بررسی اثرات فصلی و درجات آزادی بر پاسخ دینامیکی و نیروهای وارده بر المان میتینگ برای نصب فلوت اور در خلیج فارس

عرفان عربشاهی [۱*] ، محمد کسائیان [۲و۳] ، ناصر شابختی [۴]

[۱] دانش آموخته دانشکده صنایع دریایی، دانشگاه آزاد علوم و تحقیقات ، erfanarabshahy@gmail.com
[۲] استادیار دانشکده انرژی، دانشگاه آزاد علوم و تحقیقات، kasaeyan.m@gmail.com
[۳] مدیریت، شرکت مدیریت و مهندسی رزموند صف، kasaeyan.m@gmail.com
[٤] استادیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، shabakhty@iust.ac.ir

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:
تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۹/۰۴/۱۰
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۰۶/۳۱

کلمات کلیدی:
نصب سکو
فلوت اور
المان میتینگ
پاسخ دینامکی
معادله کامینز

چکیده

این مقاله پاسخ دینامیکی و نیروهای وارده بر المان میتینگ برای شرایط جوی خلیج فارس در چهار فصل سال را بررسی می کند. مدلی برای نصب فلوت اور با شش درجه آزادی توسعه داده شده است تا پاسخ دینامیکی و نیروهای وارده بر المان میتینگ که نقش ضربه گیر را برای ضربات وارده ناشی از حرکات شناور و عرشه را ایفا می کند، بدست آورده شود. علاوه بر بدست آوردن پاسخ دینامیکی شناور و عرشه در دامنه فرکانسی، نیروهای وارده بر المان میتینگ در دامنه زمانی بدست آورده شده است. این نیروها برای بارگذاری ۱۰۰ درصدی برای شرایط محیطی متفاوت بدست آمده اند. نیروهای وارده در سه درجه آزادی انتقالی برای تاریخچه زمانی پنج دقیقه ای بر المان میتینگ محاسبه شده اند. در مدل هیدرودینامیکی ارتفاع موج مشخصه، پریود موج، سرعت و جهت باد به عنوان پارامترهای ورودی در نظر گرفته شدند. همچنین اثر افزایش درجات آزادی در تغییرات نیروهای مورینگ دیده شد. با توجه به نتایج حاصله از نیروهای وارد بر المان های میتینگ پیشنهاد می شود به دلیل کمتر بودن تغییرات نیروها، این نصب در فصل تابستان انجام شود و به منظور جلوگیری از طراحی بیش از حد و یا خطای احتمالی نیروهای مورینگ در هر شش درجه محاسبه شوند .

Evaluation of Seasonal Effects and degrees of freedom on Dynamic Response and Impact Forces on Leg Mating Unit in Persian Gulf

Erfan Arabshahy [1*], Mohammad Kasaeyan [2, 3], Naser Shabakhty [4]

[1] Graduate, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran; erfanarabshahy@gmail.com
[2] Assistant Professor, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran; kasaeyan.m@gmail.com
[3] Chairman, SAFF-ROSEMOND Engineering & Management Co.; kasaeyan.m@gmail.com
[4] Assistant Professor, Iran University of Science and Technology; shabakhty@iust.ac.ir

ARTICLE INFO

Article History:
Received: 30 Jun. 2020
Accepted: 21 Sep. 2020

Keywords:
Deck installation
Floatover
Leg mating unit
Dynamic response
Cummins equation

ABSTRACT

This paper evaluates the dynamic response and forces acting on the leg mating unit for the weather conditions in the Persian Gulf in the four seasons of the year. A six-degree-of-freedom model dedicated to the Floatover installation has been developed to provide a dynamic response and the forces acting on the leg mating unit, which acts as a shock absorber for the impacts caused by movements of the vessel. In addition to evaluating the dynamic response of the barge and deck in the frequency domain, the forces applied to the leg mating unit are obtained in the time domain. These forces have been obtained for 100% loading for different environmental conditions. The impact forces are assessed for a 2 minutes time history. In the hydrodynamic model, significant wave height, wave period, velocity, and wind direction were considered as input parameters. The effect of increasing degrees of freedom on the variations in Mooring forces was also considered. According to the results of the forces on the leg mating units, it is recommended that this installation be done in the summer due to the fewer changes in the forces, and to prevent overdesign conditions or possible failure, mooring forces be calculated in every six degrees.

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-09]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1399.16.32.12.3]
[DOI: 10.29252/marineeng.16.32.85]

۱ - مقدمه

به صـــورت کلی هر گونه فعالیت شـــامل تجهیز، راه لندازی و بهره برداری به جهت افزایش تولید و یا توســـعه ســـکوهای فراســـاحل، نیازمند به نصب عرشه بر سازه زیرین به عنوان بخشی حیاتی و مهم در این فرایند است. در نصب سازه های فراساحل مهمترین چالش انتقال بار عرشـه به شـکل ایمن و بدون وارد کردن شـوک بر جکت است. به صورت مرسوم نصب دریایی به دو روش نصب با جرثقیل و نصب با روش فلوت اور انجام شده است که روش آخر نسبتا جدید تر و با فرکانس بیشـتر در سـالهای اخیر مورد اسـتفاده قرار گرفته اسـت. در بسـیاری از موارد نصـب، وزن بالای عرشـه مهمترین عامل اثرگذار بر این فرایند اســـت و در موارد دیگر نبود تجهیزات کافی مانند جرثقیل.

در ایران به جهت فشار افزایی فازهای میادین پارس جنوبی، نصب سکوهایی با تجهیزات مناسب در دست بررسی است که این سکوها به علت وزن سنگین عرشه و نبود جرثقیل به روش جرثقیل قابل اجرا نیستند. روش فلوت اور نسبت به روش نصب با جرثقیل در حضور بارج و با انجام دقیق و درست فاز مدیریت و برنامه ریزی، از جنبه ی اقتصادی بسیار به صرفه تر است [۱].

برای اجرای درست عملیات فلوت اور، باید شبیه سازی های مفصل کامپیوتری انجام شود و اثرات پارامترهای محیطی برای هر منطقه به طور خاص بررسی شود. در این روش هدف، کاهش حداکثری نیروهای افقی و نیروهای عمودی با در نظر داشتن وضعیت دریا و عوامل اثرگذار محیطی در هر منطقه است تا در معرض محیط بودن کاهش و نصب به درستی اجرا شود. در دریاهای باز و بسته عوامل اثر گذار متفاوت هستند. به صورت کلی این عوامل اثر گذار، پارامترهای محیطی هستند [۲]. تاهر و همکاران در پژوهش خود که برای شرکت تکنیپ انجام شد توصیه کردند که برای اجرای درست و در نظر گرفتن تمامی جوانب، بررسی ها، محاسبات و سپس شبیه سازی های کامپیوتری برای هر منطقه انجام شود. این بررسی ها برای خلیج مکزیک، دریای شمال، آفریقای غربی انجام شده است و به طور مثال در دریای آفریقای غربی اثر موج دورا قابل ملاحظه است[۲]. البته تاکنون هیچ پژوهشی برای خلیج فارس صورت نگرفته است.

نصب فلوت اور به صورت کلی به صورت پیش رو انجام می شود و در هر مرحله باید ملاحظات مربوط به آن در نظر گرفته شود که ترتیب این مراحل بسته به امکانات شرکت های درگیر است. (الف) انتقال عرشه به شناور (ب) انتقال دریایی (پ) آماده سازی قبل از نصب (ت) پهلوگیری و داخل شدن شناور به داخل جکت (ث) قرارگیری شناور در موقعیت پیش مِیتینگ (ج) مِیتینگ عرشه یکپارچه و جکت (چ) قرارگیری شناور در موقعیت پس مِیتینگ (ح) خروج شناور از مرحله پهلوگیری [۳].

هو و همکاران در پژوهشی اثرات غیر خطی ناشی از دینامیک پیچیده، ضربات ناشی از چند جسم و وجود انتگرال کانولوشن را بررسی کردند که این بررسی برای مدلی با سه درجه آزادی صورت گرفت که در نتیجه این پژوهش ثابت شد که با جایگزین کردن انتگرال کانوولوشن با مدل فضای حالت باعث کاهش هزینه محاسبات می شود. همچنین در این مدل اثرات کوپل هیو و رول غالب است و بهترین زاویه برای مخروط المان میتینگ ۴۵ تا ۶۵ درجه بدست آمد ولی اثرات دیگر درجات آزادی دیده نشد [۴].

چن و همکاران اثر حذف کردن انتگرال کانولوشن را در سرعت محاسبات ارزیابی کردند و الگوی ضربات وارده را توسط نگاشت پوانکاره مورد ارزیابی قرار دادند که البته این پژوهش برای مدلی با یک درجه آزادی انجام شد و اثر ضربات تنها در یک حالت عمودی بررسی شد و پژوهشگران تاکید کردند که این نتایج تنها با در نظر گرفتن یک درجه آزادی بوده است و بررسی رفتار با در نظر گرفتن مدلی کاملتر توصیه شد [۵].

در پژوهشی مشابه و کاملتر چن و همکاران فرایند فلوت اور را با استفاده از مدلی سه درجه آزادی و با استفاده از مدل فنر برای مدل کردن المان میتینگ ارزیابی کردند. همچنین مدل کردن عرشه به صورت یک و دو جسم بررسی شدند. در پایان این پژوهش توصیه شد تا سه درجه دیگر نیز بررسی و همچنین اثر مورینگ و دیگر سیستم های کنترلی بر این فرایند ارزیابی شوند [۶].

سان و همکاران اثر دیفرکشن را برای زیر سازه های متفاوت بررسی کردند که در نهایت ثابت شد دیفرکشن برای جکت تفاوت چندانی ایجاد نمی کند اما در مورد اسپار اثر دیفرکشن محسوس و اساسی است. ازین رو در برخی از پژوهش ها جکت در مدلسازی هیدرودینامیکی مدل نشده است [۷].

در پژوهشی همراه با مطالعه موردی برای میدان نفتی Arthit در تایلند کوکامن و همکاران با استفاده از نرم افزار MOSES نیروهای عمودی در نصب فلوت اور را بدست آوردند که اینکار به صورت مدل کامپیوتر و تست مدل در آزمایشگاه انجام شد. این پژوهش نیز تنها نیروهای عمودی را در نظر گرفت و این نیروها را برای سه حالت بارگذاری بدست آوردند [۸].

در پژوهشی با رویکرد اجرایی و مشابه پژوهش قبل جونگ و همکاران فرایند نصب فلوت اور را برای عرشه ای به وزن حدود ۶۳۰۰ تن بررسی کردند و ضربات وارده را برای بارگذاری عمودی برای حالت های ۰، ۵۰ و ۱۰۰ درصدی بدست آوردند. رویکرد مقاله بر لزوم برابری مجموع بارها در المان میتینگ بود. در این پژوهش تنها بار های عمودی محاسبه شد و اثر درجات آزادی دیگر بررسی نشد [۹].

پژوهش حاضـر براسـاس پیشـنهاد مطالعات پیشـین مبنی بر لزوم برآورد حرکات در شـش درجه آزادی و اهمیت اعمال محاسـبات در هر منطقه جغرافیایی، دو هدف اصلی را دنبال می کند. ابتدا تحلیل

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-09]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1399.16.32.12.3]
[DOI: 10.29252/marineeng.16.32.85]

فرایند نصب فلوت اور به صورت شش درجه آزادی و ارزیابی پاسخ دینامیکی شناور و نیروهای وارده برالمان میتینگ و سپس ارزیابی این نصب در شرایط محیطی خلیج فارس در چهار فصل سال. همچنین نیروهای مورینگ در شرایط برابر خارجی برای دو مدل سه و شش درجه آزادی مقایسه شده اند.

پیکربندی مقاله به این صورت است که :

در بخش ۲ روش شناسی پژوهش، معادلات و روش های استفاده شده معرفی شد. همچنین مدل و هندسه مساله و شرایط محیطی آن نیز ارائه شد. در بخش ۳ نتایج مدل شامل حرکات در دامنه فرکانسی و نیروها در دامنه زمانی برای چهار فصل مورد مطالعه آورده شد. در ادامه این بخش اثر و اهمیت مدل با شش درجه آزادی در محاسبه نیروهای مورینگ دیده شد. و در نهایت بخش ۴، نتیجه گیری نهایی پژوهش مشخص شد.

۲ - روش شناسی

۲ – ۱ - مدل حرکات شناور و نیرو های ناشی از عرشه

ارزیابی حرکات و نیروهای وارده بر سیستم درگیر در نصب فلوت اور با استفاده از معادله کامینز انجام می پذیرد [۱۰]. این معادله در تاریخچه زمانی و با در نظر گرفتن عبارات غیر خطی حل می شود. حل این معادله به دلیل داشتن انتگرال کانوولوشن بسیار زمان بر است. در این معادله $x(t)$ بردار درجات آزادی شناور است که در این مقاله به جهت ارزیابی حداکثر حرکات شناور هر شش درجه آزادی در نظر گرفته شد. این معادله برای جسم شناور و بدون سرعت رو به جلو به فرم زیر است:

$$[M + A(\infty)]\ddot{x}(t) + \int_0^t h\,(t-\tau)\dot{x}(\tau)d\tau + Kx(t) = f^E(t) \quad (۱)$$

در معادله (۱)، M ماتریس جرم سیستم و $A(\infty)$ ماتریس جرم افزوده فرکانس بی نهایت هستند. عبارت دوم در این معادله انتگرال کانولوشن است و در آن h تابع تاخیر[۱] است. که به جهت افزایش سرعت محاسبه به صورت عددی جایگزین می شود [۱۱]. K نیز ماتریس سختی هیدرواستاتیک سیستم است. سمت راست این معادله نیروهای تحریک و مجموع نیروهای خارجی است.

اگیلوی با استفاده از تبدیل فوریه معادله (۱) را در دامنه فرکانسی درنظر گرفت که در آن ترم های انتگرال کانوولوشن حذف شدند [۱۲]. این معادله در پیش رو آورده شده است.

$$\hat{x}(j\omega)\{-\omega^2[M + A(\omega)] + j\omega B(\omega) + K\} = \hat{f}(j\omega) \quad (۲)$$

در این معادله $\hat{x}(j\omega)$ و $\hat{f}(j\omega)$ تبدیل های فوریه $x(t)$ و $f^E(t)$ هستند. $A(\omega)$ و $B(\omega)$ ضرایب هیدرودینامیکی و به ترتیب جرم افزوده و میرایی تشعشعی هستند. بدست آوردن ضرایب و حل معادله با استفاده از نرم افزار MOSES انجام پذیر است. اگیلوی همچنین رابطه بین ضرایب را در معادله (۱) و (۲) را بدست آورد.

در تحلیل فرایند نصب فلوت اور طول آبخور شناور به تدریج افزایش می یابد تا به نقطه انتهایی از پیش تعیین شده برسد. بدین سبب معادله فوق هم وابسته به زمان از نظر این است که نیروها ماهیتا واسبته به زمان اند و هم از این نظر که حتی با ثابت بودن شرایط خارجی کاهش ارتفاع شناور باعث تغییر در مساله می شود [۱۳].

۲ – ۲ - عملگر دامنه پاسخ

عموما به دلیل سهولت و خطی بودن، مطالعه و بررسی حرکات شناور در دامنه فرکانس مورد بررسی قرار می گیرد. بر اساس این تحلیل خطی حرکات شناور ناشی از امواج نامنظم با جمع پاسخ های شناور در مقابل امواج منظم و هارمونیک با فرکانس های متفاوت و جهات مختلف بدست می آید. برای بررسی حرکات شناور در برابر موج هارمونیک از مدل جرم و فنر استفاده می شود. بر اساس این مدل RAO شناور با حل معادله حرکت بدست می آید [۱۴]. بر اساس معادله حرکت حرکات برای ۶ درجه آزادی با حل برای X بدست می آید.

$$\{-\omega^2 \cdot (M + A(\omega)) + i\omega \cdot B(\omega) + C\} \cdot X(\omega, dir) = F(\omega, dir) \quad (۳)$$

در معادله (۳)، M ماتریس جرم کشتی و $A(\omega)$ جرم افزوده هیدرودینامیکی است. C ماتریس سختی، $B(\omega)$ ماتریس میرایی هیدرودینامیکی، $F(\omega, dir)$ بردار نیروی هیدرودینامیکی و $X(\omega, dir)$ ماتریس حرکات کشتی برای فرکانس و جهت موج است. نیروهای موج هیدرودینامیکی برای موج واحد با دامنه ζ محاسبه می شوند.

$$RAO(\omega, dir) = \{-\omega^2 \cdot (M + A(\omega)) + i\omega \cdot B(\omega) + C\}^{-1} \cdot F(\omega, dir) \quad (۴)$$

۲ – ۳ – مدل و هندسه مساله

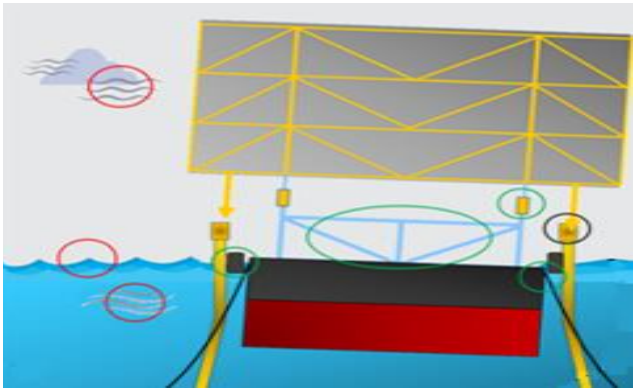
به صورت کلی المان ها و مولفه های درگیر در نصب فلوت اور و شامل شناور، سیستم های کنترلی و سازه های پشتیبان عرشه است. در پروژه های نصب فلوت اور و عموما از یک شناور T شکل برای تامین شناوری استفاده می شود. عملیات پایین آوردن عرشه به تدریج به سه روش استفاده از پمپ، استفاده از جک و استفاده ترکیبی به

[۱] Retardation function

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-09]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1399.16.32.12.3]
[DOI: 10.29252/marineeng.16.32.85]

همراه سیستم های کنترلی ضربه گیر انجام می گیرد. این پژوهش با فرض استفاده از پمپ انجام شده است. در ابتدای فرایند و با فرض کم بودن نیروهای خارجی، مساله شبیه شرایط استاتیکی است که در عمل این حالت غیرممکن است. اما در شرایط واقعی (شکل ۱ - الف) با وجود تغییرات در شـــرایط محیطی مانند موج و باد و پایین آمدن شـــناور نیروهایی که ماهیت ضـــربه ای دارند به المان های میتینگ وارد می شـود. در این میان سـیسـتم های کنترلی مانند مورینگ، فندرها و سازه پشـتیبان نقش عمده ای در کاهش ضربات ایفا می کنند. این تغییرات و حرکات و نیروهای ضـــربه ای وارد بر المان میتینگ به صورت شـماتیک در شـکل (۱ - الف) نشـان داده شده است. در شکل (۱ - الف) عوامل خارجی با دایره قرمز سیستم های کنترلی با دایره سبز و المان های میتینگ با دایره سیاه نشان داده شده اند. همچنین در شکل (۱ - ب) پیکربندی نصب فلوت اور در مرحله پیش میتینگ نشان داده شده است.

(الف)

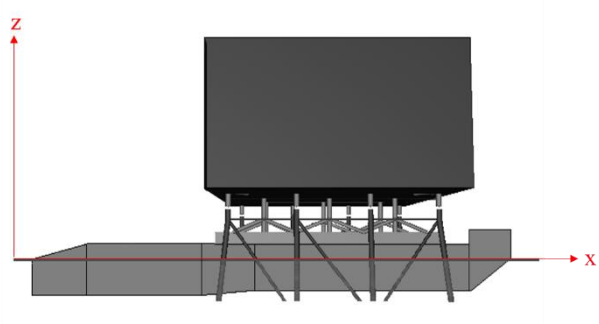


(ب)



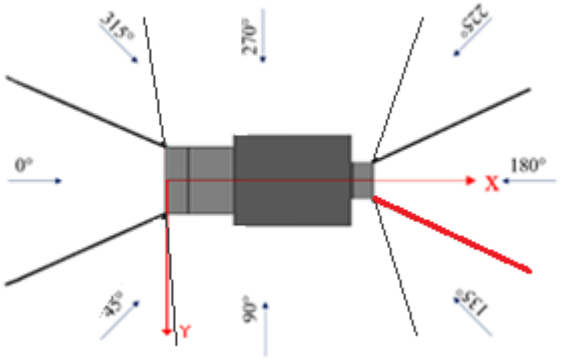
شکل ۱ – فرایند نصب فلوت اور
(الف) عوامل اثرگذار خارجی و المان های درگیر، (ب) شروع عملیات میتینگ با وارد شدن شناور در جکت [1]

در این پژوهش از شـناوری T شکل واقعی استفاده شده است. این شـــناور طولی برابر با ۱۳۰ و عرضـــی برابر با ۵۵ متر دارد. همچنین عرشه ای به وزن ۱۲۶۶۶ تن بر روی سازه پشتیبان عرشه شامل ۶ المان پشـتیبان عرشـه قرار گرفته اسـت که به صـورت شـماتیک در شـکل ۲ نشـان داده شـده اسـت. در برخی از پژوهش ها به دلیل اثر نداشـتن زیر سـازه جکت در نیروها، جکت مدل نمی شـود [۷]. در این پژوهش برای نتایج دقیق تر جکتی با ۸ پایه در انتهای المان های میتینگ قرار گرفته است.



شکل ۲ - مدل شناور-سازه پشتیبان –عرشه

همچنین به جهت کاهش حرکات جانبی از ۸ خط مورینگ استفاده شـده اسـت که چیدمان آن به صـورت شـماتیک در شـکل ۳ قابل مشاهده است.



شکل ۳ - چیدمان و پیکر بندی شماتیک خطوط مورینگ و جهات موج قراردادی

در این پژوهش شـــناور دارای شـــش درجه آزادی اســـت و المان میتینگ تنها سـه درجه آزادی انتقالی دارد که این مسـاله به دلیل هندسـه و شـکل المان میتنیگ است که در واقعیت چرخش را نمی پذیرد.

به جهت مدلسازی و شبیه سازی کامپیوتری از نرم افزار MOSES استفاده شـده اسـت. شـناور بر اسـاس مدل واقعی و به جهت در نظر گرفتن شـــرایط اثر گذار مانند آب شـــناوری با تمامی مخازن مدل شـــده اســـت. وزن شـــناور ۵۰۵۹ تن اســـت. به جهت پیش بینی و محاسـبه حرکات و نیروهای وارده بر المان میتینگ تحلیل تاریخچه زمانی سه بعدی استفاده شده است. از آنجا که نرم افزار MOSES

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-09]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1399.16.32.12.3]
[DOI: 10.29252/marineeng.16.32.85]

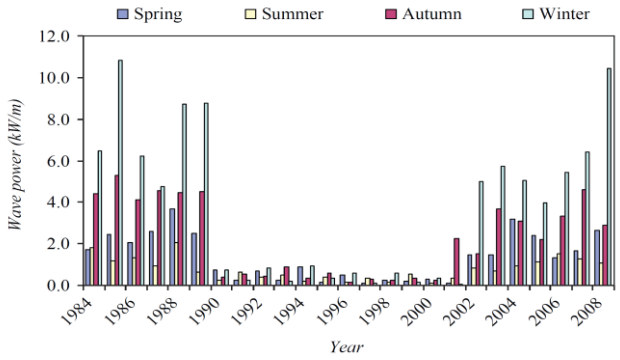
برای اتصال جسم ها از متصل کننده[۲] استفاده می کند، سه جسم شناور، عرشه و جکت به یکدیگر با استفاده از متصل کننده فنر مدل شده اند. از آنجا که در واقعیت المان میتینگ تنها ضربات را تحمل می کند، از فنر فشاری استفاده شده است. برای محاسبات هیدرودینامیکی از روش تفرق سه بعدی استفاده شده است. بدنه شناور، متشکل از صفحات پنلی مدل می شود. به جهت اینکه شناور به شکل نامنظم T شکل است، نرم افزار توصیه کرده است که طول پنل ها به صورت دستی تغییر کند. این کار به خصوص در ناحیه هایی که تغییر شکل وجود دارد، اهمیت دارد. عرشه نیز به شکل جسم صلب مدل شده است و تمامی صفحات خارجی سطوحی بادگیر را دارا هستند. خطوط مورینگ به صورت وایر مدل شده و به شکل کتنری[۳] و لنگر مهاری اند. خطوط مورینگ، پلیمری و به قطر ۱۲۰ میلیمتر هستند. وزن هر متر این خطوط برابر با ۵/۶ کیلوگرم است و آبی جذب نمی کند.

در این پژوهش نیز از فنر خطی برای مدل کردن المان میتینگ استفاده شده است. نرم افزار با محاسبه فشار وارده بر شناور و متعاقبا حرکات ایجاد شده، نیروی وارده را با به شکل برخورد دو نقطه بدست می آورد. این دو نقطه در نرم افزار با یک متصل کننده از نوع فنر فشاری تعریف شده اند. سختی فنر وابسته به طراحی المان میتینگ و مقدار فشردگی مخروط ضربه گیر به داخل بدنه المان میتینگ است. در این پژوهش سختی فنر بر مبنای فشردگی ۴۵ سانتی متری المان میتینگ محاسبه شده است. روند مدلسازی بر اساس راهنمای نرم افزار و پژوهش های پیشین دیگر [۸و۹] بوده است. نکته مهم در راستای محاسبات، لزوم چک کردن نیروها در تمامی المان های میتینگ است و مجموع نیروها باید حدودا با مجموع وزن عرشه برابر باشد[۹].

۲ – ۴ – شرایط محیطی در خلیج فارس

به پیشنهاد پژوهش تاهر و همکاران به منظور براورد شرایط محیطی در هر منطقه باید محاسبات و شرایط منطقه ای در هنگام این نصب برای براورد پاسخ دینامیکی لحاظ شوند [۲]. به همین دلیل هدف این تحقیق بررسی اثرات فصلی خلیج فارس در ضربات وارده بر المان میتینگ است. پژوهش حاضر از داده های بدست آمده از پژوهش کامرانزاد و همکاران برای داده های مربوط به ارتفاع موج مشخصه استفاده کرده است [۱۶]. بر این اساس داده های مربوط به انرژی موج برای سه ناحیه از خلیج فارس بدست آمده است که طی آن حداکثر انرژی موج در منطقه میانی خلیج فارس (در نزدیکی میدان پارس جنوبی) در شکل ۴ آمده است.

در معادله (۵) P انرژی موج، Hs ارتفاع موج مشخصه و T پریود موج است.



شکل ۴-انرژی موج در بازه ۲۵ ساله در طی فصول برای خلیج فارس [۱۶]

شکل ۴ حداکثر انرژی موج را در خلیج فارس طی ۲۵ سال نشان می دهد. با توجه به انرژی موج و با فرض پریود موج در دو حالت ۴ و ۶/۶ ثانیه که مقدار ماکسیمم و میانگین در خلیج فارس هستند، ارتفاع موج مشخصه برای هر فصل از معادله (۵) قابل محاسبه است.

$$P = \frac{1}{16}\rho g H_s^2 \times \frac{gT}{2\pi} \times 0.5 \approx 0.49 H_s^2 T \qquad (۵)$$

جدول ۱ -شرایط پریود و ارتفاع موج مشخصه خلیج فارس بر اساس انرژی موج

فصل	ارتفاع موج مشخصه(پریود=۶/۶) (m)	ارتفاع موج مشخصه(پریود=۴) (m)	انرژی موج (kW/m)
بهار	۱/۰۵	۱/۳۵	۳/۶
تابستان	۰/۸۰	۱/۰۳	۲/۰۹
پاییز	۱/۲۸	۱/۶۴	۵/۳
زمستان	۱/۸۳	۲/۳۵	۱۰/۸

با توجه به جدول ۱ هشت اجرا بر اساس ارتفاع موج مشخصه انجام شد. عملگر دامنه پاسخ برای شش درجه آزادی و نیروهای وارده به المان های میتینگ در سه طولی درجات آزادی محاسبه شد. در این اجرا ها برای هر فصل حالت اول به ازای پریود ۶/۶ ثانیه و حالت دوم به ازای پریود ۴ در نظر گرفته شده است.

[۲] connector

[۳] catenary

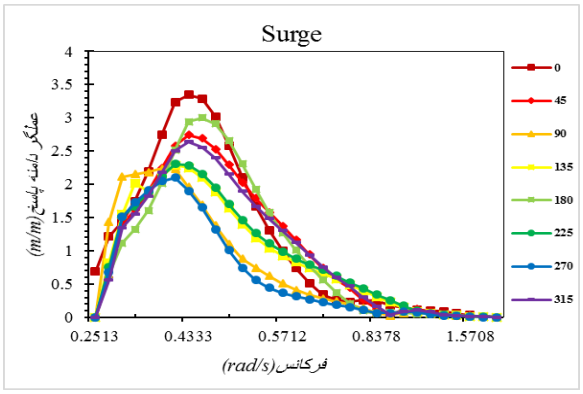
[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-09]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1399.16.32.12.3]
[DOI: 10.29252/marineeng.16.32.85]

۳ - نتایج و بحث

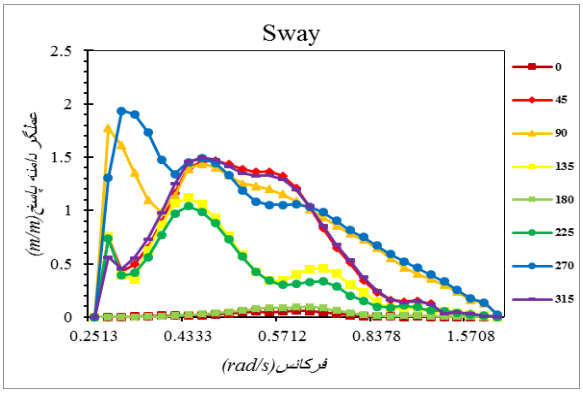
۳ – ۱ – حرکات در دامنه فرکانسی

شکل های ۵ و ۶ نتایج عملگر دامنه پاسخ برای به ترتیب حرکات طولی و زاویه ای، رفتاری تقریبا مشابه را برای زوایای موج قرینه با تفاوتی اندک نشان می دهد که این تفاوت ناشی از هندسه و اثر وزن شناور است. همچنین به علت تفاوت در زاویه لنگر ها و همچنین عدم متقارن بودن مرکز وزن عرشه در زاویه های ۹۰ و ۲۷۰ درجه اندکی تفاوت وجود دارد. در مطالعات پیشین مانند پژوهش چن و همکاران [۶]، حرکات افقی با فرض استفاده از سیستم های کنترلی نادیده گرفته شده اند و تنها حرکاتی که اثر عمودی دارند در مدل لحاظ شده اند. شکل (۱ – الف و ب) حرکت طولی در جهت x و y را نشان می دهد (سرج و سوای). در نصب فلوت اور حرکات طولی در مرحله پیش میتینگ باعث برخورد ضربات به پایه های جکت و در مرحله میتینگ باعث بروز ضربات در المان میتینگ می شوند. با توجه به نتایج مقادیر حرکت سرج در تمامی جهات موج برخوردی حایز اهمیت است و حرکت سوای نیز در تمامی جهات به جز موج برخوردی از روبرو و انتها در ایجاد ضربات تاثیر گذار است.

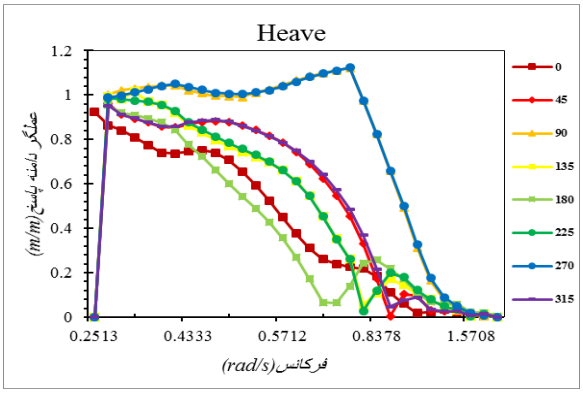
الف



ب



ج

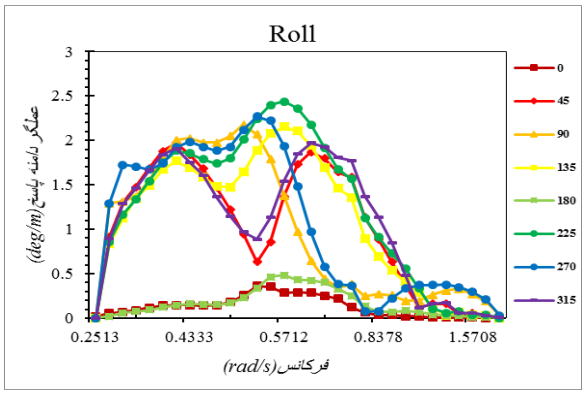


شکل ۵ – نمودار حرکات کشتی (الف) سرج (ب) سوای (ج) هیو

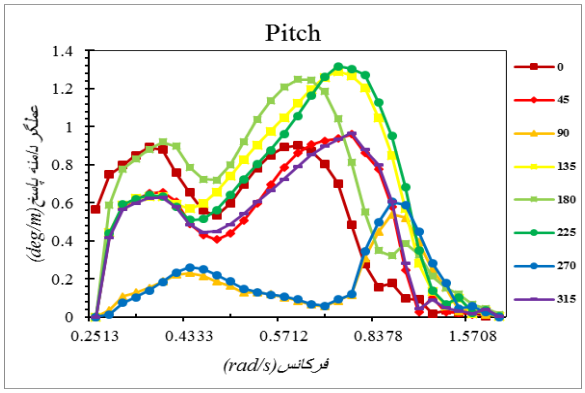
[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-09]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1399.16.32.12.3]
[DOI: 10.29252/marineeng.16.32.85]

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-09]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1399.16.32.12.3]
[DOI: 10.29252/marineeng.16.32.85]

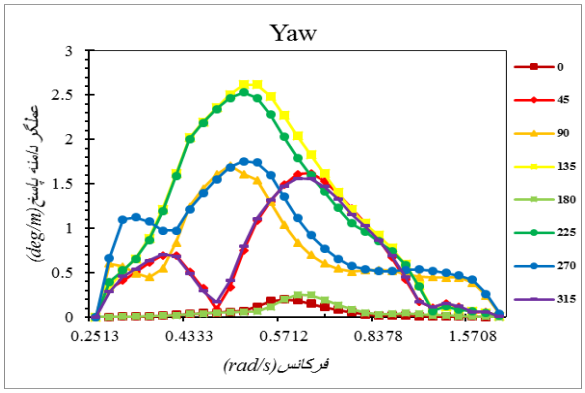
الف



ب



ج



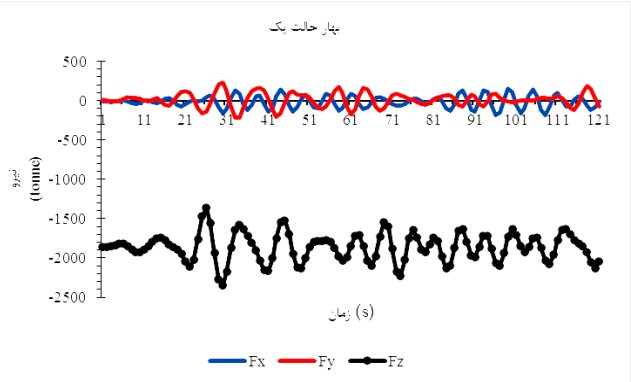
شکل ۶ – نمودار حرکات کشتی (الف) رول (ب) پیچ (ج) یاو

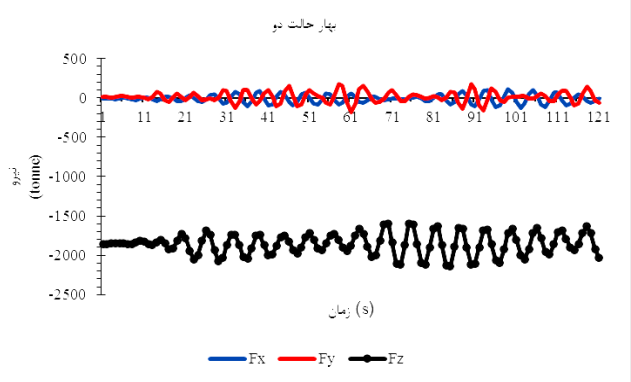
همچنین با توجه به نتایج نمودار شکل (۶ - ج) دامنه نیروها تنها در جهات ۰ و ۱۸۰ کوچک هستند. در نتیجه با توجه به مدل مورد استفاده و پیشنهاد های پژوهش های انجام شده در گذشته [۵و۶]، بررسی حرکات Surge، Sway و Yaw بدست آمده نشان می دهند که این حرکات در وارد آوردن نیروهای جانبی به پایه های جکت بسیار مهم هستند. از آنجا که پژوهش های پیشین بیشتر متمرکز بر اثر نیروهای عمودی بر المان میتینگ بوده اند، اثر نیروهای افقی کمتر مورد نظر قرار گرفته است. برای کاهش این نیروها باید از سیستم های کنترلی مانند مورینگ و ضربه گیر و همچنین سازه های راهنما استفاده کرد. حرکات سرج، سوای و یاو به خصوص در هنگام استفاده از شناور T شکل باعث وارد شدن ضربات بیشتر به پایه های جکت می شود.

نمودارهای شکل ۵ و ۶ نشان می دهند که در صورت عدم پیش بینی این حرکات و نتیجتا عدم تقویت سیستم های کنترلی، باعث وارد شدن ضربات پیش بینی نشده به پایه های جکت می شود.

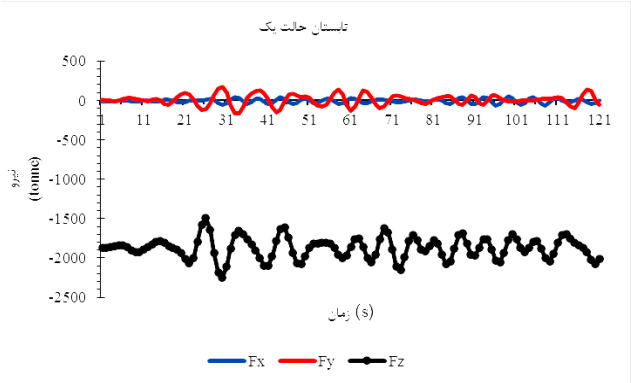
۳ – ۲ – نیروهای وارده به المان میتینگ در دامنه زمانی

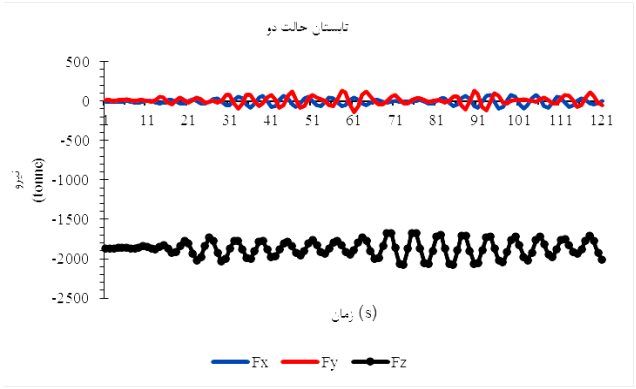
از آنجا که نتایج در دامنه فرکانسی تنها محدوده حرکات را نشان می دهد، بررسی نیروها در دامنه زمانی ارزیابی ای دقیق تر را فراهم می آورد. نسبت به نتایج در دامنه فرکانسی، نتایج در دامنه زمانی هستند که شرایط واقعی نیروهای وارده بر المان میتینگ را مشخص می کنند. این نتایج در هشت حالت به ازای پریود ۴ و ۶/۶ ثانیه محاسبه شد.



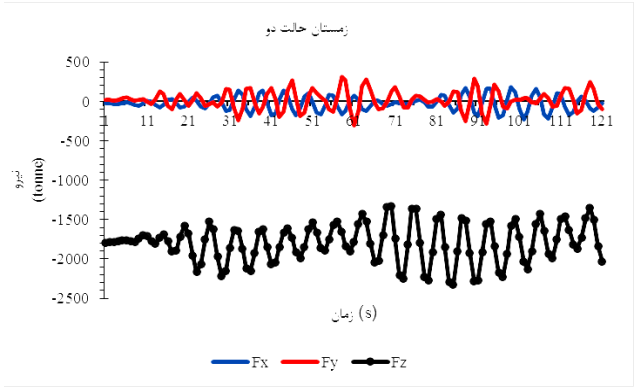


شکل ۷ – تاریخچه زمانی نیروهای وارده به المان میتینگ در فصل بهار

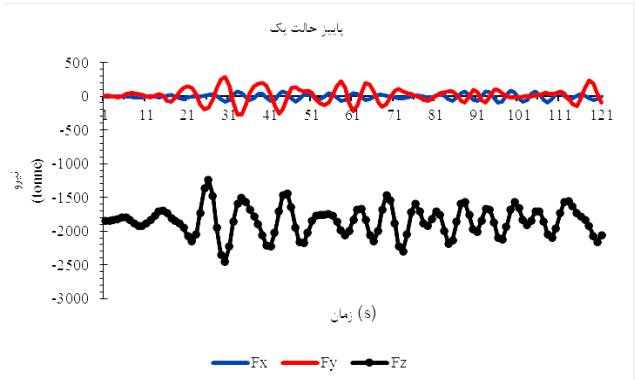


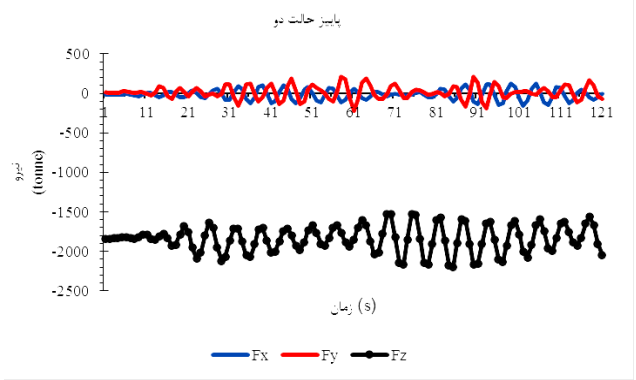


شکل ۸ - تاریخچه زمانی نیروهای وارده به المان میتینگ در فصل تابستان

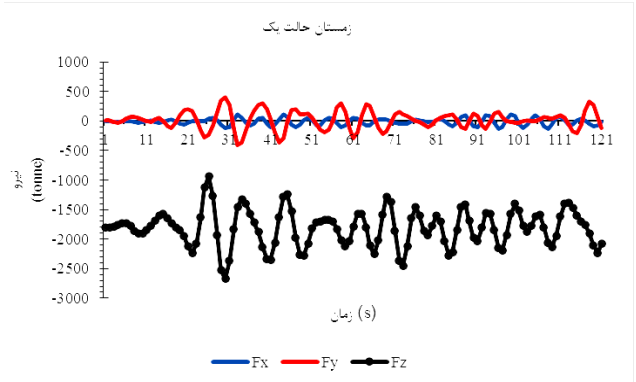


شکل ۱۰ - تاریخچه زمانی نیروهای وارده به المان میتینگ در فصل زمستان





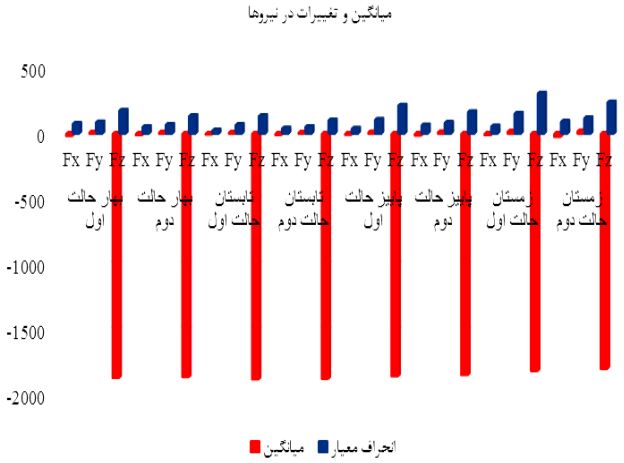
شکل ۹ - تاریخچه زمانی نیروهای وارده به المان میتینگ در فصل پاییز



با توجه به شکل های ۷ – ۱۰، در تمامی چهار فصل در حالت اول حداکثر نیروی بیشتری به المان میتینگ وارد می شود اما میانیگین در دو حالت تقریبا برابر است. با مقایسه دو حالت از هر فصل و حالت های اول فصول، اثر افزایش ارتفاع موج مشخصه بر افزایش نیروهای مشخص است به طوری که با افزایش ارتفاع موج، میانگین و حداکثر نیروها افزایش می یابد. همچنین تغییرات پریود موج و ارتفاع موج مشخصه در یک فصل مشخص اثر چندانی بر میانگین نیروها نمی گذارد. از آنجا که یکی از مهم ترین اهداف عملیات نصب فلوت اور کاهش ضربات است، مقادیر بیشینه از اهمیت زیادی برخوردار هستند. با توجه به شکل ۱۱ میانگین در حالت یک و دو تقریبا برابر است و بیشترین میانگین(تابستان)، ۴ درصد بیشتر از کمترین میانگین(زمستان) است.

شکل ۱۱ میانگین و تغییرات نیروها را در سه درجه آزادی انتقالی و برای دو حالت فصول نشان می دهد. همانطور که پیشتر گفته شد مقادیر ماکسیمم به معنی وارد شدن حداکثر نیروی بیشتر به المان میتینگ است و از آنجا که این نیروها ماهیتی ضربه ای دارند وارد شدن یک ضربه می تواند مخاطره آمیز و منجر به تغییر شکل در المان میتینگ شود. بنابراین در این عملیات ارزیابی حداکثر نیروها بسیار حیاتی است. اگرچه در فصل زمستان میانگین نیروها کمتر از سایر فصول است، اما تغییرات در این فصل بیشترین مقادیر را تجربه می کند. همچنین در تمامی فصول حالت اول تغییرات بیشتری در مقایسه با حالت دوم دارد. این مساله اهمیت پریود را در نیروها نشان می دهد. همچنین در تمامی فصول مقادیر نیروهای جانبی تغییرات بیشتری را در حالت اول تجربه می کنند. همچنین حداکثر، میانگین و تغییرات نیروهای عمودی در جدول ۲ نشان داده شده است. در تمامی موارد در حالت اول حداکثر نیروی عمودی، مقدار بیشتری خواهد بود. همانطور که گفته شد، مقدار میانگین، تفاوت چندانی ندارد اما نکته حایز اهمیت تفاوت مشخص در تغییرات و مقدار ماکسیمم نیروها است. همچنین در طراحی و محاسبات فلوت اور علاوه بر نیروهای عمودی، نیروهای افقی نیز باید مد نظر قرار بگیرند.

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-09]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1399.16.32.12.3]
[DOI: 10.29252/marineeng.16.32.85]



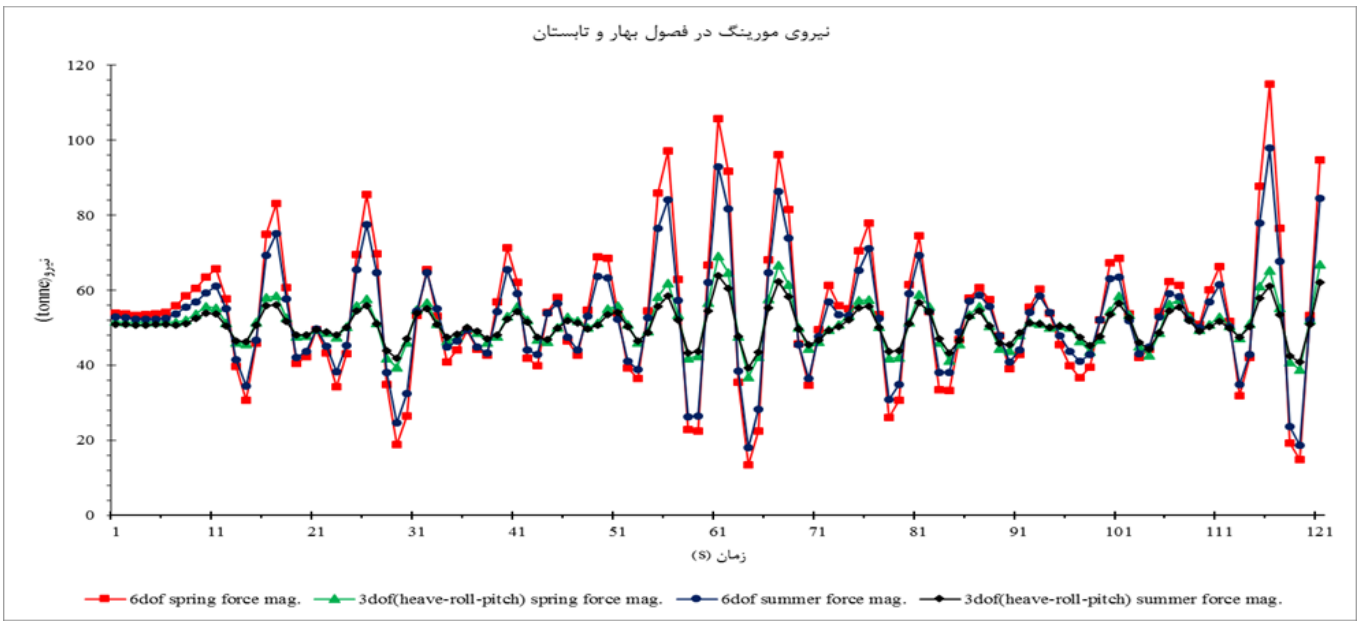
شکل ۱۱ – میانگین و تغییرات نیروهای وارد بر المان های میتینگ

جدول ۲ – نیروی عمودی در حالت های مختلف

	ماکسیمم نیروی عمودی	میانگین	انحراف معیار
بهار حالت اول	2352.25	1862.64	176.68
بهار حالت دوم	2139.65	1855.97	135.19
تابستان حالت اول	2245.85	1873.33	134.93
تابستان حالت دوم	2080.06	1868.67	103.04
پاییز حالت اول	2448.59	1849.98	215.34
پاییز حالت دوم	2195.89	1840.89	165.8
زمستان حالت اول	2669.64	1809.48	307.54
زمستان حالت دوم	2326.36	1793.47	240.2

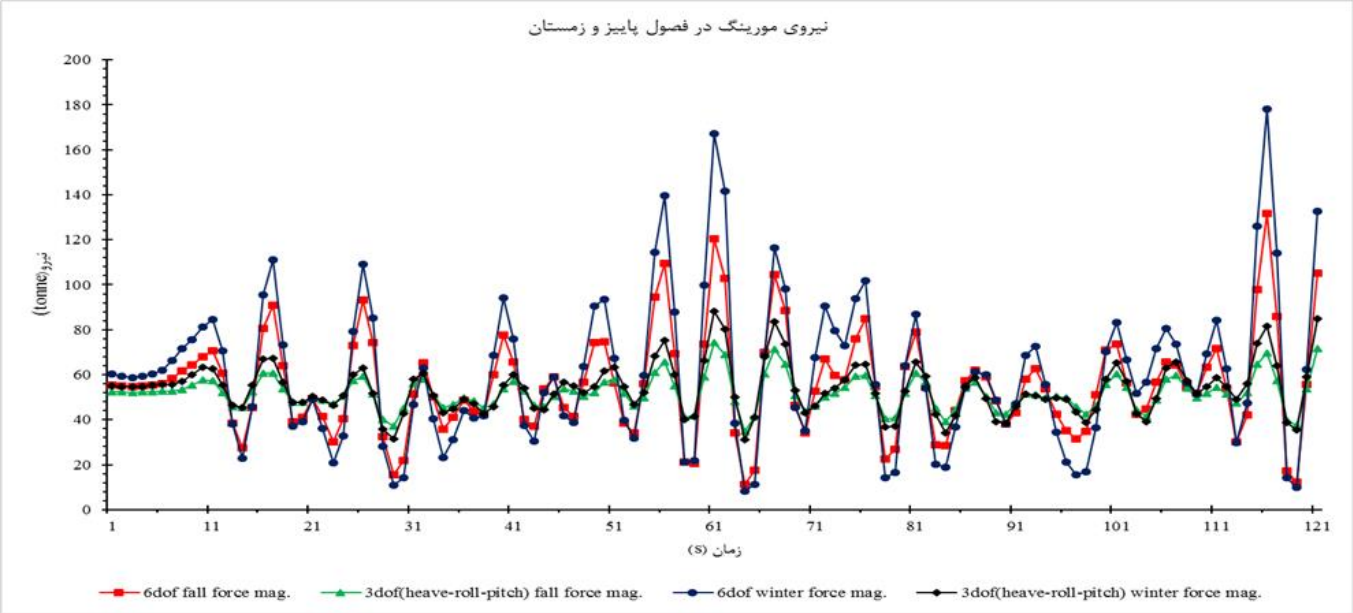
۳ – ۳ نیروهای مورینگ

در پژوهش های پیشین [۴-۶ و ۹] ارزیابی حرکات و نیروها با مدل هایی یک یا سه درجه آزادی انجام شد. این مدل ها با فرض غالب بودن این حرکات و به جهت کاهش هزینه محاسباتی در نظر گرفته شده اند. در طراحی خطوط مورینگ حتی با ملاحظات محافظه کارانه و با وجود عدم قطعیت ها امکان خرابی و یا اعمال هزینه ی اضافی وجود دارد. با توجه به مدل سه درجه آزادی توسعه داده شده در پژوهش هو و همکاران(مدل هیو، رول و پیچ) [۴]، در پژوهش حاضر برای مدلی ثابت و با شرایط محیطی برابر و یکسان نیروهای مورینگ در یک خط مورینگ در چهار فصل در دو حالت مدل سه و شش درجه آزادی مقایسه شده است. خط مورینگ که نتایج برای آن گزارش شده است، در شکل ۳ با رنگ قرمز مشخص شده است. نتایج تاریخچه زمانی و مقایسه این دو حالت در شکل های ۱۲ و ۱۳ نشان داده شده است. با توجه به نتایج شکل های ۱۲ و ۱۳، به ترتیب در فصول بهار تا زمستان میانگین نیروها پنج، سه، هفت و سیزده درصد در مدل شش درجه آزادی بیشتر است که شاید با محافظه کارانه طراحی کردن قابل چشم پوشی در نظر گرفته شود. اما در هر چهار نمودار تغییرات به صورت قابل ملاحظه ای در مدل شش درجه آزادی بیشتر است. به طوری که در فصل زمستان حداکثر نیروی مورینگ در مدل شش درجه آزادی بیش از دو برابر مدل سه درجه آزادی است. این مقایسه اهمیت ارزیابی حرکات را با مدل شش درجه آزادی نشان می دهد.



شکل ۱۲ – تاریخچه زمانی نیروهای مورینگ در دوحالت مدل سه در جه آزادی (هیو، رول و پیچ) و مدل شش درجه آزادی در فصل های پاییز و زمستان

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-09]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1399.16.32.12.3]
[DOI: 10.29252/marineeng.16.32.85]



شکل ۱۳ - تاریخچه زمانی نیروهای مورینگ در دوحالت مدل سه در جه آزادی (هیو، رول و پیچ) و مدل شش درجه آزادی در فصل های پاییز و زمستان

۴ - نتیجه گیری

با توجه به نیاز کشور به نصب سکوهای جدید به خصوص سکوهای فشارافزایی و جدید بودن نصب فلوت اور، آشنایی با فرایند این نصب و جوانب آن امری بدیهی است. یکی از کلیدی ترین نکات در این نصب زمان بندی و برنامه ریزی دقیق برای اجرای آن است. ازین رو انتخاب زمان اجرای این نصب بسیار مهم است. در این پژوهش اثرات فصلی با مدلی شش درجه آزادی بر روی نیروهای وارد بر المان میتینگ بررسی شد. این پژوهش نصب فلوت اور را برای هشت حالت بررسی کرده و نتایج زیر حاصل شد.

- در دو پژوهش چن و همکاران [۵ و ۶] توصیه شد تا مدلی با شش درجه آزادی توسعه داده شود و اثرات آن بر نیروها دیده شود. مدل تک درجه آزادی به صورت کلی نیروهای افقی را نادیده می گیرد. همچنین در مقایسه با مدل سه درجه آزادی میانگین و تغییزات نیروهای مورینگ بیشتر است. بررسی عملگر دامنه پاسخ در شش درجه آزادی نشان داد محاسبه حرکات در هر شش درجه آزادی در نصب فلوت اور مهم است. این دو مساله اهمیت ایجاد مدل با شش درجه آزادی را نشان می دهد.
- با توجه به نیروهای مورینگ، میانگین نیروها در مدل شش درجه آزادی اندکی بیشتر ولی تغییرات به صورت قابل ملاحظه ای بیشتر است که این مطلب باید در پیش بینی خطوط مورینگ در نظر گرفته شود. فرض طراحی ملاحظه کارانه باعث افزایش هزینه و نادیده گرفتن این نیروها احتمال ریسک را بالا می برد.
- به ازای انرژی موج یکسان در یک فصل، افزایش پریود (ارتفاع موج مشخصه کمتر) باعث افزایش میانگین و تغییرات نیروها می شود.
- برای اجرای این نصب، تابستان با تغییرات کمتر در نیروها و متعاقبا حداکثر نیروی کمتر نسبت به فصول دیگر زمان بهتری است.

روش فلوت اور در مقایسه با روش جرثقیل جدید تر و ارزان تر است. اما به دلیل پیچیدگی ها نیازمند شناخت و بررسی های دقیق است. کمتر بودن تجربه در اجرای این نصب و ساده سازی ها در مدل محاسباتی باعث طراحی بیش از حد و یا خطا در پیش بینی نیروها می شود. این پژوهش به پیشنهاد پژوهش های پیشین و در راستای در نظر گرفتن هر شش درجه آزادی انجام شد. در این پژوهش تنها اثرات پریود و ارتفاع موج مشخصه دیده شد. ارزیابی دیگر پارامترهای محیطی مانند سرعت و جهت باد و جهت موج نیز توصیه می شود.

کلید واژگان

1-Floatover
2-Response amplitude operator
3-Leg Mating Unit (LMU)
4-Mooring Line
5-Dynamic analysis

۶ - مراجع

1- a. A. El mouhandiz and j. Bokhorst, "analysis and offshore support for the float-over of a 24,250mt topsides on the north west shelf," in *Proceedings of the ASME 2013 32nd International Conference on*

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-09]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1399.16.32.12.3]
[DOI: 10.29252/marineeng.16.32.85]

Ocean, Offshore and Arctic Engineering, Nantes, 2013.

2- A. Tahar, J. Halkyard, A. Steen and L. Finn, "Float Over Installation Method—Comprehensive Comparison Between Numerical and Model Test Results," *Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering*, 2006.

3- M. Seij and H. de Groot, "State of the Art in Float-Overs," in *Offshore Technology Conference*, Houston, 2007.

4- Z. Hu, X. Li, W. Zhao and X. Wu, "Nonlinear dynamics and impact load in float-over installation," *Applied Ocean Research*, pp. 60-78, 2017.

5- M. Chen, R. E. Taylor and Y. . S. Choo, "Time domain modeling of a dynamic impact oscillator under wave excitations," *Ocean Engineering*, pp. 40-51, 2014.

6- M. Chen, R. Eatock Taylor and Y. Choo, "Investigation of the complex dynamics of float-over deck installation based on a coupled heave-roll-pitch impact model," *Ocean Engineering*, pp. 262-275, 2017.

7- L. Sun, R. .EatockTaylor and Y. Choo, "Multi-bodydynamicanalysisoffloat-overinstallations," *Ocean Engineering*, 2012.

8- A. Kocaman, D. Kim and S. Jian, "Float-Over of Arthit PP Deck," in *Offshore Technology Conference*, Houston, 2008.

9- J.-J. Jung, W.-S. Lee, H.-S. Shin and Y.-H. Kim, "Evaluating the Impact Load on the Offshore Platform During Float-over Topside Installation," in *Proceedings of the Nineteenth (2009) International Offshore and Polar Engineering Conference*, Osaka, 2009.

10- W. E. Cummins, "The Impulse Response Function and Ship Motions," Navy Department, David Taylor Model Basin, 1962, 1962.

11- J. A. Armesto, R. Guanche, F. del Jesus, A. Iturrioz and I. J. Losada, "Comparative analysis of the methods to compute the radiation term in Cummins' equation," *Journal of Ocean Engineering and Marine Energy*, 2015.

12- T. F. Ogilvie, *RECENT PROGRESS TOWARD THE UNDERSTANDING AND PREDICTION OF SHIP MOTIONS*, Bergen, 1964.

13- P. S. K. Lai and X. Chevalley, "Numerical Modelling of Installation Aids for Platform Installation," Saipem UK Limited.

14- M. Baghfalaki, . K. D. Samir And S. N. Das, "Analytical Model to Determine Response Amplitude Operator of a Floating Body for Coupled Roll And Yaw Motions and Frequency-Based Analysis," *International Journal of Applied Mechanics*, 2012.

15- K. Chaitanya and S. B. Nair, "Design of Leg Mating Unit for Float-Over Installation of Decks," in *Proceedings of the ASME 2013 32nd International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering*, 2013.

16- B. Kamranzad, A. Etemad-shahidi and V. Chegini, "Assessment of wave energy variation in the Persian Gulf," *Ocean Engineering*, pp. 72-80, 2013.

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-09]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1399.16.32.12.3]
[DOI: 10.29252/marineeng.16.32.85]