

تأثیر لزجت بالای روغن بر الگوی جریان دوفازی در لوله افقی

دانشجوی دکتری، گروه مهندسی شیمی، واحد ماهشهر، دانشگاه آزاد اسلامی، خوزستان، ایران،
 yasha.hassanzadeh@mhriau.ac.ir
 استاد، گروه مهندسی شیمی، واحد ماهشهر، دانشگاه آزاد اسلامی، خوزستان، ایران،
 alavifazel@mhriau.ac.ir
 استاد، گروه مهندسی شیمی، واحد ماهشهر، دانشگاه آزاد اسلامی، خوزستان، ایران،
 azizi.zoha@gmail.com
 استاد، گروه مهندسی شیمی، واحد ماهشهر، دانشگاه آزاد اسلامی، خوزستان، ایران،
 peyghambarzadeh@gmail.com
 استاد، گروه مهندسی شیمی، واحد ماهشهر، دانشگاه آزاد اسلامی، خوزستان، ایران،
 alireza_azimi550@yahoo.com

یاشا حسن‌زاده

سید علی علوی فاضل*

ضحی عزیز

سید محسن پیغمبرزاده

علیرضا عظیمی

چکیده

الگوهای جریان مایعات غیرقابل امتزاج همچنان مورد توجه تحقیقات علمی بی شماری می باشد. این به این دلیل است که مایعات با خاصیت‌های مختلف رفتارهای متفاوتی تحت شرایط عملیاتی متفاوت نشان می‌دهند. در این مطالعه، آزمایش‌ها در لوله افقی آکرلیک به طول ۶m، قطر ۲۰ mm و با استفاده از روغن (لزجت ۶۷ cp و چگالی ۰/۸۷۲ g/cm³) و آب (لزجت ۱ cp و چگالی ۰/۸۹۸ g/cm³) انجام شد. سرعت‌های سطحی آب و روغن به ترتیب در محدوده ۰/۱۸-۱/۲ m/s و ۰/۱۸-۰/۹۵ m/s قرار دارند. در جریان دوفازی الگوی جریان ورقه ای، الگوی جریان حبابی، الگوی جریان مداوم، الگوی جریان حلقوی، الگوی جریان پراکنده آب در روغن، الگوی جریان پراکنده روغن در آب در شناسایی شد. در این پژوهش از روغن با لزجت بسیار بالا استفاده شده که شناسایی و معرفی الگوهای جریان همچنین تاثیر لزجت بر آن از نکات قابل توجه می باشد. مقایسه الگوهای جریان در این تحقیق (روغن با لزجت بسیار بالا) با کارهای گذشته (روغن با لزجت های پایین تر) نیز از نتایج حائز اهمیت این پژوهش به حساب می آید.

واژه‌های کلیدی: الگوی جریان، لزجت بالای روغن، لوله افقی، داده تجربی، جریان دو فازی، آب و روغن.

Effect of high viscosity oil on flow pattern in horizontal two phase flow

Y. Hasanzade

S. A. Alavifazel

Z. Azizi

S. M. Peyghambarzadeh

A. Azimi

Department of Chemical Engineering, Mahshahr Branch, Islamic Azad University, Mahshahr, Iran

Department of Chemical Engineering, Mahshahr Branch, Islamic Azad University, Mahshahr, Iran

Department of Chemical Engineering, Mahshahr Branch, Islamic Azad University, Mahshahr, Iran

Department of Chemical Engineering, Mahshahr Branch, Islamic Azad University, Mahshahr, Iran

Department of Chemical Engineering, Mahshahr Branch, Islamic Azad University, Mahshahr, Iran

Abstract

Many studies have considered the flow patterns of unmixable liquids as a significant subject of a research study. It can be due to the distinct manner of liquids with different characteristic in pipe's setting under various operating conditions. We conducted an experiment with oil (67 cp viscosity and 0.872 g/cm³ density) and water (1 cp viscosity and 0.898 g/cm³ density) in horizontal acrylic pipe with the height of 6m and diameter of 20 mm. The Superficial velocities of water and oil were in the range of 0.18-1.2 m/s and 0.95-0.18 m/s, respectively. As a result, flow patterns were identified for two phasic flow, including Stratified, Bubbly, Dual continuous, Annular, Dispersed water in oil, and Dispersed oil in water. The identification and introduction of flow patterns and the effect of viscosity on it are the considerable aspect of this study by using high viscosity oil. The comparison of flow pattern in this study (high viscosity oil) with past ones (lower viscosity oil) is also an important result.

Keywords: Flow pattern map ; high viscous oil ; Horizontal pipe, Experimental data; Two phase flow; Oil and water.

جریان‌های عمودی صورت گرفته است. در این راستا، الگوی جریان^۱ به‌عنوان ویژگی‌های اصلی جریان‌های چند فازی در شرایط مختلف در لوله افقی مورد مطالعه قرار گرفته است. در طول مسیر جریان‌های حلقوی در یک لوله، تغییر شکل دو سیال می‌تواند انواع مختلفی از توزیع‌های مشخص را داشته باشد که به آن‌ها رژیم‌های جریان یا الگوی جریان می‌گویند. شناسایی الگوهای جریان مایع-مایع در لوله‌ها برای بررسی چنین جریاناتی بسیار مهم هستند. این الگوهای جریان می‌تواند بر پارامترهایی مانند شیب فشار^۲ در لوله تأثیر

۱- مقدمه

جریان های دو فازی به طور همزمان در خطوط لوله تحت شرایط خاصی حرکت می کنند و در وضعیت ناپایداری قرار دارند. تجزیه و تحلیل چنین جریان هایی برای تعیین پارامترهای مهم جریان مانند افت فشار، الگوهای جریان و... حائز اهمیت است. تعیین اندازه و حجم جداکننده ها در انتهای خطوط لوله و تعیین شرایط عملیاتی ایمن در طراحی خطوط لوله بسیار مهم است. تحقیقات اندکی در مورد جریان‌های افقی در مقایسه با

1 Flow Pattern
 2 Pressure gradient

* نویسنده مکاتبه کننده، آدرس پست الکترونیکی: alavifazel@gmail.com

تاریخ دریافت: ۰۰/۱۱/۲۰

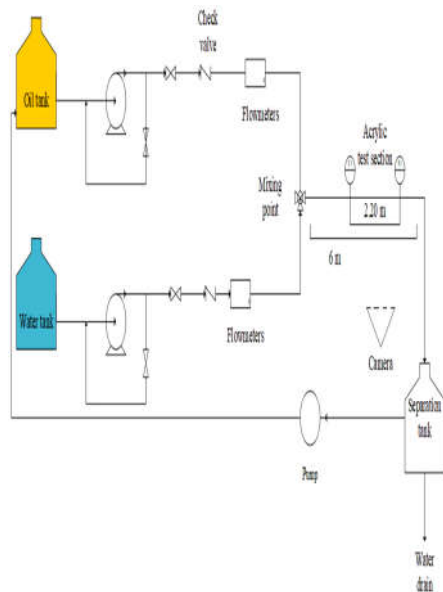
تاریخ پذیرش: ۰۱/۰۲/۱۲

بگذارند، بنابراین شناسایی الگوهای جریان در جریان دو فاز برای آگاهی از افت فشار و بهینه‌سازی خط لوله بسیار مهم است. در صنایع نفت و گاز شناسایی الگوهای جریان در بعضی از نقاط حساس مانند سوپاپها یا سایر تجهیزات بسیار مهم است. در ورودی سوپاپها تلاش می‌شود تا از ورود برخی الگوهای جریان مانند حبایی یا لخته‌ای جلوگیری شود زیرا چنین جریاناتی به دلیل ضرابان کنترل نشده یا کواپتاسیون می‌توانند به سوپاپ آسیب وارد کنند. اودی و همکاران [۱] به مطالعه تجربی الگوی جریان سیالات دوفازی و سه فازی آب، نفت سفید و گاز در لوله‌های شیب‌دار (۹۰°-۰°) با قطر ۱۵ سانتی‌متر و طول ۱۱ متر پرداختند. در این کار تأثیر دو پارامتر دبی جریان و شیب‌های مختلف لوله بر روی الگوی جریان مورد بررسی قرار گرفت و در نهایت نتایج تجربی با نتایج تحقیقات گذشته مقایسه شدند و مدل پتال و عزیز را برای پیش‌بینی الگوهای جریان با دقت بالا معرفی کردند. مندل و همکاران [۲] به بررسی تأثیرات قطر لوله بر الگوهای جریان دوفازی آب و نفت سفید در لوله‌های افقی پرداختند. در این تحقیق قطر لوله از $m \ 0.12$ تا $m \ 0.25$ در نظر گرفته شد. آن‌ها گزارش دادند که الگوی جریان سه لایه‌ای در لوله‌های با قطر بزرگ‌تر اتفاق می‌افتد و در لوله‌های با قطر باریک این الگوها نمایان نمی‌شود. ورودی جریان‌های چند فازی و جایی که جریان‌های با یکدیگر مخلوط می‌شوند نقش خیلی مهمی در شکل‌گیری الگوهای جریان دارد. سرعت آب در این کار متغیر و سرعت نفت سفید ثابت گرفته شده است. یکی از مشکلات این کار عدم ارائه مدلی برای پیش‌بینی الگوی جریان‌ها می‌باشد. بنوارت و همکاران [۳] به بررسی تجربی الگوی جریان و افت فشار جریان‌های سه فازی آب، نفت سنگین و گاز در لوله‌های افقی و عمودی با شیب ۱۵۰ پرداختند، قطر لوله $cm \ 2/48$ گزارش شده است. تأثیر دبی آب در الگوهای جریان کم گزارش شده است و همچنین گزارش شده الگوی جریان حلقوی در انتقال نفت و تولید آن نقش مهمی دارد. شیب ۱۵۰ تأثیر خاصی بر روی الگوهای جریان نگذاشته است. در مقایسه آب و نفت، سرعت گاز می‌تواند تأثیر بیشتری در افزایش سرعت مخلوط ایفا کند که این امر بیشترین تأثیر را بر روی افت فشار اصطکاکی می‌گذارد که می‌شود با افزایش دبی آب افزایش افت فشار را جبران کرد. در این کار هیچ‌گونه داده‌ی تجربی گزارش نشده است. یکی از عوامل مهم در بحث افت فشار پیش‌بینی الگوهای جریان می‌باشد که در این پروژه صحبتی در مورد تأثیر الگوهای جریان گزارش شده برافت فشار نشده است و هیچ مدلی هم برای پیش‌بینی الگوی جریان معرفی نشده است. تأثیر عوامل مهم مثل لزجت و جنس لوله و ... بر الگوی جریان مورد بررسی قرار نگرفته است. حنیف زاده و همکاران [۴] تأثیرات شیب دار بودن لوله (۴۵-+۴۵) را بر الگوهای جریان‌های دو فازی آب و نفت در لوله‌ای به قطر ۲۰ میلی‌متر و طول ۶ متر مورد بررسی قرار دادند. در جریان‌های با شیب مثبت الگوی جریان غالب حبایی و لخته‌ای گزارش شده و در جریان‌هایی با شیب منفی الگوی غالب لایه لایه گزارش شده است. سه عمل تأثیر گذار در جریان‌های دو فازی

نیروی شناوری^۱، گرانش^۲ و نیروی اینرسی^۳ بوده و به طور کلی گراویتهی در جریان‌های رو به بالا یا عت کاهش جریان و افزایش شناوری می‌شود و در جریان‌های رو به پایین باعث افزایش جریان و کاهش بویانسی می‌شود و در نتیجه سرعت فاز پراکنده کاهش پیدا می‌کند. در این پروژه کسر حجمی مایع که یکی از فاکتورهای مهم در جریان‌های دو فازی می‌باشد در نظر گرفته نشده است و همچنین هیچ مدلی برای پیش‌بینی الگوهای جریان دو فازی گزارش نشده است. تغییرات ضریب اصطکاک مورد بحث قرار نگرفته است. استجگان [۵] به مطالعه تجربی الگوهای جریان دو فازی آب و گاز در لوله‌ای به قطر ۸ میلی‌متر و طول ۲ متر و شیب ۰ تا ۹۰ پرداختند همچنین مدلی برای پیش‌بینی کسر حجمی جریان دو فازی ارائه شده است. الگوی جریان لایه لایه و لایه لایه موجی فقط در لوله‌های افقی نمایان می‌شوند و الگوی جریان کف آلود از شیب ۱۰ تا ۹۰ نمایان شد. کسر حجمی مایع با افزایش شیب لوله افزایش پیدا کرد. در این کار پیش‌بینی الگوهای جریان فقط برای حالت خاصی از سرعت و قطر بدست آمده است و در شرایط دیگر پاسخ گو نمی‌باشد و فرمول ارائه شده فقط برای جریان‌های دو فازی می‌باشد و برای جریان‌های سه فازی قابل استفاده نمی‌باشد. اثر شیب‌های منفی در این کار مورد بررسی قرار نگرفته است و همچنین بر مبنای محاسبات پیچیده ریاضی استوار می‌باشد که این خود محدودیت‌هایی را به دنبال دارد. مدل خاصی برای پیش‌بینی الگوی جریان ارائه نشده است. حنیف زاده و همکاران [۶] تأثیرات شیب دار بودن لوله (۴۵+/-۴۵) را بر الگوهای جریان‌های سه فازی آب و نفت و گاز در لوله‌ای به قطر ۲۰ میلی‌متر و طول ۶ متر مورد بررسی قرار دادند. در این کار گسترده سرعت برای آب $m/s \ 0.25$ و برای نفت $m/s \ 0.25$ - $m/s \ 2/3$ و برای گاز $m/s \ 0.8$ - $m/s \ 1.3$ در نظر گرفته شد. با افزایش شیب لوله الگوی جریان لخته‌ای و پلاگ^۴ الگوهای جریان غالب می‌شوند. جریان حلقوی در سرعت‌های بالای گاز دیده شده است و با کاهش شیب لوله الگو جریان ورقه‌ای و ورقه‌ای موجی الگوی غالب می‌شوند و زمانی که شیب لوله به ۴۵- نزدیک می‌شود الگوی لایه لایه صاف و لایه لایه موجی الگوهای غالب می‌شوند همچنین با افزایش برش‌های نفتی در شیب‌های مختلف لوله ناحیه حبایی افزایش و ناحیه پلاگ کاهش پیدا می‌کند. در این پروژه هیچ مدلی برای پیش‌بینی الگوهای جریان ارائه نشده است. در این پروژه فقط دو عامل سرعت و کسر حجمی مورد بررسی قرار گرفته است و عوامل مهم دیگر از جمله ضریب اصطکاک و لزجت و قطر و ... نادیده گرفته شده است. از دیگر محدودیت‌های کار می‌توان به رنج سرعت و رنج شیب انتخاب شده نام برد که می‌توانست به عنوان مثال شیب را -۹۰ تا +۹۰ در نظر بگیرد. تارک و همکاران [۷] مطالعات تجربی خود را بر روی جریان‌های دو فازی آب و روغن با لزجت بالا در لوله عمودی انجام دادند. آنها به بررسی افت فشار و الگوهای جریان پرداختند. لوله مورد آزمایش آنها از جنس استنلس

1 Buoyancy
2 Gravity
3 Inertia
4 Plug

کنترل می شود. ویسکوزیته روغن توسط لزجت سنج سینماتیک^۴ SVM3001 اندازه گیری شده است. این دو مایع از دو لوله از طریق اتصالی Y مانند وارد بخش آزمایش شده اند که درجه اختلاط پایین را تضمین می کند. فاز آب اجازه داده شد از پایین وارد شود در حالی که روغن از بالا وارد می شود تا اثر اختلاط را کاهش دهد. دو روتامتر^۵ (مدل: lzm-25g) با حداکثر ظرفیت ۶۰ لیتر در دقیقه به هر یک از خطوط جریان (آب و روغن) وصل شد. این مخلوط از طریق لوله پی وی سی^۶ به مخزن جداکننده وارد می شود و به دو فاز اجازه می دهد به راحتی جدا شوند و دوباره به مخازن ذخیره سازی مربوطه باز می گردند. بخش تست به صورت افقی تنظیم شد. دامپوسیله کنترل کننده های دما SU-105DA-N بر روی ۲۵ درجه سلسیوس کنترل گردید. عدم قطعیت های^۷ اندازه گیری ها به شکل انحراف استاندارد در جدول (۱) ذکر شده است. دوربین پر سرعت Canon -EOS 5D Mark IV و لنز 105-24 mm f / 4L برای شناسایی الگوهای جریان مختلف و انتقال از یک الگوی به الگوی دیگر در این کار انتخاب شد. در این کار ۳۵۰ فریم در ثانیه انتخاب و سپس تصاویر با استفاده از ImageJ bundled 1.8.0_112 انتقال و تجزیه و تحلیل شدند. آزمایش دو بار در همان شرایط جریان تکرار شده است. این دوربین در فاصله ۴ متری از بخش ورودی قرار داشت. سرعت سطحی روغن و آب به ترتیب در دامنه $0.18 \text{ m/s} - 0.18 \text{ m/s}$ و $0.18 \text{ m/s} - 0.12 \text{ m/s}$ بود.



شکل ۱- طرحواره دستگاه آزمایش



- 4 kinematics
- 5 Rotameter
- 6 PVC
- 7 uncertainty

استیل بود. قسمت تست لوله به طول ۵۰ سانتی متر و قطر داخلی ۴۰ میلی متر بود. سیال مورد استفاده در این آزمایش آب با کشش سطحی 31 mN/m و لزجت 0.95 mPas و روغن لزجت 35 mPas و چگالی 860 kg/m^3 بود. شش الگوی جریان در این کار در دو گروه منطقه غالب روغن و منطقه غالب آب بر اساس سرعت سطحی روغن و آب مشاهده شد. آنها گزارش کردند که افت فشار به شدت تحت تأثیر الگوهای جریان و میزان جریان قرار دارد. با افزایش سرعت جریان مخلوط افت فشار نیز افزایش پیدا می کند. آنها بیان کردند که در سرعت های زیر ۱ متر بر ثانیه گرادپان فشار یک رفتار غالب بر جاذبه را با افزایش خطی از یک روغن خالص و آب خالص نشان می دهد. گرانروی روغن نقش بسزایی در افت فشار جریان دارد. در سرعت های سطحی یکسان آب و روغن با افزایش لزجت روغن افت فشار نیز افزایش می باشد و این به دلیل آن است که افت فشار اصطکاکی ناچیز است. لوشنگ و همکاران [۸] به بررسی افت فشار جریان دو فاز آب و روغن در لوله با قطر کم و با استفاده از مدل اصلاح شده دو سیال پرداختند. از مهم ترین نتایج آنها بیان زاویه تماس پویا با حل معادله یانگ - لا بود. نتایج آنها نشان داد که با بدست آوردن زاویه تماس رابطه اصلاح شده دو سیال جواب دقتی تری در محاسبه افت فشار می دهد و به الگوهای جریان زیاد وابسته نیست. به طور کلی معادله دو سیال اصلاح شده با زاویه تماس مستقل از الگوی جریان است و جواب دقتی در محاسبه افت فشار می دهد. جاویدان و همکاران [۹] به بررسی ذخیره انرژی گرمایی با استفاده از فرایند تغییر فاز پرداختند. حسن زاده و همکاران [۱۰] مدل جدید برای پیش بینی افت فشار جریان دو فاز آب و روغن با لزجت بسیار بالا ارائه دادند. در مطالعه آنها مدل وهابی به عنوان مدل مناسب برای گسترده لزجت های بالا انتخاب و بوسیله الگوریتم ژنتیک بهبود بخشیده شد. در این مقاله الگوهای جریان در سرعت های سطحی مختلف گزارش شده و تأثیر ولزجت روغن بر الگوهای جریان دو فاز روغن - آب در لوله افقی توضیح داده می شود. از نکات مهم این کار استفاده از روغن با لزجت بالا و بررسی اثرات آن در جریان های دو فاز می باشد.

۲- مطالعات آزمایشگاهی

مطالعات تجربی در مورد الگوهای جریان دو فاز مایع- مایع بوسیله دستگاهی که در شکل ۱ و ۲ نشان داده شده است انجام شد. آب خالص و روغن چگالی^۱ 0.872 gr/cm^3 و لزجت^۲ (67 cp) به عنوان سیال آزمایش مورد استفاده قرار گرفتند. جداسازی و ذخیره دو مایع در سه مخزن جداکننده صورت می گیرد. هر مایع از مخزن ذخیره سازی خود با یک پمپ به قسمت اصلی آزمایش از لوله آکرلیک به قطر ۲۰ میلی متر منتقل می شود. روغن و آب توسط پمپ های گریز از مرکز^۳ از پایین مخزن ذخیره سازی به ترتیب وارد بخش آزمایش می شوند. دو پمپ گریز از مرکز (VID-001008004) در این کار استفاده شد. میزان جریان روغن و آب درست قبل از ورود به بخش تست

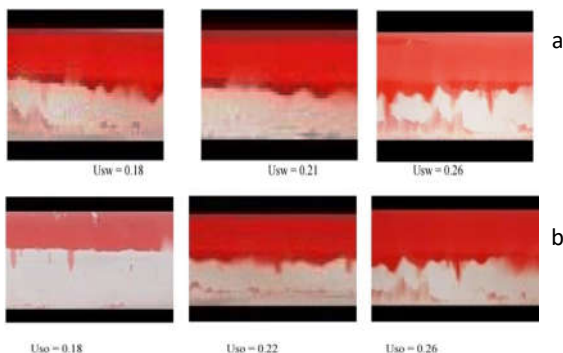
- ¹ Density
- ² viscosity
- ³ Centrifugal pump

ظاهر می‌شود. جریان حلقوی AN: آب به‌صورت یک فیلم حلقوی در اطراف جداره لوله تشکیل می‌شود و روغن در هسته لوله جریان دارد. جریان حبابی BB: روغن به شکل قطرات بزرگ در فاز آب ظاهر می‌شود. جریان پراکنده آب در روغن DW/O: درجایی که روغن فاز مداوم است و آب به‌صورت قطرات در سطح مقطع لوله ظاهر می‌شود. جریان پراکنده روغن در آب DO/W: درجایی که آب فاز مداوم است و روغن به‌صورت قطرات در سطح مقطع لوله ظاهر می‌شود.

۳-۱- مشاهدات تجربی

۳-۱-۱- جریان ورقه ای پایلو موجی (SS,SW):

جریان ورقه ای در سرعت‌های کم روغن و آب قابل مشاهده بود زیرا در این سرعت‌ها درحالی‌که نوسانات حرکت حداقل است سرعت جاذبه غلبه پیدا می‌کند. جریان ورقه ای در محدوده سرعت سطحی روغن و آب به ترتیب $0.18-0.42$ m/s و $0.18-0.26$ m/s مشاهده شد. با افزایش سرعت سطحی آب، جریان پایا به جریان ورقه ای موجی شده تغییر یافته است. به‌عنوان مثال، در $U_{so} = 0.22$ m/s و با افزایش سرعت سطحی آب از 0.18 به $U_{sw} = 0.26$ m/s، دامنه امواج افزایش می‌یابد همان‌طور که در شکل (۴a) نشان داده شده است. با افزایش سرعت سطحی روغن فضای اشغال شده توسط روغن بیشتر شده و جریان ورقه ای گسترش پیدا می‌کند که در شکل (۴b) نشان داده شده است. جریان ورقه ای به جریان حبابی تبدیل می‌شود در سرعت‌های سطحی روغن کمتر از $U_{so} < 0.22$ m/s. با افزایش سرعت سطحی آب توربولنسی افزایش می‌یابد و لایه‌های روغن ضخامت کافی را ندارند و توسط امواج شکسته می‌شوند و حباب‌هایی ایجاد می‌شود. همچنین در $U_{so} > 0.22$ m/s به جریان مداوم انتقال پیدا می‌کند زیرا در این سرعت‌ها لایه روغن مقاوم تر است و در برابر امواج شکسته نمی‌شود.



شکل ۴- تاثیر افزایش سرعت سطحی آب و روغن (a) $U_{so} = 0.22$ m/s و (b) $U_{sw} = 0.18$ m/s

۳-۱-۲- جریان حبابی (BB):

الگوی جریان حباب در سرعت سطحی کم روغن (0.26 m/s) و سرعت سطحی متوسط آب ($U_{so} = 0.18$ و $U_{sw} = 0.21-0.23$ m/s) اتفاق افتاد (شکل ۵a). سرعت کم روغن باعث شده است که لایه‌نازک روغن تشکیل شود و تلاطم لایه آب افزایش یابد. این باعث ایجاد ناپایداری در مرز مشترک دو سیال و شکستن لایه‌نازک روغن شد. بنابراین، قطرات روغن به‌صورت پیوسته در آب دیده می‌شود. با افزایش

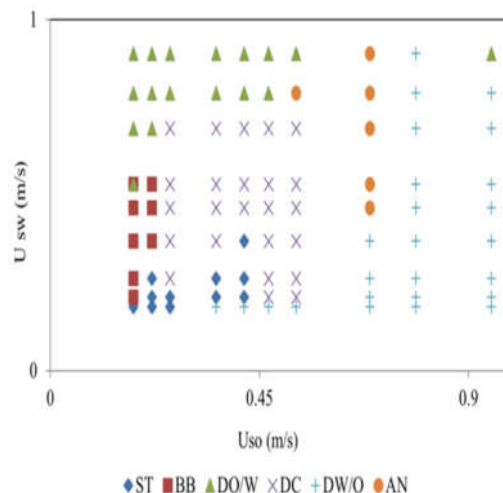
شکل ۲- مدل آزمایشگاهی

جدول ۱- عدم قطعیت اندازه گیری ها

پارامترها	عدم قطعیت
قطر لوله mm	± 0.2
چگالی آب و روغن kg/m^3	± 0.3
دبی جریان آب و روغن L/min	± 0.06
دبی جریان هوا m^3/hr	± 4
دما $^{\circ}C$	± 0.1
فشار	$\pm 0.2\%$

۳- بحث و نتیجه گیری

الگوهای جریان شناسایی شده در این کار در شکل ۳ ارائه شده است. شش الگوی شناسایی شده عبارتند از: جریان لاله لایه جریان ورقه ای پایا SS^۱ و ورقه ای موجی SW^۲ - جریان حبابی BB^۳ - جریان مداوم DC^۴ - جریان حلقوی AN^۵ - جریان پراکنده آب در روغن DW/O^۶ - جریان پراکنده روغن در آب DO/W^۷ این الگوها به شرح زیر تعریف می‌شوند:

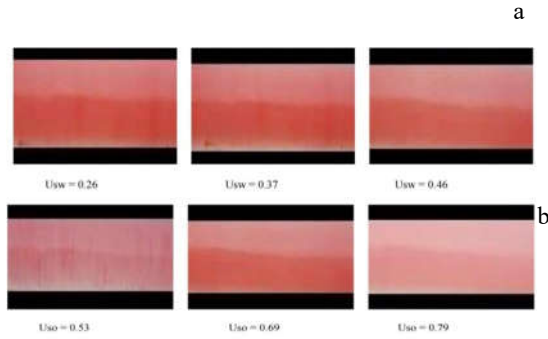


شکل ۳- الگوهای جریان شناسایی شده در این جریان لایه لایه (جریان لایه لایه آرام SS و لایه لایه موجی SW) - جریان حبابی BB - جریان مداوم DC - جریان حلقوی AN - جریان پراکنده آب در روغن - DW/O جریان پراکنده روغن در آب (DO/W)

جریان ورقه ای آرام SS و ورقه ای موجی SW: جایی که دو سیال با توجه به دانسیته خود در لایه‌های جداگانه در بالا و پایین لوله جریان می‌یابند. جریان مداوم DC: جایی که آب و روغن به‌صورت مداوم در بالا و پایین لوله جریان دارند اما قطرات یک‌فاز به‌صورت مداوم در فاز دیگر

¹ stratified smooth
² stratified wavy
³ bubbly
⁴ dual continuous
⁵ annular
⁶ dispersed water in oil
⁷ dispersed oil in water

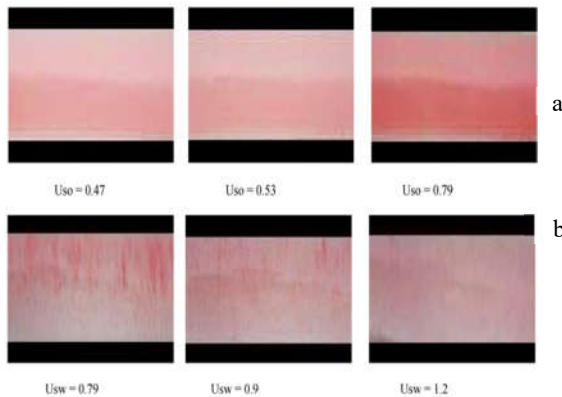
در این مطالعه، الگوی جریان حلقوی در محدوده سرعت سطحی روغن و آب به ترتیب به ترتیب $0.69-0.53$ m/s و $0.79-0.46$ m/s رخ داده است. یک‌لایه نازک از آب در بالای لوله دیده می‌شد و در مرز مشترک قطرات روغن به‌صورت آشفته در فاز آب دیده می‌شود. با افزایش سرعت سطحی روغن، انتقال به الگوی DW/O مشاهده شد (شکل ۷a). با افزایش سرعت سطحی آب، انتقال به الگوی DO/W مشاهده شد (شکل ۷b).



شکل ۷- تاثیر افزایش سرعت سطحی آب و روغن (a) $U_{so} = 0.69$ و (b) $U_{sw} = 0.79$ m/s

۳-۱-۵- جریان پراکنده روغن در آب (DO/W):

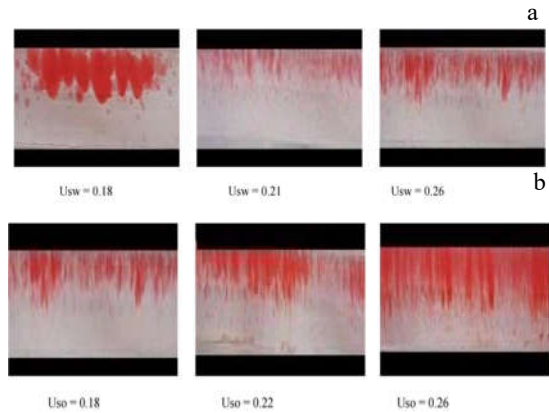
پراکندگی روغن در آب در سرعت سطحی زیاد آب و سرعت سطحی کم روغن یا متوسط سطح روغن رخ داده است. این الگو در محدوده سرعت سطحی روغن و آب به ترتیب به ترتیب $0.18-0.14$ m/s و $0.79-0.53$ m/s نمایانگر شد. با این حال، در سرعت‌های سطحی بالاتر آب $U_{sw} = 1/2$ m/s، افزایش سرعت سطحی روغن تأثیر معنی‌داری بر پراکندگی نداشته است (شکل ۸a). در این مطالعه، الگوی (DO/W) به جریان حبابی و مداوم انتقال پیدا کرده است (۸b). در سرعت‌های سطحی پایین روغن این الگو به الگوی جریان حبابی تبدیل می‌شود و در سرعت‌های سطحی متوسط روغن، جریان مداوم دیده می‌شود.



شکل ۸- تاثیر افزایش سرعت سطحی آب و روغن (a) $U_{sw} = 1.2$ m/s و (b) $U_{so} = 0.22$ m/s

۳-۱-۶- جریان پراکنده آب در روغن (DW/O):

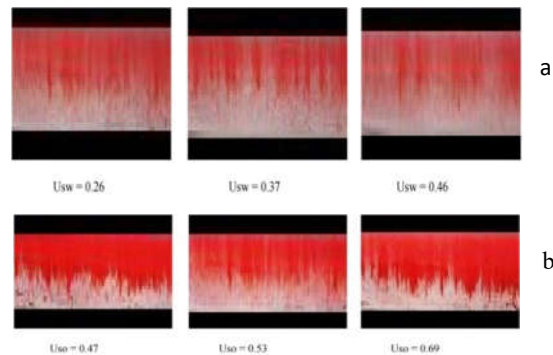
سرعت سطحی آب، طول حباب‌ها کاهش یافته است. از این رو انتقال به جریان DC بسته به سرعت سطحی آب رخ داده است. از طرف دیگر، با افزایش سرعت سطحی روغن به $U_{so} = 0.26$ m/s، به $U_{sw} = 0.37$ m/s، الگوی جریان DC مشاهده می‌شود. (شکل ۵b).



شکل ۵- تاثیر افزایش سرعت سطحی آب و روغن (a) $U_{so} = 0.18$ و (b) $U_{sw} = 0.37$ m/s

۳-۱-۳- جریان مداوم (DC):

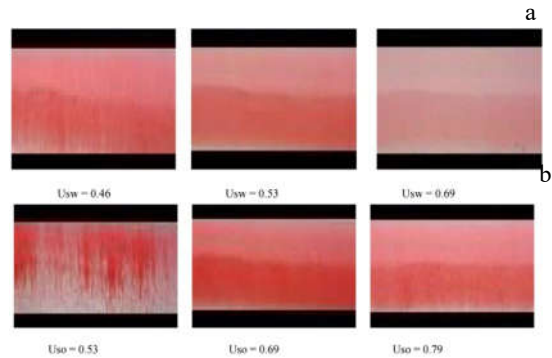
جریان مداوم در محدوده سرعت سطحی روغن و آب به ترتیب $0.18-0.14$ m/s و $0.79-0.53$ m/s رخ داده است. جریان مداوم تابعی از سرعت نسبی دو فاز است. با افزایش سرعت سطحی آب، روغن بیشتر در فاز آب پراکنده می‌شود. انتقال به جریان AN و DO/W بستگی به سرعت سطحی آب دارد (شکل ۶a). در سرعت سطحی کم روغن، فاز آب درون فاز روغن پراکنده نشد که این ممکن است به دلیل تنش برشی نسبتاً بالاتر و گرادیان‌های نسبتاً بالا در نزدیک دیواره باشد. با افزایش سرعت سطحی روغن آب بیشتری در روغن پراکنده شد و ضخامت لایه آب کاهش پیدا کرد تا زمانی که کل فاز آب در روغن پراکنده شد. با افزایش سرعت سطحی روغن، انتقال به الگوی DW/O مشاهده شد (شکل ۶b).



شکل ۶- تاثیر افزایش سرعت سطحی آب و روغن (a) $U_{so} = 0.18$ و (b) $U_{sw} = 0.37$ m/s

۳-۱-۴- جریان حلقوی (AN):

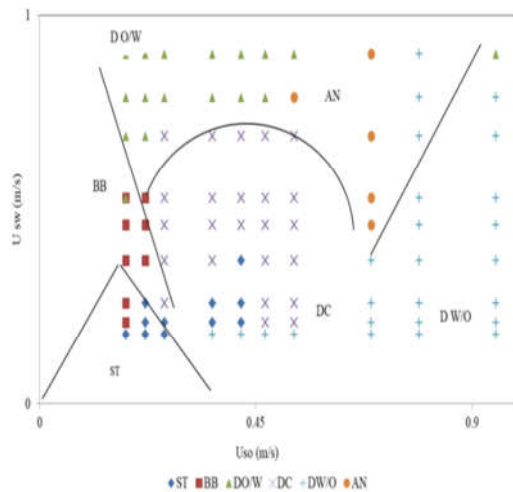
برخلاف پراکندگی روغن در آب، پراکندگی آب در روغن از سرعت سطحی روغن 0.169 m/s به بالا ظاهر شد. این الگوی در محدوده سرعت سطحی روغن و آب به ترتیب 0.169 m/s و 0.118 m/s - 0.169 m/s رخ داده است. با افزایش سرعت سطحی آب به بیشتر 0.169 m/s تبدیل به الگوی $D/O/W$ می شود شکل (۹a). در سرعت سطحی بالای روغن، تلاطم جریان به اندازه کافی زیاد بود تا دو فاز پراکنده در یکدیگر حفظ شود. شکل (۹b).



شکل ۹- تاثیر افزایش سرعت سطحی آب و روغن (a) $U_{sw} = 0.37$ و (b) $U_{so} = 0.79 \text{ m/s}$ و $U_{sw} = 0.79 \text{ m/s}$

۴- الگوهای جریان بین مطالعه فعلی و کارهای دیگر

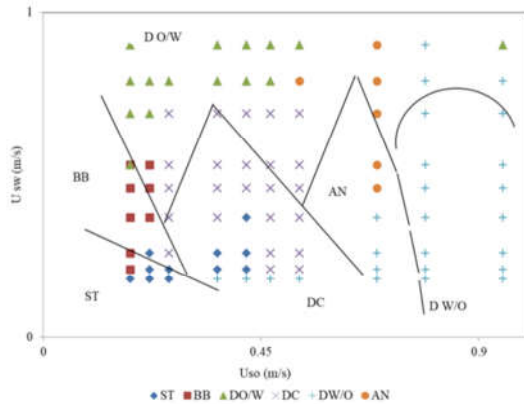
مقایسه نتایج این پژوهش در لزجت 67 cp با کارهای گذشته برای لزجت بین 1 cp تا 12 cp گزارش شده است (جدول ۲). نقشه الگوهای جریان به دست آمده از جریان افقی با کار یوسف و همکاران مقایسه شد. مرزهای انتقال بین رژیم های جریان در کار یوسف با خطوط مجزا در شکل ۱۰ نشان داده شده است.



شکل ۱۰- الگوهای جریان بین این مطالعه و کار یوسف [۱۱]

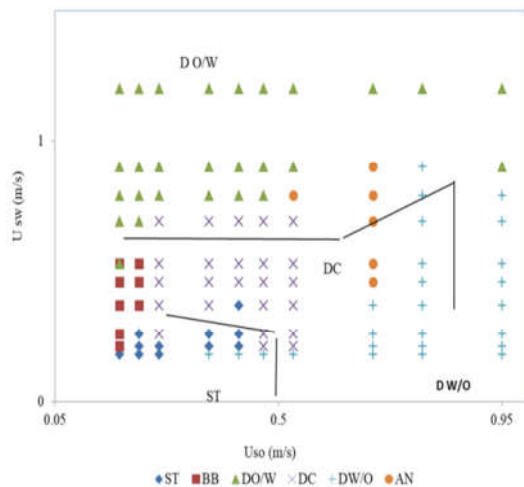
بین نتایج تجربی این مطالعه و کار یوسف سازگاری قابل قبولی وجود دارد. بین مرزهای انتقال جریان ST به DC و AN به DW/O این مطالعه تجربی و کار یوسف تفاوت هایی وجود دارد. این اختلافات ممکن است به دلیل تفاوت بین قطر لوله و خواص روغن مورد استفاده در این

کار و کار یوسف باشد. اختلافات بین این مطالعه و کار یوسف نشان می دهد که قطر لوله و لزجت روغن دو عامل مهم در شکل گیری الگوهای جریان هستند. علاوه بر این، نقشه الگوهای جریان به دست آمده از جریان افقی با کار حنفی زاده و آنجلی و هویت نیز مقایسه شد. مرزهای انتقال بین رژیم های جریان در کار حنفی زاده و آنجلی با خطوط مجزا به ترتیب در شکل های ۱۱ و ۱۲ به تصویر کشیده شده است.



شکل ۱۱- الگوهای جریان بین این مطالعه و کار حنفی زاده [۴]

مرزهای انتقال به صورت کلی با کار حنفی و آنجلی یکسان می باشد و تفاوت بین مرز انتقال ST به DC و AN به DW/O در این مطالعه و کار حنفی زاده به دلیل تفاوت بین خاصیت روغن مورد استفاده می باشد. در این پژوهش وسعت الگوهای جریان ST و BB و DC بیشتر می باشد زیرا لایه روغن مقام تر می باشد و در سرعت های پایین آب در برابر امواج تشکیل شده دیرتر شکسته می شود.



شکل ۱۲- الگوهای جریان بین این مطالعه و کار آنجلی [۱۲]

جدول ۲- داده های مورد استفاده در مقایسه الگوهای جریان

جنس لوله	لزجت cp	قطر لوله (mm)
آکرلیک	۱/۶	۲۵/۴ آنجلی [۱۲]

آکرلیک	۱	۲۰ حنفی زاده [۴]
آکرلیک	۱۲	۲۵/۴ یوسف [۱۱]
آکرلیک	۶۷	۲۰ کار حاضر

۵- تأثیر لزجت روغن بر الگوی جریان

۵-۱-۱- بررسی تأثیر لزجت بر هر الگوی جریان

۵-۱-۱-۱- جریان ورقه ای: تنها تفاوت میزان گسترش الگوی جریان است.

۵-۱-۱-۲- جریان حبایی: در این تحقیق نسبت لزجت روغن و آب زیاد است که این امر باعث افزایش بی ثباتی مرز مشترک می شود و در نتیجه حبابها در سرعت کم جریان روغن ایجاد می شوند. سیستمهایی که جریان روغن و آب با نسبت لزجت بالا و نیروهای بین سطحی بالا دارند از شانس بیشتری برای جریان متناوب بهره می برند. به دلیل نسبت لزجت بالا، الگوی جریان حباب در این کار دارای طیف گسترده ای است. در کار آنجلی و هویت هیچ جریان حبایی گزارش نشده است. این را می توان به کاهش نیروهای سطحی در سیستم نسبت داد.

۵-۱-۱-۳- جریان حلقوی: در کار یوسف و حنفی زاده به دلیل استفاده از روغن با لزجت بالا در مطالعات خود، جریان حلقوی را گزارش کردند ولی در کار آنجلی و هویت گزارش نشده است. لزجت بالای روغن باعث ایجاد الگوی جریان حلقوی می شود. بنابراین با افزایش لزجت روغن، احتمال افزایش جریان حلقوی نیز افزایش می یابد. لزجت بالا در این مطالعه به شکل گیری الگوی جریان حلقوی کمک کرده است.

۵-۱-۱-۴- جریان مداوم: با توجه به نتایج تجربی این کار و مقایسه با کار یوسف و آنجلی و هویت زاده که از روغن با لزجت پایین تری استفاده کردند شکل گیری اولیه جریان مداوم با افزایش سرعت سطحی آب گزارش شده است. وسعت الگوی مداوم گزارش شده توسط سیستمهایی با لزجت پایین روغن در مقایسه با نتایج مطالعه حاضر کمتر می باشد. این می تواند مربوط به نسبت لزجت بالاتر روغن مورد استفاده در این مطالعه باشد.

۵-۱-۱-۵- جریان پراکنده روغن در آب و آب در روغن: وسعت الگوی DO/W و DW/O گزارش شده توسط حنفی زاده و یوسف و آنجلی و هویت در مقایسه با نتایج مطالعه حاضر کوچک تر است. لزجت بالا باعث ناپایداری سطح مشترک دوفاز می شود و تمایل به شکل گیری این الگوهای جریان بیشتر می شود.

۵-۲- نقش لزجت

به صورت کلی روغن در تماس با جداره لوله می باشد، سیستمهایی که از روغن با لزجت بالا استفاده می کنند انتظار می رود کشش سطحی بالاتر، اصطکاک بیشتر و ماندگی بیشتری در لوله اتفاق بیافتد و به تبع آن افت فشار افزایش پیدا کند.

۶- نتیجه گیری

در این کار الگوی جریان دو فازی آب-روغن در لوله افقی به قطر mm ۲۰ شناسایی شده و اثر لزجت بالای روغن بر روی الگوهای جریان مورد مطالعه قرار گرفت. همچنین الگوهای جریان با کارهای یوسف [۱۱] و

حنفی زاده [۴] و آنجلی [۱۲] مقایسه شده است. شش الگوی جریان ورقه ای (جریان ورقه ای پایا SS و ورقه ای موجی SW) - جریان حبایی BB - جریان مداوم DC - جریان حلقوی AN - جریان پراکنده آب در روغن DW/O - جریان پراکنده روغن در آب DO/W شناسایی شد.

۱. الگوی جریان ورقه ای (SW,SS) در سرعت های سطحی پایین روغن و آب به ترتیب زیر ۰/۴۲ متر بر ثانیه و ۰/۲۶ متر بر ثانیه مشاهده گردید. الگوی جریان حبایی (BB) در سرعت های سطحی پایین روغن (۰/۲۲ متر بر ثانیه) و سرعت سطحی متوسط آب (۰/۵۳ متر بر ثانیه) پدیدار می شود. الگوی جریان مداوم (DC) در محدوده سرعت سطحی متوسط آب و روغن (در محدوده پایین تر از آب ۰/۶۹ متر بر ثانیه و روغن ۰/۵۳ متر بر ثانیه) نمایان می شود. جریان حلقوی (AN) در سرعت سطحی بالای آب و روغن به ترتیب (۰/۹ متر بر ثانیه و ۰/۶۹ متر بر ثانیه) اتفاق افتاد. جریان پراکنده روغن در آب (DO/W) در سرعت سطحی زیاد آب (۱/۲ متر بر ثانیه) و سرعت سطحی کم و متوسط روغن (۰/۱۸ - ۰/۵۳ متر بر ثانیه) رخ می دهد. جریان پراکنده آب در روغن (DW/O) در سرعت سطحی زیاد روغن (۰/۹۵ متر بر ثانیه) و سرعت سطحی کم آب (۰/۱۸ تا ۰/۶۹ متر بر ثانیه) اتفاق افتاد.

۲. الگوهای جریان در این کار با کارهای گذشته مورد بررسی قرار گرفت که سازگاری قابل قبولی بین آن ها وجود داشت. اختلافی که بین این کارها وجود داشت ناشی از تفاوت قطر لوله و لزجت روغن می باشد که نقش مهمی در شکل گیری الگوهای جریان دارند.

۳. به دلیل نسبت لزجت بالا روغن و آب (۶۷/۱ cp)، الگوی جریان حبایی (BB) در این پروژه طیف گسترده تری را نسبت به کارهای پیشین دارد. سیستمهایی با لزجت بالا و نیروهای بین سطحی بیشتر شانس بیشتری برای تشکیل الگوهای BB و DC دارند.

۴. لزجت بالای روغن یکی از عوامل مهم در تشکیل الگوی جریان حلقوی در طیف گسترده می باشد. در کارهایی که لزجت روغن در آن ها پایین بود (زیر ۴ cp) الگوی جریان حلقوی گزارش نشده است.

۵. تمایل به شکل گیری الگوهای جریان پراکنده آب در روغن و روغن در آب (DO/W, DW/O) در جریانهایی با لزجت بالای روغن بیشتر است زیرا مقاومت لایه روغن در برابر امواج بیشتر می باشد، از این رو وسعت این الگوها در کار فعلی به نسبت کارهای پیشین بیشتر است.

۶- در الگوهای جریان پراکنده آب در روغن، فاز غالب روغن است که افزایش سرعت روغن و لزجت بالای آن باعث ناپایداری و غلبه بر نیروهای سطحی می شود.

۷- الگوی جریان مداوم (DC) تابعی از سرعت هر دو فاز آب و روغن است.

۷- سپاسگزاری

از دانشگاه آزاد واحد ماهشهر به دلیل حمایت های مالی در انجام این پژوهش تقدیر و تشکر می شود.

۸- نمادها

Usw سرعت سطحی آب (m/s)

[5] Jagan V., Experimental studies on two phase flow patterns of air-water mixture in a pipe with different orientations, Flow Meas. Instrum., 170-179, 2016.

[7] Hanafizadeh P., Shahani A., Ghanavati A., Akhavan - Behabadi M.A., Experimental Investigation of Air-Water-Oil Three-Phase Flow Patterns in Inclined Pipes, Experimental Thermal and Fluid Science., 84:286-298, 2017.

[7] Ganat, T., Hrairi, M., " Effect of flow patterns on two-phase flow rate in vertical pipes ", Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences, Vol. 55, No.2, PP. 150-160, 2019.

[8] Zhai, L., Zhang, H., Jin, N., " Prediction of pressure drop for segregated oil-water flows in small diameter pipe using modified two-fluid model ", Experimental Thermal and Fluid Science, Vol. 114, PP. 110078, 2020.

[9] Javidan, N., Asgari, M., Gholinia, M., Nozari, M., Asgari, A., Ganj, D., Thermal energy storage inside the chamber with a brick wall using the phase change process of paraffinic materials: A numerical simulation, Theoretical and Applied Mechanics Letters., 11: 100329, 2022.

[10] Hasanzadeh, Y., Alavifazel, S.A., Azizi, Z., Peyghambarzadeh, S. M., Azimi, A., Development Of A New Correlation for Estimating Pressure Gradient of Oil- Water Two Phase Flow In A Horizontal Pipe, ADMT Journal, 14(4):51-58, 2021.

[11] Yusuf N., Effect of oil viscosity on the flow structure and pressure gradient in horizontal oil-water flow, Chem. Eng. Res. Des., 90(8): 1019-1030, 2012.

[12] Angeli P., Hewitt G.F., Flow structure in horizontal oil-water flow, Int. J. Multiphase Flow, 26(7): 1117-1140, 2000.

سرعت سطحی روغن (m/s)	Uso
دبی آب (m ³ /s)	Qw
دبی روغن (m ³ /s)	Qo
قطر (mm)	D
فشار (MPa)	P
دما (°C)	T
طول (m)	L

۹- مراجع

[1] Oddie G., Shi H., Durlofsky L.J., Aziz K., Pfeffer B., Holmes J.A., Experimental study of two and three phase flows in large diameter inclined pipes, Int. J. Multiphase Flow, 29: 527-558, 2003.

[2] Mandal T.K., Chakrabarti D.P., Das G., Oil water flow through different diameter pipes-similarities and differences, Trans. IchemE. Part A. Chem. Eng. Res. Des., 85(8): 1123-1128, 2007.

[3] Bannwart A.C., Rodriguez O.M.H., Trevisan F.E., Vieira F.F., de Carvalho C.H.M., Experimental investigation on liquid-liquid-gas flow: Flow patterns and pressure-gradient, J. Pet. Sci. Eng., 65: 1-13, 2009.

[4] Hanafizadeh P., Hojati A., Karimi A., Experimental Investigation of Oil- Water Two Phase Flow Regime in an Inclined Pipe, J. Pet. Sci. Eng., 2015: 12-22 (2015).