



اندازه‌گیری کسر مایع جریان گاز تر خروجی از چاه با استفاده از تلفیق تکنیک گاما و مکانیک سیالات محاسباتی

مهدی ایزدی^۱، عطاءالله ربیعی^۱، محسن شریفزاده^{*۲}، کمال حداد^۱، رضا فقیهی^۱

۱. گروه مهندسی هسته‌ای، دانشکده مکانیک، دانشگاه شیراز، ۷۱۹۴۶-۸۴۳۳۴، شیراز- ایران

۲. پژوهشکده کاربرد پرتوها، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، ۱۴۳۹۹-۵۱۱۱۳، تهران- ایران

چکیده:

اندازه‌گیری جریان دو فاز گاز-مایع عبوری از خطوط لوله قطور تولید همچنان به‌عنوان چالش بزرگی در بخش بالادستی صنایع نفت و گاز باقی است. در این بین، تشخیص کسر مایع در جریان گاز تر در میدین گازی خلیج فارس یکی از پارامترهای کلیدی در کمک به کسب اطلاعات با اهمیت در ارتباط با مانیتورینگ چاه‌های تولید، مبادلات مالی و تخمین زمان تعمیرات اساسی خواهد بود. از طرفی به‌سبب ملاحظات ایمنی بکارگیری سنجه‌های برخط مبتنی بر پرتوهای گاما و روش‌های غیر مخرب کاملاً در اولویت قرار دارد. متأسفانه به‌سبب وابستگی مکانیزم اندازه‌گیری آنها به رژیم جریان عبوری با خطاهایی بزرگ بویژه با تغییرات دائمی رژیم عبوری از لوله‌های قطور همراه است. در این کار تحقیقاتی با طراحی یک پیش‌شرط‌ساز ایجاد یک رژیم جریان مشخص و ثابت تضمین و سپس کسر مایع موجود در گاز تر خروجی از لوله ۳۲ اینچی اندازه‌گیری شد. نتایج گویای این است که با استفاده از تلفیق دینامیک سیالات محاسباتی و تکنیک گامای عبوری قادریم مقادیر درصدی ۱٪، ۳٪، ۵٪ و ۱۰٪ مایع را پس از عبور سیال دوفازی از پیش‌شرط‌ساز و تبعیت رژیم جریان حلقوی به نحو مطلوبی تفکیک کنیم.

کلیدواژه‌ها: گاز تر، اندازه‌گیری گاز تر، اندازه‌گیری کسر مایع، تکنیک گاما، مکانیک سیالات محاسباتی

Wellhead wet gas liquid fraction measurement using combined gamma-ray technique and computational fluid dynamics

Mahdi Izadi¹, Ataollah Rabiee¹, Mohsen Sharifzadeh^{*2}, Kamal Hadad¹, Reza Faghihi¹

1. Nuclear Engineering Group, Mechanical Engineering Faculty, Shiraz University, 71946-84334, Shiraz, Iran.

2. Imaging and Instrumentation Research Group, Radiation Application Research School, Nuclear Science and Technology Research Institute, 14399-51113, Tehran, Iran.

Abstract:

Wellhead wet gas liquid fraction measurement passing through large-diameter pipelines remains as a big challenge in the upstream oil/gas industry. Meanwhile, demonstrating the liquid fraction in the wet gas flown in Persian Gulf gas fields will be one of the key parameters in helping to obtain important information related to the monitoring of production wells, financial exchanges and estimation of overhaul time. On the other hand, due to safety considerations, applying online instrumentations based on gamma ionizing radiation and non-destructive methods is a top priority. Unfortunately they are associated with large errors due to flow regime dependent mechanism of action, especially by secular changes in flow regime through large-diameter pipes. In this research work, by designing a preconditioner, a specific and constant flow regime was guaranteed and then the liquid fraction in the wet gas output from the 32-inch pipe was measured. The results show that by using a combination of computational fluid dynamics and gamma-ray technique, we are able to properly separate the liquid fractions of 1%, 3%, and 5% after passing the two-phase flow through the preconditioner and following the annular flow regime.

Keywords: Wet gas, Wet gas metering, Liquid fraction measurement, Gamma-ray technique, Computational fluid dynamics

۱. مقدمه

از جمله کاربردهای مهم پرتوهای گاما می توان به امکان بکارگیری آنها در سیستم های اندازه گیری واقع در صنایع مختلف به سبب ویژگی منحصر به فردی که در توانایی نفوذ به دیواره ضخیم لوله ها و مخازن دارند و نیز ماهیت برهمکنشی غیر تداخلی و غیرمخرب آنها اشاره کرد.

اندازه گیری دبی جریان خروجی از چاه های نفت و گاز یکی از چالش های عمده این صنایع به خصوص در شرایطی است که به سبب عبور جریان های پیچیده چندفازی دائما در حال گذار بین رژیم های مختلف عمده سیستم های اندازه گیری با خطاهایی بزرگ همراه اند. در این بین، اندازه گیری کسر مایع در جریان دو فازی گاز تر در حال عبور از خطوط لوله قطور تولیدی سکوی های گازی در جنوب کشور همچنان معضلی جدی است.

وابستگی شدید عمده مکانیزم های اندازه گیری از جمله روش گاما به رژیم جریان درون لوله و تلاش برای کاهش این وابستگی و بالتبع کاستن از میزان خطا در اندازه گیری پارامترهای مهم سیال عبوری نظیر چگالی، ویسکوزیته، کسر فازی مولفه های جریان چندفازی در حال عبور، و غیره به عنوان چالشی بزرگ در تحقیقات گسترده ای توسط دیگران مورد بررسی قرار گرفته است [1-13].

۲. روش کار

روش انجام کار در تحقیق پیش در دو فاز طراحی و شبیه سازی دینامیک سیالاتی با استفاده از نرم افزار Ansys جهت بررسی امکان طراحی یک پیش شرط ساز به منظور تبدیل رژیم جریان غباری تولیدی از چاه به رژیم جریان حلقوی و در ادامه تست و داده گیری تجربی بر روی فانتوم های معادل مایع درون جریان گاز تر مورد نظر بر روی بستر آماده سازی شده در آزمایشگاه انجام گرفت.

۱.۲ طراحی پیش شرط ساز

در این بخش عملیات طراحی سه بعدی لوله ای به طول ۱ متر که در مرکز آن، یک استوانه به قطر ۱۶ اینچ قرار گرفته است و استوانه مرکزی توسط سه پره اسپیرال شکل به بدنه لوله خارجی متصل شده است با استفاده از نرم افزار انجام گرفت. این پره ها به موازات یکدیگر یک دور کامل را در اطراف لوله مرکزی چرخیده اند. بخش ابتدایی لوله مرکزی به صورت مخروطی درآمده است که ترکیب آن با بدنه خارجی لوله تشکیل یک نازل می دهد. این نازل به منظور کاهش فشار خط لوله و افزایش سرعت سیال در جریان درون لوله طراحی شده است. علاوه بر تغییر فشار و سرعت سیال وجود مخروط باعث کنترل حفره زائی ناشی از برخورد سیال به لوله مرکزی می گردد.

در ادامه و به منظور مشاهده رفتار سیال در طول لوله و سازه پیش شرط ساز طراحی شده، محاسبات دینامیک سیالات بر روی مدل سه بعدی طراحی شده فوق صورت پذیرفت. کلیه پارامترهای ورودی های نرم افزار عینا از روی داده های واقعی گزارش شده از میدان عملیاتی برداشت شد. ناحیه مناسب برای نصب سنجه در ادامه پیش شرط ساز قرار می گیرد و از پایین ترین نقطه پره ها شروع شده و به طول یک متر ادامه می یابد. لوله مرکزی پس از اتمام پره ها در کل طول ناحیه اندازه گیری ادامه یافته است.

۲.۲ ساخت فانتوم و بستر داده گیری تجربی

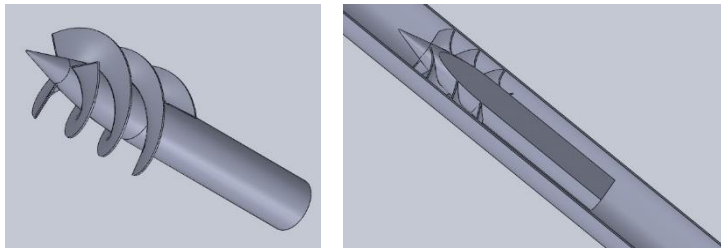
در بستر آزمایشگاهی ساخته شده جهت انجام داده گیری تجربی از برشی از خط لوله ۳۲ اینچی ارسالی از میدان گازی که بر روی نگهدارنده ای سوار گردید استفاده شد. به منظور شبیه سازی تست های آزمایشگاهی با ایده مورد نظرمان که در عمل سیستم اندازه گیری حول لوله قابلیت چرخش و اسکن دارد از یک موتور الکتریکی با قابلیت کنترل دور دقیق جهت چرخش لوله در فضای بینابینی چشمه-آشکار ساز استفاده شد. پس از تکمیل مراحل ساخت نمونه آزمایشگاهی، فانتوم های ساخته شده در درصد های حجمی ۰.۱، ۰.۳ و ۰.۵ درون لوله قرار داده شده و برای هر یک از آنها اندازه گیری ها بصورت جداگانه در سرعت زاویه ای ثابت انجام شد. اندازه گیری های انجام شده

برای حالتی که چشمه و آشکارساز در دو سمت لوله و مقابل هم قرار داده شده باشند انجام گرفت. در آزمایشات انجام شده از چشمه گاما از سزیم-۱۳۷ با اکتیویته ۴۰ میلی کوری به همراه یک آشکارساز سوسوزن یدور سدیم به همراه دستگاه شمارنده تک کاناله استفاده گردید.

۳. شکل‌ها، نمودارها و معادلات

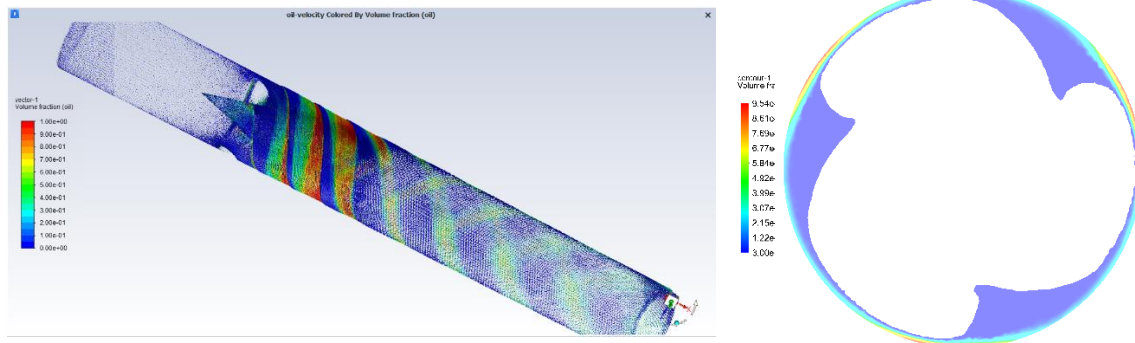
۱.۳ شکل‌ها

طراحی سه بعدی پیش‌شرط‌ساز نهایی در محیط نرم‌افزار براساس کلیه ابعاد و شاخص‌های مورد اشاره در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱. نمونه طراحی سه‌بعدی پیش‌شرط‌ساز در نرم‌افزار Ansys.

در ادامه نتایج حاصل از محاسبات دینامیک سیالاتی در شکل ۲ قابل مشاهده است.



شکل ۲. نتایج دینامیک سیالات محاسباتی بازای ۳٪ حجمی مایع در دوفازی گاز تر در نرم‌افزار Ansys.

در شکل ۳ نمایی از فانتوم معادل درصدی ۳٪ مایع و کاملاً مطابق با داده‌های شبیه‌سازی که در ادامه درون لوله و پیش روی باریکه عبوری گاما قرار داده می‌شود نشان داده شده است.



شکل ۳. فانتوم معادل درصدی ۳٪ جهت انجام فرایند داده‌گیری تجربی.

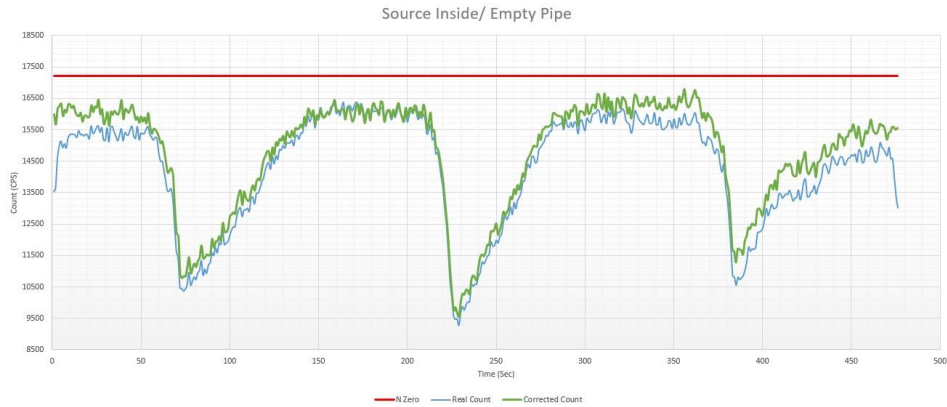
در انتها نیز نمایی از ستاپ آزمایشگاهی ساخته شده جهت انجام فرایند داده‌گیری تجربی در شکل ۴ نشان داده شده است. در نهایت نیز فرایند شمارش شدت گامای عبوری برای زوایای مختلف با استفاده از مکانیزم چرخش لوله در فضای بینابین چشمه-آشکارساز بر روی فانتومهای معادل با درصدهای حجمی ۰.۱٪، ۰.۳٪ و ۰.۵٪ در رژیم جریان حلقوی و مطابق با نتایج مربوط به شبیه‌سازی دینامیک سیالاتی صورت پذیرفت.



شکل ۴. ستاپ آزمایشگاهی جهت انجام فرایند داده‌گیری تجربی.

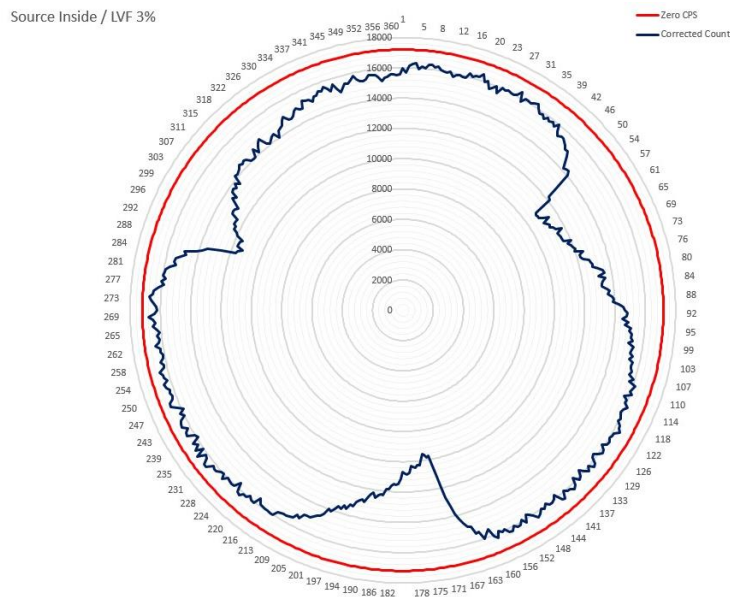
۲.۳ نمودارها

نمودار تغییرات شمارش برای حالت گاز تر ۰.۳٪ در حالتی که چشمه در مرکز لوله و آشکارساز بیرون و مقابل آن قرار گرفته باشد و لوله در حال چرخش، مقادیر مختلف ضخامت فانتوم را در برابر پرتو عبوری قرار می‌دهد در شکل ۵ نشان داده شده است. بازه تغییر شمارش‌های بدست آمده از آشکارساز از ۹۲۷۷ تا ۱۶۳۸۰ در نوسان بوده و میانگین نتایج بدست آمده از دو دور چرخش لوله بر روی نمودار قابل مشاهده است. نمودار سبزرنگ تصحیح شمارش پس از حذف ناهمگنی‌های رسوبات سخت همراه چسبیده به دیواره داخلی لوله و ناشی از سندبلاست غیرایده‌آل آن را نشان می‌دهد.



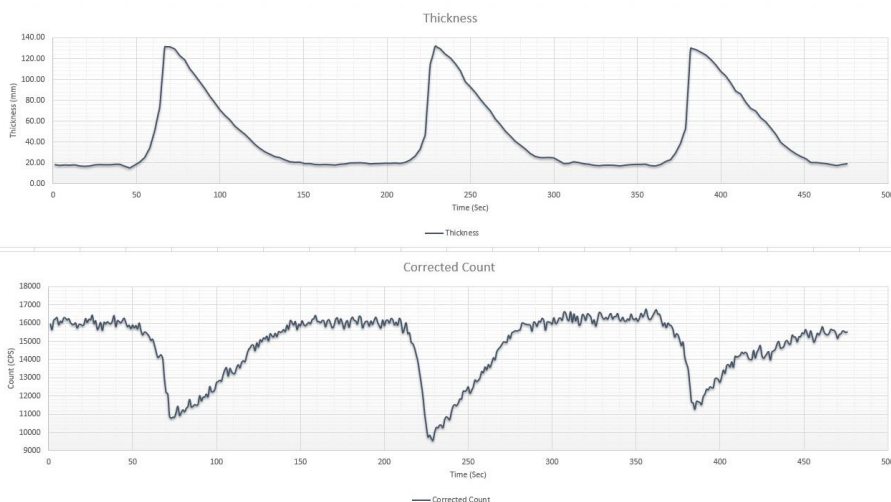
شکل ۵. نمودار تغییرات شمارش بازی دو دور چرخش لوله و قرارگیری فانتوم معادل ۳٪ حجمی مایع درون لوله.

تعداد حداقل و حداکثر شمارش هاپس از اعمال تصحیح تضعیف ناشی از رسوبات در این درصد حجمی بین ۹۵۵۵ تا ۱۶۷۸۴ شمارش متغیر خواهد بود و میانگین عددی شمارش ها ۱۴۷۷۲ شمارش می باشد. در ادامه به منظور نمایش بهتر و البته ملموس تر شمارش ها بر روی یک نمودار دایره ای در شکل ۶ نشان داده شده است.



شکل ۶. نمودار تغییرات شمارش بازی یک دور چرخش لوله و قرارگیری فانتوم معادل ۳٪ حجمی مایع درون لوله.

با مقایسه نمودارهای شمارشی فوق با نمودار تغییرات ضخامت فانتوم در یک چرخش کامل دید مناسبی از همبستگی بین این دو در شکل ۷ قابل مشاهده است.



شکل ۷. همبستگی تغییرات شمارش با ضخامت فانتوم ۳٪ حجمی درون لوله در یک چرخش کامل.

۳.۳ معادلات

اگرچه شمارش عبوری از مجموعه فانتوم و لوله از قانون تضعیف نمایی بیر-لمبرت تبعیت می‌کند اما به سبب استفاده از نمودارهای کالیبراسیون و در ادامه مقایسه پروفایلهای شمارشی بازای درصدهای حجمی مختلف، عملاً نیازی به بکارگیری معادلات ریاضی مربوطه در این کار وجود ندارد.

۴. نتیجه‌گیری

آنچه از فرایند تست و داده‌گیری تجربی در این کار تحقیقاتی عاید شد ارتقاء دقت اندازه‌گیری درصدهای حجمی پایین مایع عبوری از لوله جریان بازای گاز تر خروجی از چاه است که در این فرایند بجای تکیه بر داده‌های حاصل از اندازه‌گیری در موقعیت‌هایی خاص، تمرکز کار بر روی مقایسه پروفایل تغییرات شمارش بازای درصدهای مختلف حجمی مایع در یک دور کامل قرار گرفت.

مراجع

- [1] K. Cooper, G. Hewitt, and B. Pinchin, *Photography of two-phase gas/liquid flow*. The journal of photographic Science, **12**(5): p. 269-278 (1964).
- [2] G. F. Hewitt, and D. Roberts, *Studies of two-phase flow patterns by simultaneous x-ray and fast photography*. Atomic Energy Research Establishment, Harwell, England (United Kingdom) (1969).
- [3] R. Oliemans, B. Pots, and N. Trompe, *Modelling of annular dispersed two-phase flow in vertical pipes*. International journal of multiphase flow, **12**(5): p. 711-732(1986).
- [4] K. Isao, and I. Mamoru, *Drift flux model for large diameter pipe and new correlation for pool void fraction*. International Journal of Heat and Mass Transfer, **30**(9): p. 1927-1939(1987).
- [5] C. Mak, N. Omebere-Iyari, and B. Azzopardi, *The split of vertical two-phase flow at a small diameter T-junction*. Chemical engineering science, **61**(19): p. 6261-6272(2006).
- [6] R. Kaji, and B. Azzopardi, *The effect of pipe diameter on the structure of gas/liquid flow in vertical pipes*. International Journal of Multiphase Flow, **36**(4): p. 303-313(2010).
- [7] L. Lao, L. Xing, and H. Yeung. *Behaviours of elongated bubbles in a large diameter riser*. in *8th North American Conference on Multiphase Technology*. BHR Group(2012).



- [8] J. P. Schlegel, et al., *Experimental study of two-phase flow structure in large diameter pipes*. Experimental Thermal and Fluid Science, **41**: p. 12-22(2012).
- [9] G.F. Hewitt, R.D. King, and P. Lovegrove, *Techniques for liquid film and pressure drop studies in annular two-phase flow*. United Kingdom Atomic Energy Authority. Research Group. Atomic Energy(1962).
- [10] V. Schrock, *Radiation attenuation techniques in two-phase flow measurements*. in *ASME Symposium Volume, Two-Phase Flow Instrumentation*. (1969).
- [11] G.F. Hewitt, and B. Nicholls, *Film thickness measurement in annular tow-phase flow using a fluorescence spectrometer technique. Part II. Studies of the shap of disturbance waves*. Atomic Energy Research Establishment, Harwell (England). p. Medium: X; Size: Pages: 13(1969).
- [12] G. Hewitt, and P. Lovegrove, *Experimental methods in two-phase flow studies*. NASA STI/Recon Technical Report N, **76**(1976).
- [13] C. B. Tibiriçá, F.J. do Nascimento, and G. Ribatski, *Film thickness measurement techniques applied to micro-scale two-phase flow systems*. Experimental Thermal and Fluid Science, **34**(4): p. 463-473(2010).