 2014.

-
- [17] Knut Andreas Kvåle and etal, "Modelling the stochastic dynamic behaviour of a pontoon bridge: A case study," *Computers and Structures*, 2016.
- [18] Halvor Lie and etal, "NUMERICAL MODELLING OF FLOATING AND SUBMERGED BRIDGES SUBJECTED TO WAVE, CURRENT AND WIND," *Proceedings of the ASME 2016 35th International Conference on Ocean*, 2016.
- [19] Xu Xiang and etal, "VISCOUS DAMPING MODELLING OF FLOATING BRIDGE PONTOONS WITH HEAVING SKIRT AND ITS IMPACT ON BRIDGE GIRDER BENDING MOMENTS," *Proceedings of the ASME 2017 36th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering*, 2017.
- [20] Jianqun Sun and etal, "An experimental investigation on the nonlinear hydroelastic response of a pontoon-type floating bridge under regular wave action," *Ships and Offshore Structures*, 2017.
- [21] Ahnaf Rahman, "Dynamic Analysis Of Floating Bridges," *Procedia Engineering* 194 (2017) 44 – 50, 2017.
- [22] Zhengshun Chenga, Zhen Gaoa and Torgeir Moa, "Hydrodynamic load modeling and analysis of a floating bridge in homogeneous wave conditions," *Marine Structures*, 2018.
- [23] Zhengshun Cheng, Zhen Gao and Torgeir Moan, "Wave load effect analysis of a floating bridge in a fjord considering inhomogeneous wave conditions," *Engineering Structures*, 2018.
- [24] Xu Xiang and etal, "IMPACT OF HYDRODYNAMIC INTERACTION BETWEEN PONTOONS ON GLOBAL RESPONSES OF A LONG FLOATING BRIDGE UNDER WIND WAVES," *Proceedings of the ASME 2018 37th International*, 2018.
- [25] Jungao Wang and etal, "Coupled aerodynamic and hydrodynamic response of a long span bridge suspended from floating towers," *Journal of Wind Engineering & Industrial Aerodynamics* 177 (2018) 19–31, 2018.
- [26] Yanyan Sha and etal, "Numerical investigations of the dynamic response of a floating bridge under environmental loadings," *Ships and Offshore Structures*, 2018.
- [27] Thomas Viuff and etal, "CODE-TO-CODE VERIFICATION OF END-ANCHORED FLOATING BRIDGE GLOBAL ANALYSIS," *Proceedings of the ASME 2018 37th International*, 2018.
- [28] Thomas Viuf and etal, "Effects of wave directionality on extreme response for a long end-anchored floating bridge," *Applied Ocean Research*, 2019.
- [29] Xu Xiang and Arne Løken, "HYDROELASTIC ANALYSIS AND VALIDATION OF AN END ANCHORED FLOA TING BRIDGE UNDER WAVE AND CURRE NT LOADS," *Proceedings of the 38th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering*, 2019.
- [30] Jian Dai and etal, "Inhomogeneous wave load effects on a long, straight and side-anchored floating pontoon bridge," *Marine Structures*, 2020.

-
- [31] St. Denis and Pierson, W. J, "On the Motion of Ships in Confused Seas.," *Dayton*, 1953.
- [32] Journée, J. M and Massie, W. W, "Offshore Hydromechanics," *Delft University of Technology*., 2001.
- [33] O. M. Phillips, "The equilibrium range in the spectrum of wind-generated waves.," *Journal of Fluid Mechanic Volume 4*, pp. 426-434., 1958.
- [34] Pierson, W. J. and Moskowitz, "A proposed spectral form for fully developed wind seas based on the similarity theory of S.A Kitaigorodskii," *Journal of Geophysical Reaserch*., 1964.
- [35] K. e. a. Hasselmann, "Measurements of wind-wave growth and swell decay during the Joint North Sea Wave Project (JONSWAP)," *Measurements of Wind-Wave Growth and Swell Decay during the North Sea Wave Project (JONSWAP)*. Hamburg: *Deutschen Hydrographischen Zeitschrift*., 1973.
- [36] Behrang Niroomand, Reza Kamalian, Mohsen Soltanpour and Mohammad Reza Allahyar, "STUDY OF THE WAVE SPECTRA IN THE PERSIAN GULF," *ICCE2014 The 34th International Conference on Coastal Engineering, Seoul, Korea*., 2014.
- [37] Morison, J. R, O'Brien, M. D. and Johnson, J. W, "The force exerted by surface waves on piles," *California: Petroleum Transactions, AIME Vol. 189*., 1950.
- [38] Barltrop, N. D and Adams, A. J, "Dynamics of Fixed Marine Structures 3rd Edition.," *Butterworth Heinemann*., 1991.
- [39] Violette, R, "Linear model for vortex-induced vibrations of slender structures," *Ph.D. project description*., 2015.
- [40] Faltinsen, O. M, "Sea Loads on Ships and Offshore Structures.," *Cambridge University Press*., 1990.
- [41] A. E. & F. V. Farid Asadi, "Ground improvement and foundation practice for Persian Gulf Bridge (causeway); Bandar Abbas Harbor–Qeshm Island," *Marine Georesources & Geotechnology*, 2016.

Abstract

In the field of tourism and trade in the Persian Gulf, one of the issues is creating a suitable communication route between Qeshm Island and the southern coast of Iran in the form of a national plan considering all aspects such as economy, safety, environment, etc. Costly and risky operations are needed for underwater construction and pile driving in terms of the environment and the risk of coral destruction in this area. Thus, one of the solutions is to use a floating bridge. This study investigates this solution.

The research proposal is to use a bridge with suspended spans. The piers of the bridge are pontoons that float in the sea. The hydrodynamic response of floating pontoons has been examined in this research by modeling floating pontoons in the National Marine Laboratory of the Persian Gulf Martyrs and comparing it with the numerical model of Ansys Aqwa.

The result of numerical modeling indicates that the increase in the number of pontoons from one to three reduces the maximum vertical movement of the pontoons. On the other hand, the smaller the angle of the longitudinal axis of the pontoons relative to the wave direction, the lower the maximum vertical movement of the pontoons. It also shows that the increase in the draught rate of the pontoons reduces the effect of the number of pontoons on the maximum vertical movement.

The research generally concludes that an economical and safe plan can be achieved in order to design floating bridges by optimizing the number of pontoons, the draught rate of the pontoons, and their angle to the possible waves of the area.

Keywords: Floating bridge, Floating structure, Pontoon bridge, Persian Gulf, Qeshm



Faculty of Civil Engineering

M.Sc. Thesis in Coastal Engineering, Ports and Marine Structures

**evaluation and selection of the appropriate
Persian gulf floating bridge design based on
dynamic and seakeeping analysis**

By: Sajjad MoghadasPour

Supervisor:
Dr. Mahdi Adjami

February 2022