



ارائه شده توسط :

سایت ترجمه فا

مرجع جدیدترین مقالات ترجمه شده

از نشریات معتربر

# بررسی تجربی حوادث ضربه موج در عرشه بر روی یک مدل TLP

## خلاصه

تست های مدل به تحقیق درباره رفتار جهانی تنفس سنتی پایه سکو کمک کرد و این کار توسط بار عرشه-موجی واپسیه به وقایع امواج شدید با قله بلند نامعمول در دریاهای موسمی انجام شد. آزمایشات تجربی به منظور اندازه گیری های همزمان بلندی سطح موج، حرکت جسم صلب، تنفس پی و همچنین توزیع فشار در سطح زیرین عرشه مدل طراحی شد. نتایج بدست آمده گوناگونی تمامی اندازه گیری ها را نشان داد و همچنین بینشی را در اثر بارهای عرشه-موجی بر روی رفتار سکو، تنفس های پی و فشار اسلامینگ فراهم کرد و همچنین ارتباط کیفی بین پارامترها را نشان داد. طبق آزمایشات مکرر در موقع متعدد در پارامترهای موج مختلف، مشاهدات عمومی و نتیجه ها با در نظر گرفتن دینامیک سکو در طول اثر عرشه، تنفس پی، شرایط پی سست، رینگینگ پی و فشار اثر منطقه ای بدست آمد. نتایج این تحقیق می تواند برای کالیبره کردن محاسبات دینامیک سیالات استفاده شود.

## مقدمه

در سالهای اخیر، تلاش های زیادی برای تحقیق بر روی مشکلات اثر wave-in-deck در سکوهای خارج از ساحل توسط آزمایشات تجربی یا متدهای عددی یا ترکیبی از هر دو انجام شده است. از این رو، دانش مهندسی حال حاضر به پیشビینی دقیق بزرگی و پراکندگی بارهای wave-in-deck و پاسخ جهانی بدست آمده از سازه های شناور که محدود باقی مانده نیاز داشت.

در بین سال های 2004 و 2005، طوفان های ایون، کاترینا و ریتا در خلیج مکزیک 126 سازه خارج از ساحل را تخریب کرد و به 183 سازه دیگر خسارت وارد کرد. خسارت های گزارش شده به ما می گویند که در حین طوفان های موسمی و گردبادها، ارتفاع موج در خیلی از سازه ها از ارتفاع طراحی بیشتر میشود. اخیرا در دسامبر 2015، 50 کارگری که در منطقه حفاری در دریای شمال زمانی صدمه دیدند که موج شدیدی به محل اقامت آن ها اصابت کرد که باعث کشته شدن یک نفر و مجرح شدن یک نفر دیگر شد. متوجه شدیم که این اثرات عرشه بیشتر از چیزی که توسط متدهای تئوری بدست آمده، رخ میدهد.

اکثر تحقیقات ثبت شده بر روی اثرات موج بر روی سازه های خارج از ساحل بر روی بدبست آوردن جعبه های ساده شده عرشه یا سطح صاف تمرکز داشته است. با این وجود، سازه زیر عرشه مانند ستون ها و پل ها (پتون) می تواند بر روی بزرگی نیرو و پراکنده‌گی آن بر روی قسمت بالایی عرشه تاثیر بگذارد. با توجه به فعل و انفعالات هیدرودینامیک بین ستون ها و پل ها در یک سکوی چند ستونی مانند سکوی ستونی تنشی (TLP)، اثرهای پراش و تابش می تواند باعث افزایش ارتفاع موج شود و بر روی سطح زیرین عرشه اثر بگذارد. نیدوزکی و هوستون فهمیدند که فاصله گذاری بین ستون ها نقش مهمی در فرازجوشی موج در زیر عرشه دارد که میتواند بر روی نیروی عمودی wave-in-deck اثر بگذارد. عبدالصمیع متوجه شد که محل تقاطع ستون های عرشه در یک مدل ثابت TLP که تحت امواج غیر معمولی با قله بلند قرار میگیرد، متحمل فشار ضربهای wave-in-deck بیشتری نسبت به مناطق مرکزی زیر عرشه میشود. شارنک و هنینگ بر روی اثر زیر سازه روی بزرگی بار wave-in-deck تحقیق کردند که این کار با استفاده از وصل کردن یک عرشه جعبه مانند به ستون های مربعی انجام شد. آن ها فهمیدند که حضور ستون تاثیر زیادی بر روی بزرگی نیروهای عمودی کلی و فشارهای محلی دارد و بزرگی بارهه به شدت افزایش یافت. با حضور ستون ها، حداقل نیروی wave-in-deck عمودی تقریباً دو برابر ماکزیمم بار اندازه گیری شده در حالت بدون ستون افزایش یافت.

وقایع ضربه های شدید wave-in-deck ممکن است بارهای محلی و کلی اصلی را بر روی سازه خارج از ساحل شناور به وجود بیاورد. بارهای کلی میتواند نیروهای بزرگی را در پی و riser ایجاد کند و در نتیجه، بر روی حرکات سازه شناور تاثیر بگذارد، در حالی که بارهای محلی توانایی صدمه زدن به عرشه سازه و تجهیزات را دارد که میتواند امنیت ringing افراد را به خطر بیندازد. بخش مهمی از تجربه تنش پی توسط یک TLP در شرایط طوفانی میتواند به پاسخ دینامیکی TLP به هنگام ضربه wave-in-deck مورد نیاز است.

در بین بررسی های تئوری شناخته شده، تئوری کاپلان برای تخمین اثر موج و بار ضربه بر روی سکوهای خارج از ساحل بسیار مورد استفاده قرار گرفته است. به عنوان مثال، این متده برای آنالیز اثر موج بر روی عرشه سازه های پایه

گرانشی GBS و انواع دیگر سکوهای خارج از ساحل ثابت مورد استفاده قرار گرفت. استفاده از این متدهای جامعه طبقه بندی شده برای آنالیز کردن نیروهای اثری موج بر روی سکوهای شناور نیز توصیه میشود. بارهولم به صورت تئوری اثر موج های شدید بر روی عرشه یک سکوی semisubmersible (نصفه شناور) را در مقایسه با موج های معمولی مورد مطالعه قرار داد. نویسندهای از بررسی های انجام شده توسط ونگ برای حساب کردن حرکات سکو و از تئوری موج نظم دوم استوکس برای توصیف موج های ضمنی بهره بردن. کد پنل WAMIT برای بدست اوردن توابع انتقالی برای حرکات خطی بدست آمد. نویسندهای فهمیدند که اثر سکو، نیروی مکشی بزرگی را تولید میکند که باعث حرکات رو به پایین بزرگی شود. با استفاده از سازه های ثابت، تلاش هایی برای پیش‌بینی فشار ضربه و پراکندگی آن در طول عرضه با استفاده از تئوری موج خطی انجام شد. ونگ یک فرمول تئوری را برای فشار اثر بر روی سطح صاف با صرف نظر از ضخامت بدست آورد که نشان دهنده یک رابطه کیفی خوب با فشار اندازه گیری شده در آزمایشات مدل بود. محدودیت های مومنتوم و متدهای مشابه مربوط به کاربرد کینتیک موج های میدان موجی غیر آشکته است. متدهایی که بر اساس دینامیک سیالات محاسباتی CFD هستند در سال های اخیر بسیار مورد توجه قرار گرفته اند. کدهای تجاری مانند ANSYS FLUENT و STAR-CCM+ که به طور رایج استفاده میشوند برای مدل کردن و حل کردن مشکلات اثر wave-in-deck موجود هستند که از روش حجم سیال برای بدست آوردن جریان های هیدرودینامیک سطح ازاد استفاده میکنند. از این رو، تکنیک های مبتنی بر CFD برای استفاده تجربی در مدل کردن یک حجم شناور مرتبط به موج های شدید در حالت دریایی نامعقول محدود است.

تست های مدل در گذشته برای تخمین زدن نیروهای wave-in-deck بر روی نوع های مختلف سازه های خارج از ساحل انجام میشد. تست های مدل به صورت قابل بحثی بهترین روش برای بدست آوردن بارهای wave-in-deck میباشد. اکثریت قابل توجهی از کارهای منتشر شده بر روی اندازه گیری نیروهای اثر wave-in-deck کلی بر روی جعبه های عرضه ساده شده یا سطح های صاف ثابت تمرکز دارد که به موج های معمولی و موج های تصادفی مرتبط بود. از طرف دیگر، تحقیقات انجام شده روی شناورهای چند ستونه رایج نادر است. همچنانیک اکثر تحقیقات بدست آمده بر روی این سازه ها به علت محرومانه بودن پروژه ها در دسترس عموم قرار ندارند. به نظر میرسد که آزمایشات

تجربی از اثر wave-in-deck بر روی سازه های خارج از ساحل شناور از اواسط دهه 2000 آغاز شده است. در میان این تحقیقات، جوهایست و هنیگ فواصل هوایی دینامیکی، بارهای موج و پاسخ مدل های TLP تحت شرایط موجی شدید را بررسی کردند. هر دو تحقیق یک حادثه wave-in-deck را گزارش داد که می توانست باعث مکانیزم پاسخی شدید اضافی شوند که یک تغییر جهت در بارگزاری شدید قابل توجه بود. در همان زمان، توزیع فشار ضربه wave-in-deck در اطراف جلو و پشت ستون های یک سکوی شناور چند ستونه و رابطه آن با بار کلی که شامل تنش پی میباشد، به طور سیستماتیک مورد بررسی قرار نگرفته است. گزارش هایی از اندازه گیری های دقیق و پیشビینی بار کلی و پاسخ دینامیکی سازه خارج از ساحل شناور، به علت حوادث اثر wave-in-deck به شدت محدود هستند. همانطور تکنیک های مبتنی بر CFD برای پیشビینی اثر دینامیکی یک حجم شناور لنگری به پیشرفت خود ادامه میدهد. اطلاعات wave-in-deck تجربی برای تایید شبیه سازی های CFD و برای تهیه کردن اطلاعاتی که میتواند برای طراحی این سکو ها استفاده شود مورد نیاز است. هدف این تحقیق، بررسی پاسخ کلی یک سیستم TLP تحت نیروهای wave-in-deck با استفاده از تست های مدل اتفاق های موجی شدید مختلف و تکرار واقعی آن ها است. این تحقیق بر روی تهیه دیدگاه های کیفی و جزییات کمی در نیروهای اثر wave-in-deck، حرکات حجمی صلب، تنش های پی و فشار ضربه عرشه و روابط آن ها تمرکز دارد. پاسخ مدل TLP در رویدادهای موجی غیر متعارف متعدد با کینتیک های موجی مختلف اندازه گیری شد که این از چرخه 10000 ساله حالت دریا در شمال غربی استرالیا گرفته شده است. با انجام تست ها برای رویداد های موجی مختلف با شرایط واقعی مختلف، هدف این تحقیق تخمین گوناگونی پاسخ های اندازه گیری عرشه و نتیجه گیری هایی که ممکن است به صورت گستردگی برای سازه های شناور هم نوع مورد استفاده قرار گیرد، میباشد. این تحقیق همچنین در نظر دارد که نتایج جزئی شده ای که می تواند برای کالیبره کردن نرم افزار آنالیز جهانی و شبیه سازی CFD را فراهم کند. برای اینکه نتایج ازمایش مدل بتواند برای مقایسه با شبیه سازی عددی در آینده قابل رقابت باشد، اطلاعات جزئی بر روی مدل و نتایج وجود دارد که شامل ارتفاع موج اندازه گیری شده در کاوش های موج های مختلف است، میباشد. اطلاعات جزئی بیشتری مانند سری های زمانی از ارتفاع موج اندازه گیری نیز موجود میباشد. یک روش که میتواند برای شبیه سازی عددی نتایج در این تحقیق

تجربی استفاده شود، تکنیک موج متمرکز است که به تئوری موج جدید نیز آن را میشناسیم. با وجود این که اکثر تحقیقات از تکنیک موج متمرکز برای بدست اوردن پاسخ سازه های ثابت استفاده کرده اند، رانزلی نشان داد که از یک روش مشابه می تواند برای بدست آوردن پاسخ دینامیکی یک سازه لنگری شناور میتوان استفاده کرد. این تکنیک نیازمند تاریخ زمانی ارتفاع موج در یک نقطه می باشد که در این مقاله و مقاله منبع توسط اولین نویسنده (عبدالصمیع) مورد استفاده قرار گرفت. استفاده کنندگان از CFD باید بدانند که تاریخ زمانی موج اندازه گیری شده می تواند با استفاده از تطبیق ترکیبات موج خطی از طریق تغییر فوریه مستقیم از نو نوشته شود. ترکیبات موج خطی بدست امده، موج را در موقعیت مدل درست نشان نمیدهد و این به خاطر غیر خطی بودن تقاطع های موج میباشد. یک تکنیک انفعالی برای تنظیم ارتفاع و فاز ترکیبات موجی برای نوسازی تاریخ زمانی موج مورد نظر در موقعیت خواسته شده، مورد نیاز است.

## 2. مدل و ابزارها

### 2.1 امکانات تست مدل

این ازمایش مدل در دانشگال ماریتی استرالیا در مخزن آب انجام شد که این مخزن 100 متر طول و 3.55 متر عرض دارد که عمق آن 1.5 متر می باشد. این مخزن برای بدست آوردن شرایط موج های مختلف معمولی و غیر معمولی مدرج شده است. برای بدست اوردن پاسخ سکو و مستقل بودن موج، از باد و جریان آبی را صرف نظر میکنیم

### 2.2 TLD مدل

مدل با مقیاس 1:125 بر طبق تنש پی SNORRE-A مورد ازمایش قرار گرفت. در حالی که عرشه این سکو به عنوان یک سازه جعبه ای شکل مدل شده بود. خواص اصلی سکو در مقیاس اصلی و مقیاس مدل در جدول 1 و شکل 1 آورده شده است. به علق محدودیت های عمق حداکثری مخزن (1.5 متر)، عمق آب مقیاس شده مقیاسی از عمق اصلی که SNORRE-A در آن قرار دارد، نیست. در حالی که سختی محوری پی TLP برای نشان دادن طول واقعی، مدل شده است که عمق آب مدل شده با عمق آب واقعی متناسب است. این بررسی به علت این که هدف این تحقیق،

بدست آورن بارهای هیدرودینامیکی عرشه یک سکو TLD است، مورد قبول است زیرا در این تحقیق، پاسخ اصلی TLP در عمق مورد نیاز نیست.

همانطور که هدف این تحقیق بدست آوردن دیدگاهی از رویداد wave-in-deck است، ارتفاع عرشه مدل TLP باید به دقت مشخص شود. برای بدست آوردن یک عددی که بدست آوردهیم به اندازه کافی برای رویدادهای اثر در موج های حالت های دریایی ره اندازه کافی یزرگ باشد، ترخیص عرشه استاتیکی از سکو به مقدار 15 متر انتخاب شده است(120 متر در مقیاس اصلی) که بعد به 12 متر (92 میلی متر در مدل) در نوممه کاهش پیدا کرد. این تغییرات یک توافقی است که به منظور اطمینان سازی برای بدست آوردن مقدار کافی رویداد اثر wave-in-deck است که می تواند در حین تست مشاهده و اనالیز شود حتی اگر تناوب اتفاق افتادن این رویدادها از مقیاس اصلی در دریا بیشتر باشد. تفاوت در ترخیص عرشه بین سکوی SNORRE-A و مدل استفاده شده در این تحقیق در شکل 2 نشان داده شده است. تناوب اثرهای امواج مورد انتظار نیز در بخش 3 بحث میشود.

این مدل به دو بخش تقسیم می شود: پوسته (ستون ها و پل ها) و قسمت بالایی عرشه. داشتن این دو بخش مجزا به ما این اجازه را می دهد که عرشه را هم به صورت جداگانه و هم به صورت یک سازه ترکیبی بررسی کنیم. این مدل طوری طراحی شده است که تا حد ممکن سخت و مانع دخول آب شود. همانطور که انتظار میرفت، قسمت بالایی ستون ها به هم بسیار نزدیک بود. یک تیغه اکریلیک بلند 100 میلی متری بر بالای گوشه های آلومینیومی به منظور جلوگیری از دخول آب به داخل عرشه نصب شده است که می توان نتایج آن را در جدول 3 مشاهده کرد.

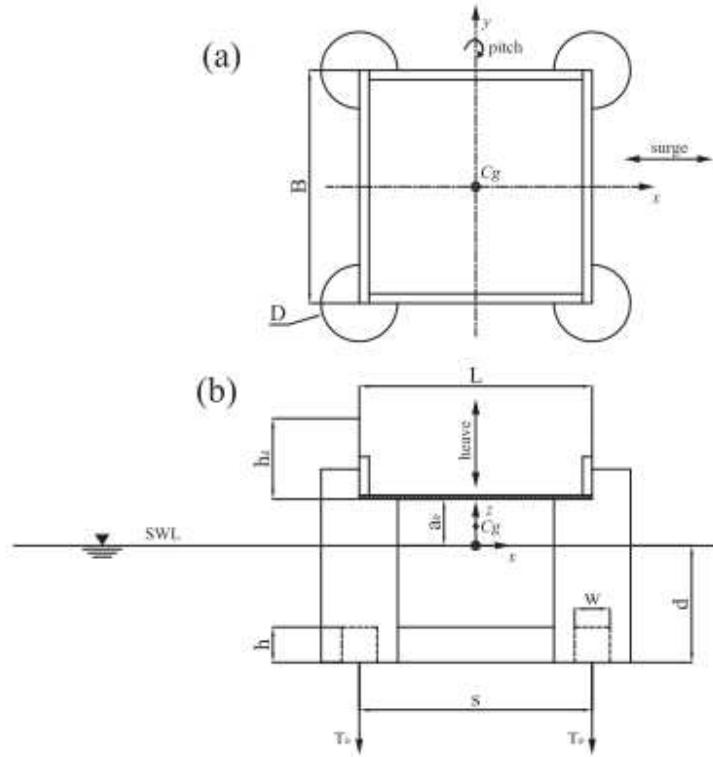
آزمایشات شیب و تست های دو نخه برای بدست آوردن مرکز گرانشی و حجم انجام شد که در جدول 1 نتایج آن اورده شده است. تنش افزاینده توسط یک حجم 1.70 کیلو گرمی واقع در 515 میلی متری بالای زانویی در مرکز سکو قرار دارد (شکل b6). مکان این حجم متمرکز شده طوری انتخاب شده است که نشان دهنده تنش بالا رونده در عرشه زیرین SNORRE-A باشد.

Parameter	Full scale	Model scale (1:125)	Tested model scale
Column diameter, $D$	25.00 m	200 mm	200 mm
Pontoon size, $h \times w$	11.50 × 11.50 m	92 × 92 mm	92 × 92 mm
Column spacing, $s$	76.00 m	608 mm	608 mm
Column height	63.00 m	504 mm	505 mm
Deck size, $L \times B \times h_d$	124.50 × 92.00 × 15.00 m	996 × 736 × 120 mm	608 × 608 × 210 mm
Deck clearance, $a_0$	27.00 m	216 mm	120 mm
Platform's draft, $d$	38.125 m	305 mm	305 mm
Displacement, $\Delta$	101,840 t	52.15 kg	52.15 kg
Total mass, $M$	77,640 t	39.75 kg	39.75 kg
Initial pretension per leg, $T_o$	6055 t	3.10 kg	3.10 kg
Number of tendon per leg, $n$	4	4	1
Total tendon length at zero offset, $L_o$	307.00 m	2456 mm	1195 mm
Axial stiffness per leg, $nEA/L_o$	$2.42 \times 10^8$ N/m	15.49 N/mm	15.80 N/mm
Riser tension	3320 t	1.70 kg	1.70 kg
Centre of gravity, $C_g$ ( $x$ , $y$ , $z$ )	n/a	n/a	(0.0, 0.0, 5.0) mm
Mass moment of inertia ( $I_{xx}$ , $I_{yy}$ , $I_{zz}$ )	n/a	n/a	(5.23, 5.23, 5.63) kg.m <sup>2</sup>
Water depth	310.00 m	2480 mm	1500 mm

## جدول 1

### 2.3 سیستم پی

برای اینکه سیستم لنگری SNORRE-A TLP که متشکل از 4 پی در هر گوشه است را نشان دهیم، یک پی مجزا برای هر گوشه مدل برای بدست آوردن سختی یکسان استفاده می کنیم. نقاط چرخش پی در مدل TLP واقع در نقاط انتهایی ستون توسط نصب 3 لولای محوری در هر ستون مانند شکل 4 قرار گرفت. نقطه لنگر هر پی به کف مخزن متصل شد. قبولی محوری واقعی 4 پی SNORRE-A TLP با استفاده از فنرهای ضد زنگ مدل شد که سختی را با مقیاس درستی ارائه میدهد. فنر سبک با سختی محوری 15.80 N/mm بین یک طناب سیمی 3.2 میلی متری و پایه لنگر نصب شد (شکل 4). برای پایه شماره 1 و شماره 4 فنر به یک طناب سیمی و یک سلول باری ضد آب وصل شد. لنگر پلاستیکی، یک ترکیب قوی برای پی به کف مخزن را فراهم کرد. برای به دست آوردن پیش تنش، هر کدام از پی ها به یک سیم 1.20 میلی متری که متصل به انتهای لنگر بود وصل کردیم. از این رو، بدست آوردن به یک مکانیزم برای از دور کنترل کردن پیش تنش پی دست پیدا کردیم.  $T=30.4$  N



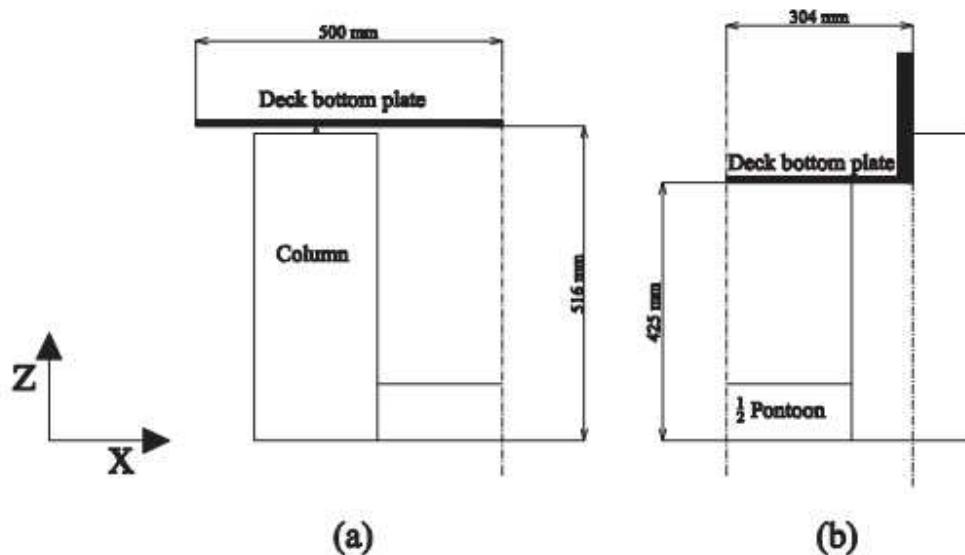
شکل 1

## 2.4 ابزارها

مکان 5 کاوش موج در جدول 2 آمده است. (سیستم مختصاتی در شکل 5 آمده است). کاوش موج WP1-WP3 اندازه ارتفاع موج های ورودی ضمنی را که در جهت  $\times$  حرکت میکنند را بدست میاورد. در حین آزمایشات اثر موج، موج WP4 و WP5 به جلو و عقب لبه های بالایی سکو متصل بود.

حرکت خروشان مدل توسط یک ترانسفورماتور جابجایی خطی مغناطیسی بدست آورد که در شکل 6 نشان داده شده است. در ادامه، Xsens MTI30، یک سیستم اندازه گیری حرکتی شش درجه آزادی بر روی مدل TLP برای اندازه گیری ترکیبات شتابی انتقالی و همچنین حرکات پرتابی مدل نصب شد. هدف این سیستم اندازه گیری مخصوص بددست آوردن اوج حرکت پرتابی است که با رویداد اثر موج در ارتباط است. این سیستم همزمان با سیستم DAQ روش میشود اما اطلاعات آن با ارتفاع موج، بارها و اطلاعات امواج خروشان همگام نیست. به منظور پیدا کردن نقطه اوج حرکات پرتابی به وجود آمده توسط رویدادهای اثر wave-in-deck، یک همگام سازی تقریبی با مقایسه تاریخ

زمان پاسخ پرتاپ با ارتفاع موج و تاریخ زمان حرکت امواج خروشان انجام شد که این فرایند توسط دوربین های ویدئویی ضبط شد. این راه، با وجود اینکه تضمینی برای درستی زمانی در اوج رویداد پرتاپ نمی کند، بزرگی زاویه پرتاپ شدید در درون چرخه رویداد اثر wave-in-deck را اندازه میگیرد.



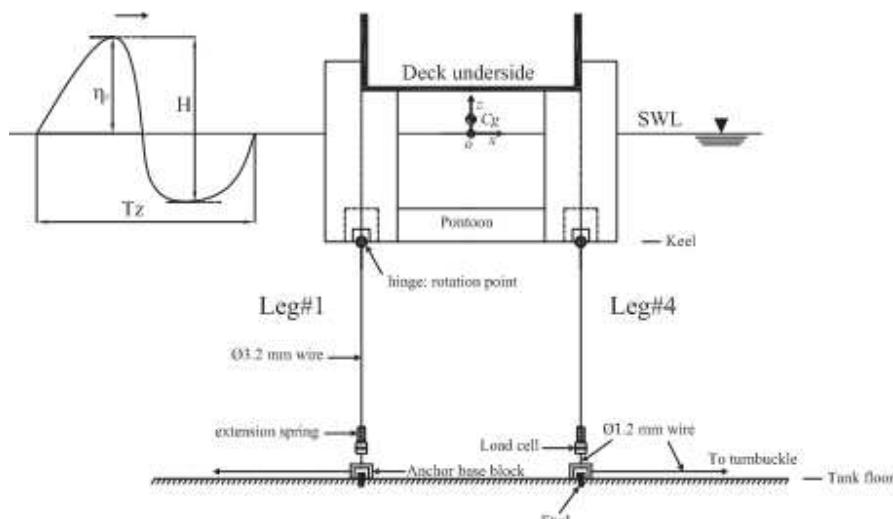
شکل 2



شکل 3

فقط دو تا از پی ها توسط دو سلول باری شناور FUTEK متصل بود(شکل 4). یکی از پی ها بالا موجی و دیگری پایین موجی بود. قسمت تحتانی سازه عرضه توسط 16 piezoresistive ترانسفورماتور فشاری ابزار کاری شده بود. قسمت جلویی هر کدام از ترانسفورماتورها تقریبا 4 میلی متر داخل آب فرو رفته بود. فشار این ترانسفورماتور ها در جلو و عقب

پخش شده بود.(شکل 6). مساحت اطراف ستون جلویی C2 و PT4 توسط ابزار کاری شده بود. در حالی که فشار اثر موج اندازه گیری شده در نزدیکی ستون پشتی C3 را اندازه میگرفت. فشار باقی مانده PT13 و PT16، در وسط محدوده گستردگی وارد شد. با اشاره به شکل 6، چهار ناحیه در طول و عرض زیرین عرشه توسط 4 ترانسفورماتور فشار برای هر کدام ابزار کاری شده بود. جدول 3 نشان دهنده مقدار هر ناحیه است. ترتیب ترانسفورماتور فشار محلی باعث مشخص شدن توزیع فشار میشود.



شکل 4

Wave probe (WP)	Location ( $x, y$ ) without the model (m)	Location ( $x, y$ ) with the model (m)
1	(-10,000, 1,280)	(-10,0, 1,280)
2	(-5,000, 1,280)	(-5,0, 1,280)
3	(-1,000, 0,000)	(-1,0, 0,000)
4	(-0,404, 1,200)	(-0,304, 0,000) moving with the model
5	(0,000, 1,2000)	(0,304, 0,000) moving with the model

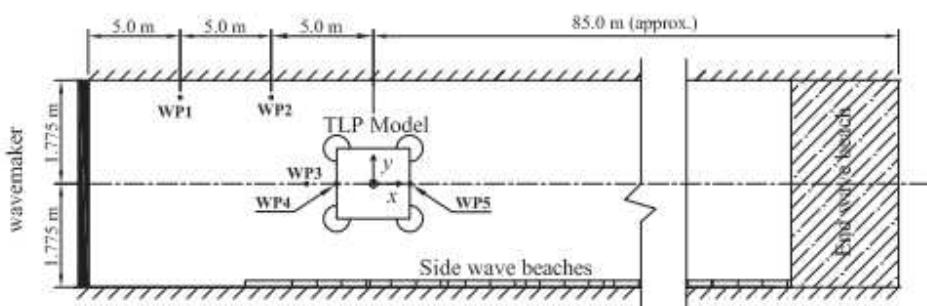
جدول 2

### 3. شرایط موج

#### 3.1 حالت دریا

حالت دریایی که در این آزمایش مدل استفاده شد، بیانگر یک طوفان چرخه ای 10,000 ساله در شمال غربی استرالیا است. این حالت آب توسط طیف جانسون با ارتفاع موج قابل توجه  $H_s=22.13\text{m}$  ، با اوج دوره 17 ثانیه (فرمول) و

پارامتر شکل اوج گاما=0.1 مدل سازی شد. پارامترهای مرتبط با مقیاس  $H_s=177\text{mm}$ ,  $T_p=1.52$ ,  $1:125$ . فرض ما دریایی با امواج قله بلند است، بدون در نظر گرفتن باد یا جریان آب.



شکل 5

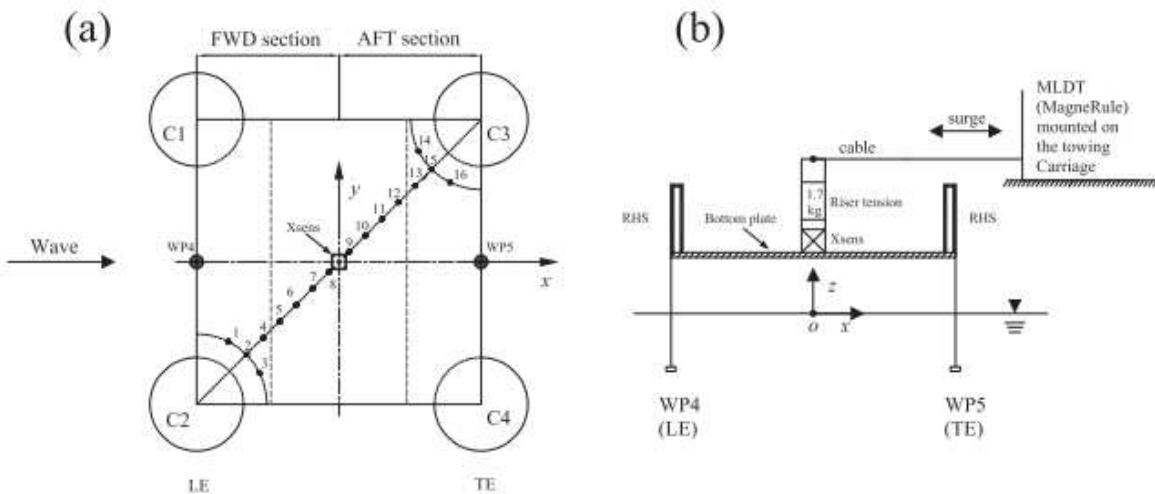
باید در نظر داشت که TLP مقیاس واقعی که در ازمایش این مدل مورد بررسی قرار گرفت، الزاماً بیانگر بهترین راه حل برای طراحی در مقایسه با ترخیص استاتیکی عرشه و در معرض قرار گرفتن آن با حالت دریای ناملایم نیست. در حقیقت، بعدهای مدل و حالت دریا طوری انتخاب شده اند که تضمین کند وقایع wave-in-deck بیشتر از یک بار در یک طوفان 10,000 ساله اتفاق بیوفتد. با وجود اینکه این مخالف چیزی است که یک طراح میخواهد، این گونه انتخاب ها اجازه میدهد که وقایع wave-in-deck در مدت های کوتاه منطقی مورد بررسی قرار بگیرد، که مقدار آن کمتر از طوفان های طراحی شده 3 ساعته است که شامل خواص موجی متفاوتی است.

### 3.2 موج های تکرر و درجه بندی

موج های تکرر غیر متعارف کوتاه مدت توسط موج ساز با استفاده از پروسه درجه بندی موج مکرر ترکیب شده است، که هدایت آن ها قبل از وجود مدل در مخزن انجام شده است. این پروسه شامل به راه انداختن یک تک موج تصادفی که در ابتدا برای حدود 22 دقیقه (120 ثانیه در مقیاس مدل) می باشد که این کار با استفاده از فرکانس مدل 200 هرتز برای کاوش های موج انجام می پذیرد. واقعی سازی موج می تواند برای آزمایشات بعدی مورد استفاده قرار گیرد، به شرطی که حداقل ارتفاع قله یک موج از فاصله هوایی استاتیکی  $a=120\text{mm}$  (15 متر در مقیاس اصلی) در کاوش موج WP3 و WP5 بیشتر شود، که با لبه عرشه منطبق است. 9 واقعی سازی موج، هر کدام به مدت 450 ثانیه (40 ثانیه در حالت مدل)، که شامل 8 رویداد تجاوزی موجی انتخاب شده اند.

Zone	Definition	Pressure transducers (PT)
I	Around forward columns	1, 2, 3, 4
II	Forward middle section	5, 6, 7, 8
III	Aft middle section	9, 10, 11, 12
IV	Around aft columns	13, 14, 15, 16

جدول 3



شکل 6

با وجود این که هدف این تحقیق، بررسی کثربوتی رویدادهای wave-in-deck ممکن نیست، تکرر امواج انتخاب شده می‌تواند به عنوان یک نمونه تفسیری احتمالی با معنی در نظر گرفته شود. با توجه به توزیع کوتاه مدت فوریستال از قله های موج، انتظار می رود که به طور میانگین 46 قله موجی از فاصله هوایی استاتیکی  $a=15m$  در این حالت دریایی طوفان 3 ساعته فراتر رود. از این رو 9 واقعی سازی انتخاب شده تصادفی برابر با 17.4٪ تمام قله های موجی از سطح عرش استاتیکی در موقعیت داده شده فراتر میروند. به نظر میرسد که این انتخاب برای عمومی سازی با توجه به پاسخ های TLP که شامل اثرهای wave-in-deck میباشد، کافی باشد. با وجود اینکه وسیع کردن بازه های رویدادهای موج ممکن است اعتماد به نفس بیشتری در نتایج به همراه داشته باشد، این کار ممکن است نیازمند آزمایشات مدل با تکررموج های طولانی تر یا کاهش عرش استاتیکی باشد.

ترکیب استفاده شده در بعد های مدل، حالت دریا و تکرر موج ها نشان دهنده یک توافق منطقی به منظور رسیدن به این هدف می باشد.

## 4. شروع آزمایش

### 4.1 برپایی مدل

مدل TLP بر روی خط مرکزی مخزن با مرکز ثقل  $y=0$  واقع در 15 متری موج ساز قرار گرفته است(شکل 5). 85 متر باقی مانده از مخزن به ما این اجازه را داد که به مقدار کافی زمان برای اجرا بدون دخالت موج های بازگشتی را داشته باشیم. یک فرکانس نمونه  $KHz 20$  برای تمام کanal ها برای رسیدن به فشار ضربه ای زمان کوتاه اعمال شد. 24 کanal ( یکی برای ترانسفورماتور جابجایی خطی، دو تا برای سلول های بارگذاری، 16 تا برای ترانسفورماتور فشار و 5 تا برای کاوش های موجی) در فرکانس 20 کیلو هرتز اعمال شد که یک سری داده به حجم 40 mb220 برای ثانیه از زمان استفاده را تولید کرد.

### 4.2 دوره های طبیعی و خفگی

آزمایشات پوسیدگی برای سیستم پی TLP انجام شد. روش کاهش لگاریتمی برای بدست آوردن نسبت خفگی مورد استفاده قرار گرفت. دوره زمانی مدل TLP با مقادیر مقیاس اصلی گرفته شده از جوهانسن، جدول 4، مقایسه شد. یک تفاوت بزرگ در دوره طبیعی موج پیدا شد که همانطور که انتظار میرفت، به علت عمق آب و طول پی، به مقیاس مدل نشد. دوره های زمانی بالا رفتن و استقرار با تمامی اطلاعات مقیاس اصلی تطابق داشت که مقادیر آن به ترتیب ۱۰٪ و ۳.7٪ بود.

### 4.3 تست مانریکس

با قرار گرفتن مدل TLP در مخزن، پارامترهای موج برای هر کدام از وقایع موجی(WE) برای هر تاریخ زمانی WP3 استخراج شد(شکل 5). آنالیزهای عرضی برای بدست آوردن دوره عبور صفر،  $T_{ZC}$ ، ارتفاع قله تا پایین موج و  $H$  اعمال شد (شکل 4) . جدول 5 این پارامترها را بررسی میکند به طوری که ؟؟ طول موج براورده شده از روابط پراکندگی می باشد. رویدادهای موج آغاز شده در WP3 غیر شکستی بوده که توسط شبیه موج نشان داده است. سرعت فاز،  $C$ ، توسط  $\lambda / T_{ZC}$  برای هر رویداد موجی بدست آمد. همچنین، همانطور که در جدول آمده است، سرعت افقی،  $U$ ، در قله محاسبه شده در تئوری موجی نظم دوم استوکس در  $Z=\eta C$  می باشد. با وجود اینکه

ممکن است تئوری استوکس در پیش‌بینی کینتیک امواج شدید دقیق نباشد، با این وجود، این سرعت افقی به عنوان یک اندازه گیری تقریبی برای رویدادهای موج قرار می‌گیرد.

## 5. آنالیزهای عدم اطمینان

عدم قطعیت پاسخ‌های TLP اندازه گیری شده در زمان و بزرگی توسط چندین (حداکثر 5) تکرار برای هر کدام از 9 واقعی سازی امواج بدست آمد و گوناگونی نتایج برای امواج و پاسخ‌های آن‌ها ارزیابی شد. به عنوان مثال، 4 اجرا از واقعی ساری امواج که شامل دو رویداد WE2 و WE3 بودند، که در شکل 7 نیز آمده‌اند، در زیر به طور جزئی شرح داده شده‌اند. دو اثر عرشه ایجاد شده توسط رویدادهای موجی WE2 و WE3 را می‌توان در زمان‌های بین 5 تا 7 ثانیه برای WE2 و 23 تا 25 ثانیه برای WE3 مشاهده کرد. 3 قله موجی دیگر در این تاریخ زمانی از ترجیح عرشه استاتیکی بدون تاثیر زیادی بر روی عرشه فراتر رفت.

Wave event (WE#)	$H$ (mm)	$\eta_c$ (mm)	$T_z$ (s)	$\lambda$ (m)	$C$ (m/s)	$u$ (m/s)	$S$ (-)
1	231	145	1.48	3.39	2.29	0.65	0.068
2	260	163	1.37	2.92	2.13	0.85	0.089
3	238	171	1.65	4.16	2.52	0.60	0.057
4	227	137	1.35	2.84	2.10	0.72	0.080
5	186	156	1.76	4.67	2.65	0.42	0.040
6	168	126	1.73	4.53	2.62	0.37	0.037
7	191	144	1.44	3.22	2.24	0.55	0.059
8	261	160	1.46	3.31	2.27	0.77	0.079

جدول 4

Wave event (WE#)	$H$ (mm)	$\eta_c$ (mm)	$T_z$ (s)	$\lambda$ (m)	$C$ (m/s)	$u$ (m/s)	$S$ (-)
1	231	145	1.48	3.39	2.29	0.65	0.068
2	260	163	1.37	2.92	2.13	0.85	0.089
3	238	171	1.65	4.16	2.52	0.60	0.057
4	227	137	1.35	2.84	2.10	0.72	0.080
5	186	156	1.76	4.67	2.65	0.42	0.040
6	168	126	1.73	4.53	2.62	0.37	0.037
7	191	144	1.44	3.22	2.24	0.55	0.059
8	261	160	1.46	3.31	2.27	0.77	0.079

جدول 5

4 تاریخ زمانی اندازه گیری شده از حرکات موجی در شکل 8 آورده شده است و تنش‌های پی مرتبط با آن‌ها نیز در شکل 9 برای پی‌های بالا موج (LEG1) و پایین موج (LEG4) از مدل آورده شده‌اند. از لحاظ کیفی تمام پاسخ‌های

جهانی کلی نشان دهنده گوناگونی محدودی بین اجراهای پشت سر هم بودند. علیرغم این موضوع، فشارهای محلی اندازه گیری شده در نقاط مجزا عرشه، گوناگونی بیشتری در فضا، زمان، بزرگی و مدت داشته اند. این را می توان در شکل 10 دید، جایی که فرکانس های زمانی ترانسفورماتورهای فشاری WE2 برای PT8 و PT16 نشان داده شده است. با این وجود تفاوت های تاریخ های زمانی هر دو ترانسفورماتورهای فشاری یک روند رایج از سیگنال فشاری اثر، که آن را می توان به صورت افزایش شدید در بزرگی پس از یک کاهش آهسته تعریف کرد، واضح است.

مقادیر ماکزیمم بالا رفتگی موج های اندازه گیری شده در WP3، ماکزیمم و مینیمم تنش های پی و فشار ضربه در PT8 و PT16 در جدول های 6 تا 8 برای 4 آزمایش خلاصه شده اند. مقادیر میانگین، انحراف معیار و ضریب گوناگونی نیز آورده شده است. مقادیر CV برای بالا رفتگی ماکزیمم اوج، به ترتیب 2.5٪ برای مثبت و 1.5٪ برای مینیمم بالا رفتگی موج است. مقدار CV کمتر از 3٪ برای تمامی رویداد های موجی گزارش شده در این مقاله بدست آمده است که نشان دهنده یک تکرار خوب از موج ساز می باشد. ترکیبات دینامیکی تنش های پی ماکزیمم و مینیمم نشان دهنده گوناگونی مشابهی برای WE2 (2.8٪) و گوناگونی بزرگتری برای WE3 است. در جایی که تنش های منفی به مقدار قابل توجهی گوناگونی بیشتری نسبت به تنش های مثبت داشتند.

بزرگی فشار اثر در طول اجراهای با انحراف معیار تقریبا 1 کیلو پاسکال برای PT8 و 0.122 کیلو پاسکال برای PT16 (جدول 8) تفاوت زیادی داشت که با CV حداقل 9٪ رابطه داشت، یا حدودا سه برابر بزرگتر از ماکزیمم بالا رفتگی موج در همان رویداد بود. وجود اختلاف در گوناگونی پاسخ های اندازه گیری شده انتظار میرفت که آن را می توان به پاسخ فیزیکی غیر خطی ربط داد. پاسخهای غیر خطی بزرگ، عدم اطمینان بزرگ تری دارد، پس بنابراین تولید دوباره دقیق آن ها دشوار است. در حقیقت، هر پاسخ TLP به  $x$  ممکن است به عنوان یک متغیر احتمالی که به بالا رفتن موج Z در حالت کلی بستگی دارد، در نظر گرفته شود:

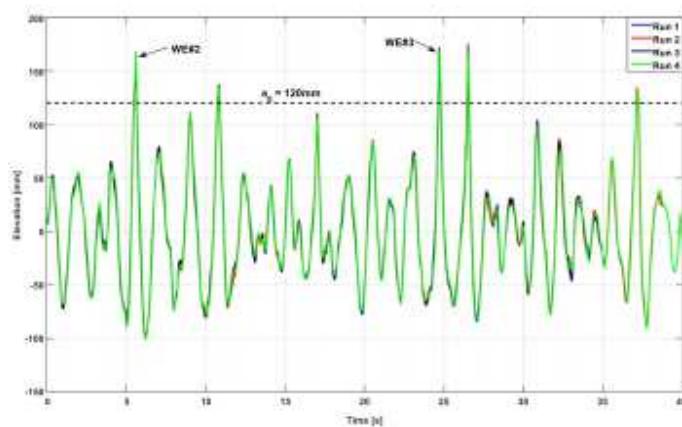
$$X = K(a, b, c, \dots)Z^a \quad (1)$$

که در اینجا  $K(a,b,c,\dots)$  ضریب است که بستگی به تمامی پارامترهای فیزیکی مدل و رویدادهای موج مخصوص به جز بالarfتگی موج  $Z$  دارد. با خطی سازی تابع بالا در نزدیکی مقادیر مورد انتظار و بدست آوردن واریانس آن، رابطه زیر بدست می‌آید:

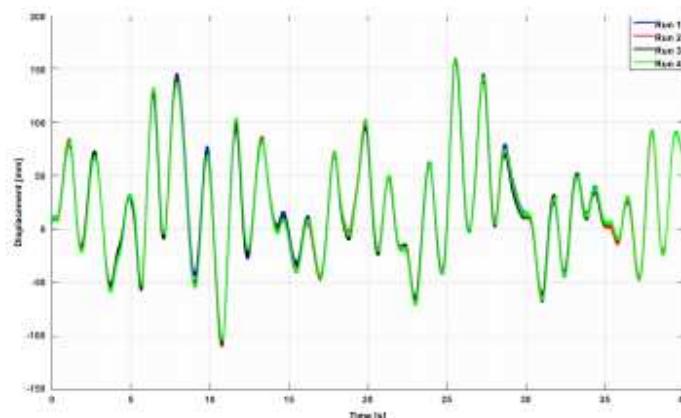
$$CV(X) \approx \alpha CV(Z) \quad (2)$$

از این رو، با وجود اینکه فرم تابعی دقیقی از پاسخ مجھول است، اندازه متغیر وابسته غیر خطی در بالarfتگی موج می‌تواند از مقادیر  $CV$  اندازه گیری شده استنباط شود. مقادیر قدرت،  $\alpha$ ، نیز در جداول آورده شده است. واضح است که تنش‌های پی‌ماکزیم حدوداً با بالarfتگی موج در WE2 رفتاری خطی دارد در حالی که برای WE3 رفتار غیر خطی بالای مشاهده می‌شود، مخصوصاً برای تنش‌های مینیمم.

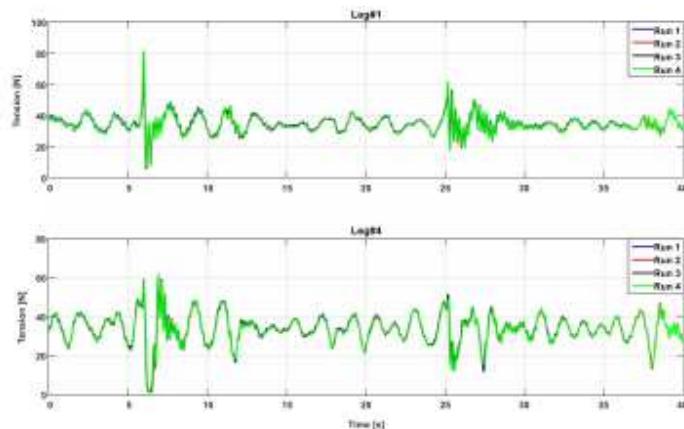
به همین شکل  $CV$  فشار اثر (جدول ۸) رفتاری غیر خطی دارد و با قدرت بین ۳ و ۴ ارتباط مستقیم دارد. گوناگونی فشار اندازه گیری شده توسط تمام ترانسفرماتور در اجراهای آزمایش مختلف را می‌توان از طرح موجود در شکل ۱۱ مشاهده کرد. شکل ۱۱ برای رویداد موجی WE2 می‌باشد. یک گوناگونی بالای به خصوصی ( $CV$  تا ۷۰٪ یا تا ۳۰٪ مشاهده کرد. برای قسمت جلوی موقعیت عرشه PT1 و PT6 بدست آمد. این نشان دهنده یک رابطهٔ غیر خطی بالای شدید با مقدار عددی بالای و همچنین یک مقدار بزرگی از تست‌های اجرا شده برای تولید مقادیر یکسان از فشار اثر برای چنین موقعیت‌هایی نیاز ماندقابل ذکر است که حضور مقیاس کوچک جریان هیدرو دینامیک بی ثبات و توربولنس ممکن است نقشی در گوناگونی مشاهده شده در اندازه گیری‌های فشار اندازه گیری شده wave-in-deck داشته باشد.



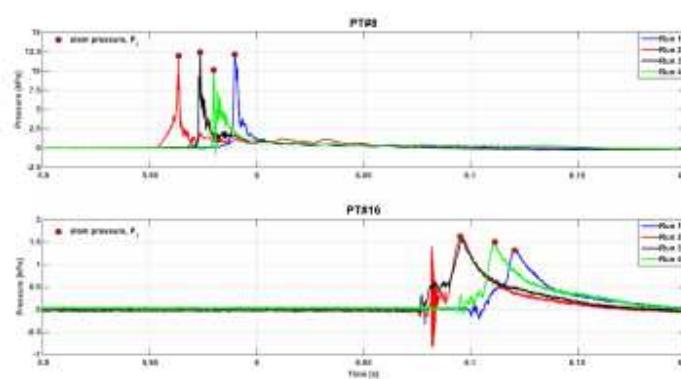
شكل 7



شكل 8



شكل 9



شكل 10

Run id	WE#2		WE#3	
	WP3 (+)	WP3 (-)	WP3 (+)	WP3 (-)
1	158	-100	163	-68
2	162	-97	169	-67
3	163	-98	171	-69
4	168	-100	170	-67
Mean (mm)	162.75	-98.75	168.25	-67.75
$\sigma$ (mm)	4.11	1.50	3.59	0.96
CV (%)	2.53	1.52	2.14	1.41

جدول 6

WE#2 [ $H = 260$ mm, $T_x = 1.37$ s]									
Leg#	Tension	Run 1	Run 2	Run 3	Run 4	Mean	$\sigma$	CV (%)	$\alpha$ (-)
1	$T_{max}$	47.5	49.8	49.2	50.8	49.3	1.38	2.81	1.11
	$T_{min}$	-23.8	-23.3	-24.6	-23.3	-23.8	0.61	2.58	1.70
4	$T_{max}$	31.0	29.9	30.2	31.7	30.7	0.81	2.65	1.05
	$T_{min}$	-28.3	-28.5	-28.5	-29.1	-28.6	0.35	1.21	0.80
WE#3 [ $H = 238$ mm, $T_x = 1.65$ s]									
1	$T_{max}$	29.7	30.2	27.8	31.2	29.7	1.43	4.80	2.2
	$T_{min}$	-9.6	-11.7	-7.8	-12.8	-10.5	2.22	21.22	15.1
4	$T_{max}$	18.1	18.4	21.2	18.7	19.1	1.42	7.44	3.5
	$T_{min}$	-13.0	-14.8	-13.5	-17.3	-14.7	1.92	13.12	9.3

جدول 7

PT#	Run 1	Run 2	Run 3	Run 4	Mean	$\sigma$	CV (%)	$\alpha$ (-)
8	12.08	11.96	12.32	10.05	11.6	1.05	9.00	3.56
16	1.34	1.62	1.57	1.51	1.51	0.12	8.00	3.16

جدول 8

قابل ذکر است که حضور مقیاس کوچک جریان هیدرودینامیک بی ثبات و توربولنس ممکن است نقشی در گوناگونی مشاهده شده در اندازه گیری های فشار ضربه ای wave-in-deck در نقاط مجزا داشته باشد. با توجه به قطرستون های رینولدز  $10^5 * 1.7$  و  $10^5 * 1.2$  برای WE2 و WE3 تخمین زده شد. طرح های مرتبط با تمامی رویدادهای موجی بررسی شده در ضمیمه A اورده شده است.

## ۶ نتایج و بحث

نتیجه یک مجموعه از نتایج کامل برای تمامی رویدادهای موجی، شامل تاریخچه زمانی بالا رفتگی موج در لبه جلویی عرشه و پشتی، حرکت موجی سکو و تنש‌های پی در ضمیمه A اورده شده. در این بخش فقط نتایج انتخاب شده برای پشتیبانی کردن از تفسیر رفتار مشاهده شده  $TLP^*$  مورد بحث قرار می‌گیرد.

#### ۱.۶: دینامیک‌های مدرن تحت تاثیر اثر wave-in-deck

تاریخچه زمانی بالا رفتگی موج در جلو و لبه پشتی عرشه، رفتار موجی سکو و تنش‌های پی در شکل ۱۲ برای WE1 اورده شده است. برای تفسیر دینامیک‌های سکو، مهم است که پارامترهای مختلفی را معرفی کنیم که به صورت شماتیک در شکل ۱۳ نمایش داده شده است. در این شکل موقعیت عرشه در سیستم مختصاتی محلی ( $x, z$ ) با مرکزیت لبه جلوی سکو در شرایط استاتیکی شرح داده شده. این پارامترها به شکل زیر هستند

- زمان اغاز تماس هنگامی که موج با لبه جلویی تماس می‌کند  $t_0$

- زمانی است که پی بالای موج بیشترین تنش را به طوری که قله موج با لبه جلویی سکو تماس پیدا می‌کند.

- زمان پایانی تماس با لبه جلوی عرشه زمانی که موج از لبه جلویی جدا شده و در طول عرشه گستردگی می‌شود.

- زمان پایان تماس با لبه پشتی سکو زمانی که موج عرش را رها می‌کند و از عرش جدا می‌شود.

- مختصات افقی لبه جلویی عرشه نسبت به شرایط استاتیکی در نمونه زمانیه مرتبط است.

- زمانی که تنش پی بالا موج به  $t = t_i - r_0$  می‌رسد.

- زمان تقاطع با لبه جلویی سکو  $t = t_m - t_0$

- صوت موج افقی سکو در تماس اولی  $U_0$

- صورت مجی یه سکو در زمان تنش ماکسیمم در پی بالا موج  $U = dx/dt$

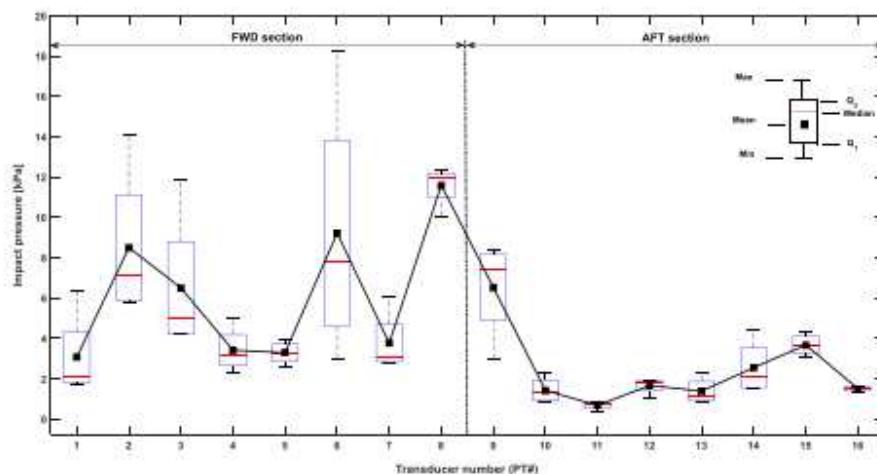
- صورت افقی نسبیه قله موج و سکو  $U_0$

- صورت افقی قله موج استفاده شده در این پارامتر بصورت تقریبی اندازه‌گیری شده است که برای هدفه مقایسه کردن آن با صورت مجی سکو کافی است.

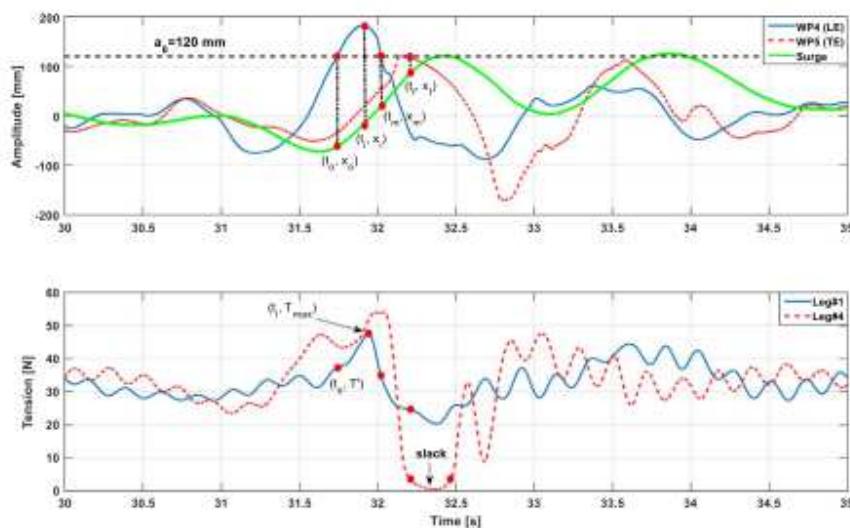
$U = dx/dt$

با در نظر گرفتن شکل‌های ۱۲ و ۱۳ سکو نسبت به رویداد wave-in-deck را می‌توان در ۴ مرحله توصیف کرد

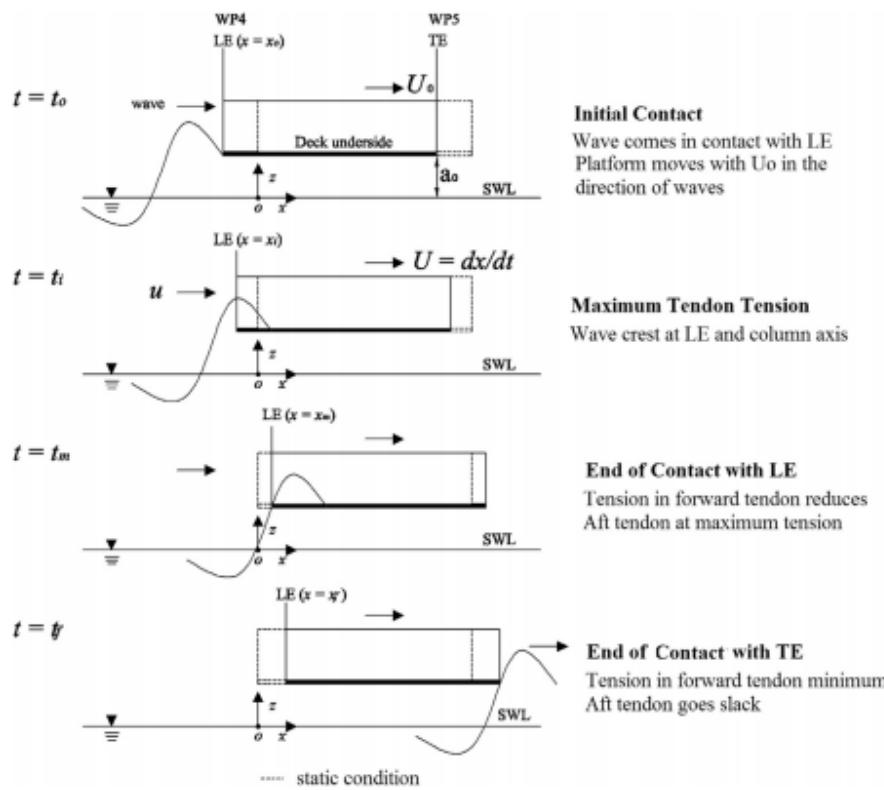
- در زمان  $t=31.74$  (شکل ۱۲) موج با لبه جلویی سکو تماس پیدا کرد که در  $z=120\text{mm}$  اتفاق افتاد. عرض  $x=0$  قرار داشت به طوری که نقطه آغازین مدل به سمت موج بود و در حال حرکت در جهت  $x$  با  $U_0=0.09\text{m/s}$  بود. پی بالای موج ( $\hat{T}$ ) متهم افزایش شد.



شکل ۱۱



شکل ۱۲



شکل 13

در زمان  $s = 31.90$  (شکل 12) پی بالای موج تحت تنش حداکثری ( $T_{max} = 48.00 N$ ) این زمانی بود که قله موج هنوز با لبه جلوی عرشه در  $x_i = -19.95 mm$  تماس بود. مدل اکنون با سرعت بالاتری  $U = dx/dt = 0.30 m/s$  در حرکت بود و سرعت افقی نسبی ( $u_r = u - U$ ) بین قله موج و مدل  $39.00 m$  بر ثانیه بود. در زمان  $32.03 m/s$  قله موج در حال ترک لبه جلویی سکو بود که در موقعیت  $x_m = 21.40 mm$  قرار داشت. در طول این مدت زمان  $0.13 s$  تنش در پی بالای موج به صورت ناگهانی کاهش پیدا کرده و تقریباً به مقدار مشابهی با مقدار  $T'$  که در تماش اولی تجربه شد می‌رسد. به همین صورت بارهای ناگهانی در تنش بالای موج wave-in-deck تقریباً برای انجامید.

در زمان  $32.03$  ثانیه (شکل 12) موج به صورت مماسی در حال ترک لبه پشتی سکو است  $x_f = 93.40 mm$ . از این روا سکو  $154.68$  میلی متر (در مقیاس اصلی) در مسیر موج در طول اثر موج طی کرد. این می‌باشد.

حرکت موجی فقط ۴,۵ درصد طول موج را نشان میدهد. پی پایین موجی (LEG4) تحت تنفس خیلی کم (۳,۶۰) بود در حالی که تنفس در پی بالا موجی همچنان کشش پیدا کرد (۲۴,۹۳) و مدل یک حرکت پرتوبی بزرگی را به مقدار تقریبا (۸۰ صدم درجه) را تجربه کرد.

Wave event (WE#)	$T_z$ (s)	$u$ (m/s)	$x_0$ (mm)	$x_t$ (mm)	$dt$ (s)	$U_a$ (m/s)	$U$ (m/s)	$u_r$ (m/s)	$dt_{LE}/T_z$ (%)
1	1.48	0.65	-61.28	-19.95	0.16	0.09	0.26	0.39	19
2	1.37	0.85	-3.44	20.64	0.06	0.32	0.37	0.48	9
3	1.65	0.60	27.17	62.59	0.09	0.30	0.39	0.21	9
4	1.35	0.72	10.88	34.38	0.09	0.24	0.27	0.45	11
5	1.76	0.42	-33.46	-15.27	0.12	0.09	0.15	0.27	16
6	1.73	0.37	-55.83	-36.55	0.08	0.14	0.24	0.13	10
8	1.46	0.77	-47.43	-5.86	0.14	0.16	0.30	0.47	20

## • جدول 9

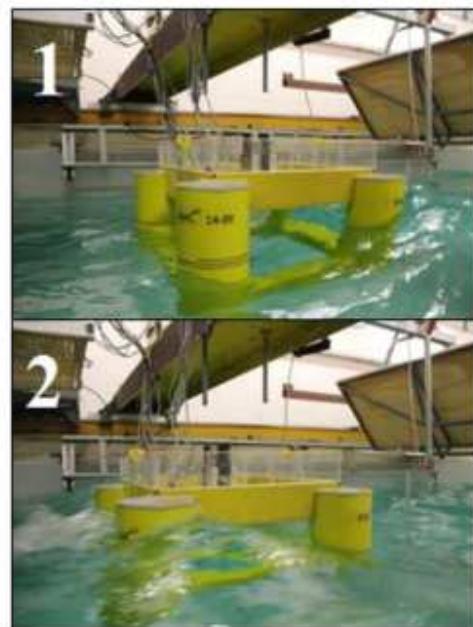
در شک ۱۲ می‌توان مشاهده کرد که تنفس‌های مینیمم در هردو پی‌ها بد از زمان  $t_f$  اتفاق افتاد هنگامی که پی پایین موج ضعیف شد. سپس یک افزایش سریع در تنفس و تعدادی نوسان ringing در پی پایین موج ایجاد شد. پی بالا موج نیز پاسخ ringing با ارتفاع کمتری را نشان داد.

جدول ۹ تمامی پارامترهای کلیدی موج و پاسخ مدل برای تمامی رویدادهای موجی متوسط در طول اجراهای متعدد را خلاصه کرده است. مشاهدات زیر به عمل آمد:

در تمامی رویدادهای اثر موج، در زمان تماس ابتدایی موج با عرش، مدل همواره در جهت مثبت  $X$  در حرکت بود. سرعت مدل  $U_0$  در بین بازه ۰.۰۹-۰.۳۲ متر بر ثانیه بود. حتاً اگر سکو در روی روی موجها قرار داشت باز هم با موج‌ها حرکت می‌کرد. این رفتار احتمالاً از نیروهای هیدرودینامیکی موجی برروی ستونها و پتمها به محض اثر عرش می‌گیرد. نشأت

در تمامی رویدادهای موجی سرعت موجی مدل به مقدار بالاتری  $U=0.15-0.39 \text{ m/s}$  در طول فاز فعال رویداد wave-in-deck افزایش یافت ( $dt$ ). در نتیجه سرعت افقی نسبی  $u_r$ ، بین قله موج و عرش همواره در مقایسه با مقادیر ابتدایی در شرایط یکسان برای یک سازه فیکس شده کوچکتر بود. این کاهش در سرعت نسبی به طور متوسط درصد در مقایسه با صورت ذریع مختل نشده بود. ۵۰

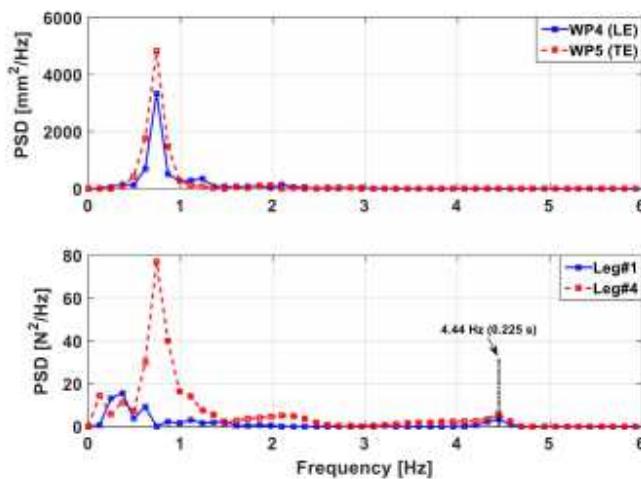
- به طور میانگین ، مقدار موج در تماس باقی مانده با قسمت جلویی عرش در طول زمان  $T_z$  باقی ماند، و در طول این زمان ، تنش بالای موج بیشترین مقدار بر گذاری را تجربه کرد



شکل 14

Waver event (WE#)	Minimum tension, $T_{min}$ [N]	Slackness duration, $t_{slack}$ [s]	$t_{slack}/T_z$ [%]	Max pitch angle (°)
1	0.46	0.30	20	0.80
2	1.78	0.34	25	0.67
8	1.41	0.25	17	0.65

جدول 10



شکل 15

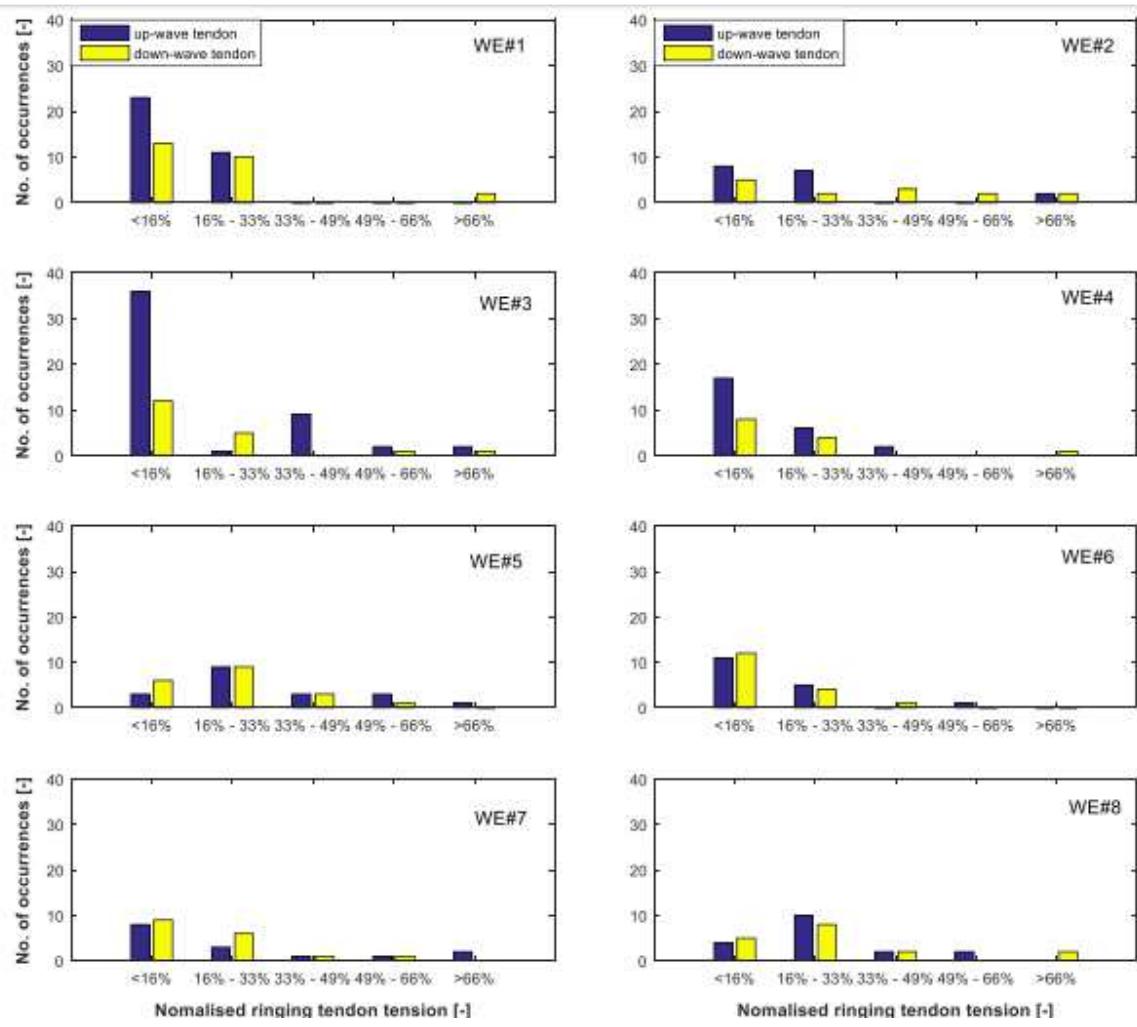
- رویدادهای موج مشابه (WE8 و WE2) دینامیک‌های مدل مشابه را در خصوص سرعت نسبی ایجاد کرد. با این وجود اختلاف‌ها در  $\frac{dt}{Tz}$  بدست آمد که میتواند به تفاوت در  $T_z$  و موقعیت‌ها  $x_0$  اولیه بین رویدادهای موجی مختلف نسبت داد.

- در تمامی رویدادهای موجی آزمایش شده، تجاوز قله موج اندازه‌گیری شده در لبه جلویی سکو همواره بیشتر از لبه پشتی بود. این نشان دهنده در ساده پراکنش تولید شده توسط خود عرض است. شکل ۱۴ نشان دهنده اثر متقابل بین  $???$  و مدل در طول فازهای ورودی و خروجی آب است.

## 6.2 شرایط‌های پی ضعیف

شرایط پی ضعیف در پی پایین موجی به علت رویدادهای موجی WE1، WE2 و WE8 مشاهده شد. مدت زمانی که پی پایین موجی ضعیف باقی ماند ( $t_{slack}$ ) بین 0.25 ثانیه در مقیاس مدل و 3 تا 4 ثانیه در مقیاس اصلی بود. این زمان‌ها در جدول 10 خلاصه شده‌اند. با داشتن رابطه مستقیم با اندازه‌گیری‌های پی ضعیف، یک پاسخ پرتاپی بزرگ نسبی با زاویه پرتاپ در جهت پایین موج بین 65 تا 80 درجه اندازه‌گیری شد. جوهانسن نیز یک زاویه پرتاپ بزرگ را (0.3 درجه) در حین آزمایش مدل SNORRE-A TLP زمانی که مدل به یک تجاوز عرشی بزرگ مرتبط بود مشاهده کرد. علاوه بر این، جوهانسن شبیه سازی CFD برای SNORRE-A TLP در مقیاس اصلی با

استفاده از 2 حالت موجی معمولی شدید شامل ؟؟؟؟؟ بدست آورد. در ؟؟؟ (در حدود 3 متر تجاوز عرضه زمانی که پراکنش و اثرهای فرازجوشی را در نظر بگیریم)، حرکات پرتابی سکو در حدود 0.3 درجه بدست آمد. از آن جایی که تجاوز عرضه در مقیاس واقعی برابر در WE1، WE2 و WE8 در این تحقیق بزرگ تر از 3 متر در مقیاس اصلی گزارش شده اند، که حدودا 2 برابر بزرگتر از آن چه جوهانسن بدست آورد، پاسخ های پرتابی ماکزیمم بزرگ تر توجیه شده هستند. با اندازه گیری های تنش پی، بالا رفتگی موج در جلو و عقب سکو به ما نشان می دهد که این رویدادهای موجی باید باعث ایجاد نیروهای به خصوصی بر روی مدل شده باشند، که از اثر عرضه نشات گرفته اند. با توجه به مطالعات دیگر انجام شده بر روی مشکلات اثر wave-in-deck در عرضه های ثابت، نیروی رو به پایین روی عرضه را شناسایی کردیم، که بزرگی آن ها می تواند به بزرگی ترکیب نیروی رو به بالا باشد. شارنکه و عبدالصمیع بزرگی نیروی رو به پایین را به حجم اضافه شده در اطراف سازه عرضه، در جهت X و Z نسبت می دهند که به سمت پایین در این زمان شتاب می گیرد. از این می توان برداشت کرد که نیروی مکش به مقادیر قابل توجهی از جریان رو به پایین آب از زیر عرضه، زمانی که موج بعد از اثر عرضه را ترک می کند، بستگی دارد. کاهش آنی که ابتدا در ستون های شناور پشتی عرضه پس از اثر عرضه اتفاق می افتد می تواند یک فاکتور سهیم باشد.



شکل 16

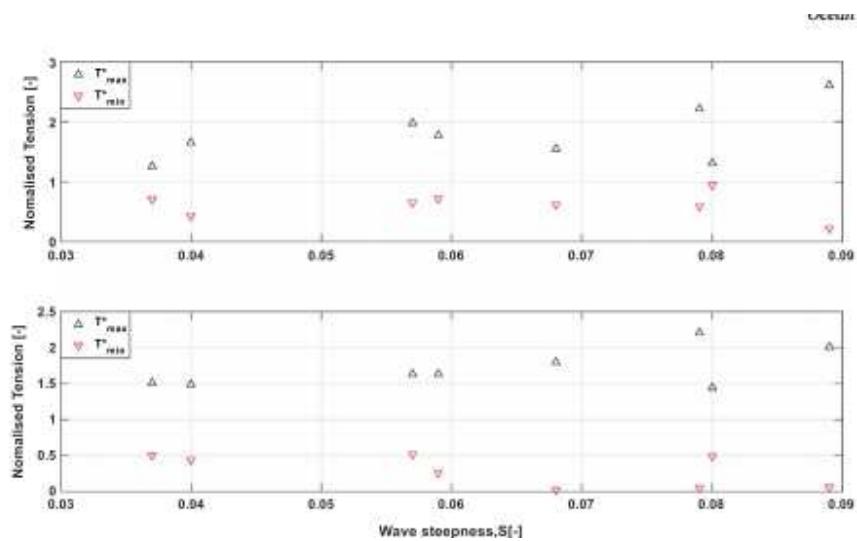
### 6.3 پاسخ ringing پی

در تمامی رویداد های موج، مدل TLP حرکات عمودی متناوبی را در طول دوره ای نزدیک به بالا آمدن طبیعی اش (0.225 ثانیه) تجربه کرد که این را به اسم ringing گذراي کوتاه مدت در پی های بالا و پایین موجی مشاهده شد. طیف های انرژی هر دو تنش پی برای رویداد موجی WE1 برای پنجره زمانی 31.9 تا 40 ثانیه در شکل 15 آمده است. شکل نشان دهنده انرژی به خصوصی در اطراف فرکانس طبیعی بالا آمدن می باشد، در جایی که طیف بالا آمدگی موج (که توسط WE4 اندازه گیری شد) تقریبا در این فرکانس هیچ گونه محتوی ای نداشت. این نشان میدهد که ringing پی اکثرا توسط اثر wave-in-deck به وجود آمده است.

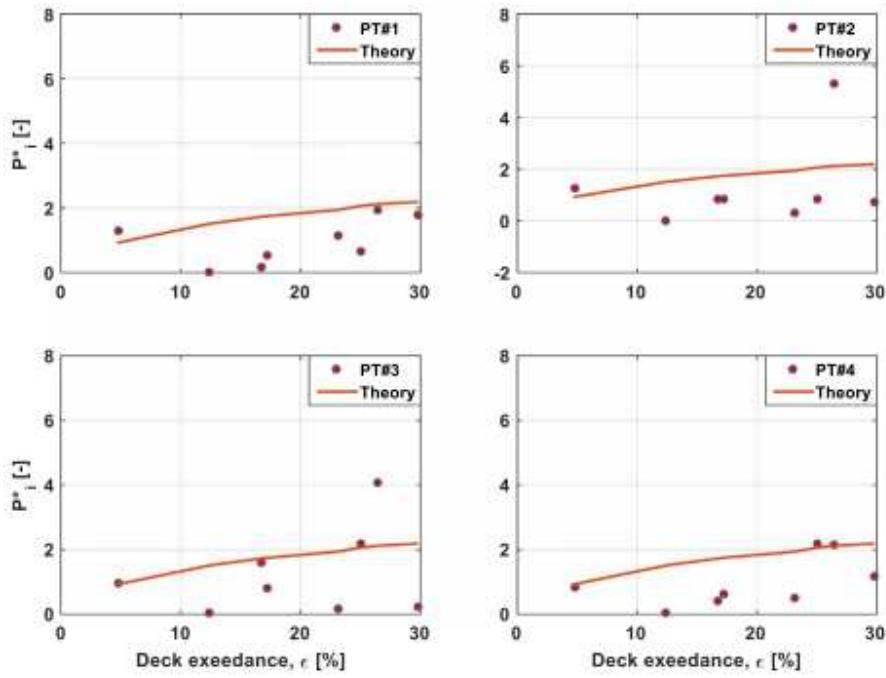
نتایج بیشتر، که در ضمیمه A آمده است، نشان می دهد که پاسخ ringing تقریبا در تمامی رویداد های موجی حاضر بود. در موقعي که TLP به اثر wave-in-deck ringing تکی مربوط بود، در تاریخ زمانی پی فقط پس از نقطه تنفس ringing پشت سر هم مرتبط بود، پاسخ ringing پی مینیمم مشاهده شد. در موقع نادری که TLP به 2 اثر wave-in-deck پشت سر هم مشاهده شد. در بعضی به وجود آمده توسط موج پیشین در طول تمام تاریخ زمانی از اثر بعد از تنفس پی مینیمم قابل مشاهده بود. در بعضی مواقع محتوی با تکرار بالا در تنفس پی، قبل یا حتی بدون حضور اثر wave-in-deck مشاهده شد. در این شرایط، دشوار است که پاسخ ringing به وجود آمده توسط رویدادهای wave-in-deck را از پاسخ های کشسانی به وجود آمده توسط بارگزاری موجی نظم دوم با نکرر مجموع، تفکیک کنیم. زیرا چنین آنالیز هایی خارج از حوزه این تحقیق می باشد. حرکات با فرکانس بالا و تنفس های دینامیکی سکو را می توان به طور کلی به ringing اشاره داد.

WE#	H [mm]	$T_x$ (s)	S (-)	Tension in Leg#1 (N)		Tension in Leg#4 (N)	
				$T_{max}$	$T_{min}$	$T_{max}$	$T_{min}$
1	231	1.48	0.068	47.08	18.83	54.33	0.46
2	260	1.37	0.089	79.69	6.66	61.11	1.78
3	238	1.65	0.057	60.13	19.92	49.51	15.75
4	227	1.35	0.080	39.90	28.70	43.73	14.90
5	186	1.76	0.040	50.48	13.04	45.30	13.43
6	168	1.73	0.037	38.30	21.67	45.82	15.27
7	191	1.44	0.059	53.78	22.00	49.64	8.00
8	261	1.46	0.079	67.63	17.99	67.34	1.41

جدول 11



شکل 17



شکل 18

به منظور محدود کردن پاسخ های ringing مرتبط با رویداد های موجی، راه های زیر استفاده شد:

- مدت ringing توسط تعدادی از نوسانات مشاهده شده در تاریخ زمانی تنش پی تا پاسخ تنش نوسانی تقریبا به صفر رسید.
- بزرگی ماکریم و مینیمم هر کدام از نوسانات مشاهده شده استخراج شد و بازه تنشی ( $T_r$ ) مشاهده شد.
- بازه های تنشی سپس توسط پیش تنش های پی به صورت عادی در آمد. (تنش پی ringing عادی شده  $T_0$  /  $r = T_r / T_0$ ).
- و طبق تعداد باری که اتفاق افتادند گروه بندی شده اند.

مثال هایی از پاسخ های ringing شناسایی شده در رویداد های موجی WE1 و WE8 برای پی های بالا موج و پایین موج در شکل 16 آورده شده اند.

در اکثر موقع، همانطور که انتظار می رفت، تعداد وقوع ( $N$ ) به صورت معکوس با بازه تنش پی برای هر جفت پی ها متناسب است. وقایع موجی WE1 و WE3 بزرگ ترین مقدار وقایع پی ringing را، در پی بالا موجی به صورت خاص، با بازه تنشی ringing بیش از 15٪ پیش تنش پی را به وجود آورد. یک خاصیت به خصوص از رویداد موجی WE3

همانطور که در شکل 7 نیز نشان داده است، دومین موج سرازیر متوالی بود که دلیل احتمالی به وجود آمدن بالا آمدن نوسانی بلندتر در سکو بود. این مشاهدات نشان داد که هنگامی که به نظر می رسد سکو دومین اثر عرشه را توسط موج های بزرگ متوالی از دست بدهد، این موج می تواند به صورت گستردگی ای به تمدید پاسخ پی با تکرار بالا مرتبط باشد.

به طور میانگین، بزرگی بازه ringing در LEG1 و LEG4 در تمامی رویدادها به یک مقدار بود. از طرف دیگر، پاسخ مشاهده شده در پی بالا موج LEG1 به نظر شدیدتر از پی پایین موج LEG4 بود. این مشاهدات با مقادیر بالا تری از فشار ضربه ای اندازه گیری شده در طول بخش جلویی زیر عرشه در اکثر موقعیت خوبی مرتبه بودند.

#### 6.4 تنش مینیمم و ماکزیمم

بزرگی تنش پی ماکزیمم و مینیمم اندازه گیری شده در اجراهای تکرار شده در جدول 11 خلاصه و میانگین گیری شده است. تنش ماکزیمم در پی های بالا موج و پایین موج مرتبه با هر رویداد موجی حدودا از سطح یکسانی هستند، به جز وقایع موجی WE1 تا WE3، بدون این که روندی واضح از تنش بالا تری را توسط پی بالا موج و پایین موج تجربه کنیم. تنش مینیمم در LEG4 به صورت قابل توجهی کمتر از LEG1 هست، به خصوص در وقایع موجی WE1،WE2،WE8، زمانی که پی پایین موج ضعیف می شود. به منظور مقایسه کردن تنش های شدید، آن ها را با استفاده از پیش تنش های پی،  $T_0=30.4$  N، ساده کردیم. تنش ماکزیمم ساده شده ( $T^{*max}=T_{max}/T_0$ ) و تنش مینیمم ( $T^{*min}=T_{min}/T_0$ ) در شکل 17 برخلاف شیب موج نشان داده شده است. در اکثر شرایط،  $T^{*max}$  با شیب موج افزایش پیدا می کرد، اما این روند بسیار قابل ملاحظه نبود. به طور قابل ملاحظه ای، دو وقایع WE2 و WE3 بیشترین تنش پی را که حدودا 2.5 برابر پیش تنش بود، به وجود آورد. قابل ذکر است که از همه رویداد های موجی مطالعه شده، تنش پی ماکزیمم در پی بالا موج در رویداد موجی WE2 اتفاق افتاد که توسط بزرگ ترین شیب موجی مشخص شد، نه بلندترین قله موج. برای تنش ماکزیمم، یک روند به گونه ای بود که هر چه پی پایین موج تنش کمتری را با افزایش شیب موج تجربه می کرد. تنش مینیمم در پی بالا موجی تغییر قابل توجهی نداشت. همانطور که قبل اشاره شد، رویدادهای موجی WE1 و WE2،WE8 تنش مینیمم کمتری را در طول رویدادهای موجی دیگری

که می توانیم به زاویه پرتاپ بزرگ تر مشاهده شده در طول چنین وقایع موجی نسبت دهیم، ایجاد کرد.(جدول 10). مشاهده دیگری که کردیم این بود که در تمامی رویدادهای موجی بررسی شده تنش پی مینیمم در رویداد موجی WE1 اتفاق افتاد که توسط ارتفاع قله ملایم و همچنین شبیب موج میانه مشخص میشد. این نشان می دهد که انتخاب رویداد موجی به خصوصی که ممکن است بیشترین یا کمترین تنش را ایجاد کند (شامل شرایط پی ضعیف)، که برای طراحی TLP مورد نیاز است، کار راحتی نیست و بازه ای از رویدادهای موجی یا ضوابط دیگری نیز باید مورد بررسی قرار گیرد.

## 6.5 فشار ضربه ای

مقادیر فشار اندازه گیری شده  $P_i$  توسط فشار موج هیدرواستاتیک ساده شده اند:

$$P_i^* = \frac{P_i}{\rho g \eta_c} \quad (3)$$

که  $\rho$  چگالی،  $g$  شتاب گرانشی،  $C$  ارتفاع قله برای هر رویداد موجی اندازه گیری شده توسط WE3 بر قسمت جلویی مدل است. میانگین فشارهای ماکزیمم ساده شده در طول اجراهای موجی مکرر برای همه رویدادهای موجی برای مناطق عرضه ۱ تا ۷ در جدول های ۱۸ تا ۲۱ آورده شده است. زمانی که فشار به عنوان یک تابع از تجاوز عرضه نسبی در نظر گرفته شود،  $a_0/\eta_c = 1-a_0/7C$ ، روند رو به رشد با افزایش تجاوز نسبی واضح است که با ارتفاع قله موج رو به افزایش در مقایسه با ترخیص عرضه آب ساکن نسبت دارد. همان شکل، نتایج آزمایش انجام شده را با نتایج بدست آمده Wang برای فشار بالا برنده موجی ماکزیمم بر روی یک صفحه افقی مقایسه می کند. نتایج وانگ برای فشار اثر موجی ماکزیمم به یک فرمول ساده ختم میشود:

$$P_i^* = \frac{P_i}{\rho g \eta_c} = \pi \tanh(kd) \sqrt{1 - \left(\frac{a_0}{\eta_c}\right)^2} \quad (4)$$

که  $d$  عمق آب،  $k$  عدد موج ( $2\pi/\lambda$ ) و  $\lambda$  طول موج است. برای رویدادهای موجی مجزا مقادیر مختلف در جدول 5 آورده شده است. به علت این که مطالعات وانگ محدود به صفحه صاف ثابت است، کاربرد آن برای سازه های شناور

قابل بحث است. با این وجود، مقایسه های اشکال 18 تا 21 نشان می دهد که روند فشار های اندازه گیری شده به طور کلی با فرمول ونگ مشابه است، حتی اگر نتایج اندازه گیری مختلفی مشاهده شود. یک توضیح ممکن برای این مشاهدات می تواند در این حقیقت باشد که پاسخ های عمودی (بالا آمدن) TLP همیشه کوچک است و گردش های افقی (موج بلند) در طول یک اثر در مقایسه با طول موج، کم است. از این رو با وجود این که پاسخ های TLP موجی بر روی فشار اثر می گذارد و معادله وانگ به طور کلی برای همه رویداد ها کارامد نیست، زمانی که چندین رویداد اثر با خواص موجی و فازهای متفاوت به عنوان روندی برای گراییش های فشار اثر عرشه متوسط به منظور نزدیک شدن برای سازه ثابت می باشند، اما با گوناگونی وسیع تری. تحقیقات بیشتری برای تایید یا رد کردن این موضوع مورد نیاز است.

تحقیقات تجربی نشان می دهد که فشار اثر در قسمت جلویی عرشه از قسمت عقب عرشه بزرگتر می باشد، به جز در PT1,16 و PT2,15 (نزدیک ستون ها و انتهای عرشه، جایی که روند معکوس است). با مقایسه فشار بین مناطق جلو و عقب ستون ها، در اکثر موقع، فشار نزدیک قسمت انتهایی سکو بیشتر از قسمت انتهایی جلو می باشد (جایی که فشار در PT16 بزرگ تر از فشار در PT1, PT2 و PT15 می باشد). این می تواند به خاطر این که فراز جوشی موج در اطراف ستون های عقبی او اثر پایین آمدن سکو بزرگ تر است، باشد.

## 6.6 روابط بین تنش پی و فشار اثر

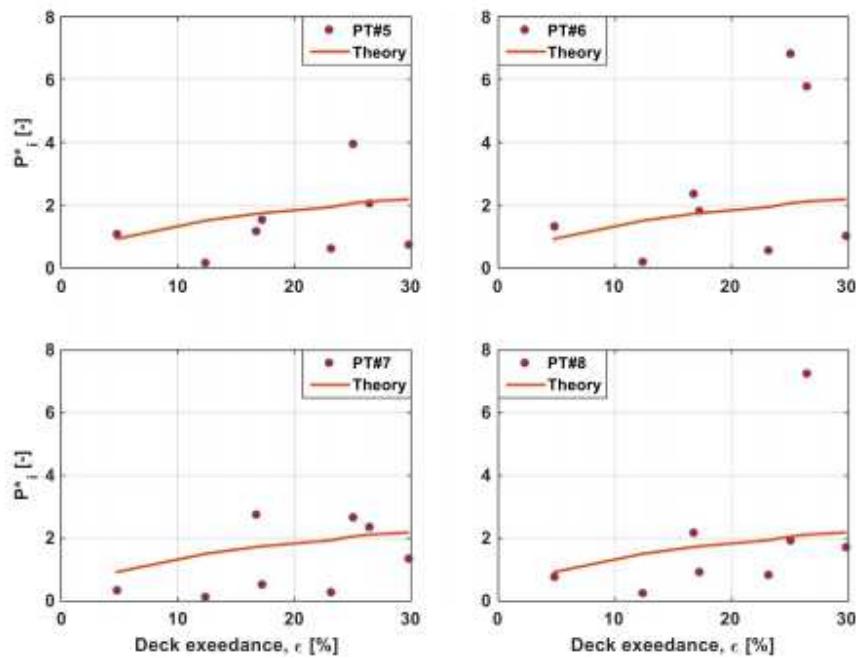
مقدار حداکثری تنش های پی و فشارهای محلی در مناطق جلویی و عقبی در شکل 22 آورده شده است. این شکل نشان می دهد که روابط بین تنش پی ماکریم و فشار محلی اندازه گیری شده در اطراف ستون های زیرین عرشه قرار دارند. با در نظر گرفتن نیروهای کنشی حرکتی، بزرگی فشار ضربه ای wave-in-deck ممکن است به صورن مخصوصی به تنش پی ماکریم مرتبط باشد، همانطور که در تعدادی از رویداد های موجی بررسی شده در این تحقیق واضح بود. برای تایید این اكتشاف، تحقیقات بیشتری مورد نیاز است.

## 7 نتیجه گیری

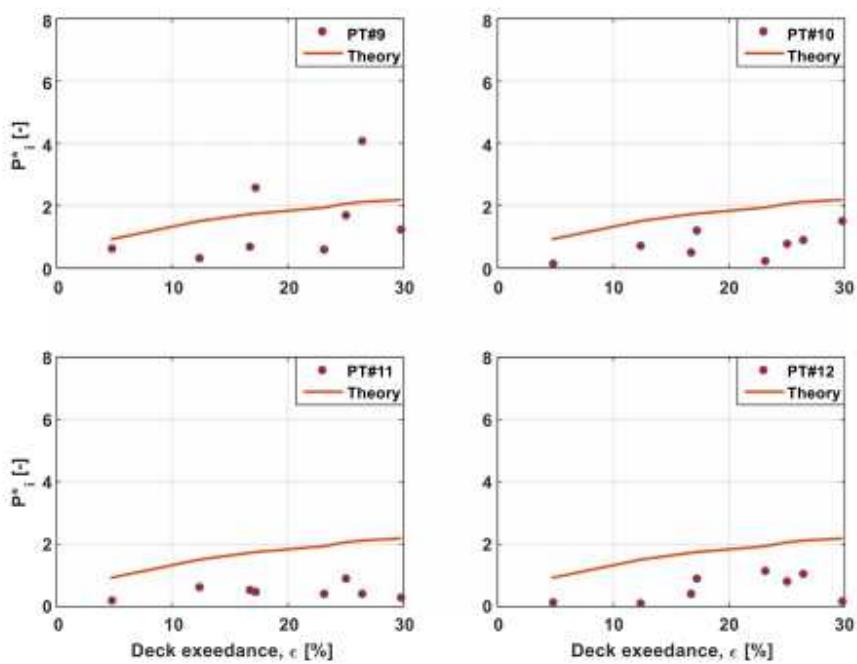
این تحقیق تجربی یک سری اطلاعات جزئی را بر روی رفتار کلی TLP به خاطر رویدادهای wave-in-deck در موج های غیر طبیعی فراهم کرد که می توان از آن برای آنالیز درجه بندی و مدل های CFD استفاده کرد. تحقیقات ازمایشات مدل بر روی فعل و انفعالات موج های غیر معمولی ، بدون در نظر داشتن باد و جریان آب تمرکز داشت. اندازه گیری ها و مشاهدات پاسخ های مدل نیز نتایج مختلفی را نشان داد. در زیر فقط به یک خلاصه کلی از نتایج ازمایش مدل پردازیم

### 7.1 گوناگونی اندازه گیری ها در آزمایش مدل

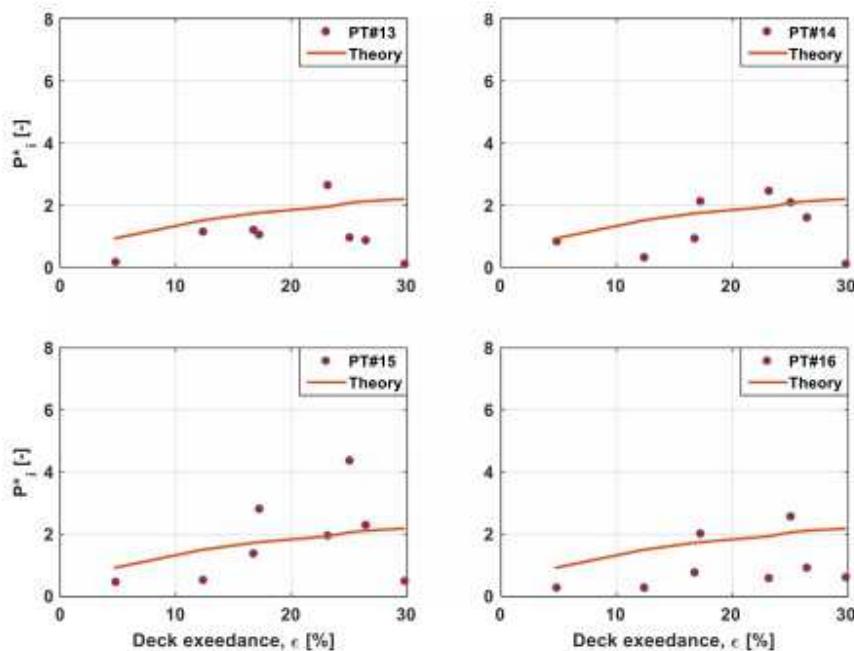
بر طبق اجراهای تست مکرر با امواج پشت سر هم مشابه فهمیدیم که بالا آمدگی موج، تنش پی و حرکت موجی سکو گوناگونی محدودی دارند. برای فشارهای اثر، این گوناگونی سه فاکتور مهم است. این یک درجه بالاتر غیر خطی از پاسخ های فشار اثر را حتی زمانی که 5 اجرای متوالی برای هر شرایط مختلف آبی را تایید میکند. همچنین پیشنهاد میشود که یک سری اجراهای کافی برای بدست آوردن گوناگونی فشار اندازه گیری شده انجام دهیم.



شکل 19



شکل 20

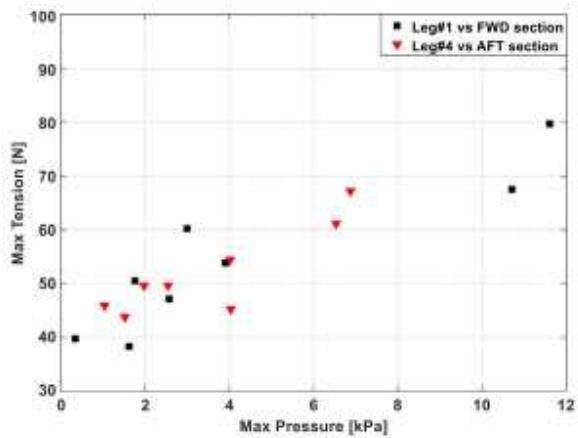


شکل 21

7.2 دینامیک های سکو و تنش های پی تحت اثر موجی شدید

در تمامی رویداد های موجی شدید، قبولی سکوی شناور در مسیرهای افقی به نظر میاید که دارای اثری مثبت به وسیله کاهش سرعت افقی نسبی و بالا بردن اثر افقی **wave-in-deck** در مقایسه با سازه ثابت داشته باشد. تنش ماکزیمم در پی بالا موج معمولاً زمانی اتفاق می افتد که قله موج به لبه جلویی سکو و جلوی ستون ها برسد. تنش ماکزیمم در پی پایین موج تقریباً همزمان اتفاق می افتد و در بعضی از مواقع از تنش در پی بالاموج فراتر هم می رود. به طور میانگین، موج با لیه جلویی سکو در حدود 13٪ مدت موج در تماس است، که چیزی در حدود 2.2 ثانیه در مقیاس اصلی است. در این مدت، پی بالای موج بیشترین بارگزاری را تجربه می کند. رد بسیاری از موقع، پی پایین موج یک کاهش ناگهانی در تنش را تجربه می کند که تا نزدیکی صفر می رود، که با زاویه پرتاب نسبتاً بزرگی در مسیر پایین موج همزمان می باشد که به سمت نیروی مکش هیدرودینامیکی که در زیر عرشه پس از اثر اولیه اشاره دارد. این نتایج که توسط نتایج تحقیقات تجربی دیگر محققان که بر روی نیروهای اثر **wave-in-deck** بر روی سکوهای ثابت تحقیق کرده اند تایید می شود نشان داد که بزرگی نیروی رو به پایین تولید شده توسط قوه آب در حال جریان به بزرگی نیروی اثر رو به بالا باشد. کاهش آنی در شناوری ستون های جلویی پس از اثر عرشه می تواند یک فاکتور سهیم برای ضعیف شدن پی باشد. شرایط پی ضعفت برای حدود 3 تا 4 ثانیه در مقیاس اصلی طول کشید. این اگر در مقیاس اصلی باشد ممکن است به قطع شدن و شکست پی از سکو ختم شود.

تنش های ماکزیمم و مینیمم تجربه شده توسط پی های پایین و بالا موج با شب موج قوی مرتبط است. با افزایش شب موج، تنش های ماکزیمم افزایش و تنش مینیمم در پی پایین موج کاهش یافت. رویدادهای موجی که تنش های پی ماکزیمم و مینیمم را به وجود آوردند، در کل با بزرگترین شب یا قله موج ارتباطی ندارند. این نشان می دهد که انتخاب رویداد موجی طراحی یا تکرات موج در شرایط آبی یکسان، نیازمند توجهات بیشتری است. موج های شدید با یا بدون تجاوز به عرشه سکو، باعث ایجاد پاسخ **ringing** سکو و حتی کشسان شد. بزرگی تنش های **ringing** به وجود آمده توسط اثر **wave-in-deck**، پیش تنش اولیه تا 15٪ فراتر رفت. مدت زمان پاسخ های **ringing** می تواند تا 8.2 برابر دوره موجی پس از اثر عرشه ادامه داشته باشد.



شکل 22

### 7.3 فشار اثر بر زیر سکو

رونده کلی فشار اثر ماکزیمم به عنوان تابعی از تجاوز عرضه، به طور کلی با پیش بینی و نگ برای صفحه افقی ثابت موافق است، اما با گوناگونی وسیع تری. قسمت جلویی عرضه فشار های بالا تری را نسبت به عقب عرضه تجربه می کند که مناطق نزدیک انتهای اطراف ستون ها، جایی است که این روند معکوس است و استثنای هستند. این می تواند باعث شود که فراز جوشی موج در اطراف ستون های پشتی و همچنین اثر پایین رفتن سکو بزرگ تر باشد. در تمامی رویداد های موجی آزمایش شده، فشار های اثر ماکزیمم اطراف ستون های جلو و پشت یک رابطه مثبت با تنفس های wave-in-deck ماکزیمم پی های بالا موج و پایین موج را نشان داد. این می تواند ثابت کند که بزرگی فشار ضربه ای به قدری بزرگ بود که به طور ناگهانی تنفس های پی را افزایش دهد.



این مقاله، از سری مقالات ترجمه شده رایگان سایت ترجمه فا میباشد که با فرمت PDF در اختیار شما عزیزان قرار گرفته است. در صورت تمایل میتوانید با کلیک بر روی دکمه های زیر از سایر مقالات نیز استفاده نمایید:

✓ لیست مقالات ترجمه شده

✓ لیست مقالات ترجمه شده رایگان

✓ لیست جدیدترین مقالات انگلیسی ISI

سایت ترجمه فا؛ مرجع جدیدترین مقالات ترجمه شده از نشریات معترض خارجی