



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



انباشت آسیب خستگی ناشی از ارتعاش رایزرهای دریایی در راستای جریان و عمود بر آن

همایون ریاحی
دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکزی

امیر مقیسه
دانشگاه رازی- کرمانشاه

عباس رهی
دانشگاه رازی- کرمانشاه

RIAHI@zamyad.co.ir

abbasrahi@razi.ac.ir

moghiseh_amir@yahoo.com

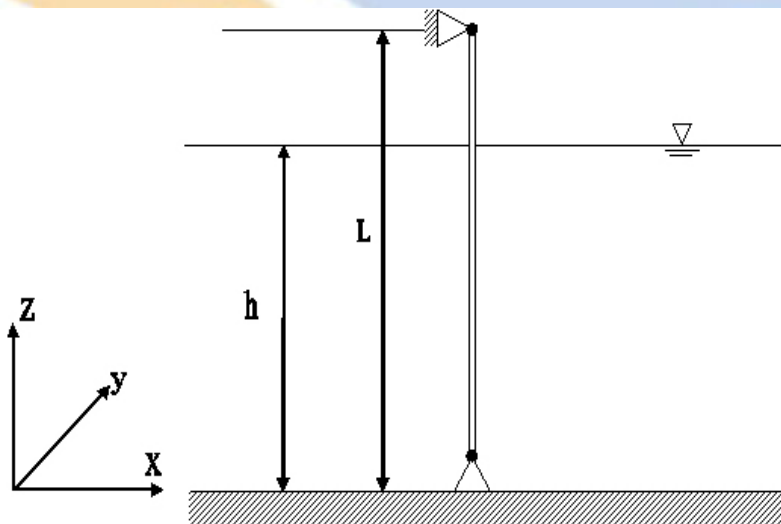
مقدمه

یکی از مباحث مهم در خصوص سازه‌هایی که در معرض بارهای دینامیکی قرار دارند، انباشت آسیب خستگی است. از جمله سازه‌های مهمی که تحت اثر تنش‌های متناوب قرار دارند می‌توان به رایزرها اشاره نمود. نیروی ناشی از محیط قرارگیری رایزر که تابعی از زمان می‌باشد موجب بروز تنش‌های نوسانی در رایزر و در نتیجه بروز آسیب خستگی می‌شود. محاسبه این تنش‌ها مستلزم بررسی ارتعاش رایزر در راستای جریان سیال و همچنین در جهت عمود بر حرکت سیال است. اثر متقابل سیلندر حاوی سیال و جریان توسط اسپارپکایا [۱] در سال ۱۹۷۹ مورد بررسی قرار گرفت. او مدل استاتیکی و دینامیکی برای پیش‌بینی رفتار سیلندر در جریان یکنواخت ارائه نمود. ایوان [۲] در سال ۱۹۸۱ مدلی جهت پیش‌بینی رفتار دینامیکی رایزر در جریان غیر یکنواخت مطرح کرد. بارهولم و همکارانش [۳] به مطالعه خستگی در رایزرهای دریایی در دو جهت جریان و عمود بر آن پرداختند.

در این مقاله ابتدا رفتار دینامیکی رایزر در دو جهت ذکر شده بررسی می‌شود و سپس با استفاده از نتایج این بخش تنش‌های وارد بر رایزر بررسی خواهند شد. در پایان با استفاده از تاریخچه بارگذاری بدست آمده و تئوری شینگلی‌جووینال به انباشت آسیب خستگی رایزر مورد مطالعه قرار می‌گیرد.

مدلسازی

با توجه به نسبت طول به سطح مقطع بالای رایزر می‌توان آنها را بصورت تیر اولر برنولی مدل نمود، سپس معادلات و روابط حاکم بر آن را بدست آورد. نیروی وارد بر رایزر در راستای جریان آب، نیروی درگ خواهد بود که با استفاده از رابطه موریسون اصلاح شده و با در نظر گرفتن سرعت برآیند میان رایزر و جریان آب بیان خواهد شد. در راستای عمود بر جریان دو نیرو بر رایزر عمل می‌کنند که شامل نیروی لیفت نوسانی ناشی از تشکیل جریان گردابه‌ای در پشت رایزر و اثر دمپینگ سیال خواهد بود. به همین منظور مدل ارائه شده در شکل (۱)، جهت استخراج معادلات به کار می‌رود.



شکل (۱) مدل رایزر جهت استخراج معادلات

فرض بر آن است که رایزر همزمان تحت اثر جریان آب و نیز امواج در جهت x قرار دارد. رایزر دارای طول L و سطح مقطع یکنواخت بوده و در دو انتهای خود توسط اتصال مفصلی به سکو و سرچاه متصل شده است. مبدأ مختصات را در بستر دریا در نظر می‌گیریم.

استخراج معادلات حاکم بر حرکت در راستای جریان

بر این اساس معادله دیفرانسیل حاکم بر حرکت رایزر با استفاده از تئوری اولر برنولی بصورت زیر حاصل می‌گردد [۴].

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

که در آن x جابجایی افقی رایزر، E و I به ترتیب 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 و $F_t(z,t)$ برآیند نیروی ناشی از جریان است که در جهت x بر واحد طول رایزر وارد می‌شود. نیروی محوری مؤثر در رایزر بصورت رابطه (۲) خواهد بود.

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

که در آن 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. استفاده از رابطه موریسون در تخمین نیروهای ناشی از برخورد امواج و جریان آب با رایزر و همچنین بهره‌گیری از نظریه امواج دامنه کوتاه در مدل کردن میدان موج، رابطه (۳) را به عنوان معادله حاکم بر نوسان رایزر در راستای جریان بدست می‌دهد [۵].

$$EI \frac{\partial^4 x}{\partial z^4} - \frac{\partial}{\partial z} \left[\left(\gamma \cdot \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot (h-z) - m_s \cdot g \cdot (L-z) \right) \cdot \frac{\partial x}{\partial z} \right] + m_t \cdot \frac{\partial^2 x}{\partial t^2} =$$

$$\frac{1}{2} C_D \cdot \rho \cdot A \cdot (a \cdot \sigma \cdot \frac{\cosh(Kz)}{\sinh(Kh)} \cdot \cos(\sigma + Kx) + v_t + v_w \cdot z - \dot{x})$$

$$\left| a \cdot \sigma \cdot \frac{\cosh(Kz)}{\sinh(Kh)} \cdot \cos(\sigma + Kx) + v_t + v_w \cdot z - \dot{x} \right| - C_M \cdot \rho \cdot V \cdot a \cdot \sigma^2 \cdot \frac{\cosh(Kz)}{\sinh(Kh)} \cdot \sin(\sigma + Kx) \quad (3)$$

$$- (C_M - 1) \cdot \rho \cdot V \cdot \frac{\partial^2 x}{\partial t^2}$$

که در آن C_D ضریب درگ، ρ چگالی آب دریا، A مساحت مؤثر در راستای عمود بر جریان آب و در واحد طول، C_M ضریب جرم اضافه شده، \dot{x} ، \ddot{x} شتاب و سرعت رایزر، V حجم مؤثر رایزر در واحد طول، a دامنه موج، K عدد موج و برابر $2\pi/L_w$ ، h عمق آب، σ فرکانس موج، L_w طول موج، v_t سرعت در کف دریا و v_w سرعت در سطح آب می‌باشد.

استخراج معادلات حرکت در راستای عمود بر جریان

جریان سیال و در نتیجه حرکت رایزر در راستای x موجب تشکیل جریان‌های گردابه‌ای در مقابل رایزر می‌شود. این جریان گردابه‌ای دو نیروی درگ در راستای جریان و نیروی لیفت در جهت عمود بر آن را سبب می‌شود. این دو نیرو تابعی از زمان خواهند بود. نیروی درگ در معادله (۳) و با استفاده از رابطه موریسون در حرکت رایزر لحاظ می‌گردد. نیروی لیفت موجب نوسان رایزر در راستای عمود بر جریان خواهد شد. به این منظور با استفاده از مدل ارائه شده در شکل (۱) معادله حاکم بر حرکت بصورت زیر خواهد بود:

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

که در آن y جابجایی رایزر در راستای عمود بر جریان و $F_y(z,t)$ نیروی وارد بر رایزر در راستای y است. این نیرو شامل دو جزء نیروی لیفت و نیروی دمپینگ ناشی از حضور سیال در اطراف رایزر است.

استفاده از روابط مربوط به تخمین نیروی لیفت در سیالات و همچنین بهره‌گیری از رابطه موریسون، معادله (۵) را به عنوان رابطه حاکم بر حرکت رایزر در راستای عمود بر جریان آب و امواج حاصل می‌نماید [۶].

$$EI \frac{\partial^4 y}{\partial z^4} - \frac{\partial}{\partial z} \left[\left(\gamma \cdot \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot (h-z) - m_s \cdot g \cdot (L-z) \right) \cdot \frac{\partial y}{\partial z} \right] + m_t \cdot \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} =$$

$$\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot (a \cdot \sigma \cdot \frac{\cosh(Kz)}{\sinh(Kh)} \cdot \cos(\sigma + Kx) + v_t + v_w \cdot z)^2 \cdot C_L \cdot \cos(\omega_s t) \quad (5)$$

$$- \frac{1}{2} C_D \cdot \rho \cdot A \cdot (\dot{y}) \cdot |\dot{y}| - (C_M - 1) \cdot \rho \cdot V \cdot \ddot{y}$$

که در آن \dot{y} ، \ddot{y} شتاب و سرعت رایزر در راستای عمود بر جریان، C_L ضریب نیروی لیفت و ω_s فرکانس تولید گردابه می‌باشد.

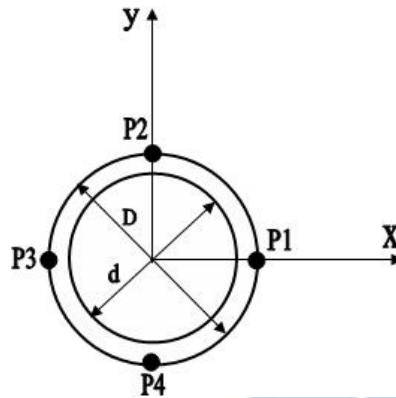
تعیین تاریخچه بارگذاری و تخمین آسیب خستگی

حل عددی معادلات (۳) و (۵) جابجایی هر نقطه از رایزر را در طول آن و در دو راستای جریان و عمود بر آن بدست می‌دهد. بر این اساس می‌توان با استفاده از روابط (۶) و (۷) تنش‌های خمشی وارد بر رایزر را در هر راستا بدست آورد.

$$\sigma_{P1,P3} = \frac{T_e(z)}{\pi/4(D^2 - d^2)} \pm \frac{ED}{2} \frac{d^2 x}{dz^2} \quad (۶)$$

$$\sigma_{P2,P4} = \frac{T_e(z)}{\pi/4(D^2 - d^2)} \pm \frac{ED}{2} \frac{d^2 y}{dz^2} \quad (۷)$$

شکل (۲) سطح مقطع رایزر را نشان می‌دهد. مشخص است که نوسان رایزر در راستای جریان در نقاط P1 و P3 و ارتعاش آن در راستای عمود بر جریان در نقاط P2 و P4 ایجاد تنش خمشی خواهد نمود. همانطور که اشاره شد از آنجا که این بارگذاری در این نقاط تابعی از زمان می‌باشد، پدیده خستگی در رایزر رخ خواهد داد و هرچه دامنه این تنش‌ها بیشتر باشد، اثر افزون تری بر کاهش عمر خستگی رایزر خواهد داشت.



شکل (۲) سطح مقطع رایزر و نقاط مورد نظر جهت تعیین تنش‌ها در جهت جریان آب (x) و جهت عمود بر جریان (y)

با بدست آوردن تاریخچه بارگذاری در هر مقطع از رایزر، رابطه (۸) بر اساس نظریه شیگلی [۷] به منظور تخمین انباشت آسیب خستگی در رایزر بکار برده خواهد شد.

$$\sigma_{ar} = \frac{\sigma_a}{1 - \frac{\sigma_m}{\sigma'_f}} = A_f N_f^B \quad (۸)$$

که رابطه فوق N_f عمر، σ_{ar} دامنه تنش کاملاً معکوس شونده، σ_a دامنه تنش نوسانی، σ_m میانگین تاریخچه بارگذاری و A_f و B ثوابت مربوط به جنس هستند.

شایان ذکر است سیکل‌های بارگذاری بر اساس روش رین فلو شمارش خواهند شد و آسیب انباشته شده بر اساس رابطه پالم گرن ماینر بدست خواهد آمد. با توجه به حضور تنش میانگین در هر مقطع از رابطه اصلاح شده مربوط به تنش کامل معکوس شونده بهره گرفته می‌شود.

حل معادلات و تحلیل نتایج

داده‌های جداول (۱) و (۲) به منظور حل معادلات و بررسی نتایج مورد استفاده قرار گرفته است.

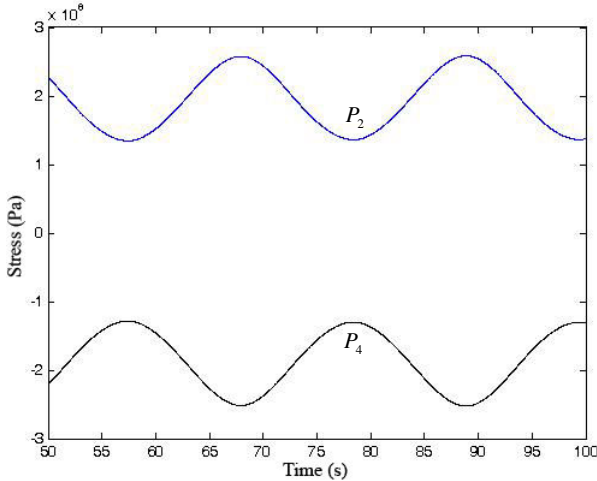
جدول (۱) مشخصات محیطی

$v_w = 0.007$	ضریب سرعت	0.8	ضریب درگ	170 m	عمق آب
$v_t = 0.4 \text{ m/s}$	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

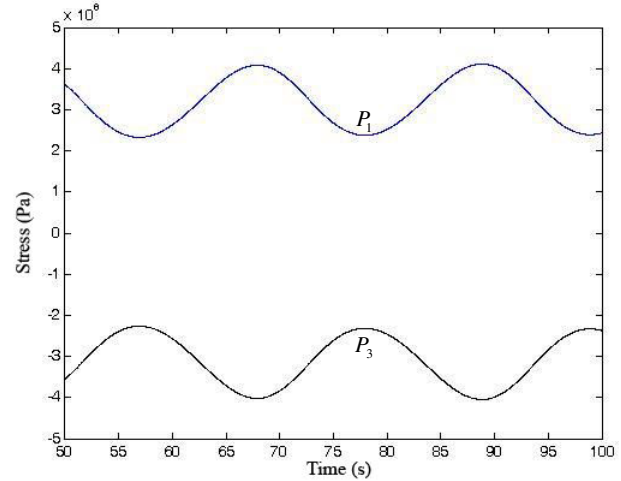
جدول (۲) مشخصات رایزر

$7850 \text{ Kg} / \text{m}^3$	چگالی رایزر	0.23 m	قطر داخلی	187 m	طول رایزر
$2175 \text{ Kg} / \text{m}^3$	چگالی سیال درون رایزر	200 GPa	مدول یانگ	0.25 m	قطر خارجی

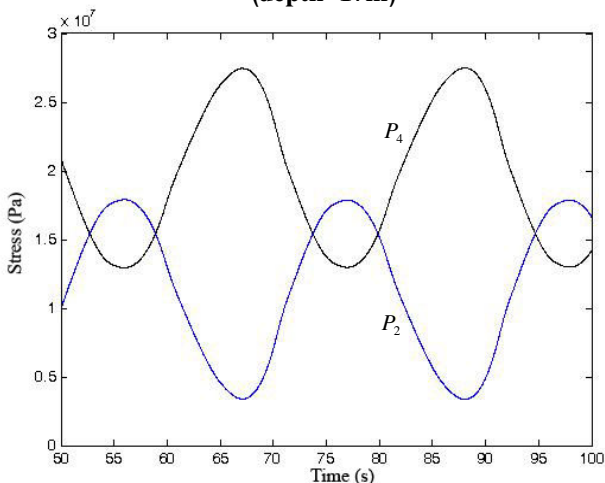
تاریخچه بارگذاری برای اعماق ۱۷، ۸۵ و ۱۵۳ متری از سطح دریا در شکل‌های (۳)، (۵) و (۷) در جهت جریان و در تصاویر (۴)، (۶) و (۸) در راستای عمود بر جریان نشان داده شده است.



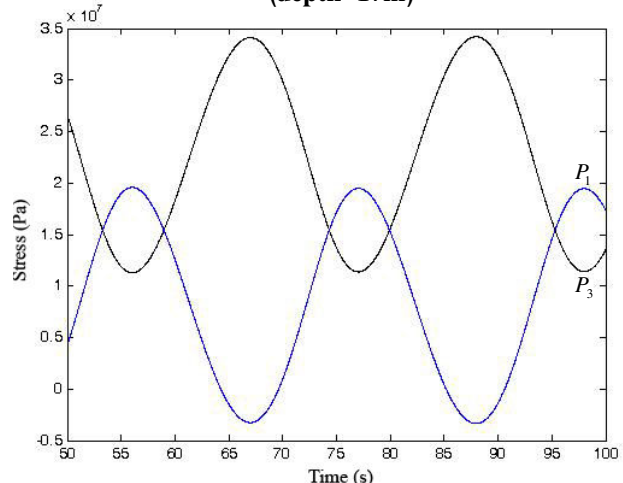
شکل (۴) تاریخچه تنش برای ارتعاش در جهت عمود بر جریان (depth=17m)



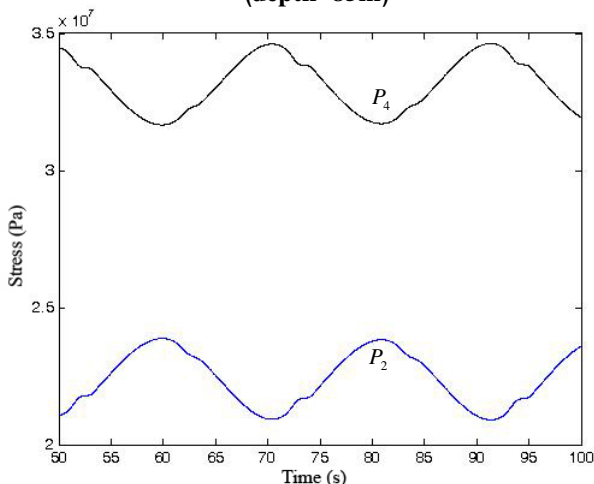
شکل (۳) تاریخچه تنش برای ارتعاش در جهت جریان (depth=17m)



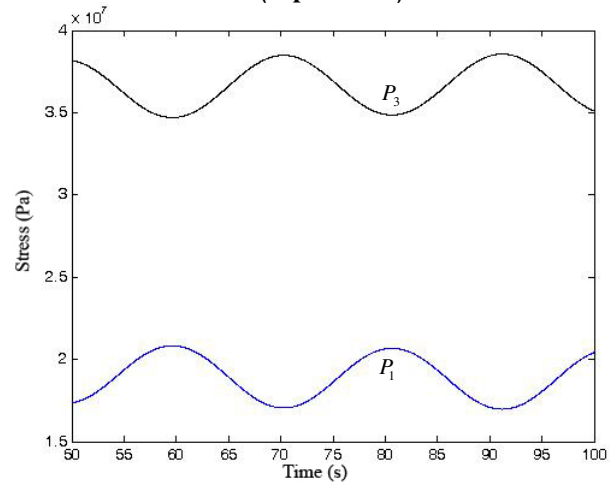
شکل (۶) تاریخچه تنش برای ارتعاش در جهت عمود بر جریان (depth=85m)



شکل (۵) تاریخچه تنش برای ارتعاش در جهت جریان (depth=85m)

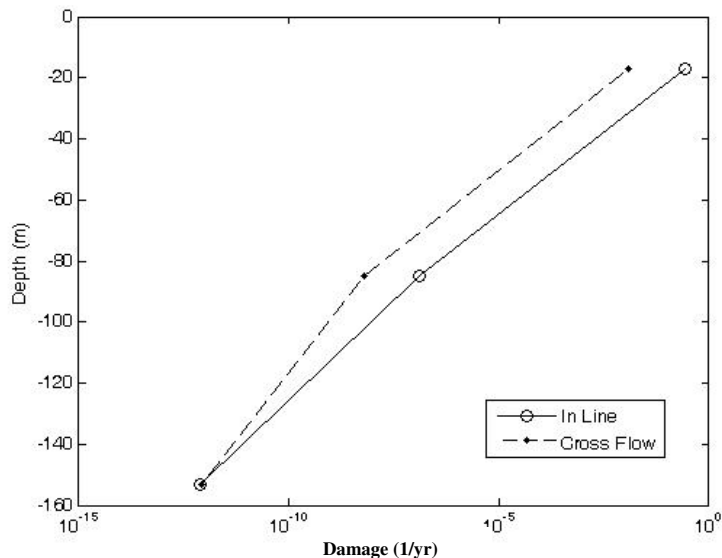


شکل (۸) تاریخچه تنش برای ارتعاش در جهت عمود بر جریان (depth=153m)



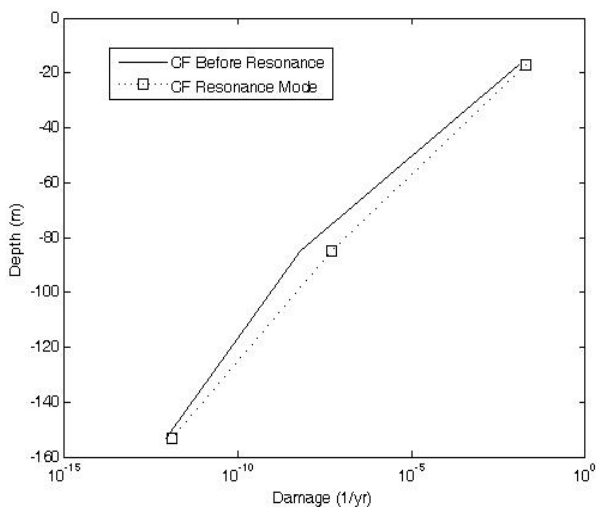
شکل (۷) تاریخچه تنش برای ارتعاش در جهت جریان (depth=153m)

پر واضح است که در نزدیکی سطح دریا به دلیل حضور امواج و برخورد آنها با رایزر، دامنه تنش‌های ایجاد شده بیشترین مقدار را خواهد داشت و این اثر با افزایش عمق به تدریج کاهش می‌یابد و در مناطق نزدیک بستر، علیرغم آنکه سطح تنش بالاتر از مناطق میانی یافته و بالطبع آن تنش‌های خمشی میانگین ایجاد شده افزایش خواهند یافت. پیش‌بینی می‌گردد که با توجه به توزیع تنش در طول رایزر، حداکثر میزان انباشت خستگی در مناطق نزدیک سطح دریا رخ دهد. این موضوع در شکل (۷) نشان داده شده است.

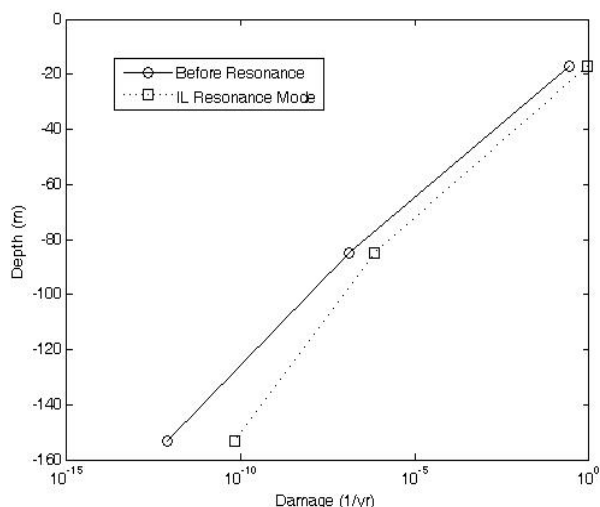


شکل (۸) آسیب انباشته شده در اثر نوسان رایزر

از شکل فوق می‌توان دریافت که دامنه تنش‌های خمشی ایجاد شده در نزدیکی سطح دریا به دلیل غالب بودن اثر امواج منجر به افزایش آسیب انباشته شده در رایزر می‌گردد. با افزایش عمق این آسیب کاهش می‌یابد. در مناطق نزدیک بستر، علیرغم آنکه سطح تنش بالاتر از مناطق میانی است، اما مشاهده می‌گردد که آسیب انباشته شده کمتر خواهد بود. علت این امر را می‌توان اینگونه توضیح داد که ترم غالب در انباشتگی آسیب، دامنه تنش‌های نوسانی است و به دلیل کاهش چشمگیر دامنه در این مناطق، آسیب ایجاد شده نسبت به نواحی میانی پایین‌تر می‌باشد. شکل‌های (۹) و (۱۰) به خوبی نشان می‌دهند که وقوع تشدید در رایزر، آسیب انباشته شده در رایزر افزایش می‌دهد. مشخص است که آسیب خستگی در جهت جریان، به دلیل دامنه نوسان بیشتر در حضور نیروهای بزرگ ناشی از موج بیشتر است و طبقاً اثر وقوع تشدید در این حالت شدیدتر از ارتعاش رایزر در جهت عمود بر جریان خواهد بود که اینک این افزایش برای شرایط محاسبه شده قریب به ۳٫۵ برابر می‌باشد. از نمودارهای (۸)، (۹)، (۱۰) می‌توان دریافت که بیشینه آسیب خستگی انباشته شده در طول رایزر در مناطق نزدیک سطح دریا رخ می‌دهد. بنابراین در صورت انجام بازرسی، بروز عیوب و آسیب در این مناطق از احتمال بیشتری برخوردار است.



شکل (۱۰) اثر تشدید بر آسیب انباشته شده در اثر نوسان رایزر در راستای عمود بر جریان



شکل (۹) اثر تشدید بر آسیب انباشته شده در اثر نوسان رایزر در راستای جریان

نتیجه گیری

در این مقاله به مدل سازی و استخراج معادلات حاکم بر نوسان رایزر در دو راستای جریان و عمود بر آن و همچنین انباشت آسیب خستگی پرداخته شد. مشاهده گردید که جابجایی نوسانی بالا در مناطق نزدیک سطح دریا، ایجاد تنش های متناوب با دامنه قابل توجهی می کند که در نهایت انباشت آسیب خستگی را رایزر در پی خواهد داشت. همچنین مشخص گردید که وقوع تشدید منجر به افزایش آسیب خستگی می گردد و این اثر به دلیل حضور نیروی قابل توجه ناشی از امواج و همچنین افزایش سرعت نوسان رایزر در مناطق نزدیک سطح دریا از رشد بیشتری برخوردار خواهد بود.

مراجع

- [1] T.Sparpkaya, Vortex-induced oscillation: a selective review [J], Journal of Applied Mechanics (1979)
- [2] W.D.Iwan, The Vortex-induced oscillation of non-uniform structural system [J], Journal of Sound and Vibration (1981)
- [3] G.S. Baarholm, C.M. Larsen, H. Lie, On fatigue damage accumulation from in-line and cross-flow vortex-induced vibrations on risers, Journal of Fluids and Structures 22(2006)
- [4] H.I.Park, D.H.Jung, A finite element method for dynamic analysis of long slender marine structures under combined parametric and forcing excitations, Ocean Engineering 29(2002)
- [5] D.R George. Water Wave Mechanics for Engineers and Scientists, World Scientific Publishing Co., Singapor (1984)
- [6] G.J.Lyons , M.H.Petal , A prediction technique for vortex induced transverse response of marine riser and tethers[J] , Journal of Sound and Vibration 111(3)(1986)
- [7] J.E Shigly, C.R Mischke. Mechanical Engineering Design, McGraw-Hill, New York (2001)

قدردانی

نگارندگان این مقاله شایسته می دانند از حمایت های مؤثر شرکت نفت فلات قاره ایران در انجام این مطالعه قدردانی نمایند.



Accumulation of Fatigue Damage Due to Vibration of Marine Risers along and Perpendicular to Current

Abstract

Accumulated fatigue damage is an important discussion in relation to the structures that are subject to dynamic loads. Risers are prime examples of such structures that are exposed to intermittent stress. The fatigue is a result of the force that is applied due to the location of riser and is a function of time. This force causes swaying stress in riser, ending in fatigue damage. Calculation of such stress requires a review on riser vibration along the fluid current and also perpendicular to the current direction. The correlation of cylinder containing fluid and current was studied by Sparpkaya in 1979. He posed a static and dynamic model that helped foreseeing the behavior of cylinder in an even current. Iwan devised a model to foresee dynamical behavior of riser in an uneven current. Baarholm studied fatigue in marine risers in two directions of along and perpendicular to the current. In this article, the dynamical behavior of riser is considered in both aforesaid directions and then the results are used to study the stresses that are created in risers. Finally, the accumulation of fatigue damage is being studied based on loading history.

Keywords: *fatigue damage, structures, cylinder, dynamical behavior*