



مرکز پژوهش‌های مطالعات دریایی

سازمان بنادر و دریانوردی به عنوان تنها مرجع حاکمیتی کشور در امور بندری، دریایی و کشتی‌رانی بازرگانی به منظور ایفای نقش مرجعیت دانشی خود و در راستای تحقق راهبردهای کلان نقشه جامع علمی کشور مبنی بر "حمایت از توسعه شبکه‌های تحقیقاتی و تسهیل انتقال و انتشار دانش و سامان‌دهی علمی" از طریق "استانداردسازی و اصلاح فرایندهای تولید، ثبت، داوری و سنجش و ایجاد بانک‌های اطلاعاتی یکپارچه برای نشریات، اختراعات و اکتشافات پژوهشگران"، اقدام به ارایه این اثر در سایت SID می‌نماید.



سازمان بنادر و دریانوردی



امیر مقیسه
دانشگاه رازی-کرمانشاه

همایون ریاحی
دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکزی

عباس رهی
دانشگاه رازی-کرمانشاه

moghiseh_amir@yahoo.com

RIAHI@zamyad.co.ir

abbasrahi@razi.ac.ir

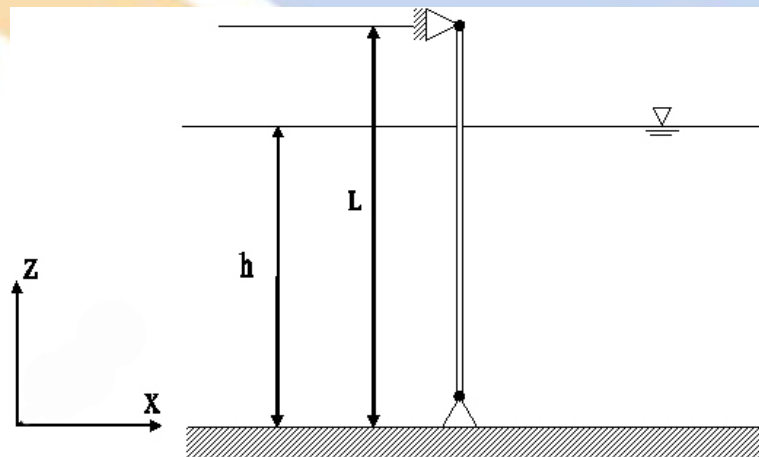
مقدمه

با وابستگی روزافزون صنایع و دنیای مدرن به نفت و محصولات پتروشیمی، حوزه عملیات و استخراج این ماده ارزشمند به پهنه دریاها و اقیانوسها کشیده شده است. امروزه حفاری و استخراج نفت تا ورای اعماق ۱۰۰۰ متر با رشد چشمگیری رو به افزایش است. عملیات در اعماق به معنی رویارویی با نیروهای بزرگتر، ممان‌های بیشتر و در نتیجه لزوم استفاده از مواد و سازه‌های سنگین و در نهایت بالا رفتن هزینه‌ها است. در این میان یکی از اجزای بسیار مهم در فرآیند حفاری چاه‌ها و استخراج هیدروکربن رایزرهای دریایی است که وظیفه هدایت مته‌های حفاری و انتقال مواد استخراج شده به سکو را بر عهده دارد. این رایزرها در راستای حرکت جریان در معرض نیروهای ناشی از برخورد جریان و امواج با خود قرار دارند. یان کیو و همکارانش [۲ و ۱] رایزر را به صورت یک مدل با تکیه‌گاه‌های ساده فرض نمودند و ارتعاش ایجاد شده توسط جریان گردابه‌ای را بدون ساده‌سازی ترم غیرخطی معادله مورسیون مطالعه نمودند همچنین کنگ و همکارانش [۳] رفتار دینامیکی رایزر را در حضور نیروی لیفت ناشی از جریان گردابه ای در سال ۲۰۰۶ بررسی نمودند.

در این مقاله ابتدا مدل مناسبی از رایزر که مبین شرایط واقعی تکیه‌گاهی و مشخصات هندسی و مکانیکی آن باشد ارائه خواهد شد. سپس توزیع نیروها در طول آن بدست آمده و با استفاده از این نیروها، معادلات حاکم بر نوسان رایزر بدست خواهد آمد. در پایان تأثیر پارامترهای محیطی و مکانیکی بر رفتار ارتعاشی رایزر بررسی و مطالعه خواهد شد.

مدلسازی

معمولاً طول رایزرها نسبت به سطح مقطع آنها از بزرگی قابل توجهی برخوردار است به همین جهت استفاده از تئوری اولر برنولی به منظور بدست آوردن معادلات ارتعاش رایزر متداول است. در این مطالعه شرایط تکیه‌گاهی رایزر در محل اتصال آن به سکو و همچنین تأسیسات سرچاهی بصورت لولا در نظر گرفته می‌شود [۴]. فرض این نوع اتصال به منظور تحمل خیزهای کوچک و همچنین ممان‌های خمشی ناشی از نوسان رایزر در حضور امواج و جریان آب منطقی به نظر می‌رسد. شکل (۱) مدل مورد استفاده در این مطالعه را نمایش می‌دهد.



شکل (۱) مدل رایزر جهت استخراج معادلات

برخورد امواج و جریان آب با رایزر یک میدان فشار نامتقارن در حول رایزر بوجود می‌آورد. این میدان فشار غیر متقارن منجر به اعمال نیرویی در راستای حرکت جریان به رایزر می‌گردد. مورسیون رابطه‌ای را به منظور تخمین این نیروها ارائه نموده است که در این مطالعه از آن بهره گرفته خواهد شد.

استفاده از نظریه اولر برنولی در ارتعاش سیستم‌های پیوسته، رابطه دیفرانسیلی (۱) را به عنوان معادله حاکم بر حرکت به دست می‌دهد [۵].

$$EI \frac{\partial^4 x}{\partial z^4} - \frac{\partial}{\partial z} \left[T_{e(z)} \cdot \frac{\partial x}{\partial z} \right] + m_t \cdot \frac{\partial^2 x}{\partial t^2} = F_t(z,t) \quad (1)$$

که در رابطه فوق x جابجایی افقی رایزر، E و I به ترتیب مبین مدول یانگ و گشتاور اینرسی خمشی رایزر، $T_{e(z)}$ نیروی محوری مؤثر وارد بر رایزر در واحد طول، m_t جرم رایزر و سیال درون آن بر واحد طول، $F_t(z,t)$ برآیند نیروی ناشی از جریان است که در جهت x بر واحد طول رایزر وارد می‌شود. نیروی محوری مؤثر وارد بر واحد طول رایزر ناشی از وزن شناوری آن است که بصورت رابطه زیر بیان می‌شود:

$$T_{e(z,t)} = \gamma \cdot \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot (h-z) - m_s \cdot g \cdot (L-z) \quad (2)$$

که در این رابطه m_s جرم رایزر در واحد طول، γ وزن مخصوص آب دریا، D قطر خارجی رایزر، L طول رایزر و g شتاب گرانش زمین است. $F_t(z,t)$ ناشی از برخورد میدان موج و جریان آب بصورت همزمان بر رایزر است که از معادله اصلاح شده موریسون و به صورت زیر مقدار آن در هر زمان و هر عمق از آب بدست می‌آید.

$$F_t(z,t) = \frac{1}{2} C_D \cdot \rho \cdot A \cdot (u+v-\dot{x}) \cdot |u+v-\dot{x}| + C_M \cdot \rho \cdot V \cdot \frac{Du}{Dt} - (C_M - 1) \cdot \rho \cdot V \cdot \ddot{x} \quad (3)$$

در این رابطه C_D ضریب درگ، ρ چگالی آب دریا، A مساحت مؤثر در راستای عمود بر جریان آب و در واحد طول، u سرعت موج در هر عمق، v سرعت جریان آب، C_M ضریب جرم اضافه شده، \dot{x} و \ddot{x} شتاب و سرعت رایزر، Du/Dt شتاب ذرات آب و V حجم مؤثر رایزر در واحد طول می‌باشد. همانطور که مشخص است در این رابطه از سرعت نسبی رایزر و جریان آب و موج در هر لحظه استفاده شده است. همانطور که اشاره گردید در این تحقیق رفتار رایزر در حضور همزمان جریان آب و امواج دریایی بررسی خواهد شد. در تخمین نیروهای ناشی از امواج از نظریه امواج دامنه کوتاه بهره گرفته خواهد شد. بر این اساس پروفیل سرعت مورد استفاده برای میدان موج بصورت رابطه (۴) می‌باشد:

$$u = a \cdot \sigma \cdot \frac{\cosh(Kz)}{\sinh(Kh)} \cdot \cos(\sigma + Kx) \quad (4)$$

که در آن a دامنه موج، K عدد موج و برابر $2\pi/L_w$ ، h عمق آب، σ فرکانس موج و L_w طول موج می‌باشد [۶]. همچنین پروفیل سرعت جریان آب بصورت خطی زیر فرض می‌شود:

$$v = v_t + v_w \cdot z \quad (5)$$

که v_t سرعت در کف دریا و v_w سرعت در سطح آب می‌باشد.

بر این اساس معادله حاکم بر نوسان رایزر بصورت رابطه (۶) استخراج خواهد شد.

$$EI \frac{\partial^4 x}{\partial z^4} - \frac{\partial}{\partial z} \left[\left(\gamma \cdot \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot (h-z) - m_s \cdot g \cdot (L-z) \right) \cdot \frac{\partial x}{\partial z} \right] + m_t \cdot \frac{\partial^2 x}{\partial t^2} = \frac{1}{2} C_D \cdot \rho \cdot A \cdot (a \cdot \sigma \cdot \frac{\cosh(Kz)}{\sinh(Kh)} \cdot \cos(\sigma + Kx) + v_t + v_w \cdot z - \dot{x}) - C_M \cdot \rho \cdot V \cdot a \cdot \sigma^2 \cdot \frac{\cosh(Kz)}{\sinh(Kh)} \cdot \sin(\sigma + Kx) - (C_M - 1) \cdot \rho \cdot V \cdot \frac{\partial^2 x}{\partial t^2} \quad (6)$$

شرایط مرزی حاکم بر رابطه فوق بصورت (۷) و (۸) خواهد بود.

$$\text{At Bottom End} \begin{cases} x(0,t) = 0 \\ EI \frac{\partial^2 x}{\partial z^2}(0,t) = 0 \end{cases} \quad (7)$$

$$\text{At Upper End} \begin{cases} x(l,t) = 0 \\ EI \frac{\partial^2 x}{\partial z^2}(l,t) = 0 \end{cases} \quad (8)$$

از ارتعاش سیستم‌های پیوسته می‌دانیم که فرکانس‌های طبیعی تیر اولر برنولی بصورت رابطه (۹) تعریف می‌گردد.

$$\omega_n = \frac{\pi^2}{l^2} \cdot \sqrt{\frac{EI}{m_t}} \times \left(n^4 + \frac{n^2 \cdot l^2 \cdot \bar{T}}{\pi^2 \cdot EI} \right)^{1/2} \quad (9)$$

که در آن \bar{T} نیروی محوری متوسط برآیند وارد بر رایزر، n مد ارتعاشی و ω_n فرکانس طبیعی مد n م رایزر است. مقدار نیروی محوری متوسط در رایزر بر اساس رابطه (۱۰) تعریف می‌شود.

$$\bar{T} = \frac{\gamma \cdot \pi \cdot D^2}{4} \left[h - \frac{l}{2} \right] - \frac{l \cdot m_t \cdot g}{2} \quad (10)$$

جایگذاری (۱۰) در رابطه (۹)، معادله (۱۱) را بعنوان فرکانس طبیعی رایزر بدست می‌دهد.

$$\omega_n = \frac{\pi^2}{l^2} \cdot \sqrt{\frac{EI}{m_t}} \times \left(n^4 + \frac{n^2 \cdot l^2}{\pi^2 \cdot EI} \cdot \left[\frac{\gamma \cdot \pi \cdot D^2}{4} \left[h - \frac{l}{2} \right] - \frac{l \cdot m_t \cdot g}{2} \right] \right)^{1/2} \quad (11)$$

حل معادلات و استخراج نتایج

معادله (۶) با استفاده از روش‌های عددی حل می‌گردد. مشخصات محیطی، مکانیکی و هندسی مورد استفاده در شبیه‌سازی و استخراج نتایج بصورت جدول (۱) خواهد بود.

جدول (۱) مشخصات محیطی، مکانیکی و هندسی

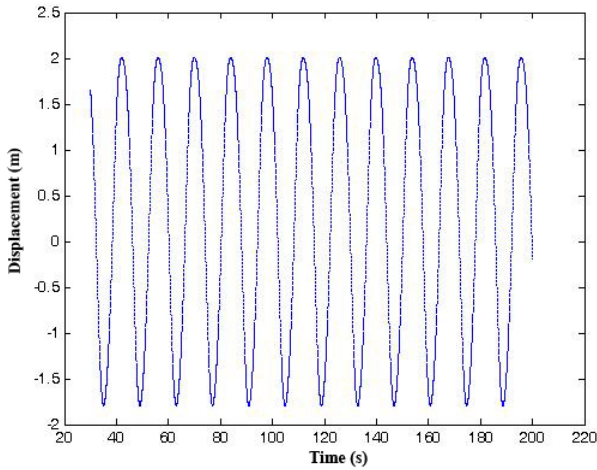
$v_w = 0.002 \text{ m/s}$	سرعت در سطح دریا	0.8	ضریب درگ	80 m	عمق آب
$v_t = 0.1 \text{ m/s}$	سرعت در بستر دریا	1.8	ضریب اینرسی	300 m	طول موج
1025 kg/m^3	چگالی آب دریا	0.5	ضریب لیفت	4 m	دامنه امواج
7850 Kg/m^3	چگالی رایزر	0.5 m	قطر داخلی	100 m	طول رایزر
2175 Kg/m^3	چگالی سیال درون رایزر	200 GPa	مدول یانگ	0.54 m	قطر خارجی

با استفاده از داده‌های جدول (۱) ده فرکانس طبیعی اول رایزر بصورت جدول (۲) و با استفاده از رابطه (۱۱) گزارش می‌گردد.

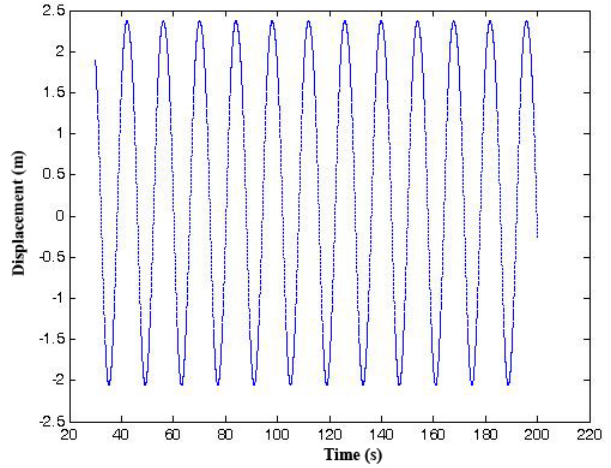
جدول (۲) ده فرکانس طبیعی اول سیستم

فرکانس طبیعی	مد ارتعاشی	فرکانس طبیعی	مد ارتعاشی
18.1138	6	0.6779	1
24.5787	7	2.1921	2
32.0380	8	4.6839	3
40.4917	9	8.1669	4
49.9399	10	12.6433	5

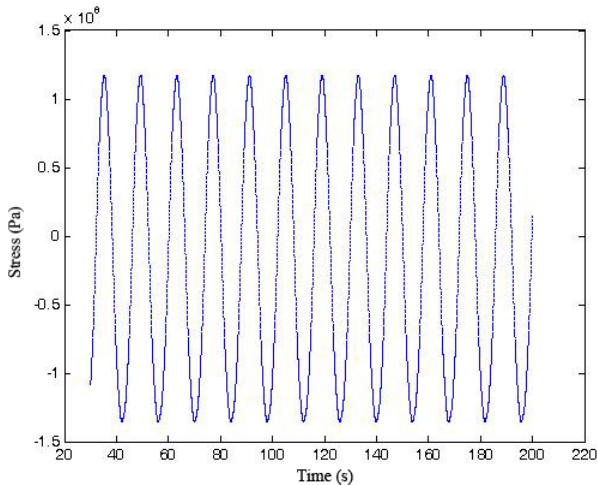
شکل (۲)، (۳) و (۴) جابجایی رایزر را در اعماق ۲۰، ۴۰ و ۶۰ متری آب نشان می‌دهند. همانطور که مشاهده می‌شود، دامنه نوسان رایزر در مناطق نزدیک سطح دریا بیشینه مقدار خود را دارد. علت این امر را می‌توان نقش غالب نیروی ناشی از امواج دریا در این نواحی دانست. به تدریج با افزایش عمق این اثر کاهش می‌یابد. طبیعی است نوسان رایزر در مقاطع مختلف آن ایجاد خمش و در نتیجه تنش‌های خمشی خواهد نمود. افزایش دامنه نوسان رایزر به معنای افزایش دامنه تنش‌های خمشی ایجاد شده می‌باشد. بر این اساس با افزایش عمق و کاهش دامنه نوسان رایزر انتظار می‌رود دامنه این تنش‌ها نیز کاهش یابد، این موضوع در شکل‌های (۵)، (۶) و (۷) نشان داده شده است.



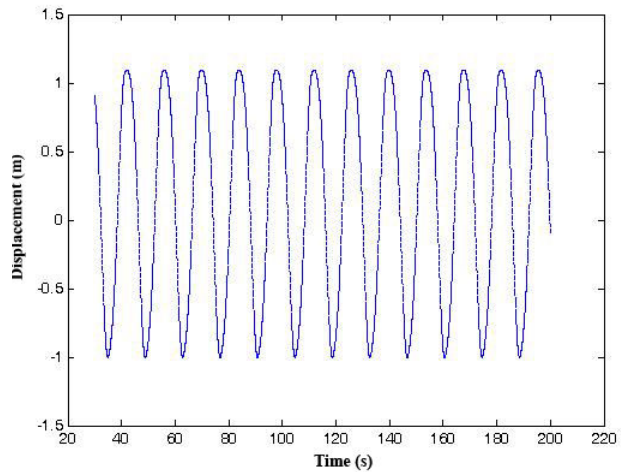
شکل (۳) جابجایی رایزر در عمق ۴۰ متر



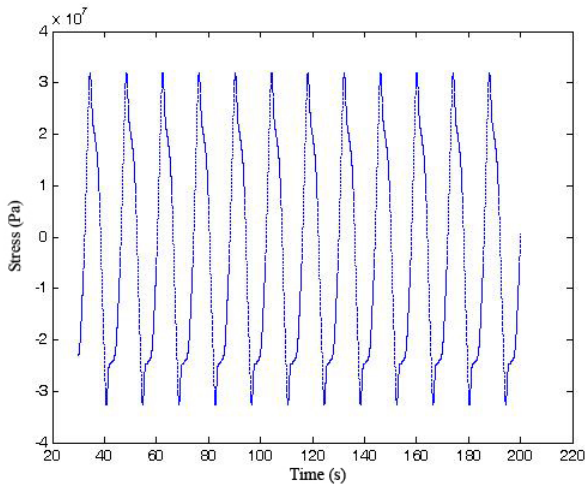
شکل (۲) جابجایی رایزر در عمق ۲۰ متر



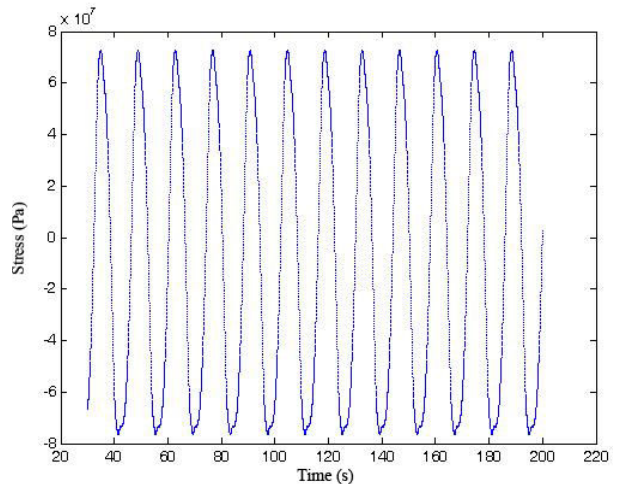
شکل (۵) تنش خمشی در عمق ۲۰ متر



شکل (۴) جابجایی رایزر در عمق ۶۰ متر

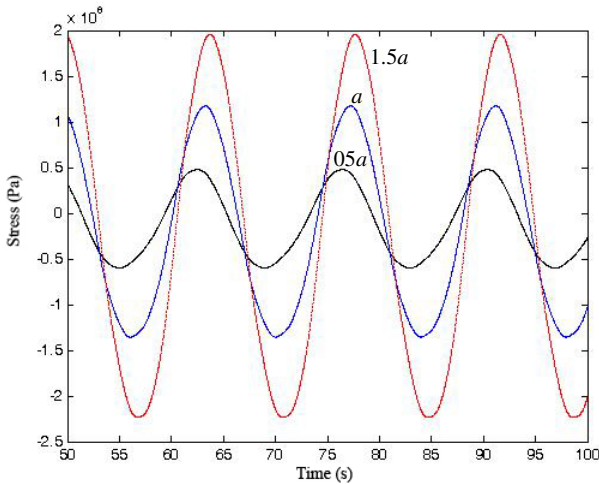


شکل (۷) تنش خمشی در عمق ۶۰ متر

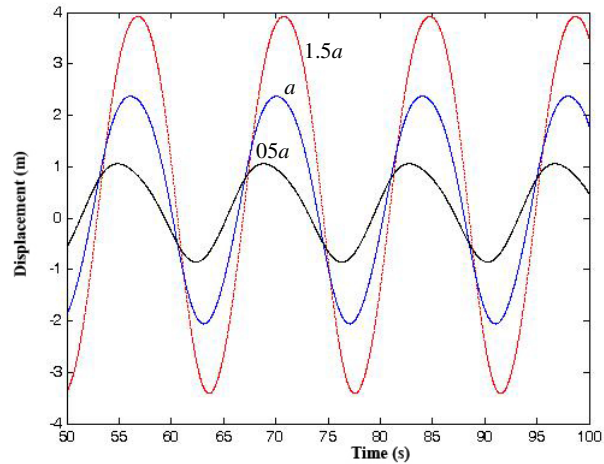


شکل (۶) تنش خمشی در عمق ۴۰ متر

شکل (۸) اثر دامنه موج بر جابجایی رایزر را در عمق ۲۰ متری نمایش می‌دهد. همانطور که مشخص است، افزایش دامنه در این عمق، نزدیکی بستر دریا، موجب افزایش دامنه نوسان رایزر می‌گردد. علت این امر را باید تشدید اثر نیروی ناشی از برخورد امواج با رایزر دانست. اثر دامنه بر میزان تنش در این عمق در شکل (۹) نشان داده شده است.

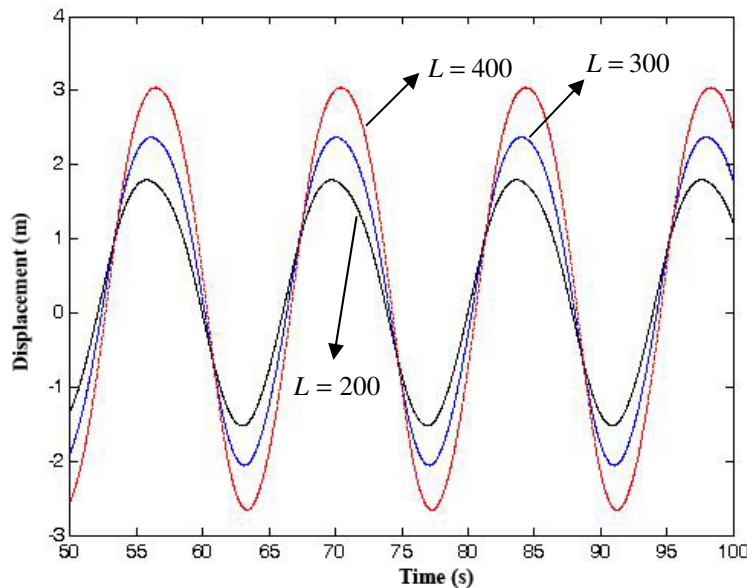


شکل (۹) اثر دامنه موج بر تنش خمشی در عمق ۲۰ متر



شکل (۸) اثر دامنه موج بر میزان جابجایی رایزر در عمق ۲۰ متر

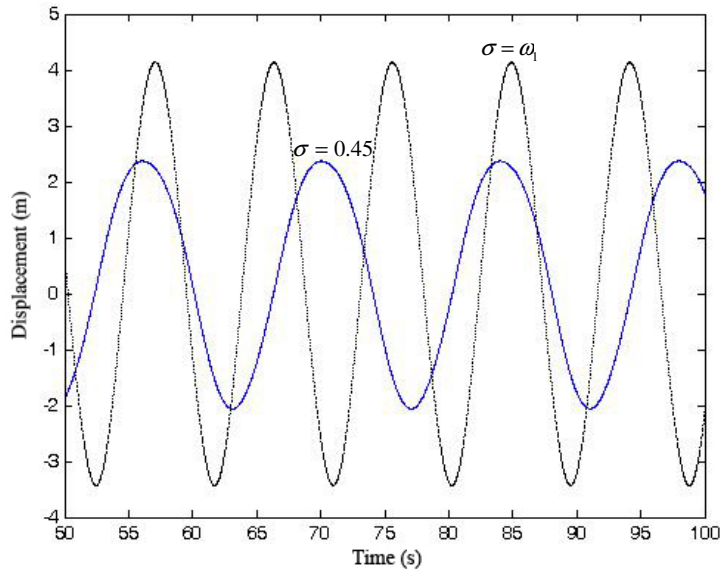
در شکل (۱۰) به بررسی اثر طول موج بر دامنه ارتعاش رایزر پرداخته شده است. واضح است که افزایش طول موج منجر به نوسان بیشتر و در نتیجه ایجاد تنش خمشی افزون‌تر می‌گردد.



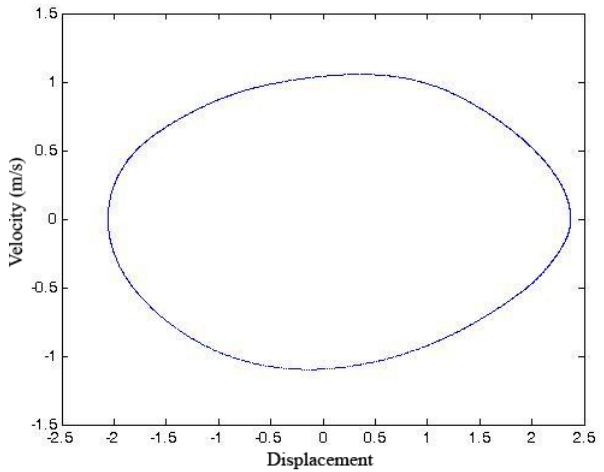
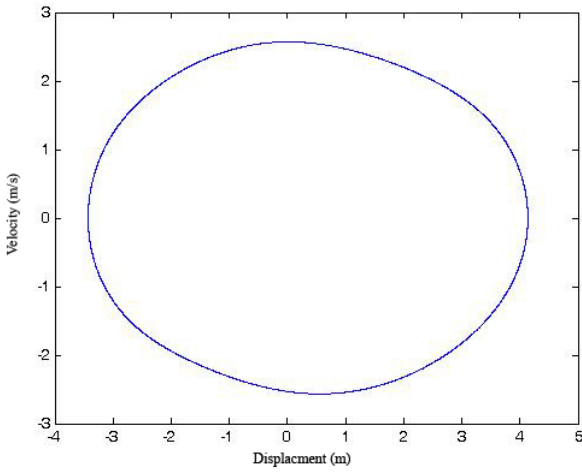
شکل (۱۰) اثر طول موج بر دامنه نوسانی در عمق ۲۰ متر

شکل (۱۱) اثر وقوع تشدید را بر دامنه نوسان رایزر در عمق ۲۰ متری نمایش می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود، وقوع تشدید، برابری فرکانس امواج و فرکانس طبیعی اول رایزر، موجب افزایش دامنه نوسان رایزر گردیده است.

دیگرام‌های فازی (۱۲) رفتار رایزر را در وضعیتی که تشدید رخ نداده است نشان می‌دهد. مقایسه این نمودار با شکل (۱۳۴) که مبین وقوع تشدید در رایزر است به خوبی مشخص می‌سازد که علاوه بر افزایش دامنه نوسان رایزر در هنگام وقوع تشدید، دامنه سرعت نیز افزایش قابل توجهی خواهد یافت. مقایسه توزیع تنش خمشی در این دو حالت (شکل (۱۴)) به خوبی نشان می‌دهد که وقوع تشدید اثرات مخربی بر رایزر خواهد داشت و دامنه تنش ایجاد شده جهش قابل ملاحظه‌ای را تجربه خواهد نمود.

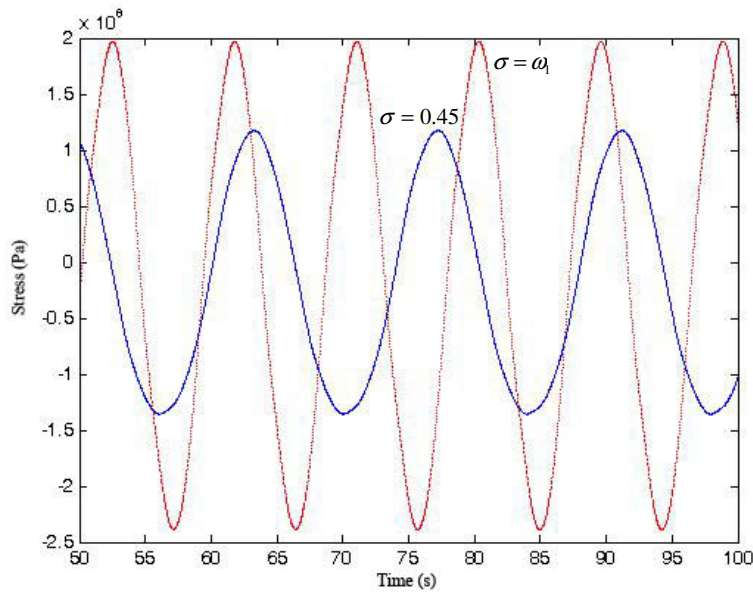


شکل (۱۱) اثر وقوع تشدید بر دامنه نوسان رایزر در عمق ۲۰ متری



شکل (۱۲) دیاگرام فازی در عمق ۲۰ متری برای وضعیتی که تشدید رخ نداده است

شکل (۱۳) دیاگرام فازی در عمق ۲۰ متری (تشدید رخ داده است)



شکل (۱۴) اثر وقوع تشدید بر تنش خمشی در رایزر (عمق ۲۰ متری)

نتیجه گیری

در این مقاله به مدلسازی رایزرهای دریایی در معرض امواج و جریان‌های دریایی پرداخته شد و معادلات حاکم بر نوسان رایزر بر این اساس بدست آمد. سپس اثر پارامترهای مختلف بر رفتار رایزر و همچنین تنش‌های خمشی ایجاد شده در آن بررسی گردید. مشاهده شد که افزایش دامنه و طول موج منجر به رشد دامنه نوسان رایزر و در نتیجه تنش‌های خمشی ایجاد شده در آن می‌گردد. همچنین ملاحظه گردید که وقوع تشدید در رایزر موجب افزایش دامنه جابجایی و همچنین سرعت می‌گردد و این موضوع می‌تواند اثرات مخربی را در رایزر ایجاد نماید.

مراجع

- [1] D.yon-Qiu, X.geng, J.Y.K.Lou, Stability of vortex-induced oscillations of tension leg platform tethers [J], Ocean Engineering (1992)
- [2] D.Yan.Qiu, Vortex-excited nonlinear vibration of tension leg of ocean platform in wave and current [J], Acta Oceanologica Sinica (1994)
- [3] Y.G Tang, S.X Zhang, C. Yi. Nonlinear vibration behaviors of casing pipe in the deep water [J], Journal of Sound and Vibration (2006)
- [4] R.D Blevins. Flow-Induced Vibration, Van Nostrand Reinhold Company, New York (1990)
- [5] S.G Kelly. Advanced Vibration Analysis, CRT, Taylor & Francis (2007)
- [6] D.R George. Water Wave Mechanics for Engineers and Scientists, World Scientific Publishing Co., Singapor (1984)

قدردانی

نگارندگان این مقاله شایسته می‌دانند از حمایت‌های مؤثر شرکت نفت فلات قاره ایران در انجام این مطالعه قدردانی نمایند.



Modeling and Dynamic Behavior Analysis of Marine Risers

A. Rahi,

H. Riahi,

A. Moghiseh

Abstract

Increasing dependency on modern oil and gas industries and also petrochemical products has turned these industries into valuable areas of study. Drilling and extraction operations have reached to 1000 m deep nowadays which shows remarkable growth towards the past. This means that structures tend to be larger which will result in an increased cost. Marine risers are among the most notable equipment that could be used in drilling operations. This article seeks to introduce a suitable model of risers which can meet geometrical and mechanical requirements. Distribution of force will, then, be calculated along it and then relevant equations will be solved using these forces. Finally, the effects of environmental and mechanical parameters of vibrational behavior of the risers will be discussed.

Keywords: *Riser, Oil and Gas Industries, Drilling Operation*