

پاسخ دینامیکی سکوی پایه کششی با تاکید بر حالت صدمه دیده

محمدرضا محمودی^۱، محمدرضا تابش پور^۲، علی احمدی^۳

^۱دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی شریف؛ mahmoodi_mr@mech.sharif.edu
^۲استادیار، قطب علمی هیدرو دینامیک و دینامیک متحرک‌های دریایی، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی شریف؛ tabeshpour@sharif.edu
^۳دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی شریف؛ ahmadi_ali@mech.sharif.edu

چکیده

سکوهای پایه کششی از جمله سازه‌های تطبیقی بوده و برای استخراج نفت از آبهای عمیق مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرند. این سازه‌ها توسط مهارهای قائم به بستر دریا متصل می‌شوند. که به دلیل افزایش بویانسی دارای پیش کشیدگی می‌باشند. این سکوها از منظر درجات آزادی افقی نظیر سازه های شناور رفتار می‌کنند درحالیکه از نظر درجات آزادی قائم بسیار سخت بوده و به سازه‌های ثابت شبیه‌اند. و حرکات قائم آنها بسیار محدود است. قطع ناگهانی یکی از تاندون‌ها منجر به تغییر در سختی سیستم می‌شود. و نیز عدم تعادل در نیروها و گشتاورهای کل سیستم را به همراه خواهد داشت. در این مقاله اثرات قطع تاندون روی رفتار یک سکوی پایه کششی مشخص بررسی شده‌است. ملاحظه می‌شود که میانگین حرکت هیو و حرکت پیچ پس از قطع یک تاندون افزایش شدید می‌یابد. همچنین نیروهای تاندون‌های ستون‌های مجاور افزایش قابل ملاحظه‌ای یافته در حالیکه نیروهای تاندون‌های ستون قطری کاهش می‌یابد.

کلمات کلیدی: سکوی پایه کششی، پاسخ دینامیکی، قطع تاندون، تحلیل عددی

Dynamic Response of Tension Leg Platforms with Special Importance to Tendon Disconnection

Mohammad Reza Mahmoodi¹, Mohammad Reza Tabeshpour², Ali Ahmadi³

¹M.S. Student, Mechanical Engineering Department, Sharif University of Technology; mahmoodi_mr@mech.sharif.edu

²Assistant Professor, Mechanical Engineering Department, Sharif University of Technology; tabeshpour@sharif.edu

³Phd Student, Mechanical Engineering Department, Sharif University of Technology; ahmadi_ali@mech.sharif.edu

Abstract

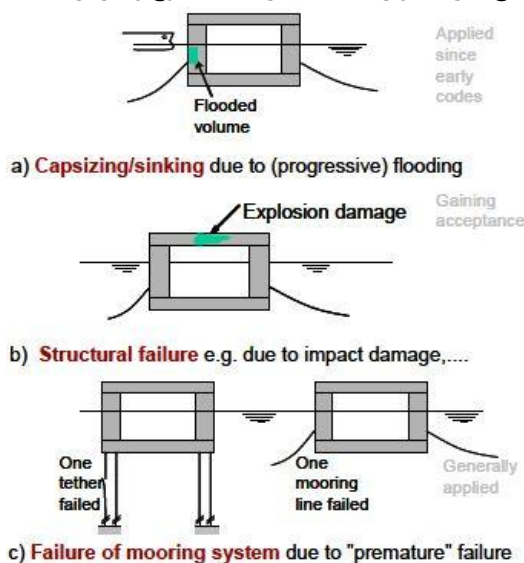
The tension leg platform is one of the compliant structures which are generally utilized for deep water oil explorations. With respect to the horizontal degrees of freedom, it behaves like a floating structure moored by vertical tethers which are pretension due to the excess buoyancy of the platform, whereas with respect to vertical degrees of freedom it is stiff and resembles a fixed structure and is not allowed to float freely. A sudden disconnection of a tendon causes a change of stiffness and unbalance of forces and moments of the total system. The objective of this paper is to present a numerical study of the effects of tendon disconnection on global performance of ISSC TLP. It is found that the mean heave position and pitch angle moved to a permanent higher level after losing one tendon. It is also seen that the tension of the neighboring columns can be increased while the tension on the diagonal column tendons decreased.

Keywords: Tendon Disconnection, TLP, Numerical Study, Dynamic response

مقدمه

با توجه به آیین‌نامه API عوامل محیطی نظیر باد، موج، جریان و جزر و مد باعث ایجاد بارهای ثابت و متغیر می‌شود. بارهای محیطی و پاسخ سکو در ملاحظات طراحی زیر سیستم‌ها نظیر پی، تاندون‌ها، رایزرها، بدنه و تجهیزات عرشه حائز اهمیت می‌باشد. این اثرات باید در هر دو حالت نرمال و حالت حدی مورد بررسی قرارگیرند. در دهه‌های اخیر طوفان‌های مخربی نظیر کاترینا و ریتا باعث ایجاد انگیزه در بروزرسانی فرایندهای طراحی سکوه‌های پایه کششی در خلیج مکزیک کرده است. لذا آیین‌نامه API شرایط سختگیرانه‌تری به خصوص برای ناحیه مرکزی خلیج مکزیک وضع کرده است [۱]. بنابراین تلاش‌هایی برای ارزیابی مجدد سکوه‌های موجود در حال انجام است. همچنین طراحی و ساخت سازه‌های جدید بر اساس محدودیت‌های جدید انجام می‌شوند. ملزومات حالت حدی فروریزش تصادفی ^۱ALS که مطابق با فلسفه طراحی است، ارضا شود [۲]. منظور از این فلسفه این است که تغییرات کوچک اجتناب ناپذیر نظیر انفجار، برخورد کشتی و از دست رفتن یک تاندون نباید باعث نتایج نامتناسب شود (شکل

۱). سکوهای پایه کششی از جمله فناوری‌های قابل اعتماد در نگهداری از ریزرها می‌باشد. که شامل بدنه، خطوط مهار، ریزرها و پی می‌باشد. مطابق با فرم سازه این سکو ها به چهار دسته تقسیم می‌شوند: سکوی پایه کششی متعارف، سکوی پایه کششی گسترش یافته، سکوی پایه کششی موزز و سکوی ستاره دریایی. در این سکوها حرکات صفحه قائم یعنی هیو و رول و پیچ بسیار اندک است. مشخصات حرکات قائم سکوهای پایه کششی بر خلاف دیگر سکوهای شناور که متاثر از فرم بدنه آنهاست، مستقیماً از ویژگی‌ها و مشخصات تاندون‌ها تأثیر می‌پذیرد. بنابراین تاندون‌های آسیب‌دیده یا شکسته شده ممکن است خسارت‌های بسیار سنگینی به همراه داشته باشد. شکست یا خرابی تاندون‌ها در دو شرایط رخ می‌دهد: رسیدن به عمر خستگی و یا فرارگیری در شرایط محیطی حدی. مطابق با آیین نامه کمیته دوره بازگشت شرایط حدی، ۱۰۰ سال است. در طراحی تاندون‌ها از منظر خستگی، ضریب ایمنی ۱۰ را در نظر می‌گیرند. از آنجا که این سکوها در آب عمیق نصب می‌شوند، تاندون‌ها از اتصال اجزای کوتاه تشکیل می‌شود. این اجزا در معرض بارهای نوسانی و تنش‌های حدی قرار دارند که منجر به آسیب خستگی و خرابی تصادفی می‌شود. در طراحی سیستم تاندون، حذف تاندون نیز باید بررسی شود. در حالتی که یکی از تاندون‌ها حذف شود، تغییرات تنش باید در محدوده مجاز قرار گیرد. عمر طراحی تاندون‌ها باید متناسب با عمر سازه باشد. عوامل اثرگذار در عمر طراحی تاندون‌ها شامل هزینه اولیه تاندون، جایگزینی تاندون، بازرسی تاندون و خطرات مرتبط با نصب مجدد تاندون می‌باشد. از دست دادن یک تاندون می‌تواند باعث افزایش کشش استاتیکی و دینامیکی تاندون‌های باقیمانده شود. در حالت حذف تاندون ظرفیت سکو کاهش می‌یابد و سکو باید تحت شرایط حدی دوام آورد [۳]. دو روش انجام مدل‌سازی و تست‌های آزمایشگاهی و یا مدل‌سازی عددی می‌توان پاسخ سازه سکو را نسبت به بارهای باد، موج و جریان بدست‌آورد.



شکل ۱: حالت‌های خرابی الزام ALS [۲]

با توجه به اینکه امکان حذف یک تاندون به علت خستگی یا هرگونه آسیب وجود دارد در نتیجه مطابق آیین‌نامه باید بررسی‌های مناسبی در این راستا انجام شود تا کفایت درجه افزونگی سیستم تأیید شود. انجام مطالعه حاضر برای مطالعات احتمالاتی و قابلیت اعتماد، لازم است. با انجام مطالعه حاضر، درک عمیقی از رفتار دینامیکی سیستم در شرایط بحرانی بدست می‌آید.

تحقیقات صورت گرفته به روش مدل‌سازی عددی

در سال ۲۰۰۵ Cheng و همکاران به آنالیز دینامیکی کوپل یک سکوی پایه کششی کوچک و مقایسه آن با نتایج آزمایشگاهی پرداختند. عکس‌العمل کوپل بین بدنه شناور و تاندون‌ها و ریزرها مهمترین نقش را در حرکت کلی سکو و بارهای وارده بر تاندون‌ها و ریزرها دارا می‌باشد. کد عددی آنها برای پیش‌بینی حرکات و تنش‌های اعمالی در خطوط مهار توسط نتایج آزمایشگاهی کاملاً صحت سنجی شده است. مقایسه بین نتایج عددی و آزمایشگاهی نشان می‌دهد که بار موج وارده بر روی سکوی پایه کششی می‌تواند از طریق معادلات مورسون با پیش‌بینی‌های شبه استاتیکی بدست آید. مدل‌سازی با مقیاس ۱/۴۰ صورت پذیرفته است [۴]. در سال ۲۰۰۷ Xiao و همکاران، تحلیل عددی از رفتار غیرخطی سکوی پایه کششی در جابجایی محدود را مورد بررسی قرار دادند. در این مقاله کوپلینگ حرکات ۶ درجه آزادی، موقعیت لحظه‌ای، سطح خیس شده لحظه‌ای، تأثیرات سطح آزاد و نیروی درگ ویسکوز مورد بررسی قرار گرفته است. در نهایت آنالیز دینامیکی در امواج منظم تحلیل شده است. نمودارهای عملگر دامنه پاسخ حرکات سرج و اسوی بین آنالیز خطی و آنالیز غیرخطی مقایسه شده‌اند. باید توجه داشت که امواج منظم بوده و زاویه برخورد موج با سکو ۲۲/۵ درجه می‌باشد [۵]. Kim و Yang در سال ۲۰۱۰ با استفاده از تحلیل دینامیکی کوپل حوزه زمان حالت سالم و صدمه دیده سکوی پایه کششی از نوع گسترش یافته را تحت طوفان‌های با دوره بازگشت ۱۰ و ۱۰۰ و ۱۰۰۰ ساله شبیه‌سازی نمودند. وضعیت صدمه دیده را برای حالت یک یا دو تاندون قطع شده در دو شرایط قطع از محل اتصال تاندون به بدنه و باز شدن از محل اتصال تاندون

به بستر دریا بررسی نمودند. برای هر یک از دو حالت قطع و جدا شدن تاندون از بدنه یا بستر دریا شبیه سازی را به دو صورت گذرا و غیر گذرا انجام شد تا اهمیت اثرات گذرا بررسی شود. شکست و خرابی تاندون در دو حالت رخ می دهد. وقتی کشش به حداقل کشش در محل اتصال تاندون به بدنه برسد شکست رخ می دهد. در حالت دیگر وقتی کشش تاندون به حداقل مقدار خود برسد، امکان دارد در محل اتصال به بستر خرابی رخ دهد. اثرات شکست تاندون در دو محل با هم متفاوت است. زمانیکه هر سه تاندون یک ستون قطع شود، زاویه هیل ناشی از آن به شدت افزایش می یابد و بر غیرخطی بودن مسئله می افزاید. در حالت کلی سکوها پایه کششی برای شرایطی که تمام تاندون های یک ستون قطع شده باشد طراحی نشده اند. پریود طبیعی حرکات هیو و پیچ وقتی که یک یا دو تاندون قطع شوند به دلیل کاهش سختی محوری افزایش یافت. به بیان دیگر از آنجا که پس از قطع شدن تاندون ها مقدار پیش کشیدگی تقریباً ثابت می ماند، این پیش کشیدگی توسط تاندون های باقیمانده تحمل می شود. بنابراین تغییر چشمگیری در میزان پریود حرکات صفحه افقی سرچ و اسوی و یو رخ نمی دهد [۶]. در سال ۲۰۱۵ Gou و همکاران به بررسی سکوی پایه کششی توسعه یافته جدیدی برای شرایط دریای جنوب چین پرداختند. تمرکز آنها بر اثرات کوپلینگ بدنه و تاندون بود. هندسه سکوی جدید مثلثی شکل بوده و شامل سه پانتون و چهار ستون است که ستون اصلی در مرکز و سه ستون دیگر با زاویه ۱۲۰ درجه از هم فاصله گرفته اند. این سازه توسط سه گروه پنج تایی از تاندون های بهینه سازی شده مهار می شود. تحلیل حوزه زمان کوپل نشان دهنده بهبود خوبی در پاسخ های این سازه نسبت به سکوها پایه کششی متعارف بود. همچنین تحلیل ایمنی تاندون ها را با رابطه نسبت مطلوبیت که در آیین نامه API بیان شده است، کنترل نمودند [۷].

تحقیقات صورت گرفته به روش مدل سازی تجربی

در سال ۲۰۰۱ Wang و Kim به بررسی پدیده های زنگ خوردن^۱ و فبری شدن^۲ برای سکوی پایه کششی متعارف پرداختند. برای سه طول تاندون ۴۱۵ و ۶۶۵ و ۹۶۵ متر پاسخ سکو را محاسبه کردند. امواج تولید شده مطابق با طیف جانسواپ با ارتفاع ۱۵.۴ متر بود هدف از این سه آزمایش روی یک سازه یکسان، بررسی افزایش طول تاندون ها و بررسی کاهش فرکانس طبیعی حرکت پیچ روی پاسخ سکو بوده است. زنگ خوردن و فبری شدن تاندون ها ناشی از پدیده تشدید در حرکات رول و پیچ و هیو در فرکانس های بالا می باشد. نتایج آماری سری های زمانی نشان دادند که پدیده فبری شدن نامحتمل می باشد [۸]. در سال ۲۰۰۷ کتابداری و همکاران به تحلیل آزمایشگاهی سکوی پایه کششی از نوع ستاره دریایی پرداختند. سختی محوری تاندون ها در این سکو، پریود طبیعی حرکت قائم را به مقادیری بسیار کم تر از پریود غالب انرژی موج کاهش می دهد. در این فرایند آزمایشگاهی پاسخ حرکت سرچ و اسوی و پیچ و رول و حرکت عرشه در مدل در برابر جریان با زاویه حمله ۶۰ درجه ثبت شد. کلیه داده های ثبت شده توسط آنالیز فوریه و آنالیز موجک پردازش شده، تا نمودارهای عملگر دامنه پاسخ را نتیجه دهند. مشابه با تمام مدل سازی های آزمایشگاهی آب عمیق، قانون تشابه فرود مبنای تبدیل اطلاعات از مدل به نمونه اصلی است [۹]. در سال ۲۰۰۸ Murray و Yang به آزمایش یک سکوی پایه کششی از نوع گسترش یافته و چهارستونه جهت ارزیابی مدل سازی عددی این سکو متناسب با شرایط جوی خلیج مکزیک پرداختند. ارزیابی و تحلیل داده ها و همینطور ساخت مدل آزمایشگاهی با توجه به شرایط دریایی حاکم بر خلیج مکزیک و در نظر گرفتن اثرات جریان و بادهای پر سرعت این حوزه اقیانوسی لحاظ شده است. این مدل آزمایشگاهی همراه به تاندون های فولادی متصل به آن با توجه به اصول تشابه و مدل سازی، حاصل از اعمال مقیاس ۱/۹۲ برای عمق ۵۰۰۰ فوت در خلیج مکزیک بوده است. با استفاده از سه ردیاب موج ثابت و سه ردیاب موج متحرک مقادیر جابجایی در ۶ درجه آزادی تعیین شده است. برای درستی تولید موج ایجاد شده بر اساس طیف جانسواپ از سیستم ردیاب موج در آزمایشگاه بدون نصب مدل استفاده شد و با طیف جانسواپ مقایسه شد [۱۰]. Yassir و Kurian در سال ۲۰۱۲ به بررسی پاسخ دینامیکی یک سکوی نیمه شناور تحت شرایط خط مهار آسیب دیده پرداختند. یک سکوی نیمه شناور شش ستونه را با مقیاس یک صدم توسط قانون تشابه فرود مدل کردند. به منظور بررسی اثرات از دست دادن یکی از خطوط مهار، چهار تست دریامانی در امواج از روبرو و امواج عرضی منظم و نامنظم انجام دادند. برای اندازه گیری مشخصات امواج تولید شده از دو موج نگار همراستا یکی در جلو و یکی در عقب مدل استفاده نموده و حرکات شش درجه آزادی نیروهای خطوط مهار پریود و ارتفاع موج را بدست آوردند. در هر آزمایش قطع خط مهار را به صورت دستی انجام دادند و مشاهده نمودند، پس از قطع یک مهار سازه حول یک مقدار میانگین جدید نوسان نموده درحالی که قطع مهار روی دامنه پاسخ دینامیکی سیستم تاثیر قابل توجهی نداشت. همچنین مشاهده شد که قطع مهار منجر به یک پاسخ گذرای قابل توجه در حرکت سرچ شناور شد [۱۱].

روش های بررسی رفتار سکو های پایه کششی

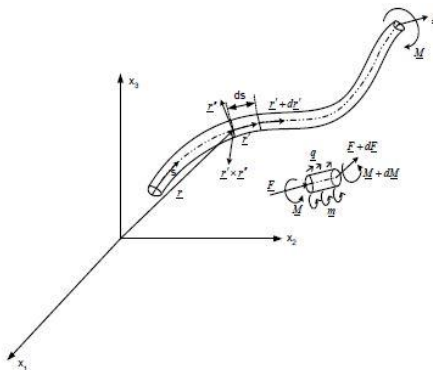
به طور کلی سه روش برای حل معادلات حرکت سکوی پایه کششی وجود دارد. این سه روش عبارتند از: تحلیل حوزه فرکانسی، تحلیل حوزه زمانی کوپل و تحلیل حوزه زمانی غیر کوپل. در این سه روش معادلات حرکت یکسان می باشند. اما روش حل یک بیانگر محدودیت های آن روش می باشد. حل حوزه فرکانسی، حل تحلیلی معادلات حرکت برای بدست آوردن پاسخ ها در اثر امواج نامنظم می باشد. پاسخ حوزه فرکانس شامل حرکات و شتاب های درجات آزادی مختلف سازه، نیروهای تاندون و بارهای هیدرودینامیکی می باشند. مهمترین محدودیت حل حوزه فرکانسی در این است که جملات غیرخطی باید نادیده گرفته شوند و یا تقریب خطی زده شوند. در مواردی که تحلیل با هر دو روش حوزه زمان و حوزه فرکانس وجود داشته باشد، روش تحلیل حوزه فرکانس محاسبات را ساده تر نموده و معمولاً برای طراحی اولیه مناسب است. چراکه خطی سازی در این روش برای بارهای شدید منجر به کاهش دقت در نتایج می شود. روش تحلیل حوزه زمانی، روش مستقیم انتگرال عددی معادلات حرکت می باشد که شامل تمامی جملات غیر خطی سیستم است معادله ۱ معادله حرکت در تحلیل غیر کوپل می باشد.

$$[M + M^a + M_c]\ddot{x} + [C]\dot{x} + [K + K_c]x = F_I(t) + F_R(\dot{x}, t) + F_m(x, t) + F_{wind}(t) \quad (1)$$

ماتریس جرم در معادله ۱ شامل عبارت $M^a(\infty)$ و M_c است که به ترتیب بیانگر ماتریس جرم افزوده در فرکانس بینهایت و ماتریس جرم معادل تاندون ها و رایزرها می باشد. K_c ماتریس سختی خطی شده برای در نظر گرفتن نیروهای عکس العملی تاندون ها و رایزرها با بدنه سکو می باشد. $F_I(t)$ شامل نیروهای مرتبه اول و دوم موج و عبارت $F_R(x, t)$ بیانگر نیروهای دمپینگ تشعشعی هستند. این ماتریس های ضرایب در حالت تعادل در آب آرام بدست می آیند. معادله ۲ بیانگر حرکت کوپل شده می باشد.

$$[M + M^a]\ddot{x} + [K + K_c(x, t)]x = F_I(t) + F_R(\dot{x}, t) + F_m(x, t) + F_{wind}(t) + F_c(x, \dot{x}, \ddot{x}, t) \quad (2)$$

در این حالت پاسخ تاندون ها همزمان با پاسخ سکو محاسبه می شود و اثر متقابل نیروهای دینامیکی بین سکو، تاندون ها و رایزرها در نقاط اتصال بدست می آید. در این روش برای در نظر گرفتن جملات غیرخطی، کشش تاندون ها و رایزرها به صورت دینامیکی مدل می شوند. با استفاده از مدل المان محدود در هر موقعیت تاندون ها و رایزرها ضرایب $K_c(x, t)$ بدست می آیند تا اثرات غیرخطی لحاظ شوند.



شکل ۲: نمودار آزاد نیروها و ممان های مدل میله نازک

نیروهای تاندون ها شامل دو جزء استاتیکی و دینامیکی می باشد. قسمت استاتیکی شامل پیش کشیدگی، جزر و مد و آفست سکو به دلیل نیروهای محیطی یا اشکال در موقعیت نصب به بستر دریا می باشد. این نیروها از تعادل بین سکو، تاندون ها و رایزرها بدست می آیند. نیروهای دینامیکی تاندون ها به صورت مستقیم از نیروهای هیدرودینامیکی محاسبه می شوند. نیروهای وارد بر تاندون ها را با استفاده از تکنیک بیان شده در شکل ۲ می توان بدست آورد. در این شکل مدل یک میله باریک و نمودار آزاد نیروها و ممان های وارد بر آن نشان داده شده است. بردار موقعیت $R(s, t)$ تابعی از طول میله در زمان t می باشد. F و M نیروها و ممان های نهایی وارد بر سطح مقطع میله می باشند. بار گسترده q شامل وزن واحد طول، نیروهای هیدرواستاتیکی و نیروهای هیدرودینامیکی بوده و در معادله ۳ بیان شده است.

$$q = w + F^s + F^d \quad (3)$$

زمانیکه یک تاندون یا رایزر آزاد به حرکت در امواج و جریان باشد، مدل میدان جریان مستقل، از برهم‌نهی خطی دو میدان جریان مستقل بدست می‌آید که شامل دو میدان دور ناشی از موج و جریان و میدان نزدیک ناشی از حرکت سازه می‌باشد. نیروهای هیدرودینامیکی وارد بر جزء از یک تاندون یا رایزر با استفاده از معادله ۴ بدست می‌آید.

$$F^d = -C_A \rho A_I \dot{r}^n + C_M \rho A_I \dot{v}^n + \frac{1}{2} C_D \rho A_D |v^n - \dot{r}^n| (v^n - \dot{r}^n) \quad (4)$$

نیروی کل وارد بر یک عضو در زمان t با انتگرال‌گیری در طول کلی s از رابطه ۵ بدست می‌آید.

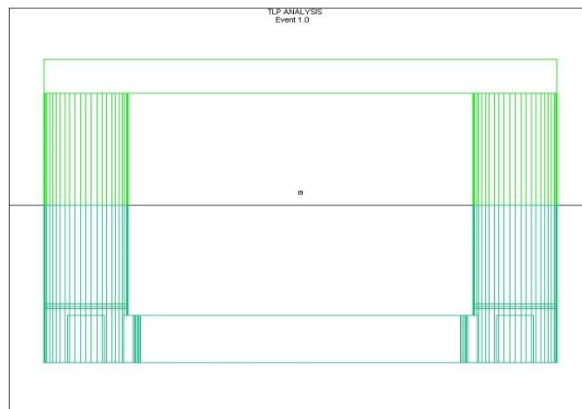
$$F_c(x, \dot{x}, \ddot{x}, t) = \int q ds \quad (5)$$

پژوهش حاضر:

در این پژوهش به بررسی رفتار سکوی پایه کششی تحت بار امواج به روش المان مرزی پرداخته شده است. مدلسازی توسط نرم‌افزار تجاری MOSES انجام شده است. در این نرم‌افزار با استفاده از تئوری تفرق سه بعدی و حل انتگرال فشار روی سطح خیس سکو، نیروی موج محاسبه می‌شود. جدول ۱ مشخصات ابعادی سکوی پایه کششی ISSC و مشخصات تاندون‌ها را بیان می‌کند. شکل ۳ نمایی از مدل نرم افزار سکو می‌باشد.

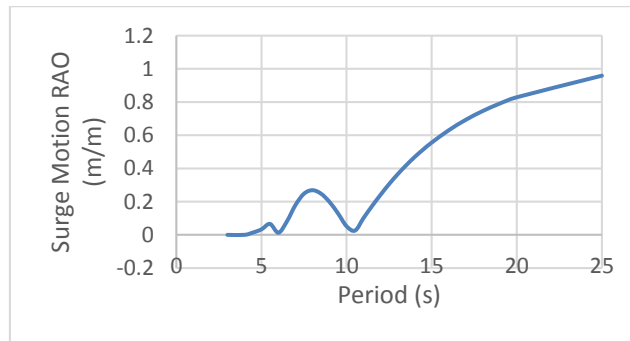
جدول ۱: مشخصات و ابعاد سکو و تاندون‌ها [۱۲]

۸۶/۲۵	فاصله بین ستون‌ها [m]
۸/۴۴	شعاع ستون‌ها [m]
۱۰/۵	ارتفاع مقطع پانتون [m]
۷/۵	عرض مقطع پانتون [m]
۳۵	آبخور [m]
۳۸	ارتفاع مرکز ثقل بالای کیل [m]
$۴۰/۵ \times ۱۰^۶$	جرم سکو [kg]
۸۰۰	عمق [m]
۳	تعداد تاندون زیر هر ستون
$۱۳۷/۲ \times ۱۰^۶$	پیش کشیدگی کل تاندون‌ها [N]
۷۶۵	طول تاندون [m]
۶۰۰	قطر خارجی تاندون [mm]
۵۱۲	قطر داخلی تاندون [mm]
$۲/۱ \times ۱۰^{۱۱}$	مدول الاستیسیته تاندون [N/m ²]



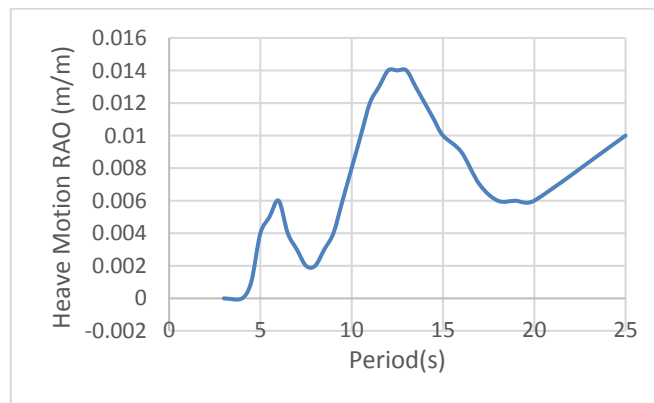
شکل ۳: نمایی از مدل نرم افزار سکو ISSC

شکل ۴ بیانگر نمودار عملگر دامنه پاسخ حرکت سرج می باشد در این حرکت به دلیل اینکه جهت انتشار موج عمود به دیواره های داخلی پانتون ها است، شاهد پدیده گیرافتادگی هستیم. به طور مثال در پریود حدود ۸ ثانیه شاهد پاسخ نسبتاً بزرگ سازه هستیم. اما در نقطه ای متناظر با پریود ۱۰ شاهد قعر هستیم این پریود معادل طول موجی در حدود دو برابر فاصله بین مراکز ستون ها است که در این حالت قرارگیری موج نسبت به سازه اینرسی ذرات سیال روی دو پانتون مقابل اثر یکدیگر را خنثی می کنند و نیروی در راستای سرج در حدود صفر می شود. لذا در این پریود جابجایی سرج بسیار اندک است.



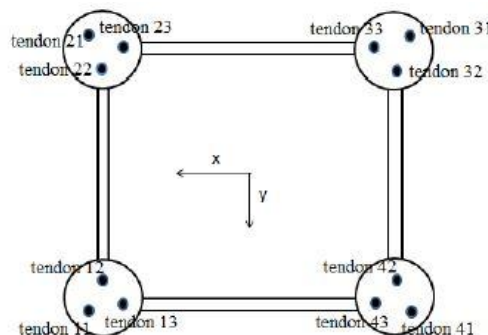
شکل ۴: نمودار عملگر دامنه پاسخ سرج سکو در زاویه برخورد صفر درجه

شکل ۵ نمودار عملگر دامنه پاسخ حرکت هیو را نشان می دهد. ملاحظه می شود نمودار عملگر دامنه پاسخ حرکت هیو دارای نوسانات زیادی است و این نوسانات به علت اعمال مولفه نیروی موج در راستای هیو می باشد. اگر امواج به گونه ای با سکو برخورد کنند که قله موج روی ستون های یک سمت و قعر موج روی ستون های سمت مقابل باشند، در این صورت نیروی حاصل یکدیگر را خنثی می کنند و در راستای هیو جابجایی بسیار کم خواهد شد. به طور مثال در پریودی در حدود ۸ ثانیه که معادل موجی با طولی برابر فاصله بین ستون ها است جابجایی بسیار کم شده است. در مقابل اگر امواج به گونه ای به سازه برخورد کنند که همزمان قله موج یا قعر موج در دو سمت سکو باشد، نیروها با هم همجهت بوده و جابجایی بزرگی خواهیم داشت.



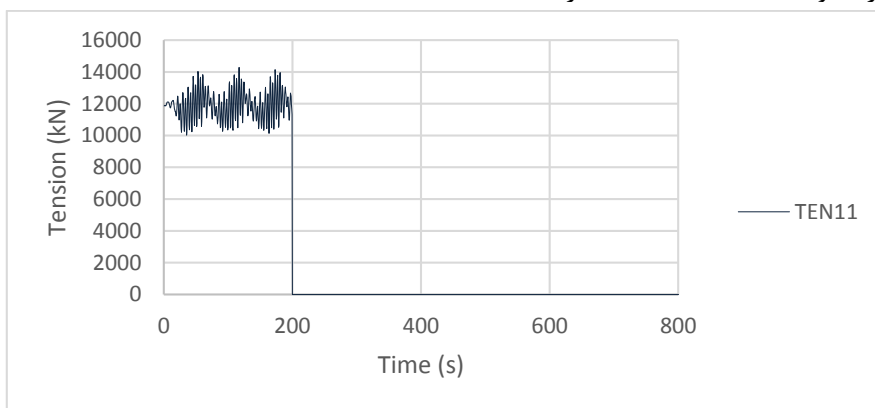
شکل ۵: نمودار عملگر دامنه پاسخ هیو سکو در زاویه برخورد صفر درجه

شکل ۶ ترتیب قرارگیری تاندون ها زیر هر ستون را نشان می دهد.

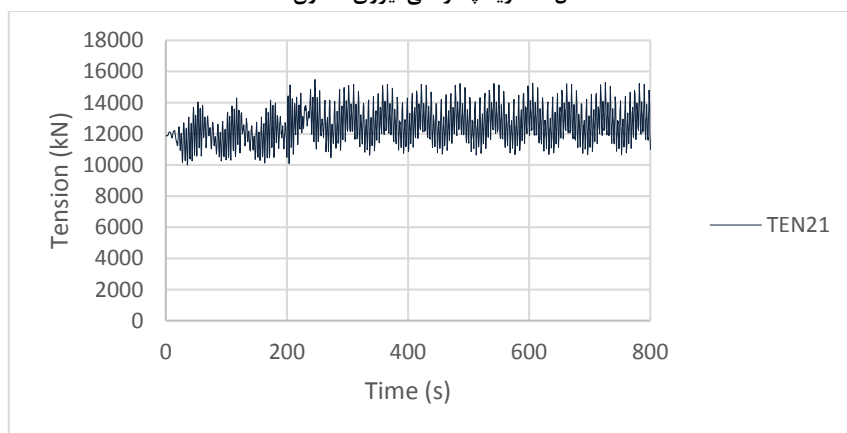


شکل ۶: نحوه قرارگیری تاندون ها

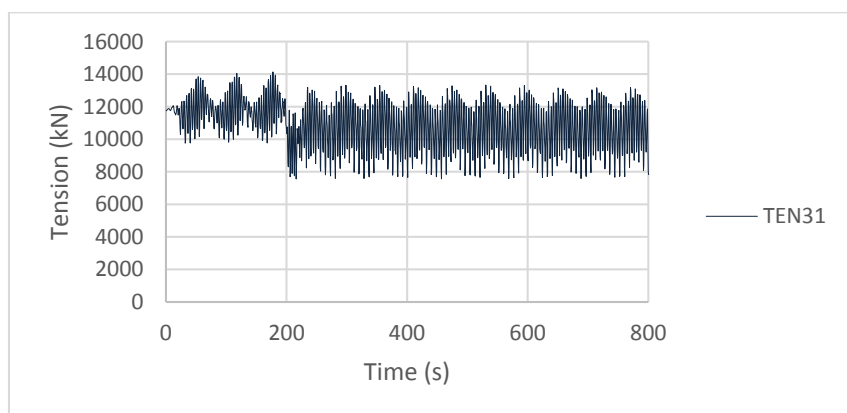
با انجام تحلیل حوزه زمان تاریخچه زمانی کشش در تاندون‌ها را تحت موج منظم با ارتفاع موج ۸ متر و پریود ۸ ثانیه در شرایطی که یکی از تاندون‌ها قطع شود بدست آوردیم. تحلیل را با تعداد ۱۲ تاندون شروع و در ثانیه ۲۰۰ تاندون شماره ۱۱ را قطع نمودیم. در این لحظه که حالت گذرا می‌باشد، نیروی موجود در این تاندون به تاندون‌های مجاورش وارد می‌شود و دیگر نوسانات نیرو حول مقدار پیش‌کشیدگی اولیه نخواهد بود. در شکل‌های ۷ تا ۱۰ تاریخچه زمانی نیروهای تاندون‌های شماره یک هر ستون رسم شده است. همانطور که انتظار می‌رود پس قطع یک تاندون نیروی تاندون‌های همان ستون و ستون‌های مجاورش افزایش می‌یابد. اما بدلیل عدم تقارن، نیروی تاندون‌های ستون در راستای قطر سکو، کاهش می‌یابد. در این نمودارها علاوه بر پریود ۸ ثانیه‌ای موج، پریود حرکت هیو و سرچ سکو اثرگذار می‌باشد. که تقریباً نوسانات ناهماهنگ ایجاد کرده است.



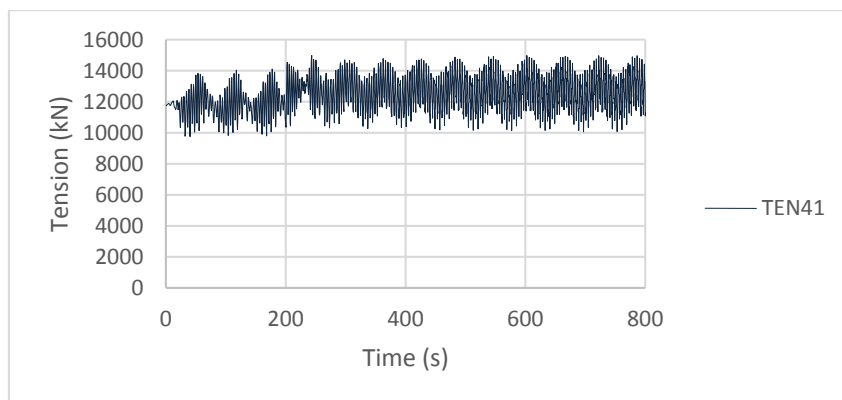
شکل ۷: تاریخچه زمانی نیروی تاندون ۱۱



شکل ۸: تاریخچه زمانی نیروی تاندون ۲۱

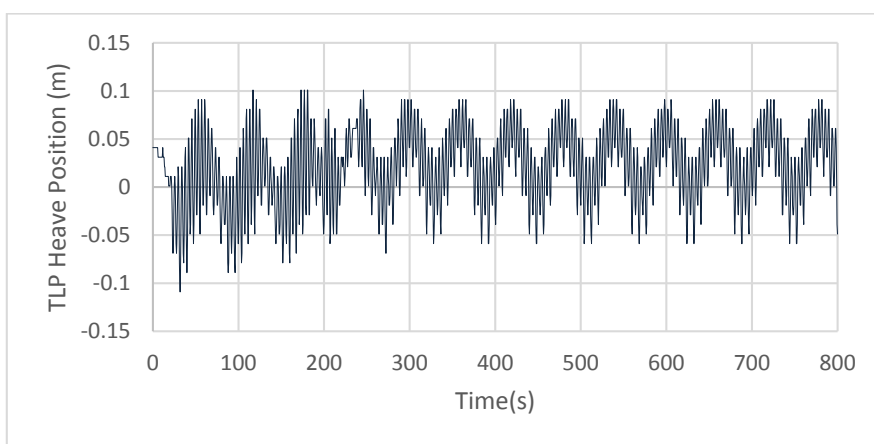


شکل ۹: تاریخچه زمانی نیروی تاندون ۳۱

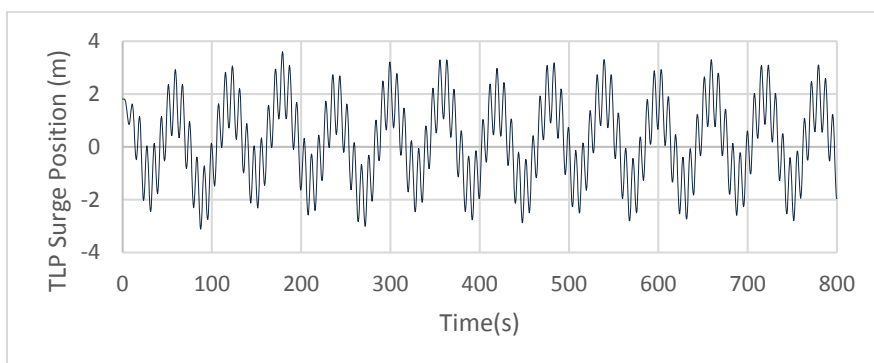


شکل ۱۰: تاریخچه زمانی نیروی تاندون ۴۱

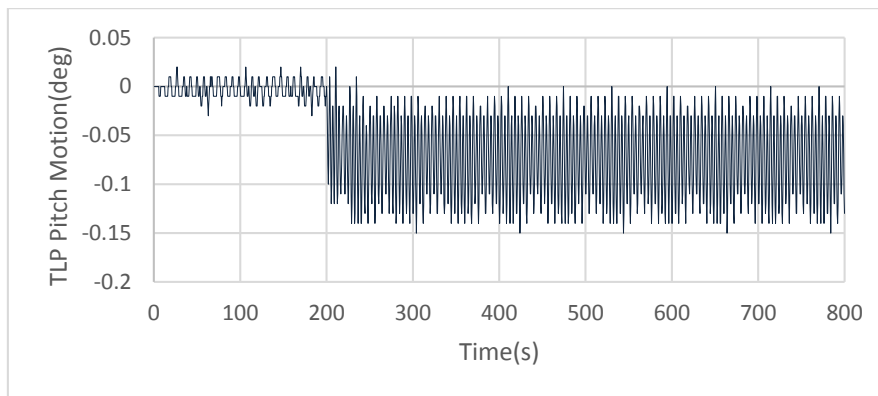
تاریخچه زمانی حرکات هیو و سرچ و پیچ در شکل‌های ۱۱ تا ۱۳ آمده است. ملاحظه می‌شود که با پاره شدن تاندون ۱۱ در ثانیه ۲۰۰ و از بین رفتن سختی قائم آن، میانگین حرکت هیو از صفر به حدود ۲ سانتی متر افزایش یافته است. از آنجا که حرکت هیو با حرکت سرچ کوپل می‌باشد، در تاریخچه زمانی هیو پررود حرکت سرچ نیز رویت می‌شود. همچنین حرکت پیچ که قبل از پارگی حول صفر نوسان داشت، پس از پارگی میانگین آن به میزان 0.07 درجه در جهت منفی افزایش می‌یابد. اما قطع تاندون روی حرکت سرچ تاثیر قابل ملاحظه‌ای نمی‌گذارد. و با گذر زمان از ثانیه ۲۰۰ حرکت سرچ به حالت قبل از پارگی برمی‌گردد.



شکل ۱۱: تاریخچه زمانی هیو سکو



شکل ۱۲: تاریخچه زمانی سرچ سکو



شکل ۱۳: تاریخچه زمانی پیچ سکو

نتیجه‌گیری و جمع‌بندی

در این پژوهش به اختصار روش‌ها و تحقیقات صورت گرفته در حوزه سکوه‌های آب عمیق بیان شد. یک سکوی پایه کششی مورد بررسی قرار گرفت. ملاحظه شد پارگی ناگهانی تاندون باعث مشاهده رفتار ناگهانی و گذرا در حرکات صفحه قائم شده که افزایش و کاهش ناگهانی نیرو در تاندون‌های دیگر را به همراه داشته است. نتایج بدست آمده بدین شرح است:

۱. قطع تاندون باعث کاهش سختی قائم سکو می‌شود. لذا اثر محسوسی روی حرکت سرچ ندارد.
 ۲. کاهش سختی ناشی از قطع یکی از تاندون‌ها منجر به افزایش مقدار میانگین حرکت هیو به میزان ۲ سانتی متر و افزایش میانگین حرکت پیچ سکو به میزان ۰/۰۷ درجه نسبت به حالت سالم به صورت دائمی می‌شود.
 ۳. همچنین ملاحظه شد، پس از قطع یک تاندون نیروهای تاندون‌های همان ستون و ستون‌های مجاور به صورت دائمی افزایش می‌یابد درحالی‌که نیروی تاندون‌های ستون قطری کاهش می‌یابد.
- در انتها با توجه به اینکه عمر نمونه‌های اولیه سکوه‌های پایه کششی از دو سه دهه نیز فراتر می‌رود و نیز با توجه به وقوع طوفان‌های غیر منتظره که منجر به اصلاح روابط آیین نامه ای شد لازم است تا سکوه‌های موجود و بالخصوص خطوط مهار آنها با توجه به شرایط حدی جدید مورد تحلیل و بررسی قرار گیرند. تا کفایت درجه افزونگی سیستم تایید شود.

مراجع

- [1] API RP 2 MET, "Derivation of Metocean Design and Operating Condition", American Petroleum Institute, 2014.
- [2] Moan, T., "Safety of Offshore Structure", Centre for Offshore Research & Engineering National University of Singapore, 2005.
- [3] API RP 2T, "Recommended Practice for Planning, Designing, and Constructing Tension Leg Platforms", American Petroleum Institute, 2010.
- [4] Cheng, X., Ding, Y., Zhang, J., "Couple Dynamic Analysis of mini TLP Comparison with Measurement", Ocean Engineering, 2005.
- [5] Xiao, Z., Xiao, S., Ying-Xiang, "Governing equation and numerical solution of tension leg platform with finite amplitude motion", division of engineering science, Institute of Mechanics, Chinese Academy of Science, 2007.
- [6] Yang, C., Kim, M.H., "Transient effects of tendon disconnection of a TLP by hull-tendon-riser coupled dynamic analysis" Ocean Engineering, Vol. 37, pp. 667-677, 2010.
- [7] Gou, Q., Ma, G., Sun, L., Wang, H., "Dynamic Response Analysis of a triangular Tension Leg Platform", 34th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering, Canada, 2015.
- [8] Wang, Z.M., Kim, C.H., "Nonlinear Response of ISSC TLP in High and Steep Random Waves", International Journal of Offshore and Polar Engineering Conference, 2001.
- [9] Ketabdari, M.J., Alemi Ardakani, H., Alemi Ardakani, M., "Laboratory Investigation On Response Behavior Of Sea Star Mini Tension Leg Platform Against Regular Water Waves", 26th International Conference On Offshore Mechanics and Arctic Engineering 2007.
- [10] Murray, J., Yang, W., "An Extended Tension Leg Platform Design for Post-Katrina Gulf of Mexico" International Offshore and Polar Engineering Conference, Osaka, Japan, June 21-26, 2009.
- [11] Kurian, V.J., Yassir, M.A., "Dynamic Response of Semisubmersibles with Damaged Mooring Lines", Proceedings of the Twenty-second International Offshore and Polar Engineering Conference, 2012.
- [12] Tan, S., Gie, "The wave induced motion of a tension leg platform in deep water", 13th annual OTC Houston, 1981.