

بررسی هیدرولیک جریان میرا در خطوط انتقال آب تحت فشار انعطاف پذیر

صادق حقیقی پور^{۱*} و منوچهر فتحی مقدم^۲

* نویسنده مسئول، استادیار گروه عمران موسسه آموزش عالی جهاد دانشگاهی خوزستان s.haghighi.p@gmail.com

۲- استاد گروه سازه های آبی دانشگاه شهید چمران اهواز

تاریخ پذیرش: ۹۱/۶/۲۰

تاریخ دریافت: ۹۱/۳/۲۴

چکیده

آنچه به نام ضربه قوچ در خطوط لوله انتقال آب شناخته می شود، شرایط گذرایی است که ممکن است به علت تغییرات سریع در شیرها، راه اندازی یا متوقف شدن پمپها و غیره رخ دهد. در این حالت اغتشاشات به وجود آمده بصورت امواج فشاری و با سرعت صوت در سیستم حرکت کرده و به علت تنش برشی جدار مجرا مستهلک می شود. مقایسه نتایج نظری و آزمایشگاهی نشان داده است که، مدل های شبه پایدار در پیش بینی استهلاك امواج فشاری نتایج نادرستی را در حوادث جریان میرا ارائه می دهند. هدف از انجام این تحقیق، اندازه گیری چندین پروفیل سرعت در شرایط وقوع جریان میرا در خطوط لوله انتقال آب بوده تا با تفسیر آنها، بتوان چگونگی تغییر شکل، معادله های حاکم بر آنها و همچنین در بدست آوردن استهلاك انرژی واقعی در این شرایط را پیش بینی نمود. لذا، اندازه گیری های آزمایشگاهی با استفاده از دستگاه سرعت سنج داپلر آلتراسونیک بر روی یک خط لوله پلی اتیلن، که در آن جریان میرا، با باز وبسته کردن شیر واقع در پایین دست جریان داشت صورت گرفت. داده های سرعت تحلیل و با نتایج دیگر محققان مقایسه گردید. نتایج حاکی از ضعف ذاتی دستگاه سرعت سنج در اندازه گیری سرعت جریان در نزدیکی جداره مجرا، به دلیل سرعت پایین جریان و همچنین عدم وجود ذرات معلق در این ناحیه می باشد. لذا با اتخاذ روش اصلاحی بر روی داده های برداشت شده توسط دستگاه، آنالیز داده های سرعت در حالت غیرماندگار صورت گرفت که نشان دهنده پروفیل های سرعت غیر متقارن و تشکیل گردابه در ناحیه جداره مجرا در هنگام وقوع جریان میرا می باشد.

کلید واژه: مدل شبه پایدار، داپلر آلتراسونیک، پروفیل سرعت، ضربه قوچ.

Evaluation of Transient Hydraulic Flow in Flexible Pipe Line

S. Haghighipoor¹ and M. FathiMoghadam²

1- Assistant Professor, Civil Engineering Department, Khuzestan Jihad Institute for Higher Education

2- Professor of Shahid Chamran University, Faculty of Water Science Engineering, Ahwaz-Iran.

Received: 14 June 2012

Accepted: 11 Sept 2012

Abstract

Water-hammer is a transient condition which may occur in a network as a result of rapid or slow valve closures, pump failures, etc. It creates high and low pressure waves which travel along the system and decay as a result of wall shear stress. Comparison of experimental and theoretical results revealed the failure of steady or quasi-steady models in correctly predicting the damping process of the pressure waves. The aims of this research are to increase the number of available unsteady velocity profiles and to give a contribution to the understanding of transient flow dynamics and energy dissipation. With this purpose, experimental measurements by Ultrasonic pulsed Doppler Velocimetry of the unsteady velocity field for water hammer transients in a long polyethylene pipe, caused by a downstream sudden valve closure, and are presented. Velocity data are analyzed and compare with results obtained by other authors. Result show the inherent weakness of UDV velocimeter, to measurement of flow rate near the conduit wall, for two reasons: low velocities and reduced dimension of effective sampling volume. By use of corrective method represents the non-symmetric velocity profiles and vortex formation in the conduit wall.

Key words: Quasi- steady model, Ultrasonic pulsed Doppler, velocity profiles, Water-hammer

مقدمه

می باشد [۵]. عبور موج، باعث ایجاد جریان معکوسی در نزدیک جداره لوله می گردد که ترکیب این جریان معکوس با شرط عدم لغزش^۳ در جداره لوله، منجر به تنش برشی بزرگی می گردد. در واقع، تفاوت بین نتایج عددی، داده های آزمایشگاهی و داده های میدانی مربوط به شبیه سازی ضربه قوچ به علت استفاده از روابط تنش برشی جداره در حالت پایدار در معادله های مربوط به ضربه قوچ می باشد [۸،۹]. لذا پارامتر سرعت، نقش تعیین کننده ای در هیدرولیک جریان میرا ایفا نموده و هدف اصلی این تحقیق با توجه به کمبود داده های آزمایشگاهی در تحقیقات انجام شده در گذشته، اندازه گیری تعدادی پروفیل سرعت در جریان میرا و مقایسه با پروفیل متناظر آن در شرایط جریان پایدار و شبه پایدار و مشخص کردن تفاوت ها و تعیین دامنه کاربرد هر کدام از آنها در جریان میرای هیدرولیکی می باشد. اندازه گیری پروفیل سرعت با وسایل اندازه گیری و روش های مختلف توسط محققان زیادی در گذشته، صورت گرفته است که از مهمترین مراجع معتبر منتشر شده در این زمینه می توان به داده های ارائه شده توسط نیکورادزه^۴ (۱۹۳۲) با استفاده از لوله پیتوت^۵، لوفر^۶ [به نقل از منبع ۷] با دستگاه سیم داغ^۷ و دن توندر و تیوداستد (۱۹۹۷) با استفاده لیزر داپلر^۸ اشاره نمود. لازم به ذکر است که کلیه محققین فوق، آزمایش هایی را برای لوله های صاف و در اعداد رینولدز مشابه با اعداد رینولدز آزمایش های این تحقیق انجام داده اند.

مواد و روش ها

جهت بررسی و اندازه گیری پروفیل سرعت حین وقوع جریان میرا در سیستم های انتقال آب، تصمیم بر ساخت مدلی فیزیکی در آزمایشگاه هیدرولیک دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران گرفته شد تا ضمن بررسی چگونگی تغییر شکل پروفیل سرعت، از نتایج آن جهت تعیین رابطه ای مناسب برای تخمین تنش برشی و همچنین واسنجی کردن بعضی از روابط برآورد تنش موجود در شرایط میرا^۹ استفاده گردد. در تحقیق حاضر از دستگاه سرعت سنج الکتروسونیک داپلر^{۱۰} (UDV) استفاده شده است که مزیت عمده آن نسبت به سایر دستگاه ها، توانایی اندازه گیری پروفیل سرعت به صورت لحظه ای در کل مقطع عرضی لوله بدون دخالت در جریان می باشد. در

شناخت خصوصیات جریان میرا از مهمترین و اساسی ترین تحقیقات پایه در حوزه مکانیک سیالات است. با توجهی که در چند سال اخیر نسبت به طراحی و اجرای سیستم های انتقال تحت فشار معطوف گردیده و تشویق به استفاده از سیستم های آبیاری تحت فشار به منظور بهبود بهره برداری از منابع آب کشور، لذا شناخت بهتر مسائل هیدرولیکی خاص این سیستم ها، انگیزه اصلی جهت انجام این تحقیق می باشد. اگرچه طراحی سیستم های انتقال تحت فشار با استفاده از روابط جریان پایدار صورت می گیرد، اما بررسی و پیش بینی دقیق آثار ناپایداری جریان بر این سیستم ها از جنبه های مختلف ضروری است. ناپایداری جریان در مجاری تحت فشار می تواند به تولید فشارهای بزرگی منجر شود که امنیت و عملکرد معمول سیستم را به مخاطره می اندازد. از آنجا که در مدل های عددی موجود مربوط به آنالیز جریان میرا، جهت تخمین تنش برشی از روابط مربوط به جریان پایدار مانند روابط دارسی- ویسباخ و هیزن ویلیامز استفاده می شود، همواره باعث ایجاد خطا در پیش بینی نوسانات امواج فشاری حاصل و نحوه استهلاک آن می گردد.

در تحلیل های رایج از جریان میرا، فرض بر این است که ارتباط تنش برشی جداره با سرعت متوسط در سطح مقطع لوله برای جریان پایدار، در حالت ناپایدار نیز صادق می باشد. بدین معنا که روابط بیان کننده تنش برشی جداره مانند فرمول دارسی- ویسباخ یا هیزن- ویلیامز برای هرگام زمانی از جریان میرا، نیز صادق می باشد. برای مثال، شکل معادله دارسی- ویسباخ که در مدل های ضربه قوچی استفاده می شود، عبارت است از (وایلی و استریتر^۱، ۱۹۹۳):

$$\tau_{ws}(t) = \frac{\rho f(t)|V(t)|V(t)}{8} \quad (1)$$

که در آن $\tau_{ws}(t)$: تنش برشی جداره در حالت شبه پایدار^۲ و تابعی از زمان می باشد. استفاده از روابط تنش برشی جداره در حالت پایدار برای حالت ناپایدار، برای جریان میرای بسیار کند، قابل قبول می باشد که در واقع این نوع جریان ها، جریان های ضربه قوچی به حساب نمی آیند. جهت روشن شدن مشکلات استفاده از این روش در تحلیل جریان های میرای سریع، جریان میرایی را در نظر بگیرید که در اثر بسته شدن سریع یک شیر واقع در پایین دست یک خط لوله به وجود آید. با حرکت موج فشاری حاصل به سمت بالادست، دبی و سرعت متوسط در پشت جبهه موج صفر می گردد، در نتیجه با استفاده از معادله (۱)، مقدار تنش برشی جداره دیواره، صفر می گردد، که کاملاً نادرست

3 - No Slip Condition

4 - Nikuradse

5 - Pitot Tube

6 - Lufer

7 - Hot Wire

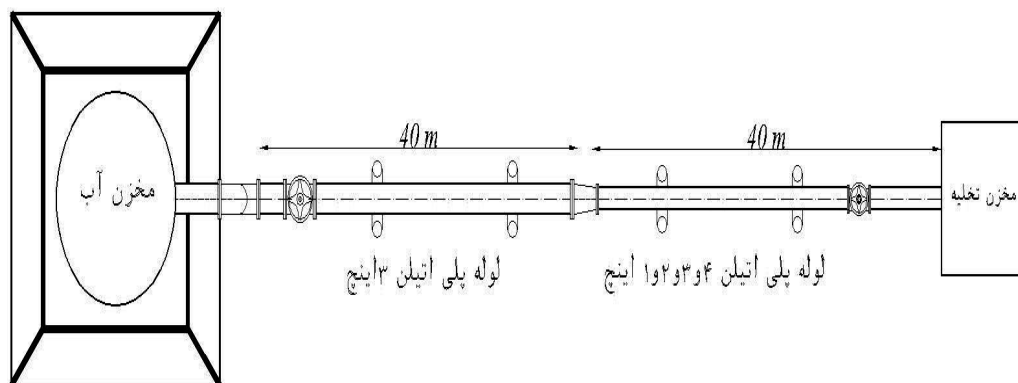
8 - Laser Doppler

9 - Transient Flow

10 - Ultrasonic Doppler Velocimetry

1 - Wylie and Streeter

2 - Quasi Steady



شکل ۱- طرح کلی از سیستم طراحی شده جهت انجام آزمایش‌ها

طول L_0 ، مطابق رابطه ذیل، به عدد رینولدز جریان ماندگار وابسته می‌باشد:

$$\frac{L_0}{D} \cong \frac{2 * 10^5}{Re} \quad (2)$$

با توجه به رابطه فوق مشخص است که بالاترین مقدار برای L_0 وقتی به دست می‌آید که عدد رینولدز جریان پایین (جریان آرام) باشد. طول L_1 مشخص کننده طولی است که در آن لایه‌های مرزی به مرکز خط لوله می‌رسد. مطابق رابطه ذیل مشخص است که L_1 رابطه عکس با ضریب اصطکاک (λ) جریان دارد:

$$\frac{L_1}{D} \cong \frac{C_1}{\lambda} \quad (3)$$

که در رابطه فوق C_1 : عدد ثابت تجربی و L_2 : که طول لازم برای رسیدن به جریان آشفته کاملاً توسعه یافته می‌باشد و مطابق رابطه ذیل به دست می‌آید:

$$\frac{L_2}{D} \cong \frac{C_2}{\lambda^{0.5}} \quad (4)$$

C_2 : ضریب ثابت که به صورت تجربی مشخص می‌گردد. با صرف نظر کردن از L_0 ، طول کلی مورد نیاز برای رسیدن به جریان کاملاً توسعه یافته از رابطه ذیل به دست می‌آید:

$$\frac{L}{D} \cong \frac{C_1}{\lambda} + \frac{C_2}{\lambda^{0.5}} \quad (5)$$

حالی که در سایر دستگاه‌ها به صورت نقطه‌ای سرعت را اندازه‌گیری می‌نمایند. جهت مطمئن شدن از عملکرد صحیح و دقت دستگاه UDV، نتایج دستگاه را با بعضی از مراجع معتبر، که در این زمینه منتشر شده است، مقایسه و داده‌های خروجی از دستگاه، نیز اصلاح گردید. با توجه به امکانات موجود و محدودیت‌های مربوط به نوع پدیده در نهایت تصمیم گرفته شد که مدلی مرکب از یک مخزن با ارتفاع ۵ متر، لوله انعطاف پذیر و شیر قطع و وصل جریان ساخته شود که طرح کلی آن در شکل (۱) نمایش داده شده است. لوله‌ها از جنس پلی اتیلن بوده و شیر آلات چدنی می‌باشد. لوله‌ها در طول مسیر خود بر روی تکیه گاه قرار گرفته تا با فاصله داشتن از کف آزمایشگاه امکان نصب وسایل اندازه‌گیری بر روی آن فراهم گردد.

انتخاب محل اندازه‌گیری

محل برای اندازه‌گیری سرعت انتخاب می‌گردد که میدان جریان در آن کاملاً توسعه یافته باشد. یعنی مقادیر متوسط جریان (شامل میدان سرعت و گرادیان فشار) و مقادیر آشفتگی‌ها مستقل از مکان خط لوله باشد. بعد از هر پیچ و خم یا اتصالات و شیرآلات در مسیر جریان سیال، نیاز به یک طول مشخصی دارد تا دوباره به حالت کاملاً توسعه یافته برگردد. طولی از خط لوله که اجازه می‌دهد جریان به طور کامل توسعه یافته باشد به سه قسمت تقسیم می‌شود: (زاگرولا، ۱۹۹۸)

L_0 : طولی از خط لوله که مربوط به تبدیل جریان از حالت آرام به حالت متلاطم می‌باشد.

L_1 : طولی از خط لوله که مربوط به توسعه کامل لایه‌های مرزی می‌باشد.

L_2 : طولی از خط لوله می‌باشد که در آن گردابه‌های جریان کاملاً توسعه می‌یابد.

روش اصلاح داده ها

داده های تهیه شده توسط دستگاه UDV بنا به دلایل ذیل باید تصحیح گردد:

عبور امواج از محیط‌های با خصوصیات اکوستیکی متفاوت، شکل میدان آلتراسونیک و تنوع در شدت مکانی امواج و ابعاد احجام نمونه به خصوص در نواحی نزدیک دیواره های جریان. در این تحقیق، از روش ارائه شده توسط واندرلش و بورن^۶ (۲۰۰۰)، جهت تصحیح داده استفاده شده است.

نتایج و بحث

آزمایش‌های انجام شده در این تحقیق از اندازه گیری همزمان کمیت های زیر تشکیل شده است:

۱- اندازه گیری پروفیل سرعت لحظه ای توسط دستگاه DOP 2000.

۲- اندازه گیری دبی توسط دستگاه دبی سنج آلتراسونیک UF 5000.

۳- اندازه گیری فشار لحظه ای در شش نقطه از مخزن ذخیره ۵ متری تا پشت شیر قطع و وصل پایین دست جریان.

۴- اندازه گیری اختلاف فشار در طول ۴ متر از خط لوله که شامل مقطع اندازه گیری سرعت جریان (در وسط پروفیل خط لوله) نیز می باشد.

۵- اندازه گیری دمای آب.

بر خلاف فشار، دما پارامتری مؤثر بر لزجت سیال می باشد. آب بر خلاف دیگر مایعات در دمای زیر ۳۰ درجه سانتی‌گراد مقداری از لزجت آن کاهش می‌یابد. رابطه تجربی زیر این ویژگی آب را به صورت بهتری نمایش می‌دهد.

$$\ln \frac{\mu}{\mu_0} \approx a + b \left(\frac{T_0}{T} \right) + c \left(\frac{T_0}{T} \right)^2 \quad (6)$$

که در آن برای آب، $T_0 = 273.16 \text{ K}$ ، $\mu_0 \cong 0.001792 \text{ kg/ms}$ ، $a = -1.94$ ، $b = -4.8$ و $c = 6.74$.

دما بوسیله یک دماسنج دیجیتال با دقت ± 0.1 اندازه گیری می گردد و توسط فرمول ارائه شده در رابطه (۶) لزجت دینامیکی با دقت $\pm 1\%$ به دست می‌آید.

قبل از اندازه گیری پروفیل سرعت توسط دستگاه UDV، سطح آب در داخل مخزن مدل جهت ثابت نگه داشتن فشار در طول کلیه آزمایش‌ها

ثابت های تجربی در رابطه (۵)، توسط دن و برادشو^۱ تعیین گردید که دارای مقادیر $C_1 = 0.5$ و $C_2 = 5$ می‌باشد [به نقل از 1]. طول مورد نیاز جهت رسیدن به جریان کاملاً توسعه یافته که با رابطه (۵) بدست می‌آید، با کارهای تجربی که محققین مختلف مانند ابل^۲ (۱۹۷۴) انجام داده است هم‌خوانی مناسبی دارد. به طور مثال ابل (۱۹۷۴) در جرابی که عدد رینولدز آن $Re = 3 \times 10^5$ بوده، طول لازم برای توسعه یافتگی جریان (L) را 72D مشاهده کرده است، که مطابق با رابطه (۵)، طول مورد نیاز 78D می‌باشد. در این تحقیق، مکان اندازه‌گیری سرعت، نیز با توجه به محدودیت‌های رابطه (۵) در وسط خط لوله، تعیین شده است.

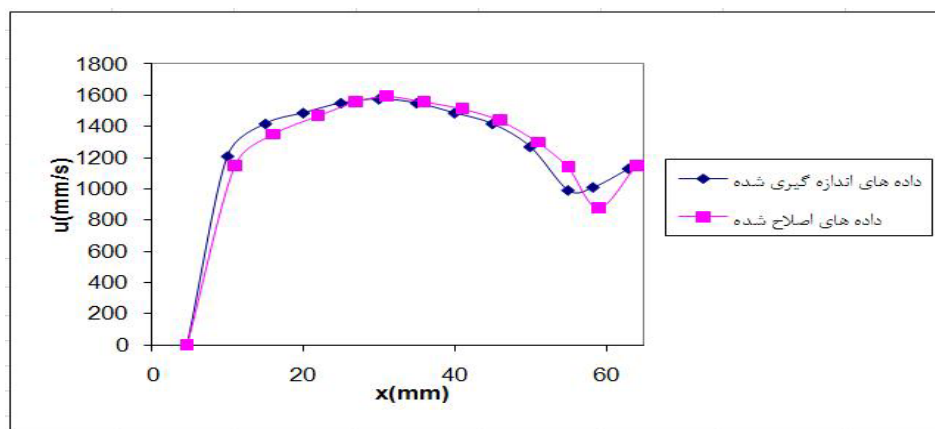
موقعیت قرار گرفتن حسگر دستگاه آلتراسونیک

برای نصب آسان و صحیح زاویه حسگر های دستگاه، از یک قطعه ثابت با یک درجه آزادی که اجازه چرخشی ۱۸۰ درجه‌ای را به حسگر می‌دهد، استفاده شده است. این وسیله، حسگر را هم تراز با محور لوله قرار می‌دهد. جهت پیوسته بودن، میدان آلتراسونیک ایجاد شده، توسط دستگاه، کل مقطع اندازه گیری سرعت، در آب غوطه ور باید باشد که این کار به وسیله یک جعبه عایق از جنس پلاکسی گلاس صورت پذیرفته است. با استفاده از این کار، انحراف پرتو آلتراسونیک در بیرون و داخل لوله مانند همدیگر می باشد که جهت اندازه گیری پروفیل سرعت، نکته بسیار مهمی است.

کالیبراسیون فاصله اندازه گیری

به منظور تفسیر کامل داده های اندازه گیری شده سرعت، واسنجی اولیه که بر اساس مقایسه بین فاصله واقعی حسگر تا خط لوله و فاصله ای که توسط دستگاه DOP 2000 ارائه شده است، صورت می‌گیرد. به عنوان یک اصل، تفسیر داده‌های اندازه گیری شده نیازمند داشتن اطلاعات دقیق از فاصله مرجع^۳ دستگاه، جهت تعیین دیواره لوله برای اندازه گیری سرعت محلی^۴ می‌باشد. پس از تعیین دقیق فاصله حسگر تا دیواره خارجی مجرای جریان، فضای بین حسگر و خط لوله در آب جهت اتصال امواج صوتی آلتراسونیک^۵ در آب غوطه ور می‌گردد. بعد از اینکه پرتو آلتراسونیک، به جدار خارجی لوله برخورد می کند، باعث تولید یک انعکاس قوسی می گردد که به طور روشن در ماژول Echo Modulus GC دستگاه ۲۰۰۰ DOP مشخص می‌گردد.

- 1 - Dean and Bradshaw
- 2- Abell
- 2- Distance reference
- 3- Local velocity
- 4- Acoustic coupling



شکل ۲- تصحیح داده های سرعت اندازه گیری شده با استفاده از روش واندرلیش و برون (۲۰۰۰)

گیری سرعت در $\frac{y}{r} \leq 0.03$ ($y=0.78\text{mm}$) توسط دستگاه UDV دارای عدم قطعیت بیشتری می‌باشد. اندازه گیری سرعت در $\frac{y}{r} \leq 0.03$ ، هر چند که غیر قطعی و منطقی نمی‌باشد ولی نباید سرعت در این مناطق نادیده گرفته شود و یا اینکه در تصحیح داده‌های اندازه‌گیری شده آنها را حذف نمود. زیرا سرعت اندازه‌گیری شده در این ناحیه، نقش بسیار مهمی در تعیین گرادیان سرعت جهت استفاده در مشخص نمودن میزان استهلاک انرژی و تعیین تنش برشی در جداره لوله چه در جریان پایدار و چه در جریان غیر پایدار ایفا می‌نماید. با توجه به اینکه پروفیل سرعت متوسط جریان، دارای تقارن محوری می‌باشد لذا جهت تحلیل پروفیل سرعت، نصف پروفیل را مورد تحلیل قرار می‌دهیم (بنا به دلایل ارائه شده در قسمت قبل، آن قسمت از پروفیل که نزدیک‌تر به محل قرار گرفتن حسگرهای آلتراسونیک می‌باشد را مورد بررسی قرار می‌دهیم).

شکل (۳) نشان دهنده پروفیل‌های سرعت اندازه‌گیری شده با اعداد رینولدز بین ۷۰۰۰ تا ۶۰۵۰۰ می‌باشد. به جهت نتایج مشابه که برای اعداد رینولدز مختلف جریان به دست آمده است، در اینجا تنها جریبات مربوط به یکی از این اعداد رینولدز ارائه می‌گردد. شکل (۴)، مقایسه بین داده‌های اولیه اندازه‌گیری شده سرعت توسط دستگاه UDV، داده‌های تصحیح پروفیل سرعت دستگاه UDV و نتایج ارائه شده توسط نیکورادزه و لوفر برای یک محدوده مشابه رینولدز را نشان می‌دهد. در این شکل U_{\max} به سرعت بیشینه که در محور خط لوله اتفاق می‌افتد اشاره می‌کند و همچنین انحراف معیار مطابق رابطه زیر تعریف می‌گردد:

$$DI = \frac{(u_m - u_l)}{u_l} * 100 \quad (7)$$

کنترل می‌گردد. لازم به ذکر است، بیشترین تغییرات سطح آب در داخل مخزن متری مدل $10 \pm$ سانتی‌متر می‌باشد.

جریان پایدار

با توجه به داده‌های اولیه سرعت که توسط دستگاه DOP 2000 برداشت گردیده توسط نرم افزار MATLAB عملیات زیر انجام گرفت:

- ۱- محاسبه پروفیل سرعت متوسط.
- ۲- اصلاح داده‌های پروفیل سرعت با استفاده از روش واندرلیش و برون (۲۰۰۰).
- ۳- مقایسه نتایج با پروفیل سرعت بدون بعد نیکورادزه (۱۹۳۲) و

$$\text{لوفر (۱۹۵۳) در نمودار } \frac{u}{u_{\max}}, \frac{y}{r}$$

روش اصلاح داده‌های پروفیل سرعت متوسط مربوط به عدد رینولدز ۵۸۰۰۰ در شکل (۲) نشان داده شده است. پروفیل سرعت متوسط در مدت زمان ۲۰۰ ثانیه برداشت شده است.

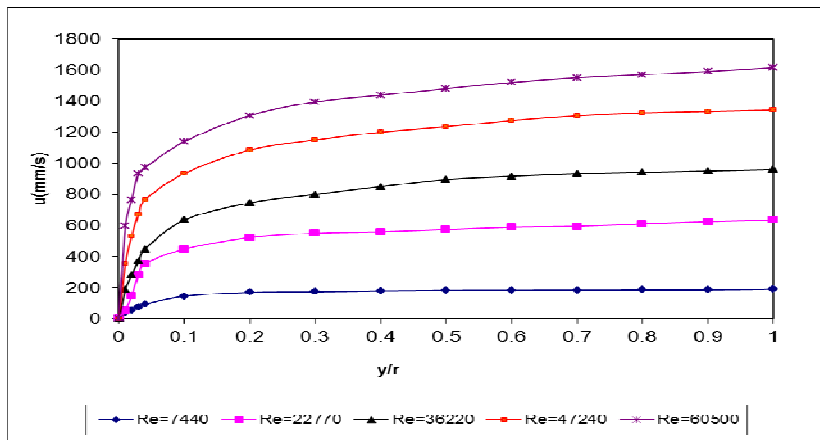
نمودار شکل شماره (۲) به وضوح دلالت بر عدم توانایی دستگاه در اندازه‌گیری سرعت در نزدیکی دیواره مجرای دورتر نسبت به حسگر را دارد. همان‌طور که در شکل (۲) نشان داده شده است، درصد مشاهده علائم دریافتی به دستگاه UDV در فواصل نزدیک به محور لوله ($\frac{y}{r} = 1$) بیشتر از فواصل نزدیک به جدار لوله است که

می‌توان با توجه به شکل از $\frac{y}{r} \leq 0.03$ درصد مشاهده‌های نزدیک

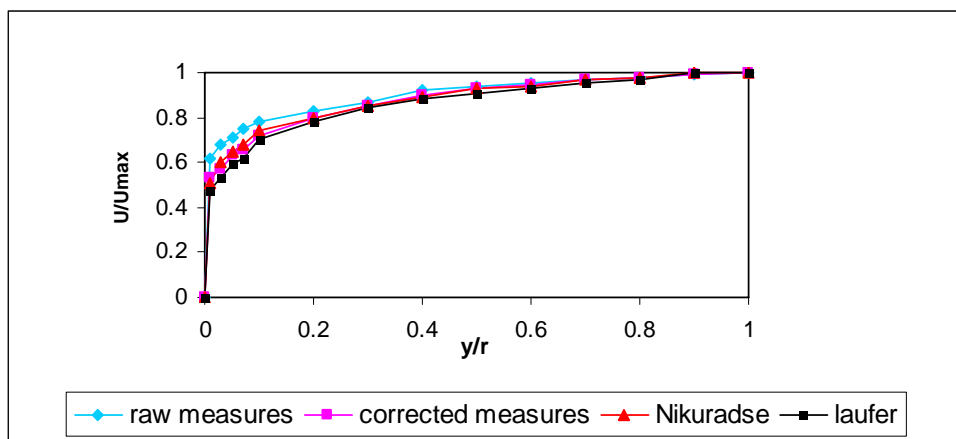
به ۵۵ درصد می‌باشد که با رسیدن به $\frac{y}{r} \leq 0.04$ این درصد به

۷۵-۸۵ درصد می‌رسد. و همچنین با نزدیک شدن به جداره لوله درصد مشاهدات بسیار کمتر می‌شود که از دلایل آن می‌توان به سرعت پایین جریان در نزدیکی جداره مجرا و همچنین عدم وجود ذرات معلق در این قسمت از مجرا نام برد. به همین دلیل تابع اندازه

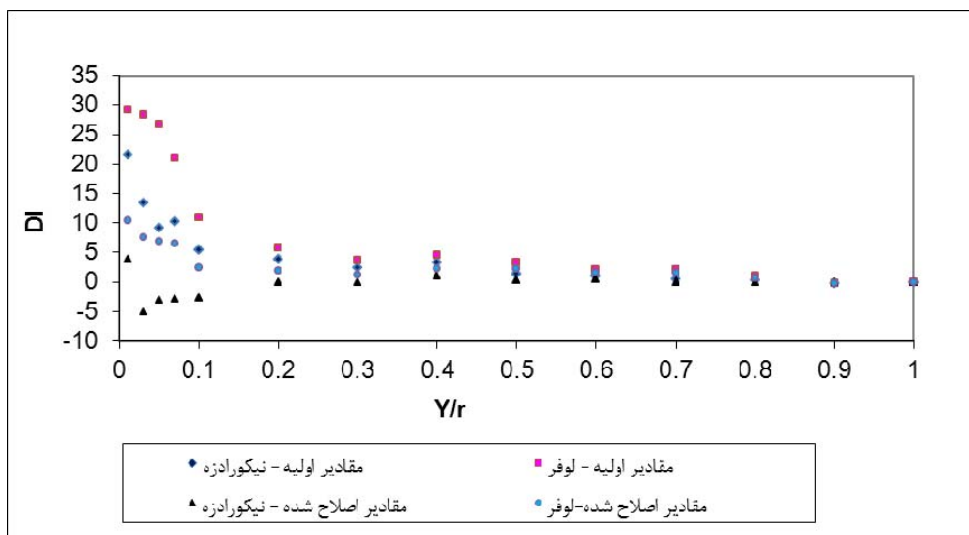
U_m : سرعت محلی اندازه گیری شده، U_1 : عدد مرجع (که به وسیله دیگر محققان به دست آمده)، بدین گونه این امکان جهت ارزیابی کمی روش اصلاح داده ها به وجود می آید. شکل (۵) نشان دهنده میزان انحراف معیار داده ها، با استفاده از روش تصحیح داده های اولیه دستگاه UDV می باشد. و باعث می شود تا انحراف معیار از ۲۵-۳۵ درصد به ۶ درصد کاهش پیدا نماید.



شکل ۳- پروفیل سرعت در حالت ماندگار با اعداد رینولدز متفاوت



شکل ۴- مقایسه نتایج بین داده های خام سرعت و داده های اصلاح شده با داده های مبنا در رینولدز مشابه



شکل ۵- مقایسه میزان خطا در نتایج داده های خام سرعت و داده های اصلاح شده با داده های مبنا

جهت درک بهتر سیر تکاملی پروفیل سرعت در حالت ناپایدار جریان، توجه خود را به نتایج حاصل از بسته شدن آبی شیر قطع و وصل واقع در انتهای خط لوله در مدت زمان $0/3$ ثانیه معطوف می‌نماییم. در شکل های (۶) تا (۱۰)، پروفیل های سرعت لحظه‌ای نشان داده شده و در زیر آن، نمودار مربوط به تغییرات فشار در همان نقطه ارائه شده است و در نهایت مقایسه‌ای بین پروفیل سرعت در حالت ناپایدار واقعی نسبت به پروفیل سرعت که با فرض جریان شبه پایدار^۱ در مدل های یک بعدی رایج در مطالعات جریان میرا از آن استفاده می‌گردد، انجام شده و دلایل عدم ناکارآمدی این مدل به وضوح به تصویر کشیده شده است.

در شکل (۶) که مربوط به $0/8$ ثانیه بعد از بسته شدن شیر می‌باشد، موج فشاری ناشی از بسته شدن شیر، از محل شیر حرکت کرده و هنوز به محل اندازه گیری فشار نرسیده است. لذا تنها تفاوت بین پروفیل سرعت در حالت شبه ماندگار و پروفیل سرعت واقعی ناشی از نوسانات آشفته‌گی‌ها جریان می‌باشد.

شکل (۷) که مربوط به $0/43$ ثانیه است، نشان دهنده کاهش قابل توجه دبی جریان است، که ناشی از رسیدن موج فشاری به مقطع اندازه‌گیری سرعت می‌باشد. همچنین عدم تقارن محوری و جریان برگشتی^۲ از نکات مهم این پروفیل می باشد (در حالی که در پروفیل سرعت شبه ماندگار این موارد مشاهده نمی گردد).

شکل (۸) مربوط به $0/56$ ثانیه (زمان رسیدن موج به مخزن) می‌باشد. در این حالت، در پروفیل جریان شبه ماندگار، سرعت برابر صفر می‌باشد. ولی همان‌طور که مشاهده می‌گردد، در پروفیل واقعی سرعت

با توجه به نمودارها و شکل‌های ارائه شده، از نکات حائز اهمیت روش تصحیح داده‌ها، کاهش انحراف معیار بین نتایج دستگاه UDV و داده‌های مرجع (نیکورادزه و لوفر) در ناحیه $0.03 \leq \frac{y}{r}$ نزدیک به دیوار می‌گردد که از اهمیت بسیار زیادی در تخمین استهلاک انرژی در شرایط جریان ناپایدار دارد.

جریان ناپایدار

اندازه‌گیری‌های اولیه در جریان پایدار، نشان دهنده نتایج منطقی وسیله اندازه گیری پروفیل سرعت در خط لوله حاوی سیال آب می باشد. لذا با توجه به نتایج به دست آمده می‌توان به بررسی جریان ناپایدار ناشی از عملکرد شیر قطع و وصل جریان (همچنین بررسی پروفیل سرعت ناشی از ضربه قوچ) پرداخت. اندازه‌گیری پروفیل سرعت، در همان مقطعی که در آن پروفیل سرعت جریان ماندگار اندازه گیری شده است، انتخاب می‌گردد که تقریباً در وسط خط لوله و با رعایت مسائلی که پیش از این ذکر شده است، تعیین شده است. همچنین اندازه گیری فشار به وسیله ترانسدوسرهای فشاری در شش مکان از خط لوله، همزمان با اندازه گیری پروفیل سرعت جریان غیر ماندگار صورت می‌پذیرد. آزمایش، در عدد رینولدز اولیه 6000 و دبی $4/5$ لیتر بر ثانیه و فشار اولیه $4/87$ متر در محل اندازه‌گیری که متناسب با جریان ماندگار اولیه می‌باشد، انجام شده است. همچنین فرکانس دستگاه داپلر التراسونیک تقریباً 60 مگاهرتز می‌باشد که هدف از انجام این آزمایش تطابق پروفیل های سرعت اندازه گیری شده با نوسانات فشار بوده و بررسی چگونگی، توضیح و تفسیر این نمودارها و تأثیر جریان غیر ماندگار، بر این پروفیل ها می‌باشد.

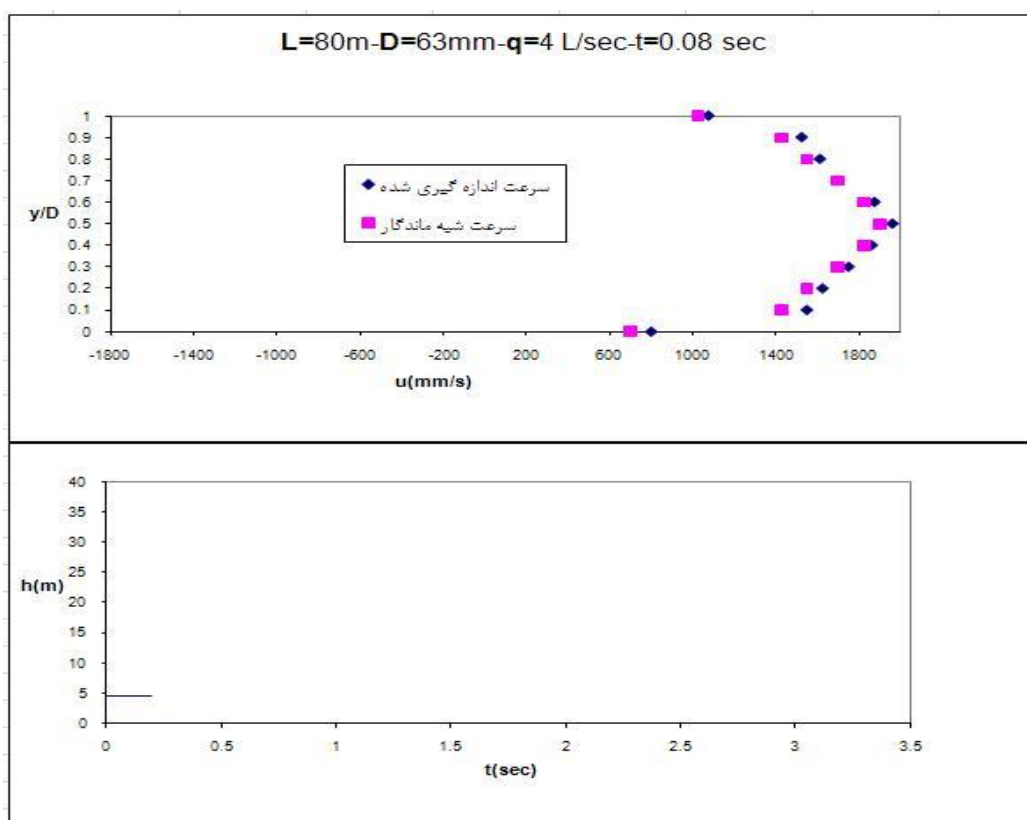
1- Quasi-stead

2- Flow reverse

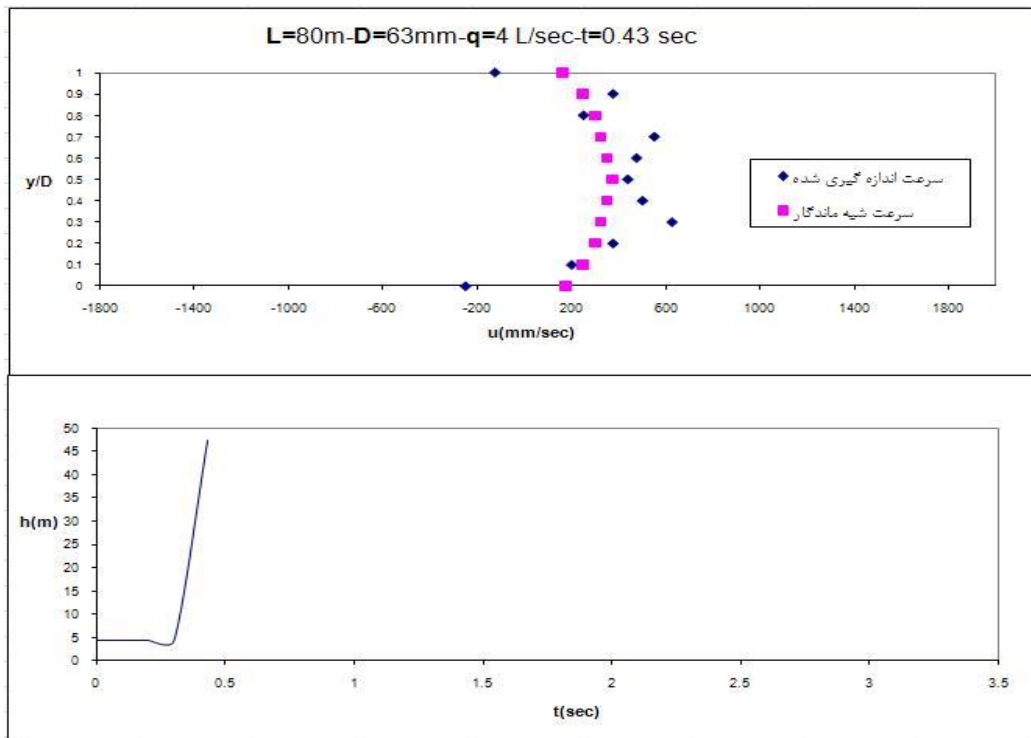
جریان به طور کامل نسبت به سرعت‌های محلی نزدیک جداره مجرا حالت عکس داشته، مانند آنچه در شکل (۸)، رخ داده است. این سیر تکاملی پروفیل سرعت نشان دهنده اختلاف معنی دار بین پروفیل سرعت واقعی در حالت میرا، نسبت به پروفیل فرض شده شبه ماندگار مربوط به مدل‌های رایج یک بعدی ضربه قوچ می‌باشد. این دینامیک حرکت را می‌توان با بررسی موج فشاری و تعیین افزایش فشار یکنواختی که به مقطع جریان، وارد می‌کند، شرح داده شود. البته با گذر زمان پروفیل سرعت واقعی و پروفیل شبه ماندگار به هم نزدیکتر و تطابق بیشتری پیدا می‌کنند. (شکل ۱۱).

اندازه گیری شده، منطقه مرکزی پروفیل و مناطق نزدیک جداره، دارای دو جهت متفاوت می‌باشد. لذا گرادینان سرعت ایجاد شده در نزدیکی جداره، باعث ایجاد تنش‌هایی که به مراتب بزرگتر از حالت شبه ماندگار می‌باشد ایجاد می‌گردد. هر چند که تنش ایجاد شده، در این حالت مربوط به حرکت اجزای پروفیل (بخش مرکزی و ناحیه نزدیک دیوار) به جهت‌های مختلف می‌باشد.

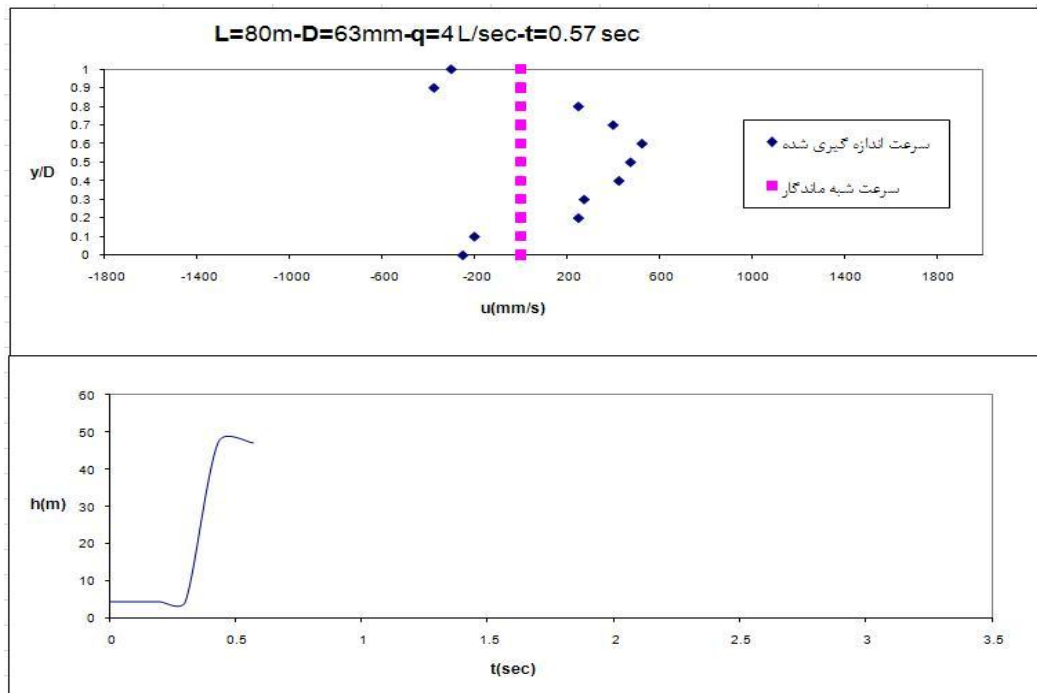
شکل (۹) مربوط به 0.72 ثانیه (زمانی که حرکت جریان برعکس شده است و آب از لوله به سمت مخزن جریان پیدا می‌کند) می‌باشد این شکل، مربوط به زمانی می‌باشد که موج فشاری ناشی از بسته شده شیر، به مخزن رسیده و توسط مخزن منعکس شده است. با توجه به پروفیل سرعت واقعی، اندازه‌گیری شده، مشاهده می‌گردد که جهت



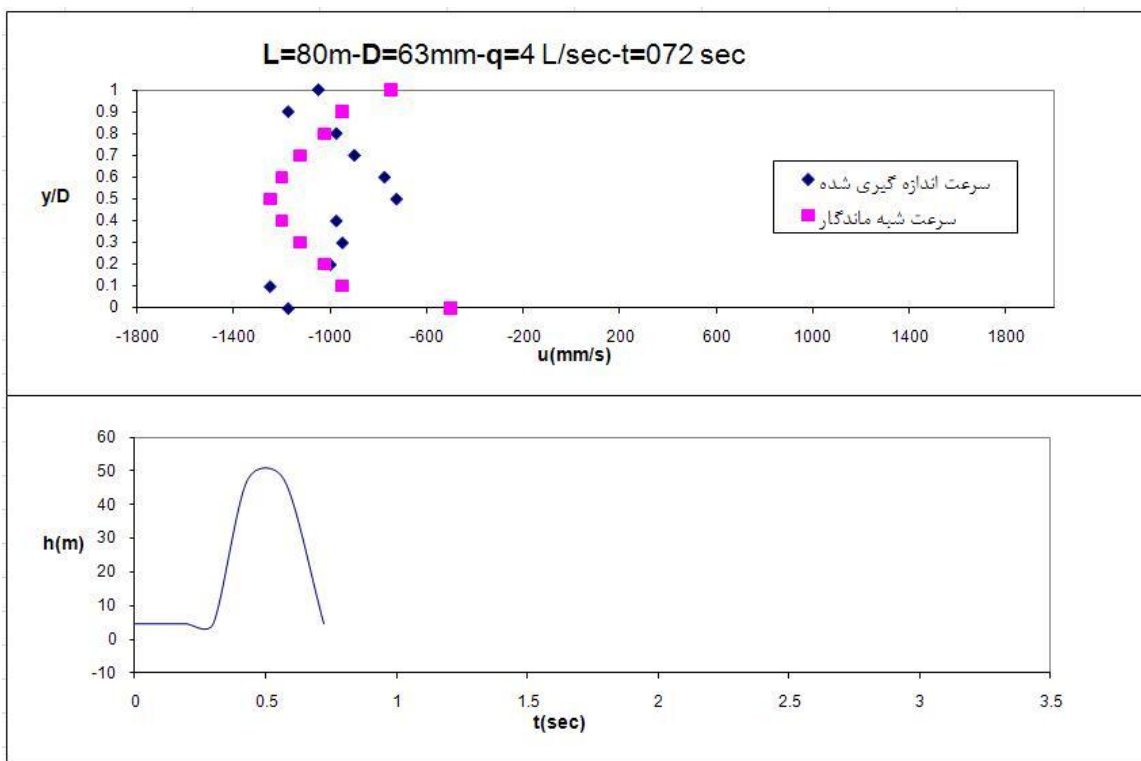
شکل ۶- بالا- پروفیل سرعت اندازه گیری شده و پروفیل سرعت متناظر آن در حالت شبه ماندگار. پایین- ارتفاع فشار اندازه گیری شده



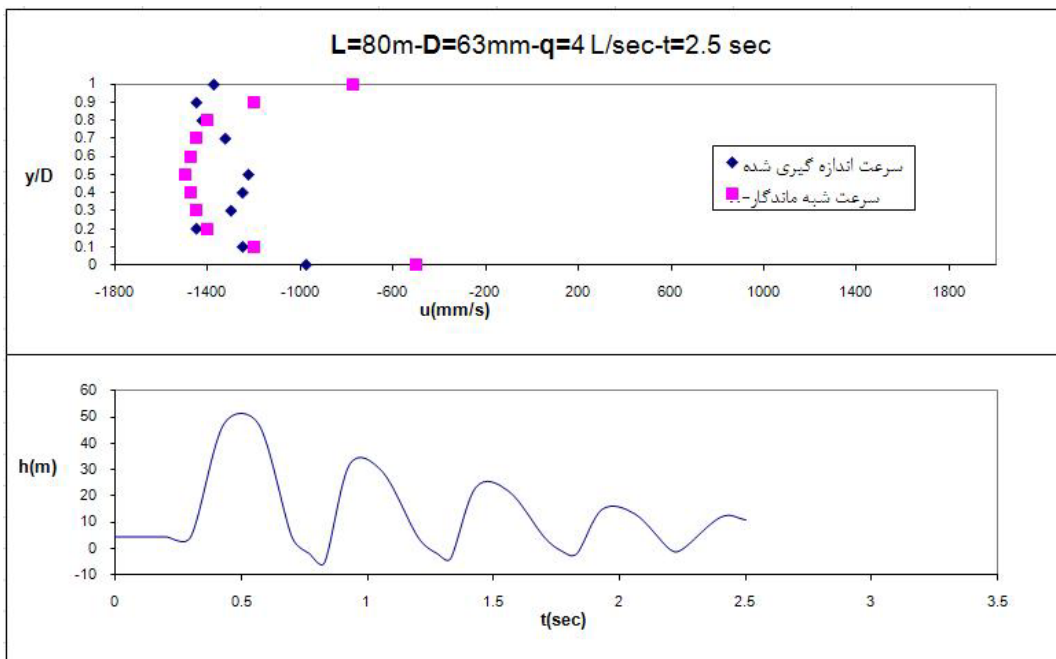
شکل ۷- بالا-پروفیل سرعت اندازه گیری شده و پروفیل سرعت متناظر آن در حالت شبه ماندگار. پایین- ارتفاع فشار اندازه گیری شده



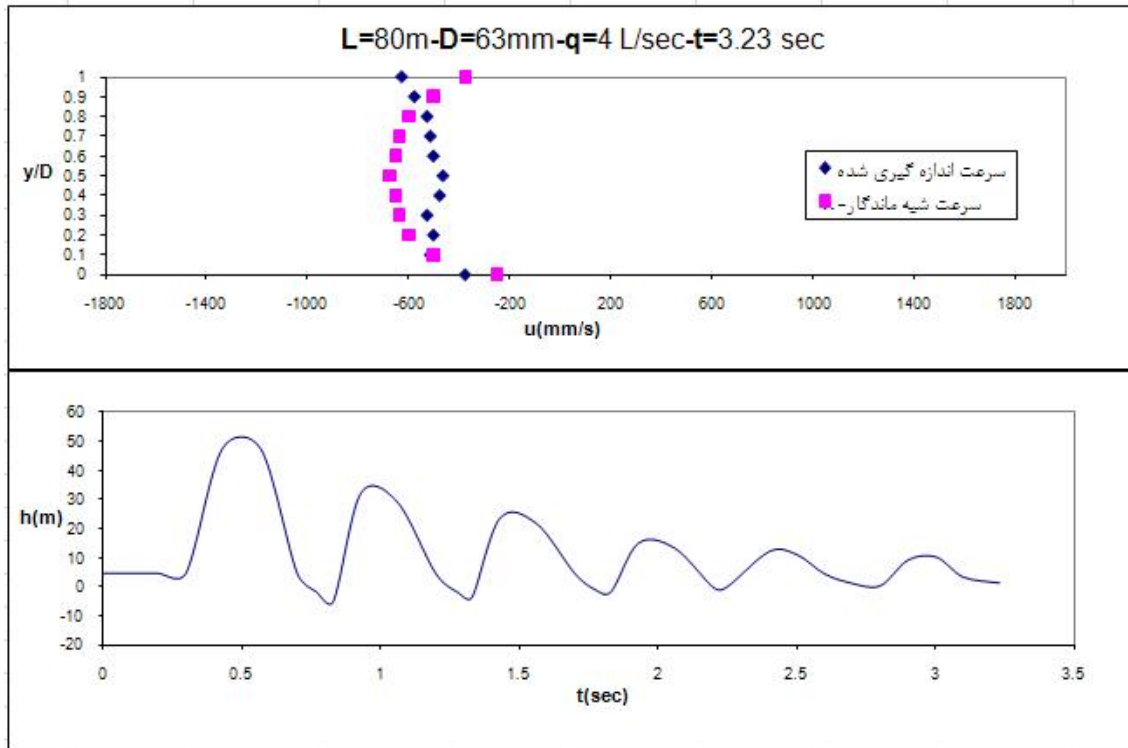
شکل ۸- بالا-پروفیل سرعت اندازه گیری شده و پروفیل سرعت متناظر آن در حالت شبه ماندگار. پایین- ارتفاع فشار اندازه گیری شده



شکل ۹- بالا-پروفیل سرعت اندازه گیری شده و پروفیل سرعت متناظر آن در حالت شبه ماندگار. پایین- ارتفاع فشار اندازه گیری شده



شکل ۱۰- بالا-پروفیل سرعت اندازه گیری شده و پروفیل سرعت متناظر آن در حالت شبه ماندگار و پایین- ارتفاع فشاری اندازه گیری شده



شکل ۱۱- بالا- پروفیل سرعت اندازه گیری شده و پروفیل سرعت متناظر آن در حالت شبه ماندگار و پایین- ارتفاع فشار فشاری اندازه گیری شده

آمده است (یعنی فرض بر این است که جریان هنگام رخ دادن جریان میرا، به صورت پایدار باقی می ماند). اما با توجه به نمودارهای ارائه شده در این تحقیق، مشخص گردید که در مدت زمان کوتاهی بعد از عبور موج، جریان معکوسی به طول کم و به طور همزمان در بالا و کف لوله ظاهر می گردد که باعث ناپایداری، تشکیل گردابه و باعث عدم تقارن جریان نسبت به محور لوله می گردد که خود منجر به ایجاد تنش برشی بزرگی می گردد، در حالی که مدل‌های شبه ماندگار در این حالت، تنش برشی را صفر نشان می دهند. لازم به ذکر است براوننی و همکاران (۲۰۰۰) نشان دادند که تفاوت بین مدل‌های ضربه قوچ موجود و داده‌های آزمایشگاهی در شرایط وجود گردابه در جریان (جریان ناپایدار) بعد از گذشت شش سیکل موج تا ۱۰۰ درصد می رسد. این تفاوت معنی دار بین مدل‌ها و داده‌های آزمایشگاهی نشان دهنده اثر زیاد ناپایداری بر جریان میرا، لذا از تأثیر آن نمی توان چشم پوشی نمود.

نتیجه گیری

امروزه سیستم های هیدرولیکی پیچیده، از شبکه های توزیع آب تا خطوط انتقال نفت در صنایع مختلف (که به وسیله پمپ، شیر آلات و سنسورهای الکترونیکی کنترل می گردد)، نیاز به دانش دقیق از چگونگی رفتار جریان های میرا می باشد. با توجه به اهمیت این موضوع، هنوز مواردی مانند نحوه استهلاک انرژی، ناپایداری جریان و... به دلیل کمبود داده های آزمایشگاهی، به طور کامل برای محققین هیدرولیک روشن و قابل فهم نبوده است.

مدل های دیفرانسیلی یک بعدی و دو بعدی حاکم بر جریان های میرا، که هم اکنون در مدل های تجاری رایج می باشد، بر مبنای، چندین فرضیه نامطمئن وضعیف بنا نهاده شده است، که محدود کننده کاربرد این معادلات در همه ی شرایط کاری، که جریان میرا در آنها به وقوع می پیوندد، شده است.

مدل های جریان میرای موجود بر پایه این فرض که هیچ گونه گردابه حلزونی هنگام وقوع ضربه قوچ در جریان پدیدار نمی شود، به دست

منابع

- 1- Abell, C. J. 1974. Scaling laws for pipe flow turbulence, Ph. D. Dissertation, University of Melbourne.

- 2- Brunone, B. and Golia, U. M., 1991, Some Considerations on velocity profiles in unsteady pipe flows, International. Conference on Entropy and Energy Dissipation in Water Resources, Maratea, Italy, pp. 481-487.
- 3- Brunone, B., Karney, B. W., Mecarelli, M., and Ferrante, M. 2001. Velocity profiles and unsteady pipe friction in transient flow. Journal of Water Resources Planning and Management, ASCE, 126(4):236-244
- 4- Den Toonder, J. M. J., and Nieuwastadt, F. T. M. 1997. Reynolds effects in a turbulent pipe flow for low to moderate Re. Physics of Fluids, 9(11): 3398-3409.
- 5- Ghidaoui, M.S., Zhao, M., McInnis, D.A. and D.H. 2005. A review of water hammer theory and practice. Applied Mechanics Reviews, 58: 49-76.
- 6- Lefebvre, P. J. and White, F. M. 1989. Experiments on transition to turbulence in a constant-acceleration pipe flow. Journal of Fluids Engineering, ASME, 111: 428-432.
- 7- Nikuradse, J. 1932. Gesetzmässigkeiten der turbulenten Stromung in glatten Rohren. VDI-Forschungsh-eft, 356.
- 8- Vardy, A. E. and J.M.B. 2004. Transient Turbulent friction in fully-rough pipe flows. Journal of Sound and Vibration, 270: 233-257.
- 9- Vardy, A. E. and J.M.B. 2007. Approximation of turbulent wall shear stresses in highly transient pipe flows. Journal of Hydraulic Engineering, 133(11): 1219-1228.
- 10- Van De Sande, E., Belde, A. P., Hamer, B. J. G W and Hiemstra. 1980. Velocity profiles in accelerating pipe flows started from rest. Proceedings of the 3rd International Conference, Press Surges, 1: 1-14.
- 11- Wylie, E. B., and V. L. Streeter. 1993. Fluid transients in systems. Prentice-Hall Inc.
- 12- Wunderlich, T. and P. O. Brunn, 2000. A wall layer correction for ultrasound measurement in tube flow: comparison between theory and experiment. Flow Measurement and Instrumentation, 11(2): 63-69.
- 13- Zagarola, M. V. 1998. Mean-flow scaling of turbulent pipe flow. Journal of Fluid Mechanics, 373: 33-79.