

بررسی تاثیر نیروهای هیدرودینامیکی بر روی خطوط لوله بستر دریا در منطقه ویژه اقتصادی انرژی پارس (عسلویه)

کامران لاری^{۱*}، امیرحسین جاوید^۲ و محمدرضا باقری چیمه^۳

۱. گروه فیزیک دریا، دانشکده علوم و فنون دریایی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال

۲. گروه مهندسی محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات

۳. گروه فیزیک دریا، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱۲/۱۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۹/۲۲

چکیده

خطوط لوله زیر آب در معرض عوامل هیدرودینامیکی و هیدرواستاتیکی ناشی از شرایط محیطی موجود در منطقه هستند. در این تحقیق به منظور بررسی پایداری خطوط لوله در زیر آب، با توجه به نیروهای ناشی از موج و جریان یک تحلیل پایداری انجام شده است. به منظور طراحی و تحلیل خطوط لوله در زیر آب استانداردهای DNV-RP-C205 و DNV-RP-E305 مورد استفاده قرار گرفت. منطقه مورد مطالعه سواحل بندر عسلویه و داده‌های استفاده شده شامل داده‌های موج در منطقه عسلویه، از سال ۲۰۰۷ تا سال ۲۰۰۸ است که به مدت یک سال توسط یک بویه شناور جمع‌آوری شده است. از طرفی داده‌های جریان بر اساس داده‌های سازمان بنادر و دریانوردی در نظر گرفته شده است. ضرایب هیدرودینامیکی و اعداد بدون بعد مثل ضرایب درگ، لیفت، عدد رینولدز، کولگان کارپنتر و همچنین نیروهای هیدرودینامیکی وارد شده به خطوط لوله در شرایط مختلف محاسبه گردید. نتایج نشان می‌دهد که با توجه به شرایط موجود طراحی لوله‌هایی با قطرهای بزرگتر از $0.7m$ مناسب نیستند، شایان ذکر است که در عمل نیز لوله‌های استفاده شده در اغلب پروژه‌های حوزه خلیج فارس مگر در کاربردهای خاص از این سایز تجاوز نمی‌کنند. لوله‌هایی با قطر $0.4m$ مناسب‌ترین حالت برای طراحی هستند. همچنین حداقل وزن لوله‌ای به قطر $0.7m$ در زیر آب به ازای ارتفاع موج شاخص، که معمولاً در طراحی لوله‌ها لحاظ می‌شود، 1365 کیلوگرم بر متر محاسبه گردید.

واژگان کلیدی: خط لوله، استاندارد DNV، عسلویه، پایداری ایستایی، نیروهای هیدرودینامیکی

مقدمه

هیدرودینامیکی، بود. Lauridsen و همکاران (۱۹۹۹) در مورد تخریب‌های ناشی از نیروی امواج در دهانه آزاد خطوط لوله چند دهانه‌ای تحقیق کردند. هدف آن‌ها به دست آوردن یک رابطه منطقی جدید برای محاسبه طول مجاز دهانه آزاد، بر اساس تخمین تخریب در جهت خطوط لوله چند دهانه‌ای بوده است. Marzurkiewicz در سال ۱۹۸۷ و Kennedy در ۱۹۹۳ مطالعاتی در زمینه خطوط لوله‌های انتقال انرژی در ساحل و فرا ساحل انجام دادند. همچنین Xu و همکاران در ۱۹۹۹ به بررسی اثر امواج بر روی لوله‌ها در بستر دریا پرداختند. در تحقیق حاضر، ضرائب و نیروهای هیدرودینامیکی و تحلیل پایداری در منطقه مورد مطالعه در ارائه می‌شوند و نتایج به دست آمده تفسیر خواهند شد.

مواد و روش‌ها

منطقه عسلویه در شرق استان بوشهر در حاشیه

خلیج فارس در ۲۷۰ کیلومتری بندر بوشهر و ۵۷۰

کیلومتری غرب بندر عباس واقع است (شکل ۱).

یک سیستم خط لوله معمولاً در واقع بخشی از خط لوله‌ای است که از نقطه‌ای در یک خلیج، تا ایستگاه دیگری در قسمت‌های دور از ساحل یا در نزدیکی ساحل گسترده شده است. اولین چاه نفت حفاری شده در دریا مربوط به ساحل ۱۹۴۷ در خلیج مکزیک است. اولین حمل سوخت که توسط قایق‌ها انجام شد مربوط به سال ۱۹۵۲ و اولین خط لوله افقی در بستر دریا مربوط به سال ۱۹۵۴ است. تخمین زده می‌شود که نزدیک به ۹۰۰۰۰ کیلومتر خط لوله برای انتقال فرآورده‌های هیدروکربنی در دریاها طی چهار دهه اخیر نصب شده است که سالانه ۵۰۰۰ کیلومتر به طول آنها اضافه می‌شود. بخش عمده سیستم‌های خط لوله در مناطق خلیج فارس، خلیج مکزیک و دریای شمال قرار دارند (نعمتی، ۱۳۸۹؛ ولی پور، ۱۳۸۴).

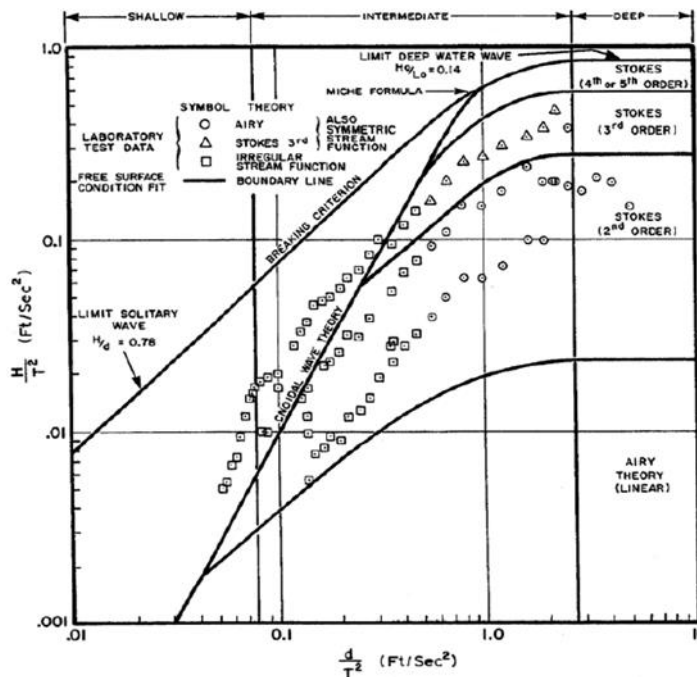
تحلیل پایداری در بستر به منظور بررسی نیروهای ناشی از موج و جریان و همچنین سایر نیروهای داخلی و خارجی انجام می‌گیرد. Larsen و همکاران (۲۰۰۲) به تحقیق در زمینه مدل‌های مختلف برای آنالیز ارتعاشات ناشی از تاول‌ها پرداختند، هدف آن‌ها در این تحقیق دستیابی به یک روش جدید برای آنالیز ارتعاشات ناشی از ورتکس‌ها و تاثیرات و تخریب‌های ناشی از نیروهای



شکل ۱- موقعیت منطقه عسلویه نسبت به خلیج فارس

رسد، بنابراین در این تحقیق یک محدوده عمقی بین ۱۰ تا ۴۵ متر را در نظر گرفته شده است و محاسبات برای عمق های ۱۰ و ۴۵ متر انجام شده است. ابتدا قبل از هرچیز باید با توجه به شرایط فیزیکی، مدل موج مناسب و نوع منطقه توجه شود. برای این منظور در این تحقیق از استاندارد DNV استفاده شد. با مشخص شدن محدوده اعتبار تئوری، روابط مورد نیاز مشخص گردید و محاسبات مربوطه انجام شد (شکل ۲).

داده‌های مورد استفاده در این تحقیق شامل داده‌های موج در خلیج فارس، منطقه عسلویه، از ۲۴ آوریل سال ۲۰۰۷ تا ۲۵ آوریل سال ۲۰۰۸ می‌باشد (به مدت یک سال) که در عرض جغرافیایی $30^{\circ}39'N$ و طول جغرافیایی $52^{\circ}33'13'E$ جمع‌آوری شده است. به منظور تعیین نیروهای وارد بر لوله هم اثر موج و هم جریان مورد بررسی قرار می‌گیرند. داده های جریان مربوط به سال ۸۷ و ۸۸ می باشد و توسط سازمان بنادر و دریانوردی ارائه شده است. با توجه به سوابق تحقیقاتی در منطقه عسلویه در برخی مناطق دور از ساحل عمق آب به ۴۵ متر نیز می



شکل ۲- محدوده اعتبار تئوری های موج مختلف

کولگان-کارپنترو ضریب ناهمواری (زبری) محاسبه گردید که این اعداد برای مطالعات دیگر در این منطقه نیز قابل استفاده می باشند.

بعد از تعیین منطقه مورد مطالعه و تئوری موج حاکم در مرحله بعد برخی از ضرائب هیدرودینامیکی و اعداد بدون بعد کاربردی مثل ضریب درگ، عدد رینولدز، عدد ضریب درگ (C_D)

$$C_D = C_D(R_e, K_D, \Delta) \quad (1)$$

عدد رینولدز (R_e)

$$R_e = \frac{UD}{\nu} \quad (2)$$

عدد کولگان - کار پنتر (K_C)

$$K_C = \frac{UT}{D} \quad (۳)$$

نسبت عدد رینولدز به کولگان - کارپنتر به صورت زیر بیان می شود:

$$\beta = \frac{R_e}{K_C} = \frac{D^2}{\nu T} \quad (۴)$$

ضریب ناهمواری (Δ)

$$\Delta = \frac{k}{D} \quad (۵)$$

در رابطه فوق k ارتفاع ناهمواری است که با توجه به جدول (۱) مشخص می گردد.

جدول ۱- ناهمواری سطحی

Material	k (meters)
Steel, new uncoated	5×10^{-5}
Steel, painted	5×10^{-6}
Steel, highly corroded	3×10^{-3}
Concrete	3×10^{-3}
Marine growth	$5 \times 10^{-3} - 5 \times 10^{-2}$

رینولدز محاسبه می گردد. به منظور محاسبه عدد رینولدز، ویسکوزیته سینماتیکی 0.94 برای دمای 25 درجه سانتی گراد انتخاب شد (جدول ۲).

با توجه به مشخص بودن روابط لازم برای محاسبه سرعت ذرات، ابتدا سرعت ماکزیمم محاسبه خواهد شد، سپس به ازای چند قطر مختلف عدد کولگان - کارپنتر و

جدول ۲- چگالی و ویسکوزیته مربوط به آب تازه، آب دریا و هوای خشک

Temperature [°C]	Density, ρ , [kg/m ³]			Kinematic viscosity, ν , [m ² /s]		
	Fresh water	Sea water*	Dry air**	Fresh water	Sea water*	Dry air
0	999.8	1028.0	1.293	1.79×10^{-6}	1.83×10^{-6}	1.32×10^{-5}
5	1000.0	1027.6	1.270	1.52	1.56	1.36
10	999.7	1026.9	1.247	1.31	1.35	1.41
15	999.1	1025.9	1.226	1.14	1.19	1.45
20	998.2	1024.7	1.205	1.00	1.05	1.50
25	997.0	1023.2	1.184	0.89	0.94	1.55
30	995.6	1021.7	1.165	0.80	0.85	1.60

با توجه به اینکه مورد مطالعه یک حالت هموار به حساب می آید، یعنی حالت خط چین شده در شکل (۳)، به ازای عددهای رینولدز کوچکتر از 10^5 مقدار C_{DS} (که تاثیر ناهمواری و عدد رینولدز را در ضریب درگ نشان می دهد) مقداری ثابت و برابر با $1/2$ خواهد داشت. حال به

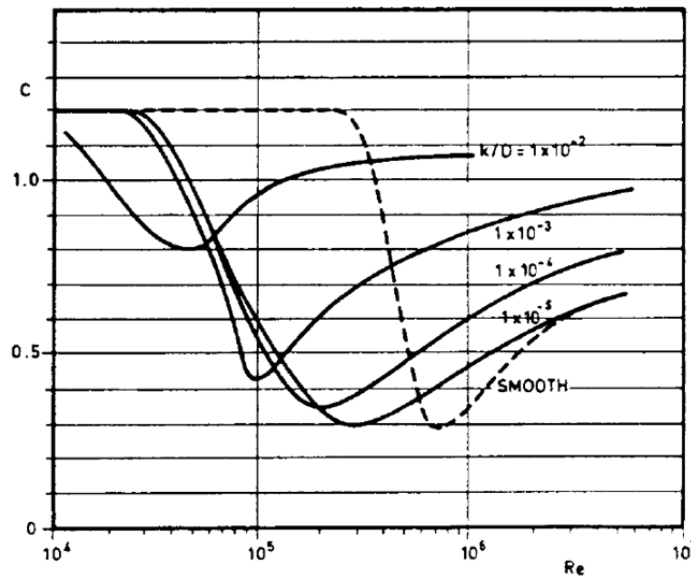
در محاسبات k مربوط به فولاد رنگ شده یعنی 10^{-6} $5 \times$ متر در نظر گرفته شد. که در این صورت، ضریب ناهمواری در اینجا کوچکتر از مرتبه 10^{-4} خواهد بود که از این نظر استوانه، هموار محسوب می گردد.

کوچکتر از ۱۲ (مقدار معمول آن) محاسبه می‌گردد:

بررسی و محاسبه اثر ضریب کولگان- کارپنتر در ضریب درگ پرداخته می‌شود که برای عدد کولگان- کارپنتر

$$\psi(K_c) = \begin{cases} C_\pi + 0.10(K_c - 12) & 2 \leq K_c \leq 12 \\ C_\pi - 1.00 & 0.75 \leq K_c < 2 \\ C_\pi - 1.00 - 2.00(K_c - 0.75) & K_c \leq 0.75 \end{cases} \quad (6)$$

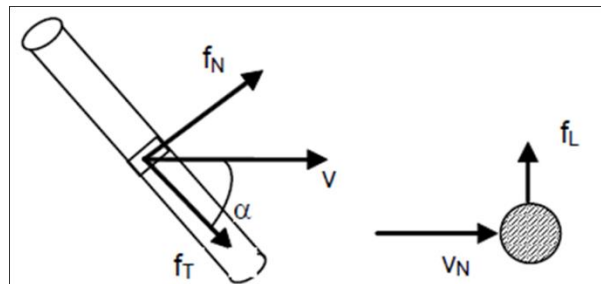
$$C_\pi = 1.50 - 0.024(12/C_{DS} - 10) \quad (7)$$



شکل ۳- ضرائب درگ برای یک استوانه دایره ای در یک جریان مانا، حالت بحرانی، به ازای ناهمواری های مختلف

پیچشی m_T به مقاطع غیر دایره ای وارد می‌شود. به طور کلی در سیالی که بردار سرعت با محور جسم زاویه می‌سازد، نیروی درگ به دو مولفه f_N و f_T تقسیم می‌شود (شکل ۴).

نیروهای هیدرودینامیکی وارد به یک سازه بلند و کشیده، از جمع نیروهایی که به هر بخش سازه وارد می‌شود به دست می‌آید. به طور کلی بردار نیروهای وارد شده به بخشی از سازه به مولفه های f_N ، نیروی عمود، f_T ، نیروی مماسی و یک نیروی کششی f_L که هم بر f_N و هم f_T عمود است تقسیم می‌شود. علاوه بر این یک تکانه



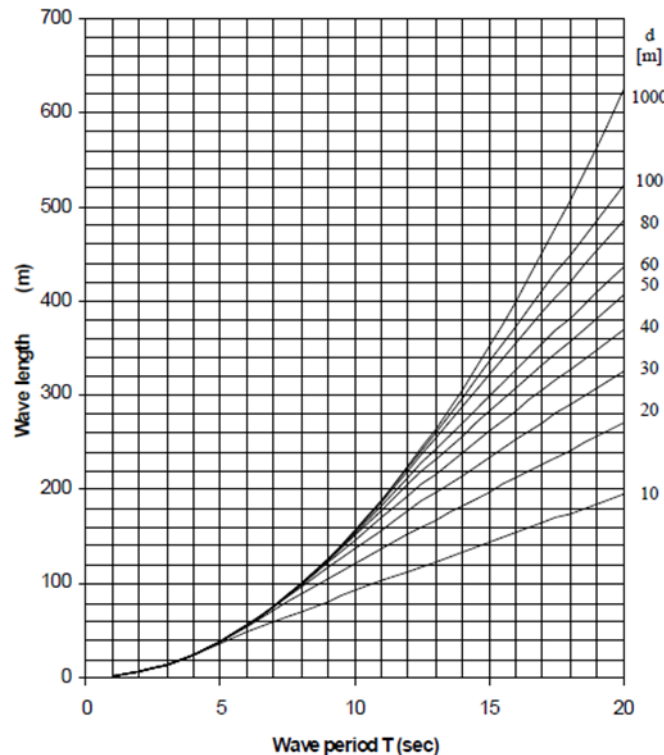
شکل ۴- نیروهای عمودی، ؛ نیروی مماسی، و نیروی کششی وارد شده به یک سازه بلند و کشیده

$$f_N(t) = \rho(1 + C_A) A \dot{v} + \frac{1}{2} \rho C_D D v |v| \quad (۸)$$

در این رابطه \dot{v} شتاب ذرات سیال و A سطح مقطع لوله است.

در شرایط مختلف طول موج را به صورت تابعی از دوره تناوب و عمق با استفاده از شکل (۵) استخراج کرد.

با توجه به استاندارد DNV، برای یک استوانه بلند در یک سیال نامتناهی مقدار ضریب انباشت جرم، یعنی C_A ، در این مطالعه مقدار یک در نظر گرفته شده است. می توان



شکل ۵- طول موج به صورت تابعی از دوره تناوب در عمق‌های مختلف، برای امواج خطی

بر اساس استاندارد DNV برای بررسی پایداری سه روش تحلیلی دینامیکی، روش عمومی و روش ساده شده وجود دارد. روش تحلیلی دینامیکی شامل شبیه سازی دینامیکی مقطعی از خط لوله است که تحت تاثیر جریان و موج می باشد، این روش برای شرایط محیطی خاصی مورد استفاده قرار می گیرد. روش تحلیل عمومی پایداری خط لوله، بر اساس عمومیت بخشیدن به نتایج تحلیل دینامیکی با استفاده از پارامترهای بدون بعد و شرایط خاص استوار است اما روش ساده شده برای بیشتر طراحی‌ها مناسب می باشد. روش تحلیل پایداری استاتیک ساده شده در DNV RP-E305 بر اساس یک روش تعادلی نیمه استاتیک استوار است. شرایط تعادلی در راستای قائم همیشه مورد مطالعه قرار نمی گیرد. این شرط زمانی مهم است که بستر

به منظور تحلیل و طراحی خطوط لوله در زیر آب استانداردهای محدودی وجود دارد، استانداردهایی که به طور گسترده مورد استفاده قرار می گیرند عبارتند از: BS 8010، ASME B31.8-1999 Chapter VIII، DNV OS-F101 و ISO 13623 Part 3 استاندارد DNV به عنوان مناسب ترین استاندارد برای طراحی خطوط لوله در خلیج فارس مورد توجه قرار گرفته است و خطوط لوله زیادی با استفاده از استاندارد فوق با موفقیت طراحی شده است، لذا در این تحقیق از استاندارد DNV استفاده می شود. این استاندارد برای طراحی، نیروها و عوامل مقاومتی در نظر گرفته می شود.

تعریف می‌شود. نتایج قابل قبولی با استفاده از این روش به دست می‌آید.

حداقل وزن لوله به منظور جلوگیری از جابه‌جایی‌های افقی خط لوله در اثر نیروهای محیطی از یک توازن ساده بین نیروهای استاتیکی افقی و اصطکاکی محاسبه می‌شود. این شرایط طبق استاندارد DNV پایداری بحرانی نامیده می‌شود و با رابطه زیر بیان می‌شود:

$$[W_S / F_W - F_L] \mu \geq F_D + F_I \quad (9)$$

در این حالت حداقل وزن لوله زیر آب با رابطه زیر بیان می‌شود:

$$W_S = \left[\frac{(F_D + F_I) + \mu \cdot F_L}{\mu} \right]_{\max} \cdot F_W \quad (10)$$

موج شاخص عمود بر لوله یعنی U_s مورد استفاده قرار می‌گیرند نیز باید مورد بررسی قرار گیرند. T_p و T_n با استفاده از روابط زیر تعریف می‌شوند:

$$T_p = \sqrt{250 H_s g} \quad (11)$$

$$T_n = \sqrt{\frac{d}{g}} \quad (12)$$

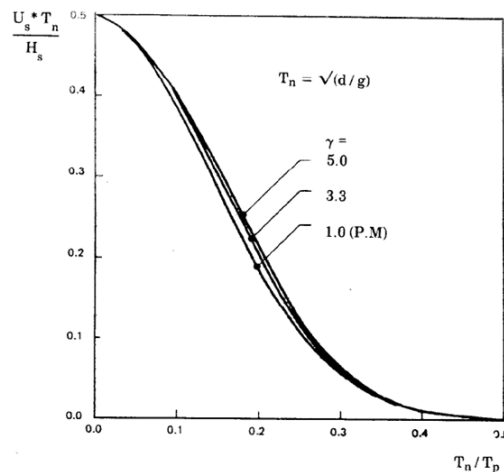
دانه بندی متوسط (d_{50}) و ناهمواری بستر (z_0) با استفاده از جدول (۳) تعیین می‌شود.

خیلی نرم باشد. بنابراین در این تحقیق نیز محاسبات تعادل افقی بیشتر مورد بررسی قرار می‌گیرد.

هدف این بخش طرح ریزی روشی ساده به منظور بررسی پایداری در همه شرایط نرمال است. این روش بر اساس روش پایداری ایستایی است که طراحی ایستایی کلاسیک را به روش پایداری عمومی از طریق کالیبره کردن روش کلاسیک با استفاده از نتایج پایداری عمومی به هم پیوند می‌زند. در اینجا یک فاکتور کالیبراسیون یعنی F_W

پارامترهای مربوط به ارتفاع موج شاخص امواج H_s و دوره تناوب چکادی موج T_p که به منظور محاسبه سرعت

با استفاده از شکل (۶) به ازای یک T_n/T_p معین، مقدار $(U_s^* T_n)/H_s$ مشخص می‌شود و سپس U_s تعیین می‌گردد.



شکل ۶- تعیین سرعت موج شاخص

جدول ۳- تعیین دانه بندی و ناهمواری با توجه به جنس بستر

Seabed	Grain Size	Roughness
	d50 (mm)	z ₀ (m)
Silt	0.0625	5.21E-06
Very Fine Sand	0.125	1.04E-05
Fine Sand	0.25	2.08E-05
Medium Sand	0.5	4.17E-05
Coarse Sand	1	8.33E-05
Very Coarse Sand	2	1.67E-04
Gravel	4	3.33E-04
Pebble	10	8.33E-04
	25	2.08E-03
	50	4.17E-03
Cobble	100	8.33E-03
	250	2.08E-02
Boulder	500	4.17E-02

(۱۳)

$$U_{avg} = \frac{1}{\ln\left(\frac{z_r}{z_0} + 1\right)} \left[\left(1 + \frac{z_0}{D}\right) \ln\left(1 + \frac{D}{z_0}\right) - 1 \right]$$

(۱۴)

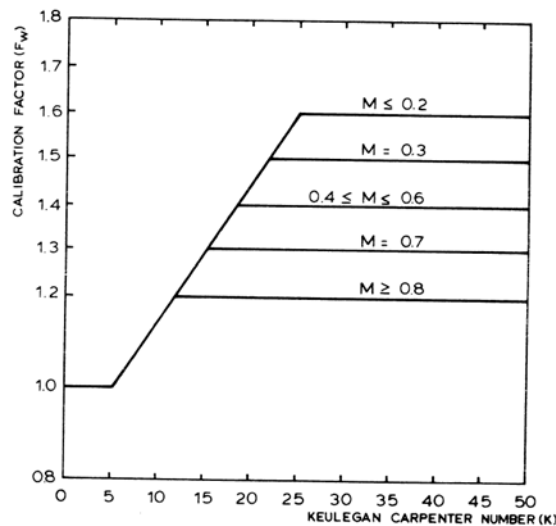
$$U_{avg} = U_D / U_r$$

$$M = U_D / U_s \quad (15)$$

در این حالت عدد کولگان کارپنتر به صورت زیر نشان داده شده است

$$Kc = (U_s T_p) / D \quad (16)$$

بعد از مشخص شدن مقادیر K_c و M با استفاده از شکل ۷ فاکتور کالیبراسیون مربوط به وزن لوله در زیر آب محاسبه می شود.



شکل ۷- فاکتور کالیبراسیون به صورت تابعی از K و M

نیروهای دینامیکی شامل نیروی درگ، نیروی لختی و نیروی بالا برنده که از روابط زیر محاسبه می گردند:

نیروی درگ

$$F_D = C_D \rho |U_n| U_n D / 2 \quad (16)$$

نیروی لختی

$$F_I = C_M \rho \pi D^2 \dot{U}_n / 4 \quad (17)$$

نیروی بالا برنده

$$F_L = C_L \rho U_n^2 D / 2 \quad (18)$$

$$|U_n| = \sqrt{U_n^2 + V_n^2} \quad (19)$$

نتایج

توجه به ارتفاع موج شاخص، دوره تناوب و عمق آب برای منطقه در نظر گرفته شد (جدول ۴).

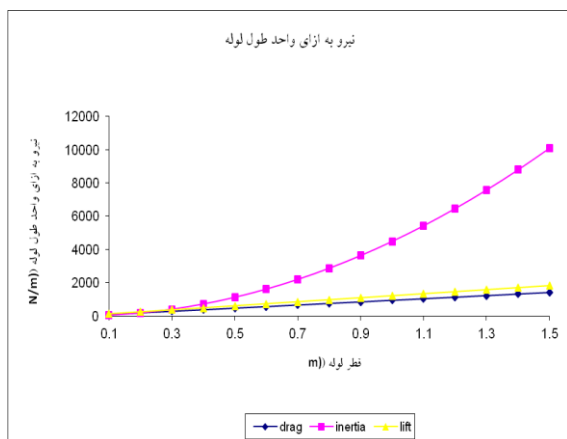
با توجه به داده های هیدرودینامیکی در منطقه عسلویه ارتفاع موج غالب ۱/۳ متر، ارتفاع موج متوسط ۰/۴۲ متر و ارتفاع موج ماکزیمم ۲/۷ متر است. سه سناریو مختلف با

جدول ۴- تعیین نوع منطقه و تئوری حاکم در حالت‌های مختلف با توجه به ارتفاع موج شاخص، دوره تناوب و عمق

نوع منطقه	تئوری موج	d/T^2	H/T^2	عمق (m)	دوره تناوب (s)	ارتفاع موج (m)
آب عمیق	ایری	۱/۲۴	۰/۰۷۵	۴۵	۶/۰۲	۲/۷
منطقه میان آب	ایری	۰/۲۸	۰/۰۷۵	۱۰	۶/۰۲	۲/۷
آب عمیق	استوکس (مرتبه دوم)	۱/۲۵	۰/۰۳۶	۴۵	۶/۰۲	۱/۳

نتایج مربوط به ضرائب هیدرودینامیکی مختلف با توجه به قطرهای مختلف لوله، نیروهای هیدرودینامیکی به ازای قطرهای مختلف، تغییرات نیروهای وارد شده بر لوله ای در زیر آب در یک دوره تناوب و تغییرات حداقل وزن لوله در زیر آب در مقابل تغییرات سرعت ذرات مربوط به یک دوره تناوب را در سناریوهای مختلف نشان می دهد.

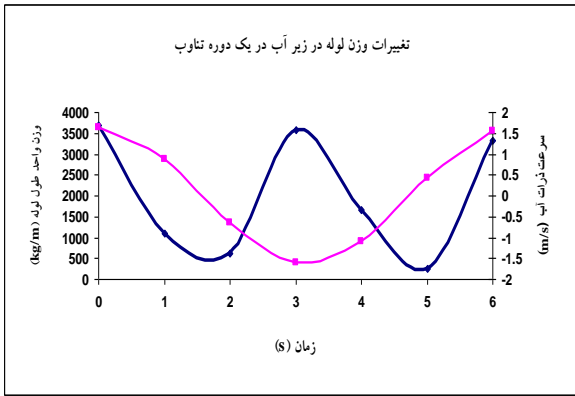
در سناریو اول ارتفاع موج ماکزیمم- منطقه عمیق، تئوری خطی ایری و شرایط آب عمیق حاکم است. در سناریو دوم ارتفاع موج غالب - منطقه میان آب، تئوری ایری و شرایط میان آب حاکم است و در سناریو سوم حالت ارتفاع موج غالب- منطقه عمیق، تئوری خطی استوکس مرتبه دو و شرایط منطقه آب عمیق حاکم است. شکل های (۹،۸ و ۱۰)



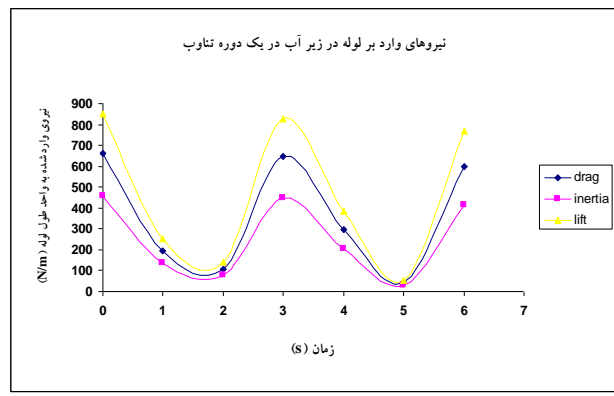
ب

قطر سازه (متر)	کولگان کاربتر	عدد رینولدز	ضریب ناهمواری	ضریب درگ	f_d / f_I
0.1	97.661	0.173	0.000050	12.08	59.82
0.2	48.830	0.345	0.000025	6.22	15.40
0.3	32.554	0.518	0.000017	4.27	7.04
0.4	24.415	0.690	0.000013	3.29	4.07
0.5	19.532	0.863	0.000010	2.70	2.68
0.6	16.277	1.035	0.000008	2.31	1.91
0.7	13.952	1.208	0.000007	2.03	1.44
0.8	12.208	1.381	0.000006	1.82	1.13
0.9	10.851	1.553	0.000006	1.66	0.91
1.0	9.766	1.726	0.000005	1.53	0.76
1.1	8.878	1.898	0.000005	1.43	0.64
1.2	8.138	2.071	0.000004	1.34	0.55
1.3	7.512	2.244	0.000004	1.26	0.48
1.4	6.976	2.416	0.000004	1.20	0.42
1.5	6.511	2.589	0.000003	1.14	0.38

الف

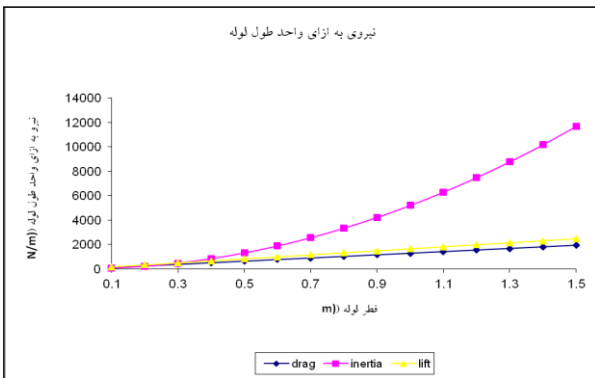


د



ج

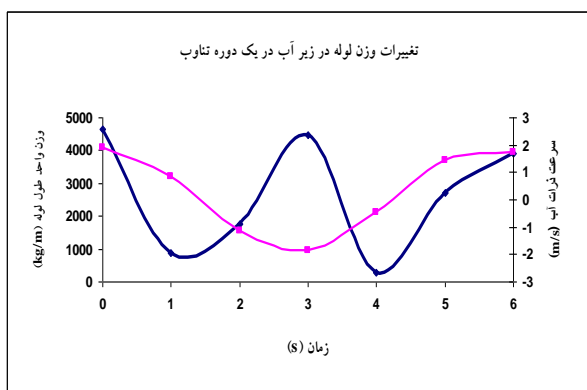
شکل ۸- نتایج مربوط به سناریو اول الف) ضرائب هیدرودینامیکی مختلف با توجه به قطرهای مختلف لوله، ب) نیروهای هیدرودینامیکی به ازای قطرهای مختلف، ج) تغییرات نیروهای وارد شده بر لوله ای در زیر آب در یک دوره تناوب، د) تغییرات حداقل وزن لوله در زیر آب در مقابل تغییرات سرعت ذرات مربوط به یک دوره تناوب



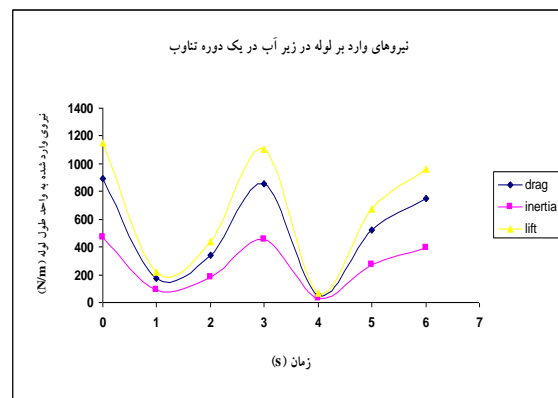
ب

قطر سازه (متر)	کولگان کارپنتر	عدد رینولدز	ضریب ضریب ناهماری	ضریب درگ	f_d / f_l
0.1	113.637	0.201	0.000050	14.00	80.66
0.2	56.818	0.402	0.000025	7.18	20.68
0.3	37.879	0.602	0.000017	4.91	9.42
0.4	28.409	0.803	0.000013	3.77	5.43
0.5	22.727	1.004	0.000010	3.09	3.56
0.6	18.939	1.205	0.000008	2.63	2.53
0.7	16.234	1.406	0.000007	2.31	1.90
0.8	14.205	1.607	0.000006	2.06	1.49
0.9	12.626	1.807	0.000006	1.88	1.20
1.0	11.364	2.008	0.000005	1.72	0.99
1.1	10.331	2.209	0.000005	1.60	0.84
1.2	9.470	2.410	0.000004	1.50	0.72
1.3	8.741	2.611	0.000004	1.41	0.62
1.4	8.117	2.811	0.000004	1.33	0.55
1.5	7.576	3.012	0.000003	1.27	0.49

الف

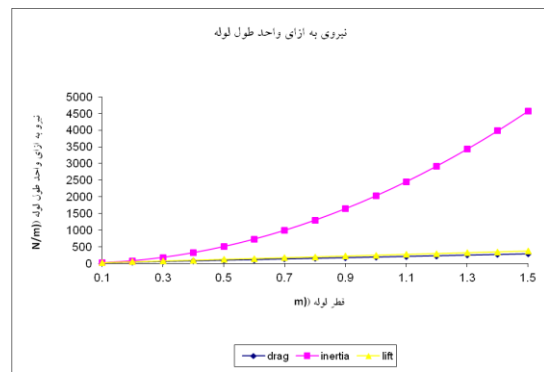


د



ج

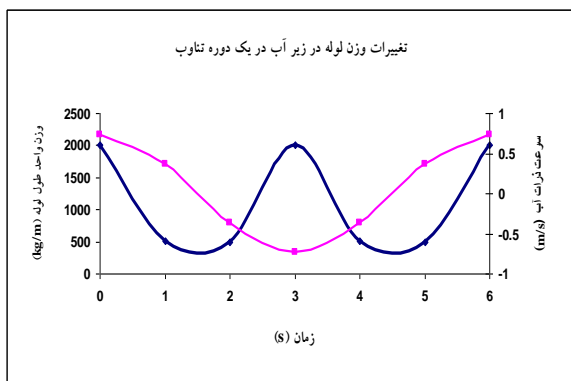
شکل ۹- نتایج مربوط به سناریو دوم الف) ضرائب هیدرودینامیکی مختلف با توجه به قطرهای مختلف لوله، ب) نیروهای هیدرودینامیکی به ازای قطرهای مختلف، ج) تغییرات نیروهای وارد شده بر لوله ای در زیر آب در یک دوره تناوب، د) تغییرات حداقل وزن لوله در زیر آب در مقابل تغییرات سرعت ذرات مربوط به یک دوره تناوب



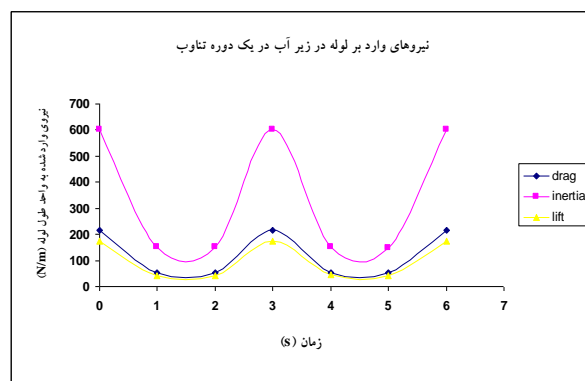
ب

قطر سازه (متر)	کولگان کارپتر	عدد رینولدز	ضریب ناهمبازی	ضریب درگ	f_d / f_I
0.1	44.162	0.078	0.000050	5.66	12.67
0.2	22.081	0.157	0.000025	3.01	3.37
0.3	14.721	0.235	0.000017	2.13	1.59
0.4	11.041	0.313	0.000013	1.68	0.94
0.5	8.832	0.392	0.000010	1.42	0.64
0.6	7.360	0.470	0.000008	1.24	0.46
0.7	6.309	0.548	0.000007	1.12	0.36
0.8	5.520	0.626	0.000006	1.02	0.29
0.9	4.907	0.705	0.000006	0.95	0.24
1.0	4.416	0.783	0.000005	0.89	0.20
1.1	4.015	0.861	0.000005	0.84	0.17
1.2	3.680	0.940	0.000004	0.80	0.15
1.3	3.397	1.018	0.000004	0.77	0.13
1.4	3.154	1.096	0.000004	0.74	0.12
1.5	2.944	1.175	0.000003	0.71	0.11

الف



د

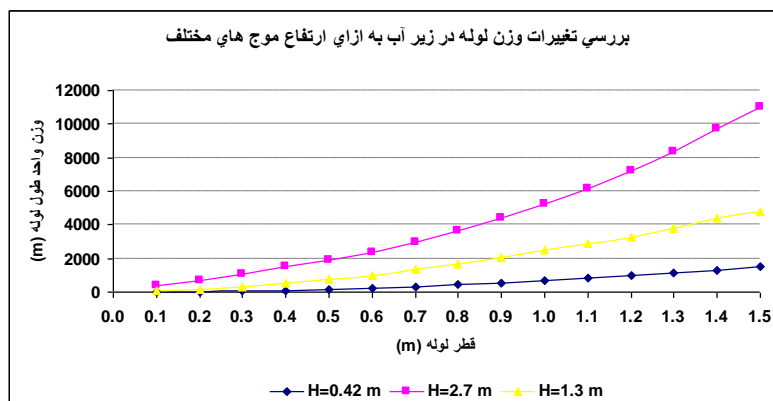


ج

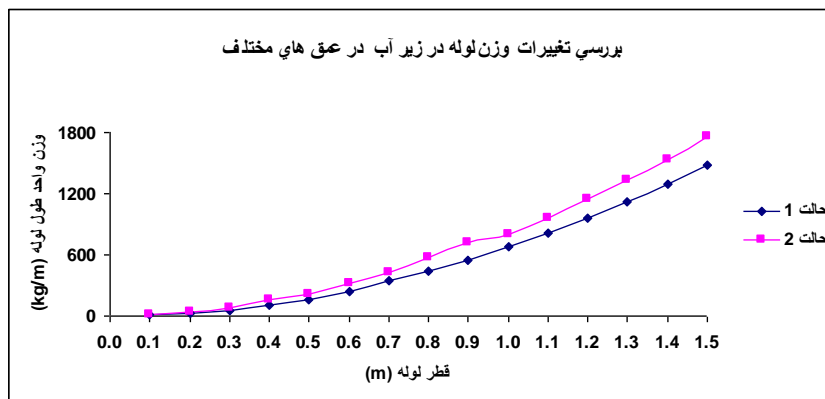
شکل ۱۰- نتایج مربوط به سناریو سوم (الف) ضرائب هیدرودینامیکی مختلف با توجه به قطرهای مختلف لوله، (ب) نیروهای هیدرودینامیکی به ازای قطرهای مختلف، (ج) تغییرات نیروهای وارد شده بر لوله ای در زیر آب در یک دوره تناوب، (د) تغییرات حداقل وزن لوله در زیر آب در مقابل تغییرات سرعت ذرات مربوط به یک دوره تناوب

تغییرات وزن لوله به ازای عمق های مختلف در شکل (۱۲) بررسی شده است.

شکل (۱۱) تغییرات وزن لوله با ارتفاع موج های متوسط، ماکزیمم، و غالب را نشان می دهد. همچنین



شکل ۱۱- تغییرات وزن لوله با ارتفاع موج های متوسط، ماکزیمم و غالب



شکل ۱۲- تغییرات وزن لوله با عمق‌های مختلف

بحث و نتیجه گیری

نیروی دیگر بزرگتر بوده اما اختلاف آنها ثابت نیست. ماکزیمم‌ها و می‌نیم‌ها در هر سه نیرو به طور همزمان اتفاق می‌افتند. با افزایش سرعت ذرات نیروها بزرگتر می‌شوند و به ازای حداکثر سرعت ذرات، حداکثر نیروی لختی و حداکثر اختلاف بین این نیرو و دو نیروی دیگر دیده می‌شود.

در یک دوره تناوب با افزایش اندازه سرعت (بدون در نظر گرفتن جهت آن) حداقل وزن لوله در زیر آب افزایش یافته است و تغییرات مقدار آن در محدوده ۲۴۲ تا ۳۵۸۷ کیلوگرم بر متر می‌باشد.

در حالت ارتفاع موج ماکزیمم-منطقه میان آب(سناریو دوم) تئوری خطی ابری و شرایط منطقه گذار حاکم است. در این حالت تغییرات نیروی درگ و لیفت به صورت خطی بوده و با افزایش قطر لوله این نیروها نیز افزایش می‌یابند. با توجه به شرایط هیدرودینامیکی موجود، نیروی درگ در محدوده ۱۲۸ تا ۱۹۱۹ نیوتن بر متر و نیروی لیفت در محدوده ۱۶۷ تا ۲۴۶۸ نیوتن بر متر تغییر می‌کند. تغییرات نیروی لختی به صورت خطی نبوده و حداقل مقدار آن به ازای لوله ای با قطر ۰/۱ متر، ۱/۶ نیوتن بر متر است و به ازای قطر متداول لوله (تقریباً ۰/۷ متر) ۴۷۱ نیوتن بر متر و حداکثر مقدار آن تقریباً ۳۹۱۷ نیوتن بر متر بوده است. در این حالت با توجه به بزرگتر شدن مقادیر نیروهای درگ و لیفت (به دلیل افزایش ارتفاع موج) هر سه نیرو تقریباً از مرتبه های بزرگی یکسانی برخوردار هستند و به ازای

در حالت ارتفاع موج ماکزیمم-منطقه عمیق(سناریو اول)، تئوری خطی ابری و شرایط آب عمیق حاکم است. تغییرات نیروی درگ و لیفت به صورت خطی بوده و با افزایش قطر لوله این نیروها نیز افزایش می‌یابند. با توجه به شرایط هیدرودینامیکی موجود، نیروی درگ در محدوده ۹۴ تا ۱۴۱۸ نیوتن بر متر و نیروی لیفت در محدوده ۱۲۱ تا ۱۸۲۳ نیوتن بر متر تغییر می‌کند، این دو نیرو از مرتبه های بزرگی یکسانی برخوردار هستند. تغییرات نیروی لختی به صورت خطی نبوده و حداقل مقدار آن به ازای لوله ای با قطر ۰/۱ متر، ۱/۶ نیوتن بر متر است و به ازای قطر متداول لوله (تقریباً ۰/۷ متر) ۴۵۹ نیوتن بر متر و حداکثر مقدار آن تقریباً ۳۷۳۰ نیوتن بر متر بوده است. در این حالت با توجه به بزرگتر شدن مقادیر نیروهای درگ و لیفت (به دلیل افزایش ارتفاع موج) هر سه نیرو تقریباً از مرتبه های بزرگی یکسانی برخوردار هستند ولی به ازای قطرهای کوچکتر از ۱ متر نیروی لیفت نیروی غالب بوده و به ازای قطرهای بزرگتر از ۱ متر نیروی لختی نیروی غالب خواهد بود.

با توجه به نیروهای به دست آمده در این حالت تغییرات حداقل وزن لوله در زیر آب به ازای قطرهای مختلف لوله خطی نبوده و به ازای قطر ۰/۷ متر، تقریباً برابر با ۲۹۴۲ کیلوگرم بر متر می‌باشد.

در یک دوره تناوب با توجه به تغییر تراز آب و سرعت ذرات نیروها نیز تغییر می‌کنند. در اینجا به ازای لوله ای با قطر ۰/۷ متر نیروی لیفت، نیروی غالب است و همواره از دو

قطرهای کوچکتر از ۱ متر نیروی لیفت نیروی غالب بوده و به ازای قطرهای بزرگتر از ۱ متر، نیروی لختی نیروی غالب خواهد بود.

با توجه به نیروهای به دست آمده در این حالت تغییرات حداقل وزن لوله در زیر آب به ازای قطرهای مختلف لوله خطی نبوده و به ازای قطر ۰/۷ متر، تقریباً برابر با ۴۹۶۷ کیلوگرم بر متر می باشد.

در یک دوره تناوب با توجه به تغییر تراز آب و سرعت ذرات نیروها نیز تغییر می کنند. با افزایش سرعت ذرات نیروها بزرگتر می شوند و به ازای حداکثر سرعت ذرات، حداکثر نیروی لختی و حداکثر اختلاف بین این نیرو و دو نیروی دیگر دیده می شود.

در یک دوره تناوب با افزایش اندازه سرعت (بدون در نظر گرفتن جهت آن) حداقل وزن لوله در زیر آب افزایش یافته است و تغییرات مقدار آن در محدوده ۲۷۷ تا ۴۴۵۹ کیلوگرم بر متر می باشد.

در حالت ارتفاع موج غالب-منطقه عمیق (سناریو سوم) تئوری خطی ابری و شرایط منطقه آب عمیق حاکم است. در این حالت تغییرات نیروی درگ و لیفت به صورت خطی بوده و با افزایش قطر لوله این نیروها نیز افزایش می یابند. با توجه به شرایط هیدرودینامیکی موجود، نیروی درگ در محدوده ۱۹ تا ۲۹۲ نیوتن بر متر و نیروی لیفت در محدوده ۲۵ تا ۳۷۵ نیوتن بر متر تغییر می کند. تغییرات نیروی لختی به صورت خطی نبوده و حداقل مقدار آن به ازای لوله ای با قطر ۰/۱ متر، ۱/۵ نیوتن بر متر است و به ازای قطر متداول لوله (تقریباً ۰/۷ متر) ۳۷۸ نیوتن بر متر و حداکثر مقدار آن تقریباً ۲۶۵۳ نیوتن بر متر بوده است.

با توجه به نیروهای به دست آمده در این حالت تغییرات حداقل وزن لوله در زیر آب به ازای قطرهای مختلف لوله خطی نبوده و به ازای قطر ۰/۷ متر، تقریباً برابر با ۱۳۶۵ کیلوگرم بر متر می باشد.

در یک دوره تناوب با توجه به تغییر تراز آب و سرعت ذرات نیروها نیز تغییر می کنند. با افزایش سرعت ذرات نیروها بزرگتر می شوند و به ازای حداکثر سرعت ذرات، حداکثر نیروی لختی و حداکثر اختلاف بین این نیرو و دو نیروی دیگر دیده می شود.

در یک دوره تناوب با افزایش اندازه سرعت (بدون در نظر گرفتن جهت آن) حداقل وزن لوله در زیر آب افزایش یافته است و تغییرات مقدار آن در محدوده ۵۰۵ تا ۲۰۰۷ کیلوگرم بر متر می باشد.

بررسی ها نشان می دهند با افزایش ارتفاع موج، حداقل وزن لوله در زیر آب نیز زیاد شده است. برای لوله هایی با قطر متداول (تقریباً ۰/۷ متر) به ازای ارتفاع موج های ۰/۴۲، ۱/۳ و ۲/۷ متر به ترتیب حداقل وزن لوله عبارتند از: ۳۴۲، ۱۳۶۵ و ۲۹۴۲ کیلوگرم بر متر.

با توجه به شرایط موجود در حوزه خلیج فارس طراحی لوله هایی با قطرهای بزرگتر از ۰/۷m مناسب نمی باشند و در اغلب پروژه ها قطر لوله ها به جز در موارد خاص از این سایز تجاوز نمی کنند و لوله هایی با قطر ۰/۴m مناسب ترین حالت برای طراحی هستند. همچنین با توجه به اقلیم امواج خلیج فارس حداقل وزن مناسب لوله ها ۱۳۶۵ کیلوگرم بر متر است.

منابع

- ولعی پور، ر. ۱۳۸۴. شبیه سازی عددی نیروهای هیدرودینامیکی موثر بر لوله‌های نصب شده بر روی بستر دریا به منظور تعیین حداکثر طول مجاز دهانه آزاد. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه علم و صنعت ایران.
- Larsen, C. M., Koushan, K. & Passano, E. 2002. Frequency and Time Domain Analysis Of Vortex Induced Vibrations For Free Span Pipelines. Proceedings of OMAE2002 21th International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering .Oslo, Norway.
- Marzurkiewicz, B. K. 1987. Offshore Platform and Pipelines. Trans Tech Publication. Clausthal -Zellerfeld, West Germany.
- Xu, T., Lauridsen, B. & Bai, Y. 1999. Wave Induced Fatigue of multi-span pipelines. *Journal of Marine Structures*, 12: 83–106.
- نعمتی، م. ۱۳۸۹. پیش بینی لحظه‌ای ارتفاع موج شاخص در خلیج فارس با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی علوم و تحقیقات تهران.
- Braestrup, M. W. (Editor), Andersen, G. B., Andersen, L. W., Bryndum, M., Christensen, C. J. & Nielsen, N. R. 2005. Design and Installation of Marine Pipelines, Blackwell: Science Ltd UK .
- Det Norske Veritas. 1998. DNV RP E305, On-Bottom Stability Design of Submarine Pipeline. Veritec .
- Det Norske Veritas. 2007. DNV RP E305, Environmental Conditions and Environmental Loads .Veritec.
- Kennedy, J. L. 1993. Oil and Gas pipeline fundamentals, PenWell Tulsa, Oklahoma .

Evaluation of hydrodynamic Forces Effect on Seabed Pipeline in the Pars Special Economic Energy Zone (Asaluyeh)

Lari^{1*}, K., Javid³, A. & Bagheri Chimeh³, M. R.

1. Dept. of Physical Oceanography, Faculty of Marine Science and Technology, Islamic Azad University, Tehran North Branch
2. Dept. of Environment Engineering, Islamic Azad University, Tehran science and Research Branch
3. Dept. of Physical Oceanography, Islamic Azad University, Tehran science and Research Branch

Abstract

Underwater pipelines are exposed to hydrodynamic and hydrostatic parameters of the environmental conditions, in the region. In this study, in order to investigate the stability of the underwater pipelines, taking into account the waves and currents induced forces, a stability analysis is performed. There are few standards for designing and analysis of underwater pipelines. The two standards, DNV-RP-C205 and DNV-RP-E305 were used. The study area was the coastal zone of Asaluyeh Port and data used included Asaluyeh wave data, from 2007 to 2008, which were collected by a floating buoy. On the other hand, data on currents were based on Ports and Maritime Organization information. Hydrodynamic coefficients such as Reynolds number, Kvlgan Carpenter and hydrodynamic forces induced on the pipeline in different conditions were calculated. The results showed that in current conditions, designing pipes larger than 0.7m in diameter is not suitable. However, the most suitable designs are pipes with 0.4m in diameter. The minimum weight of pipes with 0.7m diameter, in significant wave height condition under the water, was calculated to be 1365 kg/m.

Key words: Pipeline, DNV standard, Asaluyeh, static stability, hydrodynamic forces