

اثر تغییر شعاع مارپیچ و تغییر قطر لوله در شبیه‌سازی جداسازی نفت-آب درون جداکننده با لوله‌های مارپیچ

محمد موسوی^{۱*}، شرکت ملی حفاری^۲ ■ رضا باهوش کازرونی^۱، دانشگاه شهید چمران اهواز^۳

چکیده

جداسازی نفت-آب در صنایع نفت و گاز کاربرد فراوانی دارد و تاکنون روش‌ها و دستگاه‌های متعددی برای این هدف به کار رفته است. یکی از دستگاه‌های جداکننده رایج، جداکننده لوله‌ی مارپیچی است که در آن جداسازی دو فاز با چگالی‌های متفاوت با استفاده از شتاب گریز از مرکز و گرانش انجام می‌شود. در این تحقیق با استفاده از شبیه‌سازی عددی به روش دینامیک سیالات محاسباتی، نحوه‌ی عملکرد یک جداکننده لوله‌ی مارپیچی بررسی شده است. برای مدل‌سازی جریان دوفازی در نرم‌افزار فلونت از روش اویلری-اویلری استفاده شده است. متغیرهای مسأله مانند قطر لوله و شعاع ژیراسیون مارپیچ جهت بهینه‌سازی عملکرد دستگاه بررسی شدند. برای بهینه‌سازی دو هدف در نظر گرفته شده؛ یکی افت فشار جریان و دوم میزان جداسازی. هرچقدر افت فشار کمتر و میزان جداسازی بیشتر باشد از نظر عملکرد برای دستگاه مطلوب‌تر است. نتایج تحقیق نشان داد که هر یک از متغیرها مقادیر بهینه‌ای دارند. در نهایت قطر لوله ۵۰ میلی‌متر و شعاع مارپیچ ۵۰۰ میلی‌متر به‌عنوان مقادیر بهینه به دست آمدند.

اطلاعات مقاله

تاریخ ارسال نویسنده:

۹۶/۰۶/۳۰

تاریخ ارسال به بازبین:

۹۶/۰۷/۱۳

تاریخ پذیرش بازبین:

۹۶/۰۹/۱۸

واژگان کلیدی:

جداسازی آب/نفت، لوله‌های

مارپیچ، نرم‌افزار فلونت/شبیخ

سازی

مقدمه

برخوردار باشد. برای اولین بار در ۱۹۸۴ شرکت‌های TOTAL CFP و NEYRTEC جهت حذف ناخالصی‌های مذکور سیکلون‌های استوانه‌ی چرخان را طراحی کردند [۳]. ساختار آنها تقریباً پیچیده است و ارتعاشات طولانی مدت محفظه در آنها اجتناب‌ناپذیر است. بنابراین نفتی که در محور مرکزی متمرکز می‌شود نیز ناپایدار است. سیکلون‌های چرخان در مقایسه با LLHC ها کاربرد وسیعی ندارند، اگرچه LLHC ها معایبی نیز دارند. مثلاً تعیین قطر یک LLHC در بازده جداسازی بسیار اهمیت دارد. همچنین ورودی مماسی سیال منجر به ایجاد گردابه‌ی نامتقارن و در نتیجه افت فشار زیادی خواهد شد [۴و۵]. در ۱۹۹۶ در یکراگر هیدروسیکلونی را با ورودی محوری AIH طراحی کرد که طی سالیان اخیر در صنایع مهندسی و در فن‌آوری‌های FMC به‌عنوان هیدروسیکلون‌ها و آب‌زدهای In-line رایج شده‌اند [۶]. کاربرد اصلی نتایج این تحقیق در بهره‌برداری از نفت و جداکردن آب از نفت است. اما به دلیل حجم کم دستگاه، بازدهی زیاد آن در مراحل حفاری چاه تولیدی، تفکیک سیال برگشتی از چاه حین عملیات حفاری و همچنین تمیزسازی آب آلوده‌ی دریا به نفت (در اثر حوادث دریایی) نیز قابل استفاده است.

هدف اصلی تحقیق بررسی نحوه‌ی عملکرد یک جداکننده‌ی مارپیچی است. سپس به کمک تغییر متغیرهای مسأله مانند قطر لوله و قطر مارپیچ، عملکرد دستگاه بهینه‌سازی می‌شود. دو متغیر اصلی در بهینه‌سازی عملکرد دستگاه مؤثرند؛ یکی افت فشار جریان و دیگری میزان جداسازی فازها. بدیهی است شرایط عملکرد مطلوب در افت فشار کمتر و میزان جداسازی بیشتر خواهد بود. هدف این پژوهش ارائه‌ی مقادیر بهینه‌ی طراحی هندسی

توسعه‌ی فعالیت‌های اکتشافی استخراج و بهره‌برداری از منابع نفتی در کشورهای نفت‌خیز سبب بروز مشکلات زیست‌محیطی متعددی برای آن کشورها شده که یکی از مهم‌ترین آنها آلودگی منابع آب و افزایش مقدار هیدروکربن‌ها در آب است. آلودگی آب می‌تواند تأثیرات مستقیم و غیرمستقیمی بر سلامت انسان داشته باشد. به‌علاوه استفاده از مواد غذایی دریایی آلوده به ترکیبات نفتی ممکن است سلامتی انسان را تهدید کند؛ چراکه برخی مواد آلی در بدن موجودات دریایی به‌خصوص ماهی‌ها تجمع می‌کنند و از این طریق ممکن است وارد زنجیره‌ی غذایی انسان شوند. این موضوع عامل اصلی محدودکننده‌ی تولید نفت و گاز است که اگر مقررات و الزومات آن رعایت نشود می‌تواند تأثیرات محیطی و اقتصادی زیان‌باری داشته باشد. به‌علاوه مقدار آب تولیدی تأثیر به‌سزایی در خطوط لوله‌ی انتقال نفت دارد و می‌تواند ظرفیت انتقال نفت را کاهش دهد. در واقع هدف این جداسازی ارسال آب تمیز به دریا یا بازگشت دوباره‌ی آن به مخزن است. نسبت آب به استخراج سیال هیدروکربنی بیشتر از ۸۰ درصد است که این موضوع باعث افزایش بار عملیات تولید می‌شود. به‌طوری‌که در یک سال در مجموع ۳۰۰ میلیون بشکه برای عملیات جداسازی نیاز است [۱و۲].

با افزایش قابلیت‌های بازیافت آب، تولید نفت افزایش خواهد یافت و در غیر این صورت تولید نفت با تنگنمایی روبرو خواهد بود. در برخی موارد تثبیت فشار مخزن و افزایش تولید نیازمند تزریق مجدد آب به مخزن است. بنابراین وجود نفت و شن اضافی در آب تزریقی می‌تواند به تجهیزات آسیب بزند و بر این اساس باید آب تزریقی به مخزن از شرایط خاص و استانداردهای کنترل کیفی (از لحاظ میزان نفت و سایر ناخالصی‌ها)

*نویسنده‌ی عهده‌دار مکاتبات (smousavi289@yahoo.com)

جهت عملکرد مطلوب دستگاه است.

۱- فرضیات و هندسه‌ی مورد مطالعه

فرضیات مورد استفاده عبارت هستند از:

- جریان دوفازی، دائم و آشفته است.
- چگالی نفت ۸۳۶ کیلوگرم بر متر مکعب و لزجت آن ۲۰ میلی پاسکال ثانیه است.
- با توجه به مقدار زیاد کسر نفت، استفاده از روش اویلری-اویلری برای مدل‌سازی جریان دوفازی قابل قبول است.
- نرخ ورودی به واحد جداکننده ثابت است.
- جریان آب-نفت از پایین‌ترین قسمت دستگاه وارد شده و از بالا خارج می‌شود.
- جریان در خروجی توسعه یافته در نظر گرفته می‌شود.
- شرط عدم لغزش برای تمام دیواره‌ها قابل قبول است.

حدوداً از ۳ میلیون سلول استفاده شده است. برای ایجاد این شبکه نرم‌افزار Ansys به کار رفته است. جهت بررسی استقلال نتایج از شبکه، چند شبکه با اندازه‌های مختلف سلول انتخاب شده است. دو شبکه‌ی اول با ابعاد یکنواخت ایجاد شده و اندازه‌های ۴ و ۲ میلی متر برای کوچک‌ترین ضلع سلول‌ها انتخاب شدند و در دو شبکه‌ی بعدی سلول‌های نزدیک دیوار ریزتر گردیدند. ریز کردن شبکه‌ی نزدیک دیواره جهت بررسی شرایط سیال در لایه‌ی مرزی بوده و وضعیت لایه‌ی مرزی، در پنج لایه انجام شده است. پس از مقایسه‌ی نتایج کسر حجمی در نقاط متناظر، اختلاف مشاهده شده در نتایج حاصل از دو شبکه‌ی آخر کمتر از ۵ درصد بوده است. به همین دلیل شبکه‌ی محاسباتی انتخابی سوم که در آن کوچک‌ترین ضلع سلول محاسباتی ۴ میلی متر بوده و سلول‌های نزدیک دیوار در پنج لایه ریز شده‌اند، از دیدگاه استقلال نتایج و کاهش هزینه‌ی محاسباتی به‌عنوان شبکه‌ی مناسب انتخاب گردید.

۲-۱- شرایط مرزی

در نرم‌افزار فلونتت برای مرز ورودی از شرط مرزی سرعت ورودی و برای مرز خروجی از شرط مرزی جریان خروجی استفاده شده است. برای شرایط کاری فشار اتمسفریک در نظر گرفته شده است. جریانی کاملاً توسعه یافته در خروجی ایجاد خواهد شد و شرط مرزی عدم لغزش روی دیواره‌ها نیز اعمال می‌شود. فرض می‌گردد کسر حجمی آب در ورودی ۰/۳ باشد.

برای حل معادلات در جریان چند فازی، باید دسته‌ی معادلات بقای جرم جدیدی معرفی شود. علاوه بر معرفی معادلات جدید، باید معادلات اولیه (جریان تک‌فاز) نیز تغییر کند. این تغییرات شامل معرفی کسر حجمی $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_N$ برای فازهای چندگانه و مکانیزم انتقال مومنتوم بین فازهاست. تمامی معادلات در این بخش از راهنمای نرم‌افزار فلونتت [۸] استخراج شده‌اند.

۳- روش اجرای تحقیق و بررسی داده‌ها

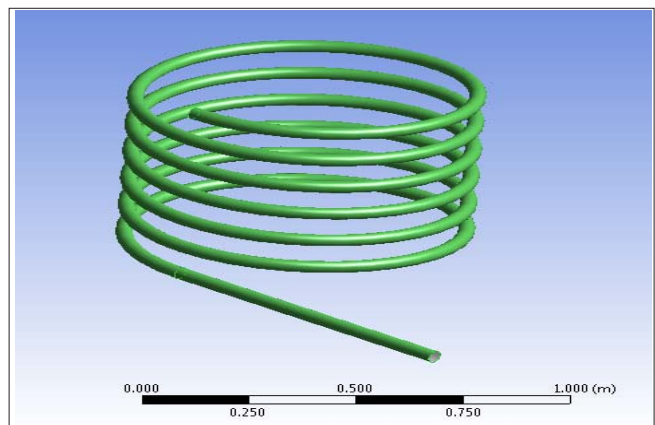
۳-۱- اثر تغییر اندازه‌ی شعاع مارپیچ در میزان جداسازی

جهت یافتن اندازه‌ی شعاع مارپیچ بهینه جهت جداسازی مطلوب آب-نفت چندین شبیه‌سازی با شعاع‌های مارپیچ مختلف ۱۰۰، ۲۰۰، ۴۰۰، ۵۰۰ و ۶۰۰ میلی متر انجام شده است. در این شبیه‌سازی‌ها، قطر قطرات نفت ۲ میلی متر، سرعت سیال ۰/۵ متر بر ثانیه و کسر حجمی نفت در ورودی ۰/۳ در نظر گرفته شده است. نتایج شبیه‌سازی پس از حلقه‌ی پنجم مارپیچ در شکل ۳- نشان داده شده است. با افزایش شعاع مارپیچ، شتاب گریز از مرکز کاهش می‌یابد. در حالی که اثر جداسازی نفت-آب بهبود می‌یابد. در تئوری، شتاب گریز از مرکز با عکس شعاع متناسب است و شعاع کمتر منجر به شتاب بیشتر و جداسازی بهتر فازها می‌شود. با این وجود شتاب خیلی زیاد باعث تشکیل امولسیون شده و بنابراین باعث به هم خوردن جدایش آب-نفت می‌گردد. بنابراین با افزایش شعاع مارپیچ در دامنه‌ی محدود، میزان جداسازی بهبود می‌یابد و در شعاع‌های بیشتر از ۱۲۰۰

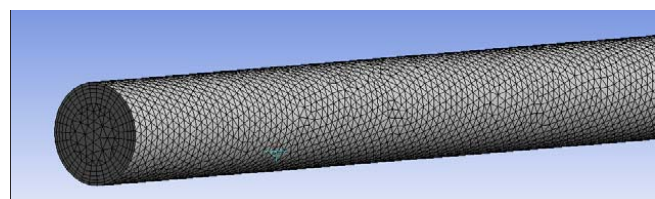
هندسه‌ی اصلی مطابق کار ژانگ و همکارانش [۷] انتخاب شده است. قطر لوله (D) ۴۰ میلی متر، شعاع مارپیچ (R) ۴۰۰ میلی متر و گام مارپیچ (t) ۱۰۰ میلی متر در نظر گرفته شده است. لوله‌ی ورودی جهت رسیدن به پروفایل مناسب برای جریان ورودی بلندتر در نظر گرفته شده است. هندسه در نرم‌افزار Solid Works ساخته شده است.

۲- شبکه‌ی محاسباتی

جهت حل حجم محدود توسط نرم‌افزار از طریق شبکه‌ی محاسباتی،



شکل ۱ | هندسه‌ی اصلی مورد استفاده



شکل ۲ | شبکه‌ی محاسباتی به‌کار رفته

ماریچ مختلف طول مسیر طی شده متفاوت خواهد بود، در بررسی اختلاف فشار به صورت کلی اطلاعات چندان مفیدی حاصل نمی‌شود. بنابراین برای اینکه بتوان مقایسه‌ی بهتری انجام داد، باید اختلاف فشار در طول واحد مسیر بیان شود. بنابراین با تقسیم افت فشار کلی به $14\pi R$ افت فشار واحد بر حسب پاسکال به میلی‌متر به دست می‌آید.

در شکل ۵- نمودار تغییرات افت فشار واحد در شعاع‌های ماریچ مختلف مشاهده می‌شود. برای ۴۰۰ میلی‌متر، افت فشار واحد به دلیل خطای محاسباتی کمی افزایش داشته است. می‌توان گفت افت فشار واحد برای قطرهای بیش از ۲۰۰ میلی‌متر تقریباً یکسان است. با توجه به شکل ۵- با کاهش شعاع ماریچ به ۱۰۰ میلی‌متر، افت فشار افزایش می‌یابد. بنابراین می‌توان شعاع ماریچ را تا جایی افزایش داد که بر بازده جداسازی آب-نفت اثر منفی نداشته باشد. با در نظر گرفتن شعاع ماریچ ثابت ۴۰۰ میلی‌متر، مقایسه‌ی دیگری بین اختلاف فشار در قطرهای متفاوت لوله انجام شده است. قطر قطرات نفت ۲ میلی‌متر، سرعت سیال ورودی ۰/۵ متر بر ثانیه و کسر حجمی نفت در ورودی ۰/۳ در نظر گرفته شده است. در شکل ۶- تغییرات افت فشار واحد در قطرهای مختلف لوله مشاهده می‌شود که نشان‌دهنده‌ی افزایش افت فشار با کاهش قطر لوله است. بنابراین باید قطر لوله را تا حد ممکن (یعنی تا جایی که اثری منفی بر بازده جداسازی آب-نفت ندارد) افزایش داد.

۴-۳- متغیرهای بهینه

با توجه به شبیه‌سازی‌ها اثر متغیرهای هندسی شعاع ماریچ، تعداد دور ماریچ،

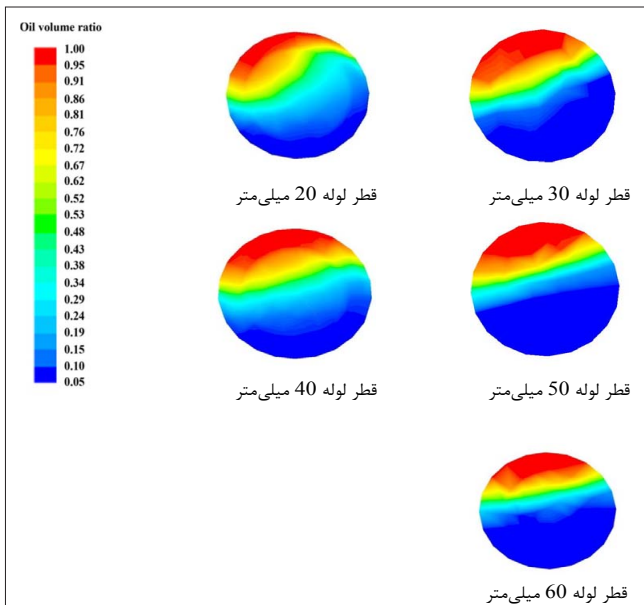
میلی‌متر، جداسازی فازها در مقایسه با شعاع‌های کمتر، از حالت مطلوب فاصله می‌گیرد. بنابراین تعیین شعاع بهینه برای ماریچ بسیار اهمیت دارد.

۲-۳- اثر تغییر قطر لوله بر میزان جداسازی

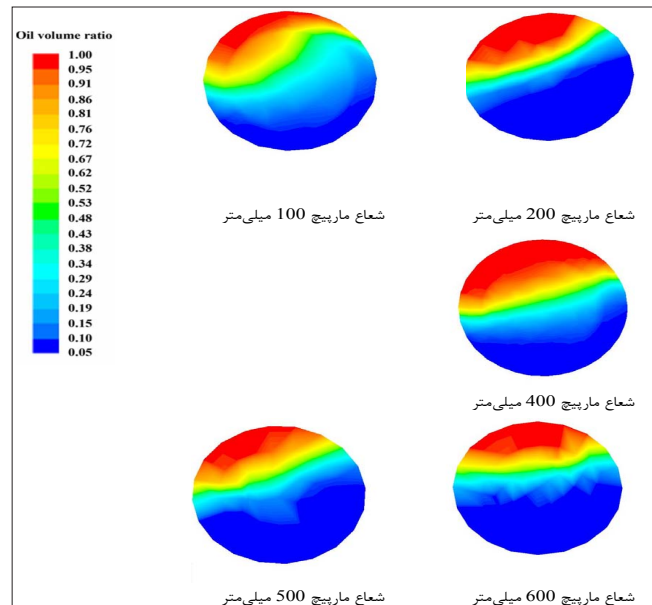
جهت بررسی اثر قطر لوله‌ی ماریچ بر بازده جداسازی آب-نفت، چندین شبیه‌سازی با قطرهای مختلف ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰ و ۶۰ میلی‌متر انجام شده است. در این شبیه‌سازی‌ها، شعاع ماریچ ۴۰۰ میلی‌متر، قطر قطرات نفت ۲ میلی‌متر، سرعت سیال ۰/۵ متر بر ثانیه و کسر حجمی نفت در ورودی ۰/۳ در نظر گرفته شده است. در شکل ۴- نتایج شبیه‌سازی پس از حلقه‌ی پنجم ماریچ به صورت خلاصه نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود با افزایش قطر لوله از ۲۰ تا ۵۰ میلی‌متر جداسازی بهبود یافته اما از آن به بعد به دلیل افزایش عدد رینولدز و ایجاد آشفتگی بیشتر دوباره اختلاط اتفاق می‌افتد. بنابراین می‌توان با انتخاب لوله‌ای به قطر ۵۰ میلی‌متر به نتایج بهتری دست یافت.

۳-۳- بررسی تأثیر اختلاف فشار

با توجه به نقش اختلاف فشار در جداسازی فازها در این بخش اختلاف فشار جداکننده‌ی لوله‌ی ماریچی در حالت‌های مختلف مقایسه شده است. در مفروضات سناریوهای مورد بررسی قطر لوله ۴۰ میلی‌متر، قطر قطرات نفت ۲ میلی‌متر، سرعت سیال ورودی ۰/۵ متر بر ثانیه و کسر حجمی نفت در ورودی ۰/۳ در نظر گرفته شده است. با توجه به اینکه در تمامی این شبیه‌سازی‌ها تعداد ۷ دور حلقه در نظر گرفته شده و با در نظر گرفتن شعاع‌های



۴ | کسر حجمی نفت در مخلوط آب-نفت با قطرهای مختلف لوله، شعاع ماریچ ۴۰۰ میلی‌متر، قطر قطرات نفت ۲ میلی‌متر، سرعت سیال ورودی ۰/۵ متر بر ثانیه و کسر حجمی نفت در ورودی ۰/۳ در نظر گرفته شده است. رنگ قرمز بیانگر کسر حجمی یک و رنگ آبی بیانگر کسر حجمی صفر است.



۳ | کسر حجمی نفت در مخلوط آب-نفت با در نظر گرفتن شعاع ماریچ‌های مختلف برای سیال ورودی، قطر لوله ۴۰ میلی‌متر، قطر قطرات نفت ۲ میلی‌متر، سرعت سیال ورودی ۰/۵ متر بر ثانیه و کسر حجمی نفت در ورودی ۰/۳ در نظر گرفته شده است. رنگ قرمز بیانگر کسر حجمی یک و رنگ آبی بیانگر کسر حجمی صفر است.

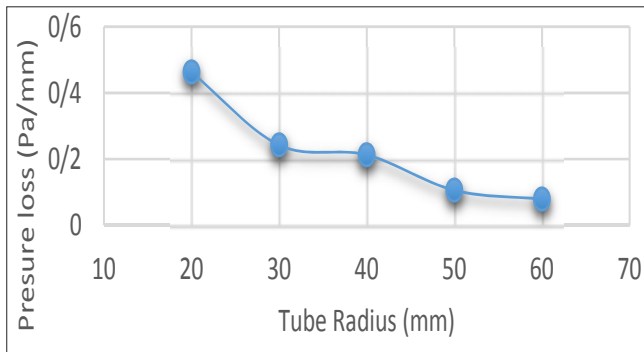
قطر لوله و متغیرهای فیزیکی سرعت سیال ورودی و اندازه‌ی قطرات نفت بررسی شد که با انتخاب مقادیر طبق جدول ۳- حالت بهینه به وجود می‌آید.

نتیجه‌گیری

در این مطالعه بازده جداسازی و توان لازم برای پمپاژ یک جداساز از نوع لوله‌ی ماریپیچی متناسب با تغییرات قطر لوله و شعاع ماریپیچ بررسی و نتایج زیر حاصل شد:

■ با افزایش شعاع ماریپیچ در دامنه‌ی قابل قبولی، اثر جداسازی نفت-آب بهبود می‌یابد. در شعاع‌های بیش از ۱۲۰۰ میلی‌متر، بازده جداسازی کاهش می‌یابد و بنابراین شعاع بهینه‌ی ۱۰۰۰ میلی‌متر برای ماریپیچ پیشنهاد می‌شود. ■ با افزایش قطر لوله از ۲۰ تا ۵۰ میلی‌متر بازده جداسازی بهبود می‌یابد. اما از آن به بعد اختلاط مجدد اتفاق می‌افتد. بنابراین می‌توان با انتخاب قطر لوله‌ی ۵۰ میلی‌متر به نتایج بهتری دست یافت.

از موارد دیگری که می‌توان اثر آنرا بر میزان جداسازی بررسی کرد گام ماریپیچ است که می‌تواند ملاک بررسی موضوع در سناریوها و شبیه‌سازی‌های آتسی باشد. همچنین اثر زبری سطح داخلی لوله بر الگوی جریان می‌تواند نقش مهمی در بازده تفکیک فازها داشته باشد که در اینجا بررسی نشده است. همچنین صحت‌سنجی روش کسر حجمی در بررسی جداسازی دوفاز با استفاده از روش لاگرانژی نیز می‌تواند از دیگر جنبه‌های تحقیق حاضر باشد. ■

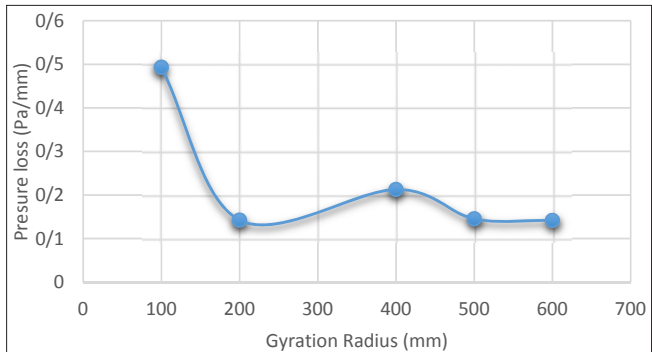


شکل ۶ | مقایسه‌ی افت فشار واحد در قطرهای مختلف لوله

شعاع ماریپیچ (میلی‌متر)	افت فشار کلی (پاسکال)	افت فشار واحد (پاسکال به میلی‌متر)
۱۰۰	۲۱۶۸/۶	۰/۴۹۳
۲۰۰	۱۲۵۲/۲	۰/۱۴۲
۴۰۰	۳۷۴۰/۳	۰/۲۱۳
۵۰۰	۳۱۹۶/۹	۰/۱۴۵
۶۰۰	۳۷۳۷/۴	۰/۱۴۱

قطر لوله (میلی‌متر)	افت فشار کلی (پاسکال)	افت فشار واحد (پاسکال به میلی‌متر)
۲۰	۸۱۴۷/۳	۰/۴۶۳
۳۰	۴۲۶۳/۴	۰/۲۴۲
۴۰	۳۷۴۰/۶	۰/۲۱۳
۵۰	۱۸۵۷/۴	۰/۱۰۵
۶۰	۱۳۸۵/۲	۰/۰۷۹

متغیر	مقدار بهینه (میلی‌متر)
شعاع ماریپیچ	۵۰۰
قطر لوله	۵۰



شکل ۵ | مقایسه‌ی افت فشار واحد در شعاع‌های ماریپیچ مختلف

پانویس‌ها

1. bahoosh@scu.ac.ir 2. vortex

منابع

- [1] M. C. S. Souza, A. L. S.; Figueiredo, M. W.; Kuchpil, C.; Bezerra and C. A. A. G.; Furtado, "Water management in Petrobras: Developments and challenges," 2005 Offshore Technol. Conf. held Houston. 25- May 2005 OTC17258, 2005.
- [2] D. R. Simmons, M. J. H.; Komonibo, E.; Azzopardi, B. J.; Dick, "Residence time distributions and flow behaviour within primary crude oil/water separators treating well-head fluids," Chem. Eng. Res. Des., vol. 82, no. 10, pp. 1383-1390, 2004.
- [3] G. Triponey, J. Woillez, and C. Bezar, "The rotating de-oiling cyclone: Recent Development and Operating Experience. SPE25034," 1992 Eur. Pet. Conf. held Cannes. 1618- Novemb. 1992, 1992.
- [4] D. A. Colman and M. T. Thew, "Correlation of separator result from light dispersion hydrocyclone," Chem. Eng. Res. Des., vol. 61, pp. 233-240, 1983.
- [5] A. Gupta and R. Kumar, "Three-dimensional turbulent swirling flow in a cylinder: Experiments and computations.," Int. J. Heat Fluid Flow, vol. 28, no. 2, pp. 249-261, 2007.
- [6] S. J. Kege, "Numerical simulation of an axial hydrocyclone," M. Sc. Thesis, Delft Univ. Technol., 2000.
- [7] Z. J., J. Guo, D.-T. Gong, L.-Y. Wang, C. Tang, and Z.-C. Zheng, "An investigation on oil/water separation mechanism Inside helical pipe," Conf. Glob. chinese Sch. Hydrodyn.
- [8] "Fluent manual, Chapter 20. General Multiphase Models."
- [9] F. He, Z. H. Yao, and J. S. Xie, "Numerical simulation of a flow field within three-dimensional subsonic speed impact jet flow," Chin. J. Propul. Technol., vol. 23, pp. 15-18, 2002.
- [10] S. A. Vasquez and V. A. Ivanov, "A Phase coupled method for solving multiphase problems on unstructured meshes," Proceeding ASME 2000 Fluids Eng. Div. Summer Meet., 2000