

مدل سازی و شبیه سازی نشتی جریان در خطوط لوله انتقال نفت در حالت ناپایدار

محسن پاک نژاد و محسن پوریایی
وزارت نفت ، امور نظارت بر صادرات مواد نفتی و بازرسی فنی

چکیده

در صنعت نفت، نشتی که در خطوط لوله انتقال سیالات دیده می شود، در حالت پایدار با ارایه فرضیاتی به راحتی شبیه سازی می گردد. در حالت پایدار هر نوع افت فشاری در خط لوله می تواند دلیل بر وجود نشتی باشد. از آنجا که عملیات داخل خط لوله، معمولاً در حالت ناپایدار می باشد، در این تحقیق نیز جریان در خط لوله ناپایدار فرض شده که جریان پایدار حالت خاصی از آن می باشد. برای حل معادلات حاکم با روش مشخصه ها ابتدا دو الگوریتم کاشی و *Time-marchine* بررسی می شود و به علت تقویت نویس ها و ایجاد خطا در تشخیص نشتی در الگوریتم کاشی از روشی مشابه الگوریتم *Time-marchine* استفاده می گردد. در ادامه الگوریتم مدل¹ *PLD* برای شبیه سازی جریان ناپایدار، تشخیص و اعلام نشتی، تعیین مکان نشتی و محاسبه میزان هدررفتگی ارایه شده است و نتایج حاصل از این مدل با نتایج تجربی مقایسه گردیده است.

Modeling and Simulation of Flow Leakage in Petroleum Pipelines in an Unsteady Condition

M. Paknejad and M. Poreyaie
Supervision on petroleum exports and technical Affairs,
Ministry of Petroleum, Tehran. IRAN

ABSTRACT

Leakage in fluid pipelines that is often observed in oil industry could be simulated easily in a steady condition by applying some assumptions. At steady condition, any sort of pressure drops in pipelines could be a reason for leakage presence. Since operations in pipelines is usually happens in an unsteady condition, In the present research, the flow in pipelines has been assumed as unsteady, for which the steady flow will be considered as its special case. In order to solve the adapted equations by methods of specifications, at first two algorithms called tile and time-machine will be investigated. And because of reinforcing noises and error establishment in leakage detection, in tile algorithm, a method similar to time-machine algorithm will be used. Then an algorithm specified for PLD model will be presented to determine an unsteady flow simulation, leakage detection, leakage physical situation, and eventually the calculation of the extent of the loss. The obtained results of this model will be compared with the practical ones.

مقدمه

استفاده از قوانین بقای جرم و اندازه حرکت مدلی برای شبیه سازی جریان ناپایدار، تشخیص و اعلام نشتی، (Pipeline leak detection) تعیین مکان نشتی و محاسبه میزان هدر رفتگی در خطوط لوله انتقال نفت ارائه شده است. همچنین با استفاده از برنامه رایانه ای تهیه شده، دقت نتایج حاصل از مدل سازی انجام شده با نتایج تجربی مقایسه شده است.

معادلات حاکم

جریان ناپایدار مایعات از اواسط قرن نوزده مورد بررسی قرار گرفت به طوری که فرایندهای این نوع جریان از معادلات حرکت و پیوستگی تبعیت می کند. حل این سری از معادلات به معادلات انتشار پالس موج اغتشاش در جریان و فشار در سیستم خط لوله منتهی می شود. تغییر از حالت پایدار در سیستم خط لوله به خاطر تغییر در شرایط مرزی اتفاق می افتد. انواع مختلف شرایط مرزی وجود دارد که جریان ناپایدار تولید می کنند.

معادلات اندازه حرکت و پیوستگی براساس حجم کنترل متحرک به طول $X \Delta$ در زمان t نسبت به لوله ثابت و بر مبنای ترم های فشار در مرکز $P(x,t)$ و سرعت متوسط $v(x,t)$ قابل بررسی بوده به طوری که در این معادلات می توان از خط درجه هیدرولیکی (هد پیزومتریک) استفاده نمود. $H(x,t)$ و $Q(x,t)$ متغیرهای وابسته بوده و t, x متغیرهای مستقل می باشند. معادلات جرم و حرکت را بر مبنای عامل های فشار و سرعت می نویسیم [۱]:

$$\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + V \frac{\partial V}{\partial x} + \frac{\partial V}{\partial t} + \frac{fV|V|}{2D} + g \sin \alpha = 0 \quad (1)$$

$$V \frac{\partial H}{\partial x} + \frac{\partial H}{\partial t} + \frac{a^2}{g} \frac{\partial V}{\partial x} = 0 \quad (2)$$

H هد، پیزومتریک به صورت زیر تعریف می شود:

$$H = \frac{1}{g} \int_0^p \frac{dp}{\rho(P)} + Z \quad (3)$$

P فشار و Z ارتفاع لوله از مبدا و ρ جرم ویژه سیال است. با جاگذاری معادله (۳) در معادله (۲) معادله (۴) حاصل می شود:

سالانه سیالاتی به ارزش میلیاردها دلار توسط خطوط لوله منتقل می شوند. افزایش سطح ایمنی، حفظ محیط زیست و کاهش هزینه های مربوطه از عوامل موثر بر عملیات خطوط لوله بوده است به طوری که کنترل و پایش دقیق آن بسیار حیاتی و ضروری می باشد. در اغلب موارد خطوط لوله محصولات سمی و یا آتشگیر را انتقال داده و از مناطق بسیار شلوغ و یا مناطقی که دارای حساسیت ایمنی و زیست محیطی زیادی هستند عبور می کنند.

احتیاجات روز افزون برای انتقال سیالات از مبدا تولید و یا فرآورش به نواحی دور دست برای استفاده، موجب شده که طراحی، ساخت و حفظ و نگهداشت خطوط لوله و کنترل شانس ناشی از مخاطرات وابسته، از حساسیت و اهمیت خاصی برخوردار شود.

دامنه خطوط لوله در صنعت نفت کشور بسیار وسیع بوده و علی رغم به کارگیری فن آوری های مرسوم و تمهیدات لازم در طراحی، ساخت و اجرا و همچنین حفظ و نگهداشت آن متأسفانه هر ساله نشتی های متعدد پیامدهایی نظیر خسارات های جانی، مالی، آتش سوزی، آلودگی زیست محیطی و هزینه های تعمیر و تعویض را بر پیکره اقتصاد کشور تحمیل می کند.

عوامل ایجاد نشتی عمدتاً پدیده خوردگی خارجی و داخلی، فرسودگی خط لوله، عملیات خارج از محدوده طراحی و یا ناشی از عملکرد شخص ثالث به صورت عمدی و یا غیر عمدی می باشد. خوردگی خارجی از عوامل رایج ایجاد نشتی در خطوط لوله بوده که عمدتاً ناشی از ضعف در پوشش خارج و عدم کارایی سامانه های حفاظت کاتدی می باشد. عملیات خارج از محدوده طراحی، دما، فشار و جریان نیز در بسیاری موارد به عنوان عوامل اصلی ایجاد نشتی از اهمیت خاصی برخوردار می باشد.

روش های مورد استفاده برای تشخیص، اعلام و تعیین مکان نشتی، عمدتاً متکی بر گزارش افراد بومی در مجاورت خط لوله و یا انجام بازرسی های چشمی است که این امر سبب اتلاف وقت زیاد، افزایش میزان کمیت هدر رفتگی و شانس ناشی از عوامل بالقوه آسیب رسان می شود.

از طرفی محاسبه میزان هدر رفتگی بر مبنای اصول علمی نبوده و بالطبع نتایج، ضعیف و کم دقتی را به همراه دارد. در این مقاله با

روش مشخصه ها برای حل معادلات

از آنجایی که روش حل عمومی برای معادلات دیفرانسیل جزئی جریان ناپایدار سیال در داخل لوله پیچیده می باشد، از روش حل عددی مشخصه ها برای تبدیل معادلات دیفرانسیل جزئی به معادله ها دیفرانسیل کامل استفاده شده است.

معادلات به دست آمده ممکن است انتگرال گرفته شوند و در نتیجه معادلات اجزا محدود که با روش های عددی حل می شوند به دست آورده شوند.

معادله ها در ساده ترین شکل که شامل ترم های کوچکی نباشند، نخست برای محاسبات عددی سازمان داده می شوند و به صورتی که قابل برنامه نویسی کامپیوتری باشند در می آیند.

معادلات پیوستگی و اندازه حرکت یک جفت از معادلات دیفرانسیل جزئی هیپربولیک است که در آنها دبی و سرپاره هیدرولیکی متغیرهای وابسته و زمان و فاصله در طول خط متغیرهای مستقل می باشند.

معادلات با روش مشخصه ها به چهار معادله دیفرانسیل معمولی تبدیل می شوند و ترم هایی که در معادلات کم اهمیت و بسیار کوچک برای به دست آوردن معادله ها به صورت ساده تر، حذف می شوند.

با استفاده از روش مشخصه ها معادلات (۷) و (۸) به یک جفت معادلات دیفرانسیل معمولی تبدیل می شوند [۶ تا ۳].

$$\frac{dh}{dt'} + \frac{dv}{dt'} + Rv|v| = 0 \quad (9)$$

$$\frac{dx}{dt} = + a \quad (10)$$

$$\frac{dh}{dt'} - \frac{dv}{dt'} - Rv|v| = 0 \quad (11)$$

$$\frac{dx}{dt} = -a \quad (12)$$

معادلات (۹) و (۱۱) در طول معادلات (۱۰) و (۱۲) معتبر هستند. از آنجا که a یک ثابت است معادلات (۱۰) و (۱۲) دو خانواده از خط های راست را تعریف می کنند که اینها روی صفحه

$$\frac{1}{\rho a^2} \left(\frac{\partial P}{\partial t} + V \frac{\partial P}{\partial x} \right) + \frac{\partial V}{\partial x} = 0 \quad (4)$$

اگر عوامل کانوکتیو در معادلات حاکمه کوچک باشند از آنها صرف نظر می شود و معادله حاکمه به صورت زیر ساده می شود:

$$g \frac{\partial H}{\partial x} + \frac{1}{A} \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{f|Q|Q}{2DA^2} = 0 \quad (5)$$

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{a^2}{gA} \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \quad (6)$$

شدت جریان حجمی به صورت $Q=VA$ در معادلات استفاده شده است. شدت جریان حجمی حالت پایدار را با Q_o نشان

می دهیم، افزایش هد هیدرولیکی به خاطر توقف کامل و ناگهانی سرعت ($V_o = Q_o/A$) را با H_o نشان می دهیم. H_o به

صورت زیر نشان داده شود [۱]:

$$H_o = \frac{aV_o}{g}$$

افزایش ناگهانی هد را خیزاب پتانسیل می نامند. با قرار دادن

$$x' = \frac{x}{L} \text{ و } t' = \frac{t}{L/a} \text{ و } v' = \frac{v}{V_o} \text{ و } h' = \frac{h}{H_o}$$

لوله (است) دبی Q ، هد هیدرولیکی H ، فاصله X ، زمان t ، بی بعد می شوند. با قرار دادن این تعاریف جدید بی بعد در معادلات (۵)

و (۶) معادلات (۷) و (۸) حاصل می شوند:

$$R = \frac{fLV_o}{2aD} \text{ است.}$$

$$\frac{\partial h}{\partial t'} + \frac{\partial v}{\partial x'} = 0 \quad (7)$$

$$\frac{\partial h}{\partial x'} + \frac{\partial v}{\partial t'} + Rv|v| = 0 \quad (8)$$

معادلات (۷) و (۸) با دو شرط مرزی به طور کامل یک جریان

ناپایدار را مشخص می کنند. برای تشخیص نشتی، شرایط مرزی فشار و جریان در ورودی و خروجی لوله در نظر گرفته می شود و

این شرایط مرزی با تقسیم کردن H به H_o و جریان Q به Q_o و زمان t به $\frac{t}{a}$ بی بعد می شوند. در معادلات (۷) و (۸) تمام

عامل های سیستم در ثابت واحد R جمع شده اند. بنابراین R عامل است که سیستم های مشابه را مشخص می کند.

گیری شده وجود دارد. به روش مشابه، دو گروه از اطلاعات فشار و جریان در ورودی بین t_2 و t_3 در دسترس است. این روش حل، روش حل الگوریتم کاشی است [۷].

الگوهای اعلام نشستی الگوریتم کاشی

محاسبات عددی وسیع که الگوریتم کاشی را بکار می برند نشان می دهند که وقتی نشستی اتفاق می افتد که موارد زیر به وقوع می پیوندد:

- ۱- افزایش آنی و همزمان در اختلاف (مقدار اندازه گیری شده منهای مقدار محاسباتی) در هد ورودی و جریان ورودی.
- ۲- افزایش آنی در اختلاف هد خروجی - افت همزمان و آنی در اختلاف جریان خروجی.
- ۳- زمان تغییر ناگهانی اختلاف ها در هر دو انتهای لوله محل نشستی را نشان می دهد.

۴- مجموع تعداد پله های زمان پیاپی با اختلاف ها در دو انتهای لوله مساوی با تعداد قسمتهای محاسباتی می باشد. هر یک از چهار شرط فوق می تواند دلالت بر وجود نشستی کند. ولی برای اطمینان بیشتر از وجود نشستی هر چهار شرط باید بررسی شود.

در الگوریتم کاشی هنگامی که اشتباهی در اندازه گیری های اطلاعات وجود داشته باشد یا اطلاعات ورودی دارای نویز باشند، نویزها در حالت ناپایدار تقویت می شوند. برای رها شدن از مشکل تقویت نویزها که در الگوریتم کاشی وجود دارد، از یک الگوریتم دیگر به نام الگوریتم Time Marchine استفاده می شود.

الگوریتم Time-Marchine [۷]

در این روش معادلات (۹) تا (۱۲) در مقادیر مرزی اولیه حل می شوند. در زمان صفر هنگامی که جریان در حالت پایدار است و هیچ نشستی وجود ندارد، فشار و جریان در تمام قسمت های محاسباتی، محاسبه می شود. به همین ترتیب فشار و جریان در قسمت های داخلی p با پله زمانی صحیح از فشار و جریان در T و S نمودار ۲ قابل محاسبه است.

Xt خط های مشخصه را تشکیل می دهند و خط ها با شیب $+\frac{1}{a}$ مشخصه های C^+ و خط ها با شیب $-\frac{1}{a}$ مشخصه C^- نامیده می شوند.

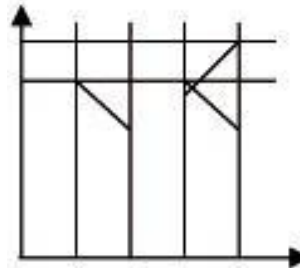
نمودار ۱ روش حل عددی در روی مشخصه ها را نشان می دهد لوله به N قسمت محاسباتی به طول dx تقسیم می شود. با دانستن هد و جریان در d و f هد و جریان در e از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$(۱۳)$$

$$C^+ : (h_e - h_d) + (v_e - v_d) + 0.25R(v_e + v_d)(v_e + v_d)dt = 0$$

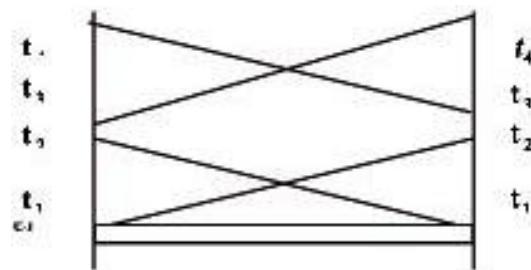
$$(۱۴)$$

$$C^- : (h_f - h_e) - (v_f - v_e) - 0.25R(v_f + v_e)(v_f + v_e)dt = 0$$



نمودار ۱ - مشخصه ها و روش حل

با روش مشابه با دانستن هد و شدت جریان در g و h هد و جریان در i قابل محاسبه خواهد بود.



نمودار ۲- انتشار امواج و محاسبات روی صفحه Xt

فرض کنید فشار و جریان اندازه گیری شده در انتهای خط لوله در زمان واقعی اندازه اندازگیری شوند. با استفاده از فشار و جریان اندازه گرفته شده در ورودی بین زمان t_1 و t_4 فشار و جریان در خروجی بین زمان t_2 و t_3 به عنوان مقدار اولیه یا مساله کاشی می تواند محاسبه شود. بنابراین دو سری از اطلاعات فشار و جریان در خروجی بین زمان t_2 و t_3 و یکی محاسباتی و یکی اندازه

(۱۵)

$$C^+ : (h_p - h_r) + (v_p - v_r) + 0.25(v_p + v_r)(v_p + v_r)dt = 0$$

(۱۶)

$$C^- : (h_p - h_s) - (v_p - v_s) - 0.25(v_p + v_s)(v_p + v_s)dt = 0$$

این الگوریتم، الگوریتم Time Machine است. از آنجا که محاسبات با زمان انجام می‌گیرد، تقویت نویزها با برگشت زمان اتفاق نمی‌افتد. محاسبات عددی نشان می‌دهند، شرایط وجود نشستی در الگوریتم Time Machine عبارتند از:

۱- افت اختلاف در هد ورودی و افزایش آنی اختلاف جریان ورودی

۲- افت اختلاف هد خروجی و افت آنی اختلاف جریان خروجی

۳- زمان اتفاق اختلافات در انتها ی لوله محل نشستی را نشان می‌دهند.

تعیین عامل های خط لوله

عامل های خط لوله نظیر ضریب اصطکاک و سرعت موج که در شبیه سازی استفاده می‌شوند، باید طوری تنظیم شوند که پیش بینی های شبیه سازی با اطلاعات مشاهده شده تحت شرایط کنترل شده سازگار باشد. در فرایند تنظیم هر عامل، یک مدل جریان ناپایدار که با نشستی به عنوان یک جریان خروجی ویژه در محل نشستی برخورد می‌کند، بسط داده می‌شود. جریان ورودی، هد خروجی و جریان نشستی برای بدست آوردن مدل استفاده می‌شود. ضریب اصطکاک دارسی و ایسباخ و سرعت موج تغییر داده می‌شود. ضریب اصطکاک و سرعت موجی که بهترین حالت سازگاری بین مقادیر اندازه گیری شده و محاسبه شده را بدهد، به عنوان مقادیر صحیح انتخاب می‌شوند.

تعیین کمترین نشستی قابل تشخیص تعیین مقدار آستانه

یک خط لوله سالم را در نظر بگیرید که یک یا چند محصول نفت خام را منتقل می‌کند. در طول فاصله زمان Δt ممکن است جرم ورودی اندازه گیری شده با جرم خروجی اندازه گیری شده مساوی نباشد. اختلاف به عدم دقت در اندازه گیری جریان و تخمین در جرم موجود در خط لوله نسبت داده می‌شود. اگر خطای

در ابزار اندازه گیری جریان و خطا در تخمین موجودی خط لوله را با استفاده از قانون \sqrt{RSS} جمع کنیم. حداقل نشستی قابل تشخیص، نسبت به Q_{ref} با معادله زیر بیان می‌شود [۸ و ۹]:

(۱۷)

$$\frac{Q_1}{Q_{ref}} = \sqrt{\left(K_{in}^2 + K_{out}^2 + \left(\frac{dV_s}{\Delta t Q_{ref}}\right)^2\right)}$$

از معادله فوق ملاحظه می‌شود که Q^l به Δt یعنی فاصله زمانی هم بستگی دارد. برای dV_s مشخص نشستی های کوچکتر در پریودهای زمانی بزرگتر می‌توانند تشخیص داده شوند. برای dV_s بزرگ یا پریود زمانی کوچک، اندازه کوچکترین نشستی قابل تشخیص بزرگ است و خطا در اندازه گیری جریان خیلی مهم نمی‌باشد ولی اگر Δt بزرگ باشد در این صورت خطاهای اندازه گیری، نقش اساسی را در تعیین اندازه کوچکترین نشستی قابل تشخیص خواهند داشت.

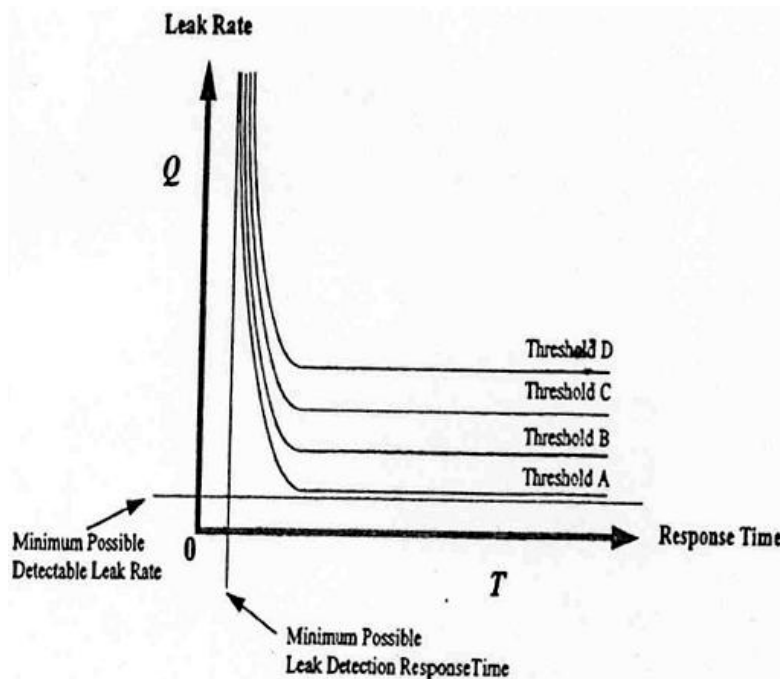
با ترسیم $Q_i/Dref$ با xt یک هذلولی به دست می‌آید که توانایی تشخیص نشستی سیستم را مشخص می‌کند. رابطه بین کوچکترین اندازه نشستی و زمان مورد نیاز که سیستم از وجود نشستی مطمئن شود به صورت منحنی در نمودار ۳ نشان داده شده است.

برنامه نرم افزاری PLD

حاصل تحقیقات و مطالعات انجام شده، تهیه نرم افزار PLD است. به طوری که این نرم افزار قادر به شبیه سازی جریان ناپایدار سیال، محاسبه افت فشار، تشخیص نشستی در حالت پایدار و ناپایدار، محاسبه مکان نشستی و برآورد میزان نشستی در هر طولی از خط لوله با شیب متغیر است.

الگوریتم تشخیص نشستی

فرایندی که برای تشخیص نشستی استفاده شده طی روند نمای زیر آورده شده است:

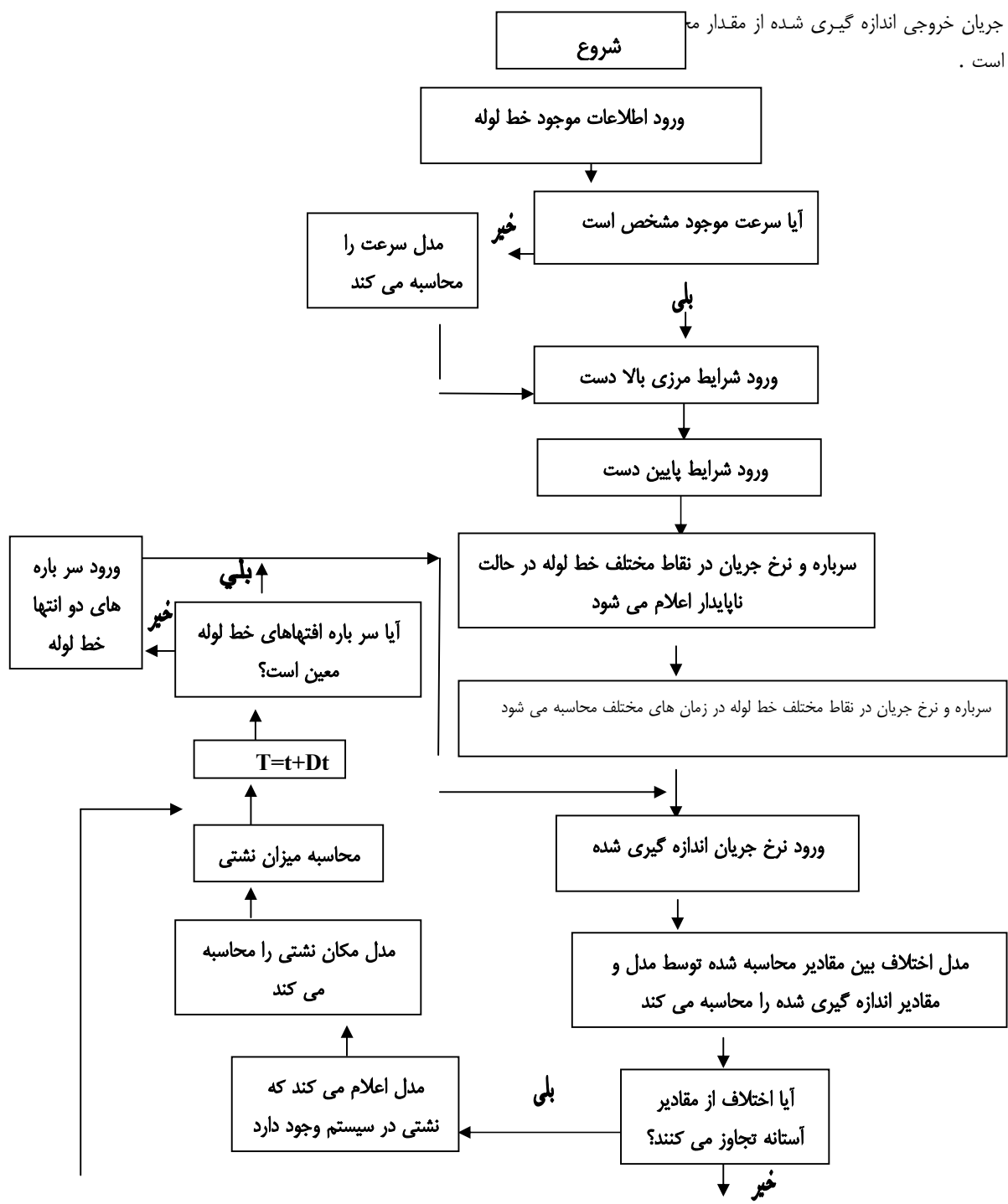


نمودار ۳- نمونه ای از منحنی های حساسیت سیستم [۱۱۹]۰

جریان های ورودی و خروجی خط لوله که توسط مدل سازی انجام شده (مدل PLD) محاسبه شده و با مقادیر تجربی در نمودار های ۶ و ۷ مقایسه شده است. مقایسه نتایج حاصل از این مدل با نتایج تجربی ارایه شده در مدل liou (۱۹۹۵) [۷] دقت و صحت این مدل در پیش بینی حالت خط لوله را نشان می دهد. اختلاف این مدل با مدل liou کمتر از ۵ درصد می باشد. خط لوله با مشخصات ذکر شده در جدول ۱ برای مقایسه مدل PLD با نتایج تجربی برای نشتی، با شدت $\frac{m^3}{hr}$ ۱/۱۴ به فاصله ۹۶ Km از ابتدای خط لوله، طی یک جریان ناپایدار استفاده شده است. اختلاف بین مقادیر محاسبه شده، شدت جریان توسط مدل سازی و مقادیر اندازه گیری شده، در نمودار ۸ نشان داده شده است. همانطور که در نمودار ۸ هم ملاحظه می شود، جریان ورودی اندازه گیری شده از مقدار محاسبه شده بیشتر بوده و

بحث و بررسی نتایج

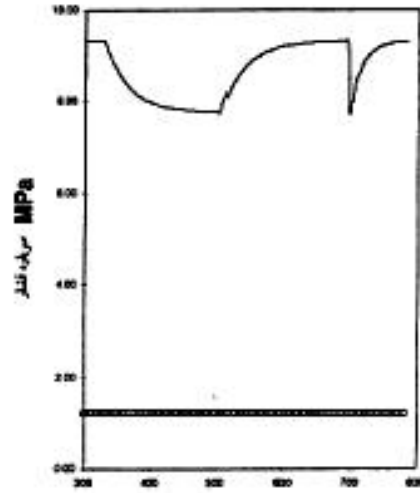
در این قسمت، ابتدا نتایج حاصل از مدل سازی انجام شده با سایر مدل ها مقایسه می شود و سپس نتایج حاصل از شبیه سازی نشتی در خط لوله ارایه می شود. مشخصات خط لوله مورد استفاده برای مقایسه نتایج مدل PLD با نتایج تجربی در جدول ۱ آورده شده است. نمودار ۵ فشار ورودی و خروجی خط لوله را نشان می دهد. فشار ورودی را به طور ملایم از $9/31$ Mpa به $7/75$ Mpa در زمان ۲۰۰ ثانیه کاهش داده و مجدداً طی ۲۰۰ ثانیه به فشار اولیه بر می گردانیم. بار دوم فشار ورودی را سریع و ناگهانی کاهش و دوباره به حالت اولیه بر می گردانیم. پروفیل تغییرات فشار ورودی و خروجی سیستم به طور کامل در نمودار ۵ نشان داده شده است. در این مدت فشار خروجی توسط رگولاتور در مقدار $1/21$ Mpa ثابت می ماند. مقادیر شدت



نمودار ۴- روند نمای تشخیص نشستی

جدول ۱- مشخصات خط لوله نفت خام استفاده شده برای شبیه سازی

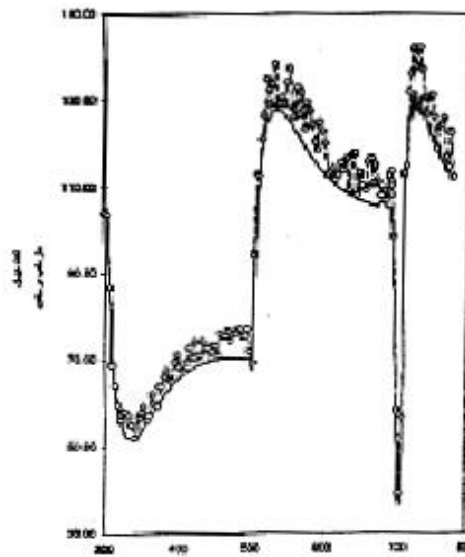
225 km	طول خط لوله
21/9 cm	قطر خط لوله
639 m	ماکزیمم اختلاف ارتفاع
9/3 Mpa	فشار ورودی
123m	ارتفاع بالادست
1/21Mpa	فشار خروجی
604 m	ارتفاع پایین دست
18/8 °C	دمای ورودی
10/8	دمای خروجی



زمان - ثانیه

سرباره فشار خروجی 0 سرباره فشار ورودی-

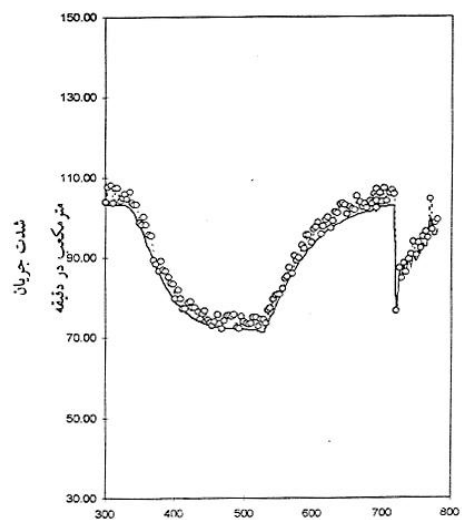
نمودار ۵- سرباره فشار ورودی و خروجی خط لوله



زمان - ثانیه

مقدار اندازه گیری 0 مقدار مدل -----

نمودار ۶- مقایسه شدت جریان ورودی خط لوله با مقادیر تجربی [۹]

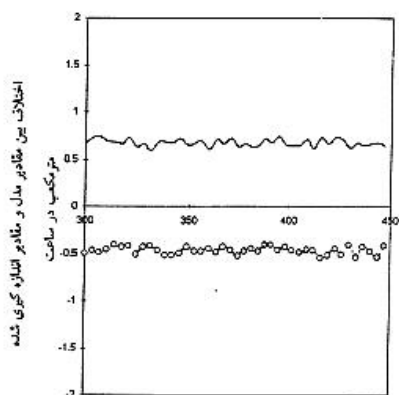


زمان - ثانیه

مقدار مدل -----

مقدار اندازه گیری 0

نمودار ۷- مقایسه شدت جریان خروجی خط لوله با مقادیر تجربی [۷]



زمان - واحد ۱۵ ثانیه

زمان واحد ۱۵ ثانیه

اختلاف در بالادست جریان -----

اختلاف در پایین دست جریان 0

نمودار ۸- اختلاف بین شدت جریان های محاسبه شده توسط مدل سازی پیشنهادی و مقادیر اندازه گیری شده در پایین دست و بالادست جریان

جدول ۲- مقایسه درصد خطای محاسبه مکان نشستی و حجم نشستی خط لوله محاسبه شده توسط مدل pld نسبت به مقادیر تجربی

زمان	اختلاف در پایین دست جریان m3/hr	اختلاف در بالادست جریان m3/hr	حجم نشستی m3/hr	مکان نشستی Km	صد خطا محاسبه حجم نشستی	درصد خطا محاسبه مکان نشستی
۳۰۰	۰.۶۷	-۰.۴۹	۱.۱۷	۹۵.۱۸	۲.۳۸	۰.۰۰
۳۰۳.۵	۰.۷۳	-۰.۴۷	۱.۲۰	۸۷.۸۳	۵.۲۸	۰.۰۷
۳۰۷	۰.۷۴	-۰.۴۸	۱.۲۳	۸۸.۷۱	۷.۵۱	۰.۰۷
۳۱۰.۵	۰.۶۹	-۰.۴۵	۱.۱۴	۸۹.۰۲	-۰.۰۳	۰.۰۶
۳۱۴	۰.۶۸	-۰.۴۱	۱.۰۹	۸۴.۲۰	۴.۳۵	۰.۱۱
۳۱۷.۵	۰.۶۶	-۰.۴۳	۱.۰۹	۸۸.۱۳	-۴.۴۷	۰.۰۷
“	“	“	“	“	“	“
۴۲۹.۵	۰.۶۳	-۰.۰۴	۱.۰۳	۸۸.۰۳	-۹.۰۲	۰.۰۷
۴۳۳	۰.۶۷	-۰.۵۳	۱.۲۱	۹۹.۳۲	۵.۹۳	-۰.۰۵
۴۳۶.۵	۰.۶۵	-۰.۴۲	۱.۰۷	۸۸.۹۸	-۵.۸۶	۰.۰۶
۴۴۰	۰.۶۶	-۰.۴۷	۱.۱۳	۹۳.۴۸	-۰.۵۰	۰.۰۲
					-۰.۰۳	۰.۰۴

میانگین خطای حسابی نسبت به مقادیر اندازه گیری شده

لوله اتفاق می افتد، فشار اندازه گیری شده در بالا دست و پایین دست جریان در خط لوله از مقدار محاسبه شده توسط مدل PLD کمتر می باشد.

۳- محاسبه عددی که روی مدل PLD انجام گرفت نشان می دهد که هنگام نشستی در خط لوله ، شدت جریان اندازه گیری شده در بالا دست جریان نسبت به مقدار محاسبه شده توسط مدل بیشتر می باشد. همچنین در پایین دست جریان ، شدت جریان اندازه گیری شده از مقدار محاسبه شده توسط مدل PLD کمتر می باشد.

۴- زمان بروز اختلافات بین مقادیر محاسبه شده شدت جریان ، توسط مدل PLD و مقادیر اندازه گیری شده، مکان نشستی را مشخص می کند.

پیشنهادات

در مدل PLD فرض شده که دما در طول خط لوله ثابت است و همچنین f ضریب اصطکاک ، سرعت صوت ، قطر، زبری و مشخصات خط لوله ثابت منظور شده است و از عبارت های جایجایی معادلات صرف نظر شده است. در مدل سازی دقیقتر اگر لازم باشد، می توانیم از روش هایی که برای حل معادلات،

جدول (۲) میزان خطای مدل PLD ، در محاسبه مکان نشستی و میزان نشستی نسبت به مقادیر تجربی را نشان می دهد. همانطور که در جدول هم نشان داده شده میزان خطا کمتر از ۴ درصد می باشد.

نتیجه گیری

با توجه به مطالعات و تحقیقات انجام شده بروی مدل های مختلف وبررسی مزایاومعیایب هریک از مدل ها، مدل PLD برای تشخیص نشستی و تعیین مکان و اعلام میزان نشستی ارایه شد: ۱- بر اساس بررسی های انجام شده روی دو مدل تشخیص نشستی کاشی و Time-Machine و شبیه سازی جریان ناپایدار ، نتایج نشان دادند که در الگوریتم کاشی نویزها تقویت می شوند . در مدل PLD با روشی مشابه روش Time-Machine از تقویت نویزها که سبب ایجاد خطا در تعیین نشستی می شود، جلوگیری شده است.

۲- وقتی در سیستم خط لوله نشستی به وجود می آید، بین مقادیر اندازه گیری شده فشار و شدت جریان و مقادیر محاسبه شده توسط مدل PLD اختلاف وجود دارد. موقعی که نشستی در خط

فهرست علائم

a	:سرعت موج ، سرعت پالس فشار
a	:زاویه خط لوله نسبت به افق
A	:سطح مقطع
C^+ , C^-	:بیانگر معادلات مشخصه
D	:قطر لوله
dV_s	:خطای محاسبه موجودی خط لوله
e	:ضخامت جداره لوله
f	:ضریب اصطکاک
g	:شتاب
h	:هد هیدرولیکی بی بعد
H	:هد هیدرولیکی
K_{in} , K_{out}	:خطای ابزار اندازه گیری بصورت ضریبی از Q_{ref} نشان داده می شود.
Q_{ref}	:مرجع ابزار اندازه گیری است.
L	:طول خط لوله
N	:تعداد قطعه ها
ρ	:فشار
P	:جرم ویژه سیال
Q	:شدت جریان حجمی
t	:زمان
t'	:زمان بی بعد
X	:فاصله
X'	:فاصله بی بعد
Δ	:تغییرات در مقدار روی زمان
V	:شدت جریان بی بعد
V_o	:سرعت اولیه سیال، سرعت متوسط یا حالت پایدار
Z	:ارتفاع
زیر نویس ها	
in	:زیر نویس برای پایین دست لوله
d,e,f,g,h,i,p,r,s	:نقاط در صفحه x-t
i	:شمارنده قطعه خط لوله
out	:زیر نویس برای بالا دست خط لوله

بدون صرفنظر کردن از ترم های کانوکتیو در فصل دوم [۹] ارائه شده استفاده کنیم و تاثیر تغییرات قطر و بقیه مشخصات خط لوله را هم با روش های ارائه شده، در فصل دوم [۹] منظور کنیم.

برای پیدا کردن مکان نشستی از اختلاف بین مقادیر شدت های جریان بین دو طرف نشستی استفاده می شود. شایان ذکر است

خطای موجود در ابزار اندازه گیری شده جریان ، موجب پیدایش خطا در تعیین مکان نشستی می شود که گاهی این خطاها باعث دشواری تعیین مکان نشستی می گردد. باید توجه داشت که هر چقدر نقاط اندازه گیری جریان در طول خط لوله بیشتر باشد، محل نشستی را دقیقتر می توان مشخص کرد.

پیشنهاد می شود که در خطوط لوله موجود در کشور از سیستم زیر برای پیش بینی نشستی استفاده شود:

الف: در نقاط انتهایی خط لوله ابزار دقیق اندازه گیری فشار (فشار سنج) و ابزار اندازه گیری دقیق شدت جریان (جریان سنج) ، و همچنین در نقاط داخلی خط لوله (تا آنجا که ممکن است) جریان سنج نصب شود. این تجهیزات اندازه گیری باید فشار و شدت جریان را به صورت مستقیم اندازه گرفته و با استفاده از مبدل ها ، مودم و... موجود ، فشار و شدت جریان اندازه گیری شده را به PLC ارسال نمایند. اطلاعات به دست آمده در یک سیستم پردازش مرکزی توسط برنامه PLD بررسی می شود، در صورت تشخیص نشستی سیستم نمایش کامپیوتری وجود نشستی را اعلام کرده ، مکان و مقدار نشستی نشان داده می شود.

ب: در صورت وجود نشستی سیستم PLC می تواند به شیر های برقی موجود در خط، در اولین نقطه قبل از نشستی فرمان داده و جریان قطع شود. همچنین فرمانی از سیستم PLC به پمپ ها و شیرهای قطع و وصل اضطراری موجود در سر چاه ها ارسال می شود . این سیستم به خصوص در موارد که نشستی در اثر انفجار است و یا حجم نشستی زیاد باشد، به خوبی جواب داده و می تواند از اتلاف محصولات و خطرات دیگر جلوگیری کند. سیستم کنترل می تواند ، کاملاً خودکار عمل کند .

بالا نویس ها

+جریان رو به بال

-جریان رو به پایین

منابع

- [1].Wylie,E.B., and Streeter V.L. "Fluid Transients in Systems", Prentice Hall, Inc., Englewood, NJ.,1993.
- [2].Evanglisti, G."Waterhammer Analysis by the Method of Characteristics." L,Energ. Elec. Vol xv nos, 10,11,12,Milan,1969.
- [3].Gray, C.A.M."The Analysis of the Dissipation of Energy in Water hammer,"Proc.Ascg,Vol.119, Paper 1176-1194.1953.
- [4].Halliwell, A.R."Velocity of Water hammer Wave in an Elastic Pipe." J.Hyd-Div, ASCE.VOL 89,NO.hy4, pp.1- 21 July 1963.
- [5].Mears M.N., "Real word Application of Pipeline Leak Detection" Proceedings of International Conference on Pipeline in Frastructure. II, American Society of Civil Engineers, San Antonio,TX, PP,189-209 1993.
- [6].Streeter, V.L., and E.B, "Wylie: Hydraulic Transients",M C Graw-Itill Bok co., New York 1967.
- [7].J.C.P.Liou, J.Tian."Leak Detection-Transient Flow Simulation Approaches", J. of energy Resources Technology,vo.117, sept1995.
- [8].Jim C.P.Liou: "Leak Detection by Mass Balance Effective for Norman Wells line",Oil & Gas Journal ,Apr.22, 1996.
- [۱۰] غلامرضا پوریایی، مدلسازی نشتی در خطوط لوله در حالت ناپایدار، پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی شیمی، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس ۱۳۷۹
- [10].Dupont, T.Rachford, H.H., et al "A Transient Remote integrity Monitor for pipelines Using Standard SCADA Measurements", INTERPIPE Conference, Houston, TX, 1980.
- [11]. "Evaluation Methodology for Software Baker Leak Detection Systems", API PUBL,1155 , 95 December 7,1994.