

بررسی اثر فلاتر در لوله یکسرگیردار حامل سیال بر اساس تئوری غیرخطی

سعید همایونی بورا^{۱*}، مرتضی دردل^۲

^{۱*} دانشجوی کارشناسی ارشد مکانیک، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل، saeed.homayoni@gmail.com

^۲ استادیار، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل، dardel@nit.ac.ir

چکیده: در این مقاله به مدلسازی و بررسی فلاتر در لوله یکسرگیردار حامل سیال در حالت سه بعدی پرداخته خواهد شد. معادلات حاکم بر سیستم، با روش جدیدی به صورت غیرخطی و با استفاده از اصل لاگرانژ استخراج شده است. با توجه به حرکت سه بعدی لوله، میدان غیرخطی در این مقاله به صورت دو خمشی مدل شده و جابجایی درون صفحه ای لحاظ شده است. معادلات دیفرانسیل حاکم که به صورت معادلات مشتقات جزئی می باشد، با استفاده از روش گالرکین به معادلات دیفرانسیل معمولی تبدیل شده و با استفاده از پارامترهای بی بعد، بی بعدسازی شده است. سپس، معادلات غیرخطی به روش عددی حل شده و رفتارهای ارتعاشی آن مورد بررسی قرار گرفته است. در اثر عبور سیال با سرعت بالا پدیده مخرب فلاتر ایجاد می گردد، که موجب ایجاد رفتارهای بی نظمی می گردد. همچنین اثر پارامترهای طراحی بر رفتار سیستم و نوع ناپایداری ها ارائه شده است.

کلید واژه: ارتعاشات غیرخطی، فلاتر، لوله حامل سیال، ناپایداری دینامیکی

سیال توسط، بنجامین [۲]، گرگوری و پویدوسیوس چپ [۳] و [۴]، هرمان و نعمت ناصر [۵] و پویدوسیوس [۶] انجام شد. نتایج حاصل شد، شامل از دست دادن پایداری سیستم در ازای سرعت به اندازه کافی بالا و انشقاق هاپف و ایجاد پدیده فلاتر. البته در آزمایش‌های اولیه فلاتر در یک صفحه محدود شد، و از این رو مدل های نظری خطی توسعه یافتند.

در بررسی پایداری خطی لوله حامل سیال، رفتار سیستم اساساً در تعامل اینرسی، الاستیک، گریز از مرکز، و نیروهای کوریولیس است [۷]. هر دو نیروهای گریز از مرکز و کوریولیس از جریان سیال بوجود می آیند، در حالی که اینرسی کل سیستم ترکیبی از اینرسی سیال و لوله است. ناپایداری لوله انتقال سیال عمدتاً به دلیل کاهش در سختی موثر لوله با سرعت جریان است [۸].

مدل های خطی قادر هستند، پایداری سیستم را در نزدیکی سرعت بحرانی که انشقاق در آن رخ می دهد توصیف کنند [۹]. بنابراین به منظور بررسی کامل تر و جامع تر سیستم های لوله حامل سیال نیاز به مدلسازی و بررسی رفتار غیرخطی احساس شد.

علیرغم مطالعات زیادی که در آنها رفتارهای خطی و غیرخطی لوله حامل سیال بررسی شده است، در اکثر موارد به مساله هایی با میدان کرنش خطی پرداخته شده است. بنابراین معقول تر به نظر می رسد که از کرنش های غیرخطی به منظور مدل سازی رفتار لوله حامل سیال استفاده گردد. هدف مورد نظر در این

۱- مقدمه

با گسترش تحقیقات و تکنولوژی‌های نوین، شناخت و به کارگیری لوله‌های حامل سیال در صنایع، روزبه‌روز از اهمیت بیشتری برخوردار می‌شود. در تأسیسات نفت و گاز، چه در ساحل و یا خارج از ساحل، لوله‌ها معمولاً برای انتقال سیال و نفت خام و دیگر محصولات استفاده می‌شود. همچنین لوله‌ها برای انتقال سیال‌های مایع و گاز مورد استفاده قرار می‌گیرد. در هر صورت، لوله‌ها تحت تأثیر شرایط محیطی مختلفی از قبیل، نوسانات درجه حرارت داخلی و خارجی، زلزله، حرکت زمین و حرکت جریان سیال قرار می‌گیرند. در این سیستم‌ها با توجه به عبور سیال نیروهای گریز از مرکز و کوریولیس از طرف سیال بر دیواره وارد می‌شوند که موجب ایجاد پدیده‌های مختلف ناپایداری استاتیکی و دینامیکی نظیر واگرایی و فلاتر در انواع متفاوت آن می‌شوند [۱]. در صورتی که غیرخطی‌ها، در انواع مختلف نظیر غیرخطی‌های سازه‌ای و اصطکاک در این سیستم‌ها دخالت داده شوند، رفتار ساده و پیچیده غیرخطی نظیر سیکل حدی، آشوب در این سیستم ایجاد می‌شوند.

مساله بررسی ناپایداری لوله‌های حامل جریان مورد توجه محققان بسیاری بوده است و از این نظر یک مبحث مفصل و با بررسی‌های زیاد است. مطالعات اولیه در خصوص لوله حامل

مقاله، مدل‌سازی و استخراج معادله غیر خطی سه بعدی سیستم، و بررسی رفتارهای لوله در ازای سرعت های متفاوت می‌باشد. به طور خاص پدیده مخرب فلاتر مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

۲- مدل‌سازی و استخراج معادلات حرکت

در این مقاله، لوله یکسرگیردار به طول L ، جرم واحد طول m ، صلبیت خمشی EI ، و سیال عبوری از لوله با جرم واحد طول M و سرعت محوری U در نظر گرفته خواهد شد (شکل ۱). اگرچه در مدل انتخاب شده، سیال با سرعت یکنواخت از لوله عبور می‌کند اما به علت وجود نیروهای کریولیس و گریز از مرکز، جابجایی لوله از نوع جابجایی بزرگ می‌باشد. بنابراین معقول تر به نظر می‌رسد که از میدان کرنش بزرگ و غیرخطی برای مدل‌سازی و تحلیل رفتار آن استفاده شود.

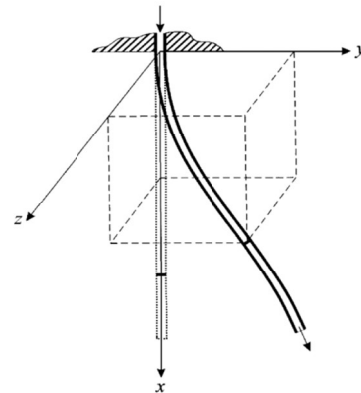
معادلات استخراج شده با فرضیات زیر مطرح گردیده است.
۱- سیال عبوری از لوله تراکم ناپذیر می‌باشد، اما غیرلزج نیست.

۲- سرعت سیال ثابت بوده و جدا از هرگونه اغتشاش می‌باشد.

۳- فشار در لوله کوچک فرض می‌شود، اگرچه تغییر شکل ممکن است بزرگ باشد.

۴- جابجایی به صورت دوخمش در نظر گرفته شده است.

۵- لوله نازک بوده و نیروی سیال به صورت فیزیکی مدل می‌شود. بنابراین به بررسی مدل سازی سیال داخل لوله پرداخته نمی‌شود.



شکل ۱: شماتیک لوله حامل سیال [10].

میدان جابجایی لوله در اثر عبور سیال، با در نظر گرفتن جابجایی های عرضی و درون صفحه ای لوله به شرح انتخاب می‌گردد:

$$u(x, y, z, t) = u_0(x, t) - z \frac{\partial w_0}{\partial x} - y \frac{\partial v_0}{\partial x} \quad (1)$$

$$v(x, y, z, t) = v_0(x, t)$$

$$w(x, y, z, t) = w_0(x, t)$$

در رابطه (۱) $u_0(x, t)$ جابجایی درون صفحه ای، $v_0(x, t)$ ، $w_0(x, t)$ جابجایی های عرضی در جهات y و z می‌باشد.

با در نظر گرفتن تابع کرنش غیرخطی زیر داریم [۱۱]:

$$E_{xx} = \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{1}{2} \left[\left(\frac{\partial v}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial w}{\partial x} \right)^2 \right]$$

$$E_{yy} = \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{1}{2} \left[\left(\frac{\partial v}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial w}{\partial y} \right)^2 \right]$$

$$E_{zz} = \frac{\partial w}{\partial z} + \frac{1}{2} \left[\left(\frac{\partial v}{\partial z} \right)^2 + \left(\frac{\partial w}{\partial z} \right)^2 \right] \quad (2)$$

$$E_{xy} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial x} \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial x} \frac{\partial w}{\partial y} \right)$$

$$E_{xz} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial x} \frac{\partial w}{\partial z} + \frac{\partial v}{\partial x} \frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \frac{\partial w}{\partial z} \right)$$

$$E_{yz} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial y} \frac{\partial w}{\partial z} + \frac{\partial v}{\partial y} \frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \frac{\partial w}{\partial z} \right)$$

رابطه ی تنش-کرنش به شرح زیر می‌باشد [۱۱].

$$\begin{Bmatrix} \sigma_{xx} \\ \sigma_{yy} \\ \sigma_{zz} \\ \sigma_{xy} \\ \sigma_{yz} \\ \sigma_{zx} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \frac{E}{(1+\nu)(1-2\nu)} [(1-\nu)\epsilon_{xx} + \nu\epsilon_{yy} + \nu\epsilon_{zz}] \\ \frac{E}{(1+\nu)(1-2\nu)} [\nu\epsilon_{xx} + (1-\nu)\epsilon_{yy} + \nu\epsilon_{zz}] \\ \frac{E}{(1+\nu)(1-2\nu)} [\nu\epsilon_{xx} + \nu\epsilon_{yy} + (1-\nu)\epsilon_{zz}] \\ \frac{E}{2(1+\nu)} \epsilon_{xy} \\ \frac{E}{2(1+\nu)} \epsilon_{yz} \\ \frac{E}{2(1+\nu)} \epsilon_{zx} \end{Bmatrix} \quad (3)$$

انرژی کرنشی سیستم به صورت زیر محاسبه می‌گردد [۱۱].

$$U = \frac{1}{2} \iiint_V \left(\sigma_{xx}\epsilon_{xx} + \sigma_{yy}\epsilon_{yy} + \sigma_{zz}\epsilon_{zz} + \sigma_{xy}\epsilon_{xy} + \sigma_{yz}\epsilon_{yz} + \sigma_{zx}\epsilon_{zx} \right) dV \quad (4)$$

با جایگزینی رابطه (۱) در رابطه (۲) و بکارگیری رابطه (۴)، انرژی کرنشی سیستم به صورت معادله (۵) استخراج می‌شود.

به علت آزاد بودن انتهای دیگر لوله، اندازه حرکت به انتهای آن اعمال میشود که کار ناشی از آن به صورت معادله (۸) مطرح می گردد.

$$W = -\int_0^L \frac{\rho_F A_F U}{L} \left[\left(\frac{\partial u_0}{\partial t} + U \frac{\partial u_0}{\partial x} \right) u(x-L) \right] dx - \int_0^L \frac{\rho_F A_F U}{L} \left[\left(\frac{\partial v_0}{\partial t} + U \frac{\partial v_0}{\partial x} \right) v(x-L) \right] dx - \int_0^L \frac{\rho_F A_F U}{L} \left[\left(\frac{\partial w}{\partial t} + U \frac{\partial w}{\partial x} \right) w(x-L) \right] dx \quad (8)$$

۳- انتخاب روش حل

در این قسمت، از روش گالرکین برای حل معادلات حرکت سیستم، که معادلاتی با مشتقات پاره ای نسبت به زمان و مکان خواهند بود، استفاده خواهد شد. با توجه به سه بعدی بودن معادلات، مختصه های تعمیم یافته ی سیستم به صورت $a_i(t)$ ، $p_i(t)$ و $q_i(t)$ مطرح خواهد شد و حل را به صورت معادله (۹) در نظر می گیریم.

$$u_0(x,t) = \sum_{j=1}^N a_j(t) u_j(x) \\ v_0(x,t) = \sum_{j=1}^N p_j(t) v_j(x) \\ w_0(x,t) = \sum_{j=1}^N q_j(t) w_j(x) \quad (9)$$

مدهای مفروض در روش گالرکین به صورت معادلات (۱۰) و (۱۱) انتخاب می گردد. مد مفروض جابجایی عرضی به صورت تیر اویلر برنولی انتخاب شده است، و نتایج برای چهار مد اول سیستم ارائه خواهد شد.

$$u_j(x) = \sin\left(\frac{m-1}{2}\pi\right)x \quad (10)$$

$$v_j(x), w_j(x) = \cos(\lambda x) - \cosh(\lambda x) - \frac{\cos \lambda x + \cosh \lambda x}{\sin \lambda x + \sinh \lambda x} (\cos(\lambda x) - \cosh(\lambda x)) \quad (11)$$

با جایگذاری معادلات انرژی جنبشی، پتانسیل و کار در معادلات لاگرانژ و با در نظر گرفتن حل به صورت معادله (۹) معادلات حرکت را محاسبه نموده و با معرفی پارامترهای بی بعد زیر، معادله حرکت بی بعد سیستم و شرایط مرزی بی بعد محاسبه می گردد که در زیر آورده شده است.

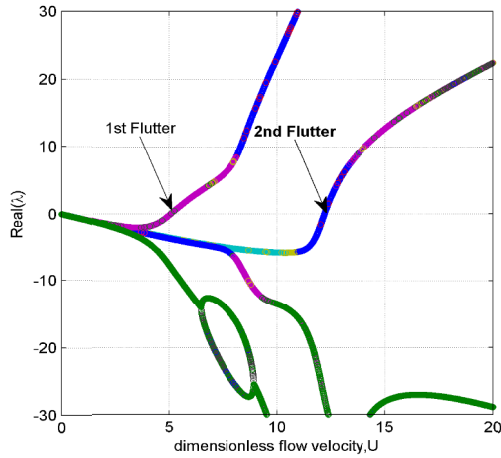
$$U = \frac{1}{2} \int_0^L \{ \} dx = \left\{ \right\} = \frac{(1-\nu)EA_P}{(1+\nu)(1-2\nu)} \left[u_0'^2 + \frac{1}{2}v_0'^4 + \frac{1}{2}w_0'^4 + u_0'\nu_0'^2 + u_0'\nu_0'^2 + \frac{1}{2}v_0'^2w_0'^2 \right] + \frac{\nu EA_P}{(1+\nu)(1-2\nu)} \left[u_0'\nu_0'^2 + u_0'\nu_0'^2 + \frac{1}{2}v_0'^4 + \frac{1}{2}w_0'^4 + \frac{3}{2}v_0'^2w_0'^2 \right] + \frac{(1-\nu)EI_{z_P}^2}{(1+\nu)(1-2\nu)} w_0'^2 + \frac{(1-\nu)EI_{y_P}^2}{(1+\nu)(1-2\nu)} v_0'^2 + \frac{EA_P}{2(1+\nu)} \left[\frac{1}{4}u_0'^2\nu_0'^2 + \frac{1}{4}u_0'^2w_0'^2 + \frac{1}{4}w_0'^2\nu_0'^2 \right] + \frac{1}{4} \frac{E}{2(1+\nu)} I_{z_P}^2 \left[v_0'^2w_0'^2 + w_0'^2\nu_0'^2 \right] + \frac{1}{4} \frac{E}{2(1+\nu)} I_{y_P}^2 \left[v_0'^2\nu_0'^2 + w_0'^2\nu_0'^2 \right] \quad (5)$$

همچنین انرژی جنبشی لوله و سیال به صورت رابطه (۶) می باشد.

$$T = T_{pipe} + T_{fluid} = \frac{1}{2} \rho_P A_P \int_0^L v_{pipe}^2 dx + \frac{1}{2} \rho_F A_f \int_0^L v_{fluid}^2 dx \\ v_p = \frac{\partial r}{\partial t} = \frac{\partial u}{\partial t} i + \frac{\partial v}{\partial t} j + \frac{\partial w}{\partial t} k \\ v_f \equiv \frac{Dr}{Dt} \\ v_f = \left(\frac{\partial}{\partial t} + U \frac{\partial}{\partial x} \right) r = \left(\frac{\partial}{\partial t} + U \frac{\partial}{\partial x} \right) (ui + vj + wk) \quad (6)$$

در رابطه (۶) سرعت لوله و v_f سرعت سیال عبوری از لوله است. Γ جابجایی کل سیستم در نظر گرفته شده است. با انجام محاسبات ریاضی، انرژی جنبشی سیستم به صورت رابطه (۷) استخراج می گردد.

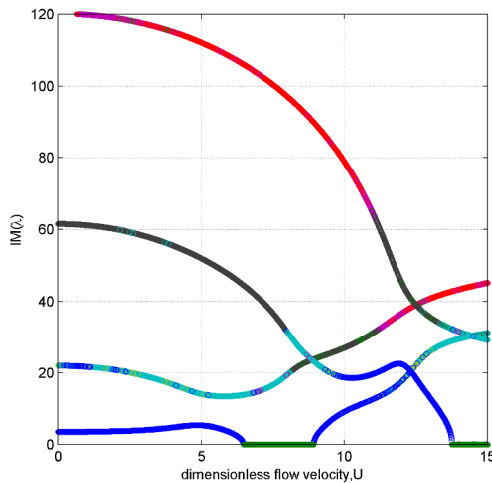
$$T = \frac{1}{2} \int_0^L \left(\rho_P A_P + \rho_F A_F \right) \left[\left(\frac{\partial u_0}{\partial t} \right)^2 + \left(\frac{\partial v_0}{\partial t} \right)^2 + \left(\frac{\partial w_0}{\partial t} \right)^2 \right] dx + \frac{1}{2} \int_0^L \rho_P \left[I_{z_P}^2 \left(\frac{\partial^2 w_0}{\partial t \partial x} \right)^2 + I_{y_P}^2 \left(\frac{\partial^2 v_0}{\partial t \partial x} \right)^2 \right] dx + \frac{1}{2} \int_0^L \rho_F \left[I_{z_f}^2 \left(\frac{\partial^2 w_0}{\partial t \partial x} \right)^2 + I_{y_f}^2 \left(\frac{\partial^2 v_0}{\partial t \partial x} \right)^2 \right] dx + \frac{1}{2} \int_0^L \rho_F A_F U^2 \left[\left(\frac{\partial u_0}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial v_0}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial w_0}{\partial x} \right)^2 \right] dx + \frac{1}{2} \int_0^L \rho_F U^2 \left[I_{z_f}^2 \left(\frac{\partial^2 w_0}{\partial x^2} \right)^2 + I_{y_f}^2 \left(\frac{\partial^2 v_0}{\partial x^2} \right)^2 \right] dx + \frac{1}{2} \int_0^L 2\rho_F A_F U \left[\frac{\partial u_0}{\partial t} \frac{\partial u_0}{\partial x} + \frac{\partial v_0}{\partial t} \frac{\partial v_0}{\partial x} + \frac{\partial w_0}{\partial t} \frac{\partial w_0}{\partial x} \right] dx + \frac{1}{2} \int_0^L 2\rho_F U \left[+I_{z_f}^2 \frac{\partial^2 w_0}{\partial t \partial x} \frac{\partial^2 w_0}{\partial x^2} + I_{y_f}^2 \frac{\partial^2 v_0}{\partial t \partial x} \frac{\partial^2 v_0}{\partial x^2} \right] dx \quad (7)$$



شکل ۲: مقادیر حقیقی فرکانس طبیعی بی بعد به ازای مقادیر مختلف سرعت U

همانطور که در شکل (۲) قابل ملاحظه می باشد، بخش حقیقی مقادیر ویژه تحت تاثیر سرعت عبوری سیال می باشد. برای چهار مد اول در نظر گرفته شده، مدهای دوم و چهارم سیستم به ترتیب در ازای سرعت های ۵/۰۹۱ و ۱۲/۲۱ به سمت مقادیر مثبت حرکت کرده و انشقاق هاپف تک مدی رخ می دهد. در این سرعت ها میرایی سیستم منفی شده و فلاتر رخ می دهد.

در شکل (۳) بخش موهومی مقادیر ویژه که نشان دهنده فرکانس سیستم می باشد، به ازای سرعت های مختلف نشان داده شده است. مشاهده می گردد که فرکانس طبیعی تحت تاثیر سرعت سیال بوده و برای مدهای مختلف کاهش و افزایش می یابد.



شکل ۳: مقادیر موهومی فرکانس طبیعی بی بعد (فرکانس سیستم) به ازای مقادیر مختلف سرعت U

فلاترهای اول و دوم (که به علت انشقاق هاپف تک مدی صورت می پذیرد) به ازای تغییر پارامتر β تغییر می کند. جدول ۲

$$\xi = \frac{x}{L}, \bar{q} = \frac{q}{L}, \bar{a} = \frac{a}{L}, \bar{p} = \frac{p}{L},$$

$$\tau = \sqrt{\frac{(1-\nu)EI_{z_p^2}}{(1+\nu)(1-2\nu)(\rho_P A_P + \rho_F A_F)L^4}}$$

$$\beta = \frac{\rho_F A_F}{(\rho_P A_P + \rho_F A_F)}, \bar{U}^2 = \rho_F U^2 A_F \frac{(1+\nu)(1-2\nu)L^2}{(1-\nu)EI_{z_p^2}} \quad (12)$$

$$\theta = \frac{\rho_P I_{z_p^2} + \rho_F I_{z_f^2}}{(\rho_P A_P + \rho_F A_F)L^2}, y_f^2 = \frac{A_F L^2}{I_{y_f^2}}$$

معادلات نهایی حرکت در سه بعد

$$[M_u]\{\ddot{a}\} + [C_u]\{\dot{a}\} + [K_u]\{a\} + [NL_1]\{aaq\} \quad (13)$$

$$+ [NL_2]\{qq\} + [NL_3]\{app\} + [NL_4]\{pp\} = 0$$

$$[M_v]\{\ddot{p}\} + [C_v]\{\dot{p}\} + [K_v]\{p\} + [NL_5]\{pa\} \quad (14)$$

$$+ [NL_6]\{paa\} + [NL_7]\{pqq\} + [NL_8]\{ppp\} = 0$$

$$[M_w]\{\ddot{q}\} + [C_w]\{\dot{q}\} + [K_w]\{q\} + [NL_9]\{qa\} \quad (15)$$

$$+ [NL_{10}]\{qaa\} + [NL_{11}]\{qpp\} + [NL_{12}]\{qqq\} = 0$$

۴- نتایج

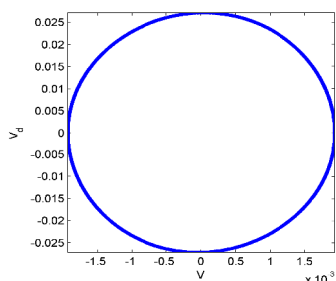
به منظور بررسی رفتار سیستم مشخصات هندسی و فیزیکی لوله و سیال به صورت جدول (۱) در نظر گرفته شده است.

جدول ۱: مشخصات هندسی و خصوصیات لوله و سیال

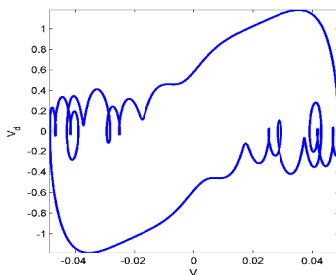
۱	طول لوله	0.443 m
۲	قطر داخلی / خارجی	15.7/6.4 m
۳	چگالی لوله/سیال	999/1167 kg/m ³
۴	جرم واحد طول لوله/سیال	0.189/0.032 kg/m
۵	صلبیت خمشی	0.0074 Nm ²

به منظور درک رفتار سیستم، مقادیر ویژه سیستم به ازای پارامترهای مختلف سرعت سیال محاسبه خواهد شد. معادله حرکت محاسبه شده در ۳ بعد می باشد، که با توجه به انتخاب شرایط یکسان در جابجایی های عرضی تنها پاسخ یک بخش از جابجایی های عرضی را ذکر خواهیم کرد. برای مشخصات جدول (۱)، بخش های حقیقی و موهومی مقادیر ویژه سیستم به ترتیب در شکل های (۲) و (۳) نشان داده شده است.

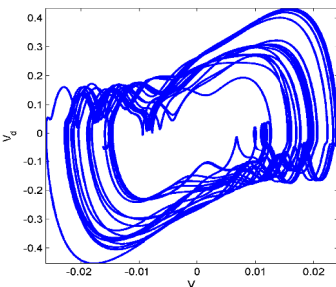
در شکل ۴ الف و ب مشاهده می شود که در سیستم در نزدیکی فلاتر رفتارهای سیکلی را انجام می دهید. به بیان بهتر سیستم به واسطه پدیده فلاتر در یک سیکل نوسان انجام می دهد. از طرفی دامنه جابجایی سیستم در سرعت های بالاتر افزایش می یابد. همچنین مشاهده می شود که در اثر ناپایداری فلاتر ارتعاش سیستم در یک صفحه قفل می گردد، که این نوع حرکت که میرایی منفی می باشد نباید برای مدت زیاد ادامه داشته باشد، چرا که موجب تخریب سیستم خواهد شد. در شکل ۵ نمودار صفحه فاز برای سرعت های نزدیک فلاتر و بین آنها قابل رویت می باشد. همانطور که مشاهده می شود، نظم رفتاری در در سرعت های مختلف متفاوت می باشد. رفتارهایی نظیر سیکل حدی و آشوب مشاهده می شود. برای سرعت بی بعد ۸.۵ مشاهده می شود که رفتار سیستم اشیوناک می باشد و رفتار غیرقابل پیش بینی بروز می دهد.



الف



ب



ج

شکل ۵: نمودار صفحه فاز سیستم برای سرعت های بی بعد الف) ۵.۲ و ب)

$$\beta = 0.145 \text{ و } ۸.۵ \text{ (ج) } ۱۲.۲$$

مقادیر سرعت فلاترهای اول و دوم به ازای چندین β ذکر شده است.

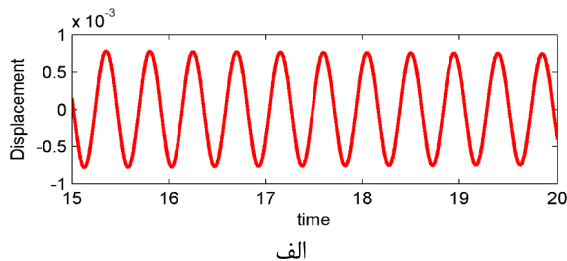
جدول ۲: سرعت بی بعد فلاتر به ازای پارامترهای

مختلف β

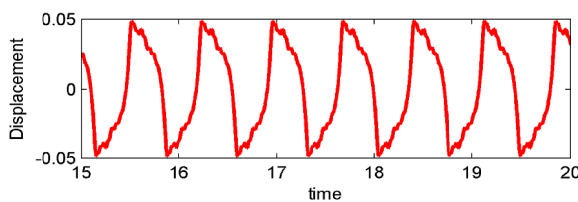
β	فلاتر اول	فلاتر دوم
0.145	5.082	12.2
0.2	5.598	12.71
0.25	6.231	13.2
0.3	8.293	13.74
0.35	8.618	14.32
0.4	8.862	14.91

تا این قسمت تحلیل خطی انجام شده است، اما مدل های خطی قادر هستند، پایداری سیستم را در نزدیکی سرعت بحرانی که انشقاق در آن رخ می دهد توصیف کنند. بنابراین به منظور بررسی کامل تر و جامع تر سیستم، نیاز به مدلسازی و بررسی رفتار غیرخطی می باشد.

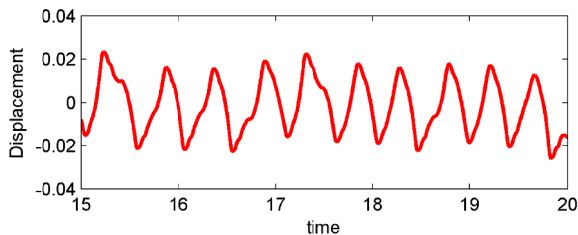
در بررسی غیرخطی تمامی ماتریس های غیرخطی را لحاظ کرده و پاسخ زمانی و دیاگرام صفحه فاز را رسم کرده و پاسخ ها را در نزدیکی فلاترهای اول و دوم و بین آنها بررسی خواهیم کرد. شکل ۴ پاسخ زمانی سیستم را برای سرعت های نزدیک فلاترهای اول و دوم و بین آنها نشان می دهد.



الف



ب



ج

شکل ۴: پاسخ زمانی سیستم برای سرعت های بی بعد الف) ۵.۲ و ب) ۱۲.۲

$$\beta = 0.145 \text{ و } ۸.۵ \text{ (ج)}$$

- [7] R. D. Blevins, "Flow-Induced Vibration," Van Nostrand-Reinhold, New York, 1977.
- [8] Jones, "The Transverse Vibrations of a Pipe Containing Flowing Fluid: Methods of Integral Equations," Q. Appl. Math.29, pp. 363–374, 1971.
- [9] Holmes, "Bifurcations to Divergence and Flutter in Flow-Induced Oscillations: A Finite Dimensional Analysis," J. Sound Vib, 53(4), pp. 471–503, 1977.
- [10] Dynamics of cantilevered pipes conveying fluid. Part 1: Nonlinear equations of three-dimensional motion, M. Wadham-Gagnon, M.P. Paidoussis, C. Semler, Journal of Fluids and Structures 23 (2007) 545–567.
- [11] J. N.Reddy, Mechanics of Laminated Composite Plates and Shells: Theory and Analysis, Second Edition, 2nd Ed., Boca Raton; CRC Press, 2003.

به طور کلی سیستم در سرعت های کمتر ، بیشتر و نزدیک فلاتر رفتارهای خاصی از خود نشان می دهد. که به طور خلاصه در جدول ۳ نشان داده شده است.

جدول ۳ : بررسی کیفیت رفتار سیستم در سرعت های مختلف سیال	
سرعت سیال \bar{U}	کیفیت و نوع رفتار سیستم
$\bar{U} < 5.082$	قبل از فلاتر اول سیستم پایستار و کاهش دامنه
$\bar{U} = 5.1$	لوله به واسطه فلاتر صفحه ای پایداری خود را از دست می دهد
$\bar{U} = 5.2$	حرکت ۳ بعدی با افزایش پریود
$\bar{U} = 11$	حرکت صفحه ای با سیکل حدی و کاهش پریود
$\bar{U} = 12.2$	لوله به واسطه فلاتر صفحه ای پایداری خود را از دست می دهد
$\bar{U} = 13.2$	حرکت ۳ بعدی با افزایش پریود
$\bar{U} = 14$	حرکت آشوبناک ۳ بعدی

۵- نتیجه گیری و جمع بندی

نتایج ارائه شده نشان می دهد، در لوله یکسرگردار حامل سیال با افزایش سرعت سیال عبوری پایداری سیستم کاهش می یابد، و در سرعت هایی مشخص شاهد ایجاد پدیده فلاتر هستیم. همچنین تغییرات سرعت سیال موجب تغییرات (افزایش و کاهش) فرکانس سیستم می گردد.

در این مقاله از تحلیل ۳ بعدی استفاده شده است، که در مقایسه با کارهای انجام شده در یک و دو بعد دقت قابل قبولی را داراست و شرایط بررسی را برای ۳ بعد امکان پذیر می کند. همچنین تئوری مطرح شده که به طور خاص برای لوله یکسرگردار حامل سیال مطرح گردیده است، با استفاده از مدهای مفروض دلخواه قابلیت گسترش به دیگر شرایط مرزی را داراست.

مراجع

- [1] Vibrations of Continuous Systems, Arthur W. Leissa, Ph.D., Mohamad S. Qatu, Ph.D. 2011 by The McGraw-Hill
- [2] T.B. Benjamin, Dynamics of a system of articulated pipes conveying fluid, I. Theory, Proceedings of the Royal Society A261 (1961) 457–486.
- [3] R.W. Gregory, M.P. Paidoussis, Unstable oscillations of tubular cantilevers conveying fluid—I. Theory, Proceedings of the Royal Society A293 (1966) 512–527.
- [4] R.W. Gregory, M.P. Paidoussis, Unstable oscillations of tubular cantilevers conveying fluid—II. Experiments, Proceedings of the Royal Society A293 (1966) 528–542.
- [5] G. Herrmann, S. Nemat-Nasser, Instability modes of cantilevered bars induced by fluid flow through attached pipes, International Journal of Solids and Structures 3 (1967) 39–52.
- [6] M.P. Paidoussis, Dynamics of tubular cantilevers conveying fluid, Journal of Mechanical Engineering Science 12 (1970) 85–103.

This document was created with Win2PDF available at <http://www.daneprairie.com>.
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.