بررسی آزمایشگاهی تفکیک‌گر سیکلون استوانه‌ای گاز و مایع

حمیدرضا اسعدیان و بهرام سلطانی سولگانی*

گروه مهندسی نفت، دانشکده نفت، دانشگاه صنعت نفت، اهواز، ایران

تاریخ دریافت: ۹۶/۱۱/۲۸ تاریخ پذیرش: ۹۷/۱۱/۲

چکیده

اخیراً نسل جدیدی از تفکیک‌گرها با عنوان تفکیک‌گرهای سیکلون استوانه‌ای گاز و مایع توانسته‌اند خود را به عنوان جایگزین مناسبی برای تفکیک‌گرهای معمول جاذبه محور معرفی کنند. در این پژوهش تلاش شده است تا تاثیر ایجاد تغییرات فیزیکی در اجزای مختلف این تفکیک‌گر بر روی عملکرد و دامنه آن مورد بررسی و تحقیق واقع شود. از این رو نتایج این تغییرات بر روی یک نمونه آزمایشگاهی تفکیک‌گر سیکلون استوانه‌ای گاز و مایع که سیال هوا را از آب جدا می‌کند، مشاهده و گزارش شده است. همچنین تاثیر این تغییرات بر روی نتایج مدل ریاضی ثابت شده برای این تفکیک‌گر بررسی شده است. این تغییرات فیزیکی شامل افزایش طول خروجی های گاز و مایع، کاهش ستون گازی، قطر نازل ورودی، قطر بدنه اصلی و خروجی‌های گاز و مایع است. نتایج این تحقیق نشان می‌دهند که کاهش در قطر نازل ورودی باعث بهبود عملکرد تفکیک فازها دستگاه شده است. این در حالی است که هرگونه کاهش قطر بدنه اصلی و قطر خروجی‌های گاز و مایع تفکیک‌گر جدایش فازهای سیال چندفازی را مشکل‌تر کرده است. همچنین تغییر در طول ستون گازی تفکیک‌گر تغییری در عملکرد دستگاه نشان نمی‌دهد. هرگونه افزایش در طول خروجی دستگاه باعث بیشتر شدن اثر اصطکاک و تضعیف عملکرد دستگاه می‌شود.

کلمات کلیدی: تفکیک‌گر سیکلون استوانه‌ای گاز و مایع، نازل ورودی، بدنه اصلی، خروجی‌های گاز و مایع، عملکرد تفکیک فازها

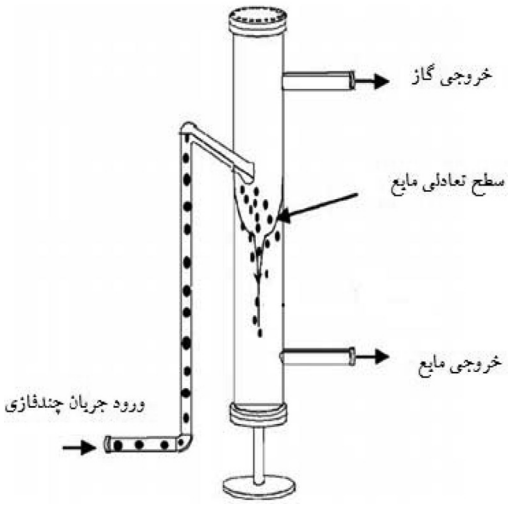
مقدمه

در دهه گذشته جدایش کامل مخلوط گاز و مایع در صنعت نفت و گاز به خصوص مناطق فرا ساحلی به یکی از موضوعات مهم و دغدغه صنعت نفت و گاز بدل شده است. تولید نفت پس از اکتشاف و انتقال آن با حضور آب و گاز همراه، همواره یکی از چالش‌های بزرگ در صنعت تولید و بهره‌برداری نفت و گاز بوده است. به همین علت روش‌های جدایش سرچاهی، پیش از انتقال نفت تولیدی به مراکز بهره‌برداری به عنوان یک راه‌حل موثر مطرح می‌شوند. تفکیک‌گرهای متداول سرچاهی با کمک گرفتن از نیروی جاذبه و نگه داشتن سیال چندفازی در محفظه خود و زمان دادن به آن اجازه

*مسؤول مکاتبات
آدرس الکترونیکی soltani.b@put.ac.ir
شناسه دیجیتال: (DOI: 10.22078/pr.2019.3186.2466)

جدایش فازهای مختلف سیال را می‌دهند. این مدل از تفکیک‌گرهای متداول در صنعت نفت و گاز بزرگ، سنگین، گران جهت ساخت، تعمیر و نگه‌داری هستند [۱-۴]. همین‌طور به علت نوع کاربری، جهت استفاده در مناطقی دارای محدودیت مکانی مانند مناطق فراساحلی، مناسب نیستند. به علت مشکلات ذکر شده مربوط به تفکیک‌گرهای مرسوم، صنعت نفت و گاز به دنبال بهره گرفتن از نسل جدید تفکیک‌گرها با ساختار فشرده‌تر و ارزان‌تر در ساخت و نگهداری، است. یکی از این نمونه از تفکیک‌گرها که در مرحله آزمایشگاهی و عملیاتی، عملکرد رضایت بخشی داشته است، تفکیک‌گرهای سیکلون استوانه‌ای گاز و مایع بوده‌اند. این گونه از تفکیک‌گرها به علت اشغال فضای بسیار محدود، سبکی، سادگی در طراحی و ساخت که متعاقباً منجر به کمتر شدن تعمیرات و راحتی در راه‌اندازی می‌شود، در مناطق سخت عملیاتی مانند مناطق فراساحلی که فضای عملیاتی محدود است، مورد توجه هستند [۵-۷].

در شکل ۱ شمایل ساده‌ای از یک تفکیک‌گر سیکلون استوانه‌ای گاز و مایع نشان داده شده است. یک تفکیک‌گر سیکلون استوانه‌ای گاز و مایع شامل یک لوله عمودی با یک نازل ورودی زاویه‌دار در مرکز و دو خروجی افقی در دو سر لوله برای فازهای سیال گاز و مایع است [۸]. نیروی جاذبه به عنوان اساسی‌ترین عامل جدایش فازها در تفکیک‌گر باعث حرکت سیال سبک به سمت خروجی بالا و سیال سنگین‌تر به سمت خروجی پایین می‌شود. علاوه بر آن به علت زاویه‌دار بودن نازل ورودی و شکل اتصال آن به بدنه اصلی جریان چندفازی ورودی در بدو ورود به تفکیک‌گر بر روی بدنه اصلی جریان پیدا می‌کند و باعث شکل‌گیری جریان گردآبه در لوله عمودی یا بدنه اصلی تفکیک‌گر می‌شود. در جریان گردآبه ایجاد شده نیروی گریز از مرکز سیال سنگین‌تر را نزدیک به دیواره نگه می‌دارد و سیال سبک‌تر (گاز) را به سمت مرکز گردآبه هدایت می‌کند. حباب‌های گاز متصل شده به یکدیگر فاز پیوسته‌ای از گاز را تشکیل می‌دهند و از خروجی بالایی خارج می‌شوند در حالی که مایع به جا مانده از خروجی پایینی دستگاه تخلیه می‌شود [۹].



شکل ۱ شماتیک تفکیک‌گر سیکلون استوانه‌ای گاز و مایع [۷]

هدف اصلی تفکیک‌گر سیکلون استوانه‌ای، جدایش فازهای گاز و مایع از یکدیگر است. استفاده از روش‌های جایگزین جداسازی نشان از این دارد که این گونه راه‌حل‌های جایگزین به مراحل کاربردی قابل قبولی رسیده‌اند. از جمله این روش‌ها می‌توان به استفاده این دستگاه در فرآیند جداسازی و کنترل سیستم چندفازی اشاره کرد. اندازه‌گیری جریان‌های چندفازی، کمک به پمپ سیالات چندفازی، کنترل نسبت گاز به مایع، کنترل جریان لخته‌ای و ... از کاربردهای تفکیک‌گر سیکلون استوانه‌ای است. همچنین به جهت فشردگی این تفکیک‌گر و قابل حمل بودن آن امکان استفاده از آن در عملیاتی‌های مختلف مانند چاه‌آزمایی چاه‌های گاز و نفت وجود دارد. جهت استفاده از تفکیک‌گر گاز و مایع سیکلون استوانه‌ای در عملیات‌های دیگر نیاز به بازطراحی آن متناسب با شرایط و عملکرد جدید آن است. طراحی تفکیک‌گر سیکلون استوانه‌ای گاز و مایع به علت ایجاد جریان گردآبه‌ای دارای پیچیدگی‌های خاصی است که عملاً آن را با مشکلاتی همراه کرده است [۱۲-۱۰].

عملکرد این نوع تفکیک‌گر بر اثر دو پدیده محدود می‌شود: خروج سیال مایع از مسیر گازی به صورت قطرات ریز و خروج سیال گاز از مسیر مایع به صورت حباب. پیش‌بینی صحیح وقوع این دو پدیده اجازه طراحی مناسب و کاربردی یک تفکیک‌گر ایده آل را خواهد داد. مدل‌های ریاضی مختلفی برای پیش‌بینی عملکرد تفکیک‌گر گاز و مایع سیکلون استوانه‌ای ارائه شده‌اند. یکی از مدل‌های ساده و کاربردی مدل هیدرودینامیکی آرپندی و همکاران است که با بررسی معادلات فشار تعادلی در یک حلقه‌ی تفکیک‌گر گاز و مایع سیکلون استوانه‌ای دامنه دبی‌های عملیاتی مجاز گاز و مایع را پیش‌بینی می‌کند [۱۳]. در این مدل به علت به کار بردن مفاهیم فیزیکی قابل اندازه‌گیری مانند سطح تعادلی مایع، افت فشار در ستون اصلی تفکیک‌گر و ماند مایع، استفاده از آن راحت و با دقت بیشتری همراه است. به ارتفاع قرار گرفته شده سطح مایع در ستون اصلی تفکیک‌گر سیکلون استوانه‌ای گاز و مایع که زیر محل نازل ورودی قرار دارد سطح تعادلی مایع اطلاق می‌شود. هدف اصلی این پژوهش بررسی آزمایشگاهی عملکرد دستگاه و این دو پدیده و تاثیر آنها بر روی علمکرد تفکیک‌گر و ارتفاع سطح تعادلی مایع خواهد بود [۱۴ و ۱۵].

در این مدل محدوده مجاز عملکرد دستگاه زمانی اطلاق می‌شود که سطح تعادلی مایع بین یک سوم و دو سوم طول ستون مایع تفکیک‌گر قرار گیرد. زمانی که دبی مایع ورودی زیاد شود ماند مایع در ستون اصلی تفکیک‌گر سیکلون استوانه‌ای گاز و مایع افزایش می‌یابد و سطح تعادلی مایع بالا می‌آید. زمانی که این سطح از دو سوم طول ستون مایع بالاتر بیاید و به محل اتصال نازل ورودی با بدنه اصلی نزدیک شود، احتمال ایجاد اغتشاش در نزدیکی محل اتصال نازل با بدنه اصلی بالا می‌رود. این اغتشاش باعث پرتاب قطرات مایع به درون فضای ستون گازی می‌شود که این موضوع خود باعث خروج نامطلوب مایع از خروجی گازی دستگاه می‌شود. به همین صورت اگر دبی گاز ورودی به تفکیک‌گر سیکلون استوانه‌ای گاز و مایع افزایش یابد، تجمع حجم گاز در بدنه اصلی تفکیک‌گر زیاد می‌شود و سطح تعادلی مایع را به سمت پایین هل می‌دهد. این کاهش سطح اگر از یک سوم طول ستون مایع کمتر شود باعث افزایش شانس نفوذ حباب‌های گازی به درون خروجی گازی می‌شود [۱۳ و ۱۵].

مطالعات بر روی تفکیک‌گرهای سیکلون استوانه‌ای از سال ۱۹۸۱ آغاز شده است و تا کنون ادامه دارد. برای اولین بار ریدون و گاوین رفتار یک جریان گردآبه را در سیکلون مخروطی شکل بررسی کردند [۱۶]. در ادامه میلینگتون و تیو به بررسی تاثیر هندسه نازل ورودی به بدنه تفکیک‌گر سیکلون استوانه‌ای بر روی پروفایل سرعت و فشاری جریان گردآبه‌ای را گزارش کردند [۱۷]. بوندیوپادهیاه روش

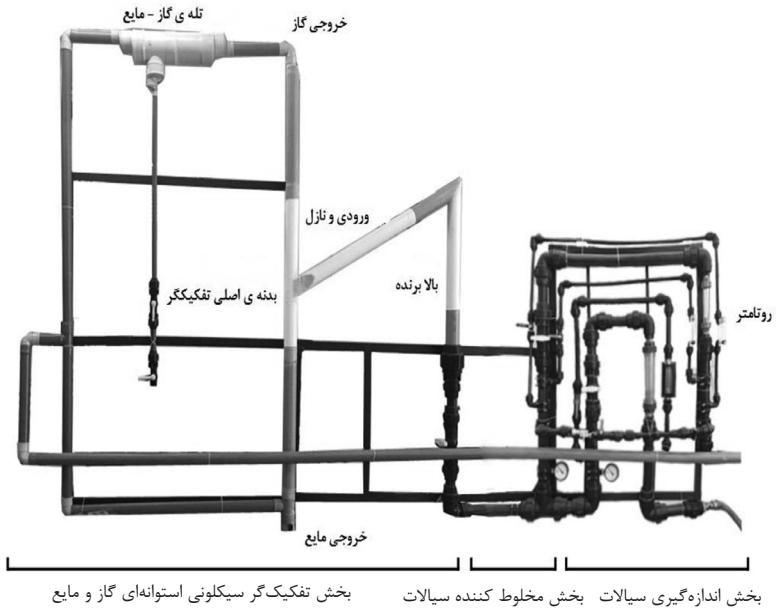
عـددی بـرای بررسـی مکانسـیم جدایـش حباب‌هـای گازی در یـک گـردآب در تفکیک‌گـر سـیکلون اسـتوانه‌ای ارائـه کـرد [۱۸]. ایـن تحقیـق باعث شـد تـا آرپنـدی و همکارانش مدلـی ریاضـی سـاده امـا کاربـردی بـرای پیش‌بینـی عملکـرد تفکیک‌گـر سـیکلون اسـتوانه‌ای ارائـه کننـد. ایـن روش بـه علـت اسـتفاده از مفاهیـم فیزیکـی قابـل مشـاهده و اندازه‌گیـری تـا بـه امـروز مـورد اسـتفاده در طراحی‌هـای تفکیک‌گـر سـیکلون اسـتوانه‌ای اسـت [۱۳].

گومـز و همـکاران نرم‌افـزاری بـرای طراحـی تفکیک‌گرهـای سـیکلون اسـتوانه‌ای تدویـن کردنـد. در ایـن نرم‌افـزار بـا اسـتفاده از مدل‌هـای ریاضـی و عـددی حاضـر تـا آن زمـان بـه طراحـی اولیـه تفکیک‌گـر سـیکلون اسـتوانه‌ای می‌پرداخـت. شـوهام و گومـز بـرای اولیـن بـار بـه بررسـی امـکان جدایـش فازهـای مایـع از مایـع به کمـک تفکیک‌گر سـیکلون اسـتوانه‌ای پرداختنـد. گرچـه ایـن کاربـرد بـرای دسـتگاه بـه صـورت مطلـق و قطعـی پیشـنهاد نمی‌شـود و بدیـن حالـت جدایـش دوفـاز سـیال آب و نفـت بـه صـورت کامـل شـدنی نیسـت. ایشـان مشـاهده کردنـد در خروجـی پاییـن دسـتگاه جریـان نسـبتاً تمیـزی از سـیال آب خـارج می‌شـود منتهـی در خروجـی بـالا کـه بـرای خـروج سـیال نفتـی در نظـر گرفتـه شـده بـود سـیال دوفـازی مشـاهده شـد کـه بیشـتر سـهم آن را نفـت در بـر می‌گرفـت. تفـاوت عمـده طراحـی ایـن تفکیک‌گـر بـا کاربـرد جدایـش دو فـاز مایـع در ایـن مسـئله اسـت کـه در ایـن حالـت نـازل ورودی بـه بدنـه اصلـی، افقـی و بدون زاویـه اسـت [۱۹]. در ادامـه بریتـو و توریجیلـو در یـک بررسـی آزمایشـگاهی بـه تاثیـر گرانـروی فازهـای ورودی بـه تفکیک‌گـر سـیکلون اسـتوانه‌ای پرداختنـد [۲۰]. و نهایتـاً هریـز و همـکاران در دو کار مجـزا بـه اسـتفاده از روش‌هـای عـددی و دینامیـک سـیالات محاسـباتی عملکـرد تفکیک‌گـر سـیکلون اسـتوانه‌ای را بررسـی کردنـد [۲۱ و ۲۲]

روش کار

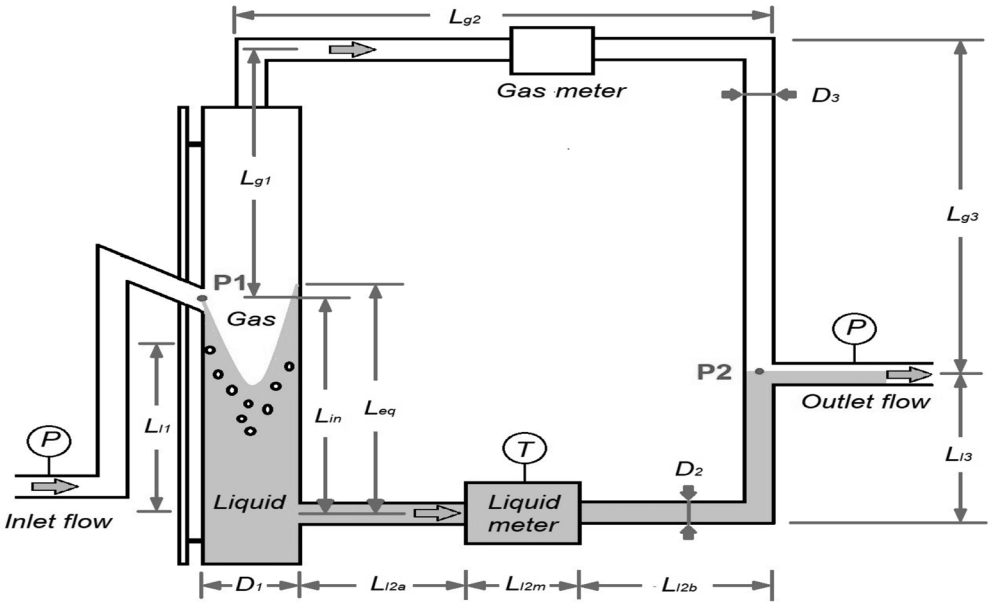
دسـتگاه آزمایشـگاهی تفکیک‌گـر سـیکلون اسـتوانه‌ای گاز و مایـع سـاخته شـده توسـط یـک پمـپ و یـک کمپرسـور هـوا بـا فشـار نهایـی psi ۹۰ تامیـن می‌شـود. در ایـن دسـتگاه از آب بـه عنـوان سـیال مایـع و هـوا بـه عنـوان سـیال گازی اسـتفاده شـده اسـت. دبی‌هـای ورودی سـیال مایـع قبـل از ورود بـه تفکیک‌گـر سـیکلون اسـتوانه‌ای گاز و مایـع بـا دو روتامتـر اندازه‌گیـری می‌شـود. همین‌طـور بـرای سـیال گازی دبـی ورودی سـیال گازی بـا سـه روتامتـر سـنجیده می‌شـود. در هـر یـک از خروجی‌هـای دسـتگاه یـک تلـه گازی و مایـع بـرای شناسـایی خـروج احتمالـی سـیال گاز و مایـع مزاحم تعبیـه شـده اسـت. سـتون اصلی دسـتگاه بـا طـول ۲/۴ m و قطـر ۷/۶ cm بـه دو بخـش سـتون گازی و سـتون مایع با طـول یکسـان تقسـیم می‌شـود و ورودی یـا قطـر ۷/۶ cm کـه بـا نـازل کاهنـده سـطح مقطـع تـا ۲۵٪ در بیـن ایـن دو بخـش بـه سـتون اصلـی متصـل شـده اسـت. خروجی‌هـای ایـن دسـتگاه با قطـر ۵ cm و طـول ۲/۶۰ cm طراحـی شـده‌اند. تجهیـزات و اجـرای بـه‌کار رفتـه در ایـن دسـتگاه بـه دو بخـش اساسـی تقسـیم می‌شـوند: ۱- بخـش اندازه‌گیـری ۲- بخـش تفکیک‌گـر. دربخـش اول سـیالات پـس از اندازه‌گیـری توسـط روتامترهـا به‌وسـیله یـک مخلـوط کـن اسـتاتیک بـا یکدیگـر مخلـوط می‌شـوند و سـیال دو فـازی یکنواختـی به‌دسـت می‌آیـد. پـس از آن سـیال دوفـازی به‌دسـت آمـده بـه سـمت بخـش تفکیک‌گـر هدایـت می‌شـود تـا دو فـاز گاز و مایـع از یکدیگـر جـدا شـوند. شـکل ۲ نمایـی از دسـتگاه سـاخته شـده را نشـان می‌دهـد.

بـرای انجـام آزمایشـات ۶ دبـی مختلـف بـرای مایـع و ۳ دبـی مختلـف بـرای گاز انتخـاب شـده اسـت. بـرای هـر یـک از ایـن ۱۸ آزمایـش سـطح تعادلـی مایـع بررسـی شـده اسـت. بـا توجـه بـه طـول سـتون مایـع دسـتگاه سـطح مایـع بایـد بیـن ارتفـاع ۴۲ تـا ۸۴ cm سـتون مایـع قـرار بگیـرد. در ادامـه تغییـرات فیزیکـی مشـخصی بـر روی هندسـه دسـتگاه اعمـال شـده اسـت و بـرای ۱۸ حالـت دبی‌هـای ورودی سـطح تعادلـی مایـع اندازه‌گیـری شـده اسـت. موثـر یـا مضـر بـودن هـر یـک از ایـن تغییـرات در ادامـه بررسـی و آنالیـز شـده اسـت [۲۳-۲۵].



شکل ۲ نمای نمونه آزمایشگاهی تفکیک‌گر سیکلونی استوانه‌ای گاز و مایع

همین‌طور از مدل ریاضی آرپندی و همکاران برای بررسی همین تغییرات فیزیکی استفاده شده است. در انتها نتایج آزمایشگاهی با نتایج مدل ریاضی مقایسه شده است تا دقت مدل آرپندی و همکاران مشخص شود و نقاط قوت و ضعف آن پیدا شود. در مدل مذکور با توجه به شکل ۳ افت فشار بین نقاط ۱ و ۲ به صورت رابطه‌های افت فشاری در شاخه گازی و مایع تعریف می‌شود [۱۳ و ۲۶].



شکل ۳ حلقه تفکیک‌گر سیکلون استوانه‌ای گاز و مایع [۱۳]

$$\Delta P_i = \rho_l g\left(L_{eq} - L_{l_3}\right) + \rho_g g\left(L_{in} - L_{eq}\right) - \left(\phi_l + \frac{f_{l_1} L_{eq}}{D_1}\frac{\rho_l \upsilon_{l_1}^2}{2}\right) \quad (۱)$$

$$\Delta P_g = \rho_g g\left(L_{g_3} - L_{g_1}\right) - \phi_g \quad (۲)$$

در حالی که مقدار ϕ_l و ϕ_g برابر با افت فشار اصطکاکی در بخش مایع و گازی است. در ادامه با برابر قرار دادن دو رابطه بالا مقدار سطح تعادلی مایع از رابطه زیر حاصل خواهد شد [۱۳].

$$L_{eq} = \frac{\phi_l - \phi_g + \rho_l g L_{l_3} - \rho_g g\left(L_{in} + L_{g_1} - L_{g_3}\right)}{g\left(\rho_l - \rho_g\right) - \left(\frac{\rho_l \upsilon_{l_1}^2}{2}\frac{f_{l_1}}{D_1}\right)} \quad (۳)$$

بحث و نتایج

عملکرد نرمال تفکیک‌گر سیکلون استوانه‌ای گاز و مایع (شرایط معمول)

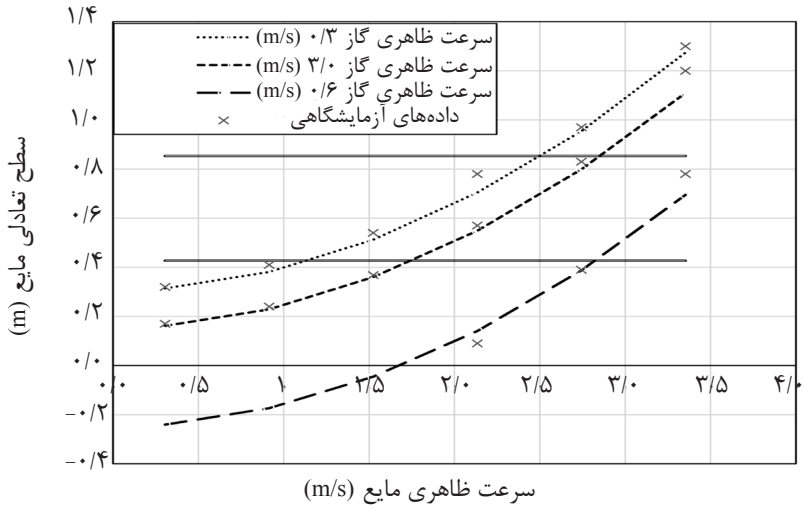
شکل ۴ عملکرد تفکیک‌گر سیکلون استوانه‌ای گاز و مایع در حالت معمولی نشان می‌دهد. همان‌طور که مشخص است هرچه سرعت ظاهری مایع بیشتر می‌شود سطح تعادلی مایع بالاتر می‌رود. بر خلاف آن هرچه سرعت ظاهری گاز افزایش یابد سطح تعادلی مایع کاهش خواهد یافت. در این بین کمترین و بیشترین حد مجاز برای سطح تعادلی مایع به صورت دو خط افقی نشان داده شده است. این محدوده نشان دهنده سرعت‌های ظاهری مناسب و عملیاتی برای این تفکیک‌گر سیکلون استوانه‌ای گاز و مایع است. همچنین داده‌های آزمایشگاهی هم مدل ریاضی را تایید می‌کنند. همچنین سرعت ظاهری سیالات به صورت زیر تعریف می‌شود. این نمودار در مقایسه با حالات دیگر با عنوان شرایط معمول آورده شده است.

$$V_{sl} = \frac{q_l}{A} = V_l \times H_l \quad (۴)$$

عملکرد تفکیک‌گر سیکلون استوانه‌ای گاز و مایع در اثر کاهش قطر نازل ورودی

در این بخش قطر نازل ورودی به تفکیک‌گر سیکلون استوانه‌ای گاز و مایع را به میزان ۱/۵ cm کم کاهش داده شده است. این کاهش باعث می‌شود تا چرخش جریان دوفازی بر روی بدنه در زمان ورود به تفکیک‌گر بهتر و موثرتر اتفاق بیافتد. همان‌طور که در رابطه ۵ مشخص شده است کاهش قطر ورودی و یا بالا رفتن سرعت زاویه‌ای باعث افزایش نیروی گریز از مرکز می‌شود که نتیجتاً به خاطر اختلاف چگالی دو سیال گاز و مایع منجر به جداسازی راحت‌تر فازهای سیال از یکدیگر می‌شود.

$$F_{centrifuge} = \frac{mV^2}{r} \quad (۵)$$



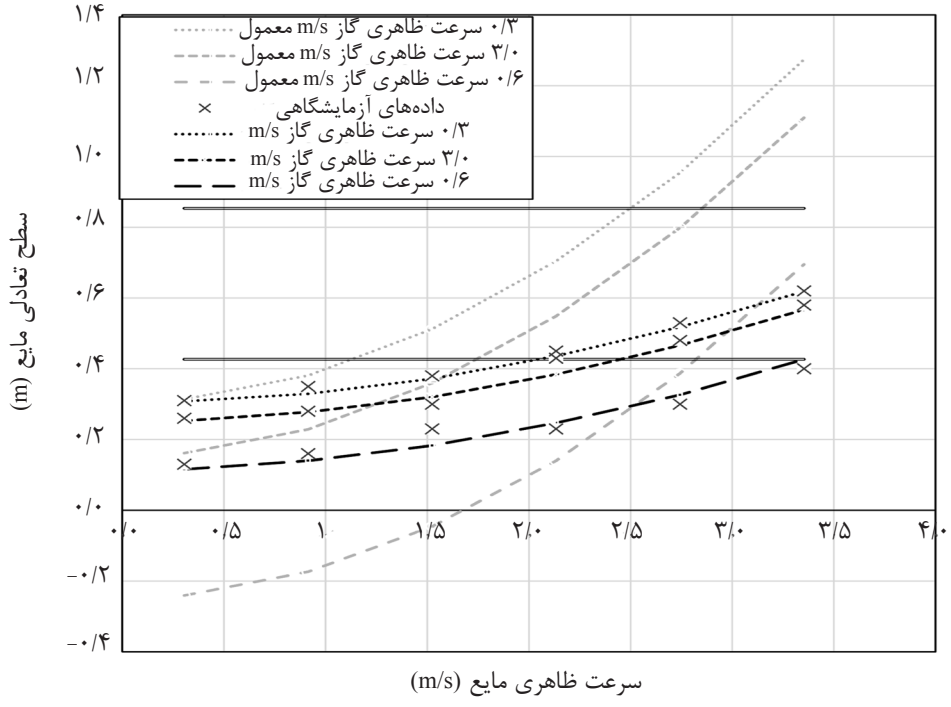
شکل ۴ نمودار عملکرد نرمال تفکیک‌گر سیکلون استوانه ای گاز و مایع

در شکل ۵ نتیجه این تغییر مشهود است. نمودارهای عملکرد به یکدیگر نزدیک‌تر شده‌اند و شیب آنها کاهش پیدا کرده است. همین موضوع باعث شده است تا نقاط بیشتری از دبی‌های ورودی بین محدوده مجاز عملیاتی قرار بگیرند. این اثر مثبت در دبی‌های بالای گازی و مایع بیشتر مشهود است. همچنین داده‌های آزمایشگاهی اثر کاهش قطر نازل را بر روی عملکرد تفکیک‌گر سیکلون استوانه‌ای گاز و مایع مثبت نشان می‌دهند.

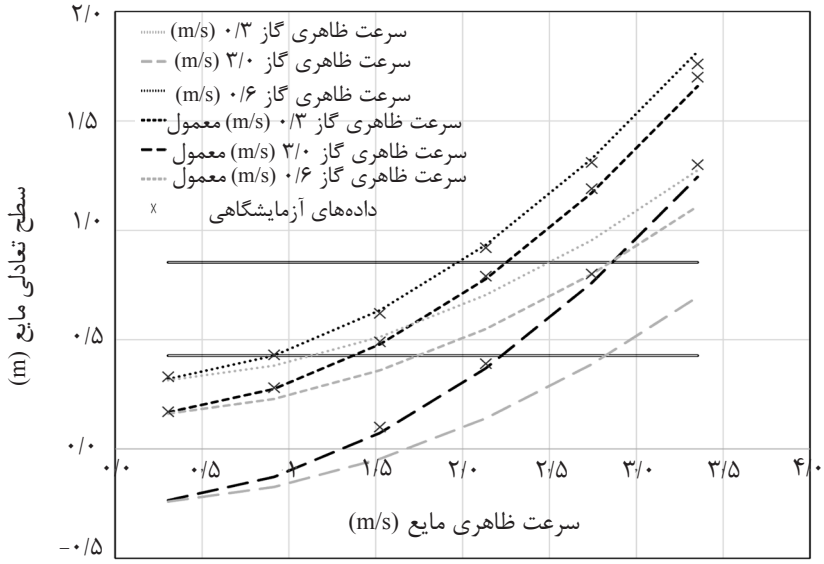
عملکرد تفکیک‌گر سیکلون استوانه‌ای گاز و مایع بر اثر کاهش قطر خروجی مایع

همانطور که در قبل مطرح شد انباشتگی مایع در بدنه اصلی باعث بالاتر رفتن سطح تعادلی مایع می‌شود. در این مرحله از بررسی آزمایشگاهی قطر خروجی دستگاه به مقدار ۰/۵ cm کاهش یافته است. همین کاهش در قطر خروجی باعث می‌شود تا تخلیه مایع در بدنه در مقایسه با حالت معمول کندتر انجام شود. استفاده از شیر دروازه‌ای در خروجی تفکیک‌گر سیکلون استوانه‌ای گاز و مایع می‌تواند به عنوان یک سیستم کنترلی اعمال شود تا سطح تعادلی مایع در تفکیک‌گر را کنترل کند. منتهی این روش کنترلی برای مواقعی موثر و کاربردی است که دبی گازی ورودی به تفکیک‌گر بالا باشد وگرنه در حالت دبی پایین گازی این عمل می‌تواند احتمال ایجاد نفوذ قطرات مایع به خروجی گازی را افزایش دهد.

در شکل ۶ اثر کاهش قطر خروجی بر روی عملکرد تفکیک‌گر نشان داده شده است. این تغییر به جابه‌جایی نمودار مربوط به سرعت بالای گازی و قرار گرفتن آن در محدوده سطح تعادلی مایع مجاز کمک می‌کند. ولی این تغییر در دبی‌های پایین گازی و دبی بالای مایع مضر واقع شده است. در مجموع این تغییر برای عملکرد تفکیک‌گر سیکلون استوانه‌ای گاز و مایع کمک‌کننده ظاهر نشده است ولی می‌توان به عنوان راه حلی برای کنترل سطح تعادلی مایع از آن بهره برد.



شکل ۵ نمودار عملکرد تفکیک‌گر سیکلون استوانه‌ای گاز و مایع در اثر کاهش قطر نازل ورودی

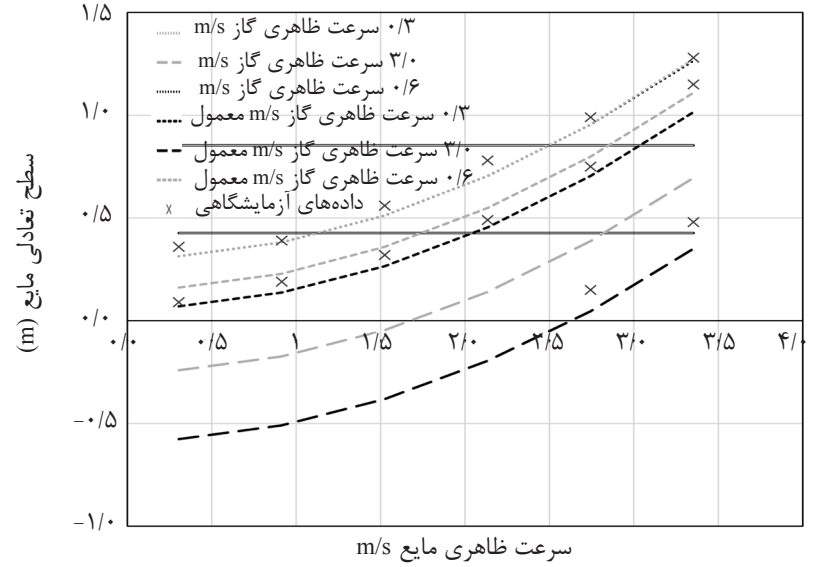


شکل ۶ نمودار عملکرد تفکیک‌گر سیکلون استوانه‌ای گاز و مایع بر اثر کاهش قطر خروجی مایع

عملکرد تفکیک‌گر سیکلون استوانه‌ای گاز و مایع بر اثر کاهش قطر خروجی گاز

کاهش در قطر خروجی گازی باعث انباشتگی گاز در بدنه اصلی تفکیک‌گر شده و نهایتاً این انباشتگی باعث پایین‌تر نگه‌داشتن سطح تعادلی مایع می‌شود. همانند کاهش قطر خروجی مایع این عمل معادل با نصب یک شیر دروازه‌ای است که می‌توان با آن سطح تعادلی مایع را کنترل کرد.

در شکل ۷ تاثیر این تغییر نشان داده شده است. کاهش قطر خروجی گازی باعث شده است تا نمودارها مربوط به دبی‌های بالا و متوسط گازی به سمت پایین جابجا شوند. در نمودار مرتبط به دبی گازی کم تغییری مشاهده نمی‌شود. این بدان معنی است که این میزان از دبی گاز با مقدار قطر تغییر یافته منجر به انباشتگی گاز نشده است. قطعاً کاهش بیشتر در قطر در جابه‌جایی این نمودار تاثیرگذار خواهد بود.



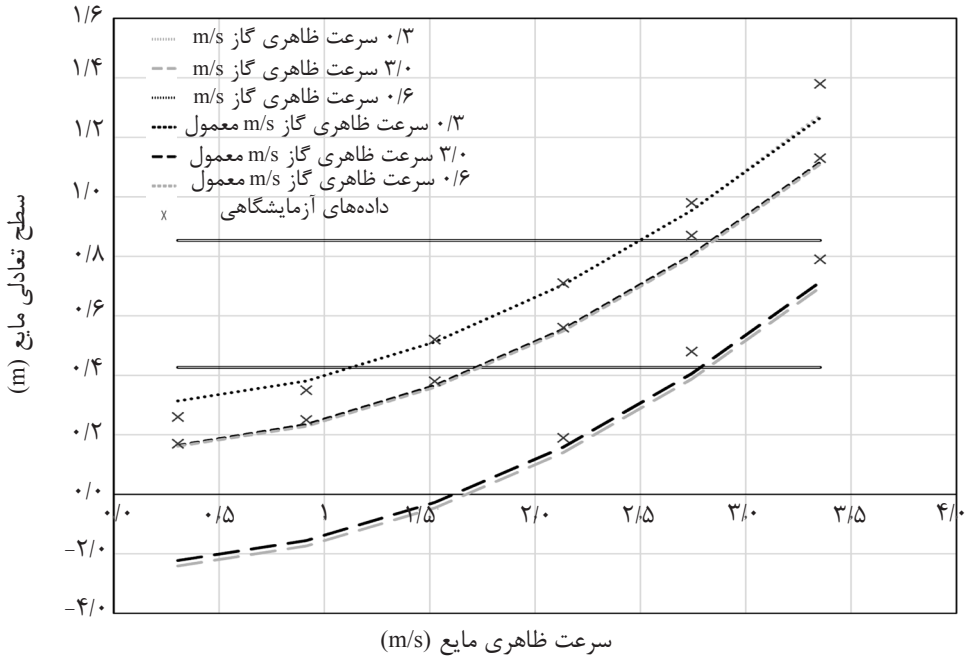
شکل ۷ نمودار عملکرد تفکیک‌گر سیکلون استوانه‌ای گاز و مایع بر اثر کاهش قطر خروجی گاز

عملکرد تفکیک‌گر سیکلون استوانه‌ای گاز و مایع بر اثر کاهش طول ستون گازی

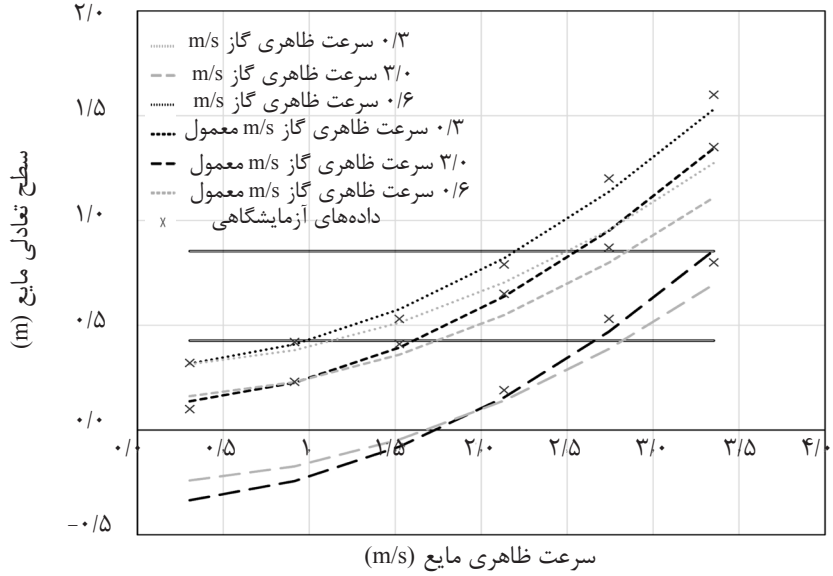
در شکل ۸ تغییرات کاهش ۱۲۰ cm از طول ستون گازی نشان داده شده است. با اینکه نمودارها تغییری را نشان نمی‌دهند و شایان ذکر است که این تغییر باعث شده است تا عملکرد تفکیک‌گر به درستی حالت معمول آن نباشد. از مشاهدات آزمایشگاهی و پیش‌بینی مدل ریاضی این‌طور نتیجه گرفته می‌شود که تغییر در ستون گازی تاثیری بر روی سطح تعادلی مایع ندارد ولی کاهش آن احتمال ورود قطرات پخش شده در بخش گازی بدنه تفکیک‌گر به درون خروجی گازی بالا می‌رود و باعث تضعیف عملکرد دستگاه می‌شود. این اتفاق در سرعت‌های بالای گازی محتمل‌تر است. لازم به ذکر است این پدیده در بررسی‌های آزمایشگاهی مشاهده شده است و مدل ریاضی توانایی پیش‌بینی این پدیده را ندارد. به همین علت کاهش در طول ستون گازی بدنه اصلی تفکیک‌گر سیکلونی استوانه‌ای در شرایط معمول توصیه نمی‌شود.

عملکرد تفکیک‌گر سیکلون استوانه‌ای گاز و مایع بر اثر افزایش طول خروجی‌ها

همانطور که در شکل ۹ نشان داده شده است زمانی که به طول خروجی‌های تفکیک‌گر افزوده می‌شود تنها اثری که در عملکرد دستگاه وارد می‌شود افزایش نیروی اصطکاک بر روی جریان عبوری است. این اثر در دبی‌های بالای گاز و مایع مشهود است. این تغییر تماماً مضر و محدوده عملیاتی دستگاه را کاهش می‌دهد. در دبی‌های معمول گازی اثر اصطکاک مایع نسبت به گاز بیشتر است و انباشتگی مایع بیشتر از گاز است به همین خاطر سطح تعادلی مایع بالاتر آمده است. منتهی در دبی بالای گازی و دبی کم مایع اصطکاک گاز از مایع پیشی گرفته است و انباشتگی گاز بیشتر است. به همین علت سطح تعادلی مایع پایین‌تر از حالت معمول آمده است.



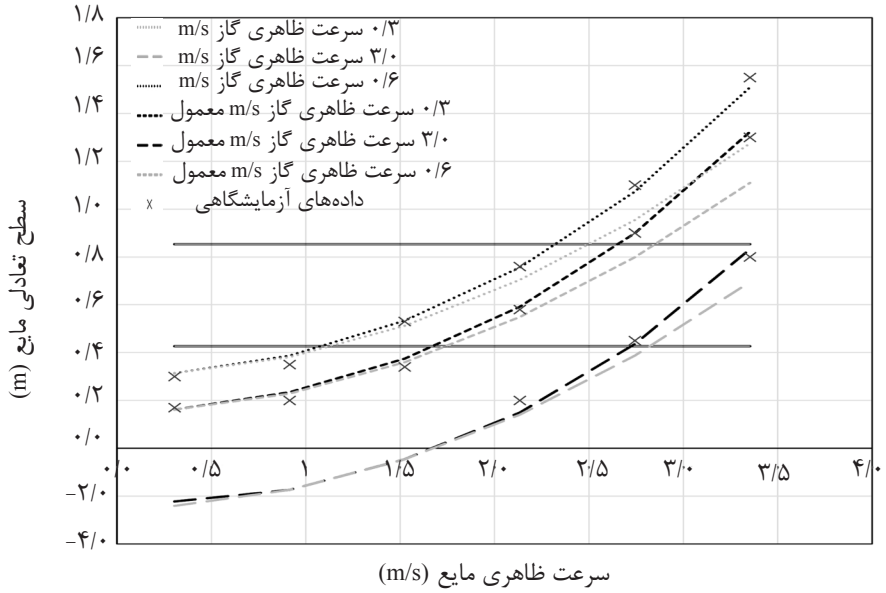
شکل ۸ نمودار عملکرد تفکیک‌گر سیکلون استوانه‌ای گاز و مایع بر اثر کاهش طول ستون گازی



شکل ۹ نمودار عملکرد تفکیک‌گر سیکلون استوانه‌ای گاز و مایع بر اثر افزایش طول خروجی‌ها

عملکرد تفکیک‌گر سیکلون استوانه‌ای گاز و مایع بر اثر کاهش قطر بدنه اصلی

در شکل ۱۰ تاثیر کاهش قطر بدنه اصلی آمده است. هر گونه تغییر در قطر بدنه اصلی باعث اثر بر روی ماهیت جریان گردآبه درون تفکیک‌گر می‌شود. جریان گردآبه شامل جریانی از مایع که به صورت چرخشی حول محوری در حال گردش است در حالی که ستونی نازک و مخروطی شکلی از گاز در وسط آن قرار دارد. در دبی‌های بالای مایع، کاهش در قطر بدنه اصلی باعث می‌شود تا ستون گازی در مرکز جریان گردآبه کشیده‌تر و به خروجی مایع در پایین تفکیک‌گر نزدیک شود. در ادامه این عمل احتمال خروج حباب‌های گاز از خروجی مایع بیشتر شود. عملا این تغییر باعث شده است تا در دبی‌های بالای مایع سطح تعادلی مایع بالاتر قرار بگیرد و تاثیری منفی بر روی عملکرد تفکیک‌گر بگذارد. طبیعت جریان گردآبه دارای پیچیدگی‌های خاص خود است که برای آنالیز آن نیاز به مطالعات بیشتر است.



شکل ۱۰ نمودار عملکرد تفکیک‌گر سیکلون استوانه‌ای گاز و مایع بر اثر کاهش قطر بدنه اصلی

نتیجه‌گیری

کاهش در قطر نازل ورودی به عملکرد تفکیک‌گر کمک می‌کند. این تغییر باعث می‌شود تا دبی‌های بیشتری از گاز و مایع جهت جدایش کامل به درون تفکیک‌گر وارد شوند. کاهش در قطر خروجی مایع اثری منفی بر روی عملکرد تفکیک‌گر دارد اما این کاهش می‌تواند به عنوان ابزاری جهت کنترل سطح تعادلی مایع استفاده شود. همین طور کاهش در قطر خروجی گاز هم اثری منفی بر روی عملکرد دستگاه دارد ولی می‌توان از آن جهت جلوگیری از نفوذ مایع به خروجی گازی استفاده کرد. کاهش در طول ستون گازی اثری بر روی سطح تعادلی مایع ندارد ولی می‌تواند عملکرد دستگاه را به خطر بیاندازد. افزایش در طول خروجی‌های دستگاه باعث افزایش نیروی مضر اصطکاک می‌شود. نهایتاً کاهش در قطر بدنه اصلی تفکیک‌گر می‌تواند احتمال ورود گاز به خروجی مایع را بالا ببرد.

علائم و نشانه‌ها

A: سطح مقطع (mm)

D: قطر لوله (in)

F: نیرو (N)

H: ماند سیال

L: طول لوله (m)

V: سرعت سیال (m/s)

f: ضریب اصطکاک

g: ثابت گرانش (m/s^2)

m: جرم (g)

r: شعاع (in)

q: دبی (m^3/hr)

ρ: چگالی (g/L)

Φ: اختلاف پتانسیل (P)

ΔP: اختلاف فشار (P)

v: سرعت (m/s)

زیروند

eq: تعادلی

g: گاز

in: ورودی

l: مایع

s: ظاهری

مراجع

[1]. Kristoffersen T. T. and Holden C., "*Nonlinear state and parameter estimation for a gas-liquid cylindrical cyclone*," In 2018 IEEE Conference on Control Technology and Applications (CCTA) (pp. 1772-1778). IEEE, August, 2018.

[2]. Taitel Y., "*Stability of severe slugging*," International Journal of Multiphase Flow, Vol. 12, No. 2, pp. 203-217, 1986.

[3]. Griffith P. and Wallis G. B., "*Two-phase slug flow*," Journal of Heat Transfer, Vol. 83, No. 3, 1961.

[4]. Vieira R. E., Sajeev S., Shirazi S. A., McLaury B. S. and Kouba G., "*Experiments and modelling of sand erosion in gas-liquid cylindrical cyclone separators under gas production and low-liquid loading conditions*," In 17th International Conference on Multiphase Production Technology, BHR Group, September 2015,.

[5]. Kouba G. E., Wang S., Gomez L. E., Mohan R. S. and Shoham O., "*Review of the state-of-the-art gas-liquid cylindrical cyclone (glcc) technology-field applications*," International Oil & Gas Conference and Exhibition, Beijing, China, 2006.

[6]. Kolla S. S., Mohan R. S. and Shoham O., "*Structural integrity analysis of gas–liquid cylindrical cyclone (GLCC) separator inlet*," Journal of Energy Resources Technology, Vol. 140, No. 5, 2018.

[7]. Shoham O. and Kouba G., "*State of the art of gas/liquid cylindrical-cyclone compact-separator technology*,"- Journal of Petroleum Technology, Vol. 50, No. 7, pp. 58-65, 1998.

[8]. Kouba G. E., Shoham O. and Shirazi S., "*Design and performance of gas-liquid cylindrical cyclone separators*," Proceedings of the BHR Group 7th International Meeting on Multiphase Flow, Cannes, France, 1995.

[9]. Erdal F. M., Shirazi S. A., Shoham O. and Kouba G. E., "*CFD simulation of single-phase and two-phase flow in gas-liquid cylindrical cyclone separators*," SPE Journal, Vol. 2, No. 04, pp. 436-446, 1997.

[10]. Yue T., Chen J., Song J., Chen X., Wang Y., Jia Z. and Xu R., "*Experimental and numerical study of upper swirling liquid film (USLF) among gas-liquid cylindrical cyclones (GLCC)*," Chemical Engineering Journal, Vol. 358, pp. 806-820, 2019.

[11]. Asaadian H., Soltani Soulgani B., Rezaei Gomari S. and Soltani Soulgani B., "*Experimental investigation over effect of geometrical changes on gas/liquid cylindrical cyclone GLCC separator*," In Abu Dhabi International Petroleum Exhibition & Conference, Society of Petroleum Engineers, November 2018.

[12]. Kouba, G. and Shoham O., "*A review of gas-liquid cylindrical cyclone (glcc) technology*," Production Separation Systems International Conference, Aberdeen, England, 1996.

[13]. Arpandi I., Joshi A. R., Shoham O. and Shirazi S., "*Hydrodynamics of two-phase flow in gas-liquid cylindrical cyclone separators*," SPE Journal, Vol. 1, No. 4, pp. 427-436, 1996.

[14]. Chirinos W., Gomez L., Wang S., Mohan R., Shoham O. and Kouba G., "*Liquid carry-over in gas-liquid cylindrical cyclone compact separators*," SPE annual technical conference and exhibition, Houston, Texas, pp. 259-267, 1999.

[15]. Erdal F. M., Shirazi S., Mantilla I., and Shoham O., "*CFD study of bubble carry-under in gas-liquid cylindrical cyclone separators*," SPE Annual Technical Conference and Exhibition, New Orlean, Louisiana, 1998.

[16]. Reydon R. F. and Gauvin W. H., "*Theoretical and experimental studies of confined vortex flow*," The Canadian Journal of Chemical Engineering, Vol. 59, No. 1, pp. 14-23, 1981.

[17]. Millington B. C. and Thew M. T., "*LDA study of component velocities in air-water models of steam-water cyclone separators*," In Proceeding of the 3rd International Conference on Multiphase Flow, The Hague, The Netherlands, pp. 115-125, May 1987.

[18]. Bandyopadhyay P. R., Pacifico G. C. and Gad-el-Hak M., "*Sensitivity of a gas-core vortex in a cyclone-type gas-liquid separatorm*," Asme-Publications-fed, Vol. 192, pp. 37-37, 1994.

[19]. Gomez L., Mohan R., Shoham O. and Kouba G., "*Enhanced mechanistic model and field-application design of gas/liquid cylindrical cyclone separators*," SPE Journal, Vol. 5, No. 02, pp. 190-198, 2000.

[20]. Brito A. and Trujillo J. N., "*Viscosity effect in cyclone separators performance*," In Latin American and Caribbean Petroleum Engineering Conference, Society of Petroleum Engineers, January 2009.

[21] Hreiz R., Gentric C., Midoux N., Lainé R. and Fünfschilling D., "*Hydrodynamics and velocity measurements in gas–liquid swirling flows in cylindrical cyclones*," Chemical Engineering Research and Design, Vol. 92, No. 11, pp. 2231-2246, 2014.

[22]. Hreiz R., Lainé R., Wu J., Lemaitre C., Gentric C. and Fünfschilling D., "*On the effect of the nozzle design*

on the performances of gas–liquid cylindrical cyclone separators," International Journal of Multiphase Flow, Vol. 58, pp. 15-26, 2014.

[23]. Mantilla I., Shirazi S. A. and Shoham O., "*Flow field prediction and bubble trajectory model in gas-liquid cylindrical cyclone (GLCC) separators*," Journal of Energy Resources Technology, Vol. 121, No. 1, pp. 9-14, 1999.

[24]. Marti S., Erdal F., Shoham O., Shirazi S. and Kouba G., "*Analysis of gas carry-under in gas-liquid cylindrical cyclones*," Hydrocyclones, International Meeting, St. John College, Cambridge, England, April, 1996.

[25]. Movafaghian S., Jaua-Marturet J., Mohan R. S., Shoham O. and Kouba G., "*The effects of geometry, fluid properties and pressure on the hydrodynamics of gas–liquid cylindrical cyclone separators*," International Journal of Multiphase Flow, Vol. 26, No. 6, pp. 999-1018, 2000.

[26]. Wang S., Mohan R. S., Shoham O., Marrelli J. D. and Kouba G. E., "*Performance improvement of gas liquid cylindrical cyclone separators using integrated level and pressure control systems*," Journal of Energy Resources Technology, Vol. 122, No. 4, pp. 185-192, 2000.