نشریه علمی-تخصصی تبدیل انرژی (JEED)
دوره ۹، شماره ۲، تابستان۱۴۰۱، ص: ۹۹-۱۲۰

J. Energy Conversion
Volume: 9, Issue: 2, 2022: 99-120

DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.2.1.4

بررسی تجربی شکل گیری رژیم جریان و ضخامت فیلم مایع در فصل مشترک جریان دوفازی گاز-مایع غیر همسو در لوله های عمودی شفاف

مجتبی مسیحی[۱]، علی نوری بروجردی [۲و*] ، هادی کارگر شریف آباد[۳و*]

۱- دانشجوی دکتری، گروه مهندسی مکانیک، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران masihi_mojtaba@yahoo.com
***۲- استاد، دانشکده مهندسی مکانیک، مرکز عالی تبدیل انرژی،دانشگاه صنعتی شریف، تهران، ایران، anouri@sharif.edu**
***۳- دانشیار، مرکز تحقیقات انرژی و توسعه پایدار، واحد سمنان، دانشگاه آزاد اسلامی، سمنان، ایران، h.kargar@semnaniau.ac.ir**

دریافت: ۱۴۰۱/۰۳/۲۸، بازنگری: ۱۴۰۱/۰۵/۰۱، پذیرش: ۱۴۰۱/۰۵/۰۵

چکیده

در مقاله حاضر رفتار و الگوهای جریان دوفازی نا همسوی آب – هوا در لوله های عمودی از جنس پلکسی گلاس شفاف با قطرهای داخلی ۲۶ mm و ۴۴ mm به صورت تجربی مورد بررسی قرار گرفته است. سیالات مورد استفاده آب و هوا بوده و نتایج جریان برای ۳۰۴ حالت انتخابی با تغییر سرعت ظاهری آب و هوا بدست آمده است. هوا از پایین به بالا و آب از بالا به پایین با ورودی منحصربفردی جریان دارد. محدوده سرعت های ظاهری هوا و آب برای لوله ۲۶ mm به ترتیب۲۶.۱۷ -۱۰.۴۷ m/s و ۰.۳۶-۰.۰۶ m/s و برای لوله ۴۴ mm به ترتیب ۹.۱۴-۳.۵۶ m/s و۰.۱۲-۰.۰۲ m/s است. ضخامت فیلم مایع در الگوی جریان حلقوی با تکنیک بستن سریع شیر برقی بدست آمد. اندازه‌گیری پدیده اینترینمنت توسط تکنیک نمونه برداری ایزوسینتیک انجام شد. در راستای یافتن بهترین شرایط از روش سطح پاسخ استفاده شد.تامین شرایط جریان مخالف مایع و گاز ،جهت گیری اولیه و تاثیر این طراحی روی الگوی جریان،ضخامت فیلم مایع و کسر اینترینمنت، نوآوری کار حاضر می باشد.آنچه این تحقیق را از کارهای قبلی محققین متمایز می کند بدست آوردن دقیق تر الگوی جریان حلقوی جهت محاسبه ضخامت فیلم مایع و پدیده اینترینمت با طراحی جهت گیری ورودی اولیه می باشد.نتایج این پژوهش توافق خوبی با مدل الیمانز در لوله ۲۶ میلی متر و مدل والیس در لوله ۴۴ میلی متر برای محاسبه اینترینمنت و مدل شیبرینگ برای محاسبه ضخامت فیلم مایع دارد. این نشان می‌دهد که پیش‌بینی رابطه های جدید از مطالعات گزارش شده‌ی قبلی ممتازتر است.

*** عهده‌دار مکاتبات:** anouri@sharif.edu, h.kargar@semnaniau.ac.ir

کلمات کلیدی: جریان دوفاز ناهمسو، ضخامت فیلم مایع، کسر اینترینمنت، تنش برشی فصل مشترک.

۱- مقدمه

نحوه استناد به این مقاله: مجتبی مسیحی، علی نوری بروجردی، هادی کارگر شریف آباد. بررسی تجربی شکل گیری رژیم جریان و ضخامت فیلم مایع در فصل مشترک جریان دوفازی گاز-مایع غیر همسو در لوله های عمودی شفاف. مهندسی مکانیک تبدیل انرژی. ۱۴۰۱; ۹ (۲) : ۱۲۰-۹۹. DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.2.1.4

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-07]
[DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.2.1.4]

جریان حلقوی[1] در سرعت بالای گاز وکم تا متوسط مایع رخ می‌دهد. مایع به صورت یک فیلم در راستای دیواره لوله جریان می‌یابد و همچنین به صورت قطراتی به دنبال هسته گازی کشیده می‌شود. فصل مشترک بین هسته گازی و فیلم مایع، همواره مواج است و سبب اتمی‌سازی و رسوب قطرات مایع می‌گردد.

در شرایط تعادلی، سرعت اتمیزه شدن قطرات و رسوب آنها برابر است و در نتیجه، یک کسر پایایی از مایع به صورت قطره ظاهر می‌شود که کسر اینترینمنت نام دارد. این پارامتر در درک و مدلسازی رفتار جریان حلقوی، نقش حیاتی دارد. یکی از جریان‌هایی که در انواع تجهیزات انتقال گرما از جمله سیستم های تهویه وتبرید، برج های خنک کن، صنایع نفت و گاز، صنایع پتروشیمی و همچنین خطوط لوله انتقال نفت دیده می‌شود، جریان دو فازی غیر همسو می‌باشد [۵-۱]. اکثر مطالعات اخیر که بر روی جریان دوفازی صورت پذیرفته است، بر روی جریان دوفازی همسو صورت گرفته است [۱۰-۶]. اما در این تحقیق به مطالعه جریان دوفازی غیر همسو با ورودی مایع منحصربفرد پرداخته است، این در حالی است که تحلیل شرایط جریانی به دلیل برهم کنش های بوجود آمده بین دوفاز جریانی غیر همسو بسیار دشوار می‌باشد. برخورد هوا به صورت غیر همسو با جریان آب، در برج های خنک کن با جریان هوای مخالف را می توان به عنوان یکی از مثال های بارز در این زمینه نام برد. عموماً در رژیم های جریان غیر همسو با افزایش پیوسته هر یک از فازها حالت طغیان به وجود می آید و راه ورود فاز دیگر مسدود می شود و جریان از حالت غیر همسو خارج می شود [۱۱]. پیش‌بینی رفتار جریان نیز به دلیل رژیم‌های جریانی مجزا بسیار سخت و متفاوت می‌باشد. [۶, ۱۲, ۱۳]. از جمله جریان های رایج در شرایط دوفازی هوا-آب در لوله‌ها، جریان حلقوی می‌باشد که به دلیل طیف گسترده ای از نرخ گاز و مایع اتفاق می‌افتد [۱۴, ۱۵]. از مشخصه‌های بارز این جریان، یک لایه نازک در امتداد دیوار ه ها با یک هسته گاز سریع در مرکز جریان است [۱۶]. شناسایی و تعیین جریان حلقوی دو فازی هوا و آب از آن جهت اهمیت دارد که در صنایع هسته ای، شیمیایی و نفتی این جریان بسیار شایع می‌باشد. لذا اولین گام در تحلیل یک جریان دوفازی ، شناسایی الگوی غالب در آن است [۱۷]. با توجه به پیچیدگی های اشاره شده هنوز علم دو فازی وابستگی شدیدی به نتایج حاصل از مطالعات تجربی و روابط حاصل از آن ها دارد. یکی از پارامترهای تاثیرگذار در نوع جریان های دوفازی استفاده از قطر لوله ها می باشد [۱۸, ۱۹]. در سال ۱۹۸۳، تایتل[2] و بارنی[3] [۲۰] با استفاده از افت فشار لوله و الگوی جریان، برای لوله های افقی مدلی غیر همسو را ارائه دادند. ایشان به این نتیجه رسیدند ک دو ناحیه احتمالی رخ می-دهد که ناحیه اول هیچگونه رژیمی وجود ندارد اما در ناحیه‌ی دیگر جریان حلقوی و لخته‌ای و حبابی می تواند پدیدار شود. در سال ۱۹۹۴، حسن و همکاران به منظور بررسی کسر حجمی مایع برای لوله های عمودی با ارتفاع 5.5m و قطر 127mm از دیدگاه drift flux استفاده کردند و مدلی را ارائه دادند که قابلیت بررسی جریان های لخته ای و حبابی را در جریان غیر همسو و لوله عمودی ارائه دادند. در سال ۲۰۰۶، چن[4] و همکاران تاثیر قطر دا خلی لوله را برای رژیم‌های مختلف با استفاده از سیال مبرد R134a برای لوله‌های عمودی برای چهار قطر داخلی لوله از ۱.۱ میلی متر تا ۴.۲۶ میلی متر انجام دادند. پس از بررسی‌های لازم، به این نتیجه سیدند که قطر داخلی لوله تاثیر زیادی بر تعیین الگوی جریان دارد [۲۱]. در سال ۲۰۱۶، بساگنی[5] و اینزولی[6] با استفاده از چند روش آزمایشگاهی مختلف به بررسی ویژگی های هیدرودینامیکی ستون حباب در لوله عمودی و جریان غیر همسو برای لوله ای با ارتفاع 5.3 m و قطر داخلی 24 mm بررسی شد. آن ها یک همبستگی جدیدی برای کسر حجمی آب ارائه دادند و نتایج بدست آمده نشان داد که قطر لوله تاثیر زیادی بر کسر حجمی مایع دارد [۲۲]. ضخامت فیلم مایع و توزیع قطره در فاز گازی، پیچیدگی مسئله پیش‌بینی که از قبل دشوار بوده را باز هم افزایش می-

[1] Annular flow
[2] Taitel
[3] Barnea
[4] Chen
[5] Besagni
[6] Inzoli

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-07]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.2.1.4]

دهند.کسر اینترینمنت، تحت تاثیر عوامل مختلفی مانند اندازه لوله، ، سرعت سیال و خصوصیات سیال است. محققان بسیاری به منظور پیش بینی این پارامتر مهم تلاش کردند از جمله این محققان: در سال ۱۹۶۸، والیس[1] [۲۳] یک همبستگی تجربی جدید بر اساس مدل Paleev and Flipovich ارائه دادند. نکته قابل تامل در این مقاله این است که در این رابطه به جای ویسکوزیته دینامیک گاز، ویسکوزیته دینامیک مایع را جایگزین کردند. در سال ۱۹۸۶، الیمانس[2] و پتس[3] [۲۴] یک همبستگی به منظور جریان حلقوی عمودی با استفاده از بانک اطلاعاتی Harwell استفاده کرده اند. این بانک اطلاعاتی شامل رنج قطر داخلی لوله از ۶ تا ۳۲ میلی متر و کشش سطحی N/m ۰.۰۱۲ تا ۰.۰۷۳ بوده که انواع جریان سیال از جریان خطی و آشفته را شامل می‌شود. در سال ۱۹۸۹، ایشی[4] و میشیما[5] [۲۵] با استفاده از یک سری مجموعه داده‌های جریان حلقوی یک رابطه همبستگی با در نظر گرفتن عدد رینولدز مایع و عدد وبر فاز گازی ارائه دادند . در سال ۲۰۰۲، پان[6] و هانرتی[7] یک رابطه همبستگی میان سرعت و اسپری قطرات مایع در گاز را برای جریان عمودی با قطر داخلی لوله از ۱۰.۶ تا ۵۷.۲ میلی‌متر، سرعت ظاهری مایع ۰.۰۱۲ تا ۱.۳۵ متر بر ثانیه و سرعت ظاهری گاز ۲۰ تا ۱۱۹ متر بر ثانیه ارائه دادند [۲۶]. شوبرینگ[8] و همکاران [۲۷] یک رابطه همبستگی برای جریان دوفازی برای ضخامت فیلم مایع بدست آوردند. نتیجه ی تحقیقات آن ها این بود که این روش دارای دقت عملکرد بالایی می باشد. رحمان و همکاران [۲۸] یک رابطه همبستگی برای جریان دوفازی برای ضخامت فیلم مایع بدست آوردند. این رابطه برای محدوده سرعت ظاهری مایع بین m/s ۰.۶ تا ۳۸.۸ و سرعت ظاهری گاز بین m/s ۱۳.۴ تا ۱۱۰.۶ می باشد. برای انتخاب مقدار مناسب دبی جریان گاز و دبی جریان مایع در دسترس در آزمایشگاه همواره نوعی بهینه سازی بین قطر های لوله نیاز است. با توجه به اینکه قطر لوله های غالب در صنعت در این محدوده است این مقادیر انتخاب گردید. علاوه بر این مطلب از مرور مقالات و گزارش های پیشین ملاحظه شد که نتایج با کارهای انجام یافته در این محدوده قطر برای جریان های دو فازی غیر همسو نادر و کمیاب است. لذا بنا بر ضرورت، کار حاضر با قطرهای مذکور انجام گرفت. همچنین سعی بر آن شد تا اندازه لوله هایی که در لوله کشی صنعتی پالایشگاه ها و نیروگاه ها پر کاربرد هستند با طراحی جدید ورودی فاز مایع و گاز مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرند. همچنین با توجه به محدودیت در دسترس نبودن تجهیزات آزمایشگاهی برای فراهم آوردن شرایط آزمایش تأمین دبی فازها و هم چنین محدودیت ساخت سیستم آزمایشگاهی با ابعاد بزرگ که از جمله مشکلات انجام آزمایش در لوله های بزرگ مقیاس است، قطرهای ۲۶ میلی متر و ۴۴ میلی متر انتخاب گردید، تا بتوان با شرایط طراحی ورودی های جدید مقایسه ای بین این دو اندازه و تاثیر آن بر روی الگوهای جریان و ضخامت فیلم مایع و پدیده اینترینمنت با پژوهش های محققان پیشین انجام داد [۲۹]. با توجه به پژوهش های صورت گرفته در لوله های عمودی تحت شرایط مختلف مشاهده می شود که تغییرات در پارامترهای تأثیر گذار جریان مانند قطر ، شیب، سرعت فازها و سایر موارد، منجر به تغییرات قابل ملاحظه ای در رژیم ها و هیدرودینامیک جریان می شود. در تحقیق حاضر از دو لوله با قطرهای مختلف استفاده شده است که علاوه بر مشاهده نقشه رژیم های جریان در هر یک از لوله ها، تأثیر افزایش قطر بر نقشه رژیم ها و هیدرودینامیک جریان ، به بررسی ضخامت فیلم مایع و کسر اینترینمنت پرداخته شده است. اکثر داده‌های کسر اینترینمنت موجود با استفاده از لوله‌هایی با قطر کم بدست آمده اند که این امر مشکل افزایش مقیاس پیش‌بینی‌های e بر اساس داده‌های مربوط به قطر لوله کوچک را دشوارتر می‌سازد. هدف اصلی این مطالعه، محاسبه تنش برشی در فصل مشترک جریان دوفازی و آنالیز آنها و ارزیابی روش‌های موجود برای پیش‌بینی ضخامت فیلم

[1] Wallis
[2] Oliemans
[3] Pots
[4] Ishii
[5] Mishima
[6] Pan
[7] Hanratty
[8] Schubring

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-07]
[DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.2.1.4]

مایع و کسر اینترینمنت در دو خط لوله با قطرکوچک ۲۶ میلی متر و متوسط ۴۴ میلی متر با طراحی هندسه جدید و جهت گیری اولیه مناسب ورودی مایع از بالا در الگوی جریان حلقوی است.

۲-دستگاه آزمایش

طرح واره سیستم آزمایشگاهی در شکل(۱) و جزئیات آن در جدول (۱) نشان داده است. شامل دو لوله با طول یکسان ۲۰۰۰ میلی متر و قطرهای داخلی26mm و 44 mm است. به منظور مشاهده رژیم های جریان دو فازی، لوله ها از جنس پلکسی گلاس شفاف انتخاب شده اند تا رفتار رژیم ها به سادگی ملاحظه و تجزیه و تحلیل شوند. هوا و آب به عنوان سیال کاری مورد استفاده قرار گرفتند.به طور معمول به دلیل دسترسی آسان ،ایمنی بالا،غیر قابل اشتعال بودن و غیر سمی بودن از هوا به عنوان فاز گاز و از آب به عنوان فاز مایع در بررسی جریان دوفازی استفاده می شود. در این نوع جریان ها دو سیال آب و هوا به طور همزمان در کنار هم در حال حرکت هستند که غالبا" دارای خاصیت فیزیکی متفاوت از قبیل دما، چگالی و رسانش می باشند. وقتی این دو سیال در یک لوله جریان پیدا می کنند بسته به میزان دبی آب و هوا و اساسا" به دلیل خواص فیزیکی متفاوت دو سیال ، الگوها و اشکال مختلفی در سطح مشترک دو فاز ایجاد می شود که رژیم جریان نامیده می شوند. همچنین دیواره شفاف لوله امکان بررسی دیداری از وضعیت جریان داخل لوله حاوی سیالات تمیز آب و هوا را به ناظر بیرونی جهت فیلم برداری و تصویر برداری می دهد و امکان مشاهده بصری و ثبت رژیم ها ی جریان توسط دوربین را مهیا می کند [۳۰]. در شرایط استاندارد، چگالی آبkg/m^3 ۹۹۸، ، ویسکوزیته دینامیکی آب Pa.s ۰.۰۰۱ و کشش سطحی آب N/m ۰.۰۷۳ هستند. برای تأمین دبی هوای فشرده مورد نیاز از یک کمپرسور با توان ۷.۵ کیلو وات استفاده شده است . از آب شهر به عنوان فاز مایع و از هوا به عنوان فاز گاز در این آزمایش استفاده شده است. بدین منظور مطابق شکل (۲) از یک مخزن اصلی ۸۰ لیتری آب استفاده می شود که آب توسط یک پمپ در سیستم، پمپاژ می شود. آب از بالا وارد ورودی جدید طراحی شده می شود و هوا از پایین به شکل منحصربفردی وارد لوله می شود. قطرات آب جدا شده خروجی از دو لوله به منظور محاسبه کسر اینترینمنت نیز در یک مخزن کوچک جهت توزین، جمع آوری می شوند. هم هوا و هم قطرات مایع مازاد همراه در خروجی مقطع لوله به جو فرستاده شدند تا فشار پشت سیستم کاهش یافته و سرعت هوا افزایش یابد. دبی های جریان هوا و آب به ترتیب با استفاده از دبی سنج های روتامتری هوا مدل (ACA 05-25ZT) با دقت $\pm$0.01 مترمکعب بر ساعت و روتامتری آب مدل (Z-5008) با دقت $\pm$0.01 لیتر بر دقیقه برای شرایط فشار ۱۰ بار اندازه گیری می شوند. بیشترین مقدار عدم قطعیت های اندازه گیری طبق استاندارد ANSI/ASME (۱۰) برای فلومتر آب $\pm$4% و برای فلومتر هوا $\pm$4% می باشد. دبی سنج ها با این پیشینه خطای هنگام خواندن مقادیر در حداکثر دبی عبوری ، دبی ها را محاسبه می کنند بنابراین نتایج حاصل تحت هر شرایط محیطی صحیح و دقیق خواهند بود. همچنین فشارسنج های مورد استفاده آزمایش با دقت 3% mbarو با بیشترین مقدار عدم قطعیت 1.38% هستند. آزمایش، دو مولفه اصلی داشت: ۱) بخش شیر برقی به سرعت بسته شونده، ۲) بخش نمونه‌برداری ایزوسینتیک،که در اینجا، مورد بررسی قرار می‌گیرند. چون طول لوله آزمایش کوتاه است، ورودی، تاثیری بر کسر اینترینمنت اندازه‌گیری شده توسط نمونه‌برداری ایزوسینتیک ندارد و جریان حلقوی در بخش‌های اندازه‌گیری به صورت کاملا" توسعه یافته است.

۱) بخش شیر برقی به سرعت بسته شونده:یکی از مهم‌ترین پارامترها برای تعیین مشخصه‌های جریان دو فازی کسر حجمی سطح مقطع است که کسری از سطح مقطع جریان عبوری از لوله که توسط فاز گاز اشغال‌شده را نشان می‌دهد

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-07]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.2.1.4]

.مطابق این تعریف کسر حجمی برای جریان مایع کامل صفر و جریان گاز کامل یک است. تکنیک‌های زیادی برای اندازه‌گیری کسر حجمی در جریان دو فازی ابداع شده‌است که یکی از مهم‌ترین آن ها روش بستن سریع شیر است که بر اساس گذاشتن دو شیر در قسمتی از لوله و بستن سریع دو شیر و در نهایت اندازه‌گیری حجمی گاز و مایع می‌باشد که روش دقیقی است. اما مهم‌ترین عیب آن متوقف کردن کامل جریان است . در این روش با محاسبه حجم مایع و داشتن حجم کل ،کسر حجمی محاسبه شده و با استفاده از آن می توان ضخامت فیلم مایع را در جریان حلقوی طبق رابطه زیر بدست آورد.

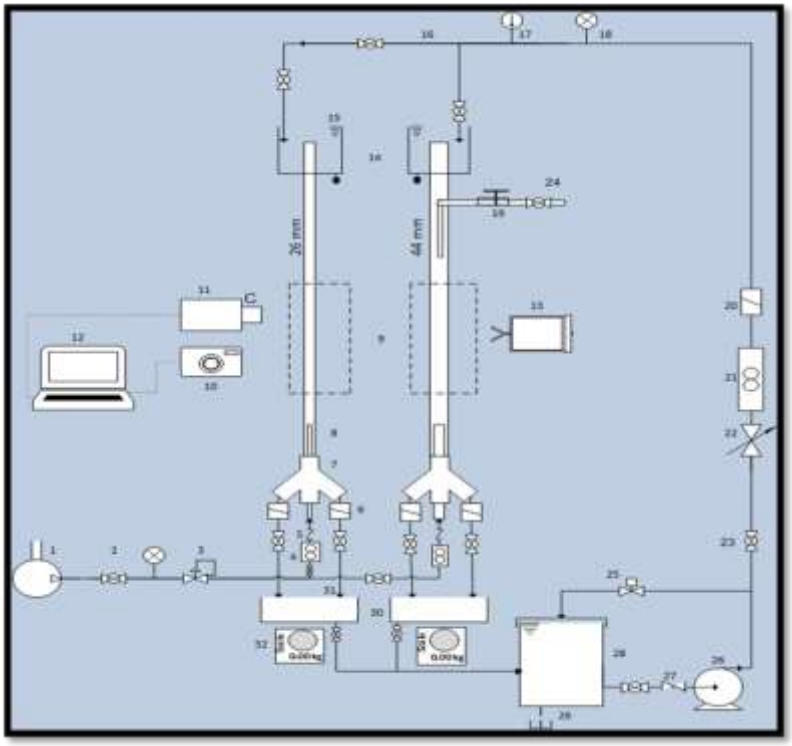
$$(1-\alpha)=\frac{4\times\delta}{D} \qquad (۱)$$

۲) بخش نمونه‌برداری ایزوسینتیک: یک سیستم نمونه‌برداری ایزوسینتیک مطابق شکل (۲) برای تعیین پارامتر کسر اینترینمنت به کار گرفته شد. این بخش در فاصله ۱۴۰۰ میلی متری پایین‌دست ورودی گاز واقع است . این سیستم یک پروب ایزوسینتیک به قطر ۷.۶ میلی متر ، یک مخزن کوچک ۱۰ لیتری و یک روتامتر گازی دارد. برای اطمینان از شرایط ایزوسینتیک، دو شیر توپی در مسیر لوله اتصالی از پروپ به مخزن ذخیره قطرات مایع ، سرعت نمونه‌برداری را کنترل کردند تا اطمینان حاصل شود که سرعت گاز در پروب با سرعت گاز در لوله یکسان است. در هر آزمایش، پروب نمونه‌برداری ایزوسینتیک در عرض لوله حرکت کرد تا نمونه‌ها در مکان‌های مختلف بدست آیند. قطرات مایع از طریق پروپ که به مخزن متصل بود جمع آوری شدند در حالیکه گاز نمونه‌برداری شده از طریق روتامتر گازی به جو فرستاده شد. سپس مخزن وزن شد تا سرعت قطرات مایع و پیوستن به جریان گاز بدست آید. این حجم مایع و زمان نمونه‌برداری برای تعیین شار پارامتر کسر اینترینمنت به کار رفتند.

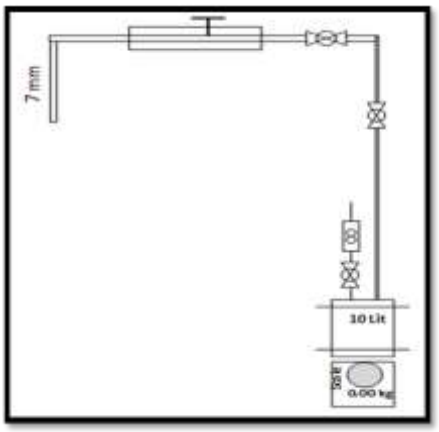
برای ثبت ساختار جریان های دو فازی آب – هوا در سرعت های مختلف و به دست آوردن الگوهای جریانی مختلف، از روش ثبت تصاویر با استفاده دوربین های سرعت بالا نیکون مدل D72 با سرعت فیلم برداری 240 f/s فریم بر ثانیه و دوربین کاسیو مدل (EX-ZR1200) با سرعت فیلم برداری 240 f/s و ثبت تصاویر با کیفیت 16/1mpic استفاده شده است. دوربین ها برای ثبت تصاویر در ارتفاع از سطح پایینی لوله تنظیم شده اند. فاصله دوربین از لوله ها بسته به شرایط جریان داخل لوله، بین 15-20 cm متغیر بوده ولی به طور متوسط تصاویر تهیه شده طولی معادل 15 cm از لوله را به طور واضح پوشش می دهند. همچنین نور سفید با فاصله مناسب از پشت لوله آزمایش به صفحاتی مات و سفید می تابد که این صفحات موجب پخش شدن نور به بخش وسیع تری از داخل لوله شده و منجر به متمرکز کردن لنز از دوربین بر روی ساختار جریان می شود که تأثیر بسیار به سزایی بر افزایش کیفیت تصاویر ثبت شده دارد. در این سیستم آزمایشگاهی قبل از ورود گاز به لوله ی آزمایش، یک شیر یک طرفه و یک شیر برقی نصب شده است که تا حد زیادی از نفوذ و برگشت آب در مسیر هوا جلوگیری می شود. هوا از طریق ورودی با قطر داخلی ۲۰ میلی متر و آب از طریق ورودی با قطر داخلی ۲۰ میلی متر وارد لوله ی آزمایش می شود.

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-07]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.2.1.4]



شکل ۱: شماتیک دستگاه آزمایشگاهی و اجزای تشکیل دهنده برای جریان دوفاز در لوله های عمودی پلکسی گلاس



شکل ۲: بخش نمونه‌برداری ایزوسینتیک

جدول ۱: اجزای تشکیل دهنده دستگاه آزمایش دوفازی عمودی

شماره و نام تجهیز	شماره و نام تجهیز	شماره و نام تجهیز	شماره و نام تجهیز
1.Air compressor	9.Test section	17.Thermo meter	25.By pass valve
2. Ball valve Gas	10.Digital camera	18. Pressure Gauge	26. Pump
3. Regulator Gas	11.Video camera	19.Iso kenetic probe	27. Check valve water
4.Flow meter(Gas)	12.Laptop	20. Electrical valve	28. Storage water Tank
5.Check valve Gas	13.LED Projector	21.Flow meter(water)	29. Drain
6.Electrical valve water	14.Water Open Vessel	22.Gate valve	30. Water open vessel
7.Three way junction	15.Water surface	23.water barrel	31. water outlet Line
8.Gas inlet	16.Water Line	24. Flow meter(gas)	32. Digital Scale

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-07]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.2.1.4]

۳-تعیین الگوی جریان

یکی دیگر از اهداف انجام این پژوهش ، به دست آوردن الگوهای جریان دو فازی غیر همسو در لوله های عمودی با قطرهای 44mm و 26 mm و همچنین بررسی تأثیر قطر لوله بر مرزبندی الگوها است. ساده ترین روش برای ایجاد یک نقشه الگوی جریان، تعیین منطقه هر الگوی جریان با سرعت ظاهری جریان گاز (u_{sg}) و سرعت ظاهری جریان مایع (u_{sl}) و سپس ایجاد ارتباط بین آنها به عنوان محورهای افقی و عمودی است.

۳-۱- نتایج الگوی جریان مربوط به لوله 26 mm

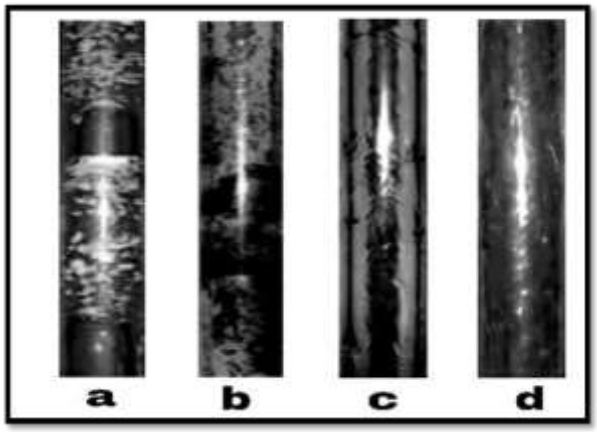
برای این لوله نسبت طول به قطر داخلی L/D=76.92 بوده و آزمایش برای ۶۴ حالت متناظر با سرعت های ظاهری فازها انجام شده است محدوده ی سرعت ظاهری آب بین ۰.۰۳-۰.۳ m/s و محدوده ی سرعت ظاهری هوا بین ۱۰.۵-۲۸ m/s می باشد. در نقاط با سرعت های ظاهری کم هوا، هیچ گونه الگوی جریان دو فازی، تشکیل نشد که این امر به دلیل ستون آب و جلوگیری از ورود هوا بود. به تدریج با افزایش سرعت ظاهری هوا الگوهای لخته ای، کف آلود ، حلقوی و طغیان مشاهده شدند.

رژیم لخته ای اولین رژیمی است که مشاهده می شود در این رژِیم مقداری آب که حاوی تعداد زیادی حباب کوچک است و در حال دنبال کردن حباب تیلور هستند ملاحظه شد. حباب تیلور مشاهده شده در این لوله به صورت یک گنبد چتری شکل گازی است که نمونه ای از آن در شکل (a-3) نشان داده شده است. پس از آن با افزایش سرعت فاز گاز، حباب های تیلور شکسته شده و جریان ناپایدار و انتقالی بین دو جریان لخته ای و حلقوی شکل خواهد گرفت.در این رژیم، هوا تحت تأثیر مومنتم خود آب را به سمت بالا می راند و آب هم پس از بالا رفتن به دلیل چگالی بالایی که نسبت به هوا دارد به قسمت های پایین لوله باز می گردد که باعث می شود در این جریان حرکت های نوسانی به سمت بالا و پایین رخ دهد (شکل b-3). سپس در این وضعیت ترکیبی از هر دو رژیم کف آلود و حلقوی مشاهده شده است. در یک بازه ی زمانی جریان به شدت آشفته و نوسانی بوده و پس از خروج بیشتر آب از لوله، جریان از این حالت خارج شده و برای مدتی به جریان حلقوی تغییر حالت می دهد با انباشته شدن دوباره آب این وضعیت تکرار می شود . پس از آن جران حلقوی به تنهایی در وسط لوله جریان می یابد و تنها لایه ای از آب در اطراف لوله قرار دارد و شکلی مانند یک استوانه ی تو خالی را ایجاد می کند. جریان حلقوی به عنوان یک هسته ی گازی تعریف می شود که با لایه پیوسته مایع مجاور لوله احاطه شده است (شکل c-3). در انتها جریان طغیان به گونه ای است که سرعت هوا بسیار بیشتر از سرعت آب است و بنابراین در مقطع از لوله، هوا از سرازیر شدن آب جلوگیری کرده و آب را به سمت بالا می راند. در این وضعیت جریان از حالت غیر همسو خارج شده و به جریان همسو و رو به بالا تبدیل می شود و به پدیده ی طغیان تبدیل می شود (شکل d-3). فلادینگ با روش انتقال امواج حلقوی شکل به سمت بالا در لوله با قطر ۲۶ میلی متر و کوچکتر رخ می‌دهد در دبی‌های جرمی کم گاز جریان فیلم مایع دچار اغتشاش نمی‌شود در دبی‌های جرمی بزرگ‌تر گاز امواج با دامنه بزرگ در نزدیکی خروجی مایع شکل می‌گیرند و قطراتی از فیلم کنده می‌شوند هرچند این قطرات در فاصله کوتاهی از نقطه جدایش به مایع برمی‌گردد و به قسمت بالای مقطع آزمایش نمی‌رسند با افزایش بیشتر دبی گاز قطرات بیشتری از مایع وارد گاز می‌شود اما قبل‌از این‌که تعداد این قطرات به مقدار قابل‌توجهی برسد امواج حلقوی شکلی در فصل مشترک دو فاز شکل می‌گیرد که برخی از این امواج توسط جریان گاز برای فاصله کوتاهی به سمت بالا برده می‌شود با افزایش بیشتر جریان گاز دامنه امواج حلقوی شکل به‌قدری بزرگ می‌شود که سطح مقطع در دسترس جریان گاز محدود می‌شود در برخی اوقات امکان دارد این امواج به یکدیگر برسند و سطح مقطع عبوری گاز کاملاً بسته شود . در این مرحله بعد

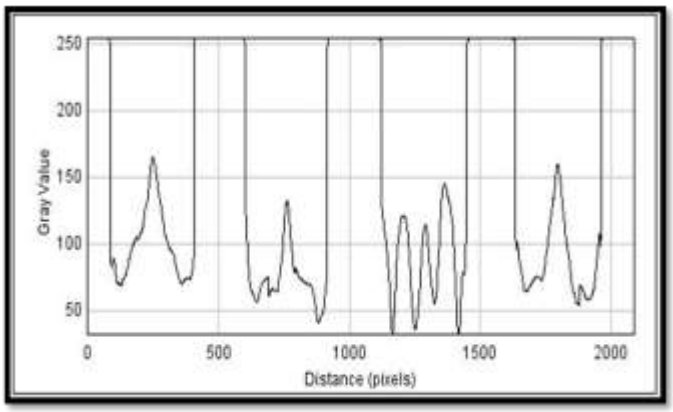
[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-07]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.2.1.4]

زیر از این امواج تا بالاتر از ورودی مایع توسط گاز به سمت بالا برده می‌شود و حتی ممکن است تمام لوله را در بر بگیرند با ثابت نگه‌داشتن دبی گاز و مایع متناوباً امواج در نزدیک خروجی مایع تشکیل می‌شود و توسط گاز تا بالاتر از ورودی مایع به سمت بالا برده می‌شود که فلادینگ در این مرحله اتفاق می‌افتد درون امواجی که به سمت بالا حرکت می‌کنند مقادیر زیادی حباب وجود دارد در هنگام وقوع فلادینگ گرادیان فشار به‌طور ناگهانی افزایش می‌یابد به‌همین دلیل گرادیان فشار شاخص خوبی برای وقوع فلادینگ در لوله‌هایی با قطر کوچک می‌باشد . تصاویر پردازش شده رژیم های مختلف جریان برای لوله با قطر داخلی ۲۶ میلی متر در شکل(۴) نشان داده شده است.الگوهای جریان مشاهده در لوله 26 mm، در شکل (۵) نمایش داده شده است. در این تصویر که بر اساس نرم افزار design expert طراحی شده است کد ۱: slug flow، کد ۲: annular flow، کد ۳: flooding flow می باشد. جریان کف آلود به دلیل اینکه جریان ناپایدار می باشد در کد گذاری آورده نشده است. همانگونه که در این شکل مشاهده می گردد، جریان مناسبَ مورد استفاده در این پژوهش جریان آنولار (حلقوی) می باشد.



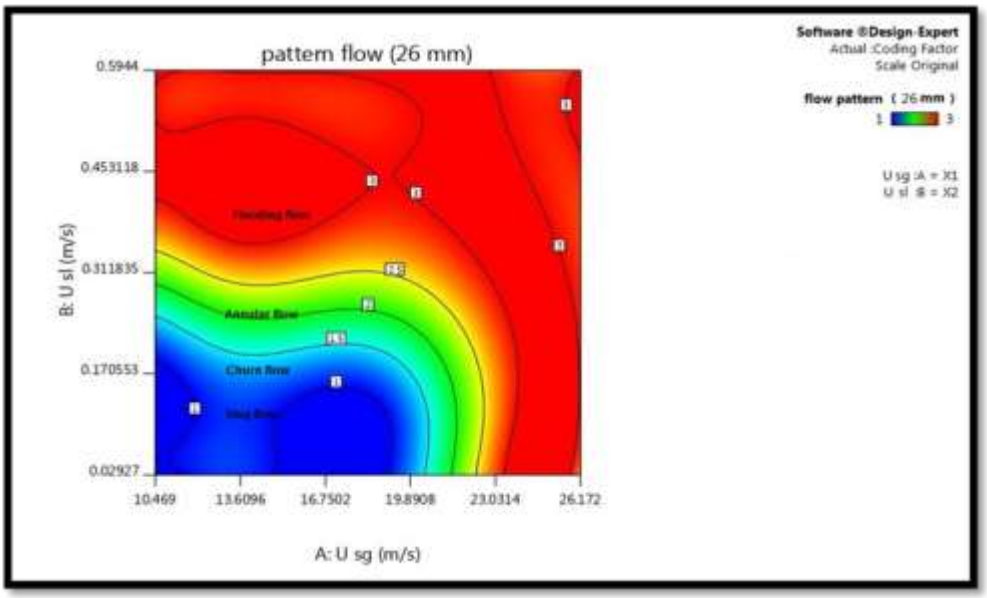
شکل ۳ : الگوهای جریان مشاهده شده برای لوله با قطر ۲۶ میلی متر a) لخته ای، b) کف آلود، c) حلقوی، d) جریان طغیان



شکل ۴ : تصاویر پردازش شده رژیم های مختلف جریان درتحقیق حاضر

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-07]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.2.1.4]



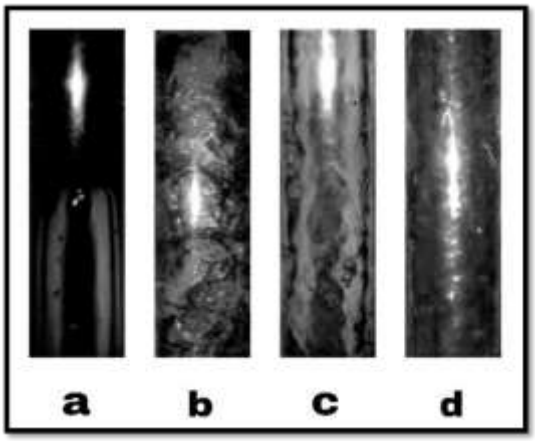
شکل ۵ : الگوهای جریان برای لوله‌ی ۲۶ میلی متر

۳-۲-نتایج الگوی جریان مربوط به لوله ۴۴ mm

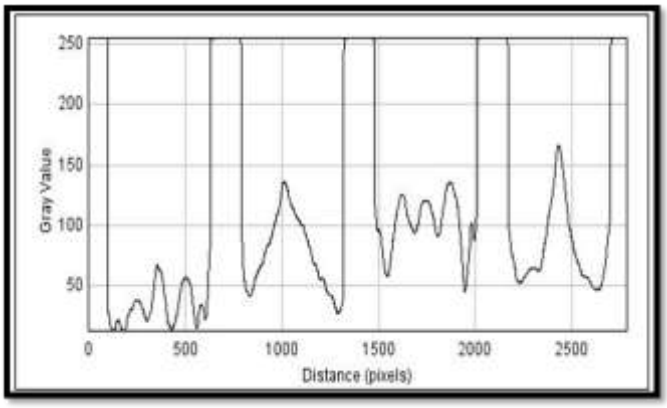
برای این لوله نسبت طول به قطر داخلی L/D=45.45 بوده و آزمایش برای ۶۴ حالت انجام شده است. محدوده ی سرعت ظاهری آب بین ۰.۰۱۰۳۷-۰.۲۰۷۵ m/s و محدوده ی سرعت ظاهری هوا بین ۳.۶۵۵۵-۹.۱۳۸ m/s می باشد. الگوهای مشاهده شده در این حالت شامل الگوهای اصلی لخته ای – متلاطم، حلقوی ، و جریان طغیان می باشد. محدوده ی رژیم لخته ای نسبت به لوله ی 26 mm مقداری کمتر شده و همچنین حباب های تیلور مشاهده شده نسبتاً سرعت کمتر و اندازه ی کوچک تری دارند افزایش حجم فاز آب و فشار ناشی از آن دلیل این تغییرات است (شکل 6-a). پس از این جریان، رژیم کف آلود اتفاق می افتد که حد فاصل بین رژیم لخته ای و حلقوی است. محدوده ی بزرگ تری را نسبت به لوله ی 26 mm در بر گرفته است. از یک سو با توجه به از هم پاشیدن سریع تر حباب های تیلور، بخشی از رژیم لخته ای در لوله ی کوچک تر به جریان کف آلود تبدیل شده است و از سوی دیگر با افزایش حجم آب درون لوله، هوا قدرت کمتری برای نفوذ به مرکز لوله دارد و بخشی از رژیم حلقوی نیز در این لوله با رژیم کف آلود جایگزین شده است (شکل 6-b). سپس در این وضعیت ترکیبی از هر دو رژیم کف آلود و حلقوی مشاهده شده است .سپس رژیم حلقوی مشاهده می گردد که در واقع افزایش محدوده ی ناشی از ناتوانی فاز گاز در راندن آب و تشکیل جریان طغیان نسبت به لوله 26 mm است که در نتیجه آن بخشی از نقاط متناظر با جریان طغیان جزئی در لوله کوچکتر، در شرایط فعلی به رژیم حلقوی ، تغییر یافته است. همان طور که پیش تر اشاره شد، محدوده ی رژیم متلاطم با مقداری گسترش همراه بوده که باعث به تآخیر افتادن شروع رژیم حلقوی است (شکل c-6). در انتها جریان طغیان درمقایسه با لوله 26 mm ، جریان طغیان تغییرات نسبتا زیادی را محدوده ی خود متحمل شده است. جریان طغیان مشاهده شده در راندن کامل آب به خارج از لوله ناتوان بوده و تعادل ناشی از اندر کنش بین مومنتم گاز و نیروی جاذبه ی مایع در سطح مقطعی از لوله اتفاق می افتد (شکل 6-d). وقوع فلادینگ با روش اینترینمنت در لوله با قطر ۴۴ میلی متر و بزرگتر با دبی‌های کم مایع رخ می‌دهد زمانی‌که دبی گاز افزایش می‌یابد قطرات کوچکی در نزدیکی خروجی مایع شکل می‌گیرد اما این قطرات در همین ناحیه دوباره به فیلم مایع برمی‌گردند با افزایش بیشتر دبی گاز تعداد قطرات

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-07]
[DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.2.1.4]

افزایش می‌یابد و در قسمت‌های بالاتر مقطع قابل‌مشاهده هستند با افزایش کافی دبی گاز قطرات در بالاتر از ورودی مایع تا خروجی گاز قابل‌مشاهده هستند در این شرایط قسمت کمی از دبی مایع از بالای لوله خارج می‌شود که این مقدار قابل‌اندازه‌گیری می‌باشد فلادینگ در این مرحله رخ داده‌است امواج بزرگ که به سمت بالا حرکت می‌کنند مشاهده نمی‌شود اما در بعضی موارد امواجی فقط در نیمه پایینی لوله دیده می‌شود با افزایش بیشتر جریان گاز فقط تعداد قطرات افزایش می‌یابد و امواجی بالا رونده به وجود نمی‌آید درهنگام فلادینگ در این مکانیزم افت فشار افزایش نمی‌یابد ملاک قرار دادن افت فشار برای وقوع فلادینگ در این مکانیزم نادرست می‌باشد. تصاویر پردازش شده رژیم های مختلف جریان برای لوله با قطر داخلی 44 میلی متر در شکل(7) نشان داده شده است.الگوهای جریان مشاهده در لوله 44 mm ، در شکل (۸) نمایش داده شده است. در این تصویر که بر اساس نرم افزار design expert طراحی شده است کد ۱: slug flow، کد ۲: annular flow، کد ۳:flooding flow می باشد. جریان کف آلود به دلیل اینکه جریان ناپایدار می باشد در کد گذاری آورده نشده است. همانگونه که در این شکل مشاهده میگردد، جریان مناسبَ مورد استفاده در این آزمایش جریان آنولار یا همان حلقوی می باشد.



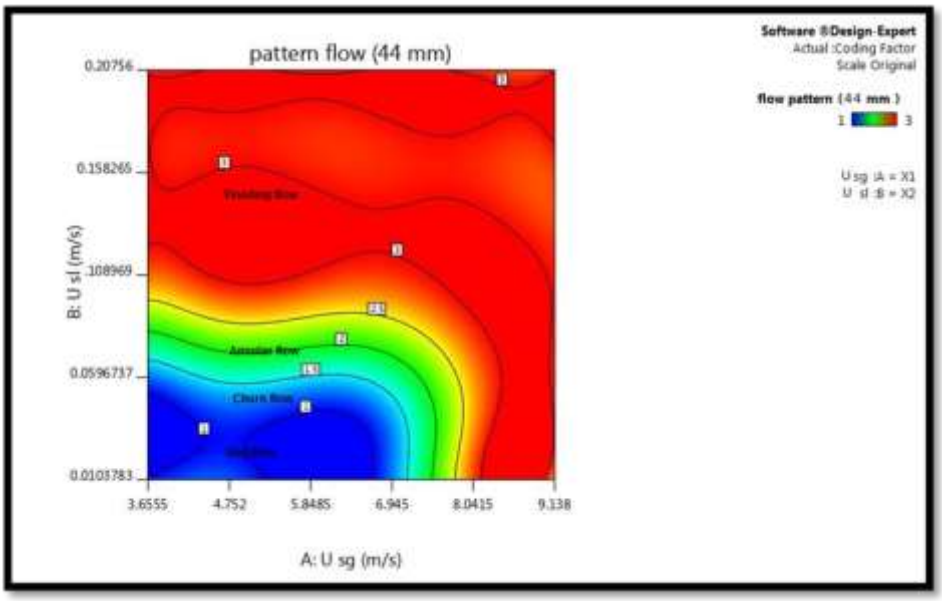
شکل ۶ : الگوهای جریان مشاهده شده برای لوله با قطر ۴۴ میلی متر a) لخته ای، b) کف آلود، c) حلقوی، d) جریان طغیان



شکل ۷ : تصاویر پردازش شده رژیم های مختلف جریان درتحقیق حاضر

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-07]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.2.1.4]



شکل ۸ : الگوهای جریان برای لوله‌ی ۴۴ میلی متر

۴-تِئوری تنش برشی در فصل مشترک جریان دوفازی

در جریان حلقوی یک ناصافی در سطح مایع به وجود می آید بدین صورت که در جریان حلقوی هوا در وسط و مایع در اطراف است. بنابراین جریان هوا یا گاز در میان باعث یک ناصافی یا ناهمواری در سطح مایع می شود، زیرا مایع سرعت کمتری از گاز دارد و قطراتی را که از سطح مایع جدا می کند به همراه بخار یا گاز به حرکت در می آید. بنابراین به قطراتی که از مایع جدا شده و به همراه گاز به حرکت در می آیند اینترینمنت گفته می شود. و با حرف e نشان داده می شود که محدوده آن بین $0 \leq e \leq 1$ می باشد. برای محدوده اینترینمنت ابتدا و انتها به صورت زیر می باشد:

اگر $e = 0$ هیچ قطره ای از مایع جدا نشده باشد و اگر $e = 1$ همه قطرات از مایع جدا شده باشند. این پدیده باعث می شود که چگالی گاز بیشتر از چگالی گاز خالص باشد و به چگالی مخلوط ρ_{mix} برسد. بنابراین تنش برشی و ضریب اصطکاک فصل مشترک به صورت ذیل محاسبه می شود:

$$\tau_i = \left[\left(-\frac{dp}{dz}F\right)_{TP} + \left(\rho_{mix} \times g\right)\right] \times \left(\frac{D-2\delta}{4}\right) \qquad (۲)$$

۵-آنالیز آماری

در راستای یافتن بهترین شرایط برای محاسبه ضخامت فیلم مایع و کسر اینترینمنت ، از روش سطح پاسخ[1] و هیستوریکال دیتا، استفاده شد. .طرح انتخابی، طرح هیستوریکال دیتا بود که بر این اساس ۲۰ داده آزمایش مربوط به جریان حلقوی به نرم افزار طراحی دیزاین اکسپرت وارد و نتایج ارائه گردید. به منظور تحلیل داده ها از روش سطح پاسخ و مدل استفاده شده از نوع Quadratic می باشد. متغیرهای ورودی برای این بخش شامل سرعت ظاهری فاز گاز (U_{sg})، سرعت ظاهری فاز مایع (U_{sl})

[2] Response Surface

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-07]
[DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.2.1.4]

و متغیرهای خروجی مورد بررسی شامل ضخامت فیلم مایع و کسر اینترینمنت برای لوله های عمودی شفاف با قطرهای داخلی ۲۶ میلی متر و ۴۴ میلی متر استفاده شده است. نرم افزار دیزاین اکسپرت از دو پارامتر آماری P-value و F-value به منظور بررسی پارامترهای مورد استفاده در این مطالعه استفاده می‌کند. همان گونه که در ستاپ این نرم افزار تعریف شده است، مقادیر P-value هنگامی که $P < 0.05$ و F-value هنگامی که $F > 100$ باشد آن متغیر معنی دار است و در غیر این صورت متغیر معنی دار نبوده و آن متغیر را می بایست حذف کنیم. در این تحلیل از دو فاکتور کمی سرعت ظاهری گاز ($A: U_{sg}$) و سرعت ظاهری مایع ($B: U_{sl}$) به منظور بررسی و تحلیل برای ضخامت فیلم مایع و کسر اینترینمنت استفاده شده است.

۶-نتایج و بحث

به منظور بررسی نتایج مدل های آماری نرم افزار از طریق مقایسه و بررسی ضریب همبستگی، میانگین حداقل خطای مربعات، F-value و P-value ، بررسی مدل ANOVA، بررسی تصویری و گرافیکی تاثیر متغیرهای مستقل استفاده شده است. هر کدام از مقادیر A و B و حاصلضرب A در B نشان داده شده در جدول (۲) به ترتیب نشان دهنده ی سرعت ظاهری گاز، سرعت ظاهری مایع و حاصلضرب سرعت ظاهری مایع در سرعت ظاهری گاز می باشد. جدول (۲) نتایج ارائه شده برای میزان ضخامت فیلم مایع و کسر اینترینمنت برای لوله ۲۶ میلی متر می باشد. مقادیر P-value و F-value نشان داده شده در جدول ، گویای این مطلب است که متغیرهای ورودی A، B، AB و A^2 برای تعیین ضخامت فیلم مایع در لوله ۲۶ میلی متری معنی دار بوده ولی ترم B^2 که معرف توان دوم متغیر U_{sl} می باشد یک مقدار بی معنی می باشد. متغیرهای ورودی A، B، AB و B^2 برای تعیین کسر اینترینمنت در لوله ۲۶ میلی متری معنی دار بوده ولی ترم A^2 که معرف توان دوم متغیر U_{sg} می باشد برای تعیین کسر اینترینمنت بی معنی می باشد و از محاسبات حذف خواهند شد. حذف این پارامترها تاثیر بسیار زیادی در پیش بینی بهتر مقدار کسر اینترینمنت و ضخامت فیلم مایع برای لوله ۲۶ میلی متر را نشان می دهد.

در جدول (۳)، بررسی ها نشان می دهد که متغیرهای ورودی A، B، AB و A^2 برای تعیین ضخامت فیلم مایع در لوله ۴۴ میلی متری معنی دار بوده ولی ترم B^2 که معرف توان دوم متغیر U_{sl} می باشد ، مقدار بی معنی می باشد.

متغیرهای ورودی A، B، AB و B^2 برای تعیین کسر اینترینمنت در لوله ۴۴ میلی متری معنی دار بوده ولی ترم A^2 معرف توان دوم متغیر U_{sg} می باشد برای تعیین کسر اینترینمنت بی معنی می باشد و از محاسبات حذف خواهند شد. حذف این پارامترها تاثیر بسیار زیادی در پیش بینی بهتر مقدار کسر اینترینمنت و ضخامت فیلم مایع برای لوله عمودی ۴۴ میلی متر را نشان می دهد.پاسخ های مورد بررسی شامل ضخامت فیلم مایع و کسر اینترینمنت در جداول (۱) و (۲) آورده شده است. در مورد هر دو پاسخ مقادیر بهینه شده با مدل درجه دو تعریف شدند. ضرایب هبستگی برای مقدار ضخامت فیلم مایع و کسر اینترینمنت برای لوله عمودی ۲۶ میلی متر به ترتیب ۰.۹۹۶۶ و ۰.۹۸۰۶ بوده و برای لوله عمودی ۴۴ میلی متر به ترتیب ۰.۹۹۵۷ و ۰.۹۸۶۶ می باشد. این نتایج نشان می دهد که دقت عملکرد مدل های ارائه شده برای لوله‌های عمودی ۲۶ میلی متر و ۴۴ میلی متر برای یافتن مقدار ضخامت فیلم مایع و کسر اینترینمنت در حد بالا می باشد. با مقایسه ی مقادیر جدول(۲) و (۳) ، به این نتیجه می رسیم که با توجه به دید تجربی و مهندسی مدل همبستگی بدست آمده DOE زیر مدل خوبی برای پیش بینی ضخامت فیلم مایع و کسر اینترینمنت می باشد. فرمول های نهایی برای ضخامت فیلم مایع و کسر اینترینمنت برای لوله ۲۶ میلیمتر خروجی از نرم افزار دیزاین اکسپرت به صورت (۳) و (۴) می باشد:

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-07]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.2.1.4]

جدول ۲ : تجزیه و تحلیل مدل *ANOVA* به منظور تعیین اثربخشی پارامترهای ورودی در تعیین میزان ضخامت فیلم مایع و کسر اینترینمنت برای لوله با قطر داخلی ۲۶ میلی متر.

Type of Output	Source	Sum of squares	df	Mean square error	F-value	p-value
Film Thickness	Model	0.3016	5	0.0603	1100.78	< 0.0001
	A-U_{sg}	0.1760	1	0.1760	3211.46	< 0.0001
	B-U_{sl}	0.0781	1	0.0781	1425.49	< 0.0001
	AB	0.0090	1	0.0090	165.10	< 0.0001
	A^2	0.0120	1	0.0120	218.36	< 0.0001
	B^2	4.256E-06	1	4.256E-06	0.0776	0.7835
	Residual	0.0010	19	0.0001		
	Cor Total	0.3027	24			
entrainment	Model	0.0630	4	0.0158	252.39	< 0.0001
	A-U_{sg}	0.0154	1	0.0154	246.85	< 0.0001
	B-U_{sl}	0.0454	1	0.0454	727.42	< 0.0001
	AB	0.0010	1	0.0010	15.94	0.0007
	A^2	0.0000	1	0.0000	0.0000	1.0000
	B^2	0.0024	1	0.0024	38.11	< 0.0001
	Residual	0.0012	20			
	Cor Total	0.0643	24			

جدول ۳ : تجزیه و تحلیل مدل *ANOVA* به منظور تعیین اثربخشی پارامترهای ورودی در تعیین میزان ضخامت فیلم مایع و کسر اینترینمنت برای لوله با قطر داخلی ۴۴ میلی متر.

Type of Output	Source	Sum of squares	df	Mean square error	F-value	p-value
Film Thickness	Model	0.3619	5	0.0724	885.91	< 0.0001
	A-U_{sg}	0.1968	1	0.1968	2409.20	< 0.0001
	B-U_{sl}	0.1061	1	0.1061	1298.48	< 0.0001
	AB	0.0141	1	0.0141	172.82	< 0.0001
	A^2	0.0144	1	0.0144	175.88	< 0.0001
	B^2	4.388E-06	1	4.388E-06	0.0537	0.8192
	Residual	0.0016	19	0.0001		
	Cor Total	0.3635	24			
entrainment	Model	0.7039	5	0.1408	278.75	< 0.0001
	A-U_{sg}	0.1045	1	0.1045	206.94	< 0.0001
	B-U_{sl}	0.5975	1	0.5975	1182.99	< 0.0001
	AB	0.0104	1	0.0104	220.59	< 0.0001
	A^2	0.0000	1	0.0000	0.0000	1.0000
	B^2	0.0182	1	0.0182	116.28	< 0.0001
	Residual	0.0096	20	0.0005		
	Cor Total	0.7135	24			

$$\delta = 0.492721 - 0.061789U_{sg} + 2.20712U_{sl} - 0.080279(U_{sg} \times U_{sl}) + 0.001909{U_{sg}}^2 \quad (۳)$$

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-07]
[DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.2.1.4]

$$e = 0.110673 + 0.013940U_{sg} - 0.554152U_{sl} - 0.026622(U_{sg} \times U_{sl}) + 3.06992{U_{sl}}^2 \quad (۴)$$

فرمول های نهایی برای ضخامت فیلم مایع و کسر اینترینمنت برای لوله ۴۴ میلیمتر خروجی از نرم افزار به صورت (۵) و (۶) می باشد:

$$\delta = 0.538563 - 0.192970U_{sg} + 11.31461U_{sl} - 1.22851(U_{sg} \times U_{sl}) + 0.017155{U_{sg}}^2 \quad (۵)$$

$$e = -0.271809 + 0.068222U_{sg} + 4.48380U_{sl} - 0.631554(U_{sg} \times U_{sl}) + 88.26266{U_{sl}}^2 \quad (۶)$$

به منظور بررسی نتایج حاصله از داده های آزمایشگاهی و معادلات تجربی محققان دیگر از پارامترهای آماری percentage error (PE), mean squared error (MSE), mean relative error (MRE), root mean squared error (RMSE), mean absolute relative error (MARE), coefficient of determination (R^2), and standard deviation (STD). استفاده شده است که در جدول (۳) نشان داده شده است [۳۱, ۳۲].

در نهایت اطلاعات آزمایشگاهی بدست آمده شده برای تعیین ضخامت فیلم مایع برای لوله ۲۶ میلی متر و ۴۴ میلی متر با محققانی همچون شوبرینگ و همکاران [۲۷] و رحمان و همکاران [۲۸] با استفاده از معیارهای آماری مورد مقایسه قرار گرفت که نتایج آن ها در جدول (۴) گزارش شده است. نتایج ارائه شده در جدول نشان می دهد که برای لوله ۲۶ میلی متر، دقت عملکرد هر دو محقق بسیار نزدیک بوده ولی دقت عملکرد مدل شوبرینگ و همکاران بهتر از مدل رحمان و همکاران می باشد. همچنین نتایج ارائه شده برای لوله ۴۴ میلی متر، نشان می دهد که دقت عملکرد مدل شوبرینگ و همکاران بهتر از مدل رحمان و همکاران بوده و نتایج قابل قبول تری را ارا ئه می دهد.

جدول ۴ : نتایج آماری تعیین دقت عملکرد برای پیش بینی ضخامت فیلم مایع برای جریان دوفازی در لوله عمودی.

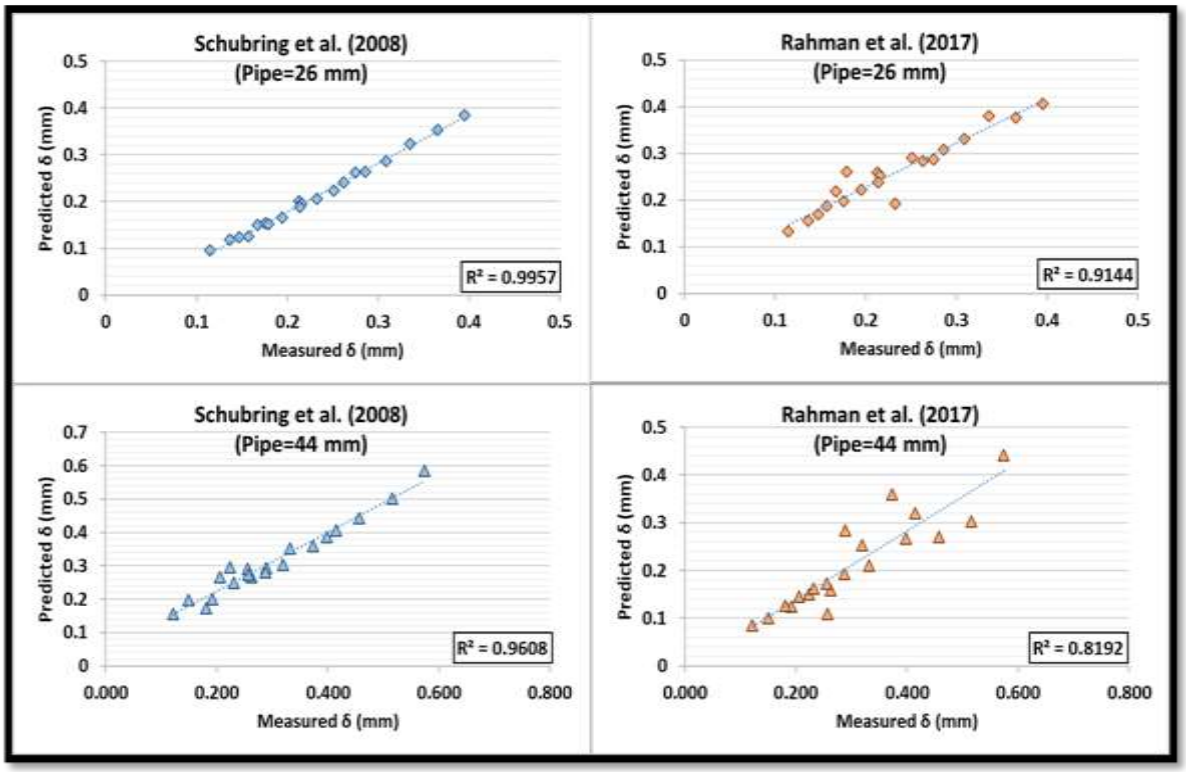
Pipe Size	Models	ARE	AARE	STD	MSE	RMSE	R^2
mm	-	(%)	(%)	(mm)	(mm)	(mm)	-
26 mm	Schubring et al. (2008)	10.342	10.342	0.006	4.693E-04	0.02166	0.9957
	Rahman et al. (2017)	-13.380	15.064	0.022	1.210E-03	0.03479	0.9949
44 mm	Schubring et al. (2008)	-7.132	9.528	0.025	7.996E-04	0.02828	0.9608
	Rahman et al. (2017)	30.185	30.185	0.052	1.080E-02	0.10391	0.8192

شکل (۹)، نشان دهنده ی نمودار متقاطع تعیین ضخامت فیلم مایع محاسبه شده در برابر انداز گیری شده به منظور بررسی نتایج آزمایشگاهی برای مدل محققان دیگر می باشد. در نتایج جدول (۳) و شکل (۹) مشاهده می گردد، مدل شوبرینگ و

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-07]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.2.1.4]

همکاران نتایج نزدیکتری به نتایج حاصل شده از آزمایش داشته و دقت عملکرد بهتری را برای لوله های ۲۶ میلی متر و ۴۴ میلی متر از خود نشان می‌دهد.



شکل ۹ : نمودار متقاطع تعیین ضخامت فیلم مایع محاسبه شده در برابر انداز گیری شده به منظور بررسی نتایج آزمایشگاهی برای مدل محققان دیگر (لوله ۲۶ میلی متر و ۴۴ میلی متر)

جدول ۵ : نتایج آماری تعیین دقت عملکرد برای تعیین کسر اینترینمنت برای جریان دوفازی در لوله عمودی.

Pipe Size	Models	ARE	AARE	STD	MSE	RMSE	R^2
mm	-	(%)	(%)	(mm)	(mm)	(mm)	-
26 mm	Wallis (1968)	-8.266	17.518	0.042	1.848E-03	0.0438	0.4045
	Oliemans and Pots (1986)	-2.073	4.960	0.018	3.595E-04	0.0190	0.8603
	Ishii and Mishima (1989)	1.857	12.265	0.070	5.591E-03	0.0740	0.3872
	Pan and Hanratty (2002)	-0.152	8.991	0.033	1.072E-03	0.0327	0.6240
44 mm	Wallis (1968)	-3.114	7.606	0.056	1.167E-03	0.0342	0.9373
	Oliemans and Pots (1986)	-3.114	7.606	0.032	5.111E-03	0.0715	0.7890
	Ishii and Mishima (1989)	6.886	9.665	0.049	3.709E-03	0.0609	0.8348
	Pan and Hanratty (2002)	-3.201	16.387	0.072	5.163E-03	0.0719	0.7123

علاوه بر آن شکل (۹) نشان می دهد که مدل رحمان و همکاران برای لوله ۴۴ میلی متر از دقت عملکرد پایین تری برخوردار می باشد در نتیجه این مدل را نمی توان برای لوله های بالاتر از ۲۶ میلی متر استفاده کرد. به منظور مقایسه و بررسی مدل محققان دیگر برای پیش بینی کسر اینترینمنت در لوله های ۲۶ میلی متر و ۴۴ میلی متر از نتایج ارائه شده در جدول (۵)

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-07]
[DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.2.1.4]

می توان بهره برد. همان گونه که از نتایج ارائه شده در این جدول مشاهده می گردد، بهترین دقت عملکرد به منظور تعیین کسر اینترینمنت برای لوله ۲۶ میلی متر مربوط به مدل Oliemans and Pots (1986) بوده و پایین ترین دقت عملکرد مربوط به مدل Ishii and Mishima (1989) می باشد. علاوه بر این برای لوله ۴۴ میلی متر، بالاترین و پایین ترین دقت عملکرد به منظور تعیین کسر اینترینمنت به ترتیب برای مدل های Wallis (1968) و Pan and Hanratty (2002) می باشد.

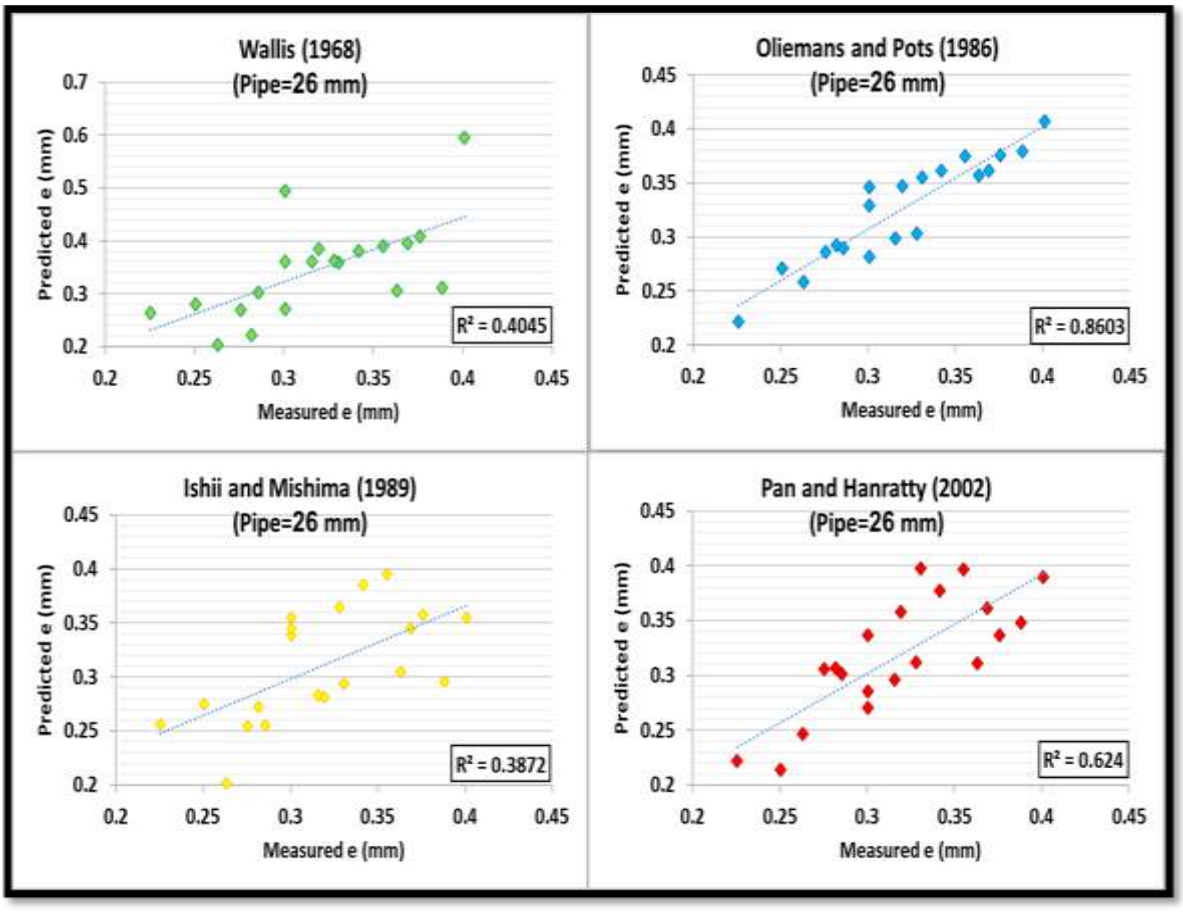
شکل های (۱۰) و (۱۱) به ترتیب نمودار متقاطع تعیین کسر اینترینمنت محاسبه شده در برابر انداز گیری شده در لوله ۲۶ میلی متر و ۴۴ میلی متر به منظور بررسی نتایج آزمایشگاهی برای مدل محققان دیگر را نشان می دهد. این نمودار تعیین کننده ی coefficient of determination برای مدل محققان دیگر می باشد. همان گونه که از نتایج حاصله در این دو شکل (۱۰) و (۱۱) و جدول (۴) دیده می شود دقت عملکرد برای مدل محققان به شرح زیر می‌باشد:

لوله ۲۶ میلی متر:

Oliemans and Pots (1986) > Pan and Hanratty (2002) > Wallis (1968) > Ishii and Mishima (1989)

لوله ۴۴ میلی متر:

Wallis (1968) > Ishii and Mishima (1989) > Oliemans and Pots (1986) > Pan and Hanratty (2002)

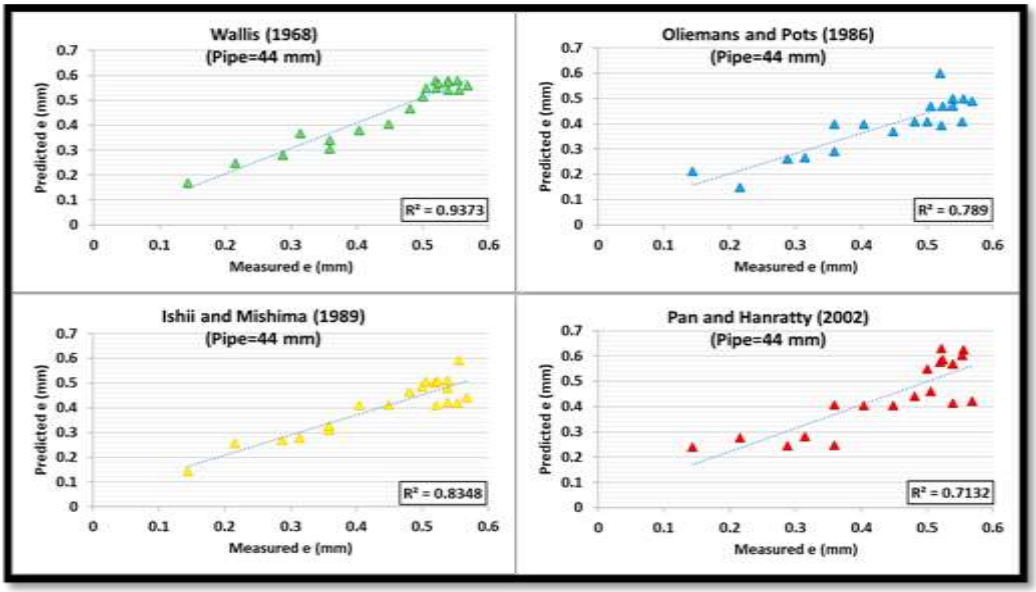


شکل ۱۰: نمودار متقاطع تعیین کسر اینترینمنت محاسبه شده در برابر انداز گیری شده در لوله ۲۶ میلی متر به منظور بررسی نتایج آزمایشگاهی برای مدل محققان دیگر

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-07]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.2.1.4]

از نتایج حاصله در جدول(۵) به این نتیجه می رسیم که استفاده از مدل Ishii and Mishima (1989) به منظور تعیین کسر اینترینمنت برای لوله با سایز ۲۶ میلی متر مناسب نمی باشند و بهترین مدل قابل استفاده برای این سایز از لوله، مدل Oliemans and Pots (1986) می باشد. علاوه بر این، بر اساس نتایج حاصله در جدول(۵) به این نتیجه می رسیم که استفاده از مدل Pan and Hanratty (2002) به منظور تعیین کسر اینترینمنت برای لوله با سایز ۴۴ میلی متر مناسب نمی باشد و بهترین مدل قابل استفاده برای این سایز از لوله، مدل Wallis (1968) می باشد.



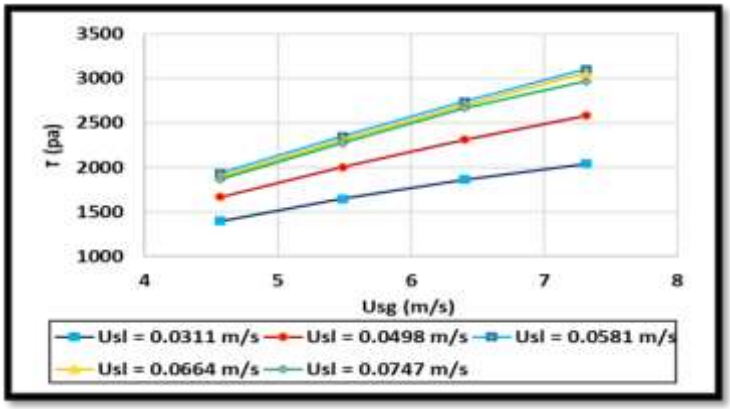
شکل ۱۱: نمودار متقاطع تعیین کسر اینترینمنت محاسبه شده در برابر انداز گیری شده در لوله ۴۴ میلی متر به منظور بررسی نتایج آزمایشگاهی برای مدل محققان دیگر

۷-اعتبارسنجی تنش برشی فصل مشترک برای داده های آزمایشگاهی

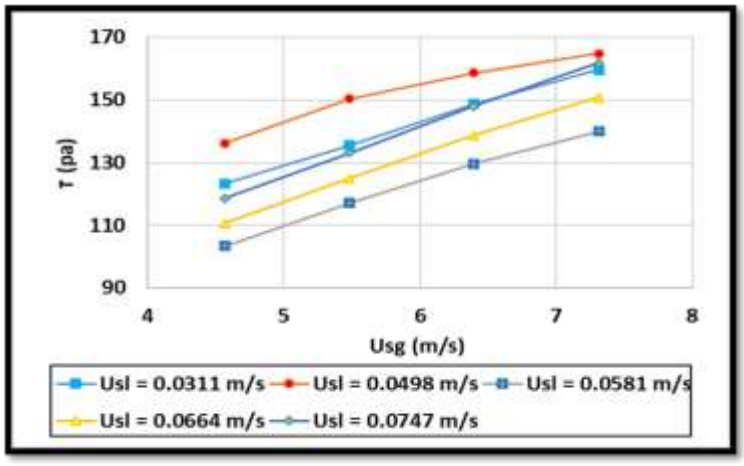
به منظور بررسی اعتبار سنجی تنش برشی فصل مشترک نشان داده شده در معادله (۲)، از ۲۰ نقطه داده ی آزمایشگاهی درالگوی جریان حلقوی در این مطالعه استفاده شده است. شکل (۱۲) و (۱۳) به ترتیب میزان تنش برشی فصل مشترک به ازای سرعت ظاهری گاز برای سرعت های مایع مختلف برای لوله ۲۶ میلی متر و ۴۴ میلی متر را نشان می دهد. همان گونه که در این شکل ها دیده می شود در ابتدا هنگامی که سرعت ظاهری مایع کم است میزان تنش برشی فصل مشترک نیز کم می شود و هنگامی که سرعت ظاهری مایع بالا می رود میزان تنش برشی فصل مشترک نیز یالا می رود. لذا این دو نمودار اعتبار سنجی داده های بدست آمده توسط آزمایش را به ما نشان می دهد. همان گونه که در این شکل ها مشخص است بیشترین تنش برشی فصل مشترک برای لوله ۲۶ میلی متر مربوط به سرعت ظاهری مایع ۰.۰۷۴۷ m/s می باشد و برای لوله ۴۴ میلی متری بیشترین مربوط به سرعت ظاهری مایع ۰.۰۴۹۸ m/s می باشد.

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-07]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.2.1.4]



شکل ۱۲ : میزان تنش برشی فصل مشترک به ازای سرعت ظاهری گاز برای سرعت مایع مختلف برای لوله ۲۶ میلی متر.



شکل ۱۳ : میزان تنش برشی فصل مشترک به ازای سرعت ظاهری گاز برای سرعت مایع مختلف برای لوله ۴۴ میلی متر.

۸-نتیجه گیری

تعیین پارامترهای مهم جریان دوفازی گاز مایع غیر همسو در لوله های عمودی از جنس پلکسی گلاس شفاف برای لوله های متوسط و کوچک یکی از اصول اساسی برای مهندسین مکانیک می باشد. در این مقاله هدف تعیین پارامترهای مهم جریان دوفازی، کسر اینترینمنت ، ضخامت فیلم مایع ، تنش برشی فصل مشترک و ارائه مدل های تجربی آن ها می باشد. نتایج ارائه شده در مقاله به شرح زیر می باشد:

- بررسی مدل ANOVA به منظور تعیین میزان کسر اینترینمنت برای لوله های با قطر ۲۶ میلی‌متر و ۴۴ میلی متر نشان می دهد که مقدار A^2 معرف توان دوم متغیر U_{sg} می باشد یک مقدار بی معنی می باشد و باید از محاسبات و مدل های خروجی ارائه شده با استفاده از نرم افزار Design expert حذف گردد.کسر اینترینمنت به شدت به سرعت ظاهری مایع و در نتیجه آن به عدد رینولدز مایع وابسته است به همین خاطر ترم سرعت ظاهری گاز و در نتیجه آن عدد وبر گازی تاثیری کمتری دارد و می توان فقط توان دوم متغیر U_{sg} را از محاسبات حذف کرد، ولی برهم کنش بین سرعت ظاهری مایع و سرعت ظاهری گاز یعنی AB قابل صرف نظر نیست.

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-07]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.2.1.4]

- بررسی مدل ANOVA به منظور تعیین میزان ضخامت فیلم مایع برای لوله های با قطر ۲۶ میلی‌متر و ۴۴ میلی متر نشان می دهد که مقدار B^2 معرف توان دوم متغیر U_{sl} می باشد یک مقدار بی معنی می باشد و باید از محاسبات و مدل های خروجی ارائه شده با استفاده از نرم افزار Design expert حذف گردد. ضخامت فیلم مایع به شدت به سرعت ظاهری گاز و در نتیجه آن به عدد وبر گازی وابسته است به همین خاطر ترم سرعت ظاهری مایع و در نتیجه آن عدد فرود و رینولدز مایع تاثیری کمتری دارد و می توان فقط توان دوم متغیر U_{sl} را از محاسبات حذف کرد، ولی برهم کنش بین سرعت ظاهری مابع و سرعت ظاهری گاز یعنی AB قابل صرف نظر نیست.
- ضرایب همبستگی برای مقدار ضخامت فیلم مایع و کسر اینترینمنت برای لوله ۲۶ میلی متر به ترتیب ۰.۹۹۶۶ و ۰.۹۸۰۶ بوده و برای لوله ۴۴ میلی متر به ترتیب ۰.۹۹۵۷ و ۰.۹۸۶۶ می باشد. این نتایج نشان می دهد که دقت عملکرد مدل های ارائه شده برای لوله‌های ۲۶ میلی‌متر و ۴۴ میلی متر برای یافتن مقدار ضخامت فیلم مایع و اینترینمنت در حد بالا می باشد.
- اطلاعات آزمایشگاهی بدست آمده شده برای تعیین ضخامت فیلم مایع برای لوله ۲۶ میلی‌متر و ۴۴ میلی متر با محققانی همچون Schubring et al. (۲۰۰۸) و Rahman et al. (۲۰۱۷) مورد مقایسه قرار گرفت و نتایج آن ها نشان می دهد که برای لوله ۲۶ میلی متر، دقت عملکرد هر دو محقق بسیار نزدیک بوده ولی دقت عملکرد مدل Schubring et al. بهتر از مدل Rahman et al. می باشد. نتایج ارائه شده برای لوله ۴۴ میلی متر نیز نشان می دهد که دقت عملکرد مدل Schubring et al. بهتر از مدل Rahman et al. بوده و نتایج قابل قبول تری را ارائه می دهد.
- نتایج ارائه شده به منظور تعیین کسر اینترینمنت برای لوله ۲۶ میلی‌متر نشان می دهد که بالاترین دقت عملکرد مربوط به مدل Oliemans and Pots (1986) بوده و پایین ترین دقت عملکرد مربوط به مدل Ishii and Mishima (1989) می باشد. علاوه بر این برای لوله ۴۴ میلی متر، بالاترین و پایین ترین دقت عملکرد به منظور تعیین کسر اینترینمنت به ترتیب برای مدل های Wallis (1968) و Pan and Hanratty (2002) می باشد. در کل، تحلیل ها بیانگر این بود که باید پیش‌بینی اینترینمنت بهبود پیدا کند.
- از نتایج مربوط به نمودارهای تنش برشی فصل مشترک برای داده های آزمایشگاهی به این نتیجه می رسیم که دقت عملکرد مدل‌های ضخامت فیلم مایع و کسر اینترینمنت که جز متغیرهای ورودی تنش برشی فصل مشترک می باشند، از اعتبار بالایی برخوردار بوده است. علاوه بر این بیشترین تنش برشی فصل مشترک برای لوله ۲۶ میلی متر مربوط به سرعت ظاهری مایع ۰.۰۷۴۷ m/s می باشد و برای لوله ۴۴ میلی متری مربوط به سرعت ظاهری مایع ۰.۰۴۹۸ m/s می باشد.

فهرست علائم

علائم انگلیسی

سرعت ظاهری فاز گاز	$A = u_{sg}$
سرعت ظاهری فاز مایع	$B = u_{sl}$
افت فشار اصطکاکی جریان دو فاز	$\left(-\frac{dp}{dz}F\right)_{TP}$
توان دوم سرعت ظاهری گاز	A^2
توان دوم سرعت ظاهری مایع	B^2
برهم کنش سرعت های ظاهری گاز و	

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-07]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.2.1.4]

مایع	AB
علائم یونانی	
کشش سطحی مایع	σ
ضخامت فیلم مایع	δ
entrainment fraction	e
تنش برشی فصل مشترک دو فاز	τ_i
ویسکوزیته دینامیک گاز	μ_g
دانسیته مخلوط جریان دوفاز	ρ_{mix}
زیر نویس	
فصل مشترک فازها	i
فاز گاز	G
فاز مایع	L

مراجع

[1] H. Moayedi, B. Aghel, B. Vaferi, L.K. Foong, D.T. Bui, The feasibility of Levenberg–Marquardt algorithm combined with imperialist competitive computational method predicting drag reduction in crude oil pipelines, Journal of Petroleum Science and Engineering, 185 (2020) 106634.

[2] M. Sorgun, A. Murat Ozbayoglu, M. Evren Ozbayoglu, Support vector regression and computational fluid dynamics modeling of Newtonian and Non-Newtonian fluids in annulus with pipe rotation, Journal of Energy Resources Technology, 137 (2015).

[3] M. Ferrari, A. Bonzanini, P. Poesio, A slug capturing method in unconventional scenarios: The 5ESCARGOTS code applied to non-Newtonian fluids, high viscous oils and complex geometries, Petroleum, 5 (2019) 171-177.

[4] K.L. Magrini, C. Sarica, A. Al-Sarkhi, H.-Q. Zhang, Liquid entrainment in annular gas/liquid flow in inclined pipes, SPE Journal, 17 (2012) 617-630.

[5] X. Zheng, Z. Lin, B.Y. Xu, Thermal conductivity and sorption performance of nano-silver powder/FAPO-34 composite fin, Applied Thermal Engineering, 160 (2019) 114055.

[6] B.J. Azzopardi, Disturbance wave frequencies, velocities and spacing in vertical annular two-phase flow, Nuclear Engineering and Design, 92 (1986) 121-133.

[7] H. Ghorbani, D.A. Wood, J. Moghadasi, A. Choubineh, P. Abdizadeh, N. Mohamadian, Predicting liquid flow-rate performance through wellhead chokes with genetic and solver optimizers: an oil field case study, Journal of Petroleum Exploration and Production Technology, 9 (2019) 1355-1373.

[8] H. Ghorbani, D.A. Wood, N. Mohamadian, S. Rashidi, S. Davoodi, A. Soleimanian, A.K. Shahvand, M. Mehrad, Adaptive neuro-fuzzy algorithm applied to predict and control multi-phase flow rates through wellhead chokes, Flow Measurement and Instrumentation, 76 (2020) 101849.

[9] H. Ghorbani, J. Moghadasi, Development of a new comprehensive model for choke performance correlation in iranian oil wells, Advances in Environmental Biology, 8 (2014) 877-882.

[10] H. Ghorbani, J. Moghadasi, A. Dashtbozorg, S. Kooti, Developing a new multiphase model for choke function relation for Iran's gas wells, American Journal of Oil and Chemical Technologies, 5 (2017) 172-180.

[11] Y. Taitel, D. Bornea, A.E. Dukler, Modelling flow pattern transitions for steady upward gas-liquid flow in vertical tubes, AIChE Journal, 26 (1980) 345-354.

[12] S. Jayanti, G.F. Hewitt, S.P. White, Time-dependent behaviour of the liquid film in horizontal annular flow, International journal of multiphase flow, 16 (1990) 1097-1116.

[13] P. Sawant, M. Ishii, T. Hazuku, T. Takamasa, M. Mori, Properties of disturbance waves in vertical annular two-phase flow, Nuclear Engineering and Design, 238 (2008) 3528-3541.

[14] E.T. Hurlburt, L.B. Fore, R.C. Bauer, A two zone interfacial shear stress and liquid film velocity model for vertical annular two-phase flow, in, 2006, pp. 677-684.

[15] T.A. Shedd, T.A. Newell, Automated optical liquid film thickness measurement method, Review of Scientific Instruments, 69 (1998) 4205-4213.

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-07]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.2.1.4]

[16] G. Haider, M. Othayq, J. Zhang, R.E. Vieira, S.A. Shirazi, Effect of particle size on erosion measurements and predictions in annular flow for an elbow, Wear, 476 (2021) 203579.
[17] A. Fershtman, D. Barnea, L. Shemer, Wave identification in upward annular flow-a focus on ripple characterization, International Journal of Multiphase Flow, 137 (2021) 103560.
[18] W. Peng, X. Cao, J. Hou, L. Ma, P. Wang, Y. Miao, Numerical prediction of solid particle erosion under upward multiphase annular flow in vertical pipe bends, International Journal of Pressure Vessels and Piping, 192 (2021) 104427.
[19] S. Ghiaasiaan, X. Wu, D. Sadowski, S. Abdel-Khalik, Hydrodynamic characteristics of counter-current two-phase flow in vertical and inclined channels: Effects of liquid properties, International Journal of Multiphase Flow, 23 (1997) 1063-1083.
[20] Y. Taitel, D. Barnea, Counter current gas-liquid vertical flow, model for flow pattern and pressure drop, Int. J. Multiphase Flow;(United Kingdom), 9 (1983).
[21] L. Chen, Y.S. Tian, T.G. Karayiannis, The effect of tube diameter on vertical two-phase flow regimes in small tubes, International Journal of Heat and Mass Transfer, 49 (2006) 4220-4230.
[22] G. Besagni, F. Inzoli, Comprehensive experimental investigation of counter-current bubble column hydrodynamics: Holdup, flow regime transition, bubble size distributions and local flow properties, Chemical Engineering Science, 146 (2016) 259-290.
[23] G.B. Wallis, Phenomena of liquid transfer in two-phase dispersed annular flow, International Journal of Heat and Mass Transfer, 11 (1968) 783-785.
[24] R.V.A. Oliemans, B.F.M. Pots, N. Trompe, Modelling of annular dispersed two-phase flow in vertical pipes, International journal of multiphase flow, 12 (1986) 711-732.
[25] M. Ishii, K. Mishima, Droplet entrainment correlation in annular two-phase flow, International Journal of Heat and Mass Transfer, 32 (1989) 1835-1846.
[26] L. Pan, T.J. Hanratty, Correlation of entrainment for annular flow in vertical pipes, International Journal of Multiphase Flow, 28 (2002) 363-384.
[27] D. Schubring, A.C. Ashwood, E.T. Hurlburt, T.A. Shedd, Optical Measurement of Base Film Thickness in Annular Two-Phase Flow, in: Fluids Engineering Division Summer Meeting, 2008, pp. 665-672.
[28] M. Rahman, J. Stevens, J. Pardy, D. Wheeler, An Improved Film Thickness Model for Annular Flow Pressure Gradient Estimation in Vertical Gas Wells, Journal of Petroleum & Environmental Biotechnology, 8 (2017).
[29] M. Zarei, M. Ansari, P. Rostami, Identification of flow patterns maps for counter-current Two-phase flow in large diameter tubes, Modares Mechanical Engineering, 16 (2017) 433-444.
[30] P. Adibi, Experimental Investigation of Slug Initiation Dependency to Upstream Conditions of Two Phases in Long Horizontal Channels in Two-Fluid Flow, Modares Mechanical Engineering, 14 (2014) 27-35.
[31] A.R.B. Abad, H. Ghorbani, N. Mohamadian, S. Davoodi, M. Mehrad, S.K.-y. Aghdam, H.R. Nasriani, Robust hybrid machine learning algorithms for gas flow rates prediction through wellhead chokes in gas condensate fields, Fuel, 308 (2022) 121872.
[32] H.S. Barjouei, H. Ghorbani, N. Mohamadian, D.A. Wood, S. Davoodi, J. Moghadasi, H. Saberi, Prediction performance advantages of deep machine learning algorithms for two-phase flow rates through wellhead chokes, Journal of Petroleum Exploration and Production, 11 (2021) 1233-1261.

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-07]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.2.1.4]

چکیده انگلیسی:

Experimental Investigation of the Flow Regime Development and Liquid Film Thickness at the Interface of Counter current Gas-Liquid Two-Phase Flow in Transparent Vertical pipes

Mojtaba Masihi[1], Ali Nouri-Borujerdi [2,*], Hadi Kargarsharif abad[3,*]

[1] Ph.D. Student, Department of Mechanical Engineering, South Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
[2] Prof., Center of Excellence in Energy Conversion, School of Mechanical Engineering, Sharif University of Technology, Tehran, Iran
[3] Assoc. Prof., Energy and Sustainable Development Research Center, Semnan Branch, Islamic Azad University, Semnan, Iran

Received: June 2022 Accepted: July 2022

Abstract

In the present research, the behavior and flow pattern of a Counter current Gas-Liquid Two-Phase Flow in different Transparent Vertical pipes made from Plexiglas with inner diameters of 26 mm and 44 mm were experimentally investigated. The considered fluids included the water and the air, and the results were obtained for a total of 304 select cases differing in the apparent velocities of the water and the air. The air and the water were flown from separate inlets upward and downward, respectively. The apparent velocities of the air and water in the 26 mm pipe were investigated in the ranges of 10.47–26.17 m/s and 0.06–0.36 m/s, respectively. The corresponding ranges for the 44 mm pipe were 3.56–9.14 m/s and 0.02–0.12 m/s, respectively. The liquid film thickness in the annular flow was measured by the Quick shut valve technique. The Entrainment fraction was measured Isokinetic-sampling technique. Provision of the Counter current Gas-Liquid Two-Phase Flow conditions in terms of initial flow orientation and the investigation of the effect of this design on the flow patterns, liquid film thickness, and the Entrainment fraction are the major innovations of the present research.In contrast to previous research works, the present study sets the scene for a more accurate evaluation of the annular flow pattern for calculating the liquid film thickness and the Entrainment fraction by designing the initial inlet orientation. Based on a comparison, as far as the calculation of the Entrainment was concerned, the results of the present research exhibited good agreement with the Oliemans model in the 26 mm pipe and the Wallis model in the 44 mm pipe, and when it came to obtaining the liquid film thickness, the results were consistented to those of the Schubring model.It is shown that the predictions of this new correlation outperform those from previously reported studies.

Key words: Counter-Current Two phase flow, Liquid Film Thichness, Entrainment Fraction, Interfacial Shear Stress.
*corresponding author: anouri@sharif.edu, h.kargar@semnaniau.ac.ir

Cite this article as: Mojtaba Masihi, Ali Nouri-Borujerdi, Hadi Kargarsharif abad. Experimental Investigation of the Flow Regime Development and Liquid Film Thickness at the Interface of Counter current Gas-Liquid Two-Phase Flow in Transparent Vertical pipes. Journal of Energy Conversion, 2022, 9(2), 99-120.
DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.2.1.4

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-07]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.2.1.4]