Archive of SID

مروری بر مدل‌سازی جداکننده‌های چندفازی گرانشی با استفاده از دینامیک سیالات محاسباتی

زهره خلیفات[1]، مرتضی زیودار[2*]، رهبر رحیمی[2]

۱- دانشجوی دکتری مهندسی شیمی، دانشگاه سیستان و بلوچستان

۲- استاد مهندسی شیمی، دانشگاه سیستان و بلوچستان

پیام‌نگار: mzivdar@eng.usb.ac.ir

چکیده

جداکننده‌های چندفازی گرانشی یکی‌از مهمترین تجهیزات برای جدایش فازهای با ارزش در صنایع مختلف به‌شمار می‌روند. به‌دلیل ضعف‌های مربوط‌به مدل‌های نیمه‌تجربی و هزینه‌های بالای انجام آزمایش برای یافتن طراحی بهینه برای این جداکننده‌ها، استفاده از دینامیک سیالات محاسباتی (CFD) رو به گسترش است. در این‌تحقیق پس از مرور کلی جداکننده‌های گرانشی به بررسی مروری بر کارهای انجام‌شده با استفاده از CFD برای انتخاب مدل مناسب در طراحی و بهینه‌سازی جداکننده‌ها،پرداخته شده‌است. نتایج نشان‌می‌دهد که اگرچه استفاده از CFD یک‌روش قدرتمند برای مدل‌سازی و بهبود طراحی جداکننده است ولی کاستی‌های آن همچون استفاده از مدل نادرست، فرضیات ساده‌کننده و روش بهینه‌سازی نامناسب، منجربه نبود دقت کافی در نتایج شبیه‌سازی و بهینه‌سازی شده‌است که باید در کارهای آینده بررسی شوند.

تاریخ دریافت: ۹۹/۰۴/۱۷

تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۵/۲۱

شماره صفحات: ۵۴ تا ۶۵

کلیدواژه‌ها: جداکنندهٔ گرانشی، شبیه‌سازی، دینامیک سیالات محاسباتی، جریان چندفازی

۱. مقدمه

جداکننده‌های چندفازی گرانشی یکی از نخستین و مهمترین تجهیزات برای جدایش فازهای امتزاج‌ناپذیر در صنایع مختلف به‌شمار می‌روند. برای نشان‌دادن اهمیت این جداکننده‌ها می‌توان به استخراج نفت از چاه نفت اشاره‌کرد. نفت استخراجی از چاه‌ها معمولاً به‌صورت دو فاز گاز- نفت، نفت- آب یا به‌صورت سه‌فاز گاز- نفت- آب است که برای دسترسی به نفت یا گاز خالص باید از یک‌جداکننده با بازده بالا استفاده کرد تا از اتلاف این‌ذخائر مهم جلوگیری شود. لازم به ذکر است که علاوه‌بر اهمیت جدایش فازهای باارزش، عملکرد این‌جداکننده‌ها تأثیر به‌سزایی بر واحدهای پایین‌دستی مانند پمپ‌ها یا کمپرسورها دارد. از این‌رو طراحی دقیق جداکننده‌ها برای دسترسی به بازده بالای جدایش و جلوگیری از خسارت واحدهای پایین‌دستی امری ضروری است[۱]. درگذشته از طراحی‌های مبنی بر API[1] برای این‌جداکننده‌ها استفاده می‌شد که

* زاهدان، دانشگاه سیستان و بلوچستان، گروه مهندسی شیمی

1. American Petroleum Institute

www.SID.ir

e of SID

این‌روش‌ها از قانون سرانگشتی[1] برای طراحی ابعادی جداساز و تعیین زمان ماند برای جدایش فازها استفاده می‌کند ولی به‌دلیل درنظر نگرفتن شرایطی مانند آرمانی‌نبودن سیال و اثر تجهیزات داخلی جداکننده، منجربه طراحی‌هایی با ابعاد بالا و نامناسب می‌شوند. در روش‌های دقیق‌تر برای طراحی جداساز از قانون سقوط قطره برای جدایش قطرات مایع از گاز و مایع از مایع، استفاده می‌شود. زمان ماند مناسب در این‌روش‌ها از راه داده‌های آزمایشگاهی و صنعتی استخراج می‌شود[۲]. درحقیقت این مدل‌های نیمه‌تجربی از شرایط و فرض‌های ساده‌شونده‌ای همچون سقوط قطرات با سرعت ثابت، سقوط از بالاترین نقطهٔ جداساز، تأثیرنداشتن جریان آشفته و تأثیر نداشتن تجهیزات داخلی بر پدیدهٔ جدایش استفاده می‌کنند. همچنین در این‌روش‌ها برای برخی از مؤلفه‌ها مانند نسبت طول به قطر، یک محدوده ارائه می‌شود. بنابراین شرکت‌های طراحی جداساز همواره از روش‌های آزمایشگاهی برای صحت‌سنجی طراحی و تعیین حدود مؤلفه‌های مجهول استفاده می‌کنند. افزون بر این باتوجه به در نظر نگرفتن اثر تجهیزات داخلی در تمام روش‌های موجود طراحی، استفاده از طراحی‌های جدید یعنی در نظر گرفتن اثر تجهیزات درونی مانند صفحات هدایت‌کنندهٔ ورودی، گرداب‌شکن، نم‌گیرها، صفحات سوراخ‌دار و غیره، برای ترکیب‌شدن با روش‌های طراحی موجود ضروری است[۳]. بررسی اثر هرکدام از این مؤلفه‌ها برای یافتن بهترین بازده نیز به انجام آزمایش‌های متعدد نیاز دارد. طبق بررسی‌های انجام‌شده مشخص شده‌است که به‌دلیل متفاوت‌بودن خواص فیزیکی سیالات در یک میدان نفتی و شرایط آزمایشگاهی و همچنین متفاوت بودن اثر تجهیزات داخلی در شرایط آزمایشگاهی و صنعتی، رسیدن به یک‌طراحی بهینه برای جداساز بدون انجام آزمایش‌های وقت‌گیر و هزینه‌بر امکان‌پذیر نیست؛ بنابراین استفاده از مدل‌سازی و شبیه‌سازی ریاضی در این کار امری ضروری به‌شمار می‌رود تا با توسعهٔ یک مدل مناسب برای شبیه‌سازی جدا کننده‌ها بتوان با اطمینان، مناسب‌ترین طراحی را برای داشتن بهترین عملکرد یک جداکننده انتخاب کرد. به‌تازگی، به‌دلیل برتری‌های مناسب CFD نسبت به آزمایش، مانند صرف وقت و هزینهٔ کمتر، امکان دسترسی به داده‌های مهندسی در نقاط مختلف سامانه و بررسی جامع‌تر مدل جریان از دینامیک سیالات محاسباتی برای بهبود طراحی و عملکرد این تجهیزات استفاده شده‌است[۵-۳].

با توجه به اهمیت جداکننده‌های چندفازی گرانشی در صنعت و نیاز به ارائهٔ یک‌روش مناسب عددی در طراحی و بهینه‌سازی جدا کننده‌ها و همچنین با توجه‌به اینکه توسعهٔ یک مدل مناسب با استفاده از CFD پیش‌نیاز طراحی و بهینه‌سازی جداکننده‌ها است، در این‌مطالعه به بررسی مروری بر مدل‌سازی‌های انجام‌شده با استفاده از CFD روی جداکننده‌های گرانشی پرداخته شده است تا با ارائهٔ یک چارچوب جامع، به محققان این حوزه کمک شود. به‌منظور بررسی بهتر در این‌تحقیق، پیش از مرور مطالعات عددیِ انجام‌شده، ابتدا به مرور کلی جداکننده‌های گرانشی پرداخته و در پایان پیشنهادهایی برای بهبود تحقیقات انجام‌شده در زمینهٔ شبیه‌سازی جدا کننده‌ها ارائه شده است.

۲. جداکننده‌های گرانشی در صنعت نفت و گاز

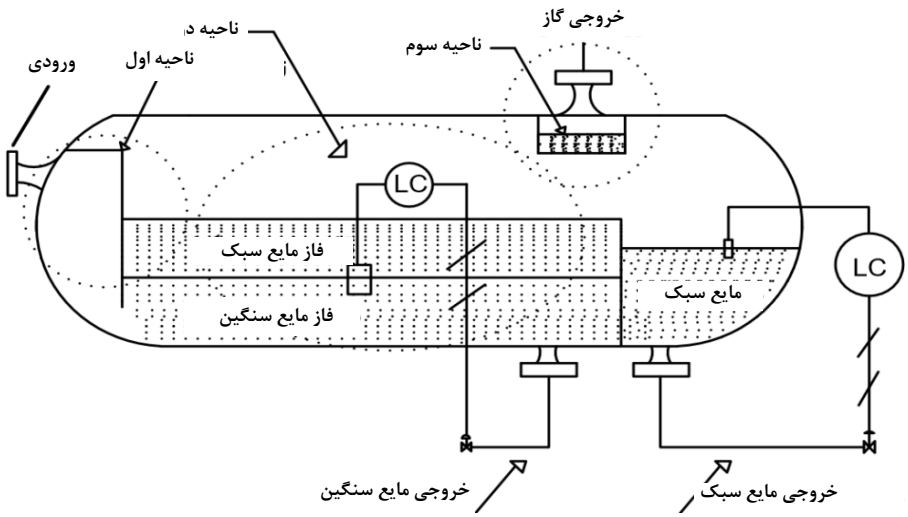
در حالت کلی جداکننده‌های گرانشی به دودستهٔ کلی جداکننده‌های دوفازی و سه‌فازی در دوحالت افقی و عمودی دسته‌بندی می‌شوند. این جداکننده‌ها اغلب به سه‌ناحیهٔ اصلی برای جدایش فازها تقسیم می‌شوند که این نواحی در شکل (۱) نشان داده شده‌است:

ناحیهٔ نخست، ناحیه‌ای است که در آن جدایش دوفاز گاز و مایع در اثر برخورد جریان سیال با یک صفحهٔ انحراف‌دهندهٔ ورودی و تغییر ناگهانی در جهت و سرعت سیال، ایجاد می‌شود. درحقیقت این تغییر ناگهانی در جهت و سرعت باعث می‌شود که قطرات بزرگ مایع روی صفحهٔ انحراف‌دهندهٔ ورودی تجمع و در اثر نیروی جاذبه به سمت پایین حرکت کنند. ناحیهٔ دوم به ناحیهٔ جدایش گرانشی معروف است؛ در این‌ناحیه، فازهای بخار و مایع با سرعت و آشفتگی کمتر حرکت می‌کنند و قطره‌های مایع که در ناحیهٔ نخست موفق به جداشدن از فاز گاز نشده‌اند، در این‌ناحیه با نیروی جاذبه به سمت پایین جداکننده حرکت می‌کنند. لازم به ذکر است که نیروی جاذبه قادر به جداسازی همهٔ قطره‌های ریز نیست و این قطرات بسیارریز که نتوانسته‌اند در اثر نیروی جاذبه ته‌نشین شوند به ناحیهٔ سوم یعنی ناحیهٔ حذف نم نهایی یا نم‌گیرها می‌روند. در این ناحیه بسته به نیاز از نم‌گیرهای متفاوتی مانند صفحات موجدار، پدهای توری به هم بافته‌شده و غیره استفاده می‌شود. درحقیقت

1. Thumb Rule

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱. تقسیم‌بندی جداکننده به نواحی مختلف[۵].

پس از برخورد جریان گاز دارای قطرات بسیاریز با نم‌گیرها، این قطرات روی نم‌گیرها تجمع می‌یابند و پس از تشکیل قطرات بزرگتر، در اثر نیروی جاذبه ته‌نشین می‌شوند[۵]. در جداکننده‌های دوفازی مایع- مایع یا هنگام جدایش دوفاز مایع در یک‌جداکنندهٔ سه‌فازی، دو سازوکار فیزیکی مهم انعقاد قطرات (که در این‌حالت، دو قطره به هم می‌چسبند) و ته‌نشینی قطرات اتفاق می‌افتد. در حالت کلی دوفاز به‌دلیل اختلاف چگالی از هم جداشده، سپس قطراتی از فاز سبک (نفت) که در فاز سنگین (آب) و قطراتی از فاز سنگین که در فاز سبک هستند، در اثر تماس و ایجاد زمان اقامت کافی، هرکدام به فاز مربوط به خود می‌پیوندند[۶و۷]. لازم به ذکر است که جداکننده‌های سه‌فازی افقی به‌دلیل سطح تماس بیشتر بین فازها از کاربرد بیشتری در صنعت برخوردارند که این جداکننده‌ها معمولاً به چهار نوع جدا کنندهٔ سه‌فازی افقی همراه با سرریز[1] (هنگامی که مایع سنگین زیاد باشد)، جداکنندهٔ سه‌فازی افقی سبد و سرریز[2] (هنگامی‌که نسبت شدت جریان مایع سنگین به سبک، زیاد یا اختلاف چگالی دو فاز کم باشد و همچنین برای حالتی که کنترل سطح مشترک دو فاز مایع به‌دلیل مقدار زیاد امولسیون یا پارافین کار سختی باشد) و جداکنندهٔ سه‌فازی افقی همراه با بوت[3] (زمانی که حجم مایع سنگین قابل توجه نباشد؛ یعنی مقدار آن کمتر از ۱۵ تا ۲۰٪ جرمی کل جریان باشد) دسته‌بندی می‌شوند که در شکل (۲) نشان داده شده‌است[۲و۸]. از مهمترین تجهیزات درونی جداکننده‌ها می‌توان به هدایت کننده‌های ورودی، صفحات سوراخ‌دار یا بافل‌ها و نم‌گیرها اشاره کرد[۵و۹].

۳. مدل‌های مورد استفاده در جریان چندفازی

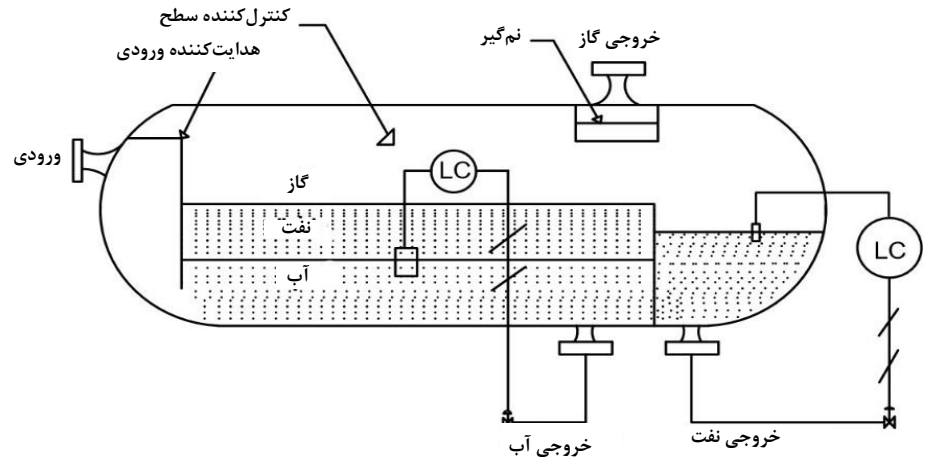
به‌طور کلی از دو دیدگاه برای مدل‌سازی جریان چندفازی استفاده می‌شود: دیدگاه اولر- لاگرانژ و دیدگاه اولر- اولر. در دیدگاه اولر- لاگرانژ یک‌فاز پیوسته و چندفاز پراکنده بررسی می‌شوند که فاز پیوسته به‌وسیلهٔ حل معادلات ناویراستوکس و فاز ناپیوسته از ردیابی تعداد زیادی ذرات در فاز پیوسته بر مبنای قانون دوم نیوتن مدل می‌شوند. مدل فاز پراکنده[4] (DPM) مربوط به این دیدگاه است. در دیدگاه اولر- اولر، همهٔ فازها به‌صورت فاز پیوسته در هم نفوذکننده در نظر گرفته می‌شوند که با یکدیگر بر همکنش دارند و به‌وسیلهٔ معادلات ناویراستوکس مدل می‌شوند. استفاده از این دیدگاه منجربه مدل‌های حجم سیال[5] (VOF)، مدل مخلوط[6] و مدل اولری[7]، می‌شود. مدل‌های k-ε، k-ω و مدل تنش رینولدز[8] (RSM) مدل‌های مختلف آشفتگی برای بررسی آشفتگی جریان هستند[۳و۱۰-۱۳].

1. Weir Separator
2. Bucket and Weir
3. Boot Separator

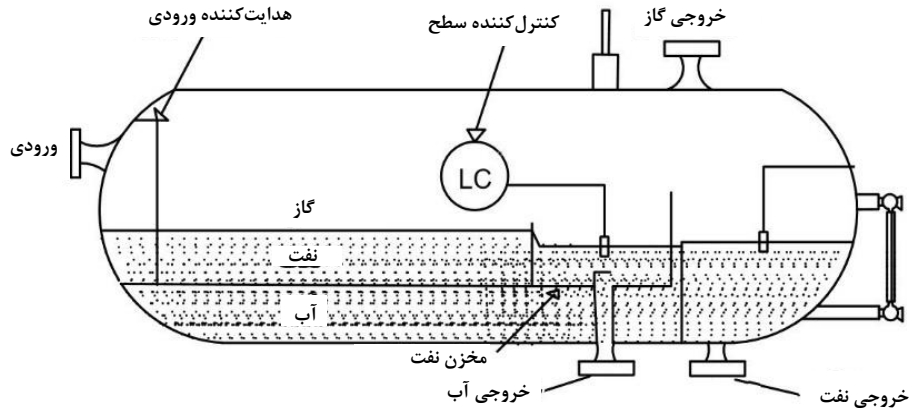
4. Dispersed Phase Model
5. Volume of Fluid
6. Mixture Model
7. Eulerian Model
8. Reynold's Stress Model

www.SID.ir

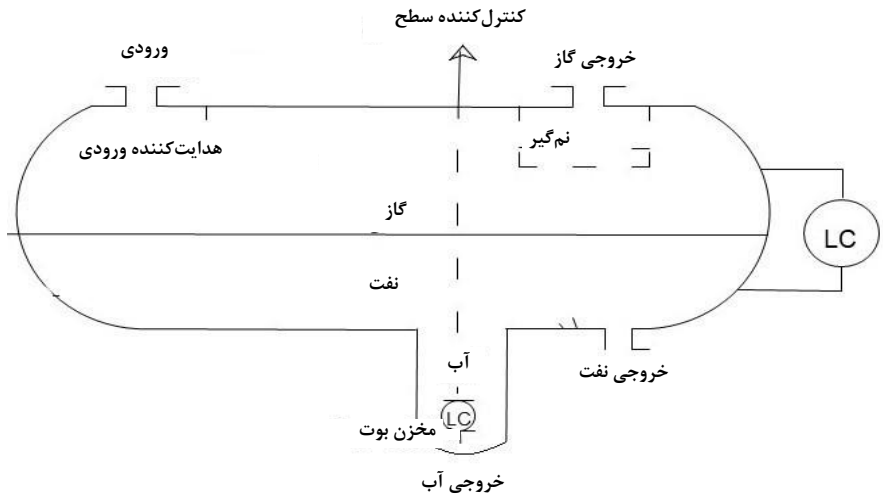
e of SID



(الف)



(ب)



(پ)

شکل ۲. نمایی از جداکنندهٔ سه‌فازی افقی (الف) دارای سرریز (ب) دارای سبد و سرریز (ج) دارای بوت[۵].

www.SID.ir

Archive of SID

۴. مطالعات CFD انجام‌شده روی جداکننده‌های چندفازی گرانشی

ویلکینسون[1] و همکاران، یک جداکنندهٔ دوفازی را (نفت- آب) در مقیاس آزمایشگاهی با استفاده از مدل DPM و مدل آشفتگی k-ε شبیه‌سازی کردند. بررسی اثر میزان بازبودن صفحات سوراخ‌دار روی یکنواخت‌تر شدن جریان، هدف اصلی این کار بوده‌است. اگرچه نتایج CFD هنگام مقایسهٔ توزیع سرعت در بعضی نقاط با شرایط آزمایشگاهی هم‌خوانی داشت؛ ولی نتایج مربوط به مقایسهٔ میزان فضای بهینهٔ باز بافل‌های سوراخ‌دار در مدل و آزمایشگاه متفاوت بودند[۱۴].

فرانکیس و لی[2] به مطالعهٔ مدل جریان در جداکنندهٔ دوفازی (نفت- آب) و سه‌فازی دارای سرریز (گاز- نفت- آب) در مقیاس آزمایشگاهی پرداختند. در این‌کار اثر شکل نازل ورودی، توزیع‌کنندهٔ جریان، هدایت‌کنندهٔ ورودی، صفحات سرریز، صفحات سوراخ‌دار و شکل نازل خروجی هرکدام به‌صورت جداگانه بدون بررسی اثر برهمکنش بین مؤلفه‌ها، روی بازده جداکننده بررسی شد. از مدل چندفازی VOF و مدل آشفتگی k-ε در این شبیه‌سازی استفاده شده‌است. نتایج نشان دادند که همهٔ تجهیزات درونی استفاده‌شده در این‌کار روی خطوط جریان تأثیرگذار بوده‌اند. برای بعضی از جداکننده‌ها که دارای داده‌های آزمایشگاهی بودند مقایسهٔ بین CFD و نتایج آزمایشگاهی برحسب توزیع سرعت، برای اعتبارسنجی استفاده شد و در بقیهٔ موارد بدون اعتبارسنجی، تنها از بهبود خطوط جریان به‌دست‌آمده از نتایج شبیه‌سازی برای بررسی اثر تجهیزات داخلی جداکننده استفاده‌شد[۱۵].

لو[3] و همکاران، اثر بافل‌های سوراخ‌دار را روی بهبود عملکرد جداکنندهٔ دوفازی در مقیاس صنعتی بررسی کردند. به‌دلیل ساختار و هندسهٔ متقارن جداکننده تنها نیمی از مخزن مدل‌سازی شده‌است. این‌فرض ساده‌کننده به‌دلیل انحراف زیاد از رژیم جریان پلاگ درون جداکننده منطقی نبوده‌است. مدل چندفازی مخلوط و مدل آشفتگی k-ε بدون اعتبارسنجی مدل در این‌کار استفاده شده‌است. از بهبود خطوط و مدل جریان به‌عنوان معیاری برای بهبود عملکرد جداکننده هنگام استفاده از بافل استفاده شده‌است.

نتایج CFD نشان‌دادند که با نصب بافل‌های سوراخ‌دار، توزیع جریان با تبدیل چرخش‌های بزرگ جریان به چرخش‌های کوچک، بهتر شده‌است. در ادامه در این‌کار از مدل DPM استفاده شد تا با ردیابی ذره‌های سیال به بررسی زمان اقامت پرداخته شود. در این‌مرحله از افزایش زمان اقامت ذرات سیال به‌عنوان معیاری برای بهبود عملکرد جداکننده، استفاده شد. با توجه‌به نتایج CFD، زمان اقامت فاز نفت بعد از نصب بافل سوراخ‌دار از ۵۲۰ ثانیه به ۷۴۵ ثانیه و برای آب از ۶۳۰ ثانیه به ۹۸۰ ثانیه افزایش یافت[۱۶].

ویلاجین و آخراس[4] به بررسی اثر هدایت‌کنندهٔ ورودی از نوع سیکلونی در یک‌جداکنندهٔ سه‌فازی افقی دارای سرریز، پرداختند. در این‌کار از مدل اولری برای شبیه‌سازی استفاده شد و بدون اعتبارسنجی مدل تنها با معیار بهبود توزیع سرعت در جداکننده و یکنواخت‌تر شدن مدل جریان بعد از قراردادن این‌نوع ورودی، نتیجه‌گرفتند که جداکننده دارای عملکرد بهتری شده‌است[۱۷].

محمدی قلعه‌نی و همکاران، به شبیه‌سازی یک جداکنندهٔ دوفازی افقی گاز- مایع در مقیاس صنعتی پرداختند. در این‌کار از مدل چندفازی VOF و مدل آشفتگی k-ε استفاده شده‌است. نتایج شبیه‌سازی با داده‌های تجربی تطابق خوبی نداشتند، با این‌وجود هدف اصلی در این‌کار، بررسی اثر افزایش دبی جریان ورودی روی ماندگی قطرات مایع در جریان گاز خروجی بوده‌است. نتایج نشان‌داد که افزایش دبی به‌دلیل کاهش زمان اقامت مایع در ناحیهٔ جداسازی گرانشی، منجربه افزایش حضور قطرات مایع در جریان گاز خروجی و درنتیجه کاهش بازده جداکننده شده‌است[۱۸].

هایتهام حسین[5] و همکاران، اثر مکان‌های مختلف بافل را روی یکنواخت‌کردن جریان در یک جداکنندهٔ گرانشی دوفازی (نفت- آب) در مقیاس آزمایشگاهی بررسی‌کردند. در این‌کار از مدل VOF استفاده‌شد. توزیع سرعت به‌دست‌آمده از شبیه‌سازی با نتایج یک کار نظری ارائه‌شده در این‌تحقیق از تطابق خوبی برخوردار بود. نتایج شبیه‌سازی نشان‌داد که بهترین مکان بافل برای حداقل‌شدن حجم ناحیهٔ چرخشی در طول جداکننده بین ۷۵ تا ۸۰ درصد از طول کلی جداکننده بوده‌است[۱۹].

حاجی‌دولو و همکاران، یک جداکنندهٔ افقی دوفازی را (نفت- گاز) در مقیاس صنعتی شبیه‌سازی کردند. در این‌شبیه‌سازی از مدل

1. Wilkinson
2. Frankiewicz and Lee
3. Lu
4. Vilagine and Akhras
5. Haitham Hussein

www.SID.ir

e of SID

چندفازی VOF و مدل آشفتگی k-ε استفاده شده‌است. هدف اصلی در این‌کار تأثیر ورودی سیکلونی بر آشفتگی جریان در طول جداکننده، هنگام افزایش دبی - که یک مشکل اساسی در صنعت است- بوده‌است. مدل مورد نظر در این‌کار صحت‌سنجی نشده‌است. معیار بهبود در این جداکننده نیز، بهبود توزیع سرعت در نظر گرفته شده‌است. نتایج شبیه‌سازی با ترسیم توزیع سرعت در مقاطع مختلف نشان‌داد که استفاده از ورودی سیکلونی به جای ورودی ساده باعث می‌شود که جریان در جداکننده با سرعت بیشتری آرام‌گیرد[۲۰].

رضایی و زارعی، یک جداکنندهٔ افقی (گاز- نفت- آب) در ابعاد پایلوت را با مدل چندفازی VOF و مدل آشفتگی k-ε شبیه‌سازی و نتایج کارشان را با نتایج یک‌پژوهش موجود در این‌مقاله که مربوطبه توزیع و انحراف استاندارد سرعت در طول جداکننده بود، مقایسه‌کردند که از تطابق خوبی برخوردار بود؛ سپس اثر شدت جریان ورودی را روی بازده جداساز سه‌فازی بررسی‌کردند؛ نتایج نشان داد که افزایش شدت جریان به‌دلیل کاهش زمان اقامت، بازده را کاهش داده‌است[۲۱].

آخاریا و کازیمیرو[1] به بررسی جدایش مایع- مایع در یک جداکنندهٔ افقی در مقیاس پایلوت با استفاده از مدل چندفازی اولری و مدل آشفتگی k-ε پرداختند. در این‌مطالعه به‌منظور اعتبارسنجی، زمان اقامت فازها با نتایج تجربی مقایسه و تطابق مناسبی بین آنها مشاهده‌شد. هدف از این‌کار بررسی اثر میزان آب (برش‌های مختلف[2]) و همچنین بررسی اثر ارتفاع سرریز روی عملکرد جداکننده بوده‌است. نتایج نشان‌داد که با افزایش میزان برش آب، زمان اقامت فاز آلی (کروزن) افزایش یافته‌است و در هرمیزان برش از آب، با افزایش ارتفاع سرریز نیز افزایش زمان اقامت مایع مشاهده شده‌است. بنابراین، این‌محققان از بهبود این مؤلفه یعنی افزایش زمان اقامت فاز آلی به‌عنوان معیاری برای بهبود عملکرد جداکننده استفاده‌کردند[۲۲].

کرزمیانوسکی[3] و همکاران به بررسی رفتار جریان و عملکرد جداکننده در یک جداکنندهٔ سه‌فازی صنعتی با استفاده از مدل چندفازی اولری و مدل آشفتگی k-ε پرداختند. هدف از این‌کار بررسی امکان در نظرگرفتن تجهیزات داخلی جداکننده مانند انعقاددهنده‌ها[4] و بافل‌ها به‌صورت محیط متخلخل به‌جای در نظرگرفتن این تجهیزات با جزئیات کامل، برای ساده‌سازی بوده‌است. برای این‌کار و برای به‌دست‌آوردن ضرائب مورد نیاز برای اعمال در مدل محیط متخلخل، از داده‌های واقعی برای محاسبهٔ افت فشار برحسب سرعت استفاده و بعد از به‌دست‌آمدن ضرائب مناسب از مدل محیط متخلخل استفاده‌شد. اگرچه اعتبارسنجی این‌مدل با نتایج آزمایشگاهی انجام نشده‌است؛ ولی نتایج این‌تحقیق نشان‌می‌دهد که رفتار کلی جداکننده هنگام ساده‌سازی مدل‌سازی با استفاده از مدل محیط متخلخل در تطابق خوبی با رفتار جداکننده هنگام استفاده از این تجهیزات داخلی با جزئیات کامل و بدون ساده‌سازی است[۲۳].

با توجه به آنچه تاکنون دربارهٔ مطالعات انجام‌شده گفته‌شد، می‌توان چنین بیان کرد که:

- بدون توجه به اعتبارسنجی مدل به بررسی اثر مؤلفه‌های مختلف روی بازده جداکننده پرداخته شده‌است.
- در برخی موارد که اعتبارسنجی انجام شده‌است از مؤلفه‌هایی مانند توزیع سرعت و زمان اقامت برای مقایسه استفاده شده‌است. درحقیقت صحت‌سنجی باید براساس بازده جداکننده برحسب توزیع جرم هریک از فازها در خروجی‌های جداکننده (به‌عنوان مثال میزان حضور قطرات مایع در فاز گاز) حساب شود، زیرا اگرچه ممکن‌است معیارهایی مانند سرعت و زمان اقامت از نتایج آزمایشگاهی و مدل یکسان باشند اما لزوماً بازده کلی جداکننده از مدل و نتایج تجربی یکسان نمی‌شود و بدون انجام این‌کار دقت شبیه‌سازی انجام‌شده مشخص نمی‌شود[۵].
- در بهینه‌سازی جداکننده هنگام اضافه‌کردن تجهیزات داخلی از مؤلفه‌هایی مانند بهبود زمان اقامت، بهبود توزیع سرعت و کاهش آشفتگی یا یکنواختی جریان به‌عنوان معیاری برای بهبود بازده کلی جداکننده استفاده شده‌است. شایان ذکر است که اگرچه بهبود این مؤلفه‌ها به جدایش بهتر فازها کمک می‌کند، اما لزوماً باعث افزایش بازدهی مؤثر در جداکننده نمی‌شود[۵]. به‌عنوان مثال اضافه‌کردن یک بافل می‌تواند از طرفی با بهبود مدل جریان باعث جدایش بهتر فازها و افزایش بازده جداکننده شود و از طرفی

1. Acharya and Casimiro
2. Water Cut
3. Krzemianowski
4. Coalescer

www.SID.ir

Archive of SID

می‌تواند باعث پدیدهٔ شکست قطرات و درنتیجه کاهش بازده به‌دلیل جدایش سخت قطرات ریز شود. بنابراین و بر این‌اساس که کدام‌یک بر دیگری غلبه می‌کند بازده کلی جداکننده مشخص می‌شود. لازم به ذکر است که این دو اثر می‌تواند به‌گونه‌ای باشند که اثر یکدیگر را خنثی‌کنند؛ به‌طوری که تغییر خاصی در بازده جداکننده مشاهده نشود[۲۴و۱۴و۵]. بنابر این بازده واقعی یک جداکننده باید بعد از اضافه‌کردن تجهیزات داخلی حساب شود تا اثر واقعی روی عملکرد کلی جداکننده مشخص شود.

در ادامه به عنوان بخش بعدی مقاله، تحقیقاتی که در آن‌ها معیار صحیح بازده برای اعتبارسنجی مدل‌ها استفاده شده‌است، بررسی خواهندشد تا با یک مطالعهٔ دقیق به میزان دقت مدل‌های مورد استفاده در شبیه‌سازی جداکننده‌ها دست‌یافته شود. در این‌تحقیقات همچنین اثر تجهیزات داخلی با در نظرگرفتن معیار صحیح روی افزایش بازده کلی جداکننده انجام شده‌است تا اثر واقعی هر تجهیز داخلی مشخص شود. شایان ذکر است که شبیه‌سازی جداکننده‌ها، که نتایج واقعی بازده با نتایج تجربی مقایسه شده‌اند، بسیار محدود بوده‌است و بیشتر آنها از دیدگاه اولر- اولر به بررسی فرایند جدایش پرداخته‌اند که به شرح زیر هستند:

خاروا و همکاران به‌منظور بررسی رفتار جریان سه‌فازی در یک جداکنندهٔ صنعتی دارای سرریز به شبیه‌سازی این جداکننده پرداختند و از مدل اولری و از مدل آشفتگی k-ε استفاده کردند. در این‌تحقیق به‌دلیل محدودیت مدل، فازهای ثانویهٔ آب و نفت هرکدام با یک اندازهٔ قطره ثابت شبیه‌سازی شده‌اند؛ البته از شکست و به هم‌پیوستن قطرات در این‌مطالعه صرف نظر شده‌است. به‌دلیل این فرضیات ساده‌کننده که محدودیت موجود در این مدل هستند، تطابق بسیار ضعیفی بین نتایج تجربی و نتایج مربوط به شبیه‌سازی برحسب میزان جرم قطرات مایع در خروجی مشاهده‌شد[۲۵].

احمد و همکاران شبیه‌سازی یک جداکنندهٔ سه‌فازی دارای سرریز را در مقیاس آزمایشگاهی با استفاده از مدل اولری و معادلهٔ آشفتگی k-ε انجام‌دادند؛ نتایج شبیه‌سازی برحسب میزان جرم قطرات مایع در فاز خروجی با هم مقایسه‌شد. در این‌روش نیز به‌دلیل استفاده از برخی فرضیات مربوطبه مدل، مانند استفاده از اندازهٔ قطرات ثابت برای فازهای ناپیوسته و در نظر نگرفتن شکست و به‌هم پیوستن قطرات، خطای نتایج شبیه‌سازی در حدود ۵۰٪ مشاهده‌شد[۲۶].

در مطالعهٔ دیگری خاروا و همکاران برای غلبه‌بر محدودیت‌های مدل استفاده‌شده در کار پیشینشان[۲۵] در استفاده‌از توزیع اندازهٔ قطرات برای فازهای ثانویه و در نظرگرفتن پدیدهٔ شکست و به‌هم‌پیوستن قطرات، از ترکیب مدل موازنهٔ جمعیت[1](PBM) با مدل اولری استفاده‌کردند تا به شبیه‌سازی جداکنندهٔ سه‌فازی دارای سرریز بپردازند. اگرچه نتایج این‌مطالعه نسبت‌به کار قبلی بهبودیافت اما احتمالاً به‌دلیل اینکه این مدل تنها قادر به در نظرگرفتن توزیع اندازهٔ قطرات برای یکی از فازهای ثانویه است و همچنین مدل اولری قادر به شبیه‌سازی مناسب برای جدایش فازها با مرز مشترک مشخص نیست دوباره تطابق خوبی بین نتایج مربوطبه شبیه‌سازی و داده‌های صنعتی (خطایی بین ۵۰ تا ۸۵٪) برحسب جرم قطرات در خروجی‌ها مشاهده‌نشد. در این‌مطالعه همچنین به مقایسهٔ زمان اقامت بین نتایج مربوطبه مدل و دادهٔ صنعتی که در کارهای گذشته به‌عنوان معیار بازده جداکننده استفاده می‌شد، پرداخته شده‌است؛ نتایج نشان‌داد که زمان اقامت متوسط به‌دست‌آمده در شبیه‌سازی از تطابق نسبتاً خوبی با داده‌های صنعتی برخودار بود. لازم به ذکر است که اگرچه مقایسهٔ زمان اقامت تطابق خوبی داشت؛ اما بازده واقعی- که نشان‌دهندهٔ کارکرد واقعی جداکننده است- تطابق ضعیفی بین نتایج مدل و صنعت داشت، که خود تأییدکنندهٔ این نکته است که تحقیقات گذشته که از این‌معیار به‌عنوان ارزیابی عملکرد استفاده می‌کردند، دقیق نبوده‌اند. در این‌تحقیق اثر نم‌گیر و هدایت‌کنندهٔ ورودی به‌طور همزمان تنها با یک ساختار از نظر طراحی، روی بازده واقعی جداکننده در نظر گرفته‌شدند. اگرچه نتایج این‌تحقیق نشان‌داد که اضافه‌کردن این تجهیزات داخلی باعث بهبود عملکرد جداکننده شده‌است؛ ولی با درنظرگرفتن تنها یک حالت از تجهیزات داخلی (حضور هردو به‌صورت همزمان در یک‌حالت) امکان بررسی اینکه آیا هرکدام از تجهیزات به‌طور جداگانه اثر قابل توجهی روی عملکرد فرایند جدایش در یک جداکننده را دارد یا خیر، فراهم نمی‌کند؛ همچنین برهم‌کنش بین این مؤلفه‌ها برای در نظرگرفتن اثر آن روی عملکرد جداکننده مشخص نمی‌شود[۲۷].

1. Population Balance Model

www.SID.ir

e of SID

اوشینو[1] و همکاران، از مدل چندفازی اولری به‌همراه مدل PBM برای بررسی جدایش گاز- نفت- آب استفاده‌کردند. در این‌کار با در نظرگرفتن امولسیون تشکیل‌شده بین آب و نفت، برهمکنش بین آنها در سطح مشترک و تشکیل یک لایهٔ به هم‌فشرده (DPL[2])، شبیه‌سازی CFD انجام‌شد. جداکنندهٔ مورد نظر یک جداکنندهٔ دارای سرریز در مقیاس پایلوت بوده‌است. نتایج این کار برحسب بازده جداکننده، توزیع اندازهٔ قطرات و ضخامت لایه DPL در جداکننده ارائه و با نتایج پایلوت مقایسه‌شد. نتایج CFD نشان‌داد که اگرچه استفاده از این مدل نسبت‌به استفاده از مدل اولری به‌تنهایی یک‌گام به‌سمت پیشگویی بهتر بازده اصلی جداکننده، ضخامت لایهٔ DPL بالای سطح آب و ارزیابی توزیع اندازهٔ ذرات درون جداکننده بوده‌است، ولی برای رسیدن به نتایج بهتر با دقت بالاتر، به استفاده از مدل‌های دقیق‌تر نیاز است[۲۸]. اوشینو و ویلاجین[3] در ادامهٔ این‌کار، از یک رابطهٔ ریاضی دقیق‌تر برای محاسبهٔ خواص امولسیون تشکیل‌شده هنگام جدایش مایع- مایع استفاده کردند و با مقایسه با کار قبلی‌شان به نتایج مدل‌سازی بهتری برای تخمین DPL و میزان جدایش آب از نفت دست یافتند. با این‌وجود بیشترین خطای مشاهده‌شده برای جدایش آب از نفت نسبت به نتایج آزمایشگاهی در حدود ۴۳/۵٪ مشاهده شده‌است[۲۹].

با توجه‌به شبیه‌سازی‌های انجام‌شده با استفاده از مدل‌های مربوط‌به دیدگاه اولر-اولر(مدل اولری و مخلوط)، اگرچه این مدل‌ها قادر به پیش‌بینی توزیع سرعت، فشار و زمان اقامت با دقت خوبی بوده‌اند اما در تخمین دقیق رفتار جدایش برای محاسبهٔ میزان جرم واقعی خارج شده از جداکننده‌ها ضعیف عمل می‌کنند. درحقیقت علاوه‌بر محدودیت این مدل‌ها در مدل‌سازی قطرات، این مدل‌ها در مدل‌سازی فصل مشترک بین فازها که لازمهٔ فرایند جدایش است، ضعیف عمل می‌کنند. اگرچه مدل VOF در مدل‌سازی سطح مشترک بین فازها و همچنین مدل‌کردن قطرات که هرکدام دارای یک‌سطح مشترک با فاز پیوسته هستند، مناسب عمل می‌کند اما به‌دلیل اینکه مدل‌سازی در اطراف هرقطره باید انجام شود، به تعدادی شبکهٔ بسیارریز در جداکننده نیاز است؛ بنابراین استفاده‌از این مدل در ابعاد صنعتی مقرون‌به صرفه نیست. استفاده از مدل DPM برای غلبه‌بر مشکل مربوط‌به مدل‌کردن قطرات می‌تواند مناسب باشد؛ در این مدل قطرات به‌صورت ترم‌های چشمه‌ای از تکانه عمل می‌کنند که در فضا در حرکتند. ولی مشکل اصلی استفاده‌از این مدل به‌تنهایی در جداکننده اینگونه است که از فازهای پیوستهٔ نفت و آب که در پایین جداکننده تجمع یافته‌اند، صرف نظر شده، بنابراین برهم‌کنش قطرات با این فازها در نظر گرفته نمی‌شود[۳۱و۳۰] و این امر به نتایج نامناسبی در شبیه‌سازی جداکننده می‌انجامد[۳۲]. بنابراین با توجه‌به امکان خوب مدل DPM در ردیابی قطرات، برای غلبه‌بر مشکل مربوط به نادیده گرفتن فازهای پیوسته نیازبه درنظرگرفتن سه فاز پیوسته (در جدا کنندهٔ سه‌فازی) در پس‌زمینه وجود دارد تا بتواند با قطرات بر هم‌کنش انجام دهد و همچنین رفتار کلی جداکننده را از نظر جدایش کلی فازها نشان دهد[۳۳و۵]. با توجه‌به امکان خوب مدل VOF در شبیه‌سازی فازهای پیوسته با سطح مشترک دقیق بین آن‌ها، این مدل یک نامزد مناسب برای ترکیب‌شدن با مدل DPM است[۳۳-۳۲و۳۰]. با وجود قابل قبول‌بودن مدل ترکیبی VOF-DPM هنگام بررسی همزمان قطرات و رفتار فازهای پیوسته در جریان‌های چندفازی[۳۴و۳۰]، در زمینهٔ جداکننده‌های چندفازی که از این مدل ترکیبی برای نشان‌دادن رفتار واقعی جدایش استفاده شده باشد، تحقیقات بسیار محدودی وجود دارد:

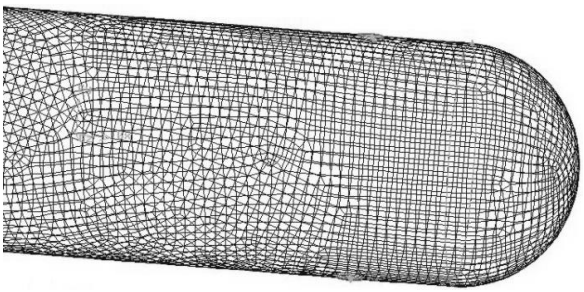
پوراحمدی لاله و همکاران در یک مطالعه به عیب‌یابی فرایند جدایش در یک جداکنندهٔ سه‌فازی دارای سرریز در مقیاس صنعتی و به‌بررسی اثر بافل و سرریز روی عملکرد جداکننده پرداختند. از مدل ترکیبی چندفازی VOF-DPM و مدل آشفتگی k-ε در این‌تحقیق استفاده و توزیع اندازهٔ قطرات، شکست و به‌هم‌پیوستن آنها در نظر گرفته شد. لازم به ذکر است که هندسهٔ جداکنندهٔ مش‌بندی‌شده و کیفیت آن بررسی شد که نمایی از این مش ترکیبی ساختارنایافته در شکل (۳) نشان داده شده‌است. در این‌تحقیق به‌دلیل نبود دسترسی به داده‌های صنعتی، این مدل اعتبارسنجی نشده‌است. نتایج این‌تحقیق روی جداکنندهٔ سه‌فازی نشان‌داد که با وجود بهبود توزیع سرعت پس از اضافه‌کردن بافل و افزایش ارتفاع سرریز، تغییر خاصی در میزان بازده واقعی از نظر مقدار مایع خارج‌شده از فاز گاز و همچنین خلوص دیگر فازها مشاهده نشد، بنابراین روشن است که تنها بهبود توزیع سرعت، تضمین بهبود عملکرد کلی جداکننده نیست. با توجه‌به جدیدبودن

1. Oshinow
2. Dense Packed Layer
3. Vilagines

www.SID.ir

Archive of SID

مدل ترکیبی در تحقیق نامبرده، جزئیات مدل مورد استفاده مانند بررسی اثر زیر مدل‌های مختلف در این مدل ترکیبی بررسی نشده‌است. گفتنی است که در این‌مطالعه اثر برهم‌کنش بین تجهیزات داخلی (اثر سریز و بافل) روی بازده جداکننده نیز در نظر گرفته نشده‌است[۵].

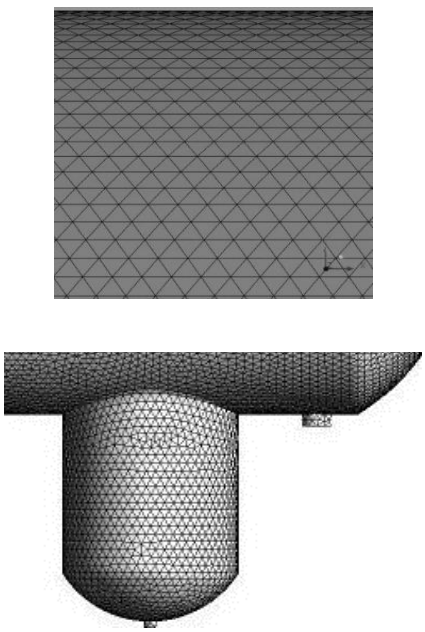


شکل ۳. نمایی از مش مربوط به هندسهٔ جداکننده[۵].

غفارخواه و همکاران از مدل ترکیبی VOF-DPM به‌همراه مدل آشفتگی k-ε برای مقایسهٔ دو مدل نیمه‌تجربی در طراحی ابعاد (طول و قطر) جداکنندهٔ سه‌فازی دارای سرریز استفاده‌کردند[۳]. پس از انتخاب مدل تجربی مناسب درکار دیگری[۳۵] به طراحی ابعاد یک جداکنندهٔ سه‌فازی دارای سرریز با شرایط موجود در یک جداکنندهٔ سه‌فازی صنعتی پرداختند. نتایج این شبیه‌سازی برای انتخاب بهترین ابعاد دارای اختلاف بسیارکمی با نتایج جداکنندهٔ موجود در صنعت بوده‌است. به‌منظور بررسی اثر تجهیزات داخلی در این‌کار، بررسی همزمان اثر نم‌گیر، هدایت کنندهٔ ورودی و بافل روی کیفیت جداکنندهٔ سه‌فازی دارای سرریز انجام شده‌است. همانند کار خاروا و همکاران[۲۷] تنها یک‌ساختار از تجهیزات درون جداکننده در نظرگرفته‌شد. نتایج این‌کار نشان‌داد که با تعویض نوع هدایت‌کنندهٔ ورودی، اضافه‌کردن نم‌گیر در خروجی گاز و اضافه‌کردن بافل در قسمت مایع به‌طور همزمان، خلوص فازهای جداشده از خروجی جداکننده افزایش یافته‌است. ولی در این‌کار نیز اثر هرکدام از مؤلفه‌ها و همچنین برهم‌کنش بین آن‌ها روی عملکرد جداکننده در نظر گرفته نشده‌است.

خلیفات و همکاران با استفاده از یک مدل ترکیبی VOF-DPM به عیب‌یابی و تحلیل رفتار فرایند جدایش در یک جداکنندهٔ سه‌فازی صنعتی دارای بوت، پرداختند. بر خلاف کارهای همهٔ محققان که تنها به شبیه‌سازی جداکنندهٔ دارای سرریز پرداخته شده‌بود، در این‌کار جداکنندهٔ مورد نظر از نوع بوت انتخاب شده و نتایج محاسبات عددی برحسب توزیع‌های جریان سه‌فازی، رفتار فازهای ثانویه، بازده جداکننده و توزیع اندازهٔ قطرات بررسی شده‌است. نتایج نشان‌داد که مدل CFD مورد نظر قادر به تخمین‌زدن خوبی از رفتار کلی جدایش و همچنین رفتار قطرات در یک جداکنندهٔ سه‌فاز دارای بوت است. عیب‌یابی فرایند جدایش در جداکنندهٔ مورد نظر نشان‌دهندهٔ کاربرد نامناسب نوع هدایت‌کنندهٔ ورودی، نیاز به وجود نم‌گیر مناسب در خروجی گاز و همچنین نیاز به یک گرداب‌شکن در خروجی مایع بوده‌است[۳۶].

خلیفات و همکاران در کار دیگری، به‌منظور توسعهٔ این مدل ترکیبی به بررسی جزئیات مدل برای یافتن یک مدل مناسب با دقت کافی باهدف ایجاد یک شبیه‌سازی واقع‌بینانه، پرداختند. نمایی از شبکهٔ ترکیبی چهاروجهی ساختارنایافته به‌کار گرفته‌شده در این‌کار (مربوط‌به مخزن بوت) در شکل (۴) نشان داده شده‌است. اثر زیر مدل‌های مختلف شامل نیروی جرم مجازی، شکست قطرات و مدل گام تصادفی[1] (DRW) بررسی شد. نتایج نشان‌داد که مدل ترکیبی مورد نظر با درنظرگرفتن هرسه زیر مدل و تأثیر بالای زیرمدل DRW یک مدل موفق (خطای شبیه‌سازی ۱۲/۹٪ نسبت به دادهٔ صنعتی) در تخمین بازده جداکننده بوده‌است[۳۷].



شکل ۴. نمایی از مش‌های مربوط‌به جداکننده[۳۳].

1. Discrete Random Walk

www.SID.ir

e of SID

۵. نتیجه‌گیری کلی

در این‌مقاله پس از مرور انواع جداکننده‌های گرانشی؛ تحقیقات انجام‌شده به‌وسیلهٔ CFD روی این جدا کننده‌ها مرور شده‌است. نتایج این‌مطالعه به‌طور کلی نشان‌داد که اگرچه CFD یک‌روش مؤثر برای اصلاح رفتار جریان برای بهبود عملکرد جداکننده است ولی کاستی‌های متعددی در تحقیقات انجام شده دیده می‌شود. با بررسی کلی تحقیقات انجام‌شده مشخص‌شد که:

- در بعضی از کارها بدون توجه‌به اعتبارسنجی مدل، به بررسی اثر مؤلفه‌های مختلف روی بازده جداکننده پرداخته شده‌است.
- در بیشترکارها از مؤلفه‌هایی مانند بهبود زمان اقامت و بهبود توزیع سرعت به‌عنوان معیاری برای بهبود بازده کلی جداکننده هنگام اضافه‌کردن تجهیزات داخلی استفاده شده‌است. درحقیقت بازده جداکننده برحسب توزیع جرم قطرات در خروجی جدا کننده (هم برای اعتبارسنجی و هم برای بررسی بهبود عملکرد) باید حساب‌شود که محققان کمی به آن پرداخته‌اند.
- راهکار مؤثری برای مشکل کاهش بازده در اثر افزایش دبی ورودی- که یک‌مشکل اساسی در صنعت است- ارائه نشده‌است.
- در بیشتر تحقیقات از مدل‌های دیدگاه اولری- اولری برای مدل‌سازی استفاده شده‌است؛ اگرچه این مدل‌ها قادرند رفتار کلی فازها مانند توزیع سرعت و فشار را به‌خوبی تخمین بزنند؛ اما در تخمین بازده واقعی جدایش با دقت مناسب موفق نبوده‌اند. در مواردی که نیاز به دقت بالا وجود دارد، بررسی همزمان رفتار کلی فازها و قطرات پیشنهاد می‌شود. در زمینهٔ مدل‌های ترکیبی مانند مدل VOF-DPM، برای دقیق‌تر شدن جزئیات شبیه‌سازی و بررسی زیر مدل‌های مناسب آن، برای یافتن بهترین نتایج در جداکننده‌ها، کارهای بسیار محدودی انجام شده‌است.
- در بیشتر این تحقیقات در جدا کننده‌ها برای سادگی از مدل آشفتگی k-ε استفاده شده و به بررسی مدل‌های پیچیده‌تر پرداخته نشده‌است.
- با توجه‌به کارهای انجام‌شده روی جداکننده‌های سه‌فازی گرانشی، تمام کارها، به استثنای کار خلیفات و همکاران[۳۷و۳۶]، مربوط به بررسی عملکرد جدایش در جداکنندهٔ گرانشی سه‌فازی دارای سرریز بوده‌است.
- باوجود کاربرد گستردهٔ جداکنندهٔ سه‌فازی دارای بوت در صنایع پتروشیمی، نفت و گاز تاکنون هیچ تحقیقی بر روی این‌نوع از جداکننده‌ها با استفاده از CFD برای بررسی اثر تجهیزات داخلی به‌منظور بهینه‌سازی آنها انجام نشده‌است. باتوجه به بررسی گاواس[1] [۳۸] مشخص‌شد که در یک‌جریان سه‌فازی (آب، نفت و گاز) حتی با تغییر مقدار اندک در آب، رفتار جریان سه‌فاز به‌دلیل برهم‌کنش‌های متفاوت بین فازهای مایع، متفاوت می‌شود و اثر تجهیزات داخلی درون هر جداکننده متفاوت است. بنابراین بررسی هر نوع جداکننده، به‌ویژه در مقیاس صنعتی، نیاز به بررسی جداگانه برای در نظرگرفتن فرایند جدایش و بهبود عملکرد آن دارد.
- به‌منظور بررسی اثر تجهیزات داخلی در برخی تحقیقات تنها یک‌ترکیب از همهٔ حالات، استفاده شده‌است و تنها از روش بهینه‌سازی معمول[2] - که در این‌روش‌ها برهم‌کنش بین مؤلفه‌ها در نظرگرفته نمی‌شود- استفاده شده‌است. بنابراین استفاده‌از روش‌های آماری بهینه‌سازی[3] که قابلیت مشخص‌شدن میزان اهمیت هر مؤلفه و همچنین برهم‌کنش بین آنها را دارد[۳۹]، ضروری است. تاکنون هیچ بهینه‌سازی آماری روی جدا کننده‌های گرانشی برای بررسی اثر چندین مؤلفه به‌صورت همزمان انجام نشده‌است. به‌دلیل هزینهٔ بالای انجام آزمایش در بهینه‌سازی آماری جداکننده‌ها، ترکیب CFD با روش‌های بهینه‌سازی آماری به‌تأکید توصیه شده‌است که این عمل نیز در جداکننده‌ها انجام نشده‌است.

باتوجه‌به مطالب بیان‌شده، شبیه‌سازی‌ها باید با درنظرگرفتن مواردی که در این‌قسمت به‌عنوان کاستی‌ها ذکر شده، انجام شود تا با غلبه‌بر این کاستی‌ها نتایج دقیق‌تری به‌دست آید.

1. Gawas
2. Usual Optimization
3. Statistical Optimization

www.SID.ir

Archive of SID

مراجع

[1] Behin, J., Aghajari, M., "Influence of water level on oil-water separation by residence time distribution curves investigations", Separation and Purification Technology, 64: pp. 48-55, (2008).

[2] Arnold, K., Stewart, M., "Surface Production Operations", 3rd edition, Elsevier, New York, (2008).

[3] Ghaffarkhah, A., Ameri shahrabi, M., Keshavarz Moraveji, M., Eslami, H., "Application of CFD for designing conventional three phase oilfield separator", Egyptian journal of petroleum, 26 (2): pp. 413-420, (2017).

[4] Skelton, G. F., "Our Industry Petroleum", British Petroleum Company, London, Chapter 7, (1977).

[5] Pourahmadi Laleh, A., "CFD Simulation of Multiphase Separators", PhD Dissertation, University of Calgary, Calgary, Canada, (2010).

[6] Das, S. K., Biswas, M. N., "Separation of oil-water mixture in tank", Chem. Eng. Comm., 190: pp. 116-127, (2003).

[7] Frising, T., Christine, N., Christine, D., "The liquid/ liquid sedimentation process: From Droplet coalescence to technologically enhanced water/oil emulsion gravity separators: A Review", Journal of Dispersion Science and Technology, 27 (7): pp. 1035-1057, (2006).

[8] Monnery, W. D., Svrcek, W. Y., "Successfully Specify Three-Phase Separators", Chem. Eng Prog., 90: pp. 29-40, (1994).

[9] Ahmed, T., Makwashi, N., Hameed, M., "A review of gravity three-phase separators", Journal of Emerging trends in engineering and applied science, 8 (3): pp. 143-153, (2017).

[۱۰] شجاعی‌فرد، م. ح.، هشترودی، ع.، *"مقدمه‌ای بر دینامیک سیالات محاسباتی."* انتشارات دانشگاه علم و صنعت، (۱۳۹۲).

[۱۱] هاش‌آبادی، س. ح.، دهنوی، م. ع.، *"شبیه‌سازی CFD جریان‌های چندفازی با نرم‌افزار Fluent."* انتشارات اندیشه‌سرا، (۱۳۹۰).

[12] ANSYS Fluent version: 16.2, Fluent Theory Guide, (2016).

[13] Pourahmadi Laleh, A., Svrcek, W. Y., Monnery, W. D., "Design and CFD studies of multiphase separators- A Review", The Canadian Journal of Chemical Engineering, 90: pp. 1547-1560, (2011).

[14] Wilkinson, D., Waldie, B., Nor, M. I. M., Lee, H. Y., "Baffle Plate Configuration to Enhance Separation in Horizontal Primary Separators", Chem. Eng. J., 77 (2): pp. 189-196, (2000).

[15] Frankiewicz, T., Lee, C. M., "Using Computational Fluid Dynamics (CFD) Simulation to Model Fluid Motion in Process Vessels on Fixed and Floating Platforms", SPE annual technical conference and exhibition, San Antonio, Texas, (2002).

[16] Lu, Y., Lee, J. M., Phelps, D., Chase, R., "Effect of Internal Baffles on Volumetric Utilization of a FWKO- A CFD Evaluation", SPE annual technical conference and Exhibition, Anaheim, California, U.S.A, (2007).

[17] Vilagines, R. D., Akhras, A. R., "Three-phase flows simulation for improving design of gravity separation vessels", SPE annual technical conference and exhibition, Society of Petroleum Engineers, Florence, Italy, (2010).

[18] Mohammadi Ghaleni, M., Zivdar, M., Nemati, M. R., "Hydrodynamic Analysis of two-phase separator by computational fluid dynamic (CFD)", 6th International Conference on Advanced computational Engineering and Experimenting, Istanbul, Turkey, (2012).

[19] Hussein, H. A., Abdullah, R., Harun, S., Abdulkhaleq, M., "Numerical model of baffle location effect on flow pattern in oil and water gravity separator tanks", World Appl. Sci. J., 26 (10): pp. 1351-1356, (2013).

[۲۰] حاجی‌دولو، ا. ، نقره‌آبادی، ا. ر. ، دلخواه، ن. ، *"شبیه‌سازی جریان سیال در جداکنندهٔ افقی دو فاز نفت و گاز."* اولین همایش ملی تکنولوژی‌های نوین در شیمی و پتروشیمی، هم‌اندیشان چرخهٔ علم و صنعت، اهواز، (۱۳۹۲).

[۲۱] رضایی، ه. ، زارعی، ط. ، *"شبیه‌سازی جداکنندهٔ افقی گرانشی سه‌فازی نفت/آب/گاز."* اولین کنفرانس ملی (نفت، گاز و پتروشیمی)، شرکت علمی پژوهشی پندارانديش رهپو، شیراز، (۱۳۹۳).

[22] Acharya, T., Casimiro, L., "Evaluation of flow characteristics in an onshore horizontal separator using computational fluid dynamics", Journal of ocean and engineering science, Article in press, (2019).

[23] Krezmianowski, Z., Lackowski, T., Ochrymiuk, T., Flszynski, P., "Substitude model and CFD investigation of a coalescer in a three-phase crude oil gravity separator", Journal of applied fluid mechanics, 13 (3): pp. 805-813, (2020).

[24] Hansen, E. W. M., Heitmann, H., Laksa, B., Ellingsen, A., Ostby, O., Morrow, T. B., Dodge, F. T., "Fluid flow modelling of gravity separators", 5th international conference on multiphase production, Texas, U.S.A, (1991).

[25] Kharoua, N., Khezzar, L., Saadawi, H., "CFD simulation of three-phase separator: effects of size distribution", ASME Fluids Engineering Summer Meeting, Nevada, USA, (2013).

www.SID.ir

e of SID

[26] Ahmed, T., Hamed, F., Russell, P. A., "The use of CFD simulation to compare and evaluate different sizing algorithm for three – phase separator", OTC offshore technology conference, Janeiro, Brazil, (2017).

[27] Kharoua, N., Khezzar, L., Saadawi, H., "CFD Modelling of a horizontal three-phase separator: A population balance Approach", American Journal of Fluid Dynamic, 3 (4): pp. 101-118, (2013).

[28] Oshinowo, L., Elsaadawy, E., Vilagines, R., "CFD modeling of oil-water separation efficiency in three-phase separators", 10th International Conference on CFD in oil & Gas, Metallurgical and process Industries SINTEF, Trondheim, Norway, (2014).

[29] Oshinowo, L., Vilagines, R., "Modeling of oil-water separation efficiency in three-phase separators: Effect of emulsion rheology and droplet size distribution", Chemical engineering research and design, 59: pp. 278-290, (2020).

[30] Cloete, S., Olsen, J. E., Skjetne, P., "CFD modeling of plume and free surface behavior resulting from a sub-sea gas release", Applied Ocean Research, 31 (3): pp. 220-225, (2009).

[31] Kirveski, L., "Design of Horizontal three-phase separator using computational fluid dynamics", MSC Dissertation, Aalto university school of chemical technology, Espoo, Finland, (2016).

[32] Pourahmadi Laleh, A., Svrcek, W. Y., Monnery, W. D., "Computational fluid dynamics simulation of pilot-plant-scale two-phase separators", Chem. Eng. Technol., 34 (2): pp. 296-306, (2011).

[33] Qarot, Y. F., Kharoua, N., Khezzar, L., "Discrete phase modeling of oil droplets in the gas compartment of a production separator", ASME International Mechanical Engineering Congress and Exhibition, Montreal, Canada, (2014).

[34] Cloete, S., Eksteen, J. J., Bradshaw, S. M., "A mathematical modelling study of fluid flow and mixing in full scale gas stirred ladles", Computational Fluid Dynamics, 9 (6): pp. 345-356, (2009).

[35] Ghafarkhah, A., Shahrabi, M. A., Moraveji, M. K., Eslami, H., "3D Computational-Fluid-Dynamics Modeling of Horizontal Three-Phase Separators: An Approach for Estimating the Optimal Dimensions", Oil and Gas. Fac., 33 (4): pp. 1-17, (2018).

[36] Khalifat, Z., Zivdar, M., Rahimi, R., "Application of CFD for troubleshooting and hydrodynamic analysis in an industrial three-phase gravity separator", Journal of gas technology, 5: pp. 57-69, (2019).

[37] Khalifat, Z., Zivdar, M., Rahimi, R., "Simulation of an industrial three-phase boot separator using computational fluid dynamics", Journal of gas technology, 6: pp. 30-42, (2020).

[38] Gawas, K., "Studies in low-liquid loading in gas/oil/water three phase flow in horizontal and near-horizontal pipes", Ph.D. dissertation, The University of Tulsa, Tulsa, Oklahoma, (2013).

[39] Montgomery, D. C., "Design and analysis of experiments", second edition, John Wiley & Sons, (2008).

www.SID.ir