

بررسی رفتار سکوی پایه کششی در امواج با زوایای برخورد مختلف

امیرحسین رزاقیان^۱، محمدسعید سیف^۲، محمدرضا تابش پور^۳

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد، قطب علمی هیدرودینامیک و دینامیک متحرکهای دریایی، دانشگاه صنعتی شریف؛ razaghian@mech.sharif.ir

^۲ استاد، قطب علمی هیدرودینامیک و دینامیک متحرکهای دریایی، دانشگاه صنعتی شریف؛ seif@sharif.edu

^۳ استادیار، قطب علمی هیدرودینامیک و دینامیک متحرکهای دریایی، دانشگاه صنعتی شریف؛ tabesh_mreza@yahoo.com

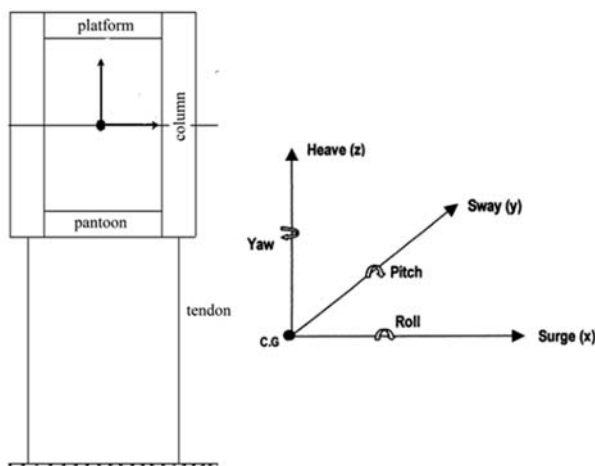
چکیده

سکوهای شناور از نوع پایه کششی یک نوع سکوی تطبیقی است که دارای سیستم مهار عمودی با نیروی شناوری اضافه می باشد. این نوع سکوها معمولاً برای حفاری در آب عمیق مورد استفاده قرار می گیرد. می توان با اعمال کشش اولیه کافی در مهارها حرکات عمودی سازه را کاهش داد. این سکو شامل بخشهای پی، تاندونها، رایزرها، بدنه و عرشه می باشد که در بین آنها بدنه از نظر نیروهای هیدرودینامیکی، وزن و هزینه بسیار پراهمیت است. یک نمونه خاص از این سکوهای متعارف، ISSC TLP می باشد. در این مقاله به بررسی هیدرودینامیکی سکوی پایه کششی ISSC TLP برای عمق ۴۵۰ متر پرداخته شده است. از مهمترین فاکتورهای مورد بررسی در این مقاله، تعیین پریود طبیعی حرکات این نوع سکوی پایه کششی در ۶ درجه آزادی و تاثیر زوایای برخورد مختلف امواج در نمودارهای RAO حرکات سخت و نرم این سکو می باشد. جهت بررسی این سکوی پایه کششی از نرم افزار Moses 7/01/047 محصول شرکت Ultramarine آمریکا استفاده شده است تا تاثیر زوایای برخورد موج در نتایج دریامانی این مدل سکو و نیروهای وارده جهت اعمال این حرکات در ۶ درجه آزادی ارزیابی گردد.

کلمات کلیدی: سکوی ISSC TLP، نرم افزار Moses، اپراتور دامنه پاسخ (RAO)، جرم افزوده، شعاع ژیراسیون افزوده

مقدمه

از آنجا که جستجوی منابع نفت و گاز به سوی آب های عمیق (بیش از ۴۰۰ متر) پیش رفته است، استفاده از سکو های ثابت به علت ممان خمشی زیاد ناشی از افزایش طول اعضا، عملاً در آب عمیق غیر ممکن می باشد. از این رو با توجه به افزایش روند طراحی سازه های فراساحلی جدید، استفاده از سکوهای پایه کششی^۱ و نیمه شناور و اسپار در اعماق زیاد پیشرفت چشم گیری کرده است. حرکت سکوهای پایه کششی در راستای درجه آزادی به صورت تطبیقی بوده (سرج، اسوی، یاو) که پریود طبیعی این حرکات زیاد می باشد. و در راستای سه درجه آزادی دیگر (هیو، رول، پیچ) کم می باشد که به حرکات سخت سکو معروفند. این فرایند ناشی از پیش کشیدگی اعمال شده توسط تاندون ها می باشد. ایده کلیدی در سازه های تطبیقی، کمینه کردن مقاومت سازه در برابر بارهای محیطی، از طریق انعطاف پذیر کردن سازه می باشد. سازه های تطبیقی باید به صورت دینامیکی طراحی شوند. نکته مهم آن است که در اینگونه سازه ها اثرات غیر خطی شدیدی وجود دارد. شکل ۱ سکوی پایه کششی چهار ستونه همراه با درجات آزادی آن همراه با درجات آزادی را نشان می دهد.



شکل ۱: نمونه ای از سکوی پایه کششی چهار ستونه همراه با درجات آزادی آن

¹ 11 Tension Leg Platform

در پروژه حاضر سعی شد با استفاده از امکانات مدل سازی و تحلیل هیدرودینامیکی بسته نرم افزاری Moses محصول شرکت Ultramarine به مطالعه رفتار سکوی پایه کششی ISSC TLP در امواج و تاثیر پذیری این رفتار از زوایای برخورد مختلف موج پرداخت. این نرم افزار از روش المان مرزی به استخراج نتایج و تحلیل آن می پردازد که در ادامه شرح مختصری از تحلیل هیدرودینامیکی سکو و حرکات و عملگرهای دامنه پاسخ نیز ارائه شده است. در راستای فرایند مدلسازی سکوی پایه کششی چه با استفاده از نرم افزار و چه به صورت آزمایشگاهی فعالیتهای مختلفی صورت پذیرفته است که به تعدادی از آن ها اشاره می شود.

تان و گای (۱۹۸۱) به بررسی مدل یک سکوی پایه کششی چهار ستونه ISSC TLP در عمق ۴۵۰ متر در امواج منظم و نامنظم پرداختند. هدف از این آزمایشات تصدیق نتایج محاسبات صورت گرفته برای سکوی پایه کششی با استفاده از تئوری پتانسیل سه بعدی بوده است. حل عددی این سکو بر پایه تئوری پتانسیل خطی صورت پذیرفته است. مقایسه بین تحلیل عددی و آزمایشگاهی در این مقاله منوط به حرکت نوسانی سکوی پایه کششی ناشی از فرکانس برخورد موج و نیروهای موجود در تاندون های مهار می باشد [1]. رویتمن و آندرید و باتیستا (۱۹۹۰) در ریو د جنیرو برزیل به آنالیز مدل سکوی پایه کششی چهار ستونه با مقیاس کوچک برای تعیین پاسخ دینامیکی سازه در امواج پرداختند [2]. ضریب تشابه ابعادی در این آزمایشات برابر $\frac{1}{170}$ در مدلسازی آب عمیق برای این مدل کوچک در نظر گرفته شد. مقایسه حل عددی و آزمایشگاهی برای تست ضربه و موج، تعیین ضرایب درگ و اینرسی مناسب، از جمله اهداف این آزمایشات، بوده است. زنگ ژایو و همکاران (۲۰۰۷) به بررسی تحلیلی رفتار غیر خطی سکوی پایه کششی ISSC TLP برای عمق ۴۵۰ متر پرداختند [3]. این بررسی منوط به امواج منظم بوده و اثرات درگ ویسکوز و کوپل ۶ درجه آزادی مدنظر قرار گرفته است. زهرا تاجعلی (۲۰۰۸) به بررسی رفتار هیدرواستاتیکی و هیدرودینامیکی اسکله های شناور زنجیره ای با استفاده از نرم افزار Moses و Wamit پرداخت [5]. در نهایت تاثیر پارامترهای مختلف بر اسکله تک بدنه، رفتار اسکله چند بدنه و تاثیر اتصالات روی رفتار اسکله شناور در نرم افزارهای نام برده بررسی شد. حمیدرضا گل پور و مهدی شفیعی فر (۲۰۰۸) به بررسی میزان تاثیر مشخصات هندسه سکوهایی نیمه شناور در رفتار حرکتی آن ها با استفاده از نرم افزار Sesam پرداختند [6]. محمدرضا تابش پور و همکاران (۲۰۱۰) به بررسی اثر میراگر جرمی تنظیم شده (TMD) بر روی نوسانات قائم سکوی پایه کششی با استفاده از نرم افزار Moses پرداختند [7]. این بررسی در نهایت به کاهش ۲۰ تا ۵۰ درصدی مقدار جابجایی قائم در هنگام اعمال بارگذاری موج هارمونیک شده است.

شبیه سازی عددی

نرم افزار Moses^۱ به عنوان یک برنامه تحلیل المان مرزی همه جانبه برای هر نوع سازه در معرض سیال به صورت سطحی، شناور، نیمه شناور، مغروق، کارایی فوق العاده مفیدی دارد. اغلب نتایج مدلسازی در نرم افزار Moses به صورت گزارشات، عکس ها، انیمیشن های سه بعدی و گزارش های آماری قابل دسترس است. نرم افزار Moses جرم افزوده، دمپینگ تشعشی و نیروهای هیدرودینامیکی را از فشار هیدرودینامیکی روی سطح تعیین می کند. به علاوه Moses برای تعیین نیروهای هیدرودینامیکی مرتبه دوم از فشار مرتبه اول استفاده می کند. این نیروهای مرتبه دوم برای اکثر مدلسازی ها قابل نظر کردن می باشد و اهمیت زیادی ندارد اما در سازه هایی که دارای خطوط مهار می باشد این نیروها نیز اهمیت پیدا می کند. به طور خلاصه در زیر اقسام مختلف نیروها و پارامترهای مورد استفاده در محاسبه آن ها در نرم افزار Moses بیان شده است [8]:

- دمپینگ تشعشی: مش تفرق
- جرم افزوده: مش تفرق و المان های مورپسون
- دمپینگ ویسکوز: المان های مورپسون، دمپینگ تاناکا در مش تفرق (فقط برای تحلیل تاریخچه زمانی)
- بویانسی: المان های سازه ای، مش تفرق
- نیروی باد: المان های سازه ای
- وزن: المان های سازه ای
- نیروهای مرتبه دوم موج: مش تفرق

تعریف محیط دریا در نرم افزار Moses

علاوه بر شبیه سازی مدل در نرم افزار، تعریف محیط دریا از مهمترین پارامترهای مدلسازی در نرم افزار Moses می باشد. این محیط دریایی از بخش های گوناگون زیر که توسط کاربر، انتخاب می گردد جهت مدلسازی کمک می گیرد [8].

^۱ Multi-operation Structural Engineering Simulator

- تعریف عمق آب
- تعریف سرعت جریان به صورت تابعی از عمق و زاویه برخورد
- تعریف طیف های امواج معروف مانند پیرسون موسکوویتز، جانسوپ، برتشنايدر و با ارتفاع موج مشخصه و پریود موج مشخصه برای شرایط دریایی مختلف
- تعریف سرعت باد و جهت و طیف مربوط به آن
- تعریف تابع دما بر حسب زمان

تعریف اتصالات و خطوط مهار

اتصالات، به المانهایی در نرم افزار Moses الحاق می شود که کار اتصال شناور و سکو به اسکله یا سازه ساحلی و فراساحلی دیگر را بر عهده دارند. این اتصالات توسط کاربر با فرمانها و کلاس های مختلف مدلسازی می شود. کلیه اتصالات در این نرم افزار عبارتند از خطوط مهار، خطوط مهار مقلد (خطوط مهار کشیده شده، خطوط مهار فشرده شده، خطوط مهار با قابلیت کششی و فشاری)، اتصالات مربوط به یدک کش ها، شمع ها، فنرها، اتصالات ثابت، اتصالات با درجات آزادی مختلف، اتصالات تسمه ای، اتصالات مربوط به آب اندازی شناورها و سازه های فراساحلی، اتصالات مربوط به خطوط انتقال نفت از سازه به یدک کش یا از سازه به کف دریا و ساحل.

خطوط مهار از جمله زیرگروه های این اتصالات می باشد که اصولا برای مهار سکوهای نیمه شناور، اسکله های شناور، سکوهای پایه کششی، اسپار و مورد استفاده قرار می گیرد و به کف دریا متصل می شود. این خطوط دارای کلاس های مختلف B-Catenary و H-Catenary و Rod می باشد. بسته به سازه مدلسازی شده، از کلاس های مختلف در منوی Medit باید استفاده شود. کلاس B-Catenary برای اتصال سکوهای نیمه شناور به کف دریا باید مدنظر قرار گیرد. برای سکوهای پایه کششی نیز باید از کلاس Rod استفاده نمود. مدول الاستیسته در این کلاس، برابر مدول الاستیسته فولاد که جهت مهار سکوی پایه کششی در واقعیت استفاده می شود، می باشد. این کلاس باید طوری تعریف شود که نقاط ابتدایی و انتهایی اتصال آن (به ترتیب روی سازه و در عمق آب) با توجه به آب عمیق دقیقا روی همدیگر قرار گیرند. در منوی Medit برای این کلاس می توان قطر خارجی، ضخامت، مقادیر پیش کشیدگی و کلیه الزامات مدلسازی تاندون را لحاظ نمود. از جمله قابلیت های این نرم افزار، غیر فعال کردن یکی یا همه خطوط مهار نیز می باشد که یکی از فرایندهای طراحی در آیین نامه های API و ISO می باشد. کلیه آنالیزهای طراحی اعم از آنالیز پارگی، آنالیز تنش، آنالیز خستگی و را روی این خطوط مهار را می توان در نرم افزار Moses صورت داد [8].

برخی از خروجی های قابل محاسبه در Moses

- ضرایب جرم افزوده و ضرایب میرایی در ۶ درجه آزادی
- دامنه پاسخ و فازهای حرکات در شش درجه آزادی برای فرکانس ها و جهات مختلف امواج به صورت RAO
- مقادیر نیروها در خطوط مهار و اتصالات
- موقعیت و شتاب و سرعت نقاط مرجع در هر ۶ درجه آزادی
- تراز سطح آب و دامنه حرکات نقاط نسبت به هم

تئوری تفرق سه بعدی (مبنای تحلیل المان مرزی در Moses)

در تئوری تفرق نیروی موج توسط محاسبه انتگرال فشار روی سطح خیس شده جسم بدست می آید. این روش زمانی قابل استفاده است که اولاً ابعاد جسم در مقایسه با دامنه حرکت موج بزرگ باشد و بتوان از نیروهای ناشی از ویسکوزیته سیال صرف نظر کرد، ثانیاً جسم آنقدر بزرگ باشد که ابعاد آن در برابر طول موج دریا قابل توجه بوده و میدان موج را در اثر تفرق و انتشار موج تحت تاثیر قرار دهد. در تئوری تفرق میدان جریان سیال توسط تابع پتانسیل جریان بیان می شود. بنابر این باید تابع پتانسیل در معادله لاپلاس صدق کند و همچنین شرایط مرزی اعم از شرط مرزی سطح جسم، شرط مرزی سطح آزاد و بستر دریا و شرط مرزی بینهایت، ارضا شود [9]. با استفاده از اصل برهم نهی پتانسیل ها می توان بیان داشت که پتانسیل کلی از سه ترم پتانسیل موج برخوردی، پتانسیل موج متفرق شده و پتانسیل حاصل از ۶ درجه آزادی جسم در آب ساکن به وجود می آید. به جمع پتانسیل حاصل از موج و پتانسیل حاصل از تفرق موج، پتانسیل فرود-کریلف می گویند:

$$\phi_t = \phi_I + \phi_D + \sum_{R=1}^6 \phi_R \quad (1)$$

ϕ_I پتانسیل موج برخوردی، ϕ_D پتانسیل موج متفرق شده و ϕ_R پتانسیل حاصل از ۶ درجه آزادی حرکت جسم در آب ساکن می باشد.

بدست آوردن تابع پتانسیل برای جریان نامتراکم، غیر ویسکوز و غیر چرخشی از حل معادله لاپلاس بدست می آید که به صورت زیر بیان می شود:

$$\nabla^2 \phi = 0 \quad \text{or} \quad \frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial z^2} = 0 \quad (2)$$

هم زمان با برقراری معادله لاپلاس، شرایط مرزی مسئله نیز باید ارضا شود و در نهایت تابع پتانسیل استخراج شود. فشار سیال روی سازه در نرم افزار Moses از دو ترم فشار هیدرواستاتیکی و فشار هیدرودینامیکی تشکیل شده است. تغییرات زمانی پتانسیل، عامل ایجاد نیروهای هیدرودینامیکی می باشد. با عنایت به این موضوع، فشار کلی از طریق رابطه زیر بدست می آید:

$$\frac{p}{\rho} = -gz - \frac{\partial \phi}{\partial t} \quad (3)$$

فشار هیدرودینامیکی نیز با توجه به معادله (۴) قابل محاسبه می باشد.

$$p_h = -i \omega \rho \phi \quad (4)$$

با گرفتن انتگرال سطح از توزیع فشار اطراف سازه (تئوری تفرق)، نیروهای هیدرودینامیکی روی بدنه سازه از طریق منوی Hydrodynamic بدست خواهد آمد. در این قسمت، نرم افزار Moses تمامی ضرایب هیدرودینامیکی مانند جرم افزوده، ماتریس میرایی و دیگر مشخصات هیدرودینامیکی را بدست آورده و ذخیره می نماید. در نرم افزار Moses با توجه به نیروهای هیدرودینامیکی بدست آمده و مشخصات سازه، پاسخ RAO سازه با کاربرد معادلات حرکت سازه با شناوری آزاد برای حرکات صفحه افقی بدست می آید. اما برای حرکات صفحات قائم، سختی ناشی از تاندون ها در استخراج نمودار RAO در معادلات حرکت سازه مدنظر قرار می گیرد. میرایی ویسکوز تنها پارامتری است که در تعیین نمودار RAO در محاسبات Moses لحاظ نمی شود [8]. معادلات حرکت سازه برای استخراج نمودار RAO به صورت زیر می باشد [8]:

$$\sum_{k=1}^6 \left[(M_{jk} + A_{jk}) \ddot{X}_k + B_{jk} \dot{X}_k + C_{jk} X_k \right] = F_j(t) \quad (5)$$

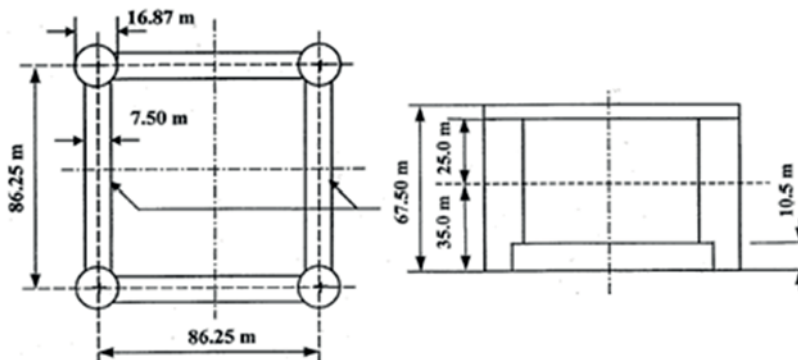
که M_{jk} جرم سازه، A_{jk} جرم افزوده سازه، B_{jk} ضریب میرایی، C_{jk} ضریب فنریت (نیروهای بازگرداننده)، X میزان جابجایی بدنه، F_j نیروی محرک خارجی می باشد. در هر درجه آزادی ضرایب معادله حرکت در پیوندهای مختلف محاسبه شده، سپس معادله در هر درجه آزادی و برای پیوندهای مختلف حل می شوند. بدین صورت برای هر درجه آزادی جداول یا منحنی های RAO در مقادیر پریرود یا فرکانس بدست می آید. RAO ها به عنوان توابع انتقال برای محاسبه مقادیر صریح پاسخ حرکتی سازه از روی طیف امواج محیطی (در تحلیل حوزه فرکانس) به کار می روند.

$$S_z(\omega) = RAO^2 \times S_\zeta(\omega) = |H_{z\zeta}(\omega)|^2 S_\zeta(\omega) \quad (6)$$

که $S_\zeta(\omega)$ طیف امواج محیطی و $S_z(\omega)$ طیف پاسخ سازه می باشد.

ملاحظات ابعادی سکوی پایه کششی ISSC TLP

جدول ۱، مشخصات سکوی ISSC TLP به همراه تاندون های متصل به آن را نشان می دهد. شکل ۲ به ترتیب از چپ به راست پلان و نمای این سکو را ارائه می دهند.

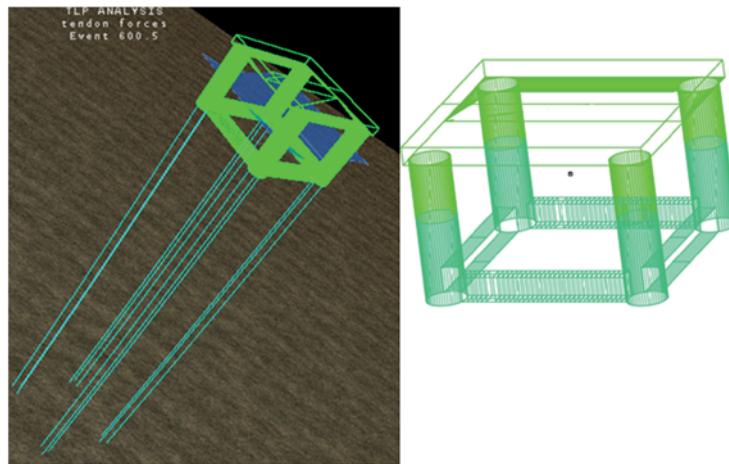


شکل ۲: ابعاد سکوی ISSC TLP

جدول ۱: مشخصات سکوی ISSC TLP به همراه تاندون

آبخور	35 m
(B) جابجایی	$54.5 \times 10^6 \text{ kg}$
(M) جرم	$40.5 \times 10^6 \text{ kg}$
(I_{44}) ممان اینرسی حرکت رول	$82.37 \times 10^9 \text{ kg.m}^2$
(I_{55}) ممان اینرسی حرکت پیچ	$82.37 \times 10^9 \text{ kg.m}^2$
(I_{66}) ممان اینرسی حرکت یاو	$98.07 \times 10^9 \text{ kg.m}^2$
ارتفاع مرکز ثقل بالای کیل	38 m
(n) تعداد تاندون ها زیر هر ستون	1
شعاع خارجی تاندون	0.50m
شعاع داخلی تاندون	0.3434m
(L) طول تاندون	415m
پیش کشیدگی هر تاندون	3.43E 7 N
(E) مدول یانگ تاندون	$2.1E 11 \text{ N/m}^2$
($\frac{AE}{L}$) سختی محوری هر تاندون	$2.1E 8 \text{ N/m}$

جدول ۱ مشخصات تاندون های سکوی برای حالتی که یک تاندون زیر هر ستون قرار گرفته شده باشد را ارائه می دهد. برای مدلسازی این سکوی در نرم افزار Moses از ۳ تاندون زیر هر ستون با مدول یانگ فولاد استفاده شده است. بنابر این مساحت هر تاندون زیر هر ستون برای مدلسازی در نرم افزار Moses، یک سوم مساحت تاندون ها در جدول ۱ می باشد. شکل ۳ نمای سه بعدی سکوی ISSC TLP همراه با 12 تاندون را در نرم افزار Moses نشان می دهد.



شکل ۳: نمای سه بعدی سکوی ISSC TLP همراه با تاندون در Moses

دوره های تناوب طبیعی سکوی

دوره های تناوب طبیعی متغیرهای مهمی در ارزیابی دامنه های نوسان حرکت سکوی یا کشتی هستند. اگر سازه ها با دوره های تناوب نوسان در نزدیکی دوره ی تناوب تشدید تحریک شوند، امکان وقوع حرکات نسبتا بزرگ وجود دارد. به هر حال اگر دمپینگ بالا باشد یا تراز تحریک به دلیل اثرات کنسل شدن نسبتا پایین باشد ممکن است تشخیص پاسخ در دوره های تناوب تشدید از پاسخ در دوره های تناوب دیگر مشکل باشد. دوره ی تناوب طبیعی در حرکت هیو برای یک سکوی پایه کششی بر اساس معادله (۷) بدست می آید [10]:

$$T_{33} = 2\pi \sqrt{\frac{M + A_{33}}{nAE / L + \rho g A_w}} \quad (7)$$

که در آن E و A و L و n به ترتیب مدول الاستیسیته و مساحت سطح مقطع تاندون، طول آن و تعداد تاندون ها است. پریود طبیعی رول و پیچ را نیز می توان از معادله (۸) بدست آورد [11].

$$T_{44} = 2\pi \sqrt{\frac{I_{44} + A_{44}}{n \frac{AE}{L} \cdot l^2 + B GM_T}} \quad (8)$$

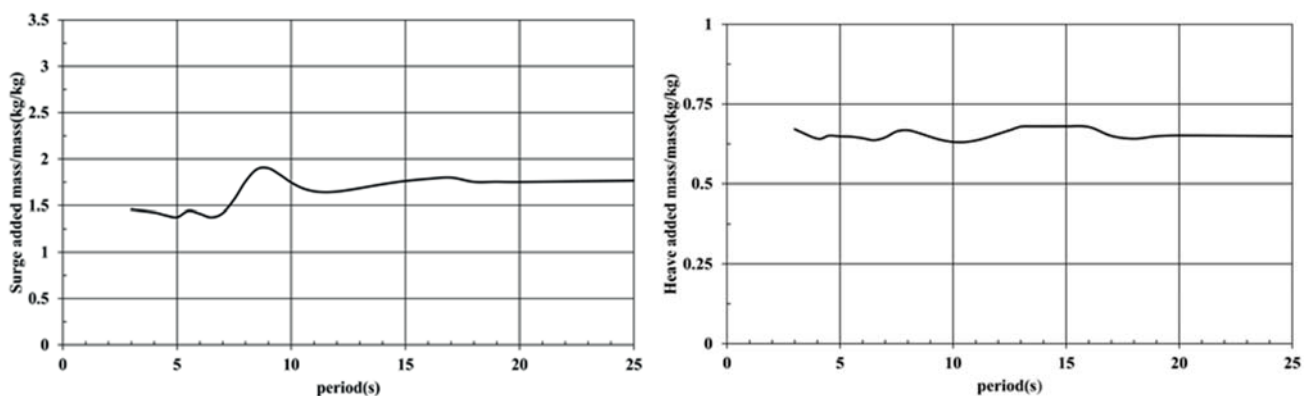
در این فرمول B نیروی بویانسی، GM_T ارتفاع متاسنتری عرضی سکو می باشد که برای ISSC TLP برابر ۶ متر است و l نصف عرض سکو می باشد. I_{44} ممان اینرسی حرکت رول و A_{44} ممان اینرسی افزوده حرکت پیچ می باشد. پرپود طبیعی حرکت سرج و اسوی از معادله (۹) به صورت تقریبی بدست می آید [1]:

$$T_{11} = 2\pi \sqrt{\frac{M + A_{11}}{C_{11}}} \rightarrow T_{11} = 2\pi \sqrt{\frac{M + A_{11}}{p/L}} \quad (9)$$

A_{11} جرم افزوده تقریبی سکو در راستای سرج و اسوی و p مقدار پیش کشیدگی در سکو که توسط تاندون ها تحمل می شود می باشد. پرپود طبیعی حرکت یاو نیز از معادله (۱۰) تقریب زده می شود [1].

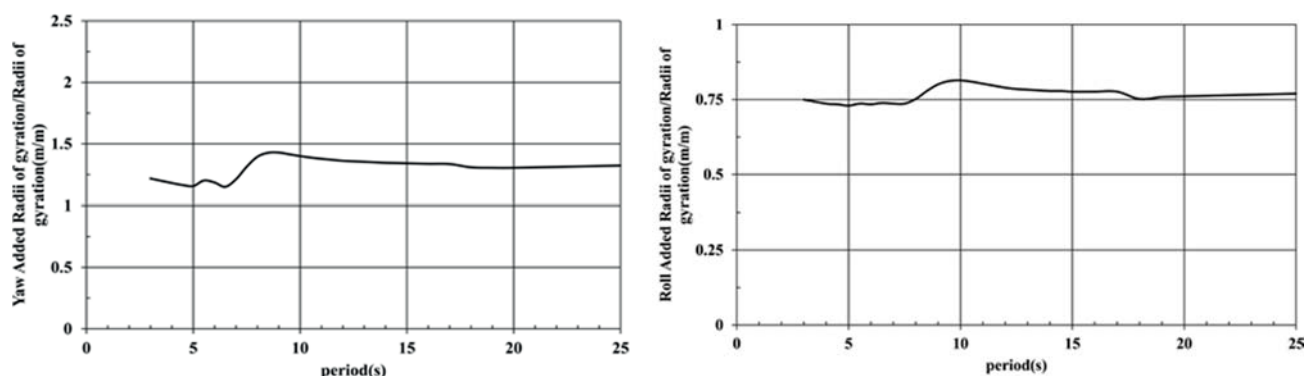
$$T_{66} = 2\pi \sqrt{\frac{I_{66} + A_{66}}{C_{66}}} \rightarrow T_{66} = 2\pi \sqrt{\frac{I_{66} + A_{66}}{2D^2 p/4L}} \quad (10)$$

در اینجا I_{66} ممان اینرسی یاو سکو، A_{66} ممان افزوده تقریبی سکو در راستای یاو و D فاصله مرکز تا مرکز ستون ها می باشد. دلیل این که پرپود طبیعی سکو در حرکات تطبیقی به صورت تقریبی بدست می آید این است که این پرپود طبیعی این حرکات وابسته به تغییر مکان در آن راستا می باشد و فرمول ثابتی برای آن ها در نظر گرفته نشده است. جهت تعیین پرپود طبیعی حرکات خطی و زاویه ای TLP به ترتیب به جرم افزوده حرکات خطی و ممان اینرسی افزوده حرکات زاویه ای نیاز می باشد که مقادیر آن ها از نرم افزار Moses استخراج شده است. شکل ۴ نمودار نسبت جرم افزوده به جرم سکوی ISSC TLP در راستای سرج (اسوی) و هیو را در پرپودهای مختلف امواج نشان می دهد.



شکل ۴: نمودار نسبت جرم افزوده حرکت هیو (سمت راست) و سرج (سمت چپ) به جرم سکوی ISSC TLP در پرپودهای مختلف امواج

همانطور که ملاحظه می شود مقدار نسبت جرم افزوده به جرم سکو در راستای هیو و سرج در اکثر پرپود امواج به ترتیب برابر ۰/۶۳ و ۱/۷ می باشد. شکل ۵ نمودار نسبت شعاع ژیراسیون افزوده به شعاع ژیراسیون اولیه ISSC TLP در راستای رول (پیچ) و یاو را در پرپودهای مختلف امواج نشان می دهد.



شکل ۵: نمودار نسبت شعاع ژیراسیون افزوده حرکت رول (سمت راست) و یاو (سمت چپ) به شعاع ژیراسیون اولیه سکو در پرپودهای مختلف امواج

با عنایت به شکل ۵ مشاهده می شود که با در نظر گرفتن عدد 0.77 ، برابر با نسبت شعاع ژیراسیون افزوده به شعاع ژیراسیون اولیه ($45/1$ متر)، شعاع ژیراسیون افزوده حرکت رول و پیچ سکو در پریودهای مختلف برابر عدد $34/7$ متر می باشد.

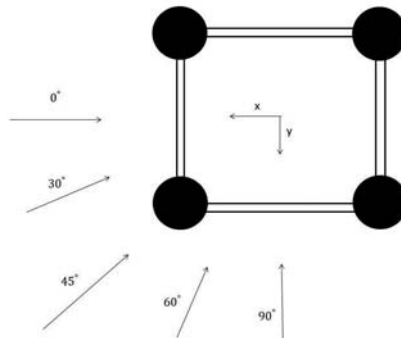
با عنایت به شکل ۵ مشاهده می شود که با در نظر گرفتن عدد $1/28$ ، برابر با نسبت شعاع ژیراسیون افزوده به شعاع ژیراسیون اولیه ($49/1$ متر)، شعاع ژیراسیون افزوده حرکت یاو در پریودهای مختلف برابر عدد $62/8$ متر می باشد. با بدست آوردن ممان اینرسی افزوده حرکات رول و پیچ و یاو و بدست آوردن جرم افزوده حرکات سرچ و اسوی و هیو و جایگذاری مقادیر بدست آمده در فرمولهای (۷) و (۸) و (۹) و (۱۰) مقادیر پریود طبیعی حرکات در ۶ درجه آزادی به صورت جدول ۲ بدست می آید.

جدول ۲: پریود طبیعی حرکات ۶ درجه آزادی سکوی ISSC TLP برای عمق ۴۵۰ متر

حرکات سکوی پایه کششی ISSC TLP	پریود طبیعی
سرچ	113 s
اسوی	113 s
هیو	1.8 s
رول	1.9 s
پیچ	1.9 s
یاو	89 s

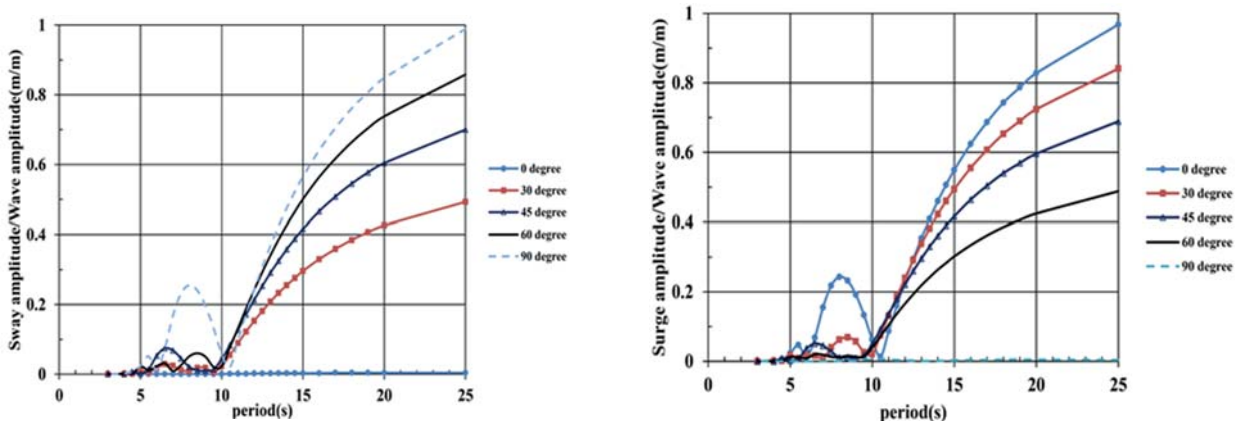
بررسی رفتار سکو در زوایای مختلف برخورد امواج (RAO)

جهت بررسی رفتار سکوی پایه کششی در زوایای برخورد موج، سکوی پایه کششی ISSC TLP در برابر امواج با پنج زاویه برخورد 0° و 30° و 45° و 60° و 90° قرار گرفته است و در نهایت نمودارهای RAO شش درجه آزادی حرکت با هم مقایسه شده اند. شکل ۶ نحوه برخورد امواج با این سکو در عمق ۴۵۰ متر را نشان می دهد.



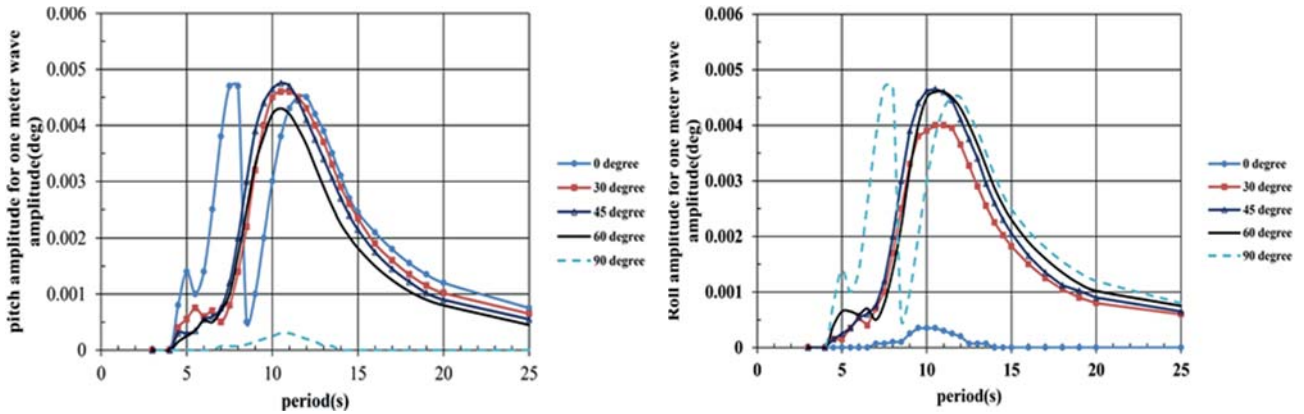
شکل ۶: نحوه برخورد امواج در زوایای مختلف به سکو

شکل ۷ نمودار RAO حرکات سرچ و اسوی سکوی ISSC TLP در عمق ۴۵۰ متر را نشان می دهد.



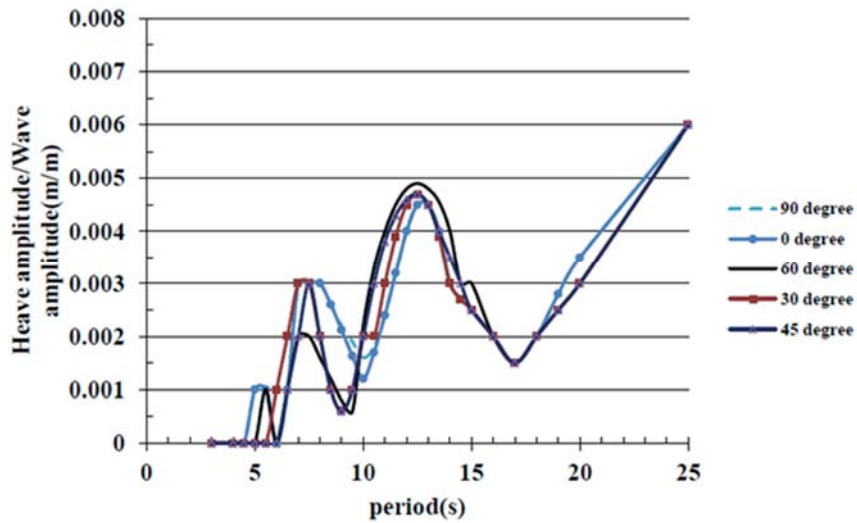
شکل ۷: مقایسه RAO حرکت سرچ (سمت راست) و اسوی (سمت چپ) در زوایای مختلف برخورد موج

شکل ۸ نمودار تغییرات زاویه رول و پیچ سکوی ISSC TLP در برخورد با موج با دامنه ۱ متر در عمق ۴۵۰ متر را نشان می دهد.



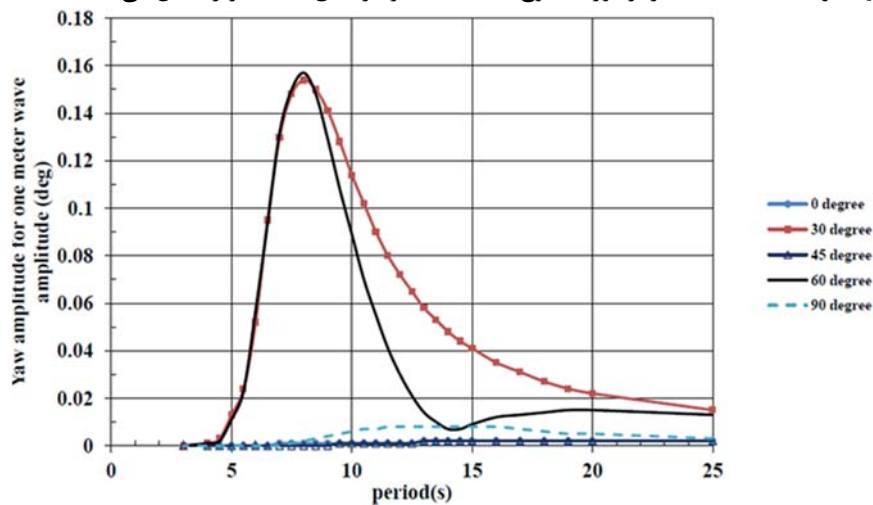
شکل ۸: تغییرات زاویه رول (سمت راست) و پیچ (سمت چپ) سکو برای زوایای برخورد مختلف موج با دامنه ۱ متر

شکل ۹ نمودار RAO حرکت هیو سکوی ISSC TLP در عمق ۴۵۰ متر را نشان می دهد.



شکل ۹: RAO حرکت هیو سکوی ISSC TLP در برخورد با زوایای مختلف امواج

شکل ۱۰ تغییرات زاویه یاء سکوی ISSC TLP در برخورد با موج با دامنه ۱ متر در عمق ۴۵۰ متر را نشان می دهد.



شکل ۱۰: تغییرات زاویه یاء سکو برای زوایای برخورد مختلف موج با دامنه ۱ متر

همانطور که در شکل ۷ مشخص است دامنه سرج سکو با افزایش زاویه برخورد از ۰ تا ۹۰ درجه کم می شود همچنین در هر زاویه برخورد موج، با افزایش پریود موج و متناسب با افزایش طول موج، دامنه حرکت سرج هم رفته رفته بیشتر می شود به طوری که برای زاویه برخورد صفر درجه، در طول موج های بالا دامنه حرکت سرج تقریباً نزدیک دامنه امواج می باشد. در زوایای برخورد ۰ تا ۳۰ درجه، پدیده گیرافتادگی موج (افزایش ناگهانی در پریود نزدیک ۸ ثانیه) کاملاً مشهود می باشد. در زاویه ۳۰ درجه نیروی حاصل از پدیده گیرافتادگی موج در راستای سرج نسبت به زاویه ۰ درجه کم تر می باشد بنابراین این نسبت دامنه حرکت سرج به دامنه موج در پریود گیر افتادگی نیز کم تر خواهد بود. علت این امر این است که در زاویه ۰ درجه، موج با تمام انرژی خود به صورت عمود بر سازه برخورد می کند و تمام نیروی آن در راستای X با توجه به شکل ۶ به سکو وارد می شود اما در زاویه برخورد ۳۰ درجه مولفه افقی نیروی موج در راستای X کم تر از نیروی موج در زاویه برخورد ۰ درجه می باشد و این موج نیز یک مولفه نیرو در راستای Y دارا می باشد که سبب حرکت اسوی می شود. در زاویه برخورد ۶۰ درجه نیز، مولفه نیرو در راستای X بسیار کم می باشد به طوری که دیگر پدیده گیرافتادگی موج جابجایی زیاد در راستای سرج ایجاد نمی کند و افزایش ناگهانی رخ نمی دهد.

با افزایش پریود موج از بعد از پریود گیرافتادگی موج (۸ ثانیه) برای زاویه برخورد موج ۳۰ و ۴۵ و ۶۰ درجه دامنه حرکت یابو کاهش پیدا می کند. این کاهش به این دلیل می باشد که در پریود های بالای موج، سکو حرکت در طول موجی چندین برابر ابعاد خود را تجربه می کند که سکو روی بخش کوچکی از موج قرار می گیرد و مانند حرکت در آب آرام ممان یابو بسیار اندک خواهد بود و در نهایت دامنه دوران یابو کاهش پیدا می کند. علت افزایش ناگهانی در پریود ۸ ثانیه همان پدیده گیر افتادگی موج می باشد که باعث افزایش ممان یابو می شود و دامنه حرکت یابو را افزایش می دهد. با توجه به متقارن بودن سکو و مربعی بودن آن، در زوایای برخورد موج ۰ و ۴۵ و ۹۰ درجه به علت این که توزیع فشار در اطراف سکو متقارن می باشد، ممان یابو تقریباً صفر می شود بنابراین دامنه حرکت یابو در پریودهای مختلف موج کاملاً اندک و تقریباً صفر می باشد.

RAO حرکت هیو همانطور که در شکل ۹ مشخص شده است دارای نوسانات زیادی می باشد. این نوسانات به علت نیروی موج در راستای حرکت هیو می باشد. در صورتی که امواج به گونه ای با سازه برخورد داشته باشند که قله موج روی دو ستون یک سمت و قعر موج روی دو ستون سمت دیگر باشد، نیروی حاصل از امواج یکدیگر را در راستای هیو خنثی می کنند. در پریود نزدیک ۱۶ ثانیه موج نیز کاهش ناگهانی (مینیمم) در RAO هیو رخ داده است که ناشی از پدیده کنسل شدن نیروهای روی پانتونها و ستونها می باشد به این صورت که نیروهای روی پانتون ها و ستون ها یکدیگر را خنثی می کنند.

با توجه به شکل ۸ در زاویه برخورد ۹۰ درجه در پریود ۸ ثانیه پدیده گیرافتادگی موج باعث افزایش ناگهانی در نمودار RAO می شود که این پدیده در زوایای دیگر زیاد محسوس نیست. در زاویه ۹۰ درجه نیز کمترین مقدار ممان پیچ به سازه اثر می کند. نمودار RAO رول سکو در زاویه برخورد موج ۳۰ و ۴۵ و ۶۰ درجه با نمودار RAO پیچ سکو در زاویه برخورد موج به ترتیب ۶۰ و ۴۵ و ۳۰ درجه تطابق خوبی را دارا می باشد. این مهم به علت متقارن بودن سکو در راستای سرج و اسوی می باشد.

نتیجه گیری و جمع بندی

نرم افزار Moses قابلیت مدلسازی سازه های فراساحلی به همراه خطوط مهار را به صورت کاملاً مناسب دارا می باشد. این نرم افزار از روش المان مرزی جهت استخراج خروجی های مد نظر هیدرودینامیکی و سازه ای برای هر نوع سازه مهار شده استفاده می کند. کلیه پارامترهای مهم سازه ای اعم از نیروها در اتصالات و خستگی در شناورها و تنش ها در نقاط خاص سازه به راحتی در این نرم افزار قابل ارزیابی است. این نرم افزار قابلیت مدلسازی چندین سازه ساحلی و فراساحلی به صورت همزمان در یک محیط دریایی در معرض باد و جریان را دارا می باشد. ارزیابی سکوی پایه کششی در این نرم افزار جامع به راحتی امکان پذیر می باشد. با توجه به نتایج ارائه شده از RAO حرکات شش درجه آزادی و پریود های این حرکات به راحتی می توان به تطبیقی بودن حرکات در صفحه افقی پی برد. به علت مهار شدن این سکو در راستای قائم توسط تاندون ها، دیگر پدیده تشدید که در اکثر سازه های مهار نشده قابل رویت می باشد، رخ نمی دهد. امواج در شرایط دریایی اصولاً دارای پریود ۳ ثانیه تا ۲۰ ثانیه می باشند که همانطور که در نمودار RAO حرکات در شش درجه آزادی رویت شد تحریک ناهنجاری در سازه ایجاد نمی کند زیرا پریود حرکات سخت کم تر از این بازه و پریود حرکات تطبیقی بیشتر از این بازه ی پریود موج می باشد. تنها عاملی که اندکی سازه TLP را تحت تاثیر خود قرار می دهد پدیده گیرافتادگی موج می باشد که این پدیده نیز تاثیری در حرکت هیو سکو نمی گذارد. در حرکات تطبیقی نیز همانطور که در نمودارهای RAO رویت می شود افزایش زاویه برخورد موج، نیروی حاصل از امواج در اعمال حرکت سازه ISSC TLP را تحت تاثیر قرار داده و کاهش می دهد و به این دلیل دامنه RAO در اغلب نمودار ها کاهش پیدا می کند. پدیده گیر افتادگی موج نه تنها حرکات سرج و اسوی سکو را تا حدی که نشان داده شد افزایش می دهد بلکه تاثیر اندکی بر حرکات زاویه ای سکو در زوایای برخورد مختلف موج نیز می گذارد. در نهایت پدیده کنسل شدن نیروهای روی ستون ها و پانتون ها، دامنه حرکت هیو در امواج با پریودهای بالا را نیز تا حد مطلوبی کاهش می دهد.

- [1] Tan S. Gie, W.C. de Boom, "The Wave Induced Motion of Tension Leg Platform in Deep Water," Offshore Technology Conference, 1981.
- [2] Ney Roitman, Ricardo F.M. Andrade, Ronaldo C. Batista, "Dynamic Response Analysis of Small-Scale Model Tension Leg Platform," Elsevier Science Publishers Ltd. England, 1992.
- [3] Zeng Xiao-hui, Shen Xiao-Peng, WU 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.
- [4] تاجعلی، زهرا، "بررسی رفتار هیدرواستاتیکی و هیدرودینامیکی اسکله های شناور زنجیره ای"، پایان نامه کارشناسی ارشد عمران، تهران، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۳۸۷.
- [6] گلپور، حمید، شفیعی فر، مهدی، "بررسی میزان تاثیر مشخصات هندسه ی سکوهای نیمه شناور در رفتار حرکتی آن ها"، چهارمین کنگره ملی مهندسی عمران، تهران، دانشگاه تهران، ۱۳۸۷.
- [7] تابش پور، محمدرضا، دهقارخوانیان، ودود، "اثر میراگر جرمی تنظیم شده (TMD) بر روی نوسانات قائم سکوی پایه کششی"، دوازدهمین همایش صنایع دریایی، زیباکنار، ۱۳۸۹.
- [8] Moses Reference Manual, Ultramarine Company, p 108-149, 2010.
- [9] R. Taylor, E.R. Jeffery, "Variability Of Hydrodynamic Load Prediction For A Tension Leg Platform," Ocean Engineering, Vol 13, No 5, pp 449-490, 1986.
- [10] O.M. Faltinsen, "Sea Loads on Ships and Offshore Structures, Cambridge University Press," 1998.
- [11] احمدی، علی، "مدلسازی عددی برهم کنش سکوی پایه کششی مرسوم و موج منظم به روش المان مرزی"، پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی دریا، تهران، دانشگاه شریف، ۱۳۹۱.