



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



دهمین همایش بین‌المللی سواحل، بنادر و سازه‌های دریایی  
 ۲۹ آبان لغایت ۱ آذر ۹۱ (تهران-ایران)



آنالیز اندرکنش امواج و جریان با رایزر سکوی دریایی به روش مودال

محمد جواد کتابداری<sup>۱</sup>، سعید برزگر ولیک چالی<sup>۲</sup>

کلیدواژه: مدل‌سازی موج، فوم موج، اندرکنش موج و جریان با رایزر، معادله ارتعاش، آنالیز مودال

چکیده

در این پژوهش جریان و موج برخوردی به رایزر، مدل‌سازی عددی شده و نیروهای متناوب وارد بر رایزر در نقاط مختلف آن بدست آمد. برای تحلیل ارتعاش اجباری رایزر از روش آنالیز مودال استفاده شد. برای این منظور، معادله ارتعاشی حاکم که تمام نیروهای هیدرودینامیکی و استاتیکی را شامل می‌شود، به صورت عددی حل شده و فرکانس‌های طبیعی و مدهای ارتعاشی رایزر محاسبه گردید. سپس حرکت ارتعاشی رایزر در اثر اعمال نیروهای خارجی بدست آمد. به منظور نزدیک شدن حل به شرایط واقعی، در حل معادله ارتعاشی از سرعت نسبی بین سیال و رایزر در حال ارتعاش، استفاده شد. در نهایت رایزر در حالت وجود کشش در بالای آن و سیال در داخل لوله آنالیز شد و تاثیر این پارامترها بر حرکت و فرکانس‌های طبیعی رایزر بررسی شد.

مقدمه

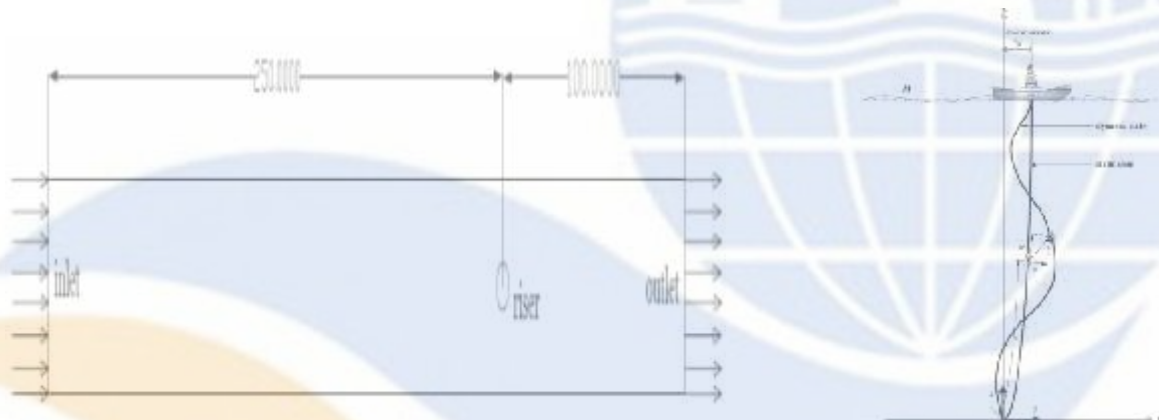
رایزر دریایی، یکی از اجزای تشکیل‌دهنده سکوهای دریایی است که از یک سمت به عرشه سکو و از سمت دیگر به بستر دریا اتصال دارد و کار انتقال نفتو گاز از بستر دریا به سکو را انجام می‌دهد. جریان پیرامون رایزر به دلیل تشکیل گردابه، خاصیت نوسانی دارد. این نوسانات هم در جهت جریان و هم عمود بر جریان به وجود می‌آیند و باعث ارتعاش رایزر می‌گردند. این ارتعاشات با توجه به دامنه و فرکانس ارتعاش باعث خستگی و کاهش عمر رایزرها می‌شوند. شکل ۱ نمایی از رایزر را در دو حالت استاتیکی و دینامیکی نشان می‌دهد [۱]. در چند دهه گذشته شکل‌های مختلفی از رایزرهای دریایی که حاوی سیال در حال جریان بودند توسط محققین بررسی شده‌اند. اهمیت اثر سیال داخلی رایزر در کاهش سختی خمشی لوله رایزر است [۲]. اثر سیال داخل لوله در سرعت پایین بر فرکانس‌های طبیعی رایزر ناچیز است. ولی با افزایش سرعت، فرکانس رایزر بشدت کاهش می‌یابد [۳]. رایزرها معمولاً بسیار بلند و لاغر هستند و سختی خمشی کمی دارند. برای جلوگیری از کمانش رایزر، از کشش در بالای رایزرها (T.T) استفاده می‌شود، افزایش این کشش معمولاً تاثیر کمی بر فرکانس مود اول رایزر دارد و لی باعث افزایش سایر فرکانس‌های رایزر می‌گردد. افزایش مدول الاستیسیته نیز روی فرکانس اول تاثیری ندارد ولی سایر فرکانس‌های رایزر را افزایش می‌دهد [۴]. هدف از این بررسی حل کامل معادله ارتعاش رایزر با محاسبه نیرو به روش دینامیک سیال محاسباتی در نرم افزار فلوئنت و در نظر گرفتن سرعت رایزر در محاسبه نیروی وارد بر رایزر است.

<sup>۱</sup>-دانشیار - دانشگاه صنعتی امیرکبیر - [ketabdar@aut.ac.ir](mailto:ketabdar@aut.ac.ir)

<sup>۲</sup>-دانشجوی کارشناسی - دانشگاه صنعتی امیرکبیر - [saeed.barzegar.v@aut.ac.ir](mailto:saeed.barzegar.v@aut.ac.ir)

### مدلسازی مسئله

جهت مدلسازی اندرکنش ابتدا لازم است موج و جریان شبیه سازی گردد. سپس برخورد آنها به رایزر مدل شود. به منظور مدلسازی موج، از تابع پتانسیل موج و جریان در ورودی تانک موج استفاده شد. در مدل سازی موج باید از دو فاز آب و هوا استفاده کرد و برای ناحیه دوفازی از روش VOF استفاده می شود که با تعریف ضریب حجمی فازهای آب و هوا در این ناحیه مشخص می شود [۵]. جریان دریایی نیز از فرم های استاندارد خطی پیروی می کند. با دادن پروفیل سرعت در جهت افقی و عمودی و همچنین معادله سطح آزاد متغیر موج به نرم افزار مورد نظر می توان موج ایجاد کرد [۶]. در این روش بسته به نوع موج مورد نظر می توان موج دلخواه اعم از خطی و غیرخطی را ایجاد کرد [۷]. برای مدل سازی مسئله تانکی به ابعاد ۳۵۰، ۱۱۰، ۱۰ متر در نظر گرفته و مرکز رایزر در مختصاتی به طول ۲۵۰ و عرض ۵ متر قرار داده شد. فضای محاسباتی سه بعدی اطراف رایزر را باید به اندازه ای بزرگ انتخاب نمود که چند طول موج را شامل شود و دیواره ها روی حل تاثیر نگذارند. شکل ۲ این فضا را نشان می دهد. شبکه بندی مسئله به گونه ای انجام شد که تراکم مش در اطراف رایزر بیشتر باشد. همچنین در جهت ارتفاع، تراکم مش بندی در نزدیکی سطح آزاد بیشتر انتخاب شد تا تحلیل بهتری از تولید موج و برخورد آن با رایزر بدست آید. رایزر در طول به ۱۰ ناحیه تقسیم شد تا بتوان توزیع نیرو را در نواحی مختلف آن به منظور آنالیز دقیقتر بدست آورد (شکل ۳). با توجه به متناوب بودن موج نسبت به زمان و همچنین دیتای ورودی موج به مرز سمت چپ تانک موج به صورت تاریخچه زمانی، حل به صورت گذرا انجام شد. به منظور دستیابی سریع تر به شرایط واقعی حل مسئله، مقداردهی اولیه در تمام دامنه حل از روی مقادیر مرزی انجام شد (شکل ۴).

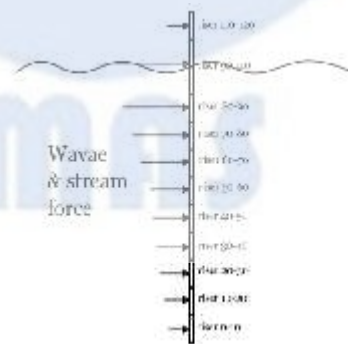


شکل ۱) تعادل رایزر عمودی

شکل ۲) پلان فضای محاسباتی در شبیه سازی مسئله



شکل ۴) مقداردهی اولیه مسئله



شکل ۳) تقسیم بندی رایزر به ۱۰ قسمت جهت آنالیز

### معادله ارتعاش حاکم

حرکت جانبی رایزر، با معادلات زیر بیان می شود [۸]:

$$\frac{d^2}{dy^2} \left( EI \frac{d^2 x}{dy^2} \right) - \frac{d}{dy} \left( T(y) \frac{dx}{dy} \right) + \rho_l A_l V \frac{d^2 x}{dy dt^2} + m_{tot} \frac{dx^2}{dt^2} = F(y, t) \quad (1)$$

$$T(y) = T_B + W y \quad (2)$$

$$T_B = T_{top} - P_l A_l + P_e A_e - \rho_l A_l V^2 \quad (3)$$

$$W = g(\rho_s - \rho) A_s + g(\rho_l - \rho) A_l \quad (4)$$

$$m_{tot} = m + C_a \rho_{water} A_e + \rho_l A_l \quad (5)$$

که در آن  $EI$  سختی خمشی تیر،  $m$  جرم موثر واحد طول تیر،  $V$  سرعت سیال داخلی،  $C_a$  ضریب جرم افزوده،  $\rho$ ،  $\rho_s$  و  $\rho_w$  به ترتیب چگالی آب، سیال داخلی و فولاد رایزر است.  $F(y, t)$  نیز، توزیع نیروی پیوسته وارد در جهت جانبی است. شرایط مرزی معادله ۱، در روابط ۶ و ۷ آمده است که بیانگر تکیه گاه مفصلی در بستر دریا و مفصلی با جابجایی افقی در بالای رایزر است. به منظور ساده سازی و حذف ترم مشتق ترکیبی، سرعت سیال داخل صفر فرض شده است.

$$x_{y=0} = 0 \quad x_{y=L} = \alpha \quad (6)$$

$$\frac{d^2 x}{dy^2} \Big|_{y=0} = 0 \quad \frac{d^2 x}{dy^2} \Big|_{y=L} = 0 \quad (7)$$

ترم  $F(y, t)$  از رابطه زیر بدست می آید:

$$F = 0.5 C_D \rho_{water} D (v_w + v_c + v_s) |v_w + v_c + v_s| + \frac{\rho_{water} \pi D^3}{4} (C_M a_w + C_a a_s) \quad (8)$$

که در آن  $v_w$  و  $v_c$  و  $v_s$  به ترتیب سرعت رایزر، سرعت جریان و سرعت ذرات آب ناشی از موج هستند و  $C_M$  و  $C_a$  و  $C_D$  به ترتیب ضریب نیروی درگ، ضریب جرم افزوده و ضریب اینرسی می باشند. در قسمت قبل رایزر بدون حرکت فرض شد یعنی  $v_s$  و  $v_c$  صفر منظور شده و نیروهای ناشی از اندرکنش آن با جریان و موج بدست آمد [۹]. اما در واقعیت رایزر دارای سرعت و شتاب است. برای رفع این مشکل و نزدیکی حل مسئله به شرایط واقعی، ترم  $C_a \rho_{water} A_e$  در  $m_{tot}$  و سرعت نسبی بین سیال و رایزر در نظر گرفته می شود.

### حل معادله ارتعاشی به روش مودال

برای محاسبه مقادیر و بردارهای ویژه معادلات با مشتق جزئی، باید شرایط مرزی همگن شوند. با فرض  $x(y, t) = v(y, t) + u(y)$ ، معادله ۴ به فرم استاندارد برای حل تبدیل می شود. در نتیجه، تابع  $v(y, t)$  از حل معادله زیر بدست می آید:

$$\frac{d^2 v}{dy^2} \left( EI \frac{d^2 v}{dy^2} \right) - \frac{d}{dy} \left( T(y) \frac{dv}{dy} \right) + m \frac{dv^2}{dt^2} = F(y, t) \quad (9)$$

برای حل این معادله ابتدا معادله همگن حل و مقادیر و بردار ویژه آن محاسبه می گردد. در مورد اغلب رایزرها، فرض ثابت بودن  $m$  و  $EI$  در طول تیر، منطقی به نظر می رسد که با اعمال تغییرات در معادله همگن شده، به معادله ساده شده زیر تبدیل می شود:

$$\frac{\partial^2 v}{\partial y^2} - \frac{\partial}{\partial y} \left[ (\beta + \alpha y) \frac{\partial v}{\partial y} \right] + \frac{m}{EI} \frac{d^2 v}{dt^2} = 0 \quad (10)$$

برای حل معادله این معادله می توان از روش جداسازی متغیرها استفاده کرد،  $v(y, t) = \phi(y) \cdot \eta(t)$  و به معادلات زیر رسید:

$$\frac{\partial^2 v}{\partial y^2} - \frac{\partial}{\partial y} \left[ (\beta + \alpha y) \frac{\partial v}{\partial y} \right] + \lambda^2 \phi = 0 \quad , \quad \lambda^2 = \frac{m \omega^2}{EI} \quad (11)$$

با توجه به اینکه در این تحقیق، تحلیل پاسخ حالت دائمی سیستم ناشی از نیروهای خارجی اعمالی به آن مورد نظر است، فقط به حل معادله ۱۱، برای فرکانس های طبیعی و شکل مودهای ارتعاشی رایزر نیاز است. از آنجا که این معادله، دارای ضریب متغیر می باشد، محاسبه تابع  $\phi$  بر حسب توابع اولیه امکان پذیر نیست. از این رو برای حل معادله و بدست آوردن مقادیر ویژه  $\lambda$  و بردارهای ویژه  $\phi$  از روش عددی به شرح زیر استفاده گردیده است [۱۰ و ۱۱]:

$$\phi = \sum_{k=0}^{\infty} (y - y_0)^k \phi(k) \quad (12)$$

$$\phi(k) = \frac{1}{k!} \left( \frac{d^k \phi}{dy^k} \right) \quad (13)$$

با در نظر گرفتن معادله ۱۲ و چهار شرط مرزی معادله ۱۱ داریم:

$$\phi_{y=0} = 0 \rightarrow \sum_{k=0}^{\infty} (-y_0)^k \phi(k) = 0 \quad (14)$$

$$\sum_{k=0}^{\infty} (-y_0)^k \phi(k) = 0 \rightarrow \sum_{k=0}^{\infty} k(k-1)(-y_0)^{k-2} \phi(k) = 0 \quad (15)$$

$$\phi_{y=L} = 0 \rightarrow \sum_{k=0}^{\infty} (L - y_0)^k \phi(k) = 0 \quad (16)$$

$$\frac{d^2 \phi}{dy^2} \Big|_{y=L} = 0 \rightarrow \sum_{k=0}^{\infty} k(k-1)(L - y_0)^{k-2} \phi(k) = 0 \quad (17)$$

با اعمال روابط ۱۲ و ۱۳، رابطه ۱۱ به صورت زیر بازنویسی می شود:

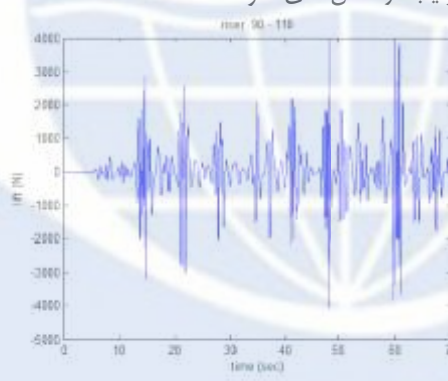
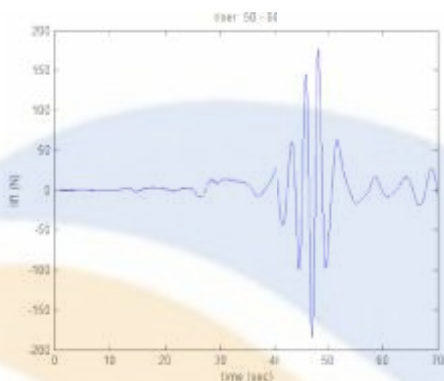
$$\phi(k+2) = \frac{\beta \phi(k+2)}{(k+2)(k+2)} + \frac{\alpha y_0 \phi(k+2)}{(k+2)(k+2)} + \frac{\alpha k \phi(k+1)}{(k+2)(k+2)(k+2)} + \frac{\alpha \phi(k+1)}{(k+2)(k+2)(k+2)} + \frac{\lambda^2 \phi(k+1)}{(k+1)(k+2)(k+2)(k+2)} \quad (18)$$



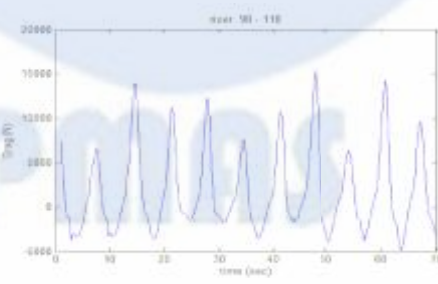
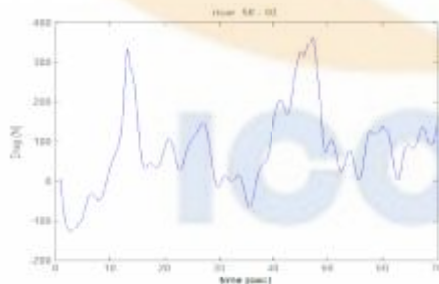
جدول ۳) مشخصات رایزر

۱۱۰ m	طول
۰٫۲۵ m	قطر
۰٫۰۷۵ m	ضخامت
۳٫۹۲e۷	سخت خمشی (EI)
۷۸۵۰ kg/m <sup>۳</sup>	چگالی فولاد
۸۸۰ kg/m <sup>۳</sup>	چگالی سیال داخلی
۱ m	جابه جایی افقی در نقطه اتصال به سکو
۱۰۲۵ kg/m <sup>۳</sup>	چگالی آب
۱	ضریب جرم افزوده
۱۰۰ m	عمق آب
۲۰ ton	کشش بالای رایزر

برای محاسبه نیروی موج و جریان وارد بر رایزر از نرم افزار FLUENT استفاده شد. موج و جریان نیروهایی در دو جهت همسو و عمود بر جریان به رایزر وارد می نمایند. این نیروها به صورت تابعی از زمان در ده قسمت از رایزر ثبت شد و از آنها به عنوان ورودی در حل معادله ارتعاش رایزر استفاده شد. نمونه ای از نیروهای لیفت و درگ بدست آمده بر رایزر برای قطعات در ارتفاع ۶۰-۵۰ متری و ۱۱۰-۹۰ متری از بستر دریا، به ترتیب در شکل های ۶ و ۷ آمده است.



شکل ۶) نیروی لیفت وارد بر المانهای ۶۰-۵۰ و ۱۱۰-۹۰ رایزر



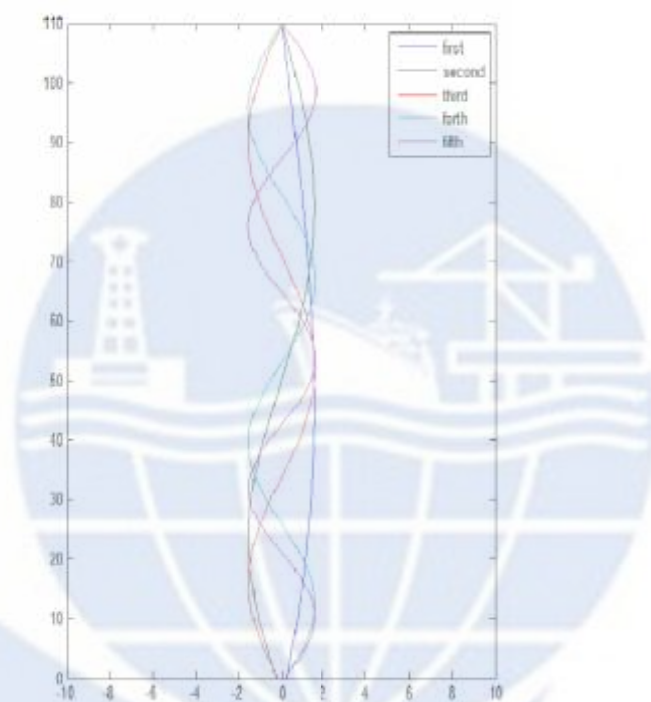
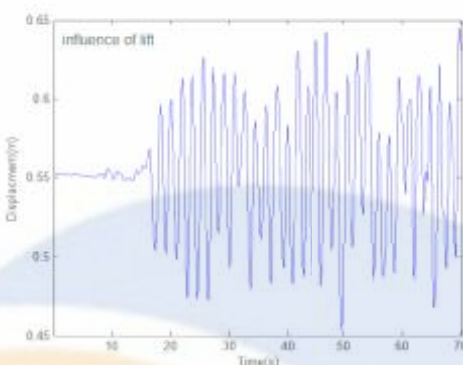
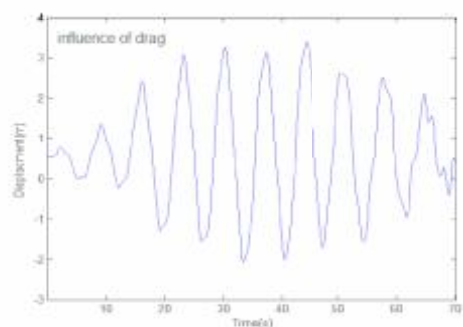
شکل ۷) نیروی درگ وارد بر المانهای ۶۰-۵۰ و ۱۱۰-۹۰ رایزر

با استفاده از داده های بدست آمده از FLUENT، به عنوان بارگذاری خارجی وارد بر رایزر و حل معادله ۱ با روش ارایه شده، فرکانس های اولیه سازه و حرکت کلی رایزر بدست می آید. در جدول ۴، پنج فرکانس اول ارتعاش طبیعی رایزر مربوط به مودهای ارتعاشی شکل ۸ نشان داده شده است. با استفاده از کد نوشته شده، حرکت کلی رایزر بدست می آید که در شکل ۹ تاریخچه زمانی حرکت نقطه میانی رایزر، در دو جهت جریان و عمود بر جریان آورده شده است.

جدول ۴) پنج فرکانس اول ارتعاش آزاد رایزر

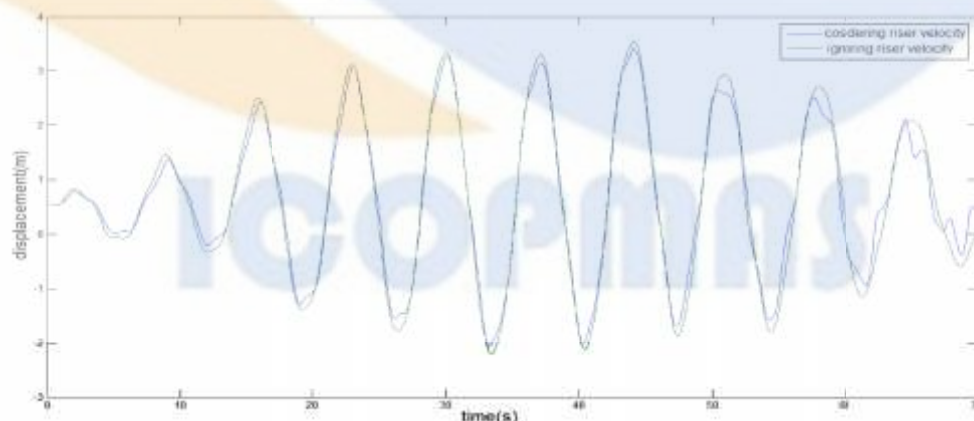
شماره مود	۱	۲	۳	۴	۵
فرکانس زاویه ای (ثانیه/۱)	۰٫۸۷۲۷	۲٫۰۰۷۳	۳٫۵۱۴۱	۵٫۴۶۳۴	۷٫۸۹۰۶

با توجه به شکل ۹ رایزر در جهت جریان دامنه جابجایی بیشتری دارد. تاثیر سرعت رایزر در شکل ۱۰، نشان داده شده است. از آنجایی که سرعت رایزر در مقایسه با سرعت سیال پیرامون آن، ناچیز است، استفاده از سرعت نسبی در محاسبه نیروی وارد بر رایزر تفاوت چندانی ایجاد نمی کند. به دلیل تغییر جهت حرکت رایزر، بیشینه اختلاف در نقاط توقف رایزر در هر نیم سیکل است که استفاده از سرعت نسبی باعث کاهش دامنه حرکت رایزر می گردد.



شکل ۹) جابجایی تقطه وسط رایزر به ترتیب در جهت جریان و عمود بر آن

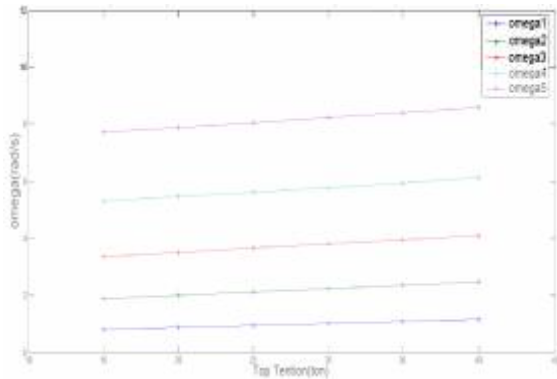
شکل ۸) شکل پنج مود اول ارتعاش آزاد رایزر



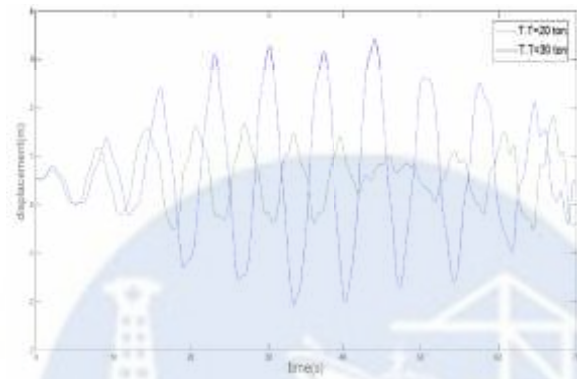
شکل ۱۰) تاثیر سرعت رایزر در جابجایی در جهت جریان در عمق ۵۰ متری

کشش در بالای رایزر به منظور جلوگیری از کماتش رایزر است. با افزایش کشش رایزر، دامنه حرکت نقاط مختلف رایزر کم می شود. شکل ۱۱، کاهش دامنه حرکت و افزایش تعداد نوسانات حرکت افقی نقطه میانی رایزر را نشان می دهد. از نمودارهای شکل ۱۲، نیز می توان دریافت که افزایش کشش، باعث افزایش فرکانس های زاویه ای رایزر می گردد. این افزایش نسبت به شماره مود، سیری صعودی دارد.

سیال داخلی علاوه بر فشار هیدرواستاتیک وارد بر رایزر، دارای ترم اینرسی هم هست که می توان اثر آنرا در معادله ۵، در نظر گرفت. در شکل ۱۳ و جدول ۵، اثر این ترم بر حرکت رایزر و فرکانس های رایزر، نشان داده شده است. بر اساس این بررسی سیال داخل رایزر باعث کاهش فرکانس ارتعاش رایزر می گردد.



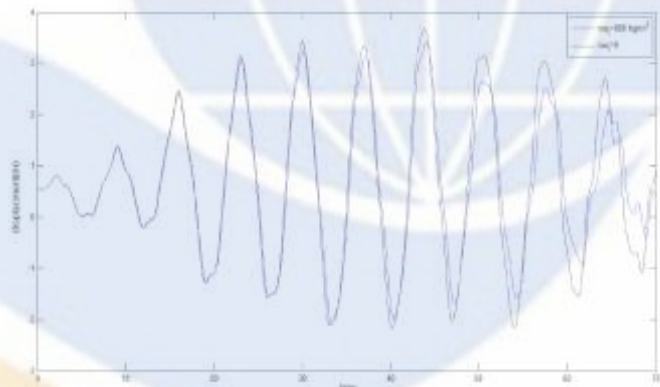
شکل ۱۲) تاثیر T.T بر پنج فرکانس اول ارتعاش رایزر



شکل ۱۱) تاثیر T.T بر جابجایی نقطه میانی رایزر

جدول ۵) تاثیر سیال داخلی بر فرکانس رایزر

شماره مود	فرکانس (ترتز) $\rho_i = 180$ ( $\text{kg/m}^3$ )	فرکانس (ترتز) $\rho_i =$ ( $\text{kg/m}^3$ )
۱	۰/۸۷۲۷	۰/۸۸۰۷
۲	۲/۰۰۷۳	۲/۰۲۵۷
۳	۳/۵۱۴۱	۳/۵۴۶۵
۴	۵/۴۶۳۴	۵/۵۱۳۷
۵	۷/۸۹۰۶	۷/۹۶۳۲



شکل ۱۴) تاثیر سیال داخلی بر جابجایی نقطه میانی رایزر

### نتیجه گیری

در این تحقیق یک رایزر دریایی در فلووم موج عددی در معرض موج و جریان قرار گرفت. سپس آنالیز مودال روی آن انجام و تاریخچه زمانی جابجایی نقاط مختلف رایزر و نیروی درگ وارد بر آن بدست آمد. در نهایت اثر پارامترها مهم در این مسئله بر روی ارتعاش و حرکت رایزر بررسی شد. مهمترین نتایج این پژوهش بشرح زیر قابل بیان است:

- منظور نمودن سرعت حرکت رایزر در معادلات (سرعت نسبی) باعث کاهش دامنه حرکت رایزر خواهد شد؛ ضمن اینکه بیشینه تاثیر استفاده از این روش در نقاط توقف حرکت رایزر است.
- شیب فرکانس با افزایش کشش بالای رایزر افزایش یافته و با شماره مود ارتعاشی رابطه مستقیم دارد. این نتیجه با نتایج بدست آمده از مرجع [۴] مطابقت دارد. همچنین افزایش کشش بالای رایزر باعث کاهش دامنه و افزایش تعداد نوسانات رایزر می شود.
- در نظر گرفتن سیال داخلی، فرکانس های ارتعاشی رایزر را کاهش می دهد.



مراجع

- [١]- Kaewuruena, S., Chiravatchradej, J., Chucheepsakul, S. "Nonlinear free vibrations of marine risers/pipes transporting fluid", ELSEVIER-OCEAN ENGINEERING, ٢٠٠٤.
- [٢]- Irani M.B., Modi V.J., "Riser dynamics with international flow and nutasion damping", Proceedings of the Sixth International Offshore Mechanics and Arctic Engineering Conference. Hoston, vol٣ ,١٩٨٧.pp .١١٩-١٢٥.
- [٣]- Moe, G., Chucheepsakul, S. , "The effect internal flow on marine risers", Proceedings of the Seventh International Offshore Mechanics and Arctic Engineering Conference, Hoston, USA, vol١ ,١٩٨٨ .pp . ٣٧٥-٣٨٢.
- [٤]- Lenklong, J., Chucheepsakul, S., Kaewuruen, S., " Dynamic Responses of Marine Risers/Pipes Transporting Fluid Subject to Top End Excitations", ISOPE Pacific/Asia Offshore Mechanics Symposium, Bangkok, ٢٠٠٨.
- [٥]- Dean, R.G, Dalrymple, R.A, Water wave mechanics for engineers and scientists-World scientific ١٩٩١.
- [٦]- Gomes, M. N., Olinto, C. R. Rocha, L. A. O. Souza, J. A. Isoldia, L. A., Computational Modeling of a Regular Wave Tank, Ciência/Science, Thermal Engineering, Vol ٨ (٠١),pp ٤٤-٥٠, ٢٠٠٩.
- [٧]- FLUNET Help, Tutorial١٠ , "Simulation of Wave Generation in a Tank".
- [٨]- Chucheepsakul, S., The effect of internal flow on marine risers, ١٩٨٥.
- [٩]- Chen, H.C, Chen, C.R, Mercier, R.S, "CFD Simulation of a riser VIV", Final Projecy Report, Department of Civil Engineering, Texas A&m University, ٢٠٠٧.
- [١٠]- Yanfei Chen, Y.H. Chai, X.L., Zhou, J., "An extraction of the natural frequencies and mode shapes of marine risers by the method of differential transformation", ELSEVIER- Computers and Structures, Computers and Structures ٨٧ (٢٠٠٩) ١٣٨٤-١٣٩٣
- [١١]- Dareing, D. W., Huang, T., "Natural Frequencies of Marine Drilling Risers", ١٩٧٦
- [١٢]- Rao, S., Mechanical vibrations, Fourth Edition



ICOPMAS

## Analysis of Wave-Current Interaction with Marine Risers Using Modal Approach

**M. J. Ketabdari**

Assistant professor, Amir Kabir Technical University

[ketabdar@aut.ac.ir](mailto:ketabdar@aut.ac.ir)

**S. B. Valik Chali**

Amir Kabir Technical University

[Saeed.barzegar.v@aut.ac.ir](mailto:Saeed.barzegar.v@aut.ac.ir)

### Abstract:

In this research, current and wave, which hit the riser, are numerically modeled and the cyclic loads on the riser are obtained on various parts. To analyze the forced vibration, the modal analysis approach was applied. For this purpose, the dominant vibration equation which includes all the hydrodynamic and static forces, was solved numerically and the natural frequencies and riser vibrational modes were computed. Then, the vibrational movements of riser in effect of external forces were obtained. To approximate the solution to the real situation, the relative speed between fluid and vibrational riser were applied in solving the vibration equation.

**Key words:** wave modeling, wave flume, wave-current interaction with marine riser, vibration equation, modal analysis

ICOPMAS