

الله الرحمن



دانشکده: عمران و معماری

گروه: عمران

بررسی جداساز مشتقات نفتی از آب به کمک دینامیک سیالات محاسباتی

دانشجو: ابوالفضل ساغری

استاد راهنما:

دکتر رامین امینی

استاد مشاور:

دکتر علی عباس نژاد

پایان نامه ارشد جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

ماه و سال انتشار: بهمن ۱۳۹۰

دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده: عمران و معماری

گروه: عمران

پایان نامه کارشناسی ارشد آقای ابوالفضل ساغری

تحت عنوان: بررسی جداساز مشتقات نفتی از آب به کمک دینامیک سیالات محاسباتی

در تاریخ ۱۳۹۰/۱۱/۹ توسط کمیته تخصصی زیر جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد مورد ارزیابی و با درجه مورد پذیرش قرار گرفت.

امضاء	استاد مشاور	امضاء	استاد راهنما
	دکتر علی عباس نژاد		دکتر رامین امینی

امضاء	نماینده تحصیلات تکمیلی	امضاء	اساتید داور

تقدیم به پدر و مادر و همسر عزیزم

سپاس از اساتید ارجمندم دکتر رامین امینی و دکتر علی عباس نژاد

آنان که درگاه علم را برایم گشودند و پیوسته در مسیر آموختن مرا یاری نمودند.

تعهد نامه

اینجانب ابوالفضل ساغری دانشجوی دوره کارشناسی ارشد عمران گرایش سازه های هیدرولیکی دانشکده عمران و معماری دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه بررسی جداساز مشتقات نفتی از آب به کمک دینامیک سیالات محاسباتی تحت راهنمایی دکتر رامین امینی متعهد می شوم.

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهش های محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان نامه تا کنون توسط خود و یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام دانشگاه صنعتی شاهرود به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در بدست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تاثیر گذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که از موجود زنده (یا بافت های آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری، ضوابط و اصول اخلاقی انسانی رعایت شده است.

تاریخ

امضاء دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه های رایانه ای، نرم افزارها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

چکیده

جداکننده های گرانشی افقی اغلب برای جداکردن نفت خام از آب و سایر ترکیبات موجود در چاه نفت به کار می رود. در این تحقیق شبیه سازی عددی جداکننده های گرانشی به کمک دینامیک سیالات محاسباتی جهت ارزیابی و بهبود راندمان آنها صورت گرفته است. برای تولید هندسه و مش از بسته نرم افزاری GAMBIT 2.4.6 و برای شبیه سازی جریان دوفازی آب و نفت یا آب و چربی از بسته نرم افزار FLUENT 6.3 استفاده شد. در شبیه سازی از مدل چند فازی مخلوط^۱ و مدل آشفته k-ε استاندارد استفاده شد. به طور کلی جداکننده مشتقات نفتی از آب و جداکننده چربی به عنوان دو نمونه از جداکننده های گرانشی مورد ارزیابی قرار گرفتند. جداکننده مشتقات نفتی با مخلوط حاوی ۲۰٪ نفت خام و ۸۰٪ آب مورد ارزیابی قرار گرفت در حالیکه مخلوط مورد استفاده در ارزیابی جداکننده چربی تنها حاوی ۰٫۱۱٪ چربی پراکنده در آب بود.

نتایج شبیه سازی در هر دو نوع جداکننده گرانشی از تطابق نسبتا خوبی با نتایج آزمایشگاهی برخوردار بود. نتایج ارزیابی جداکننده چربی با مخلوط حاوی تنها ۰٫۱۱٪ چربی در آب به کمک مدل چندفازی مخلوط نشان می دهد که مدل چندفازی مخلوط می تواند برای جریان های دو فازی دارای کسرهای حجمی بسیار پایین فاز دوم مناسب باشد. در ادامه، تغییرات موثر بر راندمان جداکننده ها مورد ارزیابی قرار گرفت و مدل اصلاح شده نهایی از ترکیب موثرترین تغییرات در راستای ارتقای راندمان سیستم جداکننده تولید گردید.

کلمات کلیدی: دینامیک سیالات محاسباتی، جداکننده های مشتقات نفتی از آب، جداکننده های چربی از آب، مدل چند فازی مخلوط، مدل آشفته k-ε استاندارد.

^۱ mixture

لیست مقالات مستخرج:

۱. "شبيه سازى جريان دو فازى در جداكننده مشتقات نفتى از آب" سومين همایش
ملی تحقیقات نوین در شیمی و مهندسی شیمی
۲. "بهینه سازى جداكننده های مشتقات نفتى از آب به كمك دینامیک سیالات
محاسباتی" سومین همایش ملی تحقیقات نوین در شیمی و مهندسی شیمی
۳. "بهینه سازى جداكننده های چربی از آب به كمك دینامیک سیالات محاسباتی"
نهمین کنگره بین المللی مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان

فهرست مطالب

ز	چکیده
۱	فهرست مطالب
۵	فهرست اشکال
۹	فهرست جداول
۱۰	۱. مقدمه
۱۱	۱-۱. مقدمه
۱۴	۲. معرفی جداکننده ها
۱۵	۱-۲. پیش زمینه
۱۷	۱-۱-۲. جداسازی فیزیکی
۱۹	۲-۱-۲. جداسازی پخش مکانیکی و امولوسیون شیمیایی
۲۲	۳-۱-۲. کاربرد های جداکننده روغن از آب
۲۵	۲-۲. سیستم های جداکننده
۲۵	۱-۲-۲. جداکننده گرانشی قدیمی
۲۸	۲-۲-۲. جداکننده API (American Petroleum Institute)
۳۰	۳-۲-۲. جداکننده های با پلیت موجدار (CPI)

- ۳-۲-۴. سیستم های جداسازی پیچیده ۳۳
- ۳-۲-۵. جداکننده چربی ۳۶
- ۳-۲-۳. لزوم ارزیابی و بهبود راندمان جداکننده ها ۴۳
- ۳-۲-۱. لزوم ارزیابی و بهبود راندمان جداکننده ها از دیدگاه این تحقیق ۴۳
- ۳-۲-۲. لزوم ارزیابی و بهبود راندمان جداکننده ها از دیدگاه کارهای قبلی ۴۴
- ۳-۲-۴. مروری بر کارهای گذشته ۵۰
- ۳-۲-۱. تحقیقات در قالب CFD ۵۰
- ۳-۲-۲. تحقیقات در قالب کار آزمایشگاهی ۵۴
- ۳-۲-۳. تحقیقات در قالب روابط تئوریکی ۵۷
- ۳-۲-۵. جمع بندی ۶۰
۳. دینامیک سیالات محاسباتی ۶۲
- ۳-۱-۱. دینامیک سیالات محاسباتی (CFD) ۶۳
- ۳-۱-۱-۱. مقدمه ۶۳
- ۳-۱-۲. ساختار برنامه CFD ۶۵
- ۳-۱-۳. نحوه حل مسئله به کمک CFD ۷۱
- ۳-۲. مدل سازی آشفتگی ۷۳
- ۳-۲-۱. مقدمه ۷۳

۷۶	انتخاب مدل آشفتگی.....	۲-۲-۳
۸۲	تئوری مدل $k-\varepsilon$ استاندارد، RNG، قابل درک.....	۳-۲-۳
۸۸	مدل سازی چند فازی.....	۳-۳
۸۸	مقدمه.....	۱-۳-۳
۹۵	انتخاب مدل چندفازی متداول.....	۲-۳-۳
۱۰۴	تئوری مدل مخلوط.....	۳-۳-۳
۱۲۰	شبیه سازی و بهبود راندمان.....	۴
۱۲۱	شبیه سازی و بهبود راندمان جداکننده مشتقات نفتی از آب.....	۱-۴
۱۲۱	هندسه جداکننده.....	۱-۱-۴
۱۲۲	تولید هندسه و مش.....	۲-۱-۴
۱۲۵	ژورنال نویس در Gambit 2.4.3.....	۳-۱-۴
۱۲۷	تولید مدل عددی.....	۴-۱-۴
۱۳۰	ژورنال نویس در Fluent 6.3.....	۵-۱-۴
۱۳۱	نتایج شبیه سازی و تامین اعتبار.....	۶-۱-۴
۱۴۴	بررسی روش های بهبود راندمان.....	۷-۱-۴
۱۵۹	شبیه سازی و بهبود راندمان جداکننده چربی از آب.....	۲-۴
۱۵۹	هندسه جداکننده.....	۱-۲-۴

- ۲-۲-۴. تولید هندسه و مش ۱۶۰
- ۳-۲-۴. تولید مدل عددی ۱۶۲
- ۴-۲-۴. نتایج شبیه سازی و تامین اعتبار ۱۶۴
- ۵-۲-۴. بررسی روش های بهبود راندمان ۱۷۰
۵. نتیجه گیری ۱۷۸
- ۱-۵. نتیجه گیری ۱۷۹
- ۲-۵. پیشنهادات ۱۸۱
- منابع ۱۸۳
- پیوست ۱. فایل ژورنال Gambit مربوط به هندسه دارای دو آرام کننده ۱۹۰
- پیوست ۲. فایل ژورنال Fluent مربوط به هندسه دارای دو آرام کننده ۱۹۷

فهرست اشکال

- شکل ۱-۲. جداکننده گرانشی قدیمی..... ۲۷
- شکل ۲-۲. جداکننده مرسوم انیسیتو نفت آمریکا API..... ۲۹
- شکل ۳-۲. کف روب چرخدار..... ۲۹
- شکل ۴-۲. جداکننده با پلیت مورب..... ۳۲
- شکل ۵-۲. جداکننده با پلیت موجدار تخت..... ۳۳
- شکل ۶-۲. جداکننده چربی مرسوم..... ۳۸
- شکل ۷-۲. ابزار کنترل جریان هوادهی شده از خارج..... ۳۹
- شکل ۸-۲. جزئیات آرام کننده جریان هوای داخلی..... ۴۰
- شکل ۹-۲. جداکننده بتنی بزرگ مدفون..... ۴۰
- شکل ۱۰-۲. جداکننده فلزی بزرگ مدفون یا نصب در داخل..... ۴۱
- شکل ۱۱-۲. جداکننده با کنترل زمانی سیستم پاکسازی..... ۴۲
- شکل ۱۲-۲. جداکننده با کنترل سنسوری سیستم پاکسازی..... ۴۳
- شکل ۱-۳. رژیم های جریان چندفازی بر گرفته از راهنمای نرم افزار فلونت..... ۹۴
- شکل ۱-۴. مدل دو بعدی جداکننده مشتقات نفتی [Wilkinson et.al 2000]..... ۱۲۲
- شکل ۲-۴. مدل آزمایشگاهی استوانه ایی جداکننده مشتقات نفتی [Wilkinson et.al 2000]..... ۱۲۲
- شکل ۳-۴. فواصل مش های اضلاع در جداکننده دو بعدی..... ۱۲۳

- شکل ۴-۴. تولید مش در جداکننده بدون آرام کننده..... ۱۳۴
- شکل ۴-۵. کسر حجمی نفت خام را در جداکننده بدون آرام کننده..... ۱۳۲
- شکل ۴-۶. خط مسیر سرعت مخلوط در جداکننده فاقد آرام کننده..... ۱۳۳
- شکل ۴-۷. خط مسیر سرعت مخلوط در جداکننده دارای دیواره آرام کننده با گشودگی ۵٪..... ۱۳۳
- شکل ۴-۸. خط مسیر سرعت مخلوط در جداکننده دارای دیواره آرام کننده با گشودگی ۱۰٪..... ۱۳۴
- شکل ۴-۹. خط مسیر سرعت مخلوط در جداکننده دارای دیواره آرام کننده با گشودگی ۱۵٪..... ۱۳۴
- شکل ۴-۱۰. خط مسیر سرعت مخلوط در جداکننده دارای دیواره آرام کننده با گشودگی ۲۰٪..... ۱۳۴
- شکل ۴-۱۱. کسر حجمی نفت خام در جداکننده دارای یک دیواره آرام کننده..... ۱۳۵
- شکل ۴-۱۲. نتایج عددی و آزمایشگاهی تخمین انحراف استاندارد سرعت [Wilkinson et.al 2000]
- ۱۳۷
- شکل ۴-۱۳. خط مسیر سرعت مخلوط در جداکننده با دو آرام کننده..... ۱۳۹
- شکل ۴-۱۴. کسر حجمی نفت خام در جداکننده دارای دو دیواره آرام کننده..... ۱۴۰
- شکل ۴-۱۵. خط مسیر سرعت مخلوط برای مدل با ارتفاع های سرریز ۰,۲ متر..... ۱۴۷
- شکل ۴-۱۶. خط مسیر سرعت مخلوط برای مدل با ارتفاع های سرریز ۰,۲۱ متر..... ۱۴۷
- شکل ۴-۱۷. خط مسیر سرعت مخلوط برای مدل با ارتفاع های سرریز ۰,۲۲ متر..... ۱۴۷
- شکل ۴-۱۸. خط مسیر سرعت مخلوط برای مدل با ارتفاع های سرریز ۰,۲۳ متر..... ۱۴۸
- شکل ۴-۱۹. خط مسیر سرعت مخلوط برای مدل با ارتفاع های سرریز ۰,۲۴ متر..... ۱۴۸

- شکل ۴-۲۰. خط مسیر سرعت مخلوط برای مدل با فاصله سرریز ۰,۶۷۶ متر..... ۱۵۰
- شکل ۴-۲۱. خط مسیر سرعت مخلوط برای مدل با فاصله سرریز ۰,۷۲۶ متر..... ۱۵۰
- شکل ۴-۲۲. خط مسیر سرعت مخلوط برای مدل با فاصله سرریز ۰,۷۷۶ متر..... ۱۵۰
- شکل ۴-۲۳. خط مسیر سرعت مخلوط برای مدل با فاصله سرریز ۰,۸۲۶ متر..... ۱۵۱
- شکل ۴-۲۴. جداکننده دو بعدی قائم..... ۱۵۵
- شکل ۴-۲۵. خط مسیر سرعت مخلوط در جداکننده قائم..... ۱۵۵
- شکل ۴-۲۶. فشار کل در جداکننده قائم..... ۱۵۶
- شکل ۴-۲۷. کسر حجمی نفت در جداکننده قائم..... ۱۵۶
- شکل ۴-۲۸. خط مسیر سرعت مخلوط در جداکننده قائم تغییر یافته..... ۱۵۷
- شکل ۴-۲۹. خط مسیر سرعت مخلوط در جداکننده بهینه..... ۱۵۸
- شکل ۴-۳۰. نمای جانبی جداکننده چربی دو بعدی [Gerdes 2000]..... ۱۵۹
- شکل ۴-۳۱. پلان جداکننده چربی دو بعدی..... ۱۶۰
- شکل ۴-۳۲. مش ایجاد شده در جداکننده چربی بدون آرام کننده..... ۱۶۱
- شکل ۴-۳۳. خط مسیر سرعت مخلوط در جداکننده چربی استاندارد..... ۱۶۶
- شکل ۴-۳۴. کسر حجمی روغن در جداکننده چربی استاندارد..... ۱۶۷
- شکل ۴-۳۵. خط مسیر سرعت مخلوط در جداکننده با نسبت بخش دوم به اول ۰,۶..... ۱۶۸
- شکل ۴-۳۶. خط مسیر سرعت مخلوط در جداکننده فاقد آرام کننده..... ۱۶۹

- شکل ۴-۳۷. خط مسیر سرعت مخلوط در جداکننده چربی با بازشدگی آرام کننده ۵٪.....۱۷۱
- شکل ۴-۳۸. خط مسیر سرعت مخلوط در جداکننده چربی با بازشدگی آرام کننده ۱۰٪.....۱۷۲
- شکل ۴-۳۹. خط مسیر سرعت مخلوط در جداکننده چربی با بازشدگی آرام کننده ۱۵٪.....۱۷۲
- شکل ۴-۴۰. خط مسیر سرعت مخلوط در جداکننده چربی با بازشدگی آرام کننده ۲۰٪.....۱۷۲
- شکل ۴-۴۱. خط مسیر سرعت مخلوط در جداکننده با بسته صفحات مورب با زاویه ۴۵ درجه.....۱۷۵
- شکل ۴-۴۲. خط مسیر سرعت مخلوط در جداکننده با بسته صفحات مورب با زاویه ۶۰ درجه.....۱۷۵
- شکل ۴-۴۳. کسر حجمی روغن در جداکننده چربی با بسته صفحات مورب با زاویه ۴۵ درجه.....۱۷۵
- شکل ۴-۴۴. کسر حجمی روغن در بسته صفحات مورب با زاویه ۴۵.....۱۷۶
- شکل ۴-۴۵. کسر حجمی روغن در جداکننده چربی با بسته صفحات مورب با زاویه ۶۰ درجه.....۱۷۶
- شکل ۴-۴۶. کسر حجمی روغن در بسته صفحات مورب با زاویه ۶۰ درجه.....۱۷۶

فهرست جداول

- جدول ۱-۲. راندمان سیستم های جداکننده..... ۳۵
- جدول ۱-۴. راندمان جداکننده با یک دیواره آرام کننده و قطر ۴۰ میکرون..... ۱۳۵
- جدول ۲-۴. راندمان جداکننده با یک دیواره آرام کننده و قطر ۶۰ میکرون..... ۱۳۸
- جدول ۳-۴. نتایج شبیه سازی در حضور دو صفحه آرام کننده..... ۱۴۰
- جدول ۴-۴. راندمان جداکننده متناسب با تغییرات کسر حجمی نفت..... ۱۴۲
- جدول ۵-۴. راندمان جداکننده با یک دیواره آرام کننده با مدل آشفته RNG K-ε..... ۱۴۳
- جدول ۶-۴. راندمان متناسب با تغییرات ارتفاع سرریز..... ۱۴۸
- جدول ۷-۴. نتایج راندمان حاصل از بررسی تغییرات محل سرریز..... ۱۵۱
- جدول ۸-۴. راندمان متناسب با تغییرات در قطر خروجی فاز سبک نفتی..... ۱۵۲
- جدول ۹-۴. راندمان متناسب با تغییر در محل خروجی فاز سنگین آبی..... ۱۵۴
- جدول ۱۰-۴. نتایج حاصل از بررسی تغییرات در محل قرار گیری دیوار آرام کننده..... ۱۶۷
- جدول ۱۱-۴. راندمان متناسب با حذف دیواره آرام کننده در جداکننده چربی..... ۱۷۰
- جدول ۱۲-۴. جدول نتایج بررسی راندمان در جداکننده دوبعدی [Ducoste 2008]..... ۱۷۰
- جدول ۱۳-۴. راندمان جداکننده چربی در حضور صفحات سوراخ دار..... ۱۷۳
- جدول ۱۴-۴. راندمان جداکننده با بسته صفحات مورب..... ۱۷۷

١. مقدمه

۱-۱. مقدمه

بسیاری از صنایع فاضلاب آلوده به هیدروکربن ها یا نفت را تولید می کنند. مشتقات نفتی تخلیه شده در محیط زیست دارای آثار زیان آور است. هدایت فاضلاب آلوده به مشتقات نفتی، به چاه های جذبی علاوه بر مسدود نمودن چشمه های چاه و نیاز به حفر مجدد؛ به سفر های آب زیر زمینی صدمات جبران ناپذیری را وارد می نماید.

در استخراج نفت خام؛ آب می تواند به درون لایه های میدان نفتی تزریق شود تا نفت خام از زمین استخراج گردد که اغلب به اصطلاح فرایند سیلاب زنی^۱ با آب یا استخراج نفت دوم خوانده می شود. از این رو مخلوط استخراج شده حاوی نفت؛ آب، گاز و جامدات معلق می باشد که باید قبل از انتقال بخش قابل توجهی از مواد غیر نفتی توسط جداکننده ها جداسازی شوند. هنگامی که محدودیت هایی در خصوص وزن و سطح اشغال به عنوان مثال در تاسیسات دور از ساحل یا در کاربری های زیر دریا وجود دارد، اندازه مخزن جداکننده باید تا حد امکان کوچک باشد. کاهش اندازه جداکننده ها بدون کاهش راندمان جداسازی، هزینه سرمایه گذاری و حجم ذخایر هیدرولیکی را کاهش خواهد داد. از این رو ایمنی عملکرد و صرفه اقتصادی ارتقا می یابد. بنابراین روشهای طراحی بسیار دقیق مورد نیاز هستند. ابزارهای طراحی بسیار دقیق شامل ساخت و بررسی نمونه های آزمایشگاهی و دینامیک سیالات محاسباتی هستند.

ارزیابی عملکرد و راندمان جداسازی در جداکننده ها ملزم به صرف هزینه بالا و در برخی موارد استفاده از مواد رادیواکتیو است. ردیابی رادیو اکتیو اغلب تنها تکنیک موثر غیر مخرب و خوب برای مشخص کردن جریان فازها در مخزن می باشد که خطرات قابل توجهی را برای کاربران به دنبال دارد. در حال حاضر با به کار گیری شبیه سازی عددی به کمک دینامیک سیالات محاسباتی می توان به

^۱ water flooding process

میزان قابل توجهی در هزینه و زمان صرفه جویی نمود و خطرات ناشی از کار با مواد رادیو اکتیو را نیز کاهش داد.

دینامیک سیالات محاسباتی شاخه ایی از دینامیک سیالات است که با روش های پیچیده گسسته سازی معادلات، حل های تقریبی از معادلاتی که حل تحلیلی ندارند را ارائه می نماید. به دلیل پیچیدگی محاسباتی و ضعف پردازنده ها در گذشته روند حل با کامپیوترها به کندی صورت می گرفت. با ظهور کامپیوترها توانمند و نرم افزار های مدل سازی جریان سیال ، دینامیک سیالات محاسباتی ابزاری جایگزین برای دستیابی به کارایی جداکننده تحت رژیم پیچیده شده است.

هدف اصلی از این پژوهش تاکید بر قابلیت شبیه سازی به کمک دینامیک سیالات محاسباتی (CFD) در تخمین راندمان جداکننده مشتقات نفتی از آب و ارائه راهکارهایی برای بهبود عملکرد سیستم های جداکننده می باشد.

تا کنون تحقیقات متعددی در قالب کارهای آزمایشگاهی، روابط تئوریکی و تحقیقات CFD در خصوص ارزیابی و بهبود راندمان جداکننده ها صورت گرفته است. تحقیقات حاضر از دقت و جزئیات بیشتری در مقایسه با تحقیقات CFD گذشته برخوردار است. برای تولید هندسه و مش از بسته نرم افزاری GAMBIT 2.4.6 و برای شبیه سازی جریان دوفازی آب و نفت یا آب و چربی از بسته نرم افزار FLUENT 6.3 استفاده شد. تمامی شبیه سازی های صورت گرفته در این پژوهش به کمک کارهای آزمایشگاهی و تحقیقات CFD گذشته به لحاظ تایید اعتبار مورد بررسی قرار گرفتند. تغییرات صورت گرفته به جهت بهبود راندمان در هندسه جداکننده ها علاوه بر سادگی و کاربردی بودن، در برخی نمونه های عملیاتی پیشنهاد شده اند که نتایج این نمونه های عملیاتی جهت تامین اعتبار مدل عددی مورد استفاده قرار گرفتند. در نهایت مدل بهینه نهایی با اعمال موثرترین تغییرات در ارتقای راندمان تولید گردید. بررسی آزمایشگاهی مدل بهینه به جهت عملیاتی شدن الزامی است.

فصل دوم این تحقیق به معرفی انواع جداکننده های گرانشی می پردازد و علل ارزیابی راندمان جداکننده ها در این تحقیق و در کارهای گذشته را بیان می نماید و در ادامه مروری بر تحقیقات صورت گرفته در خصوص ارزیابی و بهبود راندمان جداکننده ها در قالب کارهای آزمایشگاهی، روابط تئوریکی و تحقیقات CFD را ارائه می نماید.

فصل سوم این تحقیق بر تعریف و مزیت دینامیک سیالات محاسباتی از دیدگاه کلی پرداخته و معادلات حاکم بر میدان جریان در مدل آشفتنه $k-\epsilon$ و مدل چند فازی مخلوط را بیان می دارد.

فصل چهارم جداکننده مشتقات نفتی از آب برای ترکیب های حاوی کسر حجمی قابل توجه فاز دوم مخلوط در آب و جداکننده چربی برای مخلوط های حاوی کسر حجمی بسیار ناچیز فاز دوم پراکنده در فاز پیوسته آب را مورد بررسی قرار می دهد. برای هر یک از جداکننده های فوق، نتایج حاصل از شبیه سازی عددی بیان می شود و بر صحت نتایج به کمک نتایج آزمایشگاهی و CFD مشابه اشاره گردیده و در نهایت مدل بهینه جداکننده ارائه می گردد.

فصل پنجم بر خلاصه ایی از نتایج شبیه سازی عددی و بررسی های صورت گرفته در راستای بهبود راندمان جداکننده های گرانشی اشاره داشته و در انتها پیشنهاد هایی برای مطالعات آتی بیان می دارد.

۲. معرفی جداکننده ها

۲-۱. پیش زمینه

به تمامی مواد معدنی، گیاهی، مصنوعی و همچنین چربی های گیاهی و حیوانی لغزنده قابل اشتعال و چسبناک (ویسکوز) که در دمای اتاق به صورت مایع باشد (اگر در دمای اتاق جامد باشد و به مایع تبدیل نشود به آن چربی گویند!!) و در حلال های آلی مثل اتر حل شود ولی در آب حل نشود روغن می گویند که بطور گسترده ای در زندگی روزمره به عنوان سوخت و روان کننده از آن استفاده می شود.

در این تحقیق هر جا نامی از روغن به میان آمده است منظور مشتقات نفتی یا چربی و روغن خوراکی است. روغن به چندین فرم می تواند در آب وجود داشته باشد.

روغن آزاد^۱ : ترکیبی از قطرات روغن با قطر بالاتر از ۳۰ میکرون است. روغن آزاد هنگامی که بازه زمانی لازم برای شناوری آن فراهم شود به سرعت به طرف سطح آب صعود می نماید.

پخش مکانیکی^۲ : شامل انتشار قطرات ریز در حدود ۱ تا ۳۰ میکرون است و دارای پایداری ناشی از بار الکتریکی و نیروهای دیگر می باشد ولی از حضور مواد فعال در سطح تولید نمی شود.

امولسیون شیمیایی^۳ : پخش قطرات روغن مشابه با پخش مکانیکی است اما به گونه ایی که دارای پایداری اضافی ناشی از برهمکنش شیمیایی به ویژه به علت حضور مواد فعال در سطح فصل مشترک آب و روغن می باشد.

^۱ Free oil

^۲ Mechanical dispersion

^۳ Chemical emulsion

روغن محلول^۱: روغن محلول به صورت شیمیایی است در این حالت جداسازی به روش فیزیکی مقدور نمی باشد.

روغنی که به سطح ذرات چسبیده: به روغنی که ذرات را آغشته نماید می گویند.

میزان عملکرد سیستم جداکننده روغن از آب به توزیع اندازه قطرات روغن بستگی دارد. مسئله جداسازی شامل مسائل شیمیایی و نه صرفاً نفتی می باشد.

تعیین درجه پراکندگی یا درجه امولسیون روغن مشکل است اما راه هایی که می تواند موجب کاهش درجه پراکندگی و یا امولسیونی شدن گردد عبارتند از:

الف- عدم استفاده از دترجت ها که ممکن است موجب تولید امولسیون پایدار شیمیایی گردد.

ب- لوله کشی با قطر کافی برای جلوگیری از بروز آشفتنگی و انتشار قطرات ریز.

ج- پرهیز از به کار بردن ابزارهایی همچون پمپ ها به خصوص نوع سانتریفوژی آن، شیرها به خصوص نوع کروری آن، و دیگر تحدید کننده های جریان، از قبیل زانویی، سه راهی ها و غیره، یا هرگونه کوچک کردن بی دلیل مقطع بطوریکه موجب تولید تنش برشی و یا شکل گیری انتشار مکانیکی گردد. در استفاده از سیستم های جداکننده روغن از آب خیلی مهم است که پمپی را انتخاب کنیم که حداقل انرژی اختلاط را اعمال نماید در غیر اینصورت هر افزایش انرژی که بدینسان تولید شود باید با تجهیزات مربوطه حذف گردد. به این دلیل اگرچه پمپ های سانتریفوژ سرعت بالا، نسبتاً ارزان و کوچک هستند ولی از بکار بردن آنها باید پرهیز شود و پمپ هایی با اعمال نیروی برشی پایین، همچون دودی و جلو رونده باید استفاده گردند.

شرایط ورودی ایده آل برای جداکننده روغن از آب عبارتست از:

^۱ Dissolved oil

۱- جریان گرانشی (پمپ نشده) در لوله ورودی

۲- اندازه لوله ورودی به گونه ایی تعیین شود که کمترین افت فشار را داشته باشد.

۳- طول مستقیم لوله ورودی حداقل ۱۰ برابر قطر لوله بالادست جداکننده باشد (اتصال مستقیم به نازل)

۴- لوله ورودی حاوی کمترین میزان زانویی، سه راهی، شیرها، و سایر اتصالات باشد.

۵- لوله ورودی تا حد امکان باید صیقلی باشد تا از بروز جریان آشفته ناشی از زبری لوله جلوگیری شود. از این رو لوله PVC بر بتن زبر ارجحیت دارد. با این حال باید خاطر نشان نمود که مقدار کمی آشفته‌گی (یعنی عدد رینولدز نزدیک به حالت گذرا) برای افزایش احتمال انعقاد (چسبیدن) قطرات روغن به یکدیگر مناسب است.

۲-۱-۱. جداسازی فیزیکی

جداسازی فیزیکی روغن از آب تابعی از سرعت بلند شدگی قطره روغن می باشد که از قانون استوکس پیروی می نماید.

انیسیتو نفت آمریکا API و بسیاری از تولید کنندگان، از قانون استوکس به عنوان پایه ایی برای محاسبات تئوریک جداسازی روغن از آب استفاده می کنند. قانون استوکس به صورت تاریخی به عنوان پایه ایی برای فهمیدن اصول و اهمیت فاکتورهای موثر بر جداسازی جامدات قابل ته نشینی از فاضلاب در اثر گرانش است . معادله ۱-۲ معادله ساده شده قانون استوکس است و می توان آنرا در متون هیدرولیک استاندارد یافت نمود. معادله ۱-۲؛ سرعت نهایی مواد معلق در مایع با وزن مخصوص کمتر یا بیشتر از وزن مخصوص مایع را تخمین می زند. سرعت در بلند شدن یا ته نشین

شدن مواد معلق می تواند به عنوان اساسی برای پیش بینی اندازه و ابعاد مخزن باشد [API 421 1992].

$$V_p = \frac{g}{18 \cdot \mu} (D_w - D_0) \cdot d^2 \quad \text{معادله ۱-۲}$$

V_p سرعت بلند شدگی یا ته نشینی (جهت مثبت رو به بالا)، g ثابت گرانش، μ لزجت آب، D_w دانسیته آب، D_0 دانسیته روغن، d قطر قطره روغن

- ساده سازی های مورد استفاده در فرمول فوق عبارتند از :
- شتاب ناشی از گرانش ثابت است.
- شکل قطره یا ذرات کروی است.
- جریان حول ذرات در حال ته نشینی و قطرات در حال بلند شدن، آرام است.

اکنون ما می توانیم اهمیت هر یک از ترم های قانون استوکس را بر جداسازی نهایی آب و روغن مورد بررسی قرار دهیم

اهمیت لزجت

براساس قانون استوکس، کاهش در لزجت آب، افزایش سرعت بلند شدگی روغن را به همراه دارد. افزایش دما به میزان قابل توجهی لزجت آب را کاهش خواهد داد. برای مثال، چنانچه سایر پارامترها ثابت بماند، سرعت بلندشدگی قطره روغنی که در آب با دمای ۴ درجه سانتیگراد قرار دارد تقریباً نصف سرعت قطره در آب با دمای ۳۲ درجه سانتی گراد است.

اهمیت وزن مخصوص و قطر قطرات روغن

بر اساس قانون استوکس با افزایش اختلاف در بین وزن مخصوص روغن و آب، قطره روغن سریعتر در آب بلند می شود. برای مثال نفت کوره که وزن مخصوص ۰,۸ دارد دو برابر سریعتر از روغنی با وزن مخصوص ۰,۹ بلند می شود.

تخمین وزن مخصوص، لزجت و اندازه قطرات روغن

اطلاعات مربوط به دمای فاضلاب و دانسیته نسبی و لزجت از منابع علمی بسیاری در دسترس است. کمترین دمای فاضلاب از دمای هوای پیرامونی طی عملیات شستشو و در نظر گرفتن دمای منبع آب بدست می آید. دمای زمین پیرامونی در مورد جداکننده های قرار گرفته در عمق زمین نشانه خوبی برای ارزیابی دمای فاضلاب است. به طور کلی دما بین ۴,۵ تا ۱۵,۵ درجه سانتی گراد متغیر است مگر آنکه آزمایشات خلاف آن را ثابت نماید. کمترین دما، کمترین میزان جداسازی را به همراه دارد لذا کمترین دما باید در تعیین اندازه جداکننده مد نظر قرار گیرد. در آب و هوای سرد ممکن است عایق کاری مخزن یا استفاده از هیتر مطلوب باشد. باید خاطر نشان نمود در فاز طراحی تجهیزات جداسازی، بازه وسیعی از تغییرات دما (و در پی آن لزجت و وزن مخصوص) برای در نظر گرفتن شرایط زمستان و تابستان و همچنین امکان اخلاص در عملیات باید در نظر گرفته شده باشد.

تخمین اندازه قطر قطرات روغن بسیار مشکل است. راه بسیار ساده برای اندازه گیری ذرات، تحلیل گر پراکندگی نور لیزر^۱ است.

۲-۱-۲. جداسازی پخش مکانیکی و امولوسیون شیمیایی

^۱ laser light scattering analyzer

پخش مکانیکی به معنی اختلاط مکانیکی و ظاهراً هموزن غیر محلول، قطرات یک سیال مخلوط نشدنی پخش شده در سیال پیوسته دیگر می باشد. بار الکتریکی ممکن است در سطح سیال پخش شده به علت جذب یون به آن ظاهر شود. بسیاری از موارد چنانچه زمان لازم فراهم شود، پخش مکانیکی به وسیله گرانش جدا خواهد شد. در هر حال در برخی موارد سیال دوم با نیروی الکتریکی با اندازه‌های بسیار ریزی در سیال اول پخش می شود به طوریکه به شکل واقعی هرگز جدا نخواهند شد مگر اینکه بار الکتریکی مختل شود.

امولوسیون شیمیایی، یک مخلوط همگن شیمیایی غیر محلول؛ شامل قطرات یک سیال مخلوط نشدنی پخش شده در سیال پیوسته دیگر است. این مخلوط ها به علت واکنش های شیمیایی به خصوص در حضور مواد فعال در سطح در فصل مشترک روغن و آب از پایداری بالایی برخوردارند. امولوسیون های شیمیایی ناشی از حضور موادی که سیال مخلوط نشدنی را در سیال دیگر پخش می کنند هرگز به روش گرانشی جدا نخواهند شد.

فرایندهایی که برای شکستن پایداری پخش و امولوسیون ها استفاده می شوند شامل روش های شیمیایی و فیزیکی و SPR می باشد. شکستن امولوسیون به معنی از بین رفتن پایداری شیمیایی مواد پخش شده و فراهم شدن شرایط برای منعقد شدن ذرات به یکدیگر و در پی آن عملیات جداسازی موفق می باشد.

جداسازی به کمک عملیات شیمیایی

عملیات شیمیایی در واقع ناپایدار کردن قطرات روغن پخش شده یا پوشش داده شده با مواد شیمیایی و مختل کردن حضور هر عامل امولوسیون ساز دیگر است. این عملیات عبارتست از :

۱- نمک پاشی یک عامل امولوسیون ساز با افزودن مقدار زیادی از نمک معدنی، و در نتیجه افزایش میزان مواد جامد محلول در فاز آب

۲- لخته کردن مواد پخش شده، با نمک های آلومینیومی و آهنی بسیار موثر و معمول، حتی اگر آب زدایی لجن های هیدرواکسید حاصل، بسیار مشکل باشد و استفاده مجدد از روغن استحصال شده بدین روش غیر ممکن شود.

۳- اسیدی کردن محیط که می تواند امولسیون را بسیار موثرتر از نمک منعقد کننده بشکافد اما بسیار گران بوده و پس ماند حاصل باید پس از جداسازی خنثی شود.

۴- ضد امولسیون های آلی، مواد بشدت ضد امولسیون موثری هستند اما عموماً بسیار گران قیمت و تخصصی می باشند.

در هر حال همه این روش ها مشکلات پایین دست آب را افزایش می دهند. هزینه بسیار بالای آنها، حاصل جمع هزینه مربوط به استفاده از مواد شیمیایی مناسب در جریان و هزینه حذف آثار منفی که در بالا ذکر شده می شود.

جداسازی به کمک عملیات SPR

شرکت ایتالیکو اخیراً ریز ماده پایه غذایی طبیعی را کشف نموده است که قابلیت حذف همه مایعات و جامدات پخش شده در فاز پیوسته را دارد. واکنش در یک بازه زمانی کوتاه بین چند ثانیه تا یک دقیقه واقع می شود و جدا نمودن مایع شفاف، برای مثال با ته نشینی یا تصفیه بدست می آید.

این فرایند که SPR نامیده می شود با وجود این حقیقت که مایع تحت تاثیر به هیچ وجه دچار تغییر شیمیایی نمی گردد مورد توجه قرار می گیرد. از آنجایی که ریزماده مصرفی به طور کلی حل نشدنی است، به طور کامل با تصفیه و یا سایر تکنیک های شناخته شده جداسازی مایع-جامد حذف می گردد. این خصوصیات امکان استفاده مجدد از مایع شفاف بدست آمده از این فرایند را در چرخه اولیه ای که پساب در ابتدا از آن قسمت جاری می شود را می دهد.

از آنجائیکه فرایند پالایش ضرورتاً از نوع فیزیکی است، این ابتکار می تواند به شکل موثری برای همه پساب های قطبی حاوی ذرات محلول، بدون توجه به طبیعت شیمیایی ذرات به کار گرفته شود.

این عملیات به خصوص برای فاضلابی که باید تحت نانو فیلتراسیون، اسمز معکوس و یا فرایند الکترودیالیز قرار گیرد سودمند است زیرا به کمک آن امکان حذف فرایند میکرو فیلتراسیون و پیش فیلتراسیون فراهم می شود و در پی آن افزایش کارایی و عمر اجزای وابسته را خواهیم داشت.

جداسازی به کمک عملیات فیزیکی

متدهای شکست امولوسیون فیزیکی عبارتند از

۱- گرم کردن

۲- سانتری فوژ سرعت بالا

هر دو این روش ها همچون روش SPR براساس اصول فیزیکی کار می کنند اما آنها به عنوان یک ایراد مهم افزایش در مصرف بالای انرژی را به همراه دارند و قادر به تضمین نتایج جداسازی درجه بالایی را که SPR می توان بدست آورد نیستند.

۲-۱-۳. کاربرد های جداکننده روغن از آب

کاربردهای معمول سیستم های جداکننده روغن از آب در زیر ارائه شده اند:

- تولید گاز و نفت (واقع در ساحل/در دریا)
- آب تولید شده در استخراج نفت
- آب ناشی از میعان در استخراج گاز

○ شستن عرشه

● کاربردهای صنعتی

○ تاسیسات بزرگ تقطیر و سرد کردن آب

○ تاسیسات پترو شیمی و جریان خروجی پالایشگاه ها

○ خروجی روغن از دستگاہ نورد

○ سردکننده های ابزار مکانیکی

○ فاضلاب نفتی از

▪ صنایع شیمیایی

▪ صنایع داروسازی

▪ صنایع غذایی

▪ بهره برداری معادن

▪ صنایع نساجی

○ صنایع مکانیکی

▪ فلز کاری : سیالات محلول در آب، سیالات نیمه ترکیبی، سیالات ترکیبی و پایدار مورد استفاده در سوپاپ ها و تراشکاری و به طور کلی کارهای مکانیکی.

▪ نازک کاری فلزات : اسیدهای محلول در آب، تمیزکننده های طبیعی و قلیایی محتوی روغن آزاد یا پخش شده به شکل مکانیکی.

▪ ماشین های دوار: روغن به دام افتاده در سیالات محلول در آب مورد استفاده در مخازن ماشین های دوار.

▪ فلزات پایه : نورد، نورد سرد، سیالات محلول در آب عملیات نورد لوله و قالب گیری به صورت فلزی و غیر فلزی.

● کاربری های دریایی

○ جداسازی فاضلاب کشتی

- سرریز روغن
- روغن زدایی آب دریا
- مراقبت از تاسیسات نمک زدایی
- کاهش آلودگی
 - تصفیه آب سطحی
 - تصفیه آب زیر زمینی
 - تصفیه رواناب سیل و بارندگی
- فرایندهای جداسازی
 - سوخت موتور دیزل/آب
 - نفت چراغ/آب
 - بنزین/آب
 - روغن موتور/آب
 - چربی حیوانی/آب
 - مواد شیمیایی ارگانیک مخلوط نشدنی/آب
- سایر کاربری ها
 - فاضلاب روغنی از
 - تلمبه خانه ها
 - محدوده راه آهن

۲-۲. سیستم های جداکننده

سیستم های حذف مشتقات نفتی از آب دامنه وسیعی از حوضچه های نگهداری بسیار ساده تا سیستم های منسوب به تکنولوژی غشا های پیشرفته را شامل می شوند. سیستم های ساده اغلب ناکافی هستند (اگرچه اغلب به کار گرفته می شوند) و سیستم های بسیار پیچیده هم گران و هم نگهداری فشرده ایی را نیاز دارند. در ذیل انواع جداکننده های گرانشی که در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفته اند معرفی شده و در انتها از انواع دیگر جداکننده ها نام برده می شود.

۲-۲-۱. جداکننده گرانشی قدیمی

راه بسیار ساده ممکن برای انعقاد مشتقات نفتی منتشر شده در آب تنها اجازه ثابت شدن در یک مکان است. در بسیاری از موارد مشتقات نفتی منتشر شده دیر یا زود منعقد خواهد شد، سپس سیال سنگین تر ته نشین شده و دو لایه مجزا را با کمک گرانش تشکیل می دهند. این نوع جداکننده تنها محفظه ایی خالی با فضای کافی برای نگهداری سرریزها است. کارایی جداکننده گرانشی بستگی به طرح هیدرولیکی مناسب و بازه زمانی ماند پساب برای سرعت بلند شدگی مشخص دارد. زمان ماند طولانی عموماً کارایی جداکننده را افزایش می دهد. حذف موثر قطرات مشتقات نفتی با سرعت بلند شدگی مفروض تابعی از هندسه سیستم است. زمان ماند مایع باید کافی باشد تا به قطرات مشتقات نفتی اجازه دهد با سرعت معلوم به سطح سیال، جائیکه بتوان آنها را با کف روبی جمع کرد برسند. زمان ماند طولانی برای جریان های با حجم زیاد بوسیله مخازن خیلی بزرگ فراهم می شود.

جداکننده گرانشی به طور معمول تانک مستطیلی شکل در داخل زمین و یا روی سطح زمین است. آنها ممکن است عرض ۱۵ فوت (۴,۵ متر) تا ۲۰ فوت (۶ متر) و طول ۴۵ فوت (۱۴ متر) تا ۶۰

فوت (۱۸ متر) داشته باشند. شکل جداکننده گرانشی قدیمی معمولی در شکل ۲-۱ ارائه شده است. کانال های جریان ورودی و خروجی به طور معمول در دو انتهای جداکننده و مقابل هم قرار دارند. جریان ورودی به طور معمول از میان یک مقطع ورودی عبور می کند که دارای یک دیواره آرام کننده بوده تا جریان را به طور یکنواخت در سراسر عمق جداکننده پخش نماید. برای تاسیسات فاقد سیستم جمع آوری لجن، ممکن است یک دیواره آرام کننده تحتانی در جداکننده وجود داشته باشد. این دیواره خاک های ته نشین شده را در بخش جلویی جداکننده برای سهولت در تمیز کردن سیستم نگه می دارد. سایر جداکننده ها ممکن است دارای تجهیزات زدودن لجن اتوماتیک باشند که لجن جمع آوری شده را در محفظه لجن، جائیکه می تواند از تانک به صورت دوره ای پمپ شود، نگه می دارند [API 421 1992].

در همه موارد تراز لجن باید هر روزه کنترل شود و زمانیکه لجن بیش از ۱۰٪ حجم جداکننده را در بر می گیرد باید پمپ شود. همه جداکننده های قدیمی یک دیواره آرام کننده سطحی در انتهای خروجی برای نگاه داشتن مشتقات نفتی شناور دارند. مشتقات نفتی شناور با استفاده از پمپاژ، یا با فعال کردن یک درام چرخنده یا لوله شکاف دار که امکان جمع آوری مواد سطحی به درام یا تانک نگهداری مشتقات نفتی را می دهد زوده می شود. عمق لایه سطحی مشتقات نفتی باید به طور منظم کنترل شود و جارو کردن سطحی^۱ باید به صورت منظم انجام شود. تجربه بدست آمده از عملکرد یک جداکننده گرانشی قدیمی در کاربری خاص، زمان مربوط به دوره های کنترل و جارو کردن لایه مشتقات نفتی را نشان خواهد داد. برای مثال چنانچه لایه مشتقات نفتی نیاز به کنترل و جارو کشی روزانه داشته باشد این دوره ها می توانند از چند بار در روز تا چند بار در ماه بسته به نرخ انباشت مشتقات نفتی در سطح جداکننده متغیر باشند.

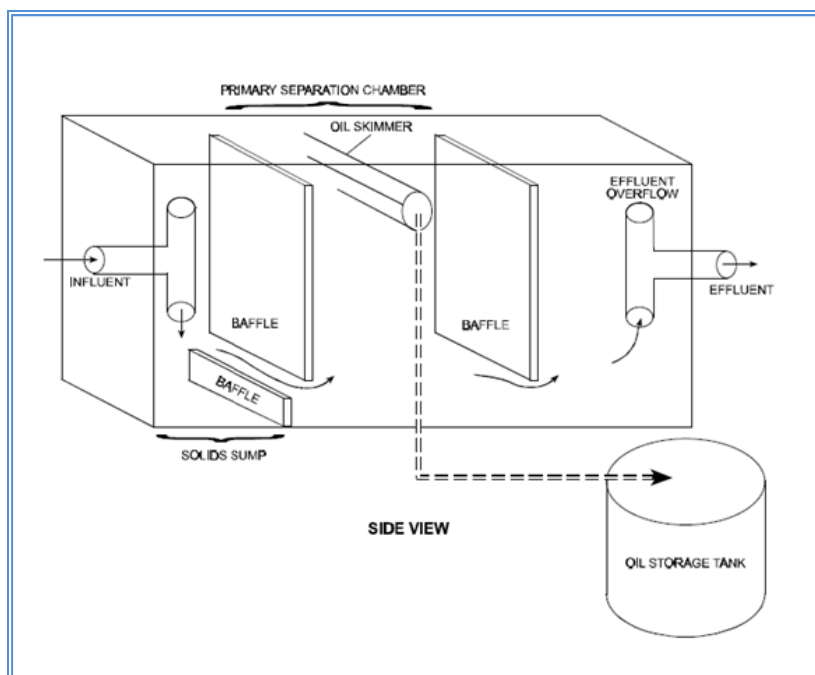
یک معیار کاربردی آن است که لایه مشتقات نفتی باید اغلب طوری کنترل و جارو کشی شود که از

^۱ surface skimming

افزایش مقدار مشتقات نفتی در پی یک نوسان شدید غیر منتظره (به عنوان مثال بارندگی) جلوگیری شود. از این رو دوره تناوب بازرسی ممکن است به حساسیت پروژه پایین دستی به حجم مشتقات نفتی اضافه شده بستگی داشته باشد. دوره تناوب باید با تجربه تخمین زده شود و در هر حال مطلوب است که ضخامت لایه مشتقات نفتی شناور به بیش از ۲ اینچ (۵ سانتی متر) نرسد. برخی اپراتورها مایلند که هیچ مقداری از مشتقات نفتی در سطح به صورت شناور نباشد.

همانطور که قبلاً گفته شد، یک مشکل عادی در جداکننده های مشتقات نفتی از آب حضور دترجنت ها و امولوسیون ها است که پاکسازی مشتقات نفتی با جداکننده گرانشی را مشکل می نماید. جداکننده گرانشی برای حذف مشتقات نفتی آزاد و نه مشتقات نفتی امولوسیونی و یا محلول طراحی شده است.

میزان PH بر راندمان جداسازی موثر خواهد بود. چنانچه آب قلیایی باشد (PH بالاتر از ۹) ملاحظات اضافه ایی برای جداکننده گرانشی لازم خواهد بود [MIL-HDBK-1138 1997].



شکل ۱-۲. جداکننده گرانشی قدیمی

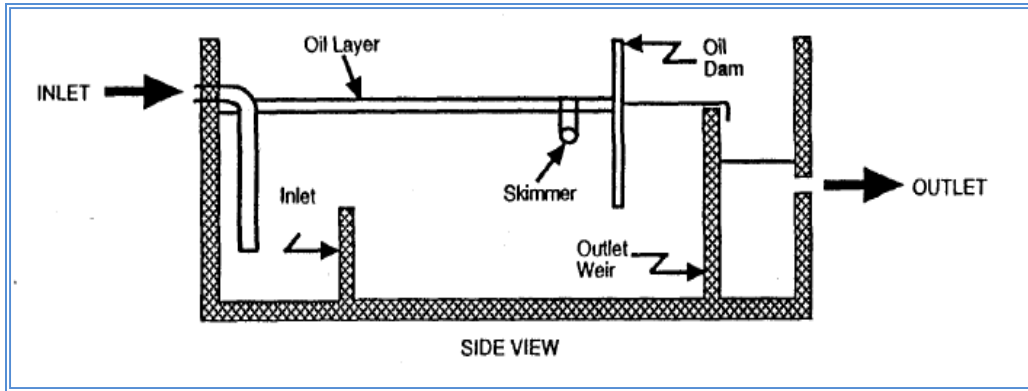
۲-۲-۲. جداکننده API (American Petroleum Institute)

جداکننده API قدیمی شامل یک یا چندین کانال سراسری است که آب در آن به صورت افقی با سرعتی که به قطرات مشتقات نفتی مجال لازم برای بلند شدن به سطح را می دهد عبور می کند تا کف زنی شود (شکل ۲-۲). جداکننده API به طور گسترده در پالایشگاه های نفت و کارخانجات فراورده های شیمیایی استفاده می شوند که آب حاوی مقادیر نسبتا زیادی از مشتقات نفتی در آنها وجود داشته و نیاز به تصفیه دارد.

معیارهای طراحی جداکننده API

سرعت افقی داخل جداکننده ممکن است تا ۱۵ برابر سرعت بلند شدگی بحرانی (یعنی کمترین بالا روندگی) قطره مشتقات نفتی یا در حدود حداکثر ۳ فوت (۰,۹ متر) بر دقیقه باشد. چنانچه سرعت بیش از این مقدار باشد اثر آشفستگی جریان موجب توزیع مجدد قطره های مشتقات نفتی می شود. عمق جریان در جداکننده باید از ۳ فوت (۰,۹ متر) تا ۸ فوت (۲,۴ متر) باشد. این محدوده ارتفاعی باید توسط قطره در حال بلند شدن پیموده شود. عرض جداکننده باید بین ۶ فوت (۱,۸ متر) و ۲۰ فوت (۶,۱ متر) باشد. نسبت عمق به عرض باید بین ۰,۳ تا ۰,۵ باشد.

مهمترین مزیت های این نوع از جداکننده ها طراحی ساده، ارزان، احتمال پایین وقوع انسداد با مواد جامد و نیاز به نگهداری کم آنهاست. جداکننده API استاندارد برای رسیدن به جداسازی قطرات مشتقات نفتی با قطر ۱۵۰ میکرون و بالاتر طراحی شده است. در عمل، این بدان معنی است که جریان خروجی دارای آلودگی مشتقات نفتی به میزان بیش از ۵۰ در هزار خواهد بود زیرا نسبت قابل توجهی از قطرات مشتقات نفتی موجود دارای قطر کمتر از ۱۵۰ میکرون هستند. بعلاوه اندازه و سطح آزاد یک جداکننده API موجب آشفته شدن فرایند جداسازی با آشفستگی حلقوی و میان بر شدن مسیر آلودگی می گردد [API 421 1992].

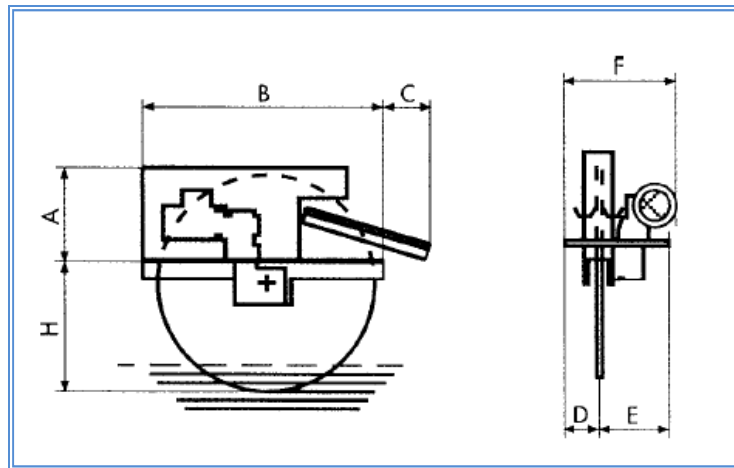


شکل ۲-۲. جداکننده مرسوم انیسیتو نفت آمریکا API

کف روب^۱

کف روب ها، همان طور که از نامشان پیداست مشتقات نفتی جمع شده در سطح آب را می روبند. چهار نوع اصلی از کف روب ها وجود دارند، نواری، لوله جمع کننده، کف روب چرخدار و راکتوری.

کف روب نواری و چرخدار می توانند پرکاربردترین نوع کف روب ها باشند. در شکل ۲-۳ کف روب چرخدار نشان داده شده است.



شکل ۲-۳. کف روب چرخدار

۲-۳. جداکننده های با پلیت موجدار^۱ (CPI)

جداکننده CPI با اشکال خاص و بر اساس طرح های اختصاصی توسط فروشندگان ساخته می شود. جداکننده CPI شامل یک تانک محتوی تعدادی پلیت موجدار موازی با فواصل ۰,۸ تا ۱,۶ اینچ از هم (۲ تا ۴ سانتی متر) و به صورت مورب نسبت به محور افقی می باشد (شکل ۲-۴). فاضلاب می تواند هم به صورت بالارونده و هم پایین رونده بین پلیت ها جریان یابد. در ترکیب نشان داده شده، فاضلاب از میان پلیت ها پایین می رود. آنچه که اتفاق می افتد این است که، قطرات مشتقات نفتی به سمت بالا شناور شده و در زیر نزدیکترین پلیتی که آنها در آن به یکدیگر می پیوندند، جمع می گردند. قطرات مشتقات نفتی به هم پیوسته به سمت بالای پلیت های جابه جا می شوند و در جداکننده باقی می مانند تا لایه شناوری که از سطح تانک جارو می شود را تشکیل دهند. جامدات ته نشین شده فاضلاب در بالای نزدیکترین پلیت های جمع می شوند و به پایین پلیت ها جابه جا می گردند و به ته مخزن CPI سقوط می کنند. در شکل نشان داده شده، جریان آب از میان پلیت ها به پایین می رود و با عبور از روی سرریز به فلوم خروجی وارد می شود. برخی تولید کنندگان ترکیبات دیگری به غیر از آنچه که دیدیم انتخاب می کنند.

جداکننده های CPI کوچکتر بوده و به لحاظ خروج اتمسفریک کنترل شده راحت تر هستند و ممکن است کمی گرانتر از جداکننده های API باشند. در عمل ممکن است اندازه کوچکتر خود یک ایراد محسوب شود زیرا نمی تواند حجم کافی برای جمع آوری لجن و مشتقات نفتی را فراهم نماید و ممکن است نتواند زماند ماند لازم را برای شکستن امولوسیون ها فراهم نماید.

در برخی موارد پکهای صفحات به شدت پر می شوند. جداکننده های CPI مرتباً از آب خالی شده و با آب شسته می شوند تا پلیت ها تمیز گردند. تجربه استفاده از این سیستم نشان می دهد چه زمانی

^۱ Corrugated Plate Interceptors

نیاز به انجام این کار است و در عین حال حداقل بازه برای تمیز کردن پلیت ها ۶ ماه است. جداکننده های پلیت موجدار به دو صورت کلی جداکننده با پلیت مورب و جداکننده پلیت موجدار تخت (سینوسی افقی) ساخته می شوند.

جداکننده با پلیت مورب^۱

این سیستم ها معمولاً در ابعاد بزرگ از پلیت های فایبر گلاس بسته بندی شده در فریم فولادی یا فولاد زنگ نزن ساخته می شوند. قطرات مشتقات نفتی وارد شده به این سیستم بلند می شوند و به بالای پلیت می رسند سپس در امتداد پلیت حرکت می کنند تا اینکه به سطح می رسند. مزیت این سیستم نسبت به جداکننده API شامل بهبود تاثیر در جداسازی هم مشتقات نفتی و هم جامدات و مقاومت در برابر انسداد با جامدات است. بهینه سازی اساساً از کاهش قابل توجه ارتفاع موثر بلندشدگی که باید توسط قطره در حال بلندشدن پیموده شود ناشی می شود. از سوی دیگر این سیستم به تنهایی قادر به جداسازی ذراتی در حدود ۶۰ میکرون می باشد. در شکل ۲-۴ نمونه ایی از این جداکننده که در استاندارد API 421 آمده است می بینید.

جداکننده پلیت موجدار تخت (سینوسی افقی)^۲

جداکننده پلیت موجدار تخت همانند شکل ۲-۵ اغلب شامل پلیت های پلی پروپیلن اولئوفیک^۳ قرار گرفته بر روی پلیت دیگر در ردیف های قائم هستند که به یک با میله یا سیم بسته شده اند. سیستم از ترکیبی از جریان آرام و ربایش اولفیک و خاصیت منعقد کنندگی استفاده می نماید. کندی جریان آب در رژیم جریان آرام، احتمال حضور توربولنسی را که موجب ترکیب مشتقات نفتی و آب و کاهش اندازه قطرات مشتقات نفتی می شود را کاهش می دهد. قانون استوکس بیان می دارد که قطرات

^۱ Inclined plate separator

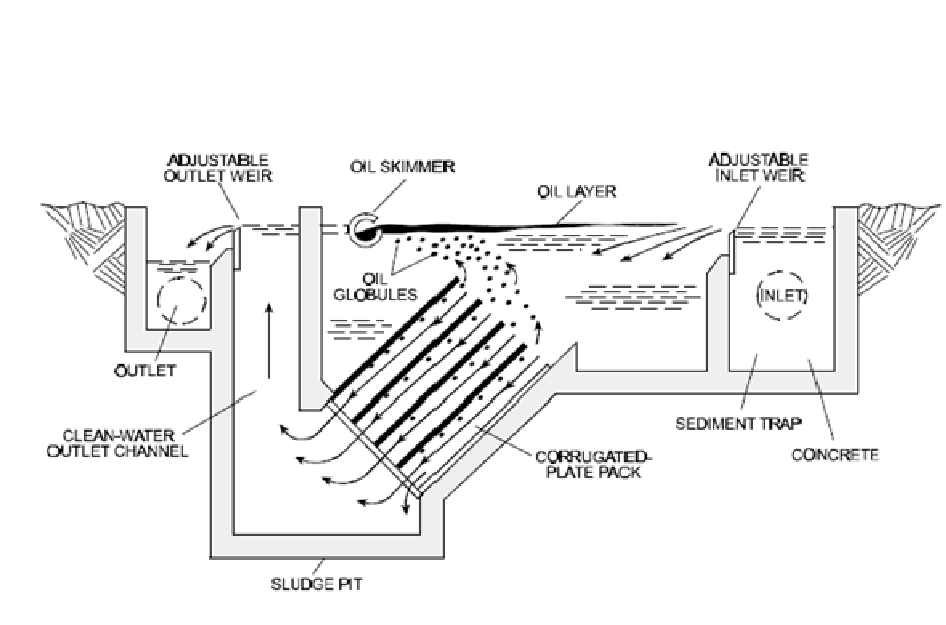
^۲ Flat corrugated (Horizontal Sinusoidal) plate separator

^۳ oleophilic polypropylene

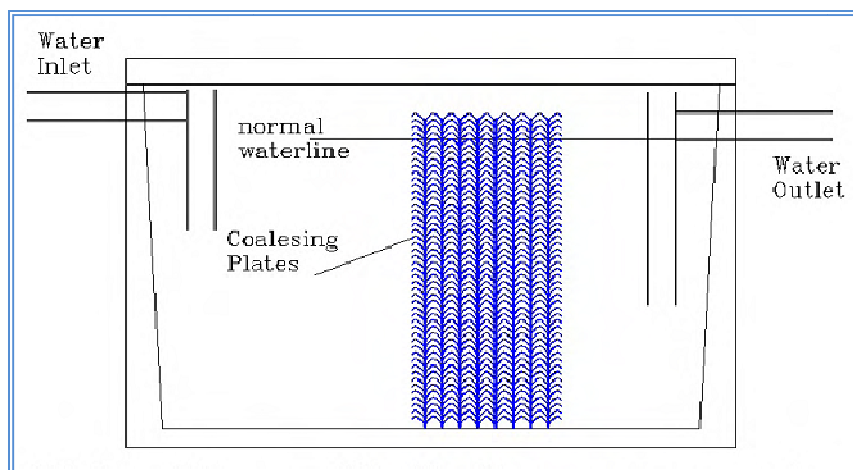
بزرگتر سریعتر بلند می شوند و بنابراین بهتر جدا می گردند. طبیعت اولئوفیک پلیت ها قطرات مشتقات نفتی را جذب می نماید و انعقاد به ابعاد بزرگتر را تسهیل می نماید طوریکه سریعتر بلند می شوند.

مزیت این سیستم این است که بسته های پلیت ها دارای قسمت های کوچک می باشند و در مقایسه با ابعاد پلیت های مورب نسبتا کوچک هستند. چون فاصله بلند شدگی قائمی که باید پوشش داد کمتر از سیستم پلیت مورب است، ذرات با اندازه یکسان در زمان کمتری جدا می شوند. در این سیستم؛ جداسازی موثرتر برای ذرات کوچکتر در حدود ۴۵ تا ۶۰ میکرون را خواهیم داشت.

معایب این سیستم ها، امکان انسداد بسته پلیت ها با جامدات و امکان صدمه به پلیت ها با حلالی که می تواند به پلیت های پروپیلن صدمه بزند همچون BTEX می باشد.



شکل ۲-۴. جداکننده با پلیت مورب



شکل ۲-۵. جداکننده با پلیت موجدار تخت

۲-۲-۴. سیستم های جداسازی پیچیده

در سال های اخیر الزام به استفاده از سیستم های بسیار دقیق موجب تغییر در تعداد زیادی از جداکننده های API به لحاظ طراحی شده است. به طور کلی جداکننده های API در کارخانه ها حفظ می شوند اما عملیات جداسازی با فراهم نمودن سیستم های جداکننده کمکی دیگر در پایین دست، بهتر شده است. تجهیزات جداسازی کمکی در زیر آورده شده اند. همه این گروه از تجهیزات جداکننده به کمک تکنیک هایی پیچیده تر به کار گرفته می شوند و مستلزم صرف هزینه و زمان بیشتری هستند و از سویی دیگر اغلب به عنوان عملیات تکمیلی به کار گرفته می شوند. از آنجائیکه بررسی این گروه از جداکننده ها در این تحقیق مد نظر نمی باشد، از ذکر توضیحات بیشتر در خصوص آنها صرف نظر شد. جهت کسب اطلاعات در مورد نحوه عملکرد و مشخصات این تجهیزات می توان به سمینار کارشناسی ارشد مولف در دانشگاه صنعتی شاهرود با عنوان "جداکننده های مشتقات نفتی از آب" مراجعه نمود.

سایر تجهیزات جداسازی عبارتند از:

○ تجهیزات شناورسازی

▪ شناورسازی با هوای محلول

▪ شناورسازی با هوای پخش شده

○ جداکننده های گریز از مرکز

▪ هیدروسیکلون

▪ سانتری فیوژ

○ جداکننده امولسیون

○ فیلتر با محیط سنگدانه ایی

○ تجهیزات منعقد کننده

○ بیوتکنولوژی

○ جذب سطحی کربن

○ سیستم های غشایی

در جدول ۱-۲ راندمان سیستم هایی که در بالا ذکر شده اند، نشان داده شده است.

نوع تاسیسات	کوچکترین قطره نفت زدوده شده (میکرون)	ملاحظات
جداکننده API	۱۵۰	نیاز به فضای زیاد و عملیات ساختمانی.
سانتری فوژ	۱۰۰	کیفیت ضعیف جداسازی و نیاز به موتور محرک.
جداکننده با پلیت مورب	۶۰	نیاز به فضای زیاد و شاید هم عملیات ساختمانی.
جداکننده با پلیت موجدار تخت	۴۵-۵۰	امکان بسته شدن پک پلیت ها با ذرات جامد و صدمه دیدن پلیت ها در اثر مواد حلال.
شناورسازی با هوای پخش شده	۵۰	تنها به عنوان عملیات تکمیلی - مصرف انرژی زیاد-ممکن است مواد شیمیایی نیاز باشد.
شناور سازی با هوای حل شده	۳۵	تنها به عنوان عملیات تکمیلی-پیچیدگی مکانیکی- مصرف انرژی زیاد-ممکن است مواد شیمیایی نیاز باشد.
فیلتر با محیط سنگدانه ایی	۲۵-۳۰	تنها به عنوان عملیات تکمیلی- مصرف انرژی زیاد-ممکن است مواد شیمیایی نیاز باشد-عملیات شستشوی جریان برگشتی ضروری است.
تجهیزات منعقد کننده	۱۵	تنها به عنوان عملیات تکمیلی- مصرف انرژی زیاد-کلیه جامدات معلق زدوده می شوند.
سیستم های غشایی	۵≤	تنها به عنوان عملیات تکمیلی- هزینه زیاد- حذف کلیه ذرات جامد معلق- عملیات نظافت و انرژی بالا نیاز است.

جدول ۱-۲. راندمان سیستم های جداکننده

با توجه به آنچه که در جدول فوق می بینیم، هنگامی که جداسازی با کیفیت بالا مدنظر ماست مجبور به افزایش هزینه ها در به کار بردن سیستم های پیچیده هستیم که همگی مستعد خراب شدن هستند. علاوه بر اینها ممکن است مشکلات زیاد دیگری همچون مسدود شدن با مواد جامد، نیاز به استفاده از مواد شیمیایی، غیر قابل استفاده بودن برای دبی های بالا یا استفاده از آنها به عنوان

عملیات تکمیلی که مجبور به زدودن ناخالصی مشتقات نفتی در بالادست به کمک سیستم دیگری هستیم، وجود داشته باشد.

۲-۲-۵. جداکننده چربی^۱

در حدود سال ۱۸۰۰ میلادی ناتانیال وایتینگ^۲ از کالیفرنیا جداکننده گرانشی قدیمی که ابزاری شناخته شده برای به دام انداختن گریس است اختراع کرد. این وسیله امروزه به صورت تقریباً بدون تغییر به عنوان ابزاری برای جداسازی چربی^۳، روغن^۴ و گریس^۵ از فاضلاب باقی مانده است. با وجود این حقیقت که تکنولوژی فوق خوب کار می کند و تغییراتی کمی در طرح اولیه صورت گرفته ولی همچنان گریس یک مشکل در سراسر نقاط دنیاست.

هنگامی که گریس در جریان فاضلاب وارد می شود مشکلات متفاوتی رخ خواهد داد. زمانیکه که چربی، روغن و گریس به جریان فاضلاب وارد می شوند، به علت آلوده شدن به فلزات، مواد شیمیایی و بیماری زا به ندرت برای باز گشتن به چرخه مصرف مفید هستند. مخفف FOG در بسیاری از ماخذهای امروزی برای چربی، روغن و گریس به کار برده می شود زیرا در حال حاضر با افزایش استفاده از روغن های گیاهی و جایگزین های چربی، گریس شامل انواع بیشتری نسبت به ترکیبات چربی می شود.

^۱ Grease Interceptor

^۲ Nathaniel Whiting

^۳ fat

^۴ oil

^۵ grease مقصود از گریس در اینجا خانواده ایی از روغن هاست که اغلب شامل چربی حیوانی و گیاهی مورد استفاده در صنایع غذایی می شود

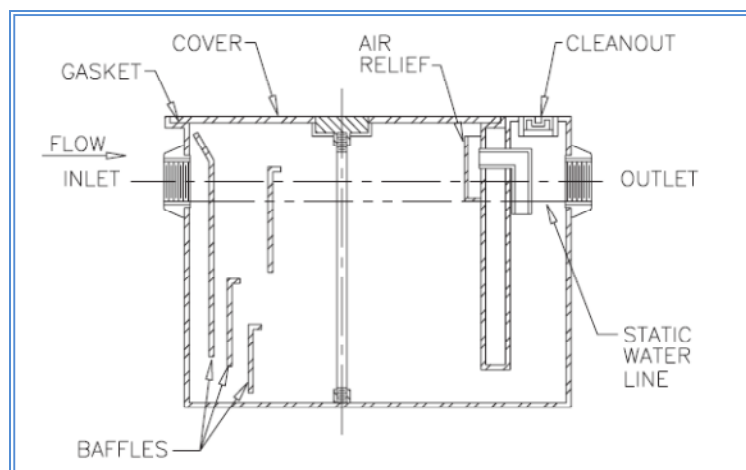
قبل از آنکه جریان وارد زهکش فاضلاب شود FOG می تواند در تولیدات مختلفی همچون صابون ها و وسایل آرایشی، کود شیمیایی؛ روغن چراغ، خوراک حیوانات و مهمات مورد استفاده قرار گیرد. قطع نظر از اتلاف یک کالای با ارزش، وقتی که FOG وارد فاضلاب می شود با بروز مشکلات اضافی، اتلاف سرمایه بزرگی بوجود خواهد آمد. گریس لوله ها را مسدود نموده و می تواند توده ایی را ایجاد نماید که در نتیجه آن انسداد بوجود آمده و موجب افزایش صرف زمان و هزینه ها در تاسیسات فاضلاب گردد. مشکلات به اندازه خاصی از سیستم ها و تاسیسات جمع آوری فاضلاب محدود نمی شود. سیستم های خصوصی از قبیل سیستم سپتیک از بین خواهند رفت و نیاز به تعمیرات سنگین یا جایگزینی با سیستمی بزرگتر را دارند. گریس عامل انسداد لوله های با قطر زیاد بوده و در حال حاضر در شهر هایی همچون شیکاگو میلیون ها دلار برای تعویض لوله هایی که قطر آنها به علت انسداد با گریس به چند اینچ رسیده هزینه می شود.

جداکننده چربی یا عوامل به دام اندازی آن، از گرانش و وزن مخصوص آب استفاده می نمایند. برای جدا نمودن آنها از آب، یک مخزن جداکننده که به FOG امکان بالا رفتن به سطح را می دهد ساخته می شود.

طراحی جداکننده

به دلیل وسعت محدوده مشکلات مربوط به FOG، تعداد زیادی از طرح های تولید و دستورالعمل ها وجود دارند. به همین دلیل به نظر می رسد برای هر شخصی بسیار مشکل باشد که کدام جداکننده برابر با طرح عمل خواهد نمود. در شکل ۲-۶ جداکننده چربی مرسوم نشان داده شده است.

از اوایل سالهای ۱۹۴۰ به بعد دولت ایالات متحده از طریق واحد مهندسی ارتش، و کمیته تحقیق انجمن کارخانجات تولید کننده لوله و اتصالات فاضلاب و سایرین یک سری کنفرانس ها برای توسعه یک برنامه آزمایشی جهت تولید روشی برای رتبه بندی جریان و گنجایش جداکننده های ساخته شده در آن زمان برگزار نمود.



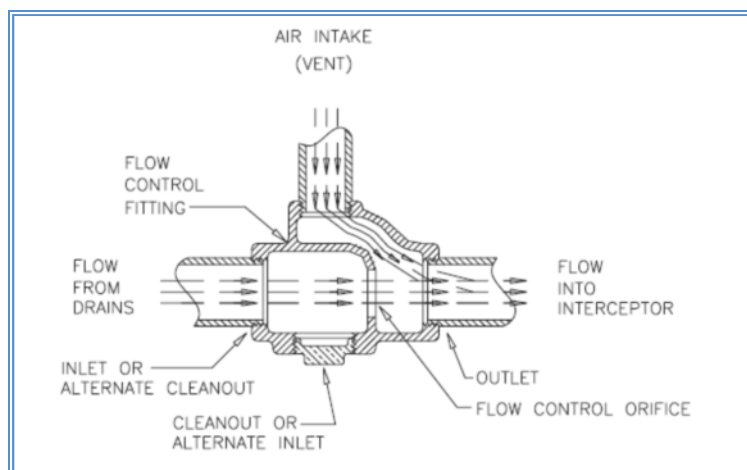
شکل ۲-۶. جداکننده چربی مرسوم

از تلاش های گروه های درگیر با این موضوع، و نتایج آزمایشگاهی جامع توسط واحد تحقیقات انیسیتو آیوا^۱ در دانشگاه ایالتی، استاندارد شناخته شده PDI-G101 تولید گردید. از آن زمان به بعد اولین ویرایش استاندارد PDI در سال ۱۹۴۹ به صورت گسترده به رسمیت شناخته شد، و شامل تست های اساسی و رتبه بندی های مورد نیاز مشخصات نظامی MIL-T-18361 می شد، و بعدها در برگیرنده استاندارد ASME منتشر شده با عنوان A112.14.3 بود، که در حال حاضر به عنوان دستورالعمل پایه برای جداکننده های چربی محسوب می شود.

تولیداتی که با استاندارد PDI-G101 کنترل کیفیت می شوند جداکننده هایی با ظرفیت ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ گالن هستند. جداکننده های تایید شده PDI جداسازی را به طور موثر با کمک جانمایی حساب شده دیوار آرام کننده داخلی به همراه یک ابزار کنترل جریان هوادهی شده از خارج^۲ انجام می دهند. با کمک اصول مکانیک سیالات، جداکننده های تایید شده PDI از مزیت ورود هوا در جریان ورودی با ابزار کنترل هوادهی جریان، جهت شتاب بخشیدن به جداسازی استفاده می نمایند. شکل ۲-۷ را ببینید.

^۱ Iowa

^۲ external vented flow control device

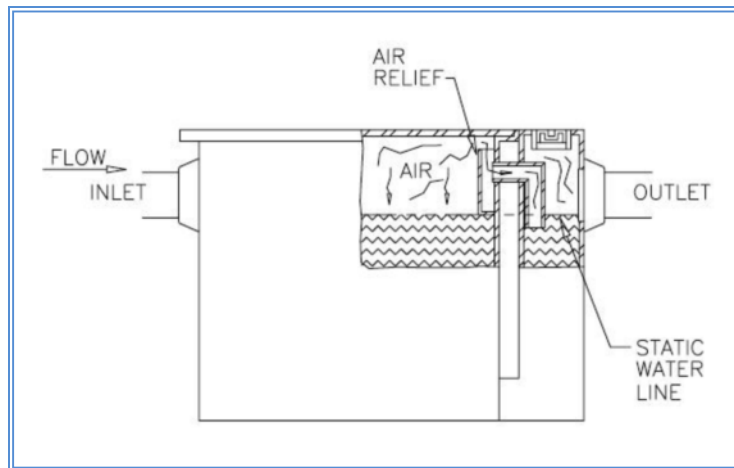


شکل ۷-۲. ابزار کنترل جریان هوادهی شده از خارج

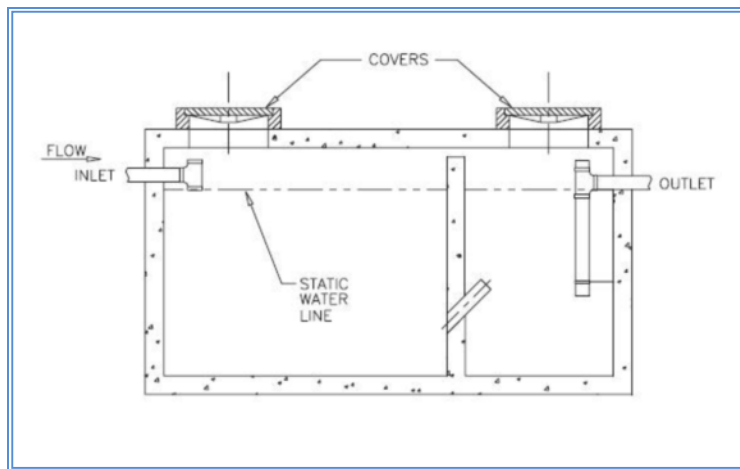
فاضلاب سنگین با عبور از میان ابزار کنترل هوادهی جریان به جداکننده مورد تایید PDI وارد می شود. ابزار کنترل جریان یک اریفیس داخلی دارد که جریان را به میزان دبی مجاز محدود می کند. وقتی جریان ورودی از اریفیس که بر اساس هد سیستم جمع آوری فاضلاب ساخته شده عبور می کند، هوا از طریق ونت (که عملاً یک ورودی هوای است) تزریق می شود. هوای وارد شده در جریان ورودی خواهد ماند تا زمانی که به داخل جداکننده چربی وارد می شود. به مجرد ورود به جداکننده، جریان ورودی به کمک یک سیستم آرام کننده به حوضچه جداسازی هدایت می شود. آرام کننده ها موجب طولانی شدن مسیر جریان شده و زمان جداسازی را افزایش می دهند در حالیکه محیطی بدون آشفستگی را برای وقوع جداسازی فراهم می آورند. هوای وارد شده به سرعت از جریان ورودی جدا می شود. به همین دلیل دو مورد روی می دهد. اولاً، خروج هوا به جداسازی FOG شتاب می دهد. چون ذرات به سمت سطح آب مخزن حرکت می کنند و حباب های هوای در حال بلند شدن گلوبول های FOG را به سطح آب می کشند. دوماً هوا آزاد می شود و سپس مقدار کوچکی فشار مثبت در بالای محتویات مخزن جداسازی برای تنظیم تراز آب هدایت شده در داخل جداکننده، تولید می شود.

تولید کنندگان زیادی روشی برای تنظیم فشار هوای داخلی جهت جلوگیری از پس زدن جریان در مخزن جداسازی و در پی آن پیش گیری از کاهش در ظرفیت و راندمان جداکننده فراهم نموده اند. شکل ۸-۲ را ببینید. علاوه بر این کدهای زیادی ملاحظات لازم برای جلوگیری از به دام افتادن هوا را دارند. در حالت خاص، جداکننده باید به گونه ای طراحی شده باشد که آنها در زمان استفاده از کاور نفوذ ناپذیر در برابر هوا دچار انسداد هوا نشوند.

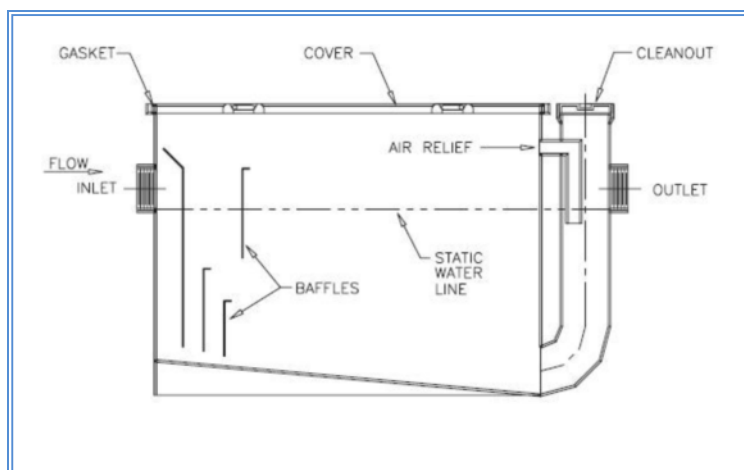
متأسفانه حتی امروزه با گذشت بیش از ۱۰۰ سال از زمان ثبت حق انحصار ناتانیال وایتینگ در مورد جداکننده های چربی با ظرفیت بالا، هیچ استانداردی وجود ندارد. شکل ۹-۲ و شکل ۱۰-۲ را ببینید.



شکل ۸-۲. جزئیات آرام کننده جریان هوای داخلی



شکل ۹-۲. جداکننده بتنی بزرگ مدفون



شکل ۲-۱۰. جداکننده فلزی بزرگ مدفون یا نصب در داخل

از آنجایی که جداکننده نصب شده در فضاهای خارجی باید با شرایط متفاوت به لحاظ نوع استفاده جداکننده مطابقت داشته باشد، ملاحظات طراحی متفاوت خواهند بود. هر شخص باید ابتدا زمان ماند را براساس حداکثر دبی مورد انتظار تعریف کند. این مورد از شهر به شهر و از ناحیه ایی به ناحیه دیگر متفاوت است. بنابراین باید تعیین زمان ماند بر اساس شرایط محلی صورت گیرد. در حال حاضر در موقعیت های معمول (در کدهای محلی) برای ظرفیت های حداقل، تعیین زمان ماند بر اساس دبی و فرمولهای تخمین مقدار آب مورد استفاده در هر غذاخوری، صورت می گیرد. نبود یکنواختی در ملاحظات تعیین ابعاد جداکننده های بزرگ نصب شده در بیرون نشان دهنده نبود اتفاق نظر در مورد کاراییشان است.

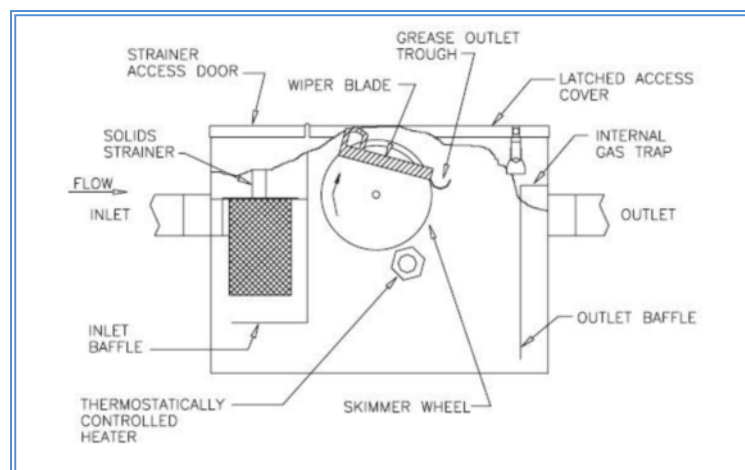
تلاش هایی در مسیر توسعه استاندارد متحد برای جداکننده های چربی نصب شده در بیرون وجود دارد اما برخلاف PDI-G101 یا ASME A112.14.3 که پایه خوبی از مدارک سنوات آزمایشی دارند نویسندگان آن استاندارد جدید باید از ابتدا شروع کنند.

زدودن FOG از جداکننده

روش های زدودن FOG از جداکننده به یک از دو شکل ذیل است:

کنترل زمانی

ابزار کنترل زمانی به شکل خاصی از یک دیسک یا تسمه ایی که از میان لایه FOG می گذرد و یک ابزار تمیزکننده برای تمیز کردن FOG جمع شده روی تسمه یا دیسک و ریختن به درون ظرف مورد نظر تشکیل شده است. سایر تجهیزات زدودن FOG شامل یک پمپ یا جریان گرانشی فعال شده بوسیله تایمر می شود. این ابزار معمولاً با یک تایمر ۲۴ ساعته تنظیم می شوند. تایمر، سیستم زدودن FOG را در زمان مشخص یا چند بار در روز به کار می اندازد. در شکل ۱۱-۲ نمونه ایی از این سیستم را می بینید.

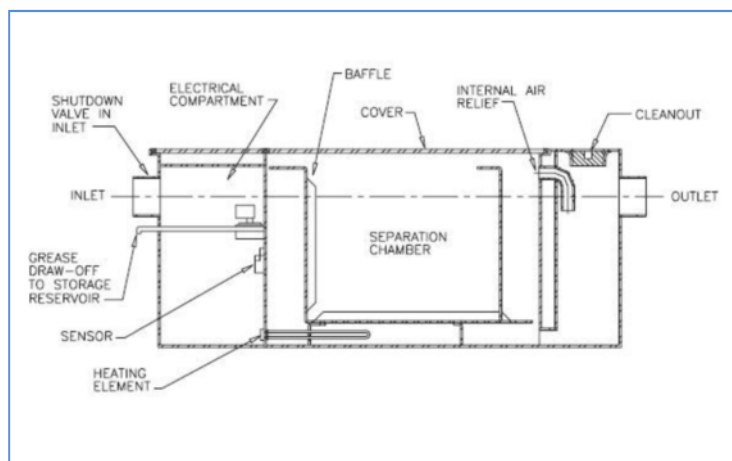


شکل ۱۱-۲. جداکننده با کنترل زمانی سیستم پاکسازی

کنترل سنسوری

ابزار کنترل سنسوری قابلیت احساس حضور FOG را دارد. با یافتن FOG و شروع عملیات زدودن در زمان لازم، همیشه FOG زیر ظرفیت اسمی سیستم نگه داشته می شود. سنسور، سیستم را با استفاده از شیر و نیروی گرانش یا پمپ مرتبط با ابزار زدودن FOG به کار می اندازد.

استاندارد A112.14.4 در ارتباط با سیستم زدودن FOG می باشد. در شکل ۱۲-۲ نمونه ایی از این سیستم را می بینید.



شکل ۲-۱۲. جداکننده با کنترل سنسوری سیستم پاکسازی

۳-۲. لزوم ارزیابی و بهبود راندمان جداکننده ها

۳-۲-۱. لزوم ارزیابی و بهبود راندمان جداکننده ها از دیدگاه این

تحقیق

در حال حاضر، شناخت معضلات محیط زیستی، عقد قوانین مرتبط در این زمینه را در سراسر جهان ایجاب می کند. بسیاری از صنایع فاضلاب آلوده به هیدروکربن ها یا نفت را تولید می کنند. منابع چنین آلودگی هایی شامل صنایع نفت و پتروشیمی، واحدهای بزرگ تعمیرات ماشین آلات سنگین، روغن زائد ماشین آلات خنک کننده، کارهای خدماتی، فاضلاب بخش بهداشت، کارواش ها، رواناب سطحی آلوده و موارد دیگر می باشد.

روغن تخلیه شده در محیط زیست دارای اثرات زیان آور است. تخلیه فاضلاب آلوده به روغن موجب افزایش پتانسیل آسیب به بخش سلامت گردیده و مانع از جذب اکسیژن مورد نیاز آبزیان در آب می شود. هدایت فاضلاب آلوده به روغن، به چاه های جذبی علاوه بر مسدود نمودن چشمه های چاه و نیاز

به حفر مجدد؛ به سفر های آب زیر زمینی صدمات جبران ناپذیری را وارد می نماید به طوریکه برداشت آب از این سفره ها بسته به ضریب هدایت هیدرولیکی خاک تا چندین متر و یا حتی چندین کیلومتر مقدور نیست.

اثرات مسمومیت روغن به دو شکل رخ می دهد.

اثرات ناشی از خفگی و پوشیدن حیوانات یا گیاهان . زمانیکه مقدار زیادی از روغن آزاد به شکل یک سرریز روغن در می آید، اثرات پوشیدن بسیار قابل توجه هستند. معمولا زمانیکه غلظت روغن در فاضلاب بخش های صنعتی در حد چند PPM باشد اثرات پوششی ظاهر نمی شوند.

پخش متابولیسمی گیاهی و جانوری . این پدیده ناشی از فرو بردن روغن و ترکیب آن در نسوج چربی موجودات زنده رخ می دهد. به طور کلی برخی ترکیبات سمی قابل حل در آب نیستند اما در روغن قابل حل می باشند لذا در پی فرو بردن روغن و ترکیب آن در نسوج چربی موجودات زنده موجبات پخش متابولیسمی مواد سمی فراهم می گردد .

در راستای کاهش اثرات زیان آور تخلیه فاضلاب آلوده به هیدروکربن ها یا نفت می توان با ارزیابی و بهبود راندمان جداکننده های گرانشی و استفاده از روش های تکمیلی، از میزان هیدروکربن ها یا نفت موجود در فاضلاب صنایع مختلف جلوگیری به عمل آورد.

۲-۳-۲. لزوم ارزیابی و بهبود راندمان جداکننده ها از دیدگاه کارهای

قبلی

جداکننده های سیلندری افقی مرسوم از ته نشینی گرانشی برای جداسازی بیش از چهار فاز (گاز، نفت، آب و جامدات همراه) از جریان چاه نفت استفاده می کند. آنها به طور کلی یک بخش منفرد بزرگ در تجهیزات فراوری در تاسیسات استخراج هستند [Wilkinson 2000].

جداسازی موثر نفت از سیال تولید شده (آب، رسوبات و نمک) کار صنعتی چالش برانگیز در صنایع نفت است. روش های جداسازی آب-نفت زیادی به علت هزینه های بالای عملیاتی و سرمایه گذاری، راندمان جداسازی پایین و فرایند کند جداسازی یعنی زمان ماند طولانی سیال کاربردهای نسبتاً محدودی داشته اند. امولوسیون های نوع نفت در آب که بسهولت در تولید نفت خام شکل می گیرند، مشکلاتی در مراحل مختلف پایین دستی تولید موجب می شوند. خردگی لوله ها، پمپ ها تجهیزات فراوری به علاوه بی اثر کردن کاتالیزور ها، همگی نتیجه حضور قطرات آب هستند. بنابراین فازها معمولاً قبل از آنکه آنها به فواصل دور منتقل شوند جدا می شوند. مرحله اولیه این فرایند جداسازی به صورت مرسوم بوسیله مخازن ته نشینی گرانشی استوانه ایی افقی بزرگ انجام می شود. کاهش اندازه جداکننده ها بدون اتلاف کارایی جداسازی، هزینه سرمایه گذاری و مقدار موجودی هیدروکربن را کاهش می دهد، بنابراین هم ایمنی عملیاتی و هم بازده اقتصادی ارتقا می یابد [Behin 2008].

طراحی جداکننده ها تاکنون تماماً بر اساس نتایج طراحی API بوده اند. کد طراحی API روش طراحی موجود برای جداسازی مشتقات نفتی از آب و بر اساس آزمایش و تجربه است و به پدیده های مرکب که در جداکننده اتفاق می افتد توجهی ندارد. قوانین API مورد تایید هستند اما همه تاثیرات جریان غیر ایده آل ناشی از ورودی و خروجی و تجهیزات داخلی مورد استفاده برای افزایش راندمان جداسازی در نظر گرفته نشده اند. بنابراین ضریب های اطمینان قابل توجه باید در طراحی مورد استفاده باشند. هنگامی که محدودیت هایی به لحاظ وزن و سطح اشغال در تاسیسات دور از ساحل یا در کاربری های زیر دریا وجود دارد، اندازه مخزن باید تا حد امکان کوچک باشد. کاهش اندازه جداکننده ها بدون کاهش راندمان جداسازی هزینه سرمایه گذاری و حجم ذخایر هیدرولیکی را

کاهش خواهد داد. بدین ترتیب ایمنی عملکرد و هم کارایی اقتصادی ارتقا می یابد. بنابراین روشهای طراحی بسیار دقیق مورد نیاز هستند. ابزارهای طراحی بسیار دقیق شامل ساخت و بررسی نمونه ها آزمایشگاهی و دینامیک سیالات محاسباتی است [Hallanger 1996].

نمونه های آزمایشگاهی ساخته شده هم زمانبر و هم پرهزینه هستند. حتی اگر این کار انجام شود، نمونه های آزمایشگاهی اطلاعات محدودی را برای اینکه چرا یک طرح خاص کار می کند یا نه می دهد. به عنوان نتیجه، نتایجی ممکن است بدست آید که شفاف نیستند و اغلب منجر به طرح فراتر از نیاز می شوند [Abdulkadir 2010].

همچنین جداسازی که یک مولفه از فاز تولید است، چالش متمایزی را در سکو های شناور به علت حرکت امواج اجتناب ناپذیر دریا مطرح می کند. این حرکت امواج یعنی چرخش، بالا آمدن، حرکت راست و چپ، این سو و آن سو، موج بلند و غلتنده حتی در شرایط آب و هوایی آرام وجود دارند. آنها موجب بروز اثر اختلاط طبیعی نفت، آب و گاز می گردند که به موجب آن افزایش زمان جداسازی مخلوط را خواهیم داشت. در کد طراحی API پاسخی به چینی چالش هایی داده نشده است. تقریبی که می تواند حلی را برای مشکل گفته شده فراهم نماید دینامیک سیالات محاسباتی CFD است [Abdulkadir 2010].

سیستم جریان درون جداکننده همه خصوصیات جریان چند فازی در محیط متخلخل را داراست. نیروهای لزجت، گرانش و موئینگی رفتار جریان را دیکته می کنند. اختلاف دانسیته بین آب و نفت بسیار زیاد و در عین حال نسبت لزجت به شکل قابل توجهی بزرگ است. پایداری زیاد کف و امولوسیون، بزرگترین چالش های جداسازی است. همه این عوامل مشکلات انتخاب ابزار و متد مناسب برای طرح ورودی بهینه و موثر جداکننده است. انتظار می رود که بسیاری از میداین جدید کشف شده در آینده به علت مقادیر زیاد ترکیبات سنگین، مانند آسفالتها ورزین ها، مشکلات زیادی با راندمان جداکننده ها داشته باشند [Holdo 2006].

اندازه جداکننده باید چندین معیار برای عملکرد خوب در حین عمر کاری میدان نفتی را فراهم نماید. این معیارها عبارتند از اینکه جداکننده باید زمان کافی برای جداسازی و برای پیوستگی موثر قطرات و شکستن امولسیون را فراهم آورد. علاوه بر این باید حجم کافی در قسمت گاز برای سازگاری با تغییرات در تراز و حجم را داشته باشد تا امکان تغییر در نرخ جریان را بدهند. اگر جریان مسیر کوتاه چرخش^۱، حجم بدون حرکت یا ترکیب جریان در مخزن جداکننده را نشان دهد راندمان طرح کاهش می یابد [Holdo 2006].

تا کنون، طرح مهندسی جداکننده دو و سه فازی به نظر می رسد که به بلوغ رسیده است اما نیاز به سیستم های جداسازی برای عملیات در محیط های سخت همچون سکوهای شناور موجب تقاضا برای طرح های مخزن بهسازی شده که نیاز به زمان های ماند سیال کمتر و جداسازی موثرتر دارد، شده است، حتی زمانیکه سیالات در شش درجه حرکت (برآمدگی، غلتیدن، بلندشدن، موج، انحراف، تاب خوردن) تجربه شده بوسیله سکوهای نفتی تکان می خورند [Frankiewicz 2002].

متد طراحی بر اساس الزامات زمان ماند یا تئوری ته نشینی به همراه اندازه قطره^۲ کلاً رضایت بخش نیستند زیرا آنها مشخصات هدف اولیه و به طور مختصر کیفیت جریان خروجی را نشان نمی دهند [Arnold 1986].

به طور مکرر مشاهده می شود که سرعت ته نشینی در جداکننده جریان، از قانون استوکس منحرف می شود [Barnea 1973]. چندین دلیل برای این امر وجود دارد. جریان کاملاً لامینار نیست و درآگ مایع محاطی سرعت ته نشینی را تغییر خواهد داد. اگر لزجت قطرات آب بالاست، ته نشینی به تعویق افتاده و سرعت ته نشینی کاهش می یابد. برخورد بین قطرات موجب پیوستگی خواهد شد که قطر قطره و در نهایت نرخ ته نشینی را تغییر خواهد داد [Rich 1961, Jeelani 1986].

^۱ short-circuit

^۲ drop cut-size

روش سیلاب زنی ASP و مشکلات آن

در استخراج نفت خام؛ آب می تواند به درون لایه های میدان نفتی تزریق شود تا نفت خام از زمین استخراج گردد که اغلب به اصطلاح فرایند سیلاب زنی با آب^۱ یا استخراج نفت دوم خوانده می شود. میزان نفت پس از استخراج نفت دوم که برای برخی موارد به کار گرفته می شود کاهش می یابد. به جهت بهبود استخراج نفت، سیلاب زنی پلیمر (تزریق آب محتوی پلیمر) و سیلاب زنی پلیمر-مواد فعال در سطح-قلیا (تزریق آب محتوی قلایا، مواد فعال در سطح و پلیمر) متعاقباً مورد استفاده خواهد بود که اغلب استخراج نفت سوم خوانده می شود. تجارب صنعتی نشان داد که سیلاب زنی پلیمر می تواند استخراج نفت را تا ۱۲٪ ارتقا دهد و نقش کلیدی در استخراج نفت بازی کند [Han 1999, wang 1998].

مایع فراورده پس از فرایند آب زدایی با استفاده از جداکننده سه فازی به آب تولید شده (پسماند نفتی) تبدیل می شود. آب تولید شده به عملیات بعدی برای زدودن نفت نیاز دارد و جریان خروجی سپس می تواند دوباره به لایه های میدان نفتی برای استفاده مجدد تزریق شود [Dreher 1985, Mohammand 1992, Taylor 1998, Wang 1997].

در حالیکه مطالعات فراوانی روی خصوصیات آب-نفت جهت بهبود جداسازی آب-نفت صورت گرفته بود، تیلور و نصر ال دین [Taylor 1996] اثر مواد فعال در سطح ترکیبی^۲ روی خصوصیات بین وجهی سیستم نفت خام/پلیمر/قلیا را آزمایش کردند. خادم و سربار [Khadim 1999] نقش آسفالتین و رزین در امولوسیون های میدان نفتی را بررسی کردند و یافتند که آنها همیشه بر پایداری امولوسیون تاثیر دارند. ندجیوری و همکارانش [Nedjhioui 2005] برخی تحقیقات روی آثار ترکیبی پلیمر/مواد فعال

^۱ water flooding process

^۲ synthetic surfactants

در سطح/قلیا روی خصوصیات شیمیایی فیزیکی را انجام دادند. آنها یافتند که به طور کلی مواد فعال در سطح بر کشش بین وجهی سیستم آب-نفت تاثیر گذارند [Zhang 2007].

این سالها، تکنولوژی های جداسازی آب-نفت متفاوت برای بهبود راندمان جداسازی فرآورده های سیلاب زنی ASP مور مطالعه هستند. ویلکینسون و همکارانش [Wilkinson 2000] اصلاحات اجزای داخلی جداکننده آب-نفت بوسیله شبیه سازی عددی را مطالعه کردند. آنها یافتند که جریان مخلوط فاز آب و نفت با حضور آرام کننده سوراخ دار بهبود می یابد. دنگ و همکارانش [Deng 2002] جداکننده آب-نفت با جریان عرضی جدیدی را ساختند. بخش منعقد کننده پیوستگی قطرات نفت کوچکتر را شتاب می دهد و بخش جداسازی زمان بلند شدن قطرات نفت را کوچکتر می کند. آزمایشات در محل آنها نشان داد که جداکننده به صورت موفقیت آمیزی روی آب تولید شده از سیلاب زنی پلیمر عمل می کند [Zhang 2007].

سیلاب زنی ASP به طور گسترده ای در میدان نفتی داکینگ در چین برای چندین سال مورد استفاده بود. در هر حال، فرآورده های تولید شده از سیلاب زنی ASP محتویات آب بیشتری دارد و اخیرا به شدت امولوسیونی هستند. اندازه کوچک قطرات نفت و مقدار زیاد مواد جامد موجود در مایعات تولید شده از سیلاب زنی ASP را جداسازی را خیلی مشکل می سازد [Zhang 2007].

تکنولوژی های مرسوم (به عنوان مثال ته نشینی گرانشی [Kenawy 1997] و شناورسازی [Thoma 1999] و امولوسیون شکن ها [Lee 2000, Janiyani 1994, Nurxat 1999] و جداسازی غشایی [Cheryan 1998, Kong 1999, Bilstad 1996, Karakulski 1995, Scholzy 2000, Lipp 1988,] [Visvanathan 2000] و بیوتکنولوژی [Palmer 1981]) قادر به رسیدن به الزامات برای عملیات روی آب تولید شده در این میدان نفتی نیستند. بنابراین ایجاد تکنولوژی موثر برای عملیات بر روی پسماند سیلاب زنی پلیمر ضروری است.

۲-۴. مروری بر کارهای گذشته

۲-۴-۱. تحقیقات در قالب CFD

هالانگر و همکارانش [Hallanger 1996] مدل CFD جداکننده گرانشی سه فازی را تولید نمودند. در این تحقیق اصول ریاضی مدل دوسیالی به مدل سه فازی تبدیل شد. مقادیر محلی کسر حجمی برای یک فاز پیوسته و دو فاز پراکنده در هر حجم کنترل محاسبه گردیدند. بدین معنی که تحقیقات به صورت جریان سه فازی بود. فازها تراکم ناپذیر و هم دما در نظر گرفته شدند. آنها جهت شبیه سازی از مدل MIXTURE برای قطرات آب پراکنده در نفت استفاده کردند. قطرات به کلاسهای با قطرهای مختلف تقسیم گردیدند، و معادله پیوستگی برای هر کلاس به همراه معادله مومنتوم برای فاز مخلوط^۱ حل شد. آشفتگی با کمک مدل آشفتگی $k-\epsilon$ در محاسبات لحاظ گردید. مدل برای جداکننده یک مرحله ایی با طرح ورودی قائم و دیواره آرام کننده داخلی برای مقاوم کردن جریان در برابر میدان norwegian Oseberg به کار گرفته شد و اندازه گیری های میدانی عبور آب در تراز های فصل مشترک متفاوت در مخزن تولید گردید. آنها در نهایت مطابقت بین مقادیر اندازه گیری و محاسبه شده به روش عددی را خوب گزارش کردند.

درک ویلکینسون و همکارانش [Wilkinson 2000] جریان تک فازی در جداکننده افقی گرانشی دو بعدی تولید شده از جداکننده سیلندری محوری افقی بزرگ (۲۶ متر طول و ۴,۳ متر قطر) به کار گرفته شده در تاسیسات نفتی آلبا در میدان نفتی دریای شمالی انگلستان را مدل نمودند. در این تحقیق به جهت بررسی میزان راندمان جداسازی انحراف معیار از سرعت متوسط در محل های

^۱ mixture phase

مشخصی مورد توجه قرار گرفت. فرض بر آن بود که کاهش در انحراف معیار از سرعت متوسط افزایش راندمان را به دنبال خواهد داشت زیرا کاهش انحراف معیار از سرعت متوسط به معنی کاهش جریان مایع غیر یکنواخت^۱ از میان مقطع عرضی جداکننده به همراه نواحی قابل توجه چرخش مجدد است. در شبیه سازی از مدل آشفته $k-\varepsilon$ استفاده شد. اتصالات داخلی برای ارتقای یکنواختی جریان بررسی شدند. یک ورق سوراخ دار در عرض جریان، نزدیک به ورودی یکنواختی سرعت محوری عبوری از پایین دست دیوار آرام کننده مقطع عرضی جداکننده را افزایش می داد. دیواره آرام کننده با سطح آزاد ۱۰٪ یکنواختی بهتر جریان عبوری از مقطع عرضی در مقایسه با آرام کننده های دارای ۵، ۱۵ و ۲۰٪ سطح آزاد را تولید می نمود. برای کسر سطح آزاد ثابت، اندازه روزنه آرام کننده به تنهایی تاثیر کمی بر توزیع جریان داشت حتی اگر اندازه حفره به طور مناسبی برای پوشش هر دو نوع جریان آرام و آشفته در سراسر حفره متغیر باشد. دو آرام کننده اندکی بیشتر یکنواختی جریان را بهبود می داد اما تنها زمانی که آرام کننده ها با فاصله بسیار نزدیکی از یکدیگر قرار گیرند. اندازه گیری های جریان با کسر حجمی ۲۰٪ نفت در آب نشان می داد که جریان این دو فاز مختلط به طور مشابهی با حضور پلیت سوراخ دار بهبود می یابد. آنها در نهایت گزارش دادند که نتایج حاصل از شبیه سازی عددی جریان تک فازی تطابق کامل با نتایج آزمایشگاهی ندارند ولی در عین حال وجود یک نقطه ماکسیمم را در میزان راندمان جداکننده در بررسی تغییرات میزان گشودگی صفحات سوراخدار به اثبات می رسانند.

هلدو و همکارانش [Holdo 2006] مدلسازی جریان دو فازی در کاربری های صنعتی را انجام دادند. در این تحقیق مدل جداکننده آب-نفت گرانشی توسط الگوریتم لغزش بین فازی (IPSA) در نرم افزار فونیکس تولید شد. در هر کاربری صنعتی زمان همیشه بسیار مهم است و در جائیکه اطلاعات خیلی کم است پیشبینی های واقع گرایانه و بهنگام ضروری هستند. این تحقیق قابلیت CFD را به عنوان

^۱ non-uniform liquid flow

ابزار طراحی نشان می دهد. پرواضح است که اگرچه مدل های ریاضی عمومی برای مدل سازی دو فاز متفاوت در دسترس هستند با این حال اطلاعات به ویژه برای دراگ بین وجهی، انتقال حرارت و جرم مورد نیاز است. در هر حال حل های بدست آمده بینش سودمندی از پدیده های جریان که در درون جداکننده روی می دهد را فراهم می نماید. اطلاعات برای اختصاص ابعاد مناسب و موقعیت ورودی و خروجی جداکننده می تواند مورد استفاده قرار بگیرد.

فرانکی وایسز و همکارانش [Frankiewicz 2002] استفاده از شبیه سازی دینامیک سیالات محاسباتی برای مدل کردن حرکت سیال در مخزن فرایندی روی سکو های شناور و ثابت را مورد بررسی قرار دادند. تاثیر ترکیب نازل ورودی، توزیع جریان، پلیت های سوراخ دار و نازل های خروج بررسی شد. از موارد ارزشمند خاص در این تحقیق، توانایی شبیه سازی موج القا کننده حرکت نامنظم^۱ در مخازن قرار گرفته بر روی سکوه های شناور بوده است. طرح و جانمایی دیواره ها برای آرام کردن حرکت نامنظم مایع با استفاده از CFD تخمین زده شد تا جریان های سیال در مخازن به کار گرفته شده در سکوه های شناور شبیه سازی شوند. شبیه سازی ها برای جابه جایی مخزن بر اساس وضعیت واقعی بر روی سکو و شناسایی کردن تاثیر فرایند جریان های سیال بر حرکت نامنظم صورت گرفتند. در نهایت هر جا ممکن بود، نمونه آزمایشگاهی برای تامین اعتبار نتایج شبیه سازی CFD در جهت افزایش اعتبار در مدل های ریاضی مورد استفاده قرار گرفت.

عبدالقدیر^۲ و همکارانش [Abdulkadir 2010] تاثیر سرعت و قطر قطرات مخلوط در جداکننده آب نفت با استفاده از دینامیک سیالات محاسباتی را مورد بررسی قرار دادند. مشخصات جریان سیال و جداسازی در جداکننده آب-نفت به صورت عددی به عنوان بخشی از کار ارائه شده در این تحقیق تحلیل شد. آنها شبیه سازی را برای سرعت ها و قطر قطرات متفاوت انجام دادند و راهی را که این

^۱ sloshing

^۲ Abdulkadir

پارامترها می‌تواند بر هندسه جداکننده تاثیر گذارد مطالعه کردند. شبیه سازی عددی در این کار با استفاده از پکیج نرم افزار FLUENT 6.2 که برای شبیه سازی عددی جریان سیال و انتقال جرم طراحی شده است، انجام شد. مدل شامل جداکننده افقی استوانه ایی بود. مش چهار وجهی در میدان محاسباتی به کارگرفته شد. شرایط جریان دوفازی با مدل دوسیالی و با در نظر گرفتن اثر آشفتگی با استفاده از مدل $k-\varepsilon$ شبیه سازی شد. نتایج این مطالعه نشان داد وابستگی شدیدی بین جداسازی از یک سو و سرعت و قطر قطرات مخلوط از سویی دیگر برقرار است. افزایش سرعت مخلوط موجب تاخیر در جداسازی و در نتیجه سرریز با ارتفاع بیشتر می‌شود. افزایش قطر قطرات، جداسازی بهتر را تولید می‌نماید. شبیه سازی عددی با نتایج آزمایشگاهی گزارش شده در مقاله مطابق است و نشان می‌دهد که CFD می‌تواند ابزار مفیدی در مطالعه جداکننده آب-نفت افقی باشد.

مرکز تحقیقات محیط زیستی آب در ایالات متحده [Ducoste 2008] با اتکا بر دینامیک سیالات محاسباتی و تحقیقات آزمایشگاهی و میدانی، ارزیابی کارایی جداکننده چربی را انجام داد. چربی، روغن و گریس (FOG) روزانه توسط فعالیت های شستشو و آماده سازی غذا در کارگاه های تجاری و در مقیاس کوچکتر توسط مصارف خانگی تولید می‌شود. مواد FOG جمع شده در سیستم های جمع آوری فاضلاب بهداشتی موجب کاهش ظرفیت بهره برداری می‌شوند که ممکن است سرریز شدن فاضلاب بهداشتی را در پی داشته باشد. کنترل انسداد FOG برای به دام انداختن و نگه داشتن مواد فوگ قبل از تخلیه به سیستم فاضلاب به کمک جداکننده چربی ممکن می‌شود. مطالعات علمی محدودی بر ارزیابی کارایی این تجهیزات معطوف بوده اند. شبیه سازی عددی به کمک دینامیک سیالات محاسباتی شامل جریان چندفازی و سه بعدی جداکننده چربی برای ارزیابی تغییرات طرح و شرایط نگهداری و عملکرد در زدودن FOG از جریان فاضلاب خدمات بخش مواد غذایی می‌شود. نتایج آزمایشات انجام شده روی جداکننده چربی برای تامین اعتبار نتایج مدل عددی به کار گرفته

شدند. در این تحقیق جهت شبیه سازی عددی از مدل آشفتگی $k-\epsilon$ و مدل چند فازی لغزش جبری^۱ استفاده شد. نتایج شبیه سازی از تطابق مناسبی با نتایج آزمایشگاهی برخوردار بودند.

۲-۴-۲. تحقیقات در قالب کار آزمایشگاهی

هافسکجولد و همکارانش [Hafskjold 1994] تحلیلی بر کارایی دو جداکننده آب/نفت را ارائه نمودند. در این مقاله تحلیلی بر یک مدل آزمایشگاهی با استفاده از سیستم آب/نفت خالص و یک جداکننده آزمایشی از یکی از میادین دریایی آسیای میانه صورت گرفت. در هر دو حالت، قابلیت جداکننده برای تولید نفت خالص یعنی غلظت آب در خروجی نفت را مورد توجه قرار دادند. تحلیل دو جداکننده بر اساس اندازه گیری کیفیت نفت خروجی، میزان آب ورودی^۲، دبی آب و نفت، نرخ سرریز، و زمان ماند بود. برای جداکننده مدل، آزمایشاتی را با مدل آزمایشگاهی دقیقی جهت ارتباط کارایی جداکننده به اندازه گیری های آزمایشگاهی مناسب انجام دادند. رابطه ای با یک مدل ریاضی و یک کد کامپیوتری متناسب ساخته شده بود که برای پیش بینی راندمان جداکننده بر اساس اطلاعات مدل آزمایشگاهی و برای بیان اطلاعات کارایی هر دو جداکننده در قالب پارامتری استفاده می شد. دریافتیم که نرخ پیوستگی قطره و نرخ جداسازی آب/نفت توابع بسیار غیر خطی از زمان بوده، به این معنی که پیوستگی یک مکانیزم جداسازی مهم در هر دو جداکننده بود. این موضوع بیان می کند که جداکننده به تغییر در نرخ های جریان و ضخامت لایه نفت حساس است. همچنین آنها اظهار نمودند که زمان ماند، پارامتر طراحی بحرانی برای هر دو جداکننده است، در حالیکه مشخص شد نرخ سرریز کم

^۱ Algebraic Slip Model

^۲ inlet water cut

اهمیت است. به علت اهمیت پیوستگی، افزایش در میزان آب ورودی موجب بهبود راندمان جداکننده و در واقع، تولید نفت با آب کم می شود.

فین بورد و همکارانش [Finborud 1999] روش های جدید بهبود رشد قطره نفت برای ارتقا جداسازی را بررسی نمودند. در این تحقیق گزارش شده است که کیفیت آب تولیدی تابعی از شرایط مخزن، خواص شیمیایی سیال و فرایندهای بالادستی است. توزیع اندازه قطره کوچک نفت در آب تولیدی اساساً تحت تاثیر افت فشار شیر کنترل^۱ که موجب اثرات برشی می شود قرار دارد در نتیجه قطره به اندازه کوچکتر می شکند و علاوه بر آن قابلیت قطرات نفت در پیوستگی به قطره بزرگتر کاهش می یابد. عوامل موثر بر جلوگیری از به هم پیوستگی قطرات شامل شارژ الکتریکی منفی قطرات، پایداری ناشی از حضور مواد فعال در سطح و پایداری وابسته به نحوه قرار گیری اجزای نامی از صافی ها می شود. بر اساس قانون استوکس قطرات بزرگتر راحت تر جدا می شوند. هیدروفلوک^۲، فرایند پیشرفته جدیدی برای پیش عملیات روی آب تولیدی به جهت بهبود قابلیت جداسازی است. در این فرایند قطرات نفت تحت عملیات ترکیبی مکانیکی و شیمیایی قرار می گیرد تا به پیوستگی شتاب دهند و قطره و توده بزرگتر قابل جداسازی شکل گیرد.

واحد مهندسی ارتش امریکا [Gerdes 2000] طراحی منعقد کننده های جداکننده آب/نفت را برای کارواش های ارتش با روش های آزمایشگاهی مورد مطالعه قرار داد. منعقد کننده ها اشکال متفاوتی از پلیت های موازی منظم ساده تا شبکه های لانه زنبوری دارند. هدف تولید جریان غیر آرام است تا احتمال تصادم و پیوستن قطرات افزایش یابد. قانون استوکس به طور معمول برای مدل کردن جداسازی نفت از آب استفاده می شود. بر اساس قانون استوکس با افزایش در میزان قطر قطرات نفت بر سرعت بلندشدگی و یا سرعت تفاضلی فازها افزوده شده و در پی آن راندمان جداسازی افزایش می

^۱ choke valve

^۲ Hydroflok

یابد. هدف کلی این تحقیق تخمین تاثیرات ناشی از حضور ترکیبات متفاوت منعقد کننده بر فاضلاب شبیه سازی شده از فاضلاب ارتش بود. در نهایت مشخص شد بسته پلیت های منعقد کننده با زاویه ۶۰ درجه بیشترین راندمان جداسازی را تولید خواهد نمود.

شوبو و همکارنش [Deng 2002] مشخصات و شیوه عملکرد جداکننده آب-نفت جدید با جریان عرضی را برای تحت عملیات قرار دادن آب تولید شده از فرایند سیلاب زنی پلیمر^۱ در استخراج نفت خام مورد بررسی قرار دادند. آب تولید شده از سیلاب زنی پلیمر برای تحت عملیات قرار دادن نسبت به آب تولید شده از سیلاب زنی با آب در بسیاری از میداین نفتی بسیار دشوارتر است. آزمایشات شبیه سازی شده نشان داد که اندازه های اولیه کوچک قطرات نفت دلیل اصلی دشواری عملیات روی آب تولید شده از فرایند سیلاب زنی پلیمر است. حضور پلیمر؛ لزجت پسماند و مقاومت لایه نازک آب را افزایش می دهد. در این تحقیق بهبود پیوستگی قطرات نفت و کوتاه نمودن زمان بلند شدگی قطرات نفت، فاکتورهای بحرانی موثر بر عملیات روی آب تولید شده بودند. جداکننده آب-نفت جریان عرضی جدید با بخش های پیوستگی و جداسازی مورد استفاده قرار گرفت. بخش پیوستگی، پیوستگی قطرات نفت کوچک را شتاب داده و بخش جداسازی زمان بلند شدن قطرات نفت را کوتاه می نماید. در نهایت آزمایشات در محل نشان داد که جداکننده با موفقیت با آب تولید شده از سیلاب زنی پلیمر مواجه می شود. زمانیکه غلظت پلیمر کمتر از ۴۱۰ میلی گرم بر لیتر باشد، کیفیت آب تحت عمل پس از جداکننده می تواند الزامات آب برای فرایند های فیلتراسیون بعدی را برآورده نماید.

ژنگ و همکارانش [Zhang 2007] طرح بهینه جداکننده آب-نفت جدید برای نفت خام تولید شده از سیلاب زنی ASP را مورد بررسی قرار دادند. استحصال نفت به طور کلی می تواند با تکنولوژی سیلاب زنی ASP (قلیایی/مواد فعال در سطح/پلیمر) با افزودن راندمان جارو کشی و جابه جایی ارتقا یابد. اما امولوسیون سازی رسوبات شیمیایی در نفت احیا شده از سیلاب زنی ASP، جداسازی آب از نفت را

^۱ polymer flooding

بسیار مشکل می سازد. برای ساختن جداکننده آب-نفت در فراورده ASP حصول استاندارد های تخلیه بسیار مشکل است، لذا برخی اصلاحات در جداکننده آب-نفت معمول لازم است صورت گیرد. بر اساس خصوصیات فیزیکی فراورده های ASP در میدان نفتی داکینگ^۱، بسته های جدید و طرح های جدید جداکننده آب-نفت خام در این تحقیق مورد مطالعه قرار گرفتند. آزمایشات برای بهینه سازی طرح جداکننده جدید، شامل سازه و مواد بسته های منعقد کننده^۲ و به همان اندازه شرایط بهره برداری انجام شد. در نهایت گزارش شد که نتایج آزمایشگاهی اشاره می کنند که راندمان جداسازی جداکننده نوع جدید بیشتر از ۹۸٪ است. هر دو فاز نفت خروجی و فاز آب باید استاندارد مربوطه را کسب نمایند بر این اساس غلظت نفت در آب تخلیه شده تا ۶۰۰ میلی گرم بر لیتر و متوسط اندازه قطره حدود ۶ میکرو متر کاهش می یابد. به راحتی می توان نتیجه گرفت که جداکننده نوع جدید عملکرد بهتری برای جداسازی آب-نفت در فراورده های ASP دارد. در انتهای این تحقیق، توزیع اندازه ذرات (DSD) در آب خروجی برای فراهم نمودن داده های مورد نیاز عملیات روی فاضلاب پس از جدا نمودن آب-نفت خام تحلیل شده است.

۲-۴-۳. تحقیقات در قالب روابط تئوریک

آتالا و همکارانش [Atalla] مدلسازی و بازرسی جداکننده های گرانشی سه فازی در تاسیسات تولید نفت را به کمک مدل ریاضی توسعه یافته انجام دادند. در این تحقیق مدل سازی ریاضی حرکت سیال برای رسیدن به اهداف طرح، کنترل و بهینه سازی چنین تاسیساتی انجام شد. تمرکز این کار روی جداکننده های سه فازی که در آن حرکت هر فاز مدل شده است بود. با فرض برخی فرضیات ساده

^۱ Daqing Oilfield

^۲ coalescent packing

سازی، رفتارهای حرکت فاز گاز و نفت با فرض تعادل فاز مایع-بخار در سطح نفت مدل شد. جهت تایید اعتبار مدل ریاضی توسعه یافته، شبیه سازی آزمایشگاهی تاسیسات نفتی طراحی شده و مدل شبیه سازی شده شامل جداکننده دوفازی که پس از آن جداکننده سه فازی قرار دارد بود. در انتها مشخص شد که نتایج شبیه سازی مدل ریاضی پیچیدگی مدل را با وجود سادگی نشان می دهد.

سیمونز و همکارانش [Simmons 2004] توزیع زمان ماند و رفتار جریان در جداکننده های آب-نفت خام برای سیالات سر چاه نفت را مورد بررسی قرار دادند. این تحقیق کاربردهای مدل مسیر جایگزین^۱ توسعه یافته توسط سیمونز و همکارانش را در سال ۲۰۰۲ شرح می دهد تا توصیف کمی را از هیدرودینامیک و اختلاط در مخازن ارائه دهد. پارامترهای توسعه یافته ایی از مدل برای توصیف درجه اختلاط درون مخزن مورد استفاده اند. مدل نشان داد که کارایی مخزن تحت تاثیر اتصالات داخلی (دیواره های صاف کننده جریان و صفحات جداسازی) و عمل جداسازی اولیه (گاز-مایع یا آب-نفت) قرار دارد. حضور دیواره آرام کننده کاهش آشفتگی جریان را برای جداسازی آب-نفت نشان داد، اما برای جداسازی گاز-نفت اثر اضافی در افزایش میزان اختلاط وجود داشت که شاید به علت شناوری بلندشدگی سریع حباب های گاز است. حضور نقطه اوج دوم در برخی از توزیع های زمان ماند اندازه گیری شده، حضور جریان های دوم در قسمت اصلی جداکننده را نشان می داد. این موضوع به خصوص زمانیکه سرعت تفاضلی بین فاز های آب و نفت بالا بود قابل توجه است.

بهین و همکارانش [Behin 2008] تاثیر تراز آب در جداسازی آب-نفت را بوسیله بررسی منحنی توزیع زمان ماند مطالعه نمودند. در این کار رفتار جریان نفت خام و آب در یک جداکننده آب-نفت با مقیاس آزمایشگاهی بررسی شد. این جداکننده گرانشی (قطر ۱,۲ متر و طول ۵,۲ متر) بوسیله نفت درود شرکت نفت فلات قاره ایران در جزیره خارک (ایران) بکار گرفته شده بود. منحنی توزیع زمان

^۱ Alternative Path Model

ماند^۱ در این جداکننده بوسیله تزریق ردیاب رادیواکتیو^۲ استنتاج شده بود. نتایج آزمایشگاهی نشان دادند که راندمان عملکرد جداکننده با تراز آب در مخزن افزایش می یابد. تانک گروهی اختلاط کامل^۳ (همراه با یک ناحیه ساکن) برای تشریح رفتار مایع مورد استفاده قرار گرفت و نتایج آزمایشگاهی در تطابق خوبی با این مدل بودند. افزایش تراز آب در مخزن از ۰,۵ متر تا ۰,۹ متر عدد تانک گروهی اختلاط را در هر دو فاز اورگانیک و آب، به ترتیب از ۹ تا ۹,۱ و از ۸ تا ۸,۳ افزایش می دهد. حجم مرده مسیر فاز ارگانیک با تراز آب کاهش می یابد، اما این روند برای مسیر فاز آب معکوس بود. کمتر از ۳٪ حجم جداکننده فعال است. در نهایت آنها اعلام نمودند راندمان بهینه جداکننده هنگامی رخ می دهد که تراز آب در جداکننده در حدود ۰,۷ متر باشد.

کلاگر در سال ۲۰۱۱ راهکار نوین بررسی عملکرد جداکننده های فازی در صنایع فراورش و پالایش نفت و گاز را بیان نمود. کیفیت جداسازی در دستگاه های جداساز بر سیستم فرایندی تاثیر قابل توجهی دارد به خصوص این امر در جداسازی نفت از پساب قبل از تخلیه آن به محیط زیست اهمیت بسزایی دارد. از سویی دیگر محدود شدن استاندارد های زیست محیطی تخلیه پساب های نفتی همزمان با افزایش مقدار این پساب، لزوم توجه دقیق به عملکرد مناسب تجهیزات جداکننده فازی را بدیهی می سازد. هدف از مطالعه انجام شده تعیین انحراف جداسازی از حالت ایده آل نسبت به حداکثر جداسازی ذرات یک فاز در فاز دیگر است. در این پژوهش راهکاری نوین برای تعیین راندمان جدایش فازی نسبت به حالت بهینه عملکرد دستگاه بر اساس روابط حاکم بر انتقال سیالات در مورد جداکننده های دو و سه فازی ارائه شده است.

^۱ residence time distribution (RTD)

^۲ radioactive tracer (131I) injection

^۳ Perfect mixing tanks-in-series

۲-۵. جمع بندی

در این تحقیق انواع مختلف جداکننده های گرانشی شامل جداکننده API، جداکننده CPI و جداکننده چربی مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به لزوم تایید اعتبار مدل های عددی، در این تحقیق هندسه اولیه جداکننده های تحت بررسی همگی از تحقیقات آزمایشگاهی و عددی گذشته استخراج شدند و پس از تایید اعتبار مدل عددی انجام شده، روش های موثر بر بهبود راندمان مورد ارزیابی قرار گرفته اند. تحقیق حاضر در مقایسه با کارهای قبلی از جامعیت بیشتری برخوردار بوده و شبیه سازی ها همگی به صورت دو فازی صورت گرفتند.

کارهای گذشته به کار گرفته شده جهت تایید اعتبار این تحقیق، شامل تحقیقات صورت گرفته توسط ویلکینسون و همکارانش [Wilkinson 2000] و تحقیق انجام شده در مرکز تحقیقات محیط زیستی آب در ایالات متحده [Ducoste 2008] و واحد مهندسی ارتش امریکا [Gerdes 2000] می شوند که در قسمت مروری بر کارهای گذشته معرفی شدند. البته مطالب ارائه شده در سایر مقالات نیز هر جا که در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفته اند موید نتایج عددی حاصل بودند.

در بررسی روش های موثر بر بهبود راندمان، از روش های مورد استفاده در شرایط میدانی و مواردی که امکان کاربرد آنها در جداکننده های عملیاتی به سهولت ممکن می شود استفاده شده است به نحوی که با سطح اشغال برابر و حداقل تغییرات در هندسه، راندمان را ارتقا دهیم. با وجود بررسی های انجام گرفته در این تحقیق می توان به بررسی نمونه میدانی خاص پرداخت و پس از تولید هندسه بهینه جداکننده، نمونه آزمایشگاهی آن را به جهت بررسی خطای احتمالی در شبیه سازی عددی مورد ارزیابی قرار داد. این روند به نحوی موثر هزینه های تولید مدل بهینه را کاهش خواهد داد.

۳. دینامیک سیالات

محاسباتی

۳-۱. دینامیک سیالات محاسباتی (CFD)

۳-۱-۱. مقدمه

دینامیک سیالات محاسباتی یا CFD عبارت از تحلیل سیستم های شامل جریان سیال، انتقال حرارت و پدیده های همراه نظیر واکنش های شیمیایی، بر اساس شبیه سازی کامپیوتری است. CFD روش بسیار توانایی می باشد، به طوریکه طیف وسیعی از کاربردهای صنعتی و غیر صنعتی را در بر می گیرد. برخی مثال ها عبارتند از:

- آئرو دینامیک هواپیما و وسائط نقلیه: برآ و پسا.
- هیدرو دینامیک کشتی ها.
- نیروگاه: احتراق در موتور های IC و توربین های گاز.
- توربو ماشین: جریان های داخل گذرگاه های دوار، پخش کننده ها و غیره.
- مهندسی برق و الکترونیک: خنک کاری دستگاه هایی که دارای مدارهای ریز می باشد.
- مهندسی فرایند شیمیایی: اختلاط، جداسازی، شکل گیری پلیمر.
- محیط خارجی و داخلی ساختمان ها: بار گذاری باد و گرمایش/تهویه.
- مهندسی دریا: بارهای روی ساختمان های ساحلی.
- مهندسی محیط زیست: توزیع آلودگی و جریان های گذرا.
- آب شناسی و اقیانوس: جریان های درون رودخانه ها، خور ها (خلیج ها) و اقیانوس ها.
- هوا شناسی: پیش بینی هوا.

- مهندسی پزشکی: جریان خون عبوری از سرخرگ ها و سیاهرگ ها.

از سال های ۱۹۶۰ به بعد صنعت هوا و فضا روش های CFD را در طراحی، تحقیق، توسعه و ساخت موتورهای هواپیما و جت به کار گرفته است. اخیرا روش هایی برای طراحی موتورهای احتراق داخلی و محفظه های احتراق توربین های گاز و کوره ها به کار می رود. به علاوه، سازندگان موتورهای وسائط نقلیه همه روزه با استفاده از CFD نیرو های مقاوم ناشی از جریان هوا روی بدنه و محیط داخل اتومبیل را پیش بینی می کنند. لذا CFD به طور فزاینده ایی به صورت یک جزء اساسی در طراحی تولیدات صنعتی و فرایند ها در آمده است. هدف نهایی توسعه و پیشرفت در زمینه CFD رسیدن به توانایی قابل مقایسه با ابزارهای CAE (مهندسی به کمک کامپیوتر) نظیر برنامه های تحلیل تنش می باشد. دلیل اصلی اینکه چرا CFD به کندی پیشرفت کرده است، در حقیقت پیچیدگی زیاد در رفتار اساسی آن و عدم بحث جریان سیال در رابطه با مسائل اقتصادی و مقرون به صرفه بودن آن است. توضیح جریان که همزمان اقتصادی و کامل باشد و نیز وجود سخت افزارهای با عملکرد بسیار خوب محاسباتی و واسطه های با استفاده ساده، منتهی به رشد جالبی شده و CFD موفق شد که در دهه ۱۹۹۰ در حد گسترده تری وارد حوزه ارتباطات صنعتی شود.

روشن است که قیمت سرمایه گذاری روی توانایی های CFD کم نیست، اما هزینه کل به اندازه یک کار تجربی با کیفیت بالا نمی باشد. به علاوه CFD در طراحی سیستم های سیالاتی چند مزیت منحصر به فرد نسبت به روش های تجربی دارا می باشد:

کاهش اساسی در زمان و قیمت طراحی های جدید.

توانایی مطالعه سیستم هایی که انجام آزمایشات کنترل شده روی آنها مشکل و یا غیر ممکن می باشد (نظیر سیستم های خیلی بزرگ).

توانایی مطالعه سیستم ها، تحت شرایط تصادفی و بالاتر از حدود معمول آنها (نظیر مطالعات مطمئن و موضوعات تصادفی).

عملا سطح جزئیات نتایج نامحدود می باشد.

قیمت متغیر یک آزمایش از لحاظ کرایه وسایل و یا قیمت ساعت کار افراد، با تعداد نقاط داده ها و تعداد دفعات آزمایش متناسب است. در مقابل برنامه های CFD می تواند نتایج بسیار زیادی تولید کنند در حالیکه واقعا مخارج چندانی افزوده نمی شود و برای پیش بینی پارامتری موضوعی بسیار ارزان می باشد. برای مثال می توان به بهینه سازی وسایل اشاره کرد. همچنین باید توجه داشته باشیم که علاوه بر هزینه سرمایه گذاری اساسی، یک سازمان نیازمند افرادی آشنا به اجرای برنامه ها، تحلیل نتایج آنها و خلاصه بررسی مدل سازی مورد نیاز توسط کاربرهای CFD می باشد.

۳-۱-۲. ساختار برنامه CFD

ساختار برنامه های CFD روش عددی است، به طوریکه مسائل جریان سیال با استفاده از این روش قابل حل می باشند. به منظور فراهم آمدن دسترسی آسان به توان حل آنها، تمام بسته های نرم افزاری تجاری CFD شامل واسطه های کاربری پیچیده ای جهت ورود پارامترهای مسائل و تحلیل نتایج می باشند. از این رو تمام برنامه ها شامل سه جزء اصلی می باشند:

- پیش پردازنده
- حل کننده
- پس پردازنده

به طور خلاصه وظیفه هر یک از این اجزا را درون یک برنامه CFD مورد بررسی قرار می دهیم.

پیش پردازنده:

پیش پردازنده عبارتست از ورودی مسئله جریان به یک برنامه CFD با استفاده از یک واسطه عملگر ساده و سپس تبدیل این ورودی به یک شکل مناسب برای استفاده توسط حل کننده. وظایف کاربر در مرحله پیش پردازنده شامل موارد زیر است:

- تعریف هندسه ناحیه مورد نظر: میدان محاسباتی.
- تولید شبکه یا تقسیم بخشهای کوچک به نواحی کوچکتر، بدون همپوشانی (روی هم قرار گرفتن) زیر محدوده ها: شبکه (یا مش) سلولها (یا حجم های کنترل یا المان ها).
- انتخاب مجموعه پدیده های فیزیکی و شیمیایی که باید مدل شوند.
- تعریف خواص سیال.
- تشخیص و تعریف شرایط مرزی لازم در سلولهایی که منطبق و یا در تماس با مرز محدوده می باشند.

حل یک مسئله جریان (سرعت، فشار، دما وغیره) در گره های داخلی هر سلول صورت می گیرد. دقت مربوط به یک حل CFD از تعداد سلول های موجود در شبکه پیروی می کند. در حالت کلی، تعداد سلولهای زیاد دارای دقت حل بهتری می باشد. دقت حل، قیمت، همچنین، سخت افزار محاسباتی مورد نیاز و زمان شبکه بستگی به ظرافت شبکه دارند. شبکه های مطلوب اغلب غیر یکنواخت می باشد، در جاییکه تغییرات از نقطه ای به نقطه دیگر زیاد است ریزتر و در نواحی با تغییرات نسبتا کم، درشت تر است. تلاشهایی در جهت توسعه برنامه های CFD با یک قابلیت خود مش بندی در حال انجام است. سرانجام این قبیل برنامه ها به طور خودکار شبکه را در سطوح با تغییرات تند ظریف و ظریف تر می کند. در حال حاضر این موضوع به مهارت های کاربر CFD در طراحی یک شبکه بستگی دارد، به طوریکه سازگاری مناسبی بین دقت مورد نظر و ارزش حل برقرار باشد.

حل کننده:

در اینجا سه روش مجزا برای روش های حل عددی وجود دارد: اختلاف محدود، المان های محدود و روش های طیفی. سرفصل روش های حل عددی که پایه حل کننده را تشکیل می دهد به شرح زیر است:

- تقریب متغیر های مجهول جریان، با استفاده از توابع ساده.
- گسسته سازی با استفاده از جایگذاری تقریب ها در معادلات حاکم بر جریان و سپس انجام تغییرات ریاضی.
- حل معادلات جبری

تفاوت های اصلی میان سه روش مجزا وجود دارد. این تفاوت ها به روشی که در آن متغیر های جریان تقریب می خورد و فرایند گسسته سازی صورت می گیرد مربوط می شوند.

روش های اختلاف محدود: روش های اختلاف محدود مجهولات ϕ مسئله جریان را با استفاده از همسایه های هر نقطه در نقاط گره مربوط به شبکه ی خطوط مختصات تعیین می کنند. اغلب از بسط های سری تیلور منقطع برای بدست آوردن تقریب های اختلاف محدود مشتقات ϕ در عبارات همسایه های نقطه ϕ در هر گره شبکه و در همسایه های آن استفاده می شود. بنابراین مشتقات ظاهر شده در معادلات حاکم توسط اختلاف محدود جایگذاری شده و یک معادله جبری برای مقادیر ϕ در هر نقطه از شبکه را می دهند. اسمیت^۱ [smith 1985] یک مفهوم جامعی از تمام جنبه های روش اختلاف محدود ارائه کرد.

^۱ smith

روش حجم محدود:

روش حجم محدود ابتدا به عنوان یک فرمول بندی اختلاف محدود ویژه توسعه یافت.

الگوریتم حجم محدود شامل مراحل زیر می باشد:

- انتگرال کلی معادلات حاکم جریان سیال روی تمام (محدود) حجم های کنترل مربوط به میدان حل.
- گسسته سازی، شامل جایگذاری نوعی از تقریب های اختلاف محدود برای عبارت های داخل معادله انتگرالی می باشد، که فرایند های جریان مثل جابجایی، نفوذ و چشمه ها را نشان می دهد. این عمل معادلات انتگرالی را به یک سیستم معادلات جبری تبدیل می کند.
- حل معادلات جبری با استفاده از یک روش تکرار.

قدم اول، انتگرال گیری از حجم کنترل، روش حجم محدود را از سایر روش های CFD متمایز می نماید. نتیجه مشاهدات دقیق، بقای خواص مربوطه را برای هر سلول به اندازه محدود بیان می کند. این رابطه روشن بین الگوریتم عددی و قاعده کلی بقا اصل فیزیکی، یکی از جاذبه های اصلی روش حجم محدود را تشکیل می دهد و درک مفاهیم آن را برای مهندسیین خیلی ساده تر از روش های امان های محدود و طیفی برای بقای یک متغیر کلی جریان ϕ مهیا می کند. برای مثال یک مولفه سرعت یا آنتالپی، در داخل یک حجم کنترل را می توان به صورت یک تساوی بین فرایند های متفاوت که منجر به افزایش یا کاهش آن می شود نشان داد.

نرخ تغییر ϕ در حجم کنترل نسبت به زمان =

شار خالص ϕ به دلیل جابجایی به داخل حجم کنترل

+ شار خالص ϕ به دلیل نفوذ به داخل حجم کنترل

+ نرخ خالص تولید ϕ در داخل حجم کنترل

روش المان های محدود:

در روش های المان محدود از توابع تکه ای ساده (خطی یا درجه دوم) که برای المان ها ارزش داشته باشد، به منظور شرح تغییرات محلی متغیرهای مجهول جریان ϕ ، استفاده می شود. معادلات حاکم با استفاده از حل دقیق ϕ کاملاً ارضا می شوند. اگر توابع تقریب تکه ای برای ϕ ، در معادله جایگذاری شوند، معادله دقیقاً ارضا نخواهد شد و یک باقیمانده برای اندازه گیری خطاها تعریف می شود. سپس باقیمانده ها (و در نتیجه خطاها) در برخی جهات توسط ضرب آنها در یک مجموعه ای از توابع وزنی و انتگرال گیری، به حداقل می رسند. در نتیجه ما یک مجموعه ای از معادلات جبری برای ضرایب مجهول توابع تقریب بدست می آوریم. تئوری المان های محدود اولین بار برای تحلیل تنش سازه ای بیان شد. از جمله کارهای استاندارد ارائه شده برای کاربرد المان های محدود در سیالات می توان زینکیویکز و تیلور [Zienkiewicz 1991] را نام برد.

روش های طیفی:

روش های طیفی مجهولات را با استفاده از سری های قطع شده فوریه یا سری های چند جمله ایی چبی شف^۱ تقریب می زنند. برخلاف روش اختلاف محدود یا المان های محدود، تقریب ها محلی نیستند اما برای تمام ناحیه محاسباتی معتبر می باشند. در این روش، مجهولات در معادله حاکم حاصل از سری های قطع شده جایگذاری می شوند. تغییراتی که منجر به معادلات جبری برای ضرایب سری های فوریه و چبی شف می شود در حقیقت همان مفاهیم باقیمانده های وزنی (متعادل کننده) در روش المان های محدود و یا توابع تقریبی منطبق بر حل دقیق در تعدادی از نقاط شبکه را

^۱ Chebyshev

نتیجه می دهد. اطلاعات تخصصی بیشتر در زمینه این روش را می توان در اورزاگ و گوت لیب^۱ (۱۹۷۷) پیدا کرد.

در حال حاضر چندین برنامه اصلی تجاری CFD در دسترس عبارتند از: Star-cd، Flow 3d، Fluent و Phoenics. در این تحقیق برای تولید هندسه و مش از بسته نرم افزاری GAMBIT 2.4.6 و برای شبیه سازی جریان دوفازی آب و نفت یا آب و چربی از بسته نرم افزار FLUENT 6.3 استفاده شد. برنامه های CFD شامل روش ها گسسته سازی مناسب برای حل پدیده های انتقالی مهم، جابجایی (انتقال به دلیل جریان سیال)، نفوذ و همچنین عبارات چشمه و نرخ تغییر نسبت به زمان می باشند. پدیده های فیزیکی اساسی، پیچیده و غیر خطی می باشند، بنابراین یک روش حل تکرار مورد نیاز است. از روش های حل بسیار مرسوم، حل کننده خط به خط TDMA برای معادلات جبری و الگوریتم SIMPLE برای رسیدن به ارتباط صحیح بین فشار و سرعت می باشد. برنامه های تجاری به استفاده کننده امکان انتخاب دیگر روش ها مانند الگوریتم stone و روش های گرادیانی را می دهد.

پس پردازنده

مانند پیش پردازنده، اخیراً مقدار زیادی از کار در محیط پس پردازنده صورت می گیرد. به دلیل افزایش تنوع نیاز های مهندسی بسیاری از آنها دارای توانایی های ترسیمی بالایی هستند. راهنمای بسته های CFD در حال حاضر با ابزارهای مجسم سازی مجهز شده اند که عبارتند از:

- نمایش میدان هندسی و شبکه
- ترسیمات برداری
- ترسیمات خطی و سایه همتراز.
- ترسیمات سطح دو بعدی و سه بعدی.

^۱ Orszag and Gottlieb

- مسیر حرکت ذره.
- نمایش دستی (انتقال، چرخش، مقیاس دادن و غیره)
- خروج نتایج به صورت رنگی

اخیرا این وسایل همچنین شامل متحرک سازی نمایش نتایج می باشند و علاوه بر ترسیم تمام برنامه ها خروجی را به صورت علائم قابل فهم برای برنامه های دیگر ارائه می دهند و دارای ابزار انتقال داده ها برای دستکاری بیشتر در خارج از برنامه می باشند.

۳-۱-۳. نحوه حل مسئله به کمک CFD

سه ایده ریاضی در مشخص کردن کارایی یا عدم کارایی هر یک از الگوریتم ها موثر است. همگرایی^۱، همسازی^۲ و پایداری^۳.

یک روش حل عددی در صورتی همگراست که با میل دادن اندازه شبکه به سمت صفر حل معادله گسسته شده و معادله دیفرانسیل پاره ای یکسان شود. تقریب عددی یک معادله دیفرانسیل پاره ای در صورتی همساز است که اگر اندازه شبکه به سمت صفر میل داده شود، معادله تقریبی به سمت معادله دیفرانسیل پاره ای میل کند. یک روش عددی در صورتی پایدار است که خطای ناشی از حل معادله تقریبی بزرگ نشود. بر طبق نظریه هم ارزی لاکس، اگر یک معادله دیفرانسیل پاره ای برای مسئله ای که به صورت خوبی با شرایط اولیه خطی تعریف شده باشد، بکار رود، شرط لازم و کافی برای همگرایی معادله دیفرانسیل پاره ایی مربوط، پایداری و همسازی آن است.

^۱ Convergence

^۲ Consistency

^۳ Stability

محاسبه CFD احتیاج به مهارت های کاربر دارد. در وهله اول وظیفه اصلی تعیین هندسه میدان و طراحی شبکه می باشد که منجر به شبیه سازی مناسبی برای کاربر می گردد. الگوریتم حل عموماً به کمک روش های تکرار صورت می گیرد و در یک حل همگرا باقیمانده ها (مقادیر کلی بقای خواص جریان) خیلی کوچک هستند. بهبود سرعت حل نیاز به تجربه زیاد کار با برنامه دارد، که می تواند فقط با تمرین زیاد حاصل شود. راهی جهت تخمین خطای حاصل از طراحی شبکه نامناسب برای جریان عمومی معرفی نشده است. طرح اولیه خوب برای شبکه نیاز به اطلاع از خواص جریان دارد. یک شناخت اولیه از دینامیک سیال در یک مسئله خاص بخوبی می تواند ما را کمک کند و تجربه شبکه بندی مربوط به مسائل مشابه نیز با ارزش است. تنها راه حذف خطاهای ناشی از درشتی شبکه، انجام مطالعات مربوط به شبکه است که عبارت است از بهبود اولیه یک شبکه درشت تا رسیدن به مرحله ای که نتایج کلیدی تغییر نکنند. آنگاه شبیه سازی مستقل از شبکه خواهد بود.

تشخیص اعتبار مدل های فیزیکی و شیمیایی بسته به پیچیدگی برنامه CFD و یا دقت نتایج نهایی آن، تنها با مقایسه با نتایج عملی ممکن می شود. هر کس که می خواهد از CFD به طور جدی استفاده کند، باید بداند که این روش نمی تواند جانشین آزمایش گردد. ولی یک ابزار پر قدرت برای حل مسائل مختلف است. بررسی اعتبار CFD نیازمند اطلاعات بالا در جزئیات مربوط به شرایط مرزی مسئله و بدست آوردن حجم بالایی از نتایج است. برای بررسی اعتبار ضروری است که داده های تجربی در یک میدان مشابه بدست آیند.

در مواردی ممکن است هیچ گونه تسهیلاتی جهت انجام آزمایش (تا کنون) در دسترس نباشد. در چنین مواردی باید محقق از موارد ذیل استفاده نماید:

- آزمایش قبلی.
- مقایسه بین حل تحلیلی جریان های مشابه ولی ساده تر.

- مقایسه با داده های با کیفیت بالا.

منابع مربوط به اطلاعات موارد اخیر را می توان در مراجع زیر پیدا کرد:

مجلات علمی ASME (انجمن مهندسی مکانیک آمریکا بویژه مجله مهندسی سیالات برای توربین گاز و قدرت و مجله انتقال حرارت)

مجله AIAA (مجله مکانیک سیالات و مجموعه مقالات کنفرانس بین المللی مهندسی آمریکا)
[Versteeg 1995].

۳-۲. مدل سازی آشفستگی

۳-۲-۱. مقدمه

بر طبق تعریف، جریان آرام جریانی است که در آن سیال به صورت منظم و تحت لایه ها و مسیر های مشخص و منظم حرکت می کند، از همین رو برای توصیف این نوع جریان از عبارت Laminar به معنای "طبقه طبقه شده" که بر گرفته از کلمه Laminar است استفاده می شود. در یک جریان آرام، شکل لایه های سیال کاملا مشخص است و مسیر حرکت سیال دارای انحنای ملایم می باشد. در چنین جریانی، مولکول های سیال با پیشروی در طول مسیر حرکت، همواره در داخل لایه اولیه خود باقی می مانند. همچنین در این جریان مولکول های نزدیک دیواره، کندترین مولکول ها هستند که در عین حال نزدیک ترین دما را به دمای دیواره دارند. اما معمولا در اغلب جریان های مهندسی، وضع به همین منوال باقی نمی ماند، بلکه تجربه نشان داده است که با حرکت به سمت پایین دست

جریان و همزمان با بلوغ جریان و انباشته شدن اغتشاشات جریانی بر روی یکدیگر و پس از طی شدن مرحله میانی که اصطلاحاً "مرحله گذر جریان"^۱ نامیده می شود، به یک جریان آشفته خواهیم رسید. جریان آشفته یک رودخانه خروشان، جریان جت گاز های داغ خروجی از نازل موشک ها، جریان های متلاطم باد، جریان واقع در پشت یک وسیله نقلیه پر سرعت، جریان واقع در پایین دست یک پمپ، کمپرسور یا توربین و صدها نمونه دیگر از این دست جریان ها مثال های روشنی از دسته جریان های آشفته هستند. از آنجا که فیزیک حاکم بر جریان های آشفته بخوبی درک نشده است. طیف وسیعی از عقاید متفاوت در زمینه ی سینماتیک و دینامیک این جریان ها وجود دارد، به سختی می توان در میان محققین فردی را یافت که تعریف دقیق و روشنی از این جریان ها ارائه داده باشد. حتی یافتن محقینی که دارای تعاریف مشابهی از این نوع جریان هم باشند هم امری دشوار است. بنابراین در داخل هر یک از نظرات ارائه شده، تنها می توان بخشی از حقیقت موجود در مورد جریان های آشفته و فیزیک حاکم بر آنها را یافت. پس عاقلانه ترین راه آن است که تک تک نقطه نظرات مختلف در مورد جریان های آشفته را مطالعه نموده تا بتوانیم حداقل به یک برداشت مشترک و عقیده واحد در مورد این جریان ها نزدیک گردیم [مهدی صنیعی نژاد ۱۳۸۸ ه ش].

همانطور که از نام این جریان نیز بر می آید، این جریان رفتاری کاملاً اتفاقی و بی سازمان دارد. جریان های آشفته با میدان های سرعت نوسانی مشخص می شوند. این نوسانات با کمیت های انتقالی همانند مومنتوم، انرژی و غلظت اجزا^۲ ترکیب شده و به همین ترتیب موجب نوسان کمیت های انتقالی می گردد. چون این کمیت ها می توانند مقیاس کوچک و فرکانس بالا باشند، این کمیت ها هزینه محاسباتی بسیار بالایی برای شبیه سازی به صورت مستقیم در محاسبات مهندسی عملی هستند. در عوض، معادلات حاکم لحظه ایی (دقیق) می توانند متوسط گیری زمانی، متوسط گیری

^۱ Transition

^۲ species concentration

مجموعه ایی و یا ترکیبی از این ها شوند تا مقیاس های کوچک حذف گردند. در نتیجه گروهی از معادلات اصلاح شده که به لحاظ محاسباتی کم هزینه تر حل می شوند حاصل می گردند. در هر حال، معادلات اصلاح شده حاوی متغیر های ناشناخته اضافی هستند و مدل های آشفتگی به تخمین این متغیر ها از طریق کمیت های معلوم نیازمندند.

فلوئنت مدل های آشفتگی زیر را دارد:

- مدل اسپالارت آلماراس
- مدل های $k-\varepsilon$
 - مدل $k-\varepsilon$ استاندارد
 - مدل $k-\varepsilon$ (RNG)^۱
 - مدل $k-\varepsilon$ تحقق پذیر^۲
- مدل های $K-\omega$
 - مدل $K-\omega$ استاندارد
 - مدل $K-\omega$ تانسور تنش برشی^۳
- مدل $\nu^2 - f$
- مدل تنش رینولدزی (RSM)

^۱ Renormalization-group

^۲ Realizable

^۳ Shear-stress transport (SST)

- مدل RSM کرنش فشار خطی
- مدل RSM کرنش فشار درجه دوم
- مدل RSM, Low-Re stress-omega
- مدل شبیه سازی ادی های منفصل (DES)
 - مدل اسپالارت آلماراس RANS
 - مدل Realizable k-ε RANS
 - مدل SST k-ω RANS
- مدل شبیه سازی ادی های بزرگ (LES)
 - مدل Smagorinsky-Lilly subgrid-scale
 - مدل WALE subgrid-scale
 - مدل Kinetic-energy transport subgrid-scale

۳-۲-۲. انتخاب مدل آشفتگی

حقیقت تاسف بر انگیزی است که هیچ مدل آشفته واحدی که به لحاظ جامعیت برای همه انواع مسائل مورد پذیرش باشد وجود ندارد. انتخاب مدل آشفته به ملاحظاتی از قبیل فیزیک در بر گیرنده جریان، آزمایشات انجام شده برای گروه خاصی از مسائل، میزان دقت مورد نیاز، منابع محاسباتی

موجود و مدت زمان موجود برای شبیه سازی بستگی دارد. برای انتخاب مناسب ترین مدل برای تحقیق، به فهم امکانات و محدودیت های گزینه های مختلف نیاز داریم.

سختی و هزینه محاسباتی از طریق زمان CPU و حافظه مدل های مستقل مورد بحث قرار می گیرد. در حالیکه بیان بدون ابهام اینکه کدام مدل برای کاربری مشخص بهتر است غیر ممکن می باشد، در این بخش راهنمایی های جامعی برای کمک به انتخاب مدل آشفته مناسب برای جریانی که می خواهیم مدل کنیم ارائه می شود.

تقریب متوسط گیری شده رینولدز مدل DES در برابر LES

حل های وابسته به زمان معادلات ناویر استوکس برای جریان های آشفته با اعداد رینولدز بالا در هندسه های پیچیده که برای حل همه انواع حرکت های مقیاس کوچک به کار گرفته می شوند، در برخی موارد به شکل نامناسبی دست یافتنی هستند. دو روش جایگزین برای حل معادلات ناویر استوکس می توانند به کار گرفته شوند بنابراین نوسانات آشفته مقیاس کوچک مجبور نیستند مستقیماً حل شوند:

متوسط گیری رینولدز (یا متوسط گیری مجموعه ای) و فیلتر کردن. هر دو روش ترم های اضافی در معادلات حاکم که لازم است جهت رسیدن به همبست^۱ برای مجهولات مدل شوند تولید می نماید.

معادلات ناویر استوکس متوسط گیری شده رینولدز^۲ بر انتقال کمیت های جریان متوسط گیری شده به همراه همه بازه های مقیاس های آشفته که مدل می شوند حاکم است. بنابراین تقریب مدل سازی با پایه RANS به میزان زیادی سختی و منابع محاسباتی مورد نیاز را کاهش می دهد و به شکل گسترده ای با کاربردهای مهندسی کاربردی سازگار است. یک سلسله از مدل های همبست در

^۱ closure

^۲ Reynolds-averaged Navier-Stokes (RANS)

فلوئنت شامل اسپالارت آماراس، $k-\varepsilon$ و انواعش، $k-\omega$ و انواعش و RSM در فلوئنت در دسترسند. معادلات RANS اغلب برای محاسبه جریان های وابسته به زمان استفاده می شود، که شرایط غیر دائمی از خارج تحمیل می شود (به عنوان مثال شرایط مرزی یا منبع وابسته به زمان) یا از داخل تحمیل می شود (مثل تشکیل گردابه، ناپایداری های جریان).

روش LES تقریب جایگزینی تولید می کند که در آن گردابه های بزرگ به شکل صریح در یک شبیه سازی وابسته به زمان با استفاده از معادلات ناویر استوکس فیلتر شده محاسبه می شود. منطق پشت روش LES آن است که با مدل سازی کمتر آشفتگی (و تعداد بیشتر حل)، خطا تولید شده با مدلسازی آشفتگی می تواند کاهش یابد. این روش همچنین معتقد است که یافتن مدل جامع برای مقیاس های کوچک راحت تر است، از این رو آنها در مقایسه با ادی های بزرگ، تمایل دارند بیشتر ایزوتروپیک و کمتر متاثر با عوامل بزرگ مانند شرایط مرزی باشند. فیلتر سازی به شکل اساسی یک دستکاری ریاضی است از معادلات ناویر استوکس دقیق برای حذف گردابه هایی که کوچکتر از اندازه فیلتری هستند که معمولاً به اندازه مش است زمانیکه فیلتر سازی مکانی به کار گرفته می شود. مشابه متوسط گیری رینولدز، فرایند فیلتر سازی جملات مجهول جدیدی تولید می کند که برای رسیدن به همبست باید مدل شوند. آمارهایی از میدان های جریان وابسته به زمان همچون متوسط گیری های زمانی و مقادیر r.m.s از متغیرهای حل که به صورت کلی از علاقه مندی های مهندسی هستند می تواند در حین شبیه سازی های وابسته به زمان جمع آوری شوند. روش LES برای جریان های صنعتی با اعداد رینولدز بالا مقادیر قابل توجهی از منابع محاسباتی را نیاز دارد. در اصل این به علت نیاز به حل دقیق گردابه های آشفته حامل انرژی در هر دو دامنه مکانی و زمانی است که در نواحی نزدیک دیواره بسیار دقیق می شود جائیکه مقیاس ها برای حل شدن به مقدار زیادی کوچکتر می شوند. توابع دیواره در ترکیب با مش نزدیک دیواره بزرگ برای کاهش هزینه محاسباتی جریان های محدود به دیواره می تواند به کار گرفته شود. در هر حال، به توجه دقیق به شاخه های مختلف

استفاده از توابع دیوار برای جریان در مسئله نیاز است. به دلیل مشابه (برای حل دقیق ادی ها) LES همچنین به گسسته سازی مکانی و زمانی بسیار دقیق نیاز دارد.

متوسط گیری (مجموعه ای) رینولدز

در متوسط گیری رینولدز، متغیر های حل در معادلات ناویر استوکس (دقیق) لحظه ایی به مولفه های متوسط (متوسط گیری شده مجموع ایی یا زمانی) و نوسانی تجزیه می شوند.

$$u_i = \bar{u}_i + u'_i \quad \text{معادله ۱-۳}$$

\bar{u}_i و u'_i مولفه های سرعت متوسط و نوسانی هستند. بعلاوه، برای فشار و دیگر کمیت های اسکالر:

$$\phi = \bar{\phi} + \phi' \quad \text{معادله ۲-۳}$$

که ϕ عدد اسکالری مانند فشار، انرژی یا غلظت اجزا را نشان می دهد.

جایگزین کردن عبارات این فرم برای متغیر های جریان در معادلات پیوستگی و مومنوم لحظه ایی و گرفتن متوسط زمانی (یا مجموعه ایی) و حذف اوربارها روی سرعت های متوسط \bar{u} ، معادلات مومنوم متوسط مجموعه ایی را تولید می نمایند.

آنها می توانند در فرم تانسوری سیستم دکارتی به شکل زیر نوشته شوند:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i) = 0 \quad \text{معادله ۳-۳}$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho u_i) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_i u_j) = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} - \frac{2}{3} \delta_{ij} \frac{\partial u_k}{\partial x_k} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial x_j} (-\rho \overline{u'_i u'_j}) \quad \text{معادله ۴-۳}$$

معادلات فوق معادلات ناویر استوکس متوسط گیری شده رینولدز نامیده می شود. آنها فرم کلی مشابهی با معادلات ناویر استوکس لحظه ایی، با سرعت ها و متغیر های دیگر حل که اکنون نشان دهنده مقادیر متوسط گیری مجموعه ایی (یا متوسط زمانی) هستند، دارند. جملات اضافی اکنون

ظاهر شدند که اثرات آشفتگی را نشان می دهند. این تنش های رینولدزی $-\overline{\rho u'_i u'_j}$ باید جهت بستن معادله ۴-۳ مدل شوند.

برای جریان های با چگالی متغیر، معادلات فوق می توانند به شکل معادلات ناویر استوکس متوسط گیری شده فاوور^۱ [Hinze 1975] با سرعت های نشان دهنده مقادیر متوسط گیری جرمی بازنویسی شوند. به عنوان مثال، معادلات فوق می تواند در جریان های با چگالی متغیر بکار برده شود. متوسط گیری جرمی فاوور را برای جریان های چندفازی که چگالی متغیر دارند در بخش انتخاب مدل چند فازی با جزئیات بیشتری خواهیم شناخت.

تقریب بوسینیسک در برابر مدل های انتقال تنش رینولدز

تقریب متوسط گیری شده رینولدز برای مدل سازی آشفتگی نیاز دارد که تنش های رینولدز در معادله دوم از معادلات فوق به شکل مناسبی حل شود. روش معمول، نظریه بوسینیسک را برای ارتباط دادن تنش های رینولدزی به تغییرات سرعت متوسط به کار می گیرد:

$$-\overline{\rho u'_i u'_j} = \mu_t \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} \left(\rho k + \mu_t \frac{\partial u_k}{\partial x_k} \right) \delta_{ij} \quad \text{معادله ۵-۳}$$

نظریه بوسینیسک در مدل اسپالارت آلماراس، مدل های $k-\varepsilon$ و مدل های $k-\omega$ مورد استفاده است. متوسط گیری این تقریب به طور نسبی هزینه محاسباتی کمتر با کمک محاسبه لزجت آشفتگی μ_t دارد. در مدل اسپالارت آلماراس تنها یک معادله انتقال اضافی (نشان دهنده لزجت آشفتگی) حل شده است. در مدل $k-\varepsilon$ و $k-\omega$ دو معادله انتقال اضافی (برای انرژی جنبشی آشفته k و همچنین نرخ اضمحلال آشفتگی ε یا نرخ اضمحلال ویژه ω) حل شده اند و μ_t به شکل تابعی از k و ε یا ω محاسبه شده است. نقص نظریه بوسینیسک همانطور که نشان داده شده است آنست که فرض میشود

^۱ Favre averaged Navier-Stokes equations

μ_t یک کمیت اسکالر ایزوتروپیک است که این خیلی درست نیست.

تقریب جایگزین، ترکیب شده در RSM، حل معادلات انتقال برای هر یک از جملات در تانسور تنش رینولدز است. معادله تخمین مقیاس اضافی (به طور معمول برای ϵ) همچنین نیاز است. این بدان معنی است که پنج معادله انتقال اضافی در جریان دو بعدی و هفت معادله انتقال اضافی باید در مدل سه بعدی حل شود.

در بسیاری از موارد، مدل های بر اساس نظریه بوسینیسک خیلی خوب کار می کنند، و هزینه محاسباتی اضافی مدل تنش رینولدز^۱ رضایت بخش نیست. در هر حال، مدل RSM به وضوح برای موقعیت هایی که در آن ناهمسانگردی (تغییر در اندازه و مشخصات در محور های متفاوت) آشفته اثر حاکم بر جریان متوسط دارد ممتاز است. چنین مواردی شامل جریان های بسیار چرخشی^۲ و جریان های ثانویه تنش زا^۳ می شوند.

سختی محاسباتی: زمان CPU و رفتار حل

در جملات محاسباتی، مدل اسپالارت آلماراس، مدل آشفته با کمترین هزینه از بین گزینه های دیگر است زیرا در آن تنها یک معادله انتقال آشفته حل شده است.

مدل k- ϵ به وضوح سختی محاسباتی بیشتری نسبت به مدل اسپالارت آلماراس نیاز دارد زیرا یک معادله انتقال اضافی حل می شود. مدل k- ϵ تحقق پذیر تنها اندکی سختی محاسباتی نسبت به مدل k- ϵ استاندارد نیاز دارد. اما، به علت ترم های اضافی و توابع در معادلات حاکم و درجه بزرگتر غیر خطی بودن معادلات، محاسبات با مدل RNG k- ϵ تمایل به اشغال ۱۰ تا ۱۵٪ زمان CPU بیشتر

^۱ Reynolds stress model

^۲ highly swirling flows

^۳ stress driven secondary flows

نسبت به مدل $k-\varepsilon$ استاندارد دارد. مشابه مدل های $k-\varepsilon$ ، مدل های $k-\omega$ همچنین مدل های دو معادله ای هستند و بنابراین حدوداً به سختی محاسباتی مشابهی نیاز دارند.

در مقایسه با مدل های $k-\varepsilon$ و $k-\omega$ ، مدل RSM حافظه و زمان CPU اضافی ناشی از تعداد افزایش یافته معادلات انتقال برای تنش های رینولدزی نیاز دارد. اما، برنامه نویسی موثر در فلوئنت زمان CPU در هر تکرار را به میزان قابل توجهی کاهش می دهد. به طور متوسط، RSM در فلوئنت ۵۰ تا ۶۰٪ زمان CPU بیشتر در هر تکرار در مقایسه با مدل های $k-\varepsilon$ و $k-\omega$ نیاز دارد. علاوه بر این، ۱۵ تا ۲۰٪ حافظه بیشتر مورد نیاز است.

گذشته از زمان در هر تکرار، انتخاب مدل آشفته می تواند بر قابلیت فلوئنت برای بدست آوردن یک حل همگرا موثر باشد. برای مثال، مدل $k-\varepsilon$ استاندارد به اینکه اندکی در وضعیت های مشخص بیش از حد نفوذ کننده^۱ است معروف است در حالیکه مدل $k-\varepsilon$ RNG به شکلی طراحی شده که لزجت آشفته در پاسخ به نرخ های بالای کرنش کاهش یافته است. از آنجائیکه نفوذ اثر تثبیت کننده ایی بر اعداد دارد، مدل RNG به احتمال بیشتر مستعد به ناپایداری در حل های حالت دائمی است. در هر حال، این نباید لزوماً به عنوان زیان مدل RNG دیده شود، از آنجائیکه این مشخصات این مدل را به ناپایداری های فیزیکی مهم از قبیل انتشار گردابه آشفته وابسته به زمان پاسخگوتر می سازد.

به شکل مشابه، RSM ممکن است برای همگرایی در مقایسه با مدل های $k-\varepsilon$ و $k-\omega$ به علت کوپل قوی بین تنش های رینولدز و جریان متوسط پر تکرارتر باشد.

۳-۲-۳. تئوری مدل $k-\varepsilon$ استاندارد، RNG، قابل درک

^۱ over-diffusive

مدل های $k-\varepsilon$ استاندارد، RNG، تحقق پذیر همگی فرم های مشابه با معادلات انتقال برای k و ε دارند. تفاوت های اصلی در مدل ها به شرح ذیل است:

روش محاسبه لزجت آشفتگی

اعداد پراندتل آشفتگی حاکم بر نفوذ آشفتگی k و ε

جملات تولید و اتلاف معادله ε

معادلات انتقال، روش های محاسبه لزجت آشفتگی و ثابت های مدل جداگانه برای هر مدل ارائه می شوند. مشخصاتی که لزوماً برای همه مدل های فوق معمول است عبارتند از تولید آشفتگی، تولید ناشی از شناوری، توضیح اثرات تراکم پذیری و مدل کردن انتقال حرارت و جرم.

مدل $k-\varepsilon$ استاندارد

مرور

مدل های کامل ساده مدل های دو معادله ای هستند که در آن ها حل دو معادله انتقال مجزا اجازه می دهد سرعت آشفتگی و مقیاس طولی به صورت مستقل تعیین گردند. مدل $k-\varepsilon$ استاندارد در فلوننت در این گروه از مدل آشفتگی قرار می گیرد و مدل مفیدی از محاسبات جریان مهندسی کاربردی در زمان می شود که بوسیله لاندر و اسپالدینگ [Launder 1972] ارائه شد. توانمندی، صرفه جویی، و معقولیت برای رنج گسترده ای از جریان های آشفته عمومیت آن را در شبیه سازی های جریان صنعتی و انتقال حرارت شرح می دهد. این مدل، مدلی نیمه تجربی است و استخراج معادلات مدل بستگی به ملاحظات پدیدار شناختی و تجربه گرایبی دارد.

به جهت آنکه نقاط قوت و ضعف مدل $k-\epsilon$ استاندارد مشخص شود، اصلاحاتی برای مدل برای افزایش کارایی بوجود آمد. دو نمونه از این تغییرات در فلوئنت موجود است: مدل $k-\epsilon$ RNG [Yakhot 1986] و مدل $k-\epsilon$ تحقق پذیر [Shih 1995].

مدل $k-\epsilon$ استاندارد [Launder 1972] یک مدل نیمه تجربی بر اساس معادلات انتقالی مدل برای انرژی جنبشی آشفتگی k و نرخ اضمحلال آن ϵ است. معادله انتقالی مدل برای k از معادله دقیق استخراج می شود در حالیکه معادله انتقال مدل برای ϵ با استفاده از دلایل فیزیکی بدست آمده و شباهت کمی با نمونه همتا دقیق ریاضی دارد.

برخی کاربردهای رایج مدل $k-\epsilon$ عبارتند از:

- ۱- مدل سازی انحلال ادی در احتراق
- ۲- محاسبه جریان جابجایی آزاد و جریان هوا در فضای داخلی ساختمان ها
- ۳- جریان در یک لوله با انقباض ناگهانی
- ۴- مدل سازی آتش سوزی در یک اتاق تست
- ۵- پیش بینی جریان و انتقال حرارت در یک دسته لوله در مبدل های حرارتی
- ۶- مدل سازی جریان آرام در یک لوله با مقطع دایره ایی با تغییرات فشار متناوب (تغییرات تپشی فشار) بین ورودی و خروجی لوله (نظیر جریان درون رگهای بدن، جریان ناشی از امواج القایی پمپ در داخل خطوط انتقال نفت و نیز جریان هوا در داخل "منیفلد" موتور های احتراق داخلی
- ۷- مدل سازی پراکندگی آلودگی در داخل هوای جو و در آب دریاچه ها
- ۸- محاسبه و بررسی نرخ گسترش جت های متقارن محوری در محیط های ساکن

در بخش عمده ایی از این جریان ها، نرخ تولید انرژی جنبشی آشفتهگی بسیار کمتر از نرخ اضمحلال آن است و برای غلبه بر چنین مشکلی، نیازمند تنظیمات بسیار ماهرانه و کارشناسی شده بر روی ثوابت C_ε می باشیم. برخلاف بسیاری از موفقیت های مدل استاندارد k- ε این مدل دارای جوابهای نه چندان قوی و معتبر در مبحث جریان های غیر محصور است [اصنیعی نژاد ۱۳۸۸ ه ش].

معادلات انتقال برای مدل k- ε استاندارد

انرژی جنبشی آشفته k، و نرخ اضمحلال آن ε ، از معادلات انتقال زیر بدست می آید:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k + G_b - \rho \varepsilon - Y_M + S_k \quad \text{معادله ۶-۳}$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \varepsilon) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \varepsilon u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} (G_k + C_{3\varepsilon} G_b) - C_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} + S_\varepsilon \quad \text{معادله ۷-۳}$$

در این معادلات G_k تولید انرژی جنبشی آشفته ناشی از تغییرات سرعت متوسط را نشان می دهد. G_b تولید انرژی جنبشی آشفته ناشی از شناوری است. Y_M سهم انبساط نوسانی در آشفتهگی تراکم پذیر در نرخ اضمحلال کلی را نشان می دهد. $C_{1\varepsilon}, C_{2\varepsilon}, C_{3\varepsilon}$ ثابت هستند. σ_k و σ_ε به ترتیب اعداد پراندتل آشفته برای k و ε هستند. S_k و S_ε جملات منبع معرفی شده از سوی کاربر هستند.

مدل سازی لزجت آشفتهگی

لزجت آشفتهگی (یا گردابه)، μ_t با ترکیب k و ε به شکل زیر محاسبه می شود:

$$\mu_t = \rho C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \quad \text{معادله ۸-۳}$$

C_μ مقداری ثابت است.

ثابت های مدل

ثابت های مدل $C_{1\varepsilon}$ ، $C_{2\varepsilon}$ ، C_μ ، σ_k و σ_ε مقادیر پیش فرض زیر را دارند [Launder 1972]:

$$C_{1\varepsilon} = 1.44, \quad C_{2\varepsilon} = 1.92, \quad C_\mu = 0.09, \quad \sigma_k = 1.0, \quad \sigma_\varepsilon = 1.3$$

مقادیر پیش فرض از آزمایشات با هوا و آب برای جریان های برشی آشفته اصلی شامل جریان های برشی هموزن بدست آمده است. این مقادیر به شکل نسبتا خوبی برای بازه گسترده ایی از جریان های برشی محدود به دیواره و آزاد کار می کند.

مدل سازی تولید آشفتگی در مدل های k-ε

جمله G_k نشان دهنده تولید انرژی جنبشی آشفته به صورت یکسان برای هر سه مدل k-ε مدل شده است. از معادله دقیق برای انتقال k این ترم می تواند بدین شکل تعریف شود

$$G_k = -\overline{\rho u_i' u_j'} \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \quad \text{معادله ۹-۳}$$

برای سنجیدن G_k در روشی سازگار با نظریه بوسینیسک:

$$G_k = \mu_t S^2 \quad \text{معادله ۱۰-۳}$$

که S قدر مطلق متوسط تانسور نرخ کرنش است و تعریف می شود:

$$S \equiv \sqrt{2S_{ij}S_{ij}} \quad \text{معادله ۱۱-۳}$$

در زمان استفاده از معادله k-ε در اعداد رینولدز بالا، μ_{eff} با μ_t در معادله ۱۰-۳ فوق جایگزین می شود.

آثار شناوری بر آشفتگی در مدل k-ε

زمانیکه میدان گرانشی غیر صفر و تغییرات حرارت همزمان حضور دارند، مدل k-ε در فلونت تولید k ناشی از شناوری، و سهم متناظر با تولید ε در معادله ۷-۳ را بیان می نماید.

تولید آشفته‌گی ناشی از شناوری مفروض است با:

$$G_b = \beta g_i \frac{\mu_i}{Pr_i} \frac{\partial T}{\partial x_i} \quad \text{معادله ۱۲-۳}$$

Pr_i عدد پراندتل آشفته برای انرژی و g_i مولفه بردار گرانشی در i آمین راستا است. برای مدل های $k-\varepsilon$ استاندارد و قابل درک، مقادیر پیش فرض عدد Pr برابر 0.85 است. ضریب انبساط حرارتی β به شکل زیر تعریف می شود.

$$\beta = -\frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial \rho}{\partial T} \right)_p \quad \text{معادله ۱۳-۳}$$

برای گازهای ایده آل، معادله ۱۲-۳ به شکل زیر ساده می شود:

$$G_b = -g_i \frac{\mu_i}{\rho Pr_i} \frac{\partial \rho}{\partial x_i} \quad \text{معادله ۱۴-۳}$$

می توان از معادله انتقال برای k (معادله ۶-۳) دید که انرژی جنبشی آشفته در لایه های ناپایدار تمایل به افزایش دارد ($G_b > 0$). برای لایه های پایدار، شناوری تمایل به کاهش دادن آشفته‌گی دارد ($G_b < 0$). در فلوئنت زمانیکه هر دو میدان گرانشی غیر صفر و تغییرات حرارت (یا چگالی) غیر صفر را دارید، آثار شناوری در تولید k همیشه در نظر گرفته می شود.

در حالیکه آثار شناوری بر تولید k به طور نسبی خوب درک می شود، اثر آن بر ε کمتر واضح است. در فلوئنت، به صورت پیشفرض، آثار شناوری بر ε به سادگی با انتخاب G_b برابر با صفر در معادله انتقال ε (معادله ۷-۳) صرف نظر می شود.

در هر حال، شما می توانید آثار شناوری را بر ε در پنجره مدل لزج وارد کنید. در این حالت مقدار G_b با معادله ۱۴-۳ مفروض است و در معادله انتقال برای ε (معادله ۷-۳) استفاده می شود.

میزان تاثیر شناوری بر ε با ثابت $C_{3\varepsilon}$ تعیین می شود. در فلوئنت؛ $C_{3\varepsilon}$ مشخص نیست اما در عوض بر اساس رابطه زیر محاسبه می شود [Launder 1972].

$$C_{3\varepsilon} = \tanh\left|\frac{v}{u}\right| \quad \text{معادله ۳-۱۵}$$

v مولفه سرعت جریان موازی با بردار گرانشی و u مولفه سرعت جریان عمود بر بردار گرانشی است. در این روش $C_{3\varepsilon}$ برای لایه های برشی که برای آن راستای اصلی جریان با میدان گرانشی در یک امتداد است برابر ۱ خواهد شد. برای لایه های برشی شناور که بر بردار گرانش عمود هستند $C_{3\varepsilon}$ صفر خواهد شد.

۳-۳. مدل سازی چند فازی

۳-۳-۱. مقدمه

تعداد زیادی از جریان ها در طبیعت و تکنولوژی ترکیبی از فاز ها هستند. فازهای فیزیکی مواد، گاز، مایع و جامد هستند اما مفهوم فاز در سیستم جریان چندفازی به شکل گسترده تری به کار گرفته شده است. در جریان چند فازی، فاز می تواند به عنوان گروه شناخته شده ایی از مواد که اندرکش و واکنش لختی خاصی با جریان و میدان پتانسیلی اطراف خود دارد، تعریف شود. برای مثال ذرات جامد با اندازه متفاوت با مواد مشابه می توانند به عنوان فازهای متفاوت رفتار کنند زیرا هر مجموعه از ذرات با اندازه یکسان، واکنش دینامیکی مشابهی نسبت به میدان جریان دارد. بدین ترتیب در شبیه سازی به کمک دینامیک سیالات محاسباتی می توان هر گروه از ذرات یک ماده با قطر های یکسان را به عنوان فاز دوم جداگانه ایی معرفی نمود [Fluent User Guide].

فارغ از هر گونه ساده سازی، تقریباً تمام مکانیک سیالات در محدوده جریان های چندفازی قرار می گیرند. برای مثال، سیالی که در یک مجرا حرکت می کند مثالی از سیستم سیال جامد خواهد بود.

مسائل قدیمی نیروی دینامیک-سیالات روی یک جسم (به عنوان مثال برگ در باد) نمونه دیگری از این مثال ها خواهد بود، در حالیکه نیروی باد در امواج اقیانوس وضعیتی شامل گاز و مایع خواهد بود.

در هر حال در مواردی که به طور معمول شناخته شده اند، جریان چند فازی زیر مجموعه ایی از این رنج گسترده از مسائل را نشان می دهد. اغلب تعریف دقیق برای فرمول بندی بسیار مشکل است به عنوان مثال آیا موقعیت مشخصی بسته به دیدگاه یا حتی انگیزه محقق و نه طبیعت ذاتی جریان باید به عنوان مسئله جریان چندفازی مورد توجه قرار گیرد؟ برای مثال امواج باد در دامنه جریان چندفازی قرار نمی گیرد، اگرچه برخی از فرایندهای فیزیکی بسته بر عملکردشان ممکن است کاملاً مشابه با این ها و موثر بر جریان های مطبق گاز-مایع (به عنوان مثال در یک لوله)، یک مثال اولیه از سیستم چندفازی باشند. دیواره یک مجرا یا برگ درخت ممکن است به عنوان مرزهایی از دامنه جریان در محدوده مسائل جریان چندفازی قرار نگیرد. در حالیکه، جریان در یک شبکه از مجرا ها، یا باد در حال وزیدن از میان سایبان درختی، ممکن است به عنوان مسائل جریان چندفازی مطالعه شود.

این مثال ها به شکل تکرار شونده به سیستم های جریان چندفازی، اشاره دارند و "پیچیدگی"^۱ نام گرفته و از عکس العمل متقابل دو طرفه بسیاری از زیر سیستم ها ناشی می شوند. اما به عنوان مثال ممکن است یک شخص یک مسئله "ساده" مثل حباب کوچک ساده را به عنوان نمونه ایی از جریان چندفازی مورد توجه قرار دهد، به ویژه اگر تمرکز تحقیق بر شکل هایی که متناسب با نحوه به کارگیری چنین مواردی است باشد.

عکس العمل بین خیلی از اجسام، به عنوان مثال حباب ها، قطرات و یا ذرات غرق شده در سیال تنها منبعی از پیچیدگی نیست و معمولاً با پدیده جریان چندفازی نشان داده می شود. در اینجا ممکن است تعداد بسیار زیادی از عوامل دیگر به همان شکل وجود داشته باشند به عنوان مثال مسائل خیلی فیزیکی (مثل پیشرفت کردن خط تماس جامد-مایع-گاز و یا انتقال بین رژیم های جریان گاز-مایع

^۱ complexity

متفاوت)، شبیه سازی رخداد پدیده ها در مقیاس های بسیار متفاوت (مثل استخراج نفت، که جریان در تراز سوراخ منفرد بر رفتار کل مخزن تاثیر می گذارد)، حضور فصل مشترک آشفته (مثل امواج سطحی روی یک لایه نازک در حال ریزش، قطره یا حباب بسیار تغییر شکل پذیر)، آشفته گی، و موارد دیگر.

این پیچیدگی به شکل قابل توجهی سودمندی روش های کاملاً تحلیلی را محدود می کند. برای مثال، حتی برای جریان حول اجسام با شکل ساده همچون کره ها، بسیاری از نتایج تحلیلی به اعداد رینولدز بسیار کوچک و یا بسیار بزرگ محدود می شود. وضعیت بسیار عادی و جالب با اعداد رینولدز متوسط می تواند به سختی با این ابزار بررسی شود. وقتی دو جسم یا بیشتر متقابلاً بر هم اثر گذارند یا جریان محصور شده ساده نیست، قدرت روش های تحلیلی کاهش می یابد.

در آزمایشگاه، ممکن است ایجاد یک آزمایش جریان چند فازی با درجه کنترل لازم مشکل باشد: شکست قطره در جریان آشفته یا ویژگی دقیق حباب یا توزیع اندازه قطره ممکن است مثال هایی از این وضعیت باشند. به علاوه، بسیاری از روش های آزمایشگاهی تولید شده برای جریان تک فازی با مشکلات جدی در توسعه شان به سیستم های چند فازی روبرو هستند. برای مثال، حتی در کسرهای حجمی با در صد کم، جریان حبابی ممکن است تقریباً برای تابش نور مات باشد بنابراین تجسم دیداری مسئله ساز خواهد شد. دسته بندی کردن ذرات معلق در جریان آشفته به جزئیات مقیاس کوچک که ممکن است حل آنها مشکل باشد وابسته است.

در این وضعیت، شبیه سازی عددی ابزاری ضروری برای بررسی جریان چندفازی می شود. در تعداد معدودی از حالت ها، محاسبات می تواند علاوه بر آزمایش، مسائل کاربردی واقعی را که خودشان به شبیه سازی عددی مستقیم معطوف می شوند (مثل جریان در تجهیزات ریز سیال^۱) و یا برای مسائلی

^۱ microfluidic devices

که برای آنها مدل های ریاضی به اندازه کافی قابل اعتماد وجود دارد، حل نماید. اما، در بیشتر موارد، محاسبات تنها ابزار موجود برای تحقیق در زمینه های فیزیکی بحرانی وضعیت های مورد نظر است برای مثال قانون گرانش، یا کشش سطحی که می تواند با مقادیر اختیاری که با آزمایشات فیزیکی دست نیافتنی است منطبق باشد.

علاوه بر این، پیچیدگی جریان های چندفازی اغلب به کاهش در جزئیات برای مثال با کمک معادلات متوسط گیری شده، نیاز دارد و فرمول بندی های چنین مدل های ساده شده ای می تواند به مقدار زیادی از دیدگاه نتایج محاسباتی مفید باشد. دهه اخیر ارتقا توانمندی های محاسباتی قدرتمند دیده می شود که نقطه تحولی در تحقیقات جریان چندفازی را نشان می دهد [PROSPERETTI 2007].

رژیم های جریان چندفازی

رژیم های جریان چندفازی می تواند به چهار نوع دسته بندی شود. جریان های گاز-مایع یا مایع-مایع، جریان های جامد-گاز، جریان های جامد-مایع، جریان های سه فازی

جریان های گاز-مایع یا مایع-مایع

رژیم های ذیل جریان های گاز-مایع یا مایع-مایع هستند.

- جریان حبابی: این نمونه جریان گاز پراکنده^۱ یا حباب های سیال در سیال پیوسته است.
- جریان قطره ایی: این نمونه جریان قطرات سیال پراکنده در گاز پیوسته است.
- جریان اسلاگ^۲: این نمونه جریان حباب های درشت در سیال پیوسته است.

^۱ discrete fluid

^۲ Slug flow

- جریان سطح آزاد/مطبق^۱: این نمونه جریان سیال های مخلوط نشدنی جدا شده با فصول مشترک واضح است. شکل ۱-۳ را برای مشاهده این رژیم ها ببینید.

جریان های جامد-گاز

رژیم های زیر جریان های جامد-گاز هستند.

- جریان مملو-ذرات: این نمونه جریان ذرات پراکنده در گاز پیوسته است.
- انتقال هوای فشرده: این نمونه الگویی از جریان است که به فاکتورهایی از جمله میزان جامدات، اعداد رینولدز، و خصوصیات ذرات وابسته است. الگوهای معمول جریان توده شن، جریان اسلاگ، بسترهای توده ای، جریان همگن هستند.
- بستر فلودایز شده: این نمونه شامل سیلندر قائم حاوی ذرات است که در آن گاز از میان توزیع کننده پخش می شود. گاز در حال بلند شدن از بستر، ذرات را معلق می کند. بسته به نرخ جریان گاز، حبابها ظاهر شده و از میان بستر بلند می شوند و اختلاط را در بستر افزایش می دهند. برای دیدن این رژیم ها شکل ۱-۳ را ببینید.

جریان های مایع-جامد

رژیم های زیر جریان های مایع-جامد هستند.

- جریان دوغاب: این جریان انتقال ذرات در مایعات است. رفتار اصلی جریان های جامد-مایع با خصوصیات مرتبط ذرات جامد و مایع تغییر می کنند. در جریان های دوغابی، عدد استوکس کمتر از یک است. در قسمتهای بعدی عدد استوکس شرح داده می شود. زمانی که عدد استوکس بیشتر از یک است، مشخصات جریان روان مایع-جامد^۲ است.

^۱ Stratified/free-surface flow

^۲ liquid-solid fluidization

• انتقال هیدرولیکی^۱: این نمونه ذرات جامد پخش شده چگال در مایع پیوسته را شرح می دهد.

• رسوب گذاری: این نمونه ستون بلندی را که در ابتدا حاوی مخلوط ذرات یکنواخت پخش شده است را توصیف می کند. در کف سیستم، ذرات آرام به پایین حرکت خواهند کرد و لایه رسوب را شکل می دهند. در بالای ظرف، فصل مشترک واضحی ظاهر خواهد شد و در وسط ناحیه ته نشینی ثابتی وجود خواهد داشت. برای دیدن این رژیم ها شکل ۱-۳ را ببینید.

جریان های سه فازی

جریان های سه فازی ترکیبی از سایر رژیم های جریان ذکر شده در بخش های قبلی هستند.



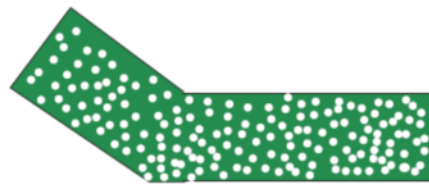
slug flow



bubbly, droplet, or particle-laden flow



stratified/free-surface flow



pneumatic transport, hydrotransport, or slurry flow



sedimentation



fluidized bed

شکل ۳-۱. رژیم های جریان چندفازی بر گرفته از راهنمای نرم افزار فلوئنت

مثال هایی از سیستم های چندفازی

- مثال های مشخصی از هر یک از رژیم های توصیف شده در بخش قبل، رژیم های جریان چندفازی در زیر آورده شده اند.
- مثال هایی از جریان حبابی شامل جاذب ها، هوادهی، پمپ های بالابرنده هوا، کاپیتاسیون، تبخیر کننده ها، شناور سازی، سایش دهنده ها می شوند.
- مثال هایی از جریان قطره ایی شامل مبدل ها، محفظه های احتراق، پمپ ها حرارتی، خشک کننده ها، تبخیر، خنک کننده های گازی، و سایش دهند ها می شوند.

- مثال هایی از جریان اسلاگ شامل حرکت حباب های بزرگ در لوله ها یا تانک ها می شود.
- مثال هایی از جریان سطح آزاد/مطبق شامل لجن شویی^۱ در سیستم های جداکننده دریایی و جوشش و تغلیظ در راکتورهای هسته ای می شود.
- مثال هایی از جریان مملو ذره شامل جداکننده های سیکلونی^۲، ابزار دسته بندی هوا، جمع کننده های غبار، و جریان های محیط زیستی مملو-غبار می شود.
- مثال هایی از انتقال هوای فشرده شامل انتقال سیمان، دانه ها، و پودر فلزات می شود.
- مثال هایی از بستر فلودایز شده شامل راکتورهای بستر روان شده و بستر های روان شده چرخان می شود.
- مثال هایی از جریان دوغابی شامل انتقال دوغاب و عملیات های معدنی می شود.
- مثال هایی از انتقال هیدرولیکی شامل عملیات های معدنی و سیستم های سیال شیمیایی- فیزیکی و طبیعی می شود.
- مثال هایی از رسوب گذاری شال عملیات معدنی می شود.

۳-۲-۳. انتخاب مدل چندفازی متداول

اولین گام در حل هر مسئله چند فازی مشخص کردن این است که کدامیک از رژیم های فوق با رژیم تحت بررسی شباهت دارد و بدین ترتیب راهنمایی هایی برای مدل سازی فراهم می شود و همچنین مشخص می گردد چطور می توان درجه تداخل بین وجهی برای جریان های حاوی حباب ها، قطرات، یا ذرات، و مدل مناسب برای مقادیر متفاوت تداخل را تعیین نمود.

^۱ sloshing

^۲ cyclone separators

تقریب های مدل چندفازی

پیشرفت در مکانیک سیالات محاسباتی، اساسی را برای پیش بینی حرکت های جریانات چندفازی ایجاد می نماید. در حال حاضر دو تقریب برای محاسبه عددی جریانات چندفازی وجود دارد: تقریب اولر-لاگرانژ^۱ و تقریب اولر-اولر^۲.

تقریب اولر-لاگرانژ

فاز سیال به شکل یک پیوستگی با حل معادلات ناویر-استوکس متوسط زمانی رفتار می کند. در حالیکه فاز پراکنده با ردیابی تعداد زیادی از ذرات، حباب ها و یا قطرات در میدان جریان محاسباتی حل شده است. فاز پراکنده می تواند مومنتوم، جرم و انرژی را با فاز سیال مبادله نماید.

فرض اساسی در نظر گرفته شده در این مدل آن است که فاز دوم پراکنده کسر حجمی کمی را اشغال می نماید، اگرچه بار جرمی بالا $\left(\dot{m}_{particle} \geq \dot{m}_{fluid} \right)$ مورد قبول است. مسیر ذره یا قطره به صورت منفرد در بازه های مشخص در حین محاسبه فاز سیال محاسبه می شوند. این امر مدل مناسب برای مدل سازی خشک کننده های افشانه ای^۳، سوختن سوخت مایع و ذغال، و برخی جریان های مملو-ذرات را می سازد، اما برای مدل سازی مخلوط های مایع-مایع، بسترهای فلودایز شده، یا هر نوع کاربردی که کسر حجمی فاز دوم قابل چشم پوشی نیست نامناسب است.

تقریب اولر-اولر

در تقریب اولر-اولر، فازهای متفاوت به لحاظ ریاضی به شکل پیوستگی های درهم نفوذ کننده رفتار

^۱ Euler-Lagrange approach

^۲ Euler-Euler approach

^۳ spray dryers

می کنند. از آنجایی که حجم یک فاز نمی تواند بوسیله فازهای دیگر اشغال شود، مفهوم کسر حجمی فاز را تعریف شده است. این کسرهای حجمی فرض می شود توابع پیوسته ایی از مکان و زمان باشند و مجموعشان برابر یک است. معادلات بقا برای هر فاز برای بدست آوردن گروهی از معادلات استخراج شده اند، به گونه ایی که ساختار مشابهی برای همه فازها دارند. این معادلات با فراهم نمودن روابط ترکیبی که از اطلاعات تجربی بدست آمده اند و یا در حالت جریان دانه ایی، با کاربرد تئوری جنبشی، بسته می شوند.

در حال حاضر سه مدل چندفازی اولر-اولر به شکل مرسوم وجود دارند: مدل حجم سیال^۱، مدل مخلوط^۲، و مدل اولرین^۳.

مدل حجم سیال

مدل VOF روش رهگیری سطحی به کارگرفته شده برای مش اولرین ثابت است. این روش برای دو سیال مخلوط نشدنی و یا بیشتر از دو سیال طراحی شده است به نحوی که موقعیت فصل مشترک بین سیالات جالب توجه است. در مدل VOF، گروه منفردی از معادلات مومنتوم بوسیله سیالات به اشتراک گذاشته می شوند و کسر حجمی هر فاز از سیالات در هر سلول محاسباتی در سراسر دامنه دنبال می شود. کاربردها مدل VOF شامل جریان های مطابق^۴، جریان های سطح-آزاد، پر شدگی^۵،

^۱ Volume of fluid (VOF) model

^۲ Mixture model

^۳ Eulerian model

^۴ Stratified flows

^۵ Filling

لجن شویی^۱، حرکت حباب های بزرگ در مایع، حرکت مایع پس از شکست سد، پیش بینی جدایش جت^۲ (کشش سطحی)، و ردیابی دائمی یا گذرای هر فصل مشترک گاز-مایع می شود.

مدل مخلوط

مدل مخلوط برای دو فاز و یا بیشتر از دو فاز طراحی شده است. مانند مدل اولرین، فازها به شکل پیوستگی های درهم نفوذ کننده رفتار می کنند. مدل مخلوط برای معادله مومنتوم مخلوط حل می شود و سرعت های نسبی برای توصیف فازهای پراکنده تعیین می شوند. کاربردهای مدل مخلوط شامل جریان های مملو-ذرات با بار سبک، جریان های حبابی، رسوب گذاری، و جداکننده سیکلونی می شود. مدل مخلوط همچنین می تواند بدون سرعت های نسبی برای فازهای پراکنده برای مدل کردن جریان چندفازی همگن به کار گرفته شود.

مدل اولرین

مدل اولرین مدل چندفازی بسیار پیچیده است. این مدل گروهی از معادلات مومنتوم و پیوستگی را برای هر فاز حل می کند. اتصال در ضرایب انتقال بین وجهی و فشار ایجاد می شود. رفتاری که در این اتصال به کار گرفته می شود به نوع فاز های مورد نظر بستگی دارد، جریان های دانه ایی (جامد-سیال) به شکل متفاوتی نسبت به جریان های غیر دانه ایی (سیال-سیال) به کار گرفته می شود. برای جریان های دانه ایی، خصوصیات از کاربرد تئوری جنبشی بدست آمده اند. انتقال مومنتوم بین فازها همچنین به نوع مخلوط مدل شده بستگی دارد. کاربردهای مدل چندفازی اولرین شامل ستون های حبابی، رایزرها، سوسپانسیون ذرات، و بسترهای فلودایز شده می شود.

مقایسه مدل ها [Fluent 2006]

^۱ Sloshing

^۲ Jet breakup

به طور کلی توصیه شده مدل مناسب را براساس راهنمایی های ذیل انتخاب کنید.

- برای جریان های حبابی، قطره ایی، و مملو-ذرات که در آن فاز ها مخلوط می شوند و یا کسر های حجمی فاز پراکنده بیشتر از ۱۰٪ است، مدل مخلوط و هم مدل اولرین را استفاده کنید.
- برای جریان های اسلاگ، مدل VOF را استفاده کنید.
- برای جریان های مطبق و سطح آزاد، مدل VOF را انتخاب کنید.
- برای انتقال هوای فشرده، مدل مخلوط را برای جریان هموژن یا مدل اولرین را برای جریان دانه ایی استفاده کنید.
- برای بستر فلودایز شده، مدل اولرین را برای جریان دانه ایی استفاده کنید.
- برای جریان دوغابی و انتقال هیدرولیکی، مدل مخلوط و یا اولرین را استفاده کنید.
- برای رسوب گذاری، مدل اولرین را استفاده کنید.
- در حالت کلی، جریان های چند فاز پیچیده که رژیم های جریان ترکیبی را در بر می گیرند، وضعیتی از جریان را که مهم تر است انتخاب کنید، و مدلی که برای آن وضعیت جریان مناسب تر است انتخاب کنید. توجه کنید که دقت نتایج به خوبی جریان هایی که فقط یک رژیم جریان را شامل می شوند نخواهد بود، زیرا مدلی که شما استفاده می کنید برای بخشی از جریانی که مدل می کنید صحیح است.

همانطور که در این بخش بحث شد، مدل VOF برای جریان های مطبق یا سطح-آزاد مناسب است و مدل های مخلوط و اولرین برای جریان هایی که در آنها فاز ها مخلوط یا جدا می شوند و یا کسر های فازی بیش از ۱۰٪ مناسب هستند.

برای انتخاب بین مدل مخلوط و مدل اولرین، شما باید توضیحات ذیل را در نظر بگیرید.

- اگر توزیع گسترده ای از فازهای پراکنده وجود داشته باشد (یعنی اگر ذرات در اندازه متفاوتند و ذرات درشت از میدان جریان اولیه جدا نمی شوند)، مدل مخلوط ممکن است توجیه (یعنی

به لحاظ محاسباتی هزینه کمتر) داشته باشد. اگر فازهای پراکنده فقط در بخش هایی از دامنه متمرکز شود، باید در عوض مدل اولرین استفاده کنید.

- اگر قوانین دراگ بین فازی که برای سیستم شما قابل استفاده هستند در دسترسند، مدل اولرین معمولاً نتایج دقیق تری نسبت به مدل مخلوط فراهم می نماید. اگرچه شما قوانین دراگ مشابهی برای مدل مخلوط می توانید به کار برید، برای شبیه سازی اولرین غیر دانه ایی، اگر قوانین دراگ بین وجهی شناخته شده نیستند یا کاربریشان برای سیستم شما مشکوک است، مدل مخلوط ممکن است انتخاب بهتری باشد. برای بسیاری از حالت ها با ذرات کروی، قانون اسپیلر-نومن بسیار کافی است.

- اگر شما بخواهید مدل ساده تری، که سختی محاسباتی کمتری نیاز دارد، حل کنید، مدل مخلوط می توانید انتخاب بهتری باشد زیرا تعداد معادلات کمتری را در مقایسه با مدل اولرین حل می کند. اگر دقت بسیار مهم تر از سختی محاسباتی است، مدل اولرین انتخاب بهتری است. به خاطر داشته باشید، که پیچیدگی مدل اولرین می تواند آن را نسبت به مدل مخلوط به لحاظ محاسباتی ناپایدار نماید.

راهنمایی دقیق تر [Fluent 2006]

برای جریان های مطبق و اسلاگ، انتخاب مدل VOF، سر راست است. انتخاب مدل برای سایر انواع جریان ها زیاد سرراست نیست. به عنوان راهنمایی کلی، الگوهایی وجود دارند که به شناخت مدل چندفازی مناسب برای جریان های دیگر کمک می کنند: بار ذره ایی β ، و عدد استوکس St (توجه داشته باشید کلمه ذره در این بخش برای اشاره به ذره، قطره، حباب استفاده شده است).

اثر بار ذره ایی

بار ذره ایی اثر بزرگی بر عکس العمل بین فازی دارد. بار ذره ایی به شکل ضریب چگالی جرمی فاز پراکنده (d) به ضریب چگالی جرمی فاز حامل (c) تعریف می شود:

$$\beta = \frac{\alpha_d \rho_d}{\alpha_c \rho_c} \quad \text{معادله ۱۶-۳}$$

α_d کسر حجمی فاز گسسته و α_c کسر حجمی فاز پیوسته و ضریب چگالی ماده عبارتست از:

$$\gamma = \frac{\rho_d}{\rho_c} \quad \text{معادله ۱۷-۳}$$

برای جریان های گاز-جامد بیشتر از ۱۰۰۰، برای جریان های مایع-جامد در حدود ۱، و برای جریان های گاز-مایع کمتر از ۰,۰۰۱ است.

استفاده از این پارامترها تخمین فاصله متوسط بین ذرات منفرد فاز ذره ایی را ممکن می سازد. روشی برای تخمین این فاصله بوسیله کرو و همکارانش^۱ مفروض است [Crowe 1998].

$$\frac{L}{d_d} = \left(\frac{\pi}{6} \frac{1 + \kappa}{\kappa} \right)^{1/3} \quad \text{معادله ۱۸-۳}$$

که $\kappa = \frac{\beta}{\gamma}$ و d_d قطر ذره فاز گسسته. اطلاعات در خصوص این پارامترها برای مشخص نمودن نحوه

برخورد با فاز پراکنده مهم هستند. برای مثال، برای جریان ذره-گاز با بار ذره ایی ۱، فضای بین ذره

ایی $\frac{L}{d_d}$ در حدود ۸ است، بنابراین ذره می تواند به شکل منفرد در نظر گرفته شود (یعنی بار ذره ایی

خیلی کم).

بسته به بار ذره ایی، درجه اتصال بین فازها می تواند به سه گروه ذیل دسته بندی شود:

^۱ Crowe et al

- برای بار خیلی کم، اتصال بین فازها یکطرفه است (یعنی حامل سیال از طریق دراگ و آشفته‌گی بر ذرات تاثیر می‌گذارد، اما ذرات بر حامل سیال بی‌اثرند). روش‌های فاز گسسته^۱، مخلوط، و اولرین همگی می‌توانند به درستی با این نوع کار کنند. از آنجایی که مدل اولرین بسیار پرهزینه است، مدل فاز گسسته یا مخلوط پیشنهاد شده است.
- برای بار متوسط، اتصال دو طرفه است (یعنی حامل سیال بر فاز ذره از طریق دراگ و آشفته‌گی تاثیر می‌گذارد، اما در مقابل ذرات بر حامل سیال از طریق کاهش مومنوم متوسط و آشفته‌گی تاثیر می‌گذارند). روش‌های فاز گسسته، مخلوط و اولرین در این حالت همگی قابل استفاده‌اند، اما شما لازم است جهت تصمیم‌گیری در مورد اینکه کدامیک از مدل‌ها مناسب‌تر هستند فاکتورهای دیگر را در نظر بگیرید. برای اطلاع در مورد استفاده از عدد استوکس بخش زیر را به عنوان راهنمایی ببینید.
- برای بار بالا، اتصال دو طرفه به همراه فشار ذره و تنش‌های لزج ناشی از حضور ذرات وجود دارد (اتصال چهار سویه). تنها مدل اولرین با این نوع از مسائل به درستی کار می‌کند.

اهمیت عدد استوکس

برای سیستم‌هایی با بار ذره‌ای متوسط، تخمین مقدار عدد استوکس می‌تواند شما را در انتخاب مناسب‌ترین مدل کمک کند. عدد استوکس می‌تواند به عنوان رابطه بین زمان پاسخ ذره و زمان پاسخ سیستم تعریف شود:

$$St = \frac{\tau_d}{t_s} \quad \text{معادله ۱۹-۳}$$

^۱ discrete phase

بر اساس طول مشخصه (L_s) و سرعت مشخصه (V_s) سیستم تحت بررسی است:

$$\tau_d = \frac{\rho_d d_d^2}{18\mu_c} \quad t_s = \frac{L_s}{V_s}$$

برای $St \ll 1$ ذره به دقت جریان را دنبال خواهد کرد و هر سه مدل (فاز گسسته، مخلوط، یا اولرین) قابل استفاده است، بنابراین شما می توانید روش کم هزینه تر و یا مناسب تر را با در نظر گرفتن سایر فاکتورها انتخاب کنید. برای $St > 1$ ، ذرات به طور مستقل در جریان حرکت خواهند کرد و هر یک از مدل های فاز گسسته یا مدل اولرین قابل کاربرد است. برای $St \approx 1$ دوباره هر سه مدل قابل استفاده است، شما می توانید کم هزینه ترین یا مناسب ترین را با در نظر گرفتن سایر فاکتورها انتخاب کنید.

به عنوان مثال

برای یک دسته بندی کننده زغال با طول مقیاس ۱ متر و سرعت مشخصه ۱۰ متر بر ثانیه، عدد استوکس برای ذرات با قطر ۳۰ میکرون ۰,۰۴ است، اما برای ذرات با قطر ۳۰۰ میکرون ۴ است. در حال حاضر مدل مخلوط برای حالت اخیر قابل استفاده نیست.

برای حالت عملیات معدنی، در یک سیستم با طول مشخصه ۰,۲ متر و سرعت مشخصه ۲ متر بر ثانیه، عدد استوکس برای ذرات با قطر ۳۰۰ میکرون ۰,۰۰۵ است. در این حالت، شما می توانید بین مدل های مخلوط و اولرین انتخاب کنید. (کسرهای حجمی برای مدل فاز گسسته بسیار بالاست، همانطور که در ادامه اشاره شده است.)

سایر ملاحظات

به خاطر داشته باشید که استفاده از مدل فاز گسسته به مقادیر کسر حجمی پایین محدود شده است. همچنین، مدل فاز گسسته تنها برای مدل هایی چند فازی است که در شبیه سازی به شما امکان مشخص نمودن توزیع ذره یا انتخاب مدل احتراق را می دهد، می باشد.

برنامه زمانی در جریان چندفازی

در بسیاری از کاربردهای چندفازی، فرایند به لحاظ مکانی و همچنین زمانی ممکن است متغیر باشد. به جهت مدل کردن دقیق جریان چندفازی، برنامه گسسته سازی زمان و مکان با مرتبه بالا لازم است. در برنامه فلونتت علاوه بر برنامه زمانی مرتبه اول، برنامه زمانی مرتبه دوم در مدل های چندفازی مخلوط و اولرین و در برنامه ضمنی VOF در دسترس است. برنامه زمانی مرتبه دوم با برنامه صریح VOF نمی تواند استفاده شود.

برنامه زمانی مرتبه دوم با همه معادلات انتقال، شامل معادلات مومنتوم فازی مخلوط، معادلات انرژی، معادلات انتقال مکانی، معادلات آشفتگی، معادلات کسر حجمی فازی، معادله اصلاح فشار و مدل جریان دانه ایی سازگار است.

۳-۳-۳. تئوری مدل مخلوط

مرور و محدودیت های مدل مخلوط

مرور

مدل مخلوط مدل چندفازی ساده شده ایی است که می تواند برای مدل کردن جریان های چندفازی که فازها با سرعت متفاوت حرکت می کنند، اما با فرض تعادل موضعی در مقیاس طولی کوتاه^۱ استفاده شود. اتصال بین فازها باید قوی باشد. مدل مخلوط همچنین می تواند برای مدل کردن جریان های چند فازی هموزن با اتصال خیلی قوی و حرکت فازها با سرعت یکسان استفاده شود. به علاوه، مدل مخلوط می تواند برای محاسبه لزجت غیر نیوتنی استفاده شود.

^۱ short spatial length scales

مدل مخلوط می تواند n فاز را (سیال یا ذره) با حل معادلات مومنتوم، پیوستگی و انرژی برای مخلوط، معادلات کسر حجمی برای فازهای دوم، و عبارات جبری برای سرعت های نسبی مدل نماید. کاربردهای خاص شامل رسوب گذاری، جداکننده سیکلونی، جریان های مملو-ذره با بار کم، و جریان های حبابی که کسر حجمی گاز کم می ماند؛ می شود.

مدل مخلوط جایگزین خوبی برای مدل چندفازی اولرین کامل در چندین حالت است. مدل چند فازی کامل ممکن نیست عملی شود زمانی که توزیع گسترده فاز ذرات وجود دارد یا زمانی که قوانین بین فازی ناشناخته اند و یا اطمینانشان زیر سوال باشد. مدل ساده تر مانند مدل مخلوط می تواند به خوبی مدل چندفازی کامل اجرا شود درحالیکه حل تعداد کمتری از متغیر ها در مقایسه با مدل چند فازی کامل مد نظر است.

مدل مخلوط به شما امکان انتخاب فاز های دانه ایی و محاسبه همه خواص فاز های دانه ایی را می دهد. این کار برای جریان هایی مایع-جامد عملی است [Fluent User Guide].

در مخلوط چند فازی، نیرو های گرانش و گریز از مرکز موجب اختلاف سرعت می شوند که باید در نظر گرفته شوند. گروهی از مدل ها بر اساس فرض تعادل موضعی توسعه یافته اند. بسته به فرمول بندی صریح معادلات استفاده شده برای تخمین اختلاف سرعت (و بر اساس تقدم شخصی تهیه کننده)، این مدل، مدل شار-رانس^۱ [Zuber & Findlay 1965]، مدل مخلوط^۲ [Ishii 1975]، مدل لغزش-جبری^۳ [Pericleous & Drake 1986]، تقریب یا مدل سوسپانسیون^۴ [Verloop 1995]، مدل

^۱ drift-flux model

^۲ mixture model

^۳ algebraic-slip model

^۴ suspension model/approach

پخشی^۱ [Ungarish 1993, Ishii 1975]، مدل تعادل-موضعی^۲ [Johansen 1990] خوانده شده است. این مدل به فرم معادله پیوستگی برای فاز مخلوط و یک معادله مومنتوم، که حاوی یک ترم اضافی معرف اثر اختلاف سرعت بین فازهاست مفروض است. مدلی بر اساس توازن نیرو برای فاز پراکنده برای محاسبه سرعت نسبی مورد نیاز است.

فرم معادلات ترکیبی برای محاسبه سرعت های نسبی در مدل های مخلوط متفاوت، متغیر است. فرض اصلی در این فرمولبندی ها آن است که تعادل موضعی روی مقیاس های طولی ویژه کوتاه رخ دهد. به علت نیاز به کوپلینگ بسیار قوی بین فازها، مدل مخلوط بیشتر برای مخلوط ذرات-مایع مطالعه می شود تا برای مخلوط ذرات-گاز [Manninen 1996].

محدودیت ها

محدودیت های زیر در مدل مخلوط برنامه فلوئنت به کار گرفته می شوند.

- شما باید از حل کننده با پایه فشار^۳ استفاده کنید. مدل مخلوط با حل کننده با پایه چگالی در دسترس نیست.
- تنها یک فاز می تواند به عنوان گاز کامل تراکم پذیر تعریف شده باشد. در استفاده از مایعات تراکم پذیر با استفاده از توابع معرفی شده کاربر محدودیتی وجود ندارد.
- جریان متناوب در امتداد جریان با نرخ جریان جرمی معلوم نمی تواند مدل شود زمانیکه مدل مخلوط استفاده می شود (کاربر برای تعیین افت فشار مجاز است).
- انجماد و ذوب نمی تواند در ارتباط با مدل مخلوط مدل شده باشد.

^۱ diffusion model

^۲ local-equilibrium model

^۳ pressure-based solver

- مدل آشفته LES نمی تواند با مدل مخلوط استفاده شود اگر مدل کاویتاسیون^۱ فعال شده است.

- مدل مخلوط نمی تواند برای جریان های غیر لزج استفاده شود.

- مدل انتقال پوسته ایی برای دیواره ها نمی تواند با مدل مخلوط استفاده شود.

مدل مخلوط، مانند مدل VOF از تقریب تک-سیال استفاده می کند. مدل مخلوط با مدل VOF در دو مورد متفاوت است.

مدل مخلوط به فازها امکان تداخل در هم را می دهد. بنابراین کسرهای حجمی α_p و α_q برای حجم کنترل بسته به فضای اشغال شده توسط فازهای q و p می تواند برابر هر مقداری بین ۰ تا ۱ باشد.

مدل مخلوط با استفاده از مفهوم سرعت های لغزشی به فازها امکان حرکت با سرعت های متفاوت را می دهد. (توجه داشته باشید همچنین می توان فرض نمود که فازها با سرعت های یکسان حرکت می کنند، و بنابراین مدل مخلوط به مدل چند فاز می همگن کاهش می یابد.)

مدل مخلوط معادله پیوستگی را برای مخلوط، معادله مومنتوم را برای مخلوط، معادله انرژی را برای مخلوط و معادله کسر حجمی را برای فازهای دوم و همچنین عبارت های جبری ایی را برای سرعت نسبی (اگر فازها در سرعت های مختلف حرکت کنند) حل می کند.

معادلات پایه

معادلات متوسط گیری شده جریان چند فاز می توانند به روش های متعددی نوشته شوند. معادلات ممکن است با متوسط گیری زمانی، متوسط گیری مجموعی یا هر ترکیبی از این ها استخراج شوند. در همه روش ها، معادلات حاصل اساساً حاوی ترم های مشابه هستند. انحراف از سرعت های متوسط با

^۱ cavitation model

جملات انتقال مومنتوم شبه آشفته متناسب با جملات آشفته در معادلات مومنتوم تک فازی توصیف شده است. تشکیل جملات آشفته بخش ضروری همبست معادلات است.

معادلات میدانی در زیر به فرم کلی مفروض اند. این معادلات بعداً در این فصل به عنوان اصولی برای استخراج معادلات مدل مخلوط مورد استفاده اند. ما تحلیل هایمان را روی مکانیزم سیستم چند فازی محدود کردیم. بنابراین، ما هیچ رابطه ترمودینامیکی را در نظر نگرفتیم.

دو تعریف متفاوت از سرعت متوسط به طور معمول در استخراج معادلات جریان چند فازی مورد استفاده است. اگر ما سرعت لحظه ایی محلی فاز k را با v_{Ik} نشان دهیم، سرعت متوسط می تواند به شکل $v_k = \bar{v}_{Ik}$ تعریف شود. علامت اوربار یک متوسط گیری از بین برخی روش های متوسط گیری (حجمی، گام-زمانی، گروهی از آزمایشات، گروهی از ذرات) را نشان می دهد. یکی از تعاریف برای سرعت متوسط بر اساس درصد وزنی سرعت بر اساس چگالی موضعی ρ_{Ik} عبارتست از:

$$v_k = \frac{\overline{\rho_{Ik} v_{Ik}}}{\overline{\rho_{Ik}}} = \frac{\overline{\rho_{Ik} v_{Ik}}}{\rho_k} \quad \text{معادله ۲۰-۳}$$

ρ_k چگالی متوسط ماده است. این متوسط گیری وزنی [Favre averaging, see Ishii 1975] فرمی ساده از معادله پیوستگی را می دهد. در سراسر این گزارش u_k سرعت متوسط گیری شده فاوور^۱ را نشان می دهد.

معادلات توازن متوسط گیری شده فاوور بوسیله چندین مولف [Ishii 1975, Ishii & Mishima 1984, Ahmadi & Ma 1990, Hwang 1989, Gidaspow 1994] ارائه شده اند. معادلات پیوستگی و مومنتوم را برای هر فاز k به شکل زیر می نویسیم.

$$\frac{\partial}{\partial t}(\alpha_k \rho_k) + \nabla \cdot (\alpha_k \rho_k v_k) = \Gamma_k \quad \text{معادله ۲۱-۳}$$

^۱ Favre-averaged velocity

$$\frac{\partial}{\partial t}(\alpha_k \rho_k v_k) + \nabla \cdot (\alpha_k \rho_k v_k v_k) =$$

$$-\alpha_k \nabla p_k + \nabla \cdot \left[\alpha_k \mu_k \left(\frac{\partial v_i}{\partial x_j} + \frac{\partial v_j}{\partial x_i} \right) \right] + \alpha_k \rho_k \bar{g} + \bar{F}_k + \nabla \cdot (-\alpha_k \rho_{lk} \overline{v'_i v'_j}) \quad \text{معادله ۲۲-۳}$$

α_k کسر حجمی فاز k است. ترم Γ_k نرخ تولید جرم فاز k در فصل مشترک و \bar{F}_k منبع مومنتوم متوسط در فصل مشترک برای فاز k است. جمله آخر تانسور تنش آشفته است.

$$\tau_{Tk} = -\overline{\rho_{lk} v'_i v'_j} \quad \text{معادله ۲۳-۳}$$

$v'_i = v_i - \bar{v}_i$ مولفه نوسانی سرعت است یعنی

معادله ۲۱-۳ حاوی ترم معرف پخش آشفته ناشی از تغییرات غلظت نیست. این نتیجه متوسط گیری وزنی-جرمی است که همه روابط نوسانی از جنس $\overline{\rho_{lk} v'_i}$ را حذف می کند.

در این حالت، همه جملات آشفته تنها در معادلات مومنتوم و نه در معادله پیوستگی ظاهر می شوند. در معادلات بر اساس سایر متدهای متوسط گیری، ترم های متناظر همیشه در معادله پیوستگی بدست آمده اند. سو در سال ۱۹۹۰ [Soo 1990] متوسط گیری حجمی بدون متوسط گیری جرمی-وزنی را به کار گرفت. او جملات نوسانی را در معادله پیوستگی فاز پراکنده بدست آورد و آن را به فرم ذیل نوشت.

$$\frac{\partial}{\partial t}(\alpha_k \rho_k) + \nabla \cdot (\alpha_k \rho_k \overline{v_{lk}}) = \Gamma_k + \nabla \cdot (D_{Tk} \rho_k \nabla \alpha_k) \quad \text{معادله ۲۴-۳}$$

در اینجا D_{Tk} ضریب پخش آشفته است و معادله ترکیبی ذیل مورد استفاده است.

$$D_{Tk} \rho_k \nabla \alpha_k = \alpha_k \overline{\rho_{lk} v'_i} \quad \text{معادله ۲۵-۳}$$

در فرمولبندی سو ۱۹۹۰، ترم تنش آشفته در معادله مومنتوم بسیار پیچیده می شد. داریم.

$$\tau_{Tk} = -\overline{\rho_{lk} v'_i v'_j} - 2\overline{\rho_{lk} v'_i v_{lk}} \quad \text{معادله ۲۶-۳}$$

معادله ۳-۲۱ و معادله ۳-۲۲ به راحتی ساده به نظر می رسند. جهت حل این معادلات، معادلات ترکیبی باید فرمولبندی شوند. نوع روابط ترکیبی بسته به تقریب متوسط گیری مورد استفاده دارد. وجود چندین نوع جریان چند فاز، استخراج روابط ترکیبی را بسیار پیچیده می سازد. لذا انواع ساده سازی ها و فرضیات در نظر گرفته شده اند. در عمل، مدل سازی چند فاز به طور معمول روابط همبست تک فاز توسعه یافته برای حالت های چند فاز را به کار می گیرد.

ساده سازی معمول در محاسبات چند فاز آن است که فرض شود فاز پراکنده شامل ذرات کروی با اندازه ذرات متوسط واحد باشد. عکس العمل بین فازهای پراکنده مختلف به دفعات صرف نظر می شوند. علاوه بر این فرضیات ساده شده ای در دیواره مورد استفاده است.

معمولا مدل های آشفته تک فاز برای در نظر گرفتن اثرات آشفتگی با اندکی اصلاحات و به خصوص با مقادیر پارامتری تقریبی برای هر مسئله خاص به کار گرفته می شوند. مدل آشفته دو معادله ای $k-\varepsilon$ بری جریان دو فاز پیشنهاد شده است [Elghobashi & Abou-Arab 1983, Mostafa & Mongia 1988, Adeniji-Fashola & Chen 1990, Tu & Fletcher 1994]. در هر حال، این مدل ها ویژه موردی خاص هستند و برای عمومیت یافتن مدل ها داده های آزمایشگاهی بیشتری مورد نیاز است. اثر ذرات روی آشفتگی فاز پیوسته به خوبی شناخته شده و ایزوتروپیک نیست از این رو به حساب آوردن آن مشکل است. در عمل اغلب صرف نظر می شود.

به طور کلی هیچ مدلی صحیحی برای همه وضعیت های چند فاز وجود ندارد. همچنین به علت پیچیدگی جریانات چند فاز، امید کمی وجود دارد که مدل های بسیار کلی بتوانند توسعه یابند. از این رو، بخش عظیمی از کار در استخراج روابط همبست بر اساس اطلاعات تجربی است. در بسیاری از حالت ها، داده های بسیار کمی برای توسعه داده های اساسی موجود به وضعیتی جدید در دسترس هستند. پیش بینی موقعیت جدید یا فرضی بنابراین مشکل است [Ishii & Mishima 1984]. اغلب منابع کامپیوتری ضعیف موجب محدودیت در استفاده از مش محاسباتی ریز و سیستم معادلات کامل

می شوند. فرم های ساده شده نیروی بین وجهی اغلب به کار گرفته شده اند. به علاوه، کاربران کدهای تجاری مشکلاتی را در به کار گرفتن روابط همبست خودشان دارند. در مدل های موجود در کدهای تجاری، اغلب فرضیات محدود کننده سخت گیرانه ایی ایجاد شده اند. فرض معمول بر آن است که ذرات به شکل کاملاً هموزن درون محدوده متوسط گیری موضعی متناظر با حجم های کنترل محاسباتی توزیع شده اند. به خصوص برای جریانات گاز-جامد، این فرضیات بندرت در شبیه سازی فرایندهای صنعتی بزرگ صحیح است.

معادله پیوستگی

از معادله ۲۱-۳ برای فاز k ، با جمع کردن روی همه فاز ها داریم:

$$\frac{\partial}{\partial t} \sum_{k=1}^n (\alpha_k \rho_k) + \nabla \cdot \sum_{k=1}^n (\alpha_k \rho_k \vec{v}_k) = \sum_{k=1}^n \Gamma_k \quad \text{معادله ۲۷-۳}$$

n تعداد فازها است. چون جرم کل ثابت است، سمت راست معادله ۲۷-۳ باید حذف شود.

$$\sum_{k=1}^n \Gamma_k = 0 \quad \text{معادله ۲۸-۳}$$

در نهایت معادله پیوستگی برای مخلوط به صورت زیر است:

$$\frac{\partial(\rho_m)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho_m \vec{v}_m) = 0 \quad \text{معادله ۲۹-۳}$$

که چگالی مخلوط و سرعت متوسط جرمی به شکل زیر تعریف می شود:

$$\rho_m = \sum_{k=1}^n \alpha_k \rho_k \quad \text{معادله ۳۰-۳}$$

$$\vec{v}_m = \frac{1}{\rho_m} \sum_{k=1}^n \alpha_k \rho_k \vec{v}_k = \sum_{k=1}^n C_k \vec{v}_k \quad \text{معادله ۳۱-۳}$$

معادله مومنتوم

معادله مومنتوم برای مخلوط می تواند به فرم زیر از جمع معادله های مومنتوم هر فاز بدست آید.

$$\frac{\partial}{\partial t} \sum_{k=1}^n \alpha_k \rho_k v_k + \nabla \cdot \sum_{k=1}^n \alpha_k \rho_k v_k v_k =$$

$$- \sum_{k=1}^n \alpha_k \nabla p_k + \nabla \cdot \sum_{k=1}^n \left[\alpha_k \mu_k \left(\frac{\partial v_i}{\partial x_j} + \frac{\partial v_j}{\partial x_i} \right) \right] + \sum_{k=1}^n \alpha_k \rho_k \bar{g} + \sum_{k=1}^n \bar{F}_k + \nabla \cdot \sum_{k=1}^n \left(-\alpha_k \rho_{lk} \overline{v'_i v'_j} \right)$$

معادله ۳۲-۳
 با استفاده از معادله ۳۰-۳ و معادله ۳۱-۳ از چگالی مخلوط ρ_m و سرعت متوسط جرمی \bar{v}_m ترم دوم معادله ۳۲-۳ می تواند به شکل زیر بازنویسی شود:

$$\nabla \cdot \sum_{k=1}^n \alpha_k \rho_k v_k v_k = \nabla \cdot (\rho_m \bar{v}_m \bar{v}_m) + \nabla \cdot \left(\sum_{k=1}^n \alpha_k \rho_k \bar{v}_{dr,k} \bar{v}_{dr,k} \right)$$

معادله ۳۳-۳
 $\bar{v}_{dr,k}$ سرعت رانشی^۱ فاز دوم k است یعنی سرعت فاز k نسبت به سرعت مرکز جرم مخلوط:

$$\bar{v}_{dr,k} = \bar{v}_k - \bar{v}_m$$

معادله ۳۴-۳
 معادله مومنتوم با متغیرهای مخلوط به فرم ذیل نوشته می شود:

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho_m \bar{v}_m) + \nabla \cdot (\rho_m \bar{v}_m \bar{v}_m) = -\nabla p + \nabla \cdot [\mu_m (\nabla \bar{v}_m + \nabla \bar{v}_m^T)] +$$

$$\rho_m \bar{g} + \bar{F} + \nabla \cdot \left(\sum_{k=1}^n \alpha_k \rho_k \bar{v}_{dr,k} \bar{v}_{dr,k} \right) + \nabla \cdot \left(-\rho_m \overline{v'_i v'_j} \right)$$

معادله ۳۵-۳
 \bar{F} نیروی حجمی، \bar{g} شتاب گرانشی و μ_m لزجت مخلوط است و عبارتست از:

$$\mu_m = \sum_{k=1}^n \alpha_k \mu_k$$

نیروی دراگ و سرعت نسبی (سرعت لغزشی) و سرعت رانشی

نیروی دراگ نیروهای اضافی روی ذره ناشی از سرعت ذره نسبت به سیال را نشان می دهد. برای یک

ذره کرووی صلب منفرد در یک سیال، نیروی دراگ F_D می تواند به شکل زیر بازنویسی شود [Clift

et al. 1978].

^۱ drift velocity

$$F_D = -\frac{1}{2} A_p \rho_c C_D |u_{Cp}| u_{Cp} - \frac{1}{2} V_p \rho_c \frac{du_{Cp}}{dt} - 6r_p^2 \sqrt{\pi \rho_c \mu_c} \int_0^t \frac{ds}{\sqrt{t-s}} ds$$

معادله ۳-۳۷

اولین ترم سمت راست دراگ لزج است. ترم دوم "جرم مجازی"^۱ است و چون شتاب ذره همیشه شتاب سیال محیطی را نیاز دارد لازم است در نظر گرفته شود. آخرین ترم، ترم تاریخچه بست^۲ است که اثر شتاب گذشته را شامل می شود. سایر نیروها از قبیل نیروهای ناشی از چرخش ذره، تغییرات غلظت و تغییرات فشار در معادله ۱۸ حذف شده اند. در مدل مخلوط ، همچنین از ترم های جرم مجازی و بست صرف نظر خواهیم کرد.

از آنجایی که یک شی و سیال نمی توانند فضای فیزیکی یکسان را همزمان اشغال نمایند، جرم شتابدار یا جرم دارای شتاب کاهنده باید مقداری از حجم سیال اطراف خود را جابه جا نماید از اینجا جرم مجازی تعریف می شود. جرم مجازی یا جرم افزوده^۳ اینرسی افزوده شده به سیستم است. برای ساده سازی می توان گفت جرم مجازی مقداری از سیال است که همراه با یک شی به مقدار متفاوت در حرکت است. هر چند در واقع کل سیال شتاب خواهد داشت. ضریب جرم اضافه شده بدون بعد، جرم اضافه شده تقسیم بر جرم سیال جابه جا شده است [Wikipedia].

سرعت نسبی یا سرعت لغزشی به صورت سرعت فاز دوم (p) نسبت به سرعت فاز اول (q) تعریف شده است:

$$\vec{v}_{pq} = \vec{v}_p - \vec{v}_q$$

معادله ۳-۳۸

کسر حجمی برای هر فاز (k) به صورت زیر است:

^۱ virtual mass

^۲ Basset history term

^۳ Added mass

$$c_k = \frac{\alpha_k \rho_k}{\rho_m} \quad \text{معادله ۳-۳۹}$$

سرعت رانشی و سرعت نسبی (\vec{v}_{pq}) به وسیله ی رابطه ی زیر با هم ارتباط می یابند:

$$\vec{v}_{dr,p} = \vec{v}_{pq} - \sum_{k=1}^n c_k \vec{v}_{qk} \quad \text{معادله ۳-۴۰}$$

معمولا سرعت نسبی و یا لغزشی یک فاز که بوسیله اختلاف چگالی ناشی شده است، به ذرات سیال نیرویی غیر از نیرویی که به سیال وارد می شود اعمال می کند. نیروی اضافی بوسیله نیروی دراگ متوازن می شود. استدلال فیزیکی برای معادله توازن با مثالی ساده نشان داده شده است. معادله تک فازی حرکت یک ذره را در سیال تحت تاثیر میدان گرانشی در نظر بگیرید. نیروی دراگ مطابق با معادله ۳-۳۷ با حذف ترم های جرم مجازی و بست در معادله ۳-۴۱ ظاهر می شود.

$$m_p \frac{dv_{pq}}{dt} = V_p \Delta \rho g - \frac{1}{2} \rho_q A_p C_D v_{pq}^2 \quad \text{معادله ۳-۴۱}$$

$\Delta \rho$ اختلاف چگالی، V_p و A_p حجم و سطح مقطع عرضی ذره و C_D ضریب دراگ است. ترم اول سمت راست معادله ۳-۴۱ بیانگر نیروی ناشی از اختلاف چگالی است. فرض بر آنست که نیروی دراگ تنها بوسیله نیروی لزجت تخمین زده شده است. اگر جرم ذره m_p کوچک باشد، ذره تا سرعت نهایی در فاصله کوتاه شتاب می گیرد. بنابراین سرعت ذره نسبت به سیال با مساوی صفر قرار دادن طرف راست معادله ۳-۴۱ بدست می آید.

$$0 = \left(\frac{4}{3} \pi \frac{d_p^3}{8} \right) \Delta \rho g - \frac{1}{2} \rho_q \left(\pi \frac{d_p^2}{4} \right) C_D v_{pq}^2 \quad \text{معادله ۳-۴۲}$$

$$\left(\frac{\pi}{6} d_p^3 \right) \Delta \rho g = 3 \mu \pi \left(\frac{C_D}{24} \left(\frac{\rho_q v_{pq} d_p}{\mu} \right) \right) v_{pq} d_p \quad \text{معادله ۳-۴۳}$$

$$f_{drag} = \frac{C_D \text{Re}}{24} \quad \text{Re} = \frac{\rho_q v_{pq} d_p}{\mu} \quad \text{معادله ۳-۴۴}$$

$$\frac{\Delta \rho g d_p^2}{18} = \mu f_{drag} \vec{v}_{pq} \quad \Rightarrow \quad \vec{v}_{pq} = \frac{\Delta \rho d_p^2}{18 \mu f_{drag}} g \quad \text{معادله ۳-۴۵}$$

$$\tau_p = \frac{\rho_p d_p^2}{18\mu_q} \Rightarrow \vec{v}_{pq} = \frac{\tau_p}{f_{drag}} \frac{\Delta\rho}{\rho_p} g \quad \text{معادله ۴۶-۳}$$

معادله ۴۶-۳ معادله جبری محاسبه سرعت لغزشی در میدان گرانشی است. این فرمول می تواند در

فرم کلی تر توسعه یابد [Manninen 1996].

به طور کلی مدل مخلوط از فرمول لغزشی جبری^۱، استفاده می کند. فرض پایه مدل مخلوط لغزش جبری آن است که برای تعیین یک رابطه جبری برای سرعت نسبی، تعادل موضعی بین فازها باید در یک مقیاس طولی مکانی کوتاه حاصل شود. در ذیل بر اساس کار مانی ان و همکارانش [Manninen 1996]، فرمول سرعت نسبی بدین شکل مفروض است.

$$\vec{v}_{pq} = \frac{\tau_p}{f_{drag}} \frac{(\rho_p - \rho_m)}{\rho_p} \vec{a} \quad \text{معادله ۴۷-۳}$$

τ_p زمان ماند ذره است.

$$\tau_p = \frac{\rho_p d_p^2}{18\mu_q} \quad \text{معادله ۴۸-۳}$$

متغیر d قطر ذرات (یا قطرات یا حباب ها) فاز دوم p ، \vec{a} شتاب ذره ایی فاز دوم است. تابع درآگ قراردادی f_{drag} از رابطه اسچیلر و نامن [Schiller 1935] بدست می آید.

$$f_{drag} = \begin{cases} 1 + 0.15 \text{Re}^{0.687} & \text{Re} \leq 1000 \\ 0.0183 \text{Re} & \text{Re} > 1000 \end{cases} \quad \text{معادله ۴۹-۳}$$

و شتاب \vec{a} بدین فرم است.

$$\vec{a} = \vec{g} - (\vec{v}_m \cdot \nabla) \vec{v}_m - \frac{\partial \vec{v}_m}{\partial t} \quad \text{معادله ۵۰-۳}$$

^۱ algebraic slip formulation

ساده ترین فرمول لغزش جبری مدل شار رانشی^۱ نامیده می شود که در آن شتاب ذره در اثر نیروی گرانش و یا نیروی گریز از مرکز بوده و زمان ماند ذره ای، با در نظر گرفتن اثر حضور ذرات دیگر اصلاح شده است.

در جریان های آشفته سرعت نسبی باید شامل یک عبارت پخشی ناشی از پخش ظاهر شده در معادله مومنوم برای فاز پراکنده باشد که با توجه به این مطلب سرعت نسبی به صورت زیر در می آید:

$$\vec{v}_{pq} = \frac{\tau_p (\rho_p - \rho_m)}{f_{drag} \rho_p} \vec{a} - \frac{v_m}{\alpha_p \sigma_D} \nabla \alpha_q \quad \text{معادله ۳-۵۱}$$

که v_m لزجت آشفتهگی مخلوط، σ_D ضریب پخش پراندتل است.

زمانیکه شما در حین انجام محاسبات چندفازی مخلوط با سرعت لغزشی هستید، شما می توانید به صورت مستقیم فرمول بندی های تابع دراگ را تعیین کنید. انتخاب های ذیل برای مدل سیال-سیال که در آن تمامی فازها به شکل مایع و یا بخار هستند، موجودند:

- اسپیلر-نامن
- مورسی الکساندر^۲
- متقارن
- ثابت
- معرفی از سوی کاربر

توجه داشته باشید که اگر سرعت لغزشی حل نشده است، مدل مخلوط به مدل چندفازی همگن کاهش می یابد. به علاوه، مدل مخلوط می تواند برای استفاده از فرمولبندی دیگری غیر از روش لغزش جبری برای سرعت لغزشی انطباق داده شود.

^۱ Drift Flux Model

^۲ Morsi-Alexander

• مدل اسپیلر و نامن

$$f_{drag} = \frac{C_D Re}{24} \quad \text{معادله ۵۲-۳}$$

که

$$C_D = \begin{cases} 24(1 + 0.15Re^{0.687})/Re & Re \leq 1000 \\ 0.44 & Re > 1000 \end{cases} \quad \text{معادله ۵۳-۳}$$

و Re عدد رینولدز نسبی است. عدد رینولدز نسبی برای فاز اول q و فاز دوم p از فرمول ذیل بدست می آید.

$$Re = \frac{\rho_q |\vec{v}_p - \vec{v}_q| d_p}{\mu_q} \quad \text{معادله ۵۴-۳}$$

عدد رینولدز برای فاز دوم p و r از فرمول زیر بدست می آید.

$$Re = \frac{\rho_{rp} |\vec{v}_r - \vec{v}_p| d_{rp}}{\mu_{rp}} \quad \text{معادله ۵۵-۳}$$

مدل اسپیلر و نامن، برای استفاده عمومی برای همه جفت های سیال-سیال فازها مورد پذیرش است.

• مدل مورسی الکساندر

$$f_{drag} = \frac{C_D Re}{24} \quad \text{معادله ۵۶-۳}$$

که

$$C_D = a_1 + \frac{a_2}{Re} + \frac{a_3}{Re^2} \quad \text{معادله ۵۷-۳}$$

متغیر Re عدد رینولدز نسبی است و از روابط فوق بدست می آید.

و a_1 تا a_3 به صورت زیر تعریف می شوند:

$$a_1, a_2, a_3 = \begin{cases} 0, 24, 0 & 0 < Re < 0.1 \\ 3.690, 22.73, 0.0903 & 0.1 < Re < 1 \\ 1.222, 29.1667, -3.8889 & 1 < Re < 10 \\ 0.6167, 46.50, -116.67 & 10 < Re < 100 \\ 0.3644, 98.33, -2778 & 100 < Re < 1000 \\ 0.357, 148.62, -47500 & 1000 < Re < 5000 \\ 0.46, -490.546, 578700 & 5000 < Re < 10000 \\ 0.5191, -1662.5, 5416700 & Re \geq 10000 \end{cases} \quad \text{معادله ۳-۵۸}$$

مدل مورسی الکساندر بسیار کامل است و تعریف تابع مکررا روی رنج گسترده ایی از اعداد رینولدز قابل تنظیم است. اما محاسبات با این مدل ممکن است در مقایسه با سایر مدل ها کمی ناپایداری ایجاد کند.

• مدل متقارن

مدل متقارن برای جریان هایی که در آن فاز دوم (پراکنده) در یک ناحیه از دامنه، به فاز اول در ناحیه دیگر تبدیل می شود، کاربرد دارد. بنابراین برای فاز پراکنده منفرد $d_p = d_q$ و سایر فرمول ها مشابه با مدل اسپیلر و نامن است. برای مثال، اگر هوا به ته مخزن نیمه پر از آب تزریق شود، هوا فاز پراکنده در نیمه پایینی مخزن است در حالیکه در نیمه بالایی مخزن، هوا فاز پیوسته است.

هر سه روش محاسبه f_{drag} ، شامل مدل اسپیلر و نامن، مدل مورسی الکساندر و مدل متقارن همگی ویژه مخلوط های سیال-سیال هستند. جهت محاسبه ضریب دراگ در سایر مخلوط ها از جمله مخلوط سیال-جامد باید به روش های مختص آنها مراجعه نمود.

معادله کسر حجمی برای فاز های دوم

معادله ۳-۲۱ و معادله ۳-۴۳ را برای فاز دوم p بازنویسی می کنیم:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\alpha_p \rho_p) + \nabla \cdot (\alpha_p \rho_p v_p) = \Gamma_p \quad \text{معادله ۳-۵۹}$$

$$\vec{v}_{dr,p} = \vec{v}_p - \vec{v}_m \quad \text{معادله ۶۰-۳}$$

نرخ تولید جرم فاز p را به شکل زیر تعریف می کنیم.

$$\Gamma_p = \sum_{k=1}^n (\dot{m}_{qp} - \dot{m}_{pq}) \quad \text{معادله ۶۱-۳}$$

با جاگذاری معادله ۶۰-۳ و معادله ۶۱-۳ در معادله ۵۹-۳، معادله کسر حجمی برای فاز p حاصل خواهد شد.

$$\frac{\partial}{\partial t}(\alpha_p \rho_p) + \nabla \cdot (\alpha_p \rho_p \vec{v}_m) = -\nabla \cdot (\alpha_p \rho_p \vec{v}_{dr,p}) + \sum_{k=1}^n (\dot{m}_{qp} - \dot{m}_{pq}) \quad \text{معادله ۶۲-۳}$$

\dot{m}_{qp} انتقال جرم فاز q به فاز p است.

اگر چگالی فازها ثابت باشند و تغییرات فازی رخ ندهد، معادله پیوستگی به فرم ذیل کاهش می یابد.

$$\frac{\partial}{\partial t} \alpha_p + \nabla \cdot (\alpha_p \vec{v}_m) = -\nabla \cdot (\alpha_p \vec{v}_{dr,p}) \quad \text{معادله ۶۳-۳}$$

برخی مولفین به معادله ۶۳-۳ به عنوان معادله پخش اشاره می کنند (e.g. Ungarish 1993). بر این

اساس، مدل مخلوط در برخی منابع مدل پخش خوانده می شود.

۴. شبیه سازی و بهبود

راندمان

۴-۱. شبیه سازی و بهبود راندمان جداکننده مشتقات نفتی از

آب

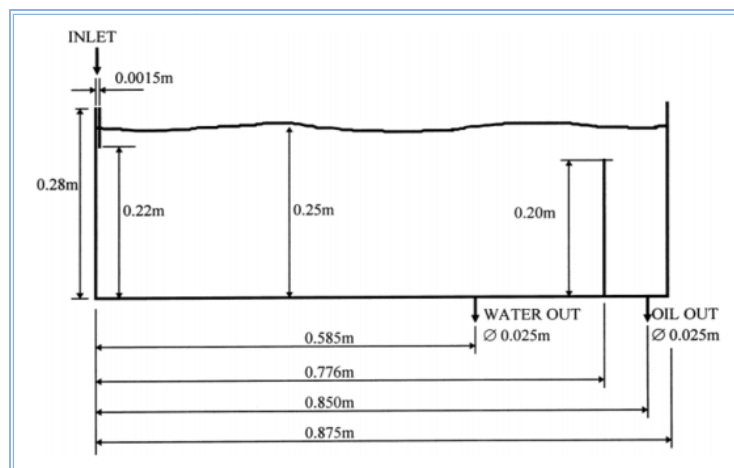
۴-۱-۱. هندسه جداکننده

جداکننده مشتقات نفتی دو بعدی ۰,۸۷۵ متر طول و ۰,۲۵ متر عمق دارد. ورودی مجرا مستطیلی شکل و در سراسر عرض مخزن به صورت قائم به سمت پایین بوده و تا زیر تراز سطح سیال در جداکننده ادامه می یابد (شکل ۴-۱). این چیدمان موجب توزیع نامطلوب قابل توجهی از جریان در سراسر مقطع عرضی جداکننده می شود. خروجی آب در فاصله افقی ۰,۵۸۵ متری و خروجی نفت در فاصله ۰,۸۵ متری از ورودی بوده و هر کدام به عرض واحد ۲,۱ میلی متر و به طول ۱ سانتی متر در کف مخزن قرار گرفته اند. سرریز در فاصله ۰,۷۷۶ متر از ورودی و به ارتفاع ۰,۲ متر از کف مخزن جهت سرریز شدن فاز سبک نفتی واقع می شود.

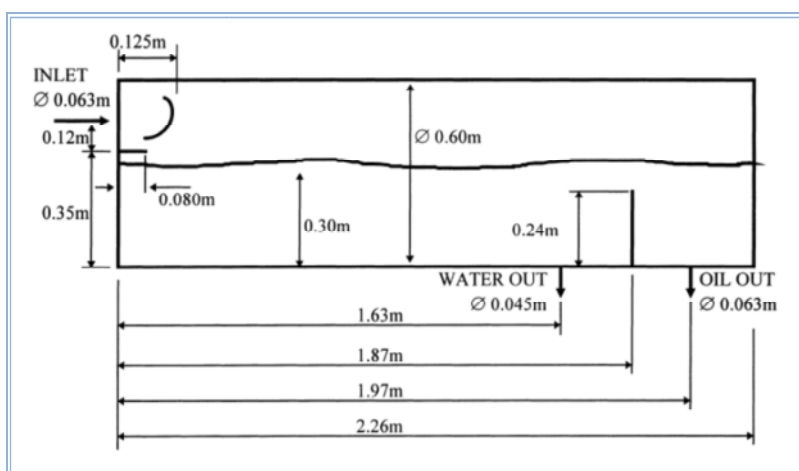
آب از میان ورودی با سرعت ۰,۸۳۳ متر بر ثانیه متناسب با سرعت ظاهری ۰,۰۰۵ متر بر ثانیه از میان جداکننده جاری می شود. سرعت ها به نحوی انتخاب گردیدند که زمان های ماند بر اساس سرعت ظاهری مشابه با حالت های عملی ۱۰۰ تا ۲۰۰ ثانیه باشند.

از آنجایی که جهت تامین اعتبار نتایج از تحقیقات صورت گرفته توسط ویلکینسون و همکارانش [Wilkinson et.al 2000] استفاده شده است، هندسه و مشخصات جریان همگی از تحقیقات فوق برداشت گردید. در تحقیقات ویلکینسون و همکارانش دو هندسه مختلف مورد بررسی قرار گرفته بود. شکل ۴-۱ مدل دو بعدی جداکننده مشتقات نفتی در مطالعات CFD و شکل ۴-۲ مدل آزمایشگاهی استوانه ایی جداکننده مشتقات نفتی در مطالعات آزمایشگاهی تحقیقات مذکور است.

سیال مخلوط پس از ورود به مخزن فرصت کافی برای بلند شدن فاز سبک نفتی را می‌یابد. سپس فاز سبک پس از عبور از روی سرریز از خروجی فاز سبک (خروجی دوم) خارج شده و فاز سنگین پس از ته نشینی از خروجی فاز سنگین آبی خارج می‌شود.



شکل ۴-۱. مدل دو بعدی جداکننده مشتقات نفتی [Wilkinson et.al 2000]



شکل ۴-۲. مدل آزمایشگاهی استوانه‌ای جداکننده مشتقات نفتی [Wilkinson et.al 2000]

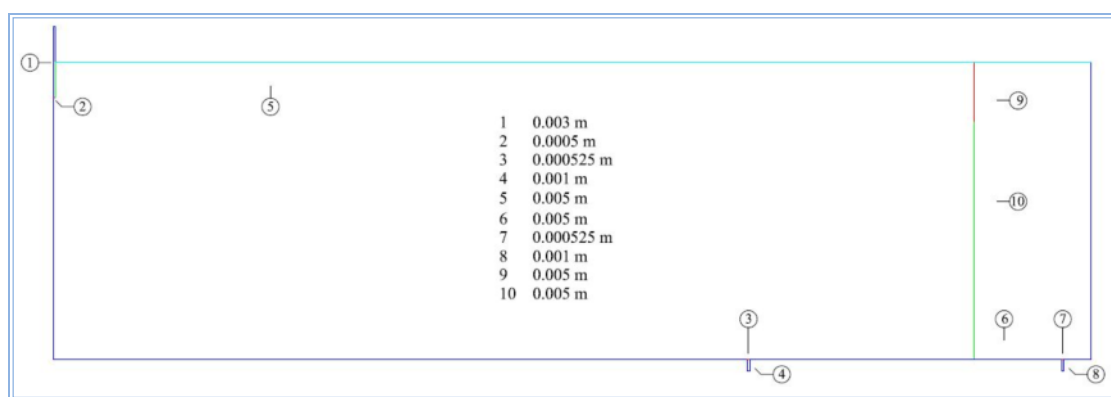
۴-۱-۲. تولید هندسه و مش

جهت تولید هندسه و مش از نرم افزار Gambit 2.4.3 استفاده شد. تمامی بخش‌های هندسه مدل با استفاده از سطوح بسته تولید شده و در نتیجه اضلاع لازم جهت تولید سطوح و مش ساخته می‌شوند.

بر این اساس، دیواره هایی در هندسه خواهیم داشت که در هندسه اصلی وجود خارجی ندارند. به تمامی این دیواره ها شرط مرزی داخلی^۱ اختصاص می یابد.

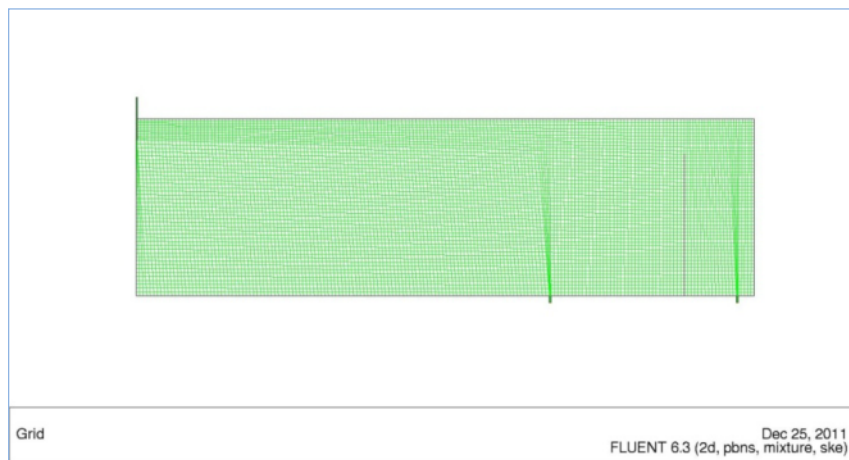
دیواره های خارجی و دو صفحه داخلی در ورودی و سرریز به صورت وجوه سلول غیر متخلخل با اصطکاک دیوار مشخص شدند. در قسمت مدل سازی عددی در برنامه Fluent برای دیواره های داخلی که سیال در دو طرف دیوار جریان دارد، دیواره ایی دو طرفه به صورت خودکار تولید می شود.

آرام کننده ها (صفحات سوراخدار) با استفاده از طول های جدا شده ایی از وجوه سلول غیر متخلخل با اصطکاک دیوار شبیه سازی شده بودند. حفرات در آرام کننده ها همچنین یک یا دو گره بودند. فواصل گره ها در محل حفره ها $0,000375$ متر و در دیواره های آرام کننده $0,0034$ متر بود. سایر جزئیات آرام کننده ها در بخش نتایج شبیه سازی و تامین اعتبار آمده است. ورودی مجرا مستطیلی شکل از نوع سرعت ورودی ثابت در نظر گرفته شد. خروجی های جریان از نوع خروجی با فشار نسبی ثابت انتخاب گردیدند. جهت تولید مش در هر مدل پس از تولید سطوح، مش روی اضلاع هر سطح ترسیم شد. سپس مش سطوح با استفاده از مش های چهارضلعی تولید گردید. شکل ۳-۴ فواصل مش ایجاد شده روی اضلاع را نشان می دهد.



شکل ۳-۴. فواصل مش های اضلاع در جداکننده دو بعدی

شکل ۴-۴ مش ایجاد شده در هندسه بدون آرام کننده را نشان می دهد.



شکل ۴-۴. تولید مش در جداکننده بدون آرام کننده

در تحقیقات ویلکینسون و همکارانش [Wilkinson 2000] جداکننده آزمایشگاهی بدون آرام کننده و با حضور آرام کننده با سطح آزاد ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصد در فاصله ۰,۳ متری از دیواره ورودی جریان مورد ارزیابی قرار گرفته بود. همچنین حضور دو آرام کننده سوراخدار با گشودگی ۱۰٪ به گونه ایی که یکی در فاصله ۰,۶ متری از ورودی و موقعیت دیگری به طور پی در پی در چندین موقعیت از ۰,۱ تا ۰,۵۵ متر از ورودی تغییر می یافت بررسی شده بود.

به همین ترتیب در این تحقیق شبیه سازی ها در حالت های مختلف جداکننده مرسوم بدون آرام کننده و با حضور آرام کننده با سطوح آزاد ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصد صورت گرفت. صفحات آرام کننده بر اساس اصل تشابه هندسی در قیاس با مدل آزمایشگاهی در فاصله ۰,۱۱۵ متری از ورودی ترسیم گردیدند. صفحات آرام کننده سوراخ دار به صورت خطوط منقطع با فواصل بازشدگی ۰,۳۷۶، ۰,۷۸۴، ۱,۱۳ و ۱,۵ میلی متر به ترتیب برای گشودگی ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصد در نظر گرفته شدند.

همچنین حضور دو صفحه آرام کننده نیز مورد بررسی قرار گرفت. صفحات آرام کننده هر دو دارای ۱۰٪ گشودگی بوده و حفرات به گونه ایی در نظر گرفته شدند که در مقابل یکدیگر قرار نگیرند. بر اساس اصل تشابه هندسه مطابق با مدل سه بعدی استوانه ایی انتخاب شده جهت تامین اعتبار در کار

ویلیکینسون و همکارانش یکی از صفحات آرام کننده در فاصله ۰,۲۳ متری به طور ثابت قرار می گیرد. صفحه دوم در هر مدل در فواصل مختلف بین صفحه ثابت و ورودی مخزن جابه جا می شود. جهت سهولت در تولید مدل ها و افزایش سرعت تولید مدل به شکل بسیار قدرتمندی می توان از قابلیت ژورنال^۱ نویسی در برنامه Gambit 2.4.3 کمک گرفت.

۴-۱-۳. ژورنال نویسی در Gambit 2.4.3

در موارد ذیل به کار گیری قابلیت ژورنال نویسی در Gambit 2.4.3 می تواند مفید واقع شود.

- مطالعات پارامتری
- مطالعات تکراری با تغییرات در پارامترهای فرایند
- تغییرات کوچک در هندسه
- تغییر مقیاس
- تحلیل های حساس

همانطور که از موارد فوق پیداست در هر یک از مدل های تحقیق فوق تغییرات بسیار کمی نسبت به مدل اولیه مد نظر است. چنانچه بخواهیم هندسه و مش هر یک از این مدل ها را به تنهایی در نرم افزار Gambit بسازیم حداقل زمانی معادل با زمان تولید هندسه و مش در مدل اولیه را هر بار تجربه خواهیم کرد. با کمک قابلیت ژورنال نویسی خواهیم توانست با اندکی تغییرات در فایل ژورنال مدل اولیه، هندسه و مش جدید با تغییرات مورد نظر را در مدت زمان کوتاهی داشته باشیم.

همچنین با تولید فایل ژورنال در Gambit برای هر مدل می توانیم هندسه و مش آن را در یک فایل

^۱ Journal

چند کیلو بایتی بسیار کوچک ذخیره نمائیم. این فایل با فرمت فایل های متنی^۱ بوده و به سهولت قابلیت بازیابی را دارد. به وضوح قابل تصور است که تا چه حد می تواند ارسال یک فایل بسیار کم حجم از هندسه از طریق اینترنت و یا سایر سیستم های انتقال ساده و سریع باشد.

با وجود فایل ژورنال هر یک از مدل ها، برای دستیابی به برخی از پارامترها و مشخصات هندسه دیگر نیاز به باز کردن برنامه Gambit نخواهید داشت و به راحتی با خواندن فایل با الگوی متنی به سادگی اطلاعات مورد نظر را استخراج خواهیم نمود.

بعضا ایجاد تغییرات در یک فایل ژورنال به مراتب ساده تر و قابل فهم تر از زمانی است که تغییرات از طریق ابزارهای برنامه صورت می گیرد. همچنین با استفاده از ژورنال نویسی می توان به سرعت خطاها ایجاد شده را برطرف نمود.

فایل ژورنال به صورت خودکار با ذخیره کردن مدل تولید خواهد شد. لازم است فایل ژورنال مدل اولیه را با کمک قابلیت تمیز کردن فایل ژورنال^۲ از دستوره های خطا، یادداشت های اضافی، و دستوره های ذخیره سازی تمیز کرد. این کار فایل ژورنال را قابل فهم تر می نماید.

در مرحله بعد لازم است با برخی از دستورات پر تکرار ژورنال نویسی آشنا گردید. از آنجایی که این دستورات با کمک ابزارهای برنامه توسط کاربر صادر گردیده اند و از طرفی دستورات به خوبی نام گذاری شده اند، درک دستورات توسط کاربر به سادگی صورت می گیرد. با اطلاع از نحوه نوشتن دستورات برای تغییرات بسیار کوچک و کلیه کاربرد های ذکر شده برای ژورنال نویسی، می توان به سادگی تغییرات لازم را لحاظ نمود و در مدت زمان کوتاهی فایل با پسوند msh. نهایی برای انتقال به بسته نرم افزاری Fluent را تولید کرد.

^۱ Text

^۲ Clean Journal

در ذیل چند دستور پر تکرار تنها برای درک سهولت ژورنال نویسی آورده شده است.

دستور تولید نقطه

```
vertex create coordinates - - -
```

در جاهای خالی به ترتیب مختصات دکارتی نقاط در راستای مثبت محورهای مختصات x، y و z وارد می شود.

دستور تولید ضلع

```
edge create straight "vertex.-" "vertex.-"
```

در ابتدا و انتهای هر ضلع نقاط معرفی می شوند.

دستور تولید سطح

```
face create wireframe "edge.-" "edge.-" "edge.-" "edge.-"
```

هر سطحی از تعداد مشخصی از اضلاع تولید می شود. تعداد اضلاع محدودیتی ندارد.

در پیوست ۱ نمونه ایی از یک فایل ژورنال مربوط به هندسه دارای دو آرام کننده در فواصل ۱۵,۵ و ۲۳ سانتی متری از ورودی آمده است. برای اجرای یک فایل ژورنال کافی است پس از باز کردن برنامه از منوی File در نوار ابزار گزینه Run Journal را انتخاب نموده و با دادن مسیر فایل مورد نظر هندسه و مش را در کمتر از چند ثانیه داشته باشید.

۴-۱-۴. تولید مدل عددی

جهت شبیه سازی جریان دوفازی آب و نفت از بسته نرم افزاری FLUENT 6.3 استفاده شد. ابتدا قبل از هر چیز هندسه و مش وارد شده از برنامه Gambit مورد بررسی قرار گرفته و نواحی و دامنه جریان دوباره مرتب می شوند.

بر اساس مطالب ارائه شده در فصول گذشته، مدل های مخلوط و اولرین برای جریان هایی که در آنها فاز ها مخلوط یا جدا می شوند مناسب هستند. از سویی دیگر چنانچه توزیع گسترده ایی از فازهای پراکنده وجود داشته باشد (یعنی اگر ذرات در اندازه متفاوتند و ذرات درشت از میدان جریان اولیه جدا نمی شوند)، مدل مخلوط ممکن است توجیه (یعنی به لحاظ محاسباتی هزینه کمتر) داشته باشد. این مدل در مقایسه با مدل اولرین از هزینه محاسباتی کمتر و در عین حال از دقت مناسبی جهت شبیه سازی جریان های چند فازی برخوردار است. مدل مخلوط می تواند در بازه گسترده ایی از جریان های با اختلاف سرعت، اندازه ذرات و نسبت های چگالی مختلف به کار رود به شرط آنکه تعادل نیرو برقرار باشد یعنی ذرات در زمان کوتاهی در مقایسه با مقیاس زمانی مشخصه سیال به سرعت حدی برسند. مدل مخلوط کاربردهای متعددی در جریان دو بعدی در طی سی سال گذشته داشته است. در جریان سه بعدی، مدل مخلوط خیلی اوقات بکار گرفته نمی شود [Manninenm 1996]. بر این اساس، در شبیه سازی از مدل چند فازی مخلوط استفاده شد.

اگرچه عدد رینولدز جریان بر اساس قطر متوسط هیدرولیکی و سرعت ظاهری سیال در سیستم بسیار کم است اما به علت وجود سرعت های محلی قابل توجه در مقایسه با سرعت های ظاهری شبیه سازی از مدل $k-\epsilon$ برای مدلسازی جریان آشفته استفاده شد [Wilkinson 2000]. بر اساس مطالب ارائه شده در فصول گذشته این مدل آشفتگی در بین تمامی مدل های موجود از جامعیت بیشتری برخوردار است و تقریباً در بسیاری از موارد نتایج قابل قبولی را ارائه می نماید هر چند که به طور کلی می توان بیان نمود که تا کنون هیچ مدل آشفتگی که بتواند برای مدل سازی آشفتگی در تمامی جریان های سیال به کار رود وجود ندارد.

جریان دو بعدی، دو فازی، دائمی، ایزوترمال و تراکم ناپذیر با شدت آشفتگی 0.02% در ورودی جریان در نظر گرفته شده است.

سیال ورودی از ترکیب 80% آب و 20% نفت خام تشکیل شده در حالیکه در شرایط عملیاتی جداکننده ها جهت جداسازی بیش از چهار فاز (گاز، نفت، آب و جامدات همراه) از جریان چاه نفت استفاده می شوند. چگالی نفت خام 805 کیلوگرم بر متر مکعب و لزجت دینامیکی آن 0.14 پاسکال-ثانیه مطابق با کار ویلکینسون و همکارانش [Wilkinson 2000] در نظر گرفته شده است. چگالی آب 997 کیلوگرم بر متر مکعب و لزجت دینامیکی آن 0.00089 پاسکال-ثانیه در نظر گرفته شده است. قطر متوسط قطرات نفت معلق در آب بر اساس کار ویلکینسون و همکارانش 40 میکرون در نظر گرفته شد. آب به عنوان فاز پیوسته و نفت به عنوان فاز گسسته در نظر گرفته می شود.

جهت محاسبه تابع دراگ، از مدل Morsi-alexander به کار گرفته شد. جهت آشنایی با تابع دراگ در مدل Morsi-alexander می توانید به فصل سوم مراجعه کنید. از آنجایی که در محاسبه تابع دراگ مدل Morsi-alexander از رنج گسترده و در عین حال تقسیم شده به بازه های بسیار کوچک از عدد رینولدز استفاده می شود، این مدل در مقایسه با سایر مدل های محاسبه تابع دراگ سیال-سیال که در آنها همه فازها از جنس مایع و یا حباب هستند از دقت بیشتری برخوردار است.

نیروی گرانش به عنوان نیروی حجمی موثر بر روند شبیه سازی با وارد نمودن شتاب گرانش 9.81 متر بر مجذور ثانیه اعمال می گردد.

سطح جریان به شکل مسطح و بدون موج سطحی فرض شد که با توجه به شبیه سازی های آزمایشگاهی مرسوم دور از انتظار نیست. بر این اساس سطح جریان در شبیه سازی به صورت دیوار مسطح با تنش برشی دیوار صفر مدل شد.

جهت محاسبه اختلاف سرعت بین فاز سنگین آبی و فاز سبک نفتی از معادله ۲-۱ استفاده شد.

جهت وارد نمودن مقادیر پیش فرض پارمترهای مختلف مانند سرعت، فشار، پارمترهای آشفتگی و کسر حجمی در گره ها از مقادیر پارمترهای ورودی جریان استفاده شد با این تفاوت که کسر حجمی فاز دوم صفر وارد شد. این بدان معنی است که فرض می شود قبل از ورود سیال مخلوط به مخزن، سیال درون مخزن حاوی آب خالص می باشد.

برای افزودن بر سرعت همگرایی در روند حل مسئله بهتر است ابتدا مسئله تنها برای معادلات پیوستگی، مومنتوم و آشفتگی حل شود و پس از حصول همگرایی با دقت مورد نظر، معادلات کسر حجمی و سرعت لغزشی به همراه سایر معادلات جریان حل شوند.

فرمولبندی معادلات گسسته سازی از نوع ضمنی و مرتبه اول Upwind به لحاظ مکانی در نظر گرفته شد. با توجه به پیچیده بودن معادلات، استفاده از گسسته سازی های مرتبه بالاتر منجر به حل های نوسانی و بروز مشکل همگرایی در حل معادلات خواهد شد.

۴-۱-۵. ژورنال نویسی در Fluent 6.3

ژورنال نویسی در Fluent در تمامی موارد ذکر شده در ژورنال نویسی Gambit 2.4.3 با همه فواید ذکر شده آن می تواند به کار گرفته شود.

جهت تولید فایل ژورنال در Fluent از منوی File گزینه Write و بعد Start Journal را انتخاب کنید.

File → Write → Start Journal

سپس تمامی مراحل مدل سازی در محیط برنامه را با استفاده از ابزارها و یا دستورات کوتاه در پنجره نوشتاری برنامه انجام دهید. در پایان از منوی File گزینه Write و بعد Stop Journal را انتخاب کنید.

File → Write → Stop Journal

فایل تولید شده در تمامی برنامه های ویرایش متن قابل خواندن و ویرایش کردن است. در مرحله بعد لازم است با برخی از دستورات پر تکرار ژورنال نویس در Fluent 6.3 آشنا شوید. از آنجایی که این دستورات با کمک ابزارهای برنامه توسط کاربر صادر شده اند و از طرفی دستورات به خوبی نام گذاری شده اند، درک دستورات توسط کاربر به سادگی صورت می گیرد. با اطلاع از نحوه نوشتن دستورات برای تغییرات بسیار کوچک، می توان به سادگی تغییرات لازم را لحاظ نمود و در مدت زمان کوتاهی فایل Case نهایی برای شبیه سازی در Fluent را تولید کرد.

در پیوست ۲ نمونه ایی از یک فایل ژورنال مربوط به هندسه دارای دو آرام کننده در فواصل ۱۵,۵ و ۲۳ سانتی متری از ورودی آمده است.

۴-۱-۶. نتایج شبیه سازی و تامین اعتبار

شکل ۴-۵ منحنی تراز مربوط به کسر حجمی نفت خام را در جداکننده بدون آرام کننده نشان می دهد. فاز سبک نفتی در سطح سیال به وضوح شناور گردیده و پس از عبور از سرریز از خروجی نفت در انتهای جداکننده عبور می نماید. فاز سنگین آب در کف مخزن ته نشین شده و از خروجی آب قبل از سرریز خارج می گردد.

در هر یک از مدل ها پس از تولید و شبیه سازی جریان، میزان کسر حجمی فاز نفتی در خروجی آب ثبت می شود و میزان راندمان جداسازی محاسبه می گردد.

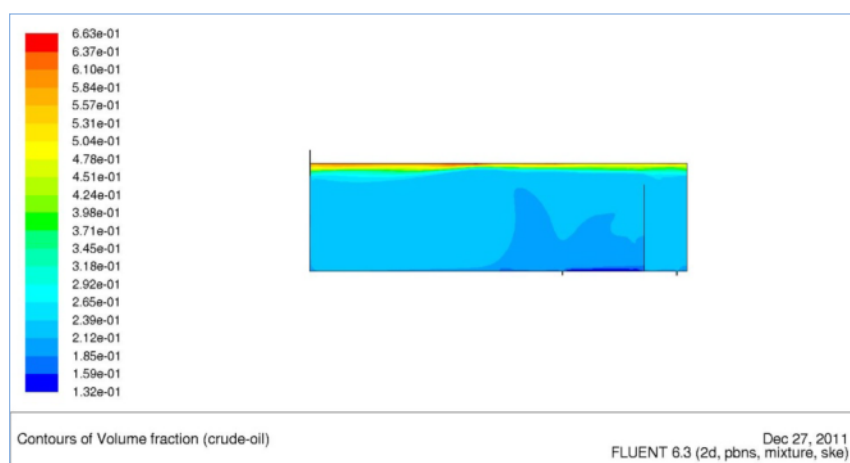
راندمان جداکننده از معادله ۴-۱ محاسبه می شود:

$$\eta = \frac{O_{in} - O_{out}}{O_{in}} * 100 \quad \text{معادله ۴-۱}$$

η = راندمان جداسازی نفت خام از سیال ورودی

O_{in} = کسر حجمی نفت در سیال ورودی

O_{out} = کسر حجمی نفت در سیال خروجی

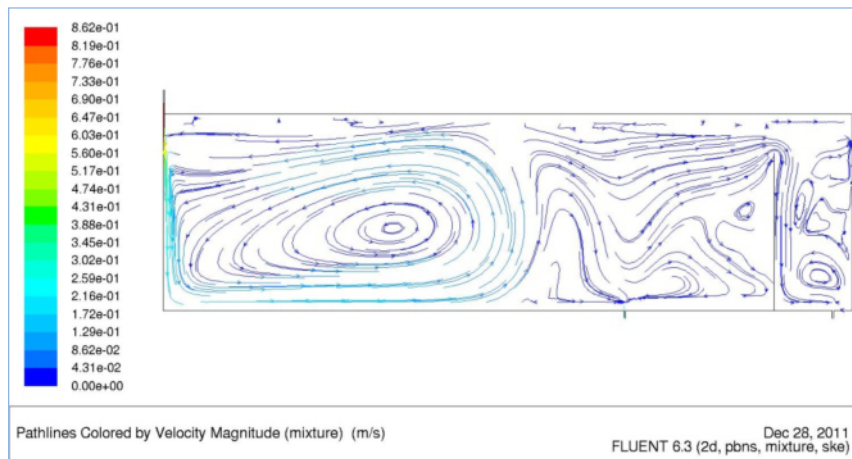


شکل ۴-۵. کسر حجمی نفت خام را در جداکننده بدون آرام کننده

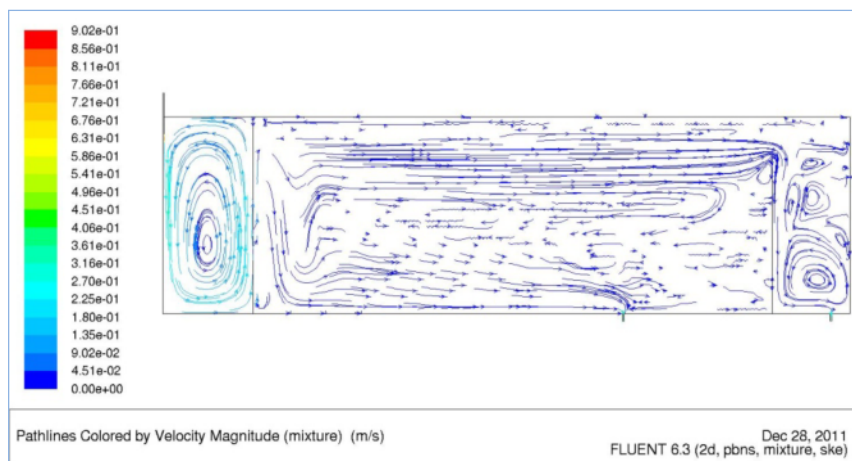
مدل عددی برای جداکننده بدون دیواره آرام کننده و جداکننده حاوی یک دیواره آرام کننده سوراخ دار در فاصله ۱۱,۵ سانتی متری با میزان گشودگی ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصد ساخته و شبیه سازی انجام شد. شکل ۴-۶ تا شکل ۴-۱۰ به ترتیب خط مسیر سرعت مخلوط در جداکننده فاقد آرام کننده و جداکننده های دارای دیواره آرام کننده با گشودگی ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصد را نشان می دهد.

جریان در همه مدل های دارای دیواره آرام کننده سوراخدار به مراتب نسبت به مدل فاقد آرام کننده منظم تر بوده و تحت لایه ها و مسیرهای مشخص حرکت می کند. همچنین گردابه بزرگ از بین رفته و انحنای جریان ملایم تر می گردد. در بین مدل های جداکننده دارای دیواره آرام کننده، مدل دارای گشودگی ۱۰٪ آرام ترین جریان را داراست و کمترین دستخوردگی جریان در آن مشاهده می شود. بدین ترتیب فاز پراکنده فرصت بیشتری برای حرکت به سمت سطح سیال می یابد و احتمال

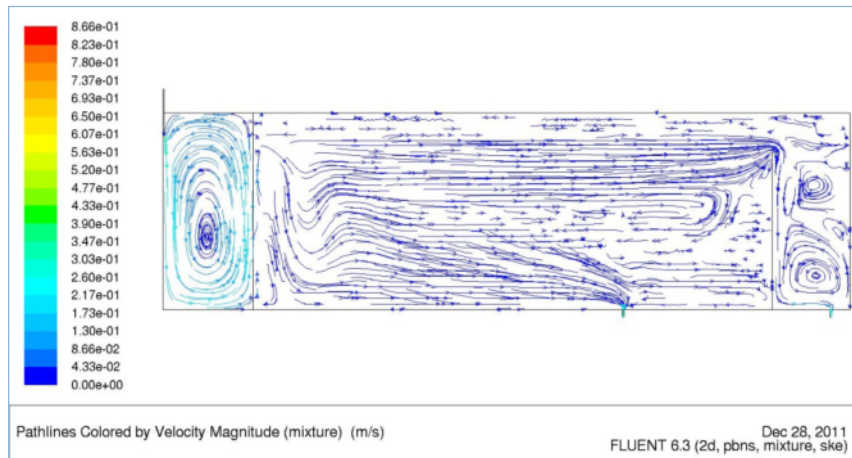
اختلاط مجدد فاز پراکنده جداشده در جریان به حداقل می رسد. لذا انتظار می رود راندمان تمامی جداکننده های دارای دیواره آرام کننده بیشتر از جداکننده فاقد دیواره آرام کننده بوده و راندمان جداکننده دارای یک آرام کننده با گشودگی ۱۰٪ از دیگر جداکننده های دارای یک دیواره آرام کننده بیشتر باشد.



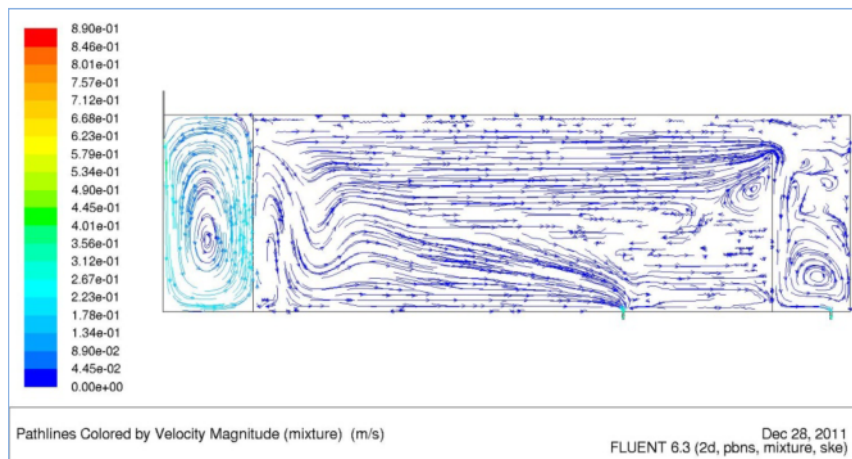
شکل ۴-۶. خط مسیر سرعت مخلوط در جداکننده فاقد آرام کننده



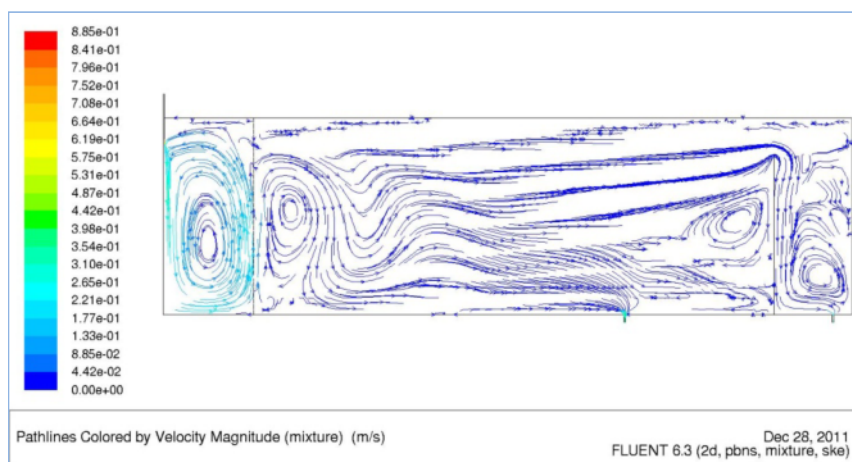
شکل ۴-۷. خط مسیر سرعت مخلوط در جداکننده دارای دیواره آرام کننده با گشودگی ۵٪



شکل ۴-۸. خط مسیر سرعت مخلوط در جداکننده دارای دیواره آرام کننده با گشودگی ۱۰٪.

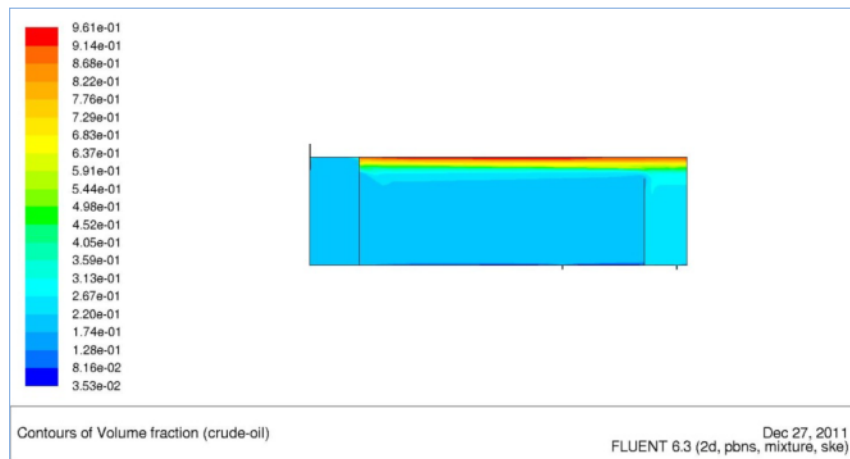


شکل ۴-۹. خط مسیر سرعت مخلوط در جداکننده دارای دیواره آرام کننده با گشودگی ۱۵٪.



شکل ۴-۱۰. خط مسیر سرعت مخلوط در جداکننده دارای دیواره آرام کننده با گشودگی ۲۰٪.

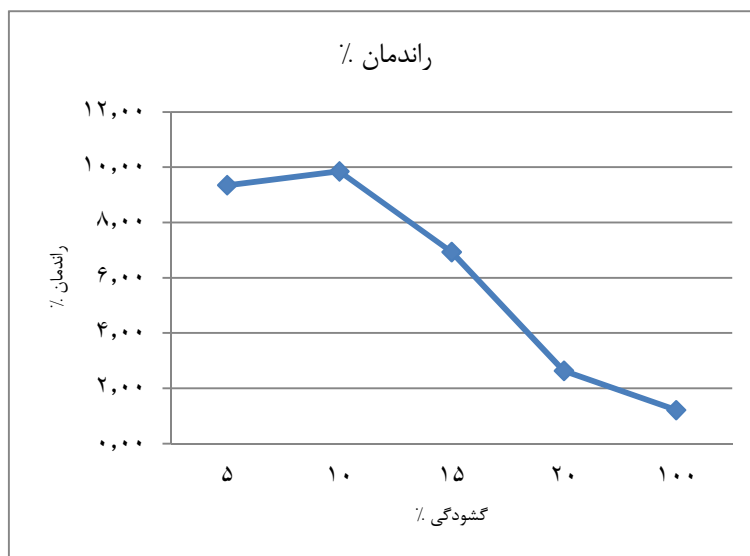
شکل ۱۱-۴ منحنی تراز مربوط به کسر حجمی نفت خام را در جداکننده دارای دیواره آرام کننده را نشان می دهد. نتایج حاصل از شبیه سازی عددی برای جداکننده بدون دیواره آرام کننده و جداکننده حاوی یک دیواره آرام کننده سوراخ دار در فاصله ۱۱,۵ سانتی متری با میزان گشودگی ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصد در جدول ۱-۴ و نمودار ۱-۴ نشان داده شده است. میزان گشودگی ۱۰۰٪ مربوط به جداکننده بدون آرام کننده (صفحه سوراخ دار) می باشد.



شکل ۱۱-۴. کسر حجمی نفت خام در جداکننده دارای یک دیواره آرام کننده

میزان گشودگی صفحه آرام کننده %	کسر حجمی نفت در سیال ورودی %	کسر حجمی نفت در سیال خروجی %	راندمان %
۵	۲۰	۱۸,۱۳	۹,۳۵
۱۰	۲۰	۱۸,۰۳	۹,۸۵
۱۵	۲۰	۱۸,۶۱	۶,۹۵
۲۰	۲۰	۱۹,۴۷	۲,۶۵
۱۰۰	۲۰	۱۹,۷۵	۱,۲۵

جدول ۱-۴. راندمان جداکننده با یک دیواره آرام کننده و قطر ۴۰ میکرون

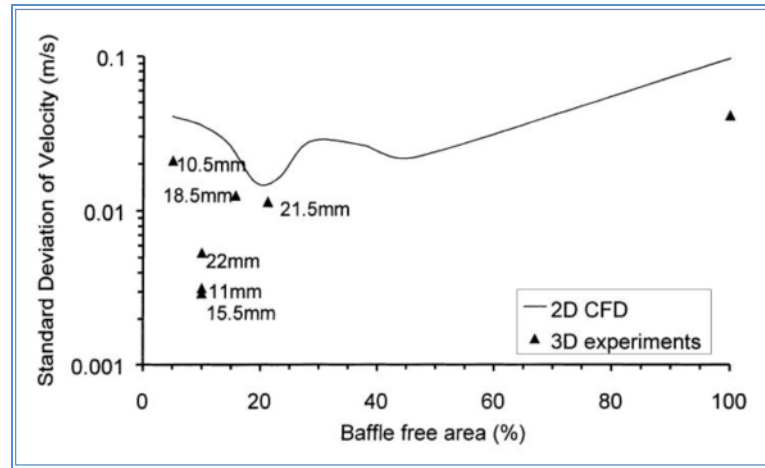


نمودار ۱-۴. راندمان جداکننده با یک دیواره آرام کننده و قطر ۴۰ میکرون

در این تحقیق مطابق با نتایج آزمایشگاهی بدست آمده از کار ویلکینسون و همکارانش [Wilkinson et.al 2000] حداکثر راندمان جداسازی با وجود آرام کننده با گشودگی ۱۰٪ رخ داد. شکل ۱۲-۴ نتایج عددی و آزمایشگاهی تخمین انحراف استاندارد سرعت در تحقیقات ویلکینسون و همکارانش را نشان می دهد. در این تحقیق آمده است که با حضور آرام کننده با گشودگی ۱۰٪ میزان انحراف استاندارد سرعت و گردابه ها کاهش می یابد و بدین ترتیب از به هم خوردگی مجدد جریان جلوگیری می شود و فاز سبک نفتی فرصت کافی برای بلند شدن را بدست می آورد. همانطور که در شکل ۱۲-۴ مشاهده می کنید نتایج عددی در تحقیقات ویلکینسون و همکارانش با نتایج آزمایشگاهی مطابق نیستند. ویلکینسون بر این باور است که خطای بوجود آمده ناشی از دو بعدی بودن و کوچک بودن مدل دو بعدی در مقایسه با مدل سه بعدی آزمایشگاهی استوانه ای است. در عین حال نتایج عددی بر وجود یک نقطه حداقل برای انحراف سرعت در مدل عددی اشاره می کند. این در حالی است که در شبیه سازی دو فازی صورت گرفته در این تحقیق به نتایجی مشابه با نتایج آزمایشگاهی سه بعدی رسیدیم.

البته در شرایط عملیاتی حضور این آرام کننده ها ممکن است موجب شکستن قطرات و تولید قطرات کوچکتر گردد که این امر موجب کاهش راندمان جداسازی می شود. در عین حال در شرایط عملیاتی

با حضور آرام کننده ها، اثر یکنواختی جریان بر شکستن قطرات قالب گردیده و راندمان جداسازی افزایش می یابد.



شکل ۴-۱۲. نتایج عددی و آزمایشگاهی تخمین انحراف استاندارد سرعت [Wilkinson et.al 2000]

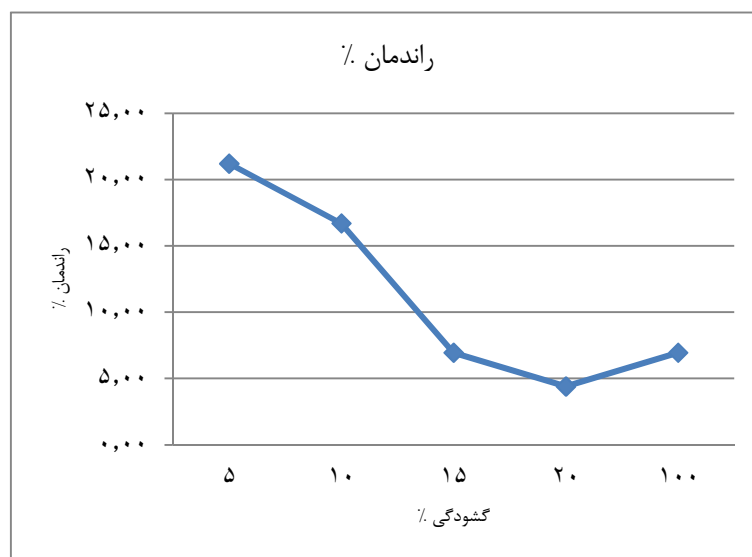
به دلیل استفاده از قطر بسیار کوچک ۴۰ میکرون در شبیه سازی مقادیر راندمان بسیار پایین هستند. مطابق با معادله ۲-۱ در شرایط عملیاتی با افزایش قطر ذرات فاز پراکنده سبک، سرعت بالا روندهی ذرات پراکنده فاز سبک در فاز پیوسته آب، افزایش یافته و در پی آن راندمان جداسازی نفت از آب به میزان قابل توجهی افزایش می یابد. به جهت درک دیداری این تاثیر، شبیه سازی ها با ذرات فاز پراکنده نفت با قطر ۶۰ میکرون تکرار می شود. در جدول ۴-۲ و نمودار ۴-۲ نتایج شبیه سازی با قطر ذرات ۶۰ میکرون ارائه گردیده است.

مشاهده می شود که راندمان حاصله در همه موارد بالاتر از راندمان تولید شده توسط مدل با قطر ذرات فاز پراکنده نفتی ۴۰ میکرون است که حاکی از تطابق شبیه سازی با شرایط عملیاتی است. این نتیجه در تطابق کامل با کار انجام شده توسط عبدالقدیر و همکارانش [Abdulkadir 2010] است. نتایج به ازای گشودگی ۵٪ حداکثر می باشد که این برخلاف نتایج آزمایشگاهی جدول ۴-۱ است. این بدان علت است که نتایج آزمایشگاهی مورد استفاده برای بررسی اعتبار مقادیر شبیه سازی عددی جدول ۴-۱ بر اساس قطر متوسط ۴۰ میکرون بدست آمده اند. بر این اساس می توان نتیجه گرفت که

مشخصه قطر متوسط ذرات نفت معلق در آب از جمله متغیرهای تاثیر گذار بر صحت عملکرد درست یک سیستم جداکننده است. در شرایط عملیاتی با در نظر گرفتن تمهیداتی از جمله انتخاب قطر مناسب برای خطوط انتقال نفت، کاهش در میزان اتصالات زانویی و سه راهی و همچنین عدم استفاده از پمپ های سانتریفیوژ دور بالا می توان از بروز شکست قطرات نفت معلق در آب و در پی آن کاهش راندمان جداسازی پیشگیری نمود.

میزان گشودگی صفحه آرام کننده %	کسر حجمی نفت در سیال ورودی %	کسر حجمی نفت در سیال خروجی %	راندمان %
۵	۲۰	۱۵,۷۶	۲۱,۲۰
۱۰	۲۰	۱۶,۶۶	۱۶,۷۰
۱۵	۲۰	۱۸,۶۱	۶,۹۵
۲۰	۲۰	۱۹,۱۲	۴,۴
۱۰۰	۲۰	۱۸,۶۱	۶,۹۵

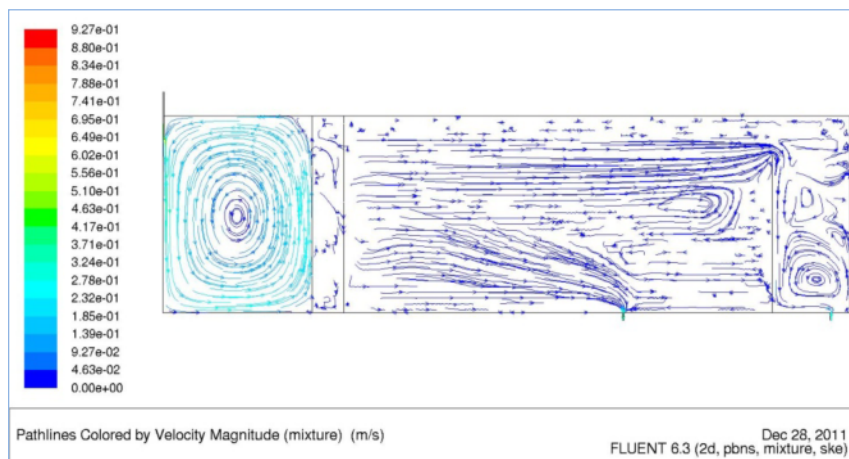
جدول ۴-۲. راندمان جداکننده با یک دیواره آرام کننده و قطر ۶۰ میکرون



نمودار ۴-۲. راندمان جداکننده با یک دیواره آرام کننده و قطر ۶۰ میکرون

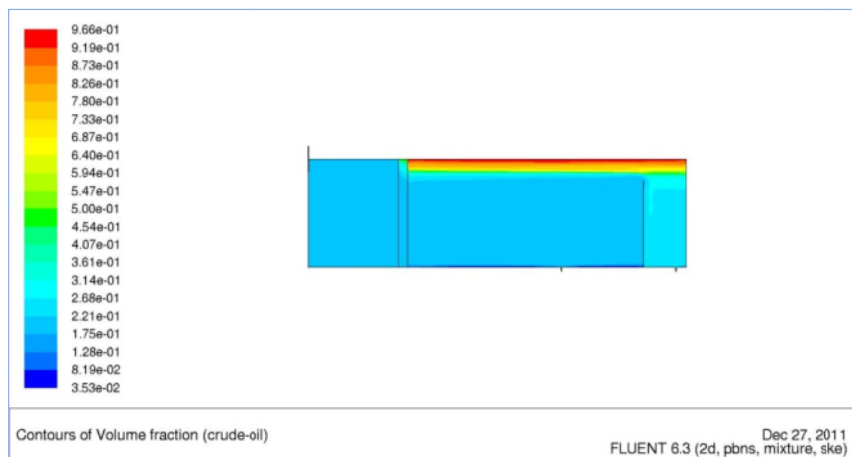
همچنین حضور دو آرام کننده نیز مورد بررسی قرار گرفت. آرام کننده ها هر دو دارای ۱۰٪ گشودگی بوده و حفرات به گونه ایی در نظر گرفته شدند که در مقابل یکدیگر قرار نگیرند. بر اساس اصل تشابه هندسه مطابق با مدل سه بعدی استوانه ایی انتخاب شده جهت تامین اعتبار در کار ویلکینسون و همکارانش [Wilkinson 2000] یکی از آرام کننده ها در فاصله ۰,۲۳ متری به طور ثابت قرار می گیرد. آرام کننده دیگر در هر مدل در فواصل مختلف بین آرام کننده ثابت و ورودی مخزن جابه جا می شود.

شکل ۴-۱۳ خط مسیر سرعت مخلوط در جداکننده با دو آرام کننده را نشان می دهد. به وضوح حرکت جریان به صورت منظم و لایه ای را می توان پس از دو دیواره آرام کننده مشاهده نمود.



شکل ۴-۱۳. خط مسیر سرعت مخلوط در جداکننده با دو آرام کننده

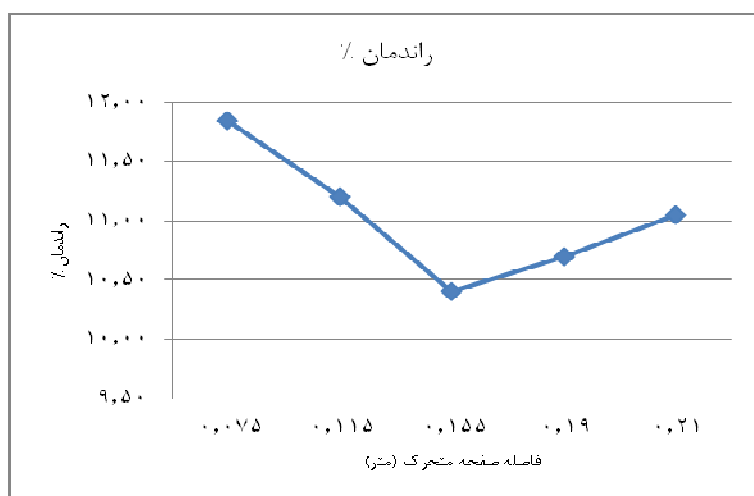
شکل ۴-۱۴ منحنی تراز مربوط به کسر حجمی نفت خام را در جداکننده دارای دو دیواره آرام کننده را نشان می دهد. جدول ۴-۳ نتایج شبیه سازی در حضور دو صفحه آرام کننده را نشان می دهد. در تمامی موارد حضور دو صفحه آرام کننده موجب افزایش در راندمان گردیده است.



شکل ۴-۱۴. کسر حجمی نفت خام در جداکننده دارای دو دیواره آرام کننده

فاصله صفحه آرام کننده متحرک از ورودی (متر)	کسر حجمی نفت در سیال ورودی %	کسر حجمی نفت در سیال خروجی %	راندمان %
۰,۰۷۵	۲۰	۱۷,۶۳	۱۱,۸۵
۰,۱۱۵	۲۰	۱۷,۷۶	۱۱,۲۰
۰,۱۵۵	۲۰	۱۷,۹۲	۱۰,۴۰
۰,۱۹	۲۰	۱۷,۸۶	۱۰,۷۰
۰,۲۱	۲۰	۱۷,۷۹	۱۱,۰۵

جدول ۴-۳. نتایج شبیه سازی در حضور دو صفحه آرام کننده



نمودار ۴-۳. نتایج شبیه سازی در حضور دو صفحه آرام کننده

بر اساس کار ویلکینسون و همکارانش حداقل مقدار انحراف استاندارد سرعت زمانی رخ خواهد داد که فاصله صفحات آرام کننده با گشودگی ۱۰٪ از همدیگر کمتر از ۱۰ سانتی متر در مدل سه بعدی آزمایشگاهی باشد و حداکثر انحراف استاندارد سرعت زمانی رخ خواهد داد که فاصله صفحات آرام کننده از هم با گشودگی ۱۰٪ در حدود ۲۰ سانتی متر باشد.

با کمک اصل تشابه هندسی این مقادیر در مدل شبیه سازی عددی دو بعدی زمانی رخ خواهند داد که به طور تقریبی فاصله صفحات آرام کننده از هم برای حداقل انحراف معیار کمتر از ۴ سانتی متر و برای حداکثر انحراف استاندارد ۸ سانتی متر باشد. بدین ترتیب چنانچه صفحه آرام کننده ثابت در فاصله ۲۳ سانتی متری از ورودی قرار گیرد، حداکثر میزان جداسازی زمانی رخ خواهد داد که صفحه آرام کننده متحرک در فاصله بیشتر از ۱۹ سانتی متری از ورودی قرار گیرد و حداقل میزان جداسازی زمانی رخ خواهد داد که صفحه آرام کننده متحرک در فاصله ۱۶ سانتی متری از ورودی قرار گیرد.

همانطور که در جدول ۳-۴ و نمودار ۳-۴ می بینید حداقل میزان جداسازی زمانی که صفحه آرام کننده متحرک در ۱۵,۵ سانتی متری از ورودی قرار دارد رخ می دهد و این در تطابق کامل با مدل آزمایشگاهی است. اما با وجود آنکه افزایش فاصله صفحه متحرک از ورودی و به عبارتی کاهش فاصله صفحات آرام کننده، نرخ صعودی افزایش راندمان را نشان می دهد، حداکثر میزان جداسازی در فاصله کمتر از ۴ سانتی متر بین دو آرام کننده و یا زمانی که صفحه آرام کننده متحرک در فاصله بیشتر از ۱۹ سانتی متری از ورودی قرار می گیرد، رخ نمی دهد.

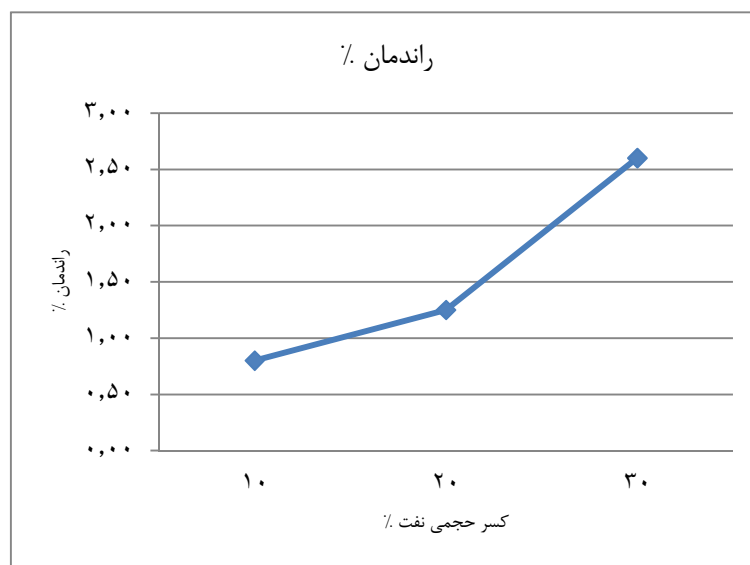
این رخداد این موضوع را یاد آوری می نماید که در برخی موارد تطابق کامل بین نتایج حاصل از شبیه سازی عددی و نتایج حاصل از کار آزمایشگاهی برقرار نبوده و در پایان شبیه سازی عددی برای بهینه سازی هر نمونه، نیازمند ساخت مدل آزمایشگاهی هستیم.

از جمله موارد دیگری که بررسی آن جالب توجه است، بررسی اثر میزان نفت موجود در آب (تغییرات کسر حجمی فاز پراکنده در ورودی) و تغییرات چگالی و لزجت آب در ترکیب آب و نفت می باشد.

جهت بررسی اثر تغییر در میزان نفت موجود در ترکیب آب و نفت، شبیه سازی عددی جداکننده بدون دیواره آرام کننده با کسرهای حجمی ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد انجام شد. در جدول ۴-۴ و نمودار ۴-۴ نتایج حاصل از این شبیه سازی آمده است.

کسر حجمی نفت در سیال ورودی %	کسر حجمی نفت در سیال خروجی %	راندمان %
۱۰	۹,۹۲	۰,۸
۲۰	۱۹,۷۵	۱,۲۵
۳۰	۲۹,۲۲	۲,۶

جدول ۴-۴. راندمان جداکننده متناسب با تغییرات کسر حجمی نفت



نمودار ۴-۴. راندمان جداکننده متناسب با تغییرات کسر حجمی نفت

بر اساس نتایج فوق می توان نتیجه گرفت، در مخلوط های آب/نفتی که فاز پیوسته (غالب) آن ها آب باشد، راندمان جداکننده در حضور نمونه ایی که غلظت نفت بیشتری دارد بالاتر است.

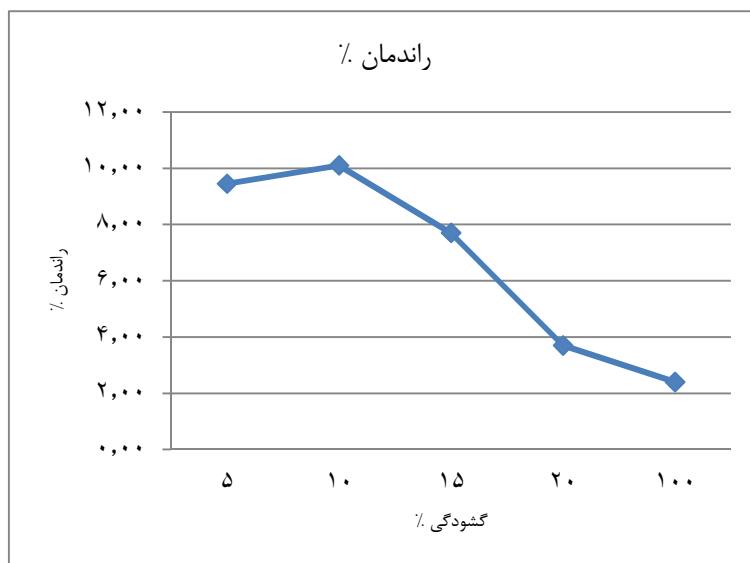
تمامی مدل سازی های فوق با چگالی و لزجت آب معمولی صورت گرفت، اما اغلب جداکننده ها برای جداسازی آب شور دریا از نفت خام به کار گرفته می شوند. چگالی آب دریا ۱۰۲۵ کیلوگرم بر

مترمکعب و لزجت آن $0,00108$ می باشد. پس از شبیه سازی افزایش قابل توجهی در راندمان مشاهده نگردید و راندمان جداسازی در مدل جداکننده بدون آرام کننده برای قطر ذرات نفت 40 میکرون از $1,25\%$ به $1,3\%$ افزایش یافت.

با توجه به آنکه شدت آشفته‌گی آورده شده در کار ویلکینسون و همکارانش [Wilkinson 2000] ($0,02\%$) نسبتاً مقدار کمی است به نظر می رسد بررسی شبیه سازی عددی با کمک مدل آشفته‌گی RNG K- ϵ لازم به نظر می رسد. بر این اساس شبیه سازی برای جداکننده فاقد دیواره آرام کننده متخلخل و جداکننده با یک دیواره آرام کننده متخلخل با گشودگی 5 ، 10 ، 15 و 20 درصد و قطر قطرات فاز پراکنده 40 میکرون به کمک مدل آشفته‌گی RNG K- ϵ تکرار گردید. نتایج در جدول ۴-۵ و نمودار ۴-۵ نشان داده شده اند.

راندمان %	کسر حجمی نفت در سیال خروجی %	کسر حجمی نفت در سیال ورودی %	میزان گشودگی صفحه سوراخدار %
۹,۴۵	۱۸,۱۱	۲۰	۵
۱۰,۱۰	۱۷,۹۸	۲۰	۱۰
۷,۷۰	۱۸,۴۶	۲۰	۱۵
۳,۷۰	۱۹,۲۶	۲۰	۲۰
۲,۴۰	۱۹,۵۲	۲۰	۱۰۰

جدول ۴-۵. راندمان جداکننده با یک دیواره آرام کننده با مدل آشفته RNG K- ϵ



نمودار ۴-۵. راندمان جداکننده با یک دیواره آرام کننده با مدل آشفته RNG K-ε نتایج حاصل از شبیه سازی به کمک مدل آشفته RNG K-ε به طور نسبی در تطابق با نتایج حاصل از شبیه سازی به کمک مدل آشفته K-ε استاندارد هستند.

۴-۱-۷. بررسی روش های بهبود راندمان

کارایی جداکننده گرانشی بستگی به طرح هیدرولیکی مناسب و پرپود زمانی ماند پساب برای سرعت بلندشدگی مشخص، دارد. زمان ماند طولانی عموماً کارایی جداکننده را افزایش می دهد. حذف موثر قطرات روغن با سرعت بلند شدگی مفروض تابعی از هندسه سیستم است.

مهمترین مزایای جداکننده های گرانشی طراحی ساده، ارزان، احتمال پایین وقوع انسداد با مواد جامد و نیاز به نگهداری کم آنهاست. در راستای حفظ مزایای فوق در این نوع از جداکننده ها تنها تغییرات ساده و ممکن در هندسه جداکننده ها مورد بررسی قرار گرفته اند.

تغییرات عبارتند از:

۱- تغییر در ارتفاع سرریز

۲- تغییر در محل قرار گیری سرریز

۳- تغییر در قطر خروجی نفت

۴- تغییر در محل قرار گیری خروجی آب

همچنین مدل قائم جداکننده فوق در شرایط تقریباً یکسان به لحاظ حجم مخزن تولید شد و راندمان آن مورد ارزیابی قرار گرفت. مدل های قائم در مقایسه با مدل های افقی از مزایای قابل توجهی برخوردارند که از آن جمله می توان گفت:

- جداکننده های قائم در جابه جا کردن ذرات جامد به مراتب بهتر از جداکننده های افقی عمل می کنند.

- برای یک ظرفیت جداسازی یکسان ، جداکننده های قائم نسبت به جداکننده ای افقی فضای کمتری را جهت نصب نیاز دارند.

- در جداکننده های افقی نسبت به جداکننده های قائم ، در یک شدت جریان معلوم ، برای یک تغییر ارتفاع معین در سطح مایع ، نیاز به حجم بالای مایع است.

جهت بررسی تغییرات راندمان ناشی از تغییرات ارتفاع سرریز نمونه های مختلف با ارتفاع سرریز ۰,۲، ۰,۲۱، ۰,۲۲، ۰,۲۳ و ۰,۲۴ متر ساخته شد. جهت بررسی تغییرات مرتبط با محل سرریز نمونه هایی با سرریز هایی در فواصل ۰,۶۷۶، ۰,۷۲۶، ۰,۷۷۶ و ۰,۸۲۶ متر از ورودی سیستم تولید و مورد بررسی قرار گرفتند. تغییر راندمان با تغییر در قطر خروجی نفت در جداکننده افقی و قائم در مدل های متفاوت با اندازه های ۱,۱، ۲,۱، ۳,۱ و ۴,۱ میلی متر مورد بررسی قرار گرفت. تاثیر جابجایی محل خروجی آب در فواصل ۰,۵۸۵، ۰,۶۵، ۰,۷۱۵ متر از ورودی بر راندمان جداکننده ارزیابی شد.

هر یک از تغییرات فوق به تنهایی در مدل مورد بررسی قرار گرفتند. این بدان معنی است که در هر مدل تمامی ابعاد مطابق با شکل ۴-۱ در نظر گرفته می شود و تنها تغییر مورد نظر به تنهایی به شکل

۱-۴ اعمال می شود. در نهایت بهترین مدل از تلفیق موثرترین تغییرات در افزایش راندمان تولید و مورد ارزیابی نهایی قرار گرفت.

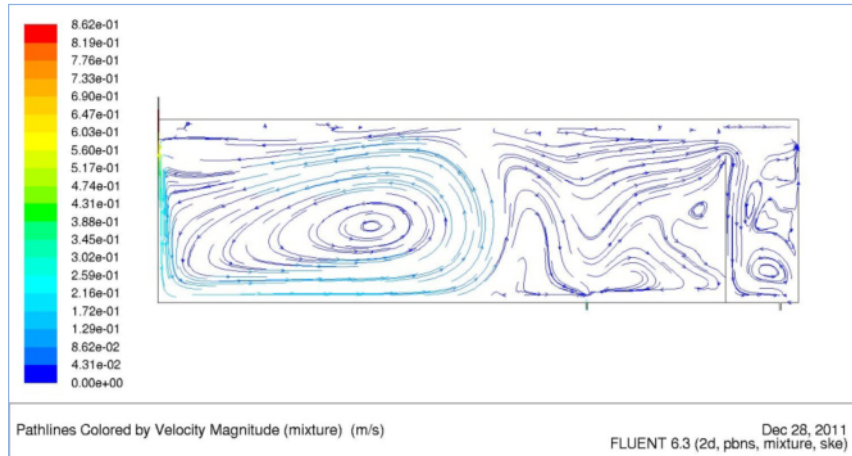
در هر یک از مدل ها پس از تولید و شبیه سازی میزان کسر حجمی فاز نفتی در خروجی آب ثبت شد و میزان راندمان جداکننده محاسبه گردید.

بررسی تغییرات ارتفاع سرریز

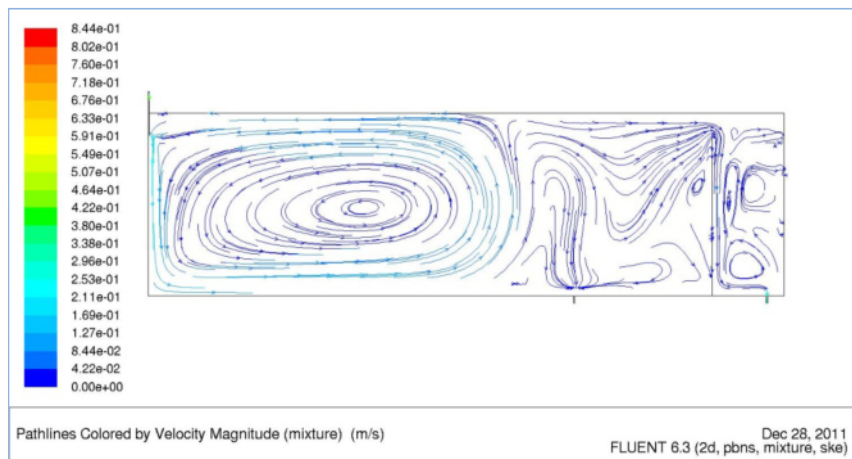
مدل های عددی مختلف با ارتفاع سرریز ۰,۲، ۰,۲۱، ۰,۲۲، ۰,۲۳ و ۰,۲۴ متر ساخته و شبیه سازی صورت گرفت. شکل ۴-۱۵ تا شکل ۴-۱۹ به ترتیب خط مسیر سرعت مخلوط برای مدل با ارتفاع های سرریز ۰,۲، ۰,۲۱، ۰,۲۲، ۰,۲۳ و ۰,۲۴ متر را نشان می دهد.

به وضوح دیده می شود که از ارتفاع سرریز ۰,۲ تا ۰,۲۲ متر به مرور بر طول خطوط مستقیم گردابه بزرگ اول از سمت چپ و به عبارت دیگر بر طول خط مسیر سرعت های مخلوط افقی افزوده می شود یعنی بخش بیشتری از جریان سیال به صورت منظم، تحت لایه ها و مسیرهای مشخص و منظم حرکت می کند. همچنین مسیر حرکت سیال دارای انحنای ملایم می باشد و اثر گردابه ها در اختلاط جریان کاهش می یابد. به بیان دیگر جریان تمایل بیشتری به جریان آرام دارد. در نتیجه فاز سبک با سهولت بیشتری به سطح سیال حرکت نموده و امکان اختلاط مجدد فاز پراکنده جدا شده در مخلوط کاهش می یابد. این روند از ارتفاع سرریز ۰,۲۲ تا ۰,۲۴ متر به صورت معکوس کمتر شده و بر میزان اختلاط افزوده می شود. بر این اساس انتظار می رود حداکثر جداسازی در ارتفاع سرریز ۰,۲۲ متر رخ دهد.

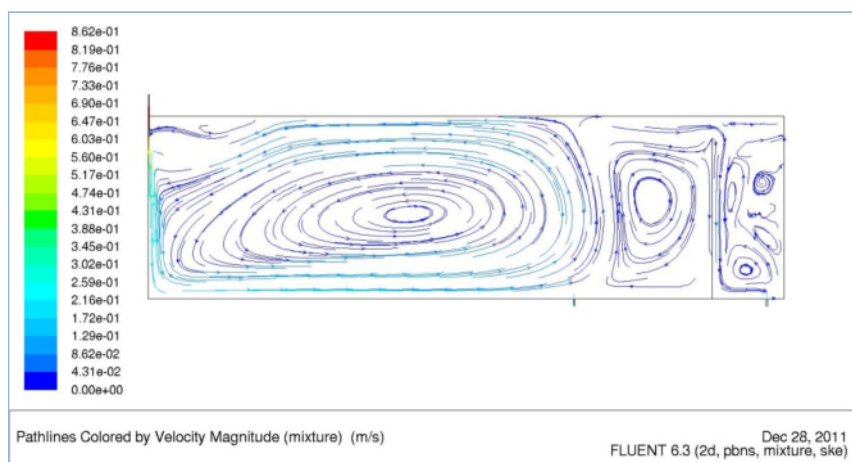
جدول ۴-۶ و نمودار ۴-۶ نتایج حاصل از بررسی تغییرات ارتفاع سرریز را نشان می دهد.



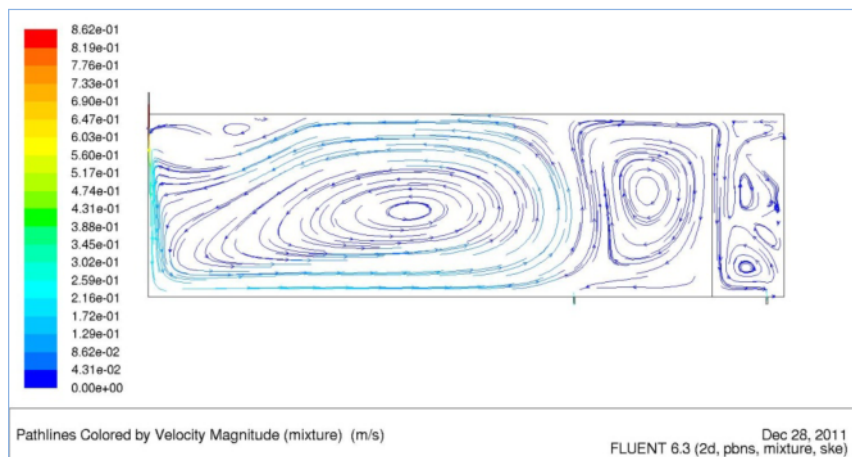
شکل ۴-۱۵. خط مسیر سرعت مخلوط برای مدل با ارتفاع های سرریز ۰,۲ متر



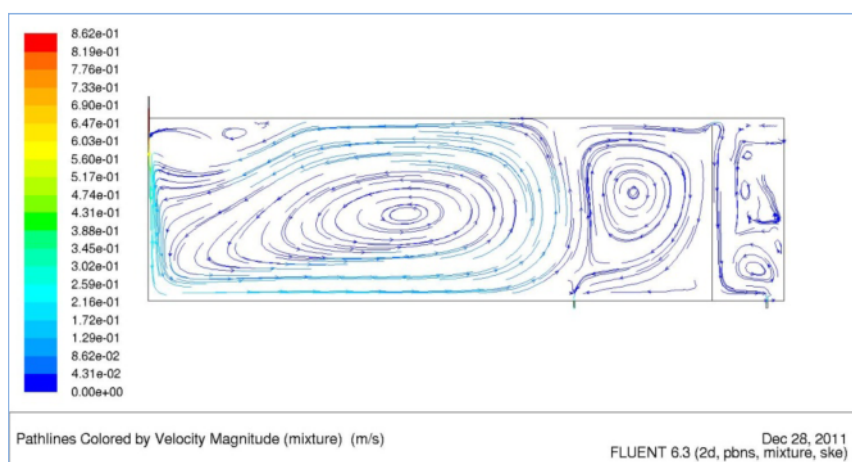
شکل ۴-۱۶. خط مسیر سرعت مخلوط برای مدل با ارتفاع های سرریز ۰,۲۱ متر



شکل ۴-۱۷. خط مسیر سرعت مخلوط برای مدل با ارتفاع های سرریز ۰,۲۲ متر



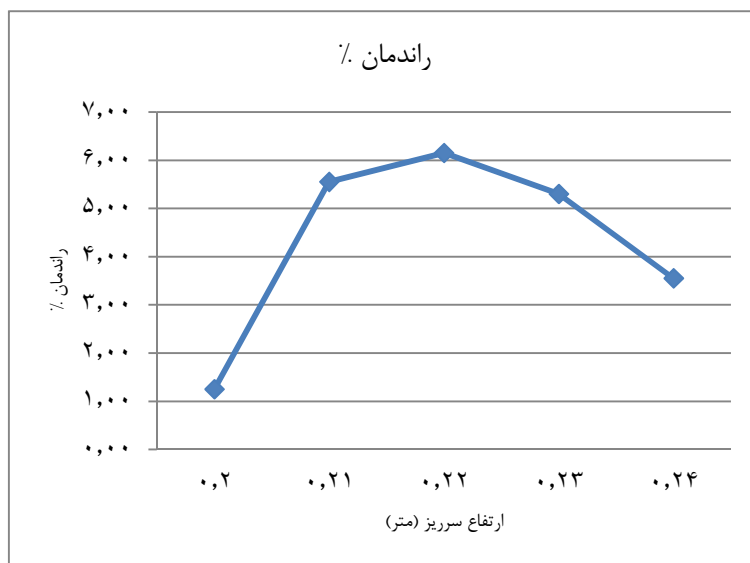
شکل ۴-۱۸. خط مسیر سرعت مخلوط برای مدل با ارتفاع های سرریز ۰,۲۳ متر



شکل ۴-۱۹. خط مسیر سرعت مخلوط برای مدل با ارتفاع های سرریز ۰,۲۴ متر

ارتفاع سرریز (متر)	کسر حجمی نفت در سیال ورودی %	کسر حجمی نفت در سیال خروجی %	راندمان %
۰,۲	۲۰	۱۹,۷۵	۱,۲۵
۰,۲۱	۲۰	۱۸,۸۹	۵,۵۵
۰,۲۲	۲۰	۱۸,۷۷	۶,۱۵
۰,۲۳	۲۰	۱۸,۹۴	۵,۳
۰,۲۴	۲۰	۱۹,۲۹	۳,۵۵

جدول ۴-۶. راندمان متناسب با تغییرات ارتفاع سرریز



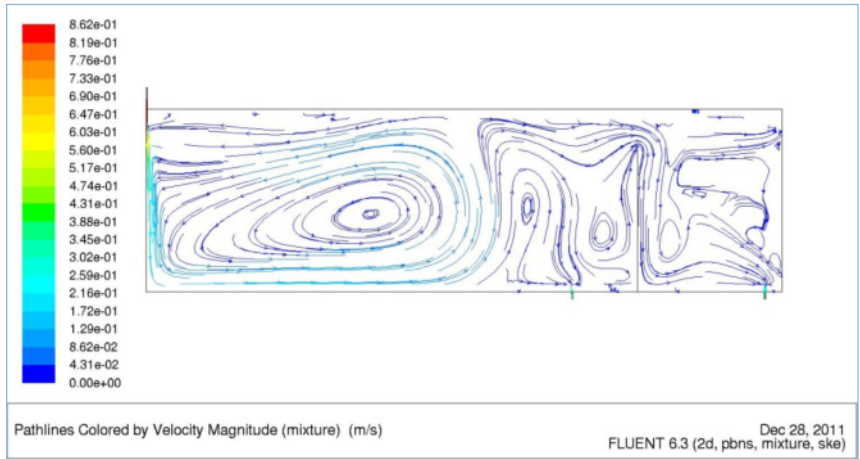
نمودار ۴-۶. راندمان متناسب با تغییرات ارتفاع سرریز

بهترین راندمان در ارتفاع سرریز ۰,۲۲ متر تولید شد. راندمان در ارتفاع های کمتر و بیشتر سرریز کاهش می یابد.

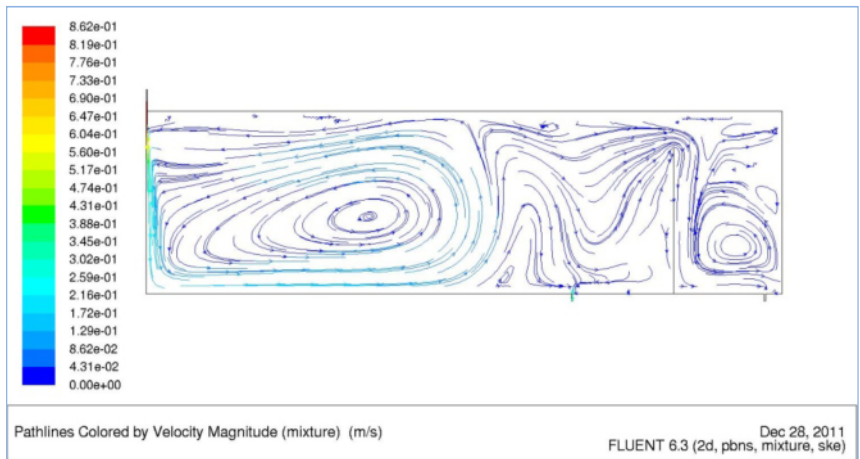
بررسی تغییر فاصله سرریز از ورودی

مدل های عددی مختلف با فاصله سرریز ۰,۶۷۶، ۰,۷۲۶، ۰,۷۷۶ و ۰,۸۲۶ متر از ورودی ساخته و شبیه سازی صورت گرفت. شکل ۴-۲۰ تا شکل ۴-۲۳ به ترتیب خط مسیر سرعت مخلوط برای مدل با فاصله سرریز ۰,۶۷۶، ۰,۷۲۶، ۰,۷۷۶ و ۰,۸۲۶ متر از ورودی را نشان می دهد.

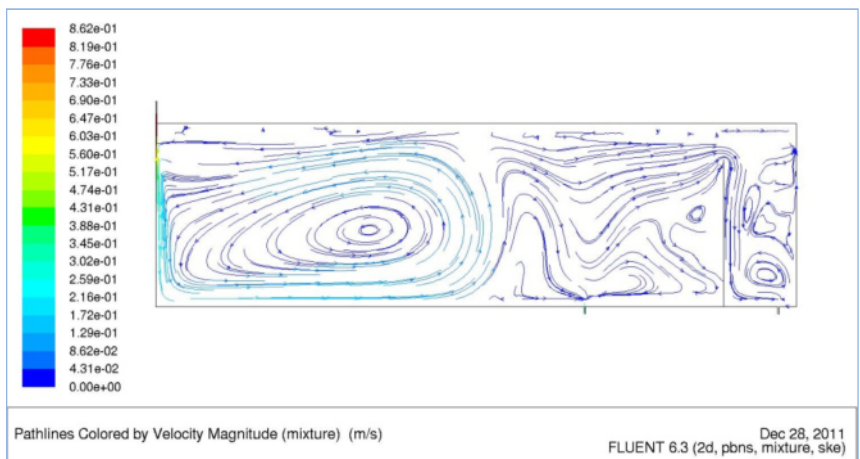
در تمامی اشکال طول و شکل گردابه اول از سمت چپ ثابت می ماند و تغییرات در گردابه دوم (از سمت چپ) رخ می دهد. به گونه ایی که به مرور با افزایش فاصله سرریز از ورودی بر طول خط مسیر سرعت های افقی در گردابه دوم افزوده می شود و مسیر حرکت سیال دارای انحنای ملایم بوده و اثر گردابه ها در اختلاط جریان کاهش می یابد. در نتیجه فاز سبک امکان حرکت به سمت سطح سیال را یافته و امکان اختلاط مجدد فاز پراکنده جداشده در مخلوط کاهش می یابد.



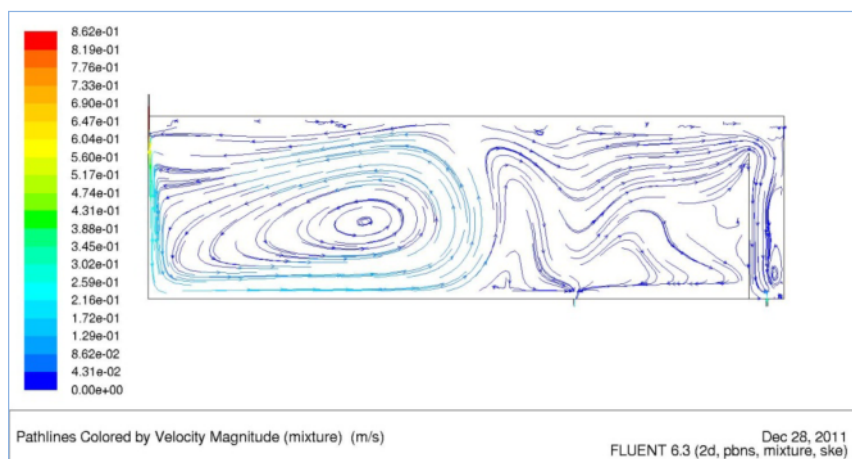
شکل ۴-۲۰. خط مسیر سرعت مخلوط برای مدل با فاصله سرریز ۰,۶۷۶ متر



شکل ۴-۲۱. خط مسیر سرعت مخلوط برای مدل با فاصله سرریز ۰,۷۲۶ متر



شکل ۴-۲۲. خط مسیر سرعت مخلوط برای مدل با فاصله سرریز ۰,۷۷۶ متر



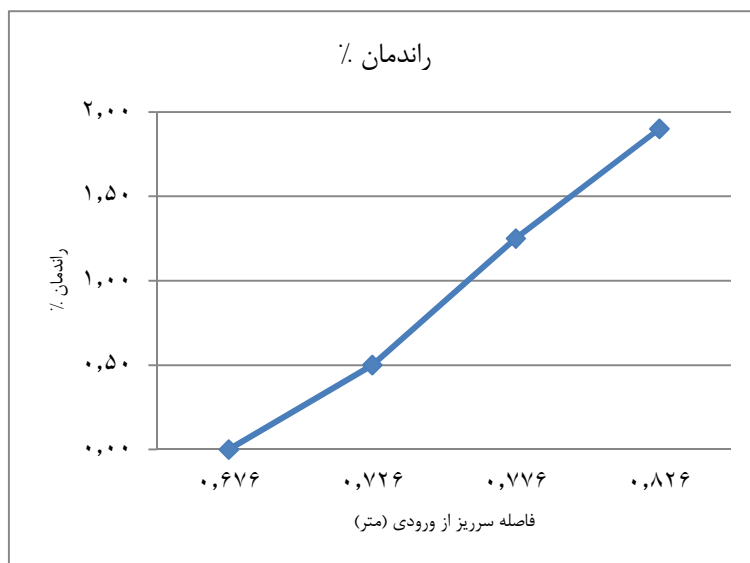
شکل ۴-۲۳. خط مسیر سرعت مخلوط برای مدل با فاصله سرریز ۰,۸۲۶ متر

جدول ۴-۷ و نمودار ۴-۷ نتایج راندمان حاصل از بررسی تغییرات محل سرریز با ارتفاع ۰,۲ متر را نشان می دهد.

راندمان جداکننده با دورتر شدن سرریز از ورودی افزایش می یابد و در عمل این اتفاق دور از انتظار نیست.

راندمان %	کسر حجمی نفت در سیال خروجی %	کسر حجمی نفت در سیال ورودی %	فاصله سرریز از ورودی (متر)
۰,۰۰	۲۰	۲۰	۰,۶۷۶
۰,۵۰	۱۹,۹	۲۰	۰,۷۲۶
۱,۲۵	۱۹,۷۵	۲۰	۰,۷۷۶
۱,۹	۱۹,۶۲	۲۰	۰,۸۲۶

جدول ۴-۷. نتایج راندمان حاصل از بررسی تغییرات محل سرریز



نمودار ۴-۷. نتایج راندمان حاصل از بررسی تغییرات محل سرریز

بررسی تغییر در قطر خروجی نفت

در این قسمت تاثیر قطر لوله خروجی نفت بر راندمان سیستم مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور

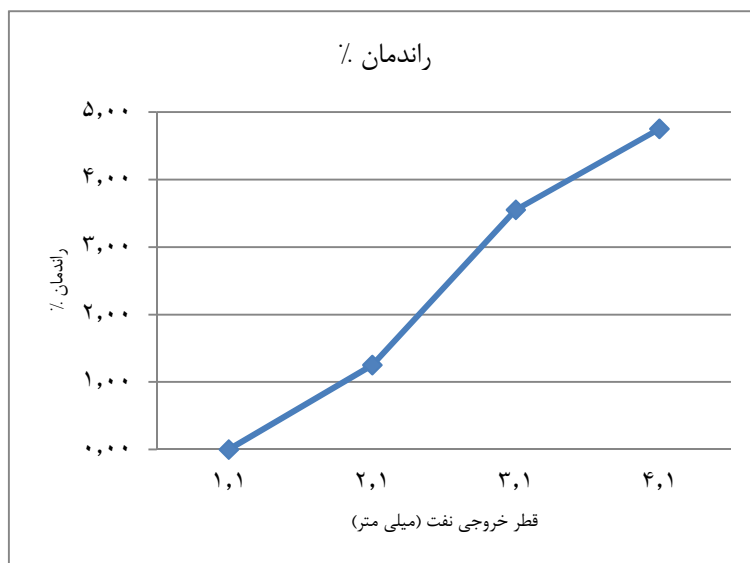
قطر لوله خروجی نفت مقادیر ۱,۱، ۲,۱، ۳,۱ و ۴,۱ میلی متر در نظر گرفته شد.

جدول ۴-۸ و نمودار ۴-۸ نتایج حاصل از بررسی راندمان متناسب با تغییرات در قطر خروجی فاز

سبک نفتی را نشان می دهد.

راندمان %	کسر حجمی نفت در سیال خروجی %	کسر حجمی نفت در سیال ورودی %	قطر خروجی نفت (میلی متر)
0,00	20	20	1,1
1,25	19,75	20	2,1
3,55	19,29	20	3,1
4,75	19,05	20	4,1

جدول ۴-۸. راندمان متناسب با تغییرات در قطر خروجی فاز سبک نفتی



نمودار ۴-۸. راندمان متناسب با تغییرات در قطر خروجی فاز سبک نفتی

با افزایش در میزان قطر خروجی نفت، بر میزان راندمان افزوده می شود. اما از آنجایی که نتایج حاصل از شبیه سازی دینامیک سیالات محاسباتی نسبی هستند و راندمان در عمل بیش از مقادیر شبیه سازی عددی می باشد و همچنین تغییر در قطر خروجی بر میزان دبی خروجی از هر کدام از خروجی های فاز سبک و سنگین موثر است؛ لازم است تا در عمل تناسب بین دبی و میزان جداسازی برقرار گردد. لذا از این پارامتر در مدل نهایی اصلاح شده به کمک دینامیک سیالات محاسباتی، استفاده نمودیم و کاربرد آن را به شبیه سازی آزمایشگاهی واگذار خواهیم نمود.

بررسی تغییر در فاصله خروجی آب از ورودی

در این قسمت تاثیر فاصله خروجی آب از ورودی بر راندمان سیستم مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور فاصله خروجی آب از ورودی مقادیر ۰,۵۸۵، ۰,۶۵ و ۰,۷۱۵ در نظر گرفته شد.

جدول ۴-۹ و نمودار ۴-۹ نتایج حاصل از بررسی تغییر در محل خروجی فاز سنگین آبی را نشان می دهد.

راندمان %	کسر حجمی نفت در سیال خروجی %	کسر حجمی نفت در سیال ورودی %	فاصله خروجی آب از ورودی (متر)
۱,۲۵	۱۹,۷۵	۲۰	۰,۵۸۵
۱,۱	۱۹,۷۸	۲۰	۰,۶۵
۱,۳	۱۹,۷۴	۲۰	۰,۷۱۵

جدول ۹-۴. راندمان متناسب با تغییر در محل خروجی فاز سنگین آبی

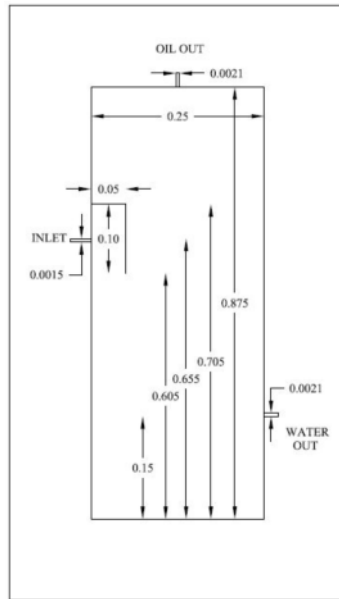


نمودار ۹-۴. راندمان متناسب با تغییر در محل خروجی فاز سنگین آبی

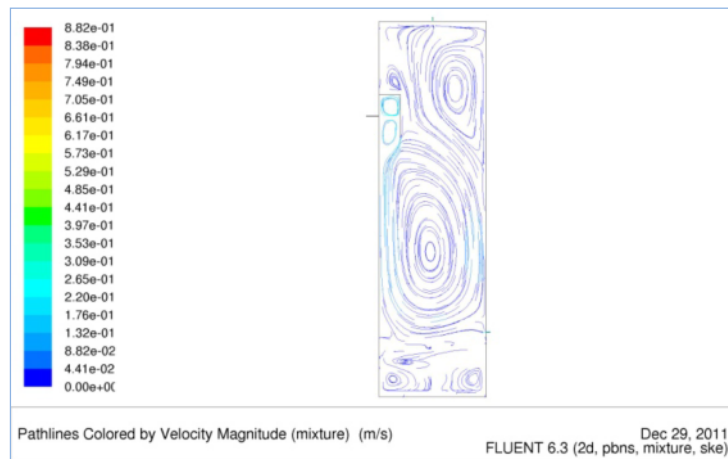
تغییرات راندمان ناشی از تغییر در فاصله خروجی آب نسبت به محل ورودی سیال چندان محسوس نیست. به نظر می رسد این تغییر برای اعمال در مدل بهینه شده چندان مناسب نیست.

جداکننده قائم

جداکننده قائم با ابعاد ۰,۸۷۵ متر ارتفاع و ۰,۲۵ متر عرض مشابه با جداکننده افقی دو بعدی مطابق شکل ۴-۲۴ تولید شد. شکل ۴-۲۵ خط مسیر سرعت مخلوط در این جداکننده را نشان می دهد. نحوه شکستن گردابه ها در ورودی جریان به کمک صفحه انحراف دهنده جریان جالب توجه است.



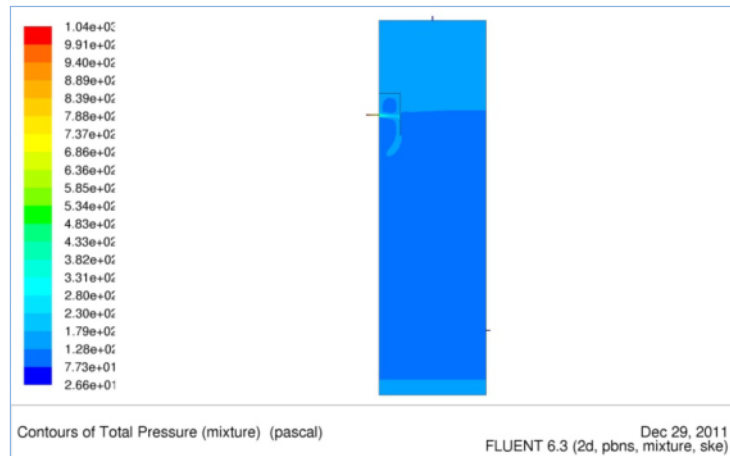
شکل ۴-۲۴. جداکننده دو بعدی قائم



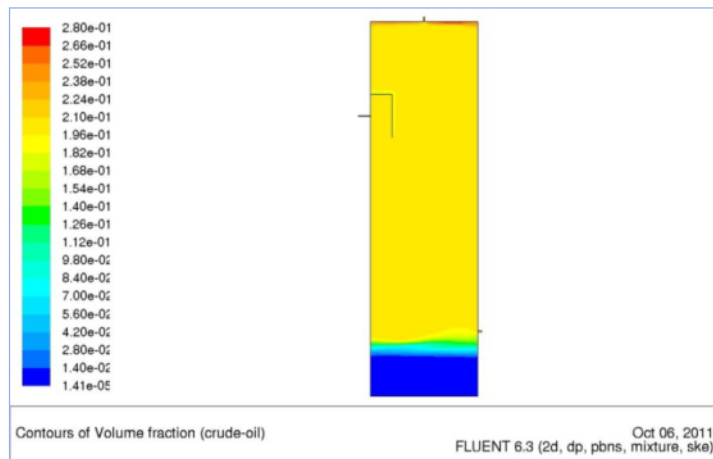
شکل ۴-۲۵. خط مسیر سرعت مخلوط در جداکننده قائم

شکل ۴-۲۶ منحنی تراز فشار کل (مجموع فشار استاتیکی و دینامیکی نسبت به فشار عملکردی مدل) جداکننده قائم را نشان می دهد. سطح سیال در این گونه از جداکننده ها به صورت سطح آزاد جریان با فشار نسبی صفر نیست. به همین دلیل این جداکننده ها می توانند به صورت تحت فشار عمل نمایند. از این رو عملکرد این جداکننده ها با وجود مزیت هایی که نسبت به جداکننده افقی دارند، به مراتب نسبت به جداکننده های افقی پیچیده تر است.

شکل ۴-۲۷ منحنی تراز مربوط به کسر حجمی نفت خام را در جداکننده قائم نشان می دهد.



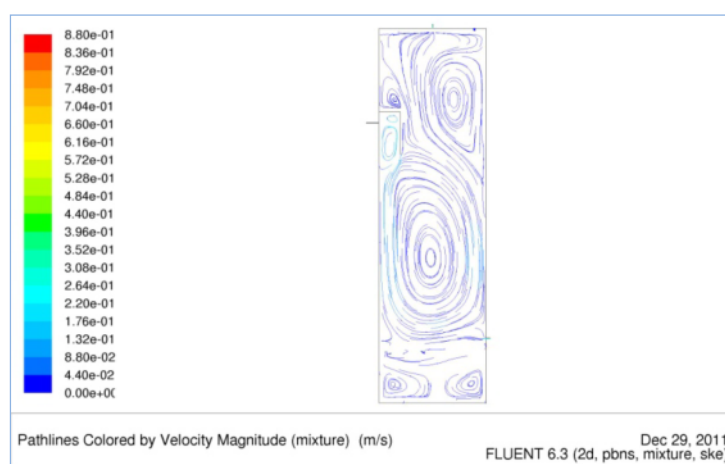
شکل ۴-۲۶. فشار کل در جداکننده قائم



شکل ۴-۲۷. کسر حجمی نفت در جداکننده قائم

راندمان جداسازی در جداکننده قائم با ترکیب سیال مشابه با جداکننده افقی، ۳،۹۴٪ می باشد. این افزایش در راندمان ناشی از افزایش ارتفاع ستون قائم سیال و تغییر در راستای حرکت سیال می باشد. افزایش ارتفاع ستون قائم سیال به مخلوط اجازه می دهد تا لایه ها در ارتفاع بیشتری طبقه بندی شوند و احتمال اختلاط لایه های بوجود آمده کاهش می یابد. سیال ورودی پس از برخورد با صفحه انحراف دهنده به سمت خروجی پایین مخزن هدایت می شود. این راستای حرکت در جهت حرکت فاز سنگین و بر خلاف جهت بلند شدگی ذرات فاز سبک نفتی به قسمت بالای جداکننده می باشد و موجب افزایش اختلاف سرعت و در پی آن افزایش سرعت نسبی و راندمان جداسازی می گردد.

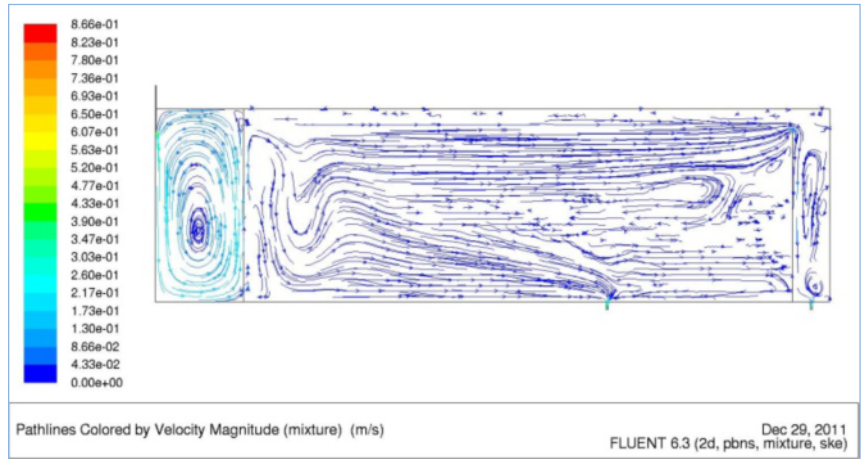
در این جداکننده با تغییر در شکل ورودی می توان راندمان بهتری تولید نمود. به عنوان مثال با پایین آوردن صفحه شکننده گردابه به میزان ۲,۵ سانتی متر، جریان ورودی دستخوش تغییر می گردد. شکل ۴-۲۸ خط مسیر سرعت مخلوط ناشی از این تغییر را نشان می دهد. مشاهده می کنید که انحناهای مسیر جریان کاهش یافته و گردابه های جریان در ورودی کوچکتر می گردند. بدین ترتیب دستخوردگی جریان و نرخ اختلاط کاهش می یابد و راندمان جداکننده از ۳,۹۴٪ به ۵,۴۸٪ ارتقا می یابد.



شکل ۴-۲۸. خط مسیر سرعت مخلوط در جداکننده قائم تغییر یافته

جداکننده بهینه

در نهایت مدل بهینه جداکننده با سرریزی به ارتفاع ۰,۲۲ متر و در فاصله ۰,۸۲۶ متر از ورودی و با حضور صفحه سوراخدار با سطح بازشدگی ۱۰٪ تولید گردید. سایر ابعاد مطابق با شکل ۴-۱ می باشد. از آنجایی که حضور دو صفحه آرام کننده در تطابق کامل با نتایج آزمایشگاهی نبود از اعمال آن در مدل بهینه صرف نظر شد، اما با اطمینان می توان گفت حضور دو آرام کننده نرخ جداسازی را ارتقا خواهد داد. شکل ۴-۲۹ خط مسیر سرعت مخلوط در جداکننده بهینه را نشان می دهد. راندمان نهایی در مدل بهبود یافته تا مقدار ۱۱,۰۵٪ ارتقا می یابد.

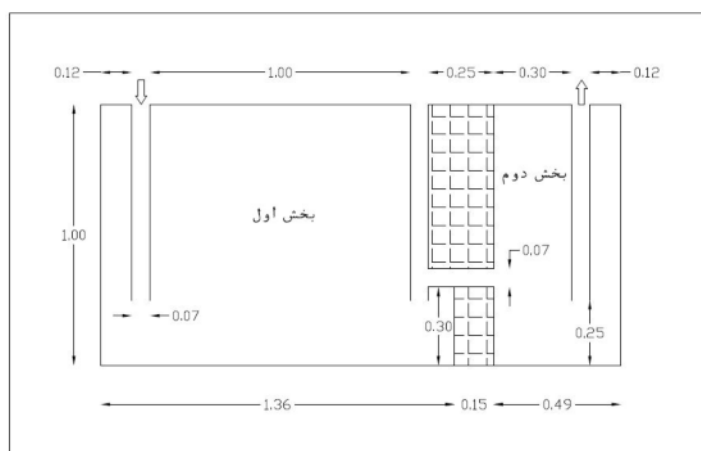


شکل ۴-۲۹. خط مسیر سرعت مخلوط در جداکننده بهینه

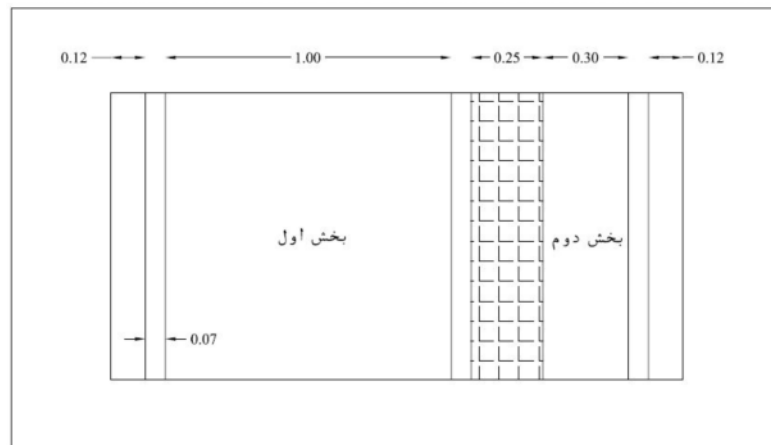
۴-۲. شبیه سازی و بهبود راندمان جداکننده چربی از آب

۴-۲-۱. هندسه جداکننده

بر اساس نمونه آزمایشگاهی و عددی ارائه شده توسط مرکز تحقیقات محیط زیستی آب در ایالات متحده [Gerdes 2000] که به جهت صحت سنجی نتایج به کار گرفته شده است، مدل دو بعدی جداکننده چربی با طول ۲ متر و عمق ۱ متر ساخته شد. جداکننده چربی دو بعدی در شکل ۴-۳۰ و شکل ۴-۳۱ نشان داده شده است. سیستم از دو بخش مجزا ساخته می شود که در بین این دو بخش دیواره آرام کننده قرار دارد. ورودی سیستم مطابق شکل، لوله ایی مستقیم است که سیال در آن در راستای نیروی گرانش جریان می یابد و در پایین ترین بخش جداکننده توزیع می شود. بدین ترتیب فاز سنگین آب در امتداد کف مخزن از بخش اول به سمت بخش دوم از طریق لوله ارتباطی جریان می یابد. در طی مسیر بخشی از قطرات چربی و روغن به سمت سطح مخزن اول حرکت می کنند و از مخلوط سیال ورودی جدا می شوند. سپس مشابه با بخش اول عمل جدایش در بخش دوم تکرار شده و سیال تصفیه شده از بخش دوم توسط لوله خروجی تخلیه می گردد. تمامی لوله های جریان عرض واحد، ۰,۰۷ متر دارند.



شکل ۴-۳۰. نمای جانبی جداکننده چربی دو بعدی [Gerdes 2000]



شکل ۴-۳۱. پلان جداکننده چربی دو بعدی

۴-۲-۲. تولید هندسه و مش

جهت ساخت هندسه و تولید مش از نرم افزار Gambit 2.4.3 استفاده شد. ورودی مجرا در مدل دو بعدی، مستطیلی شکل و از نوع سرعت ورودی ثابت و خروجی جریان، از نوع خروجی فشار ثابت در نظر گرفته شده است.

تمامی بخش های هندسه مدل با استفاده از سطوح بسته تولید شده و در نتیجه اضلاع لازم جهت تولید سطوح و مش ساخته می شوند. بر این اساس، دیواره هایی در هندسه خواهیم داشت که در هندسه اصلی وجود خارجی ندارند. به تمامی این دیواره ها شرط مرزی داخلی^۱ اختصاص می یابد.

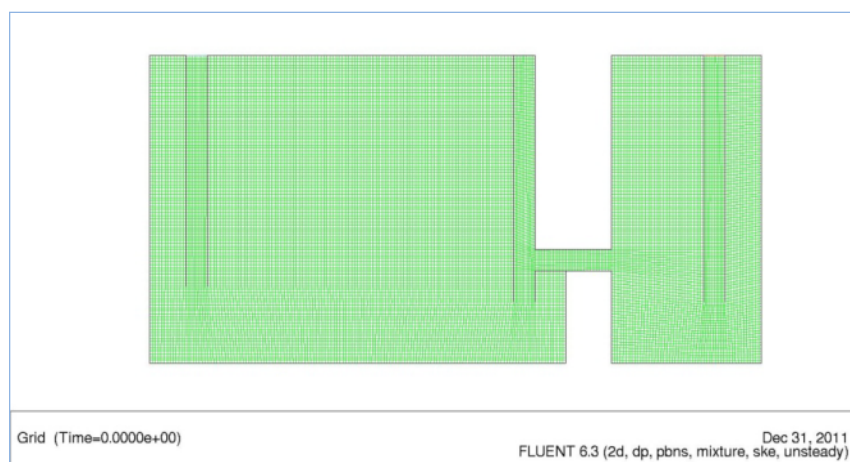
دیواره های خارجی و داخلی به صورت وجوه سلول غیر متخلخل با اصطکاک دیوار مشخص شدند. در قسمت مدل سازی عددی در برنامه Fluent برای دیواره های داخلی که سیال در دو طرف دیوار جریان دارد، دیواره ایی دو طرفه به صورت خودکار تولید شد.

آرام کننده ها (صفحات سوراخدار) با استفاده از طول های جدا شده ایی از وجوه سلول غیر متخلخل با

^۱ Interior

اصطکاک دیوار شبیه سازی شده بودند. حفرات در آرام کننده ها همچنین یک یا دو گره بودند. فواصل گره ها در محل حفره ها $0,000375$ متر و در دیواره های آرام کننده $0,00034$ متر بود. جهت تولید مش در هر مدل پس از تولید سطوح، مش روی اضلاع هر سطح ترسیم شد. سپس مش سطوح با استفاده از مش های چهارضلعی تولید گردید.

شکل ۴-۳۲ مش ایجاد شده در هندسه بدون آرام کننده را نشان می دهد.



شکل ۴-۳۲. مش ایجاد شده در جداکننده چربی بدون آرام کننده

شبیه سازی ها جهت تامین اعتبار مدل در حالت های مختلف جداکننده چربی استاندارد با نسبت طول بخش دوم به بخش اول $0,3$ (شکل ۴-۳۰)، جداکننده چربی با نسبت های طول بخش دوم به بخش اول $0,6$ و $0,9$ و جداکننده چربی بدون دیواره آرام کننده صورت گرفت.

در راستای بهبود راندمان کاربرد صفحات آرام کننده سوراخ دار به جای دیواره آرام کننده در مدل استاندارد مورد بررسی قرار گرفت. صفحه آرام کننده سوراخ دار در فاصله $0,45$ متری از دیواره مجاور ورودی قرار داده شد. ابعاد سوراخ ها نیز در هر یک از مدل ها $0,376$ ، $0,784$ ، $1,13$ و $1,5$ میلی متر به ترتیب برای گشودگی 5 ، 10 ، 15 و 20 درصد در نظر گرفته شدند.

جهت سهولت و افزایش سرعت در تولید مدل به شکل بسیار قدرتمندی می توان از قابلیت ژورنال^۱ نویسی در برنامه Gambit 2.4.3 کمک گرفت.

۴-۲-۳. تولید مدل عددی

جهت شبیه سازی جریان دوفازی آب و چربی از بسته نرم افزار FLUENT 6.3 استفاده شد. ابتدا قبل از هر چیز هندسه و مش وارد شده از برنامه Gambit مورد بررسی قرار گرفته و نواحی و دامنه جریان دوباره مرتب می شوند.

همانند تحقیق انجام شده در مرکز تحقیقات محیط زیستی آب در ایالات متحده [Gerdes 2000]، سیال ورودی از ترکیب ۹۹٫۸۹٪ آب و ۰٫۱۱٪ روغن خوراکی تشکیل می شد. چگالی روغن خوراکی ۹۲۰ کیلوگرم بر متر مکعب، لزجت دینامیکی آن ۰٫۰۶۵ پاسکال-ثانیه و قطر متوسط قطرات روغن معلق در آب ۲۰۰ میکرون در نظر گرفته شد. آب به عنوان فاز پیوسته یا اول و روغن خوراکی به عنوان فاز گسسته یا دوم در شبیه سازی معرفی شده است. آب از میان ورودی با سرعت ۰٫۰۲۱۴ متر بر ثانیه متناسب با زمان ماند ۲۰ دقیقه ایی جداکننده جاری می شود.

جریان دو بعدی، دو فازی، وابسته به زمان، ایزوترمال و تراکم ناپذیر با شدت آشفتگی ۵٪ در ورودی جریان در نظر گرفته شده است.

سطح جریان به شکل مسطح و بدون موج سطحی فرض شده که با توجه به شبیه سازی های آزمایشگاهی مرسوم دور از انتظار نیست. بر این اساس سطح جریان در شبیه سازی به صورت دیوار مسطح با تنش برشی دیوار صفر مدل شد.

^۱ Journal

جریان سیال با شدت آشفتگی ۵٪ در ورودی مدل می شود. همه مدل های آشفتگی در برخورد با جریان های آشفته، به یک شکل و با یک دقت عمل نمی نمایند؛ بدین منظور لازم است تا قابلیت ها و در عین حال محدودیت های هر یک از مدل های آشفتگی به دقت مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرند. در مدل استاندارد $k-\varepsilon$ ، لزجت آشفتگی با استفاده از دو معادله انرژی جنبشی آشفتگی k و نرخ اضمحلال انرژی جنبشی آشفتگی ε بدست خواهند آمد. در جملات آخر معادله نرخ اضمحلال انرژی جنبشی آشفتگی ε ، به وضوح اثرات شناوری در چند جمله دیده می شود که با وجود قابل توجه بودن اثرات شناوری در جداکننده ها می توانند بر صحت نتایج مدلسازی تاثیر گذار باشند [صنعی نژاد ۱۳۸۸ ش]. این مدل در مقایسه با سایر مدل های دو معادله ای آشفتگی از همگرایی بهتری برخوردار است. لذا در شبیه سازی از مدل آشفتگی $k-\varepsilon$ استفاده شد.

در شبیه سازی از مدل چند فازی Mixture استفاده شد. این مدل در مقایسه با مدل Eulerian از هزینه محاسباتی کمتر و در عین حال از دقت مناسبی جهت شبیه سازی جریان های چند فازی برخوردار است. مدل مخلوط می تواند در بازه گسترده ای از جریان های با اختلاف سرعت، اندازه ذرات و نسبت های چگالی مختلف به کار رود به شرط آنکه تعادل نیرو برقرار باشد یعنی ذرات در زمان کوتاهی در مقایسه با مقیاس زمانی مشخصه سیال به سرعت حدی برسند. مدل مخلوط کاربردهای متعددی در جریان دو بعدی در طی سی سال گذشته داشته است. در جریان سه بعدی، مدل مخلوط خیلی اوقات بکار گرفته نمی شود [Manninen 1996].

جهت محاسبه تابع دراگ، مدل Symmetric به کار گرفته شد. مدل Symmetric برای جریان هایی که در آن ها فاز دوم در یک ناحیه از دامنه تحت بررسی به فاز اول در ناحیه ایی دیگر تبدیل می شود پیشنهاد می گردد [Fluent User Guide]. در جداکننده چربی از آنجایی که فاز سبک چربی در صد کمی از سیال ورودی را تشکیل می دهد به عنوان فاز دوم محسوب می شود و پس از جدایش و جمع شدن در سطح جریان میزان فاز سبک چربی در سطح بیش از فاز سنگین آب می گردد و بدین ترتیب

فاز سبک در سطح جریان به فاز اول یا پیوسته تبدیل می شود. لذا در شبیه سازی عددی، مدل Symmetric به کار گرفته شد. ضمناً در این مدل فاز دوم طی یک روند متناوب توسط سیستم های حسگر و یا زمانمند از جداکننده زدوده می شود و به دلیل انباشت بیشتر فاز دوم در سطح جداکننده در مقایسه با جداکننده مشتقات نفتی، مدل های دیگر محاسبه تابع دراگ به کار گرفته نشدند. نیروی گرانش به عنوان نیروی حجمی موثر بر روند شبیه سازی با وارد نمودن شتاب گرانش ۹,۸۱ متر بر مجذور ثانیه اعمال می گردد.

جهت محاسبه اختلاف سرعت بین فاز سنگین آبی و فاز سبک نفتی از معادله ۲-۱ استفاده شد. جهت وارد نمودن مقادیر پیش فرض پارمترهای مختلف مانند سرعت، فشار، پارمترهای آشفتگی و کسر حجمی در گره ها از مقادیر پارمترهای ورودی جریان استفاده شد با این تفاوت که کسر حجمی فاز دوم صفر وارد شد. این بدان معنی است که فرض می شود قبل از ورود مخلوط به مخزن، سیال درون مخزن حاوی آب خالص می باشد.

برای افزودن بر سرعت همگرایی در روند حل مسئله بهتر است ابتدا مسئله تنها برای معادلات پیوستگی، مومنتوم و آشفتگی حل شود و پس از حصول همگرایی با دقت مورد نظر، معادلات کسر حجمی و سرعت لغزشی به همراه سایر معادلات جریان حل شوند.

فرمولبندی معادلات گسسته سازی از نوع ضمنی و مرتبه اول Upwind به لحاظ مکانی و زمانی در نظر گرفته شد. با توجه به پیچیده بودن معادلات، استفاده از گسسته سازی های مرتبه بالاتر منجر به حل های نوسانی و بروز مشکل همگرایی در حل معادلات خواهد شد.

۴-۲-۴. نتایج شبیه سازی و تامین اعتبار

در راستای بهبود راندمان جداکننده چربی از آب به کمک دینامیک سیالات محاسباتی، ابتدا باید مدل عددی جداکننده استاندارد مطابق با الگوی کارهای آزمایشگاهی گذشته ساخته می شد و نتایج شبیه سازی عددی از طریق مقایسه با کارهای عددی و آزمایشگاهی به لحاظ درستی نتایج مورد ارزیابی قرار می گرفت و پس از کسب اعتبار شبیه سازی عددی، بررسی روش های بهبود راندمان جداکننده چربی آغاز می شد.

مرکز تحقیقات محیط زیستی آب در ایالات متحده با اتکا بر دینامیک سیالات محاسباتی و تحقیقات آزمایشگاهی و میدانی، ارزیابی کارایی جداکننده چربی را انجام داد. در این تحقیق جهت شبیه سازی عددی از مدل آشفتگی $k-\varepsilon$ و مدل چند فازی Algebraic Slip Model استفاده شد. نتایج شبیه سازی از تطابق مناسبی با نتایج آزمایشگاهی برخوردار بودند [Ducoste 2008]. لذا از پژوهش مرکز تحقیقات محیط زیستی آب در ایالات متحده جهت بررسی صحت نتایج شبیه سازی عددی استفاده شد.

شبیه سازی ها جهت تامین اعتبار مدل در حالت های مختلف جداکننده چربی استاندارد با نسبت طول بخش دوم به بخش اول ۰,۳ (شکل ۴-۳۰)، جداکننده چربی با نسبت های طول بخش دوم به بخش اول ۰,۶ و ۰,۹ و جداکننده چربی بدون دیواره آرام کننده صورت گرفت.

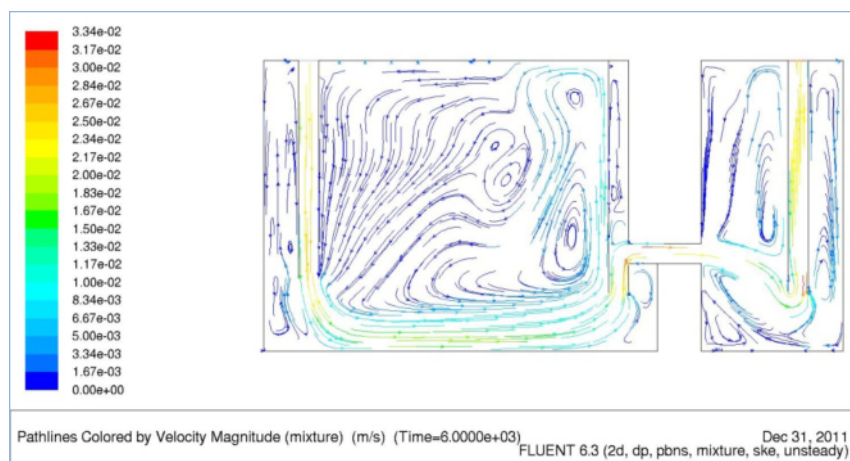
قبل از ورود مخلوط سیال به جداکننده، جداکننده گرانشی پر از آب در نظر گرفته شد. سپس راندمان حاصل پس از ۷۲۰۰ ثانیه یعنی ۶ برابر زمان ماند ۲۰ دقیقه ای مورد ارزیابی قرار گرفت. مدت زمان ۷۲۰۰ ثانیه از آنجایی انتخاب گردید که در مشاهدات حاصل از بررسی چندین مدل عددی در این مدت زمان به طور تقریبی می توان گفت در تمام عرض لوله خروجی آلودگی توزیع گردیده و لازم به نظر می رسد که در این زمان سیستم زدودن آلودگی (روغن خوراکی) فعال گردد.

راندمان جداکننده در این جداکننده عبارتست از:

$$\eta = \frac{O_{in} - O_{out}}{O_{in}} * 100 \quad \text{معادله ۲-۴}$$

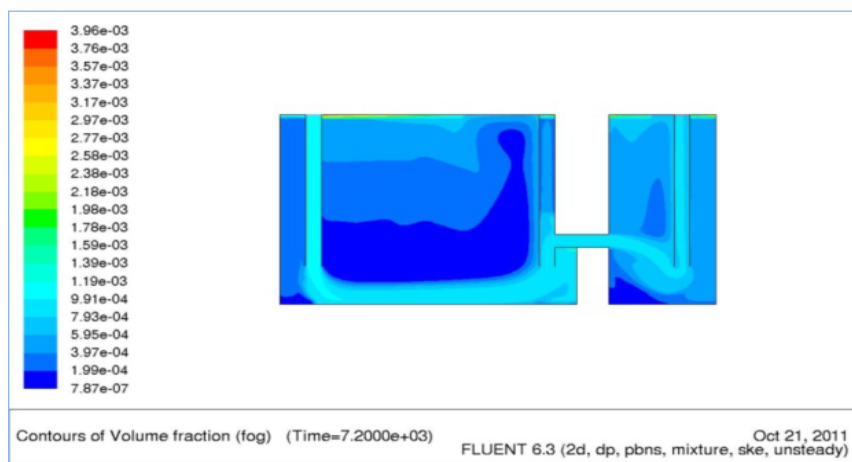
که در آن η راندمان جداسازی چربی از سیال ورودی، O_{in} کسر حجمی فاز سبک چربی در سیال ورودی، و O_{out} کسر حجمی فاز سبک چربی در سیال خروجی در ۷۲۰۰ ثانیه پس از ورود مخلوط سیال به مخزن هستند.

در ابتدا، مدل عددی جداکننده چربی استاندارد با نسبت طول بخش دوم به بخش اول ۰,۳ (شکل ۳۰-۴)، جداکننده چربی با نسبت های طول بخش دوم به بخش اول ۰,۶ و ۰,۹ حل گردید. شکل ۳۳-۴ خط مسیر سرعت مخلوط در جداکننده چربی استاندارد را نشان می دهد. همانطور که مشاهده می کنید جریان با طی کردن کوتاهترین مسیر از خروجی سیستم خارج می شود. جریان در این مسیر کوتاه بیشترین سرعت را داراست و حجم بسیار زیادی از جریان فرصت کوتاهی برای جدا شدن را دارند و بخش قابل توجهی از سیستم در جداسازی نقشی ندارد. تجمع خطوط مسیر سرعت به خصوص در بخش دوم به وضوح همیشه نشان دهنده راندمان پایین در جداکننده ها است.



شکل ۳۳-۴. خط مسیر سرعت مخلوط در جداکننده چربی استاندارد
 شکل ۳۴-۴ منحنی تراز مربوط به کسر حجمی روغن در جداکننده چربی استاندارد را نشان می دهد. همانطور که در شکل می بینید سیال حامل مقدار قابل توجهی از روغن، مسیر کوتاهی را در بخش اول جداکننده در مسیر ورودی تا لوله ارتباطی بین دو بخش، طی می کند. این روند موجب کاهش

قابل توجهی در راندمان جداکننده چربی خواهد شد. اما میزان جداسازی در بخش دوم از راندمان بالاتری برخوردار است. بنابراین با افزایش در ابعاد بخش دوم جداکننده و یا از بین بردن مسیر کوتاه ایجاد شده در بخش اول، راندمان افزایش خواهد یافت. جهت حذف مسیر کوتاه باید تغییراتی در بخش ورودی ایجاد شود. برای افزایش ابعاد بخش دوم، محل قرارگیری دیواره آرام کننده را تغییر دادیم.

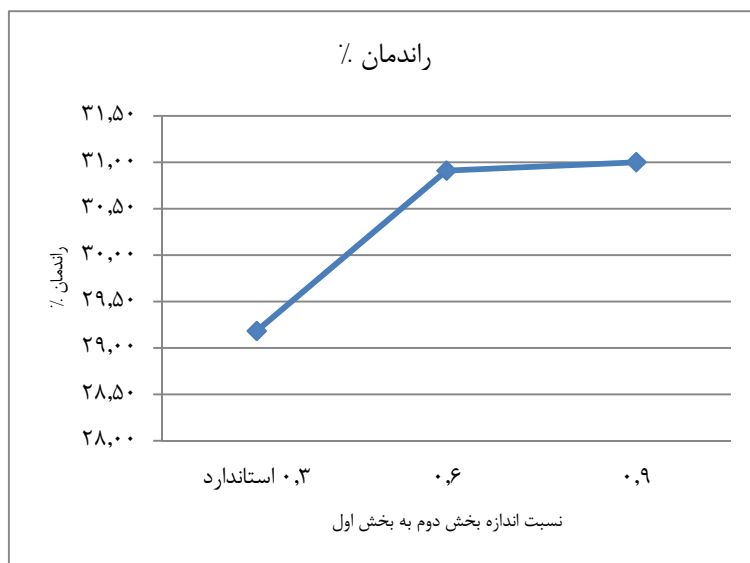


شکل ۴-۳۴. کسر حجمی روغن در جداکننده چربی استاندارد

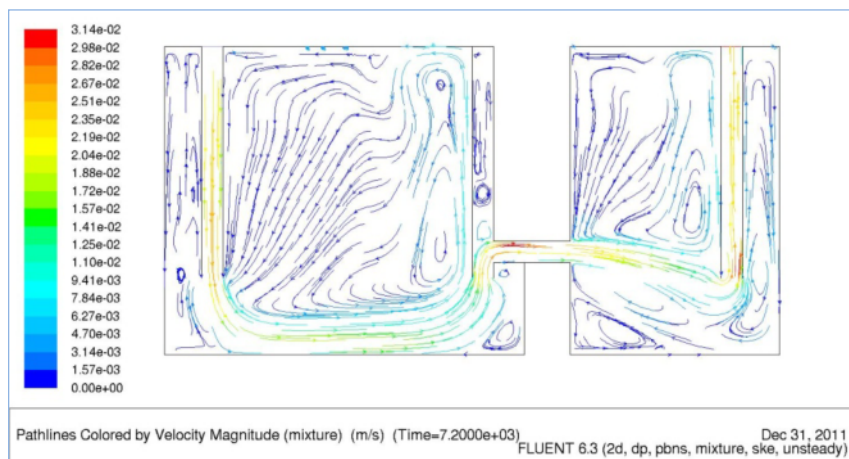
جدول ۴-۱۰ و نمودار ۴-۱۰ نتایج حاصل از بررسی تغییرات در محل قرار گیری دیوار آرام کننده را نشان می دهد. نسبت اندازه بخش دوم به بخش اول، از تقسیم فاصله لوله خروجی تا دیواره آرام کننده بر فاصله بین دو لوله در بخش اول بدست می آید. راندمان جداسازی به وضوح با افزایش ابعاد بخش دوم افزایش می یابد.

راندمان %	کسر حجمی روغن در سیال خروجی %	کسر حجمی روغن در سیال ورودی %	نسبت اندازه بخش دوم به بخش اول
۲۹,۱۸	۰,۰۷۷۹	۰,۱۱	استاندارد ۰,۳
۳۰,۹۱	۰,۰۷۶۰	۰,۱۱	۰,۶
۳۱	۰,۰۷۵۹	۰,۱۱	۰,۹

جدول ۴-۱۰. نتایج حاصل از بررسی تغییرات در محل قرار گیری دیوار آرام کننده



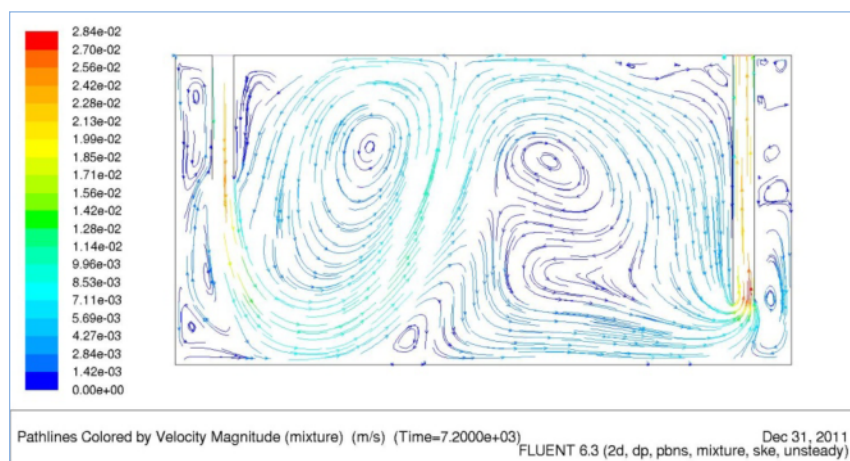
نمودار ۴-۱۰. نتایج حاصل از بررسی تغییرات در محل قرار گیری دیوار آرام کننده شکل ۴-۳۵ خط مسیر سرعت مخلوط در جداکننده با نسبت بخش دوم به اول ۰,۶ را نشان می دهد. در شکل مسیر کوتاه تغییر چندانی ندارد ولی بخش بیشتری از جریان در جداکننده به خصوص در بخش دوم جداکننده به حرکت در می آید.



شکل ۴-۳۵. خط مسیر سرعت مخلوط در جداکننده با نسبت بخش دوم به اول ۰,۶ جدول ۴-۱۱ نتایج حاصل از حذف دیواره آرام کننده را نشان می دهد. با حذف دیواره آرام کننده در جداکننده استاندارد، راندمان جداسازی کاهش می یابد. اما چنانچه طول لوله ورودی کاهش یابد مسیر کوتاه طی شده بین لوله ورودی و خروجی جریان حذف شده و راندمان جداسازی از نمونه های دارای دیواره آرام کننده بیشتر می شود. لذا علاوه بر حذف دیواره آرام کننده، تغییر در طول لوله

ورودی از عوامل موثر بر راندمان جداسازی است. البته در همه تغییرات فوق طول لوله خروجی همچنان ۰,۷۵ متر باقی می ماند.

شکل ۴-۳۶ خط مسیر سرعت مخلوط در جداکننده فاقد آرام کننده با طول لوله ورودی ۰,۴ متر را نشان می دهد. مسیر کوتاه به وضوح در این شکل به مسیری مارپیچ تبدیل شده و بخش بیشتری از جداکننده در روند جداسازی وارد می شود. سرعت ها در مسیر نسبت به مدل های قبلی کاهش یافته اند. بدین ترتیب روغن خوراکی مخلوط در آب فرصت بیشتری برای بلند شدن به سمت سطح سیال را دارد و راندمان جداسازی ارتقا می یابد.



شکل ۴-۳۶. خط مسیر سرعت مخلوط در جداکننده فاقد آرام کننده
 نتایج حاصل از جدول ۴-۱۰ و جدول ۴-۱۱ از تطابق کامل با نتایج تحقیقات آزمایشگاهی و شبیه سازی عددی مشابه در مرکز تحقیقات محیط زیستی آب در ایالات متحده [Ducoste 2008] برخوردار است. لذا شبیه سازی عددی از اعتبار لازم جهت بررسی روش های بهبود راندمان سیستم جداکننده چربی برخوردار می باشد. در جدول ۴-۱۲ نتایج بررسی راندمان در جداکننده دوبعدی در تحقیقات مرکز تحقیقات محیط زیستی آب در ایالات متحده آمده است. در این جدول L طول لوله ورودی جداکننده و R_2/R_1 نسبت طول بخش دوم جداکننده به بخش اول است. به علت وجود اختلاف احتمالی در زمان خواندن نتایج عددی اندک تفاوتی در نتایج عددی این تحقیق و تحقیقات

مرکز محیط زیستی آب در ایالات متحده مشاهده می شود. به گونه ایی که به نظر می رسد زمان برداشت نمونه در تحقیقات مرکز محیط زیستی آب در ایالات متحده کوتاه تر باشد.

طول لوله ورودی (متر)	کسر حجمی روغن در سیال ورودی %	کسر حجمی روغن در سیال خروجی %	راندمان %
۰,۸	۰,۱۱	۰,۰۷۸۳	۲۸,۸۲
۰,۴	۰,۱۱	۰,۰۶۲۹	۴۲,۸۲

جدول ۴-۱۱. راندمان متناسب با حذف دیواره آرام کننده در جداکننده چربی

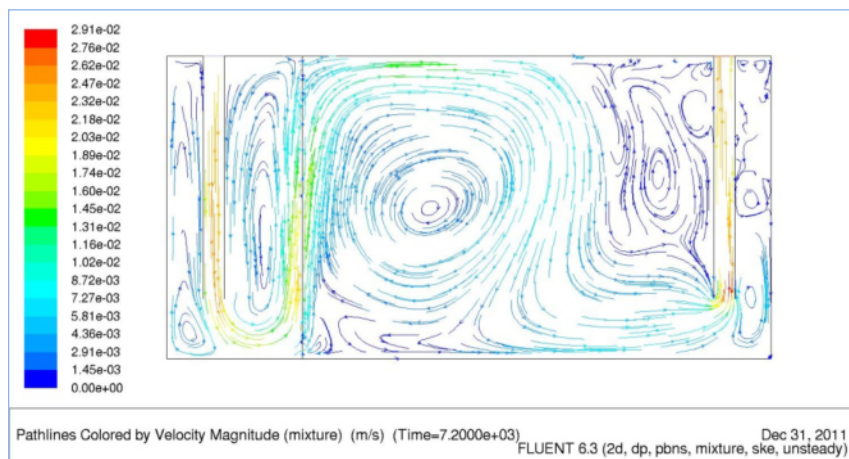
Sim. #	L	R2/R1	Influent	Effluent	% Removed
1	0	0	1.10E-03	5.89E-04	46.5
2		0.2	1.10E-03	7.41E-04	32.6
3		0.3	1.10E-03	7.67E-04	30.2
4		0.6	1.10E-03	7.83E-04	28.8
5		0.9	1.10E-03	7.89E-04	28.2
6	0.2	0	1.10E-03	4.67E-04	57.5
7		0.2	1.10E-03	5.97E-04	45.7
8		0.3	1.10E-03	6.06E-04	44.9
9		0.6	1.10E-03	6.07E-04	44.8
10		0.9	1.10E-03	6.00E-04	45.4
11	0.4	0	1.10E-03	4.66E-04	57.6
12		0.2	1.10E-03	6.17E-04	43.9
13		0.3	1.10E-03	6.17E-04	43.9
14		0.6	1.10E-03	6.18E-04	43.8
15		0.9	1.10E-03	6.11E-04	44.4
16	0.75	0	1.10E-03	4.86E-04	55.9
17		0.2	1.10E-03	6.45E-04	41.4
18**		0.3	1.10E-03	6.52E-04	40.7
19		0.6	1.10E-03	6.32E-04	42.6
20		0.9	1.10E-03	6.24E-04	43.3
21	0.8	0	1.10E-03	6.28E-04	42.9
22		0.2	1.10E-03	6.38E-04	42.0
23		0.3	1.10E-03	6.35E-04	42.3
24		0.6	1.10E-03	6.37E-04	42.1
25		0.9	1.10E-03	6.34E-04	42.4

جدول ۴-۱۲. جدول نتایج بررسی راندمان در جداکننده دوبعدی [Ducoste 2008]

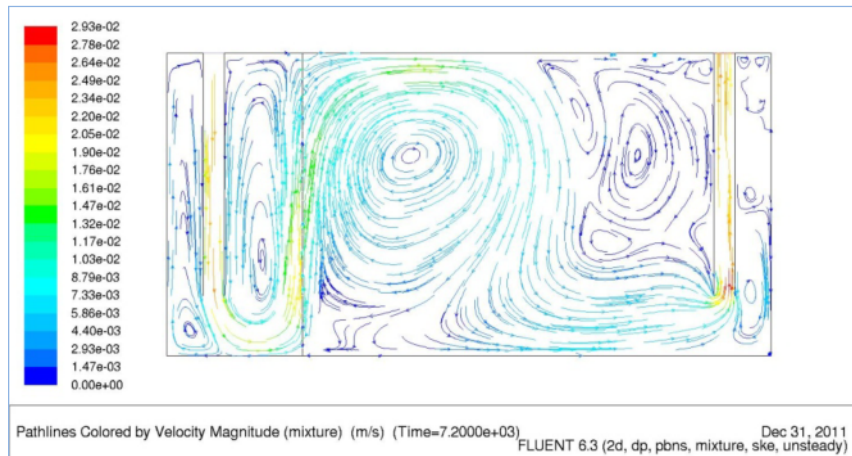
۴-۲-۵. بررسی روش های بهبود راندمان

در راستای بهبود راندمان جداکننده چربی از تغییراتی مانند استفاده از دیواره آرام کننده متخلخل به جای دیواره آرام کننده در جداکننده استاندارد و استفاده از بسته صفحات مورب که از آنها در جداکننده های مشتقات نفتی بهره گرفته می شود، استفاده شد. صفحات آرام کننده سوراخ دار با سطح بازشدگی ۵، ۱۰، ۱۵، و ۲۰ در صد به عنوان دیواره آرام کننده متخلخل جهت توزیع یکنواخت سرعت در جداکننده استاندارد در فاصله ۰,۲۶ متری از لوله ورودی (۰,۴۵ متری از دیواره مجاور ورودی) به جای دیواره آرام کننده جایگزین شدند.

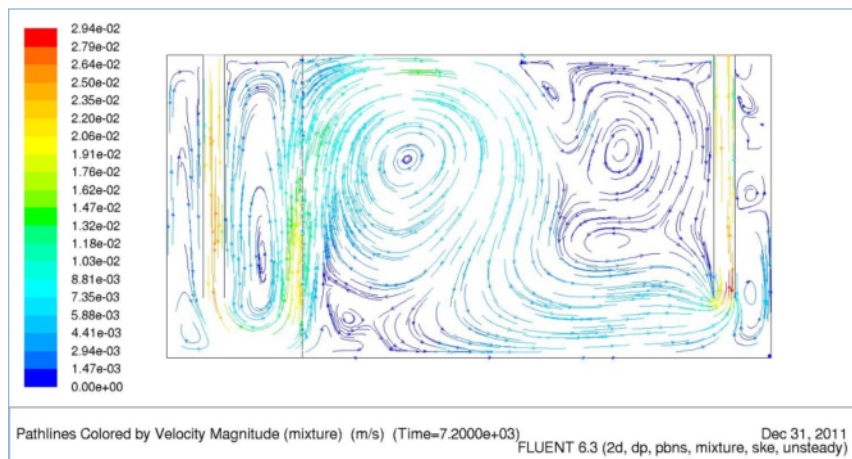
شکل ۴-۳۷ تا شکل ۴-۴۰ نحوه توزیع سرعت در جداکننده چربی دارای صفحه آرام کننده متخلخل را به کمک ترسیم خط مسیر سرعت مخلوط نشان می دهد. در همه موارد اثری از مسیر کوتاه وجود ندارد. به لحاظ توزیع یکنواخت سرعت و کاهش انحنای خطوط جریان، مدل با صفحه آرام کننده متخلخل دارای گشودگی ۱۵٪، اندکی بهتر عمل می کند. بدین ترتیب فاز سبک فرصت بیشتری برای جدایش و حرکت به سمت سطح سیال را می یابد.



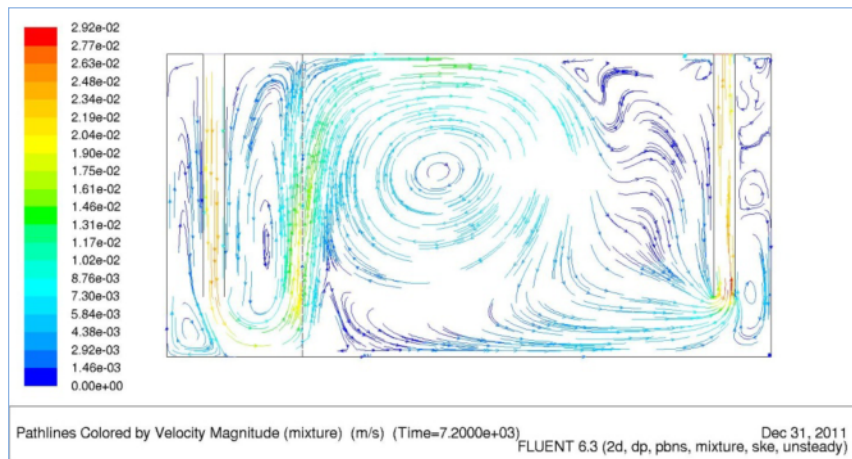
شکل ۴-۳۷. خط مسیر سرعت مخلوط در جداکننده چربی با بازشدگی آرام کننده ۵٪



شکل ۴-۳۸. خط مسیر سرعت مخلوط در جداکننده چربی با بازشدگی آرام کننده ۱۰٪



شکل ۴-۳۹. خط مسیر سرعت مخلوط در جداکننده چربی با بازشدگی آرام کننده ۱۵٪

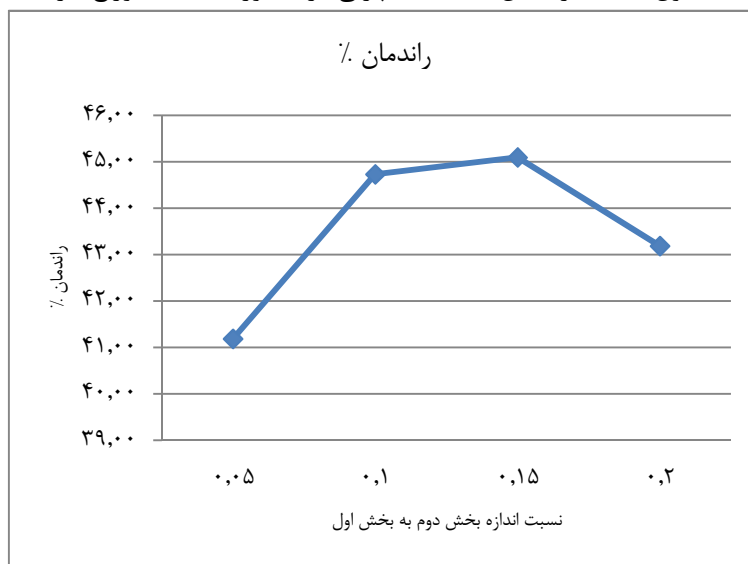


شکل ۴-۴۰. خط مسیر سرعت مخلوط در جداکننده چربی با بازشدگی آرام کننده ۲۰٪

راندمان جداسازی در حضور صفحات سوراخ دار در جدول ۴-۱۳ و نمودار ۴-۱۱ نشان داده شده است. در بیشتر موارد در حضور صفحه سوراخ دار، راندمان جداسازی نسبت به جداکننده بدون دیواره آرام کننده با طول لوله ورودی ۰,۴ متر افزایش می یابد. بیشترین راندمان جداسازی در حضور صفحه سوراخ دار با سطح آزاد ۱۵٪ روی داد.

راندمان %	کسر حجمی نفت در سیال خروجی %	کسر حجمی نفت در سیال ورودی %	میزان گشودگی صفحه آرام کننده %
۴۱,۱۸	۰,۰۶۴۷	۰,۱۱	۵
۴۴,۷۳	۰,۰۶۰۸	۰,۱۱	۱۰
۴۵,۰۹	۰,۰۶۰۴	۰,۱۱	۱۵
۴۳,۱۸	۰,۰۶۲۵	۰,۱۱	۲۰

جدول ۴-۱۳. راندمان جداکننده چربی در حضور صفحات سوراخ دار



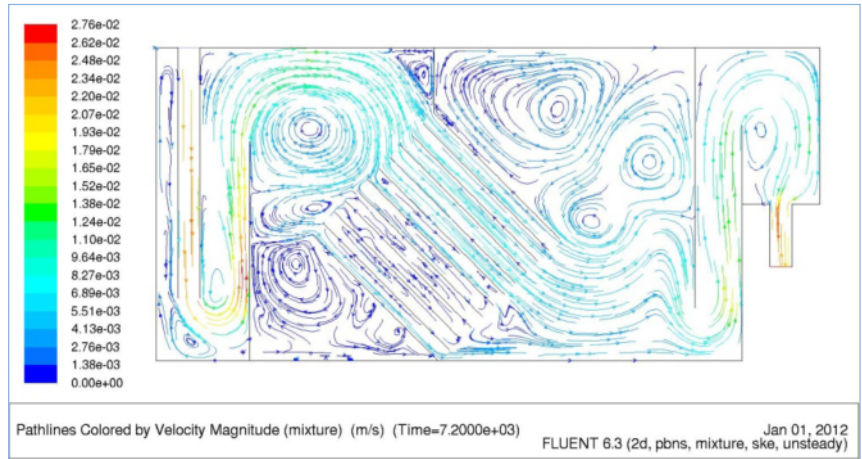
نمودار ۴-۱۱. راندمان جداکننده چربی در حضور صفحات سوراخ دار

یکی دیگر از راه هایی که می توان از پیدایش مسیر کوتاه در بین ورودی و خروجی جلوگیری نمود، استفاده از صفحه منحرف کننده جریان است. با استفاده از صفحه منحرف کننده جریان در هندسه ورودی سیستم می توان علاوه بر جلوگیری از بروز مسیر کوتاه بین ورودی و خروجی، مسیر مناسبی

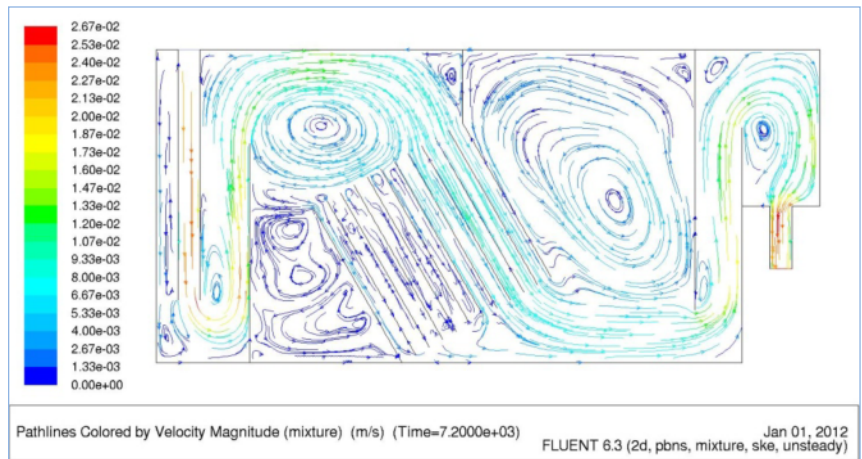
جهت انتقال جریان به بسته صفحات مورب ایجاد نمود. با حرکت رو به پایین جریان در بین صفحات مورب و با توجه به آنکه فاز سبک همواره تمایل به حرکت به سمت سطح سیال را دارد، بر میزان سرعت نسبی می افزاید. از سویی دیگر قطرات روغن پس از جمع شدن در زیر صفحات آرام کننده، لایه ایی را تشکیل می دهند که با سهولت بیشتری به سمت سطح سیال حرکت می کند. می توان این لایه ها را در شکل ۴-۴۴ و شکل ۴-۴۶ مشاهده نمود. به وضوح لایه های تشکیل شده در بسته صفحات مورب با زاویه ۶۰ درجه از ۴۵ درجه بیشتر است.

شکل ۴-۴۱ و شکل ۴-۴۲ خط مسیر سرعت مخلوط در جداکننده با بسته صفحات مورب با زاویه ۴۵ و ۶۰ درجه را نشان می دهد. به وضوح تعداد گردابه ها و انحنای خطوط جریان در حضور بسته صفحات مورب با زاویه ۴۵ درجه بیشتر است.

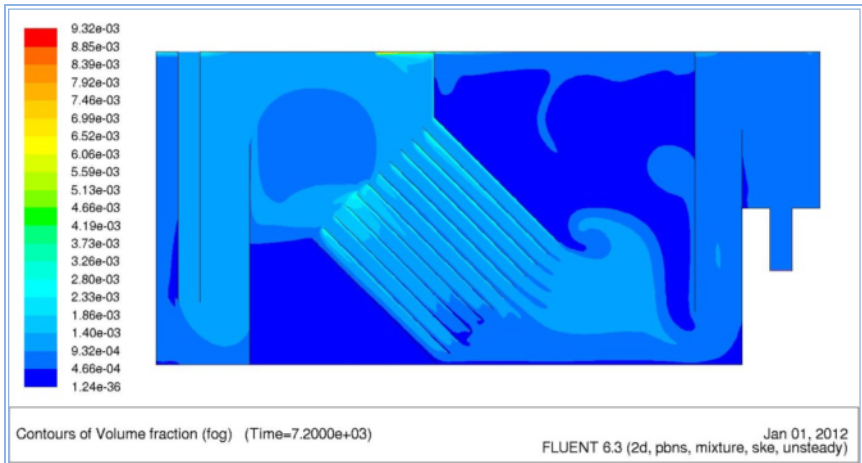
شکل ۴-۴۳ و شکل ۴-۴۵ منحنی تراز مربوط به کسر حجمی روغن در جداکننده چربی با بسته صفحات مورب را با زاویه ۴۵ و ۶۰ درجه نسبت به خط افق را نشان می دهد. در قسمت ورودی، سیال پس از برخورد با صفحه انحراف دهنده جریان به سمت بالای مخزن جریان می یابد و سپس از میان صفحات مورب عبور می نماید. آنچه که اتفاق می افتد این است که قطرات روغن به سمت بالا شناور شده و در زیر نزدیکترین پلیتی که آنها در آن به یکدیگر می پیوندند، جمع می گردند. قطرات روغن به هم پیوسته و قطرات بزرگتر را تشکیل می دهند. بر اساس معادله استوکس قطرات بزرگتر با سرعت بسیار بیشتری به سمت بالای مخزن جابه جا می شوند و در سطح جداکننده باقی می مانند تا لایه شناوری که از سطح تانک جارو می شود را تشکیل دهند. بدین ترتیب راندمان جداکننده به میزان قابل توجهی افزایش می یابد.



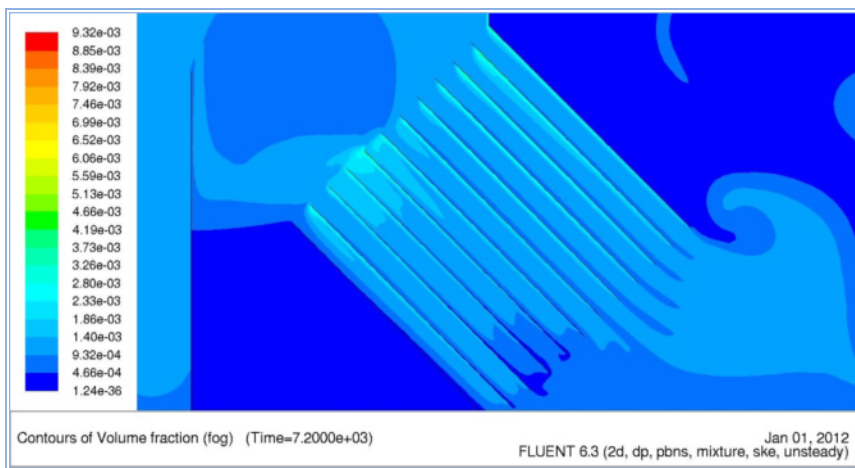
شکل ۴-۴۱. خط مسیر سرعت مخلوط در جداکننده با بسته صفحات مورب با زاویه ۴۵ درجه



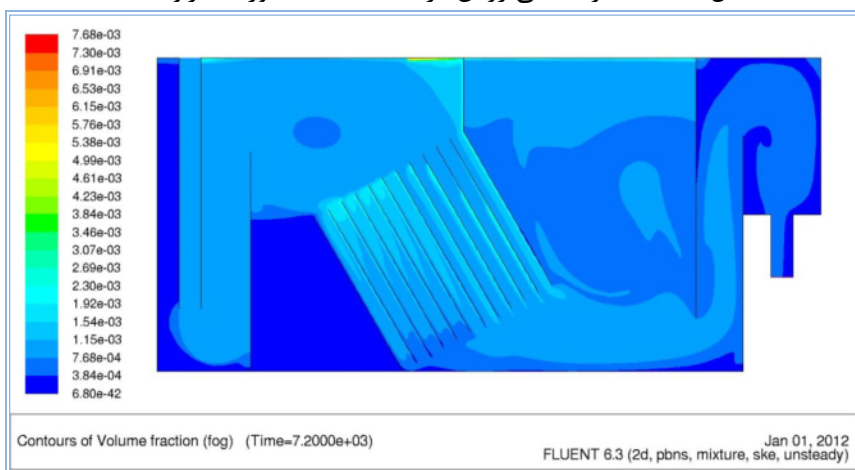
شکل ۴-۴۲. خط مسیر سرعت مخلوط در جداکننده با بسته صفحات مورب با زاویه ۶۰ درجه



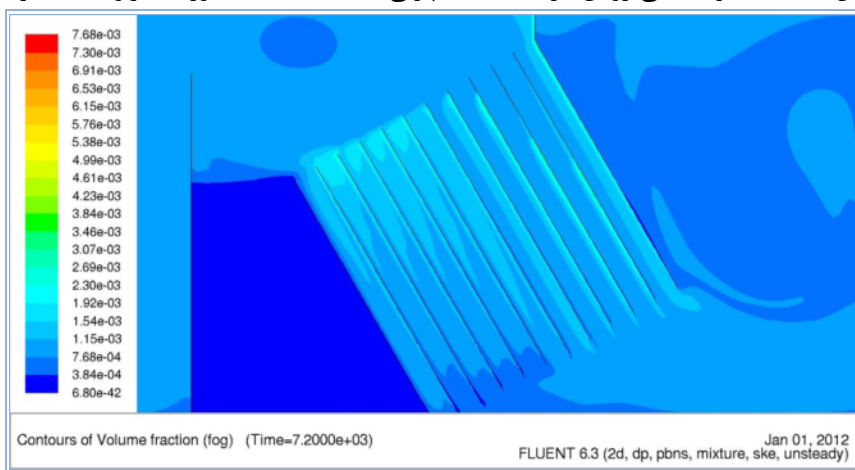
شکل ۴-۴۳. کسر حجمی روغن در جداکننده چربی با بسته صفحات مورب با زاویه ۴۵ درجه



شکل ۴-۴. کسر حجمی روغن در بسته صفحات مورب با زاویه ۴۵



شکل ۴-۴. کسر حجمی روغن در جداکننده چربی با بسته صفحات مورب با زاویه ۶۰ درجه



شکل ۴-۴. کسر حجمی روغن در بسته صفحات مورب با زاویه ۶۰ درجه

تحقیق آزمایشگاهی مشابهی [Gerdes 2000] در این خصوص برای طراحی جداکننده های مشتقات نفتی با بسته صفحات مورب مورد استفاده در کارواش های واحدهای نظامی در واحد مهندسی ارتش

ایالات متحده آمریکا صورت گرفت. بر اساس این تحقیق شکل و زاویه بسته صفحات مورب در راندمان جداکننده تاثیر گذار خواهد بود و بسته صفحات مورب با زاویه ۶۰ درجه بیشترین راندمان را تولید خواهد نمود. جدول ۴-۱۴ راندمان جداکننده با بسته صفحات مورب با زوایای ۴۵ و ۶۰ درجه را نشان می دهد. نتایج از تطابق کامل با تحقیق آزمایشگاهی مشابه برخوردار است. جداکننده اخیر با بسته صفحات مورب با زاویه ۶۰ درجه، به عنوان جداکننده چربی بهینه معرفی شد.

راندمان %	کسر حجمی روغن در سیال خروجی %	کسر حجمی روغن در سیال ورودی %	زاویه صفحات مورب با افق (درجه)
۳۹,۰۹	۰,۰۶۷	۰,۱۱	۴۵
۶۴,۷۳	۰,۰۳۸۸	۰,۱۱	۶۰

جدول ۴-۱۴. راندمان جداکننده با بسته صفحات مورب

۵. نتیجه گیری

۵-۱. نتیجه گیری

دو سیستم جداکننده مشتقات نفتی از آب و جداکننده چربی مورد بررسی قرار گرفتند. جداکننده مشتقات نفتی از آب برای کسرهای حجمی قابل توجه مشتقات نفتی مخلوط در آب مورد استفاده قرار گرفته و کسر حجمی جداشده مشتقات نفتی از خروجی مخصوص به خود، دائماً تخلیه می شود. این نوع از جداکننده ها همانطور که از نامشان پیداست در بخش های مختلف صنعتی همانند صنعت نفت که در آن جداسازی مخلوط آب و مشتقات نفتی مطرح است، کاربرد دارد. جداکننده های چربی برای کسرهای حجمی بسیار کم چربی معلق در آب مورد استفاده قرار گرفته و کسر حجمی چربی جدا شده پس از انباشته شدن در سطح سیال به کمک کف روب ها از سطح سیال جمع آوری می شود. این نوع از جداکننده ها در صنایع غذایی و فاضلاب خانگی کاربرد دارند. بدین ترتیب می توان جداکننده مشتقات نفتی را برای کسرهای حجمی قابل توجه فاز پراکنده دوم و جداکننده چربی را برای کسرهای حجمی بسیار کم فاز پراکنده دوم در مخلوط سیال پیوسته توصیه نمود.

هر کدام از جداکننده ها به تنهایی مورد بررسی قرار گرفت و شبیه سازی عددی پس از کسب اعتبار لازم از مقایسه با نتایج آزمایشگاهی و CFD گذشته، جهت بررسی روش های بهبود راندمان جداکننده ها مورد استفاده قرار گرفت.

نتایج شبیه سازی عددی جداکننده مشتقات نفتی از تطابق نسبتاً خوبی با نتایج آزمایشگاهی و CFD انجام شده توسط ویلکینسون و همکارانش [Wilkinson 2000] برخوردار بود. به گونه ای که نتایج حاصل از شبیه سازی عددی جداکننده با یک صفحه آرام کننده متخلخل از تطابق کامل و نتایج حاصل از شبیه سازی عددی جداکننده با دو صفحه آرام کننده از تطابق نسبی برخوردار بود. مدل جداکننده قائم با حجم مخزن مساوی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج شبیه سازی حاکی از افزایش

راندمان جداسازی با وجود استفاده از مخلوط سیال مشابه در جداکننده قائم نسبت به جداکننده افقی مرسوم بدون صفحه آرام کننده متخلخل بود.

در راستای بهبود راندمان، قبل از هر چیز تغییرات ساده و قابل کاربرد موثر بر راندمان جداکننده های گرانشی، هر یک به تنهایی به مدل اولیه اعمال گردیده و تغییرات راندمان متناظر با هر تغییر ثبت گردید. در نهایت مدل بهینه با اعمال موثرترین تغییرات در ارتقا راندمان جداکننده تولید و مورد ارزیابی قرار گرفت. جداکننده بهینه با سرریزی به ارتفاع ۰,۲۲ متر و در فاصله ۰,۸۲۶ متر از ورودی و با حضور صفحه سوراخدار با سطح بازشدگی ۱۰٪ تولید گردید. راندمان نهایی در مدل اصلاح شده جداکننده مشتقات نفتی از آب تا مقدار ۱۱,۰۵٪ ارتقا می یابد.

نتایج حاصل از شبیه سازی عددی جداکننده چربی به کمک دینامیک سیالات محاسباتی برای جداکننده چربی با نسبت های طول بخش دوم به بخش اول ۰,۳، ۰,۶، ۰,۹ و جداکننده بدون دیواره آرام کننده با طول لوله ورودی ۰,۴ و ۰,۸ متر از تطابق بسیار خوبی با تحقیقات آزمایشگاهی و CFD انجام شده در مرکز تحقیقات محیط زیستی آب در ایالات متحده [Ducoste 2008] برخوردار بود.

در راستای بهبود راندمان جداکننده چربی از تغییراتی مانند استفاده از دیواره آرام کننده متخلخل با گشودگی ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰٪ به جای دیواره آرام کننده در جداکننده استاندارد و استفاده از بسته صفحات مورب با زاویه های ۴۵ و ۶۰ درجه با افق، که از آنها در جداکننده های مشتقات نفتی بهره گرفته می شود استفاده شد. استفاده از دیواره آرام کننده متخلخل با گشودگی ۱۵٪ به جای دیواره آرام کننده در جداکننده استاندارد راندمان جداسازی را از مقدار ۲۹,۱۸٪ در جداکننده استاندارد تا ۴۵,۰۹٪ ارتقا داد. کاربرد بسته صفحات مورب با زاویه ۶۰ درجه نسبت به افق به همراه تغییراتی در هندسه جهت امکان استفاده از این صفحات، راندمان جداسازی را تا مقدار ۶۴,۷۳٪ ارتقا می دهد. جداکننده اخیر به عنوان جداکننده چربی بهینه معرفی شد.

با توجه به تطابق نتایج حاصل از شبیه سازی عددی جداکننده مشتقات نفتی از آب و جداکننده چربی با نتایج آزمایشگاهی و CFD انجام شده در گذشته می توان صراحتاً بر قابلیت دینامیک سیالات محاسباتی در شبیه سازی عددی و بررسی روش های بهبود راندمان جداکننده ها گرانشی تاکید نمود. همچنین از صحت نتایج ارزیابی جداکننده چربی با مخلوط حاوی تنها ۰,۱۱٪ چربی در آب به کمک مدل چند فازی مخلوط که از مدل های چند فازی تقریب اولر-اولر در فصل سوم است می توان نتیجه گرفت که بر خلاف نظر برخی از محققین که تقریب اولر-لاگرانژ را برای شبیه سازی عددی مخلوط های حاوی کسرهای حجمی پایین فاز دوم مناسب می دانند، تقریب اولر-اولر نیز می تواند برای کسرهای حجمی پایین فاز دوم به کار گرفته شود.

۵-۲. پیشنهادات

جداکننده مشتقات نفتی در شرایط عملیاتی برای جداسازی بیش از چهار فاز آب، مشتقات نفتی، گاز و جامدات معلق در ترکیب چاه نفت به کار گرفته می شود اما در تحقیق حاضر به جهت ساده سازی در شبیه سازی عددی جداکننده مشتقات نفتی تنها دو فاز آب و مشتقات نفتی در نظر گرفته شدند. شبیه سازی سه و یا چهار فاز جداسازی جداکننده مشتقات نفتی با در نظر گرفتن تعداد بیشتری از فازهای فوق در کارهای آتی توصیه می شود. ارزیابی آزمایشگاهی تمامی مدل های نهایی اصلاح شده توسط مدل های عددی الزامی است. می توان ارزیابی آزمایشگاهی و عملیاتی تحقیق حاضر را در آینده مورد توجه قرار داد.

در ضمن مراحل این تحقیق، بررسی جداکننده گرانشی استوانه ایی (با قطر ۱,۲ متر و طول ۵,۲ متر) بکار گرفته شده بوسیله نفت درود شرکت نفت فلات قاره ایران در جزیره خارک (ایران) صورت گرفت. از آنجایی که شبیه سازی عددی جداکننده گرانشی، فرآیندی بسیار پیچیده بوده و پارمترهای زیادی

بر روند شبیه سازی موثر می باشند و از سویی دیگر اطلاعاتی در خصوص بسیاری از این پارامترها در تحقیقات آزمایشگاهی مشابه [Behin 2008] در دسترس نبود، تحقیقات با صرف زمان بیش از چهار ماه به هیچ نتیجه ای منتج نشد. این جداکننده از نوع جداکننده های تحت فشار بوده که بررسی فرایند جداسازی در آنها را مشکل تر می نماید. شبیه سازی آزمایشگاهی کامل با اندازه گیری همه پارامترهای لازم برای شبیه سازی عددی و شبیه سازی عددی آن می تواند در آینده مورد توجه قرار گیرد.

- Abdulkadir M., Hernandez-Perez V.(2010)“ The Effect of Mixture Velocity and Droplet Diameter on Oil-water Separator using Computational Fluid Dynamics (CFD)”, **World Academy of Science, Engineering and Technology** **61** 2010.
- Adeniji-Fashola A., Chen C. P. (1990) “ Modeling of confined turbulent fluid-particle flows using Eulerian and Lagrangian schemes”, **Int. J. Heat Mass Transfer**, **Vol. 33, No.4, pp. 691 - 701.**
- Ahmadi G., Ma D. (1990)“ A thermodynamical formulation for dispersed multiphase turbulent flows - I Basic theory”, **Int. J. Multiphase Flow**, **Vol. 16, No.2, pp. 323 - 340.**
- API publication 421 (1992) “Design and Operation of Oil- Water Separators”, **Monographs on Refinery Environmental Control-Management of Water Discharges**, American Petroleum Institute.
- Arnold, K., Stewart M. (1986) “Surface Produced Operations”, Vol. I, **Gulf Publishing Co.**, Hou TX.
- Atalla F. ,Sayda A. ,Taylor J., “Modeling and Control of Three-Phase Gravity Separators in Oil Production Facilities”
- Barnea A., Mizrahi J. (1973) **Chem. Eng. J. 5,17.**
- Behin J., Aghajari M. (2008) “Influence of water level on oil–water separation by residence time distributioncurves investigations”, **Separation and Purification Technology**, **64 , 48–55.**
- Bilstad T., Espedal E. (1996), **Water Sci. Technol. 34 (9)** ,239–246.
- Cheryan M., Rajagopalan N. (1998), **J. Membr. Sci. 151** ,13–18.
- Clift R., Grace J. R., Weber M. E. (1978) “ **Bubbles, Drops, and Particles**” London: Academic Press. 351 p.

- Crowe C., Sommerfield M., Yutaka Tsuji (1998) “ Multiphase Flows with Droplets and Particles” **CRC Press**.
- Deng S., Bai R. , Chen J. Paul, Jiang Z., Yu G., Zhou F., Chen Z.(2002) “Produced water from polymer flooding process in crude oil extraction: characterization and treatment by a novel crossflow oil-water separator ”,**Separation and Purification Technology**,**29** ,207 -216.
- Dreher K.D., Shoppman T.D. (1985), **J. Petrol. Technol. 37 (8),1459–1465**.
- Ducoste, J. J., Keener K. M., Groninger J. W., Holt L. M. (2008) “Assessment of Grease Interceptor Performance”, **Water Environment Research Foundation, IWAP ISBN: 978-1-84339-526-3/1-84339-526-6 , North Carolina State University**
- Elghobashi S. E., Abou-Arab T. W. (1983) “ A two-equation turbulence model for two-phase flows” **The Physics of Fluids, Vol. 26, pp. 931 - 938**.
- Finborud A., Faucher M., Sellman E. (1999) “New Method for Improving Oil Droplet Growth for Separation Enhancement”, **Society of Petroleum Engineers . Inc, Houston, Texas**.
- FLUENT 6.3 (2006) User's Guide, Centerra Resource Park, 10 Cavendish Court, Lebanon, New Hampshire, USA.
- Frankiewicz T., Lee C.(2002)“ Using Computational Fluid Dynamics (CFD) Simulation to Model Fluid Motion in Process Vessels on Fixed and Floating Platforms” **Society of Petroleum Engineers Inc., San Antonio, Texas**.
- Gerdes G.L., Grubich, J. (2000) “Designing Coalescing Oil/Water Separators for Use at Army Washracks”, **US Army Corps of Engineering**.
- Gidaspow D. (1994) “ Multiphase flow and fluidization. Continuum and kinetic theory descriptions”, San Diego: Academic Press.
- Gottlieb D. , Orszag S. A. (1977) “Numerical Analysis of Spectral Methods: Theory and Applications, SIAM, Philadelphia.

- Hafskjold B., Morrow T., Celius. H., Johnson D. (1994) “DROP-DROP Coalescence in Oil/Water Separation”, **Society of Petroleum Engineers . Inc**, New Orleans. LA.
- Hallanger A., Soenstaboe F., Knutsen, T. (1996) “A Simulation Model for Three-Phase Gravity Separators”, Society of Petroleum Engineers . Inc, Denver, Colorado.
- Han D.K., Yang C.Z., Zhang Z.Q., Lou Z.H., Chang Y.I., J. Petrol. (1999) **Sci. Eng. 22 (1–3),181–188.**
- Hinze J. O. (1975),“ Turbulence” McGraw-Hill Publishing Co., New York.
- Holdo A.E., Calay R.K.(2006)“**Two–phase Flow modelling for Industrial Applications**”, University of Hertfordshire Hatfield.
- Hwang G.-J., Shen H. H. (1989) “ Modeling the solid phase stress in a fluid-solid mixture” **Int. J. Multiphase Flow, Vol. 15, No.2, pp. 257 - 268.**
- Ishii M. (1975)“ Thermo-fluid Dynamic Theory of Two-phase Flow”, **Paris: Eyrolles.**
- Ishii M., Mishima K.(1984)“ Two-fluid model and hydrodynamic constitutive relations”, **Nucl. Eng. & Des., Vol. 82, pp. 107 - 126.**
- Ishii M., Zuber N. (1979) “Drag Coefficient and Relative Velocity in Bubbly, Droplet or Particulate Flows ”, **The American Institute of Chemical Engineers Journal ,Vol. 25, No.5.**
- Italian Technologies, Researches and Constructions, “**OIL-IN-WATER SEPARATION**”, vol.1, Corso Magenta 56, 20123 Milan (Italy).
- Janiyani K.L., Purohit H.J., Shanker R., Khanna P. (1994), **World J. Microbiol. Biotechnol. 10 (4) ,452–456.**
- Jeelani S.A.K., Hartland, S. (1986) **Chem. Eng. Res., 64, 450.**

- Johansen S. T., Anderson N. M., De Silva S. R. (1990)“ A two-phase model for particle local equilibrium applied to air classification of powers”, **Power Technology, Vol. 63, pp. 121 - 132.**
- Karakulski K., Kozlowski A. (1995), **A.W. Sep. Technol. 5 (4)**, 197–205.
- Kenawy F.A., Kandil M.E., Fouad M.A., Aboarab T.W. (1997) **SPE Produc. Faciliti. 12 (2)** ,112–115.
- Khadim M. A., Sarbar M. A.,(1999) “Role of asphaltene and resin in oil field emulsions” **J. Pet. Sci. Eng. 23, 213–221.**
- Kong J., Li K., (1999) **Sep. Purif. Technol. 16** ,83–93.
- Launder B. E. , Spalding (1972)“Lectures in Mathematical Models of Turbulence” Academic Press, London, D. B.England.
- Lee J.C., Lee K.Y., (2000) **Biotechnol. Lett. 22 (14)** ,1157–1163.
- Lipp P., Lee C.H., Fane A.G., Fell C.J.D. (1988), **J. Membr. Sci.36**, 161–177.
- Manninen M., Taivassalo V. (1996) “ On the mixture model for multiphase flow”, **ISBN 951-38-4946-5, Technical Research Centre of Finland (VTT), Finland.**
- MIL-HDBK-1138 (1997) “Wastewater Treatment System Operation and Maintenance Augmenting Handbook”, **Headquarters, DEPARTMENT OF DEFENSE HANDBOOK**, Washington D.C.
- Mohammand R., Juergen R., Guenter P. (1992), **SPE 25,154–162.**
- Mostafa A. A., Mongia H. C. (1988) “ On the interaction of particles and turbulent fluid flow”, **Int. J. Heat Mass Transfer, Vol. 31, No. 10, pp. 2063 – 2075.**
- Nedjhioui, M., Moulai-Mostefa N., Morsli A., Bensmaili A. (2005) “ Combined effects of polymer/surfactant/oil/alkali on physical chemical properties” **Desalination 185, 543–550.**

- Nurxat N., Chen W.H., Chen W., Li Z.P., Wang H.Q. (1999) **J. Dispersion Sci. Technol.** **20 (5)**,1501–1506.
- Palmer L.L., Beyer A.H., Stock J. (1981), **J. Petrol. Technol.** **33 (6)**, 1136–1140.
- Pericleous K. A., Drake, S. N. (1986)“ Numerical Simulation of Fluid Flow and Heat/Mass Transfer Processes” , **Lecture Notes in Engineering 18. Berlin: Springer- Verlag.**
- Prosperetti A., Tryggvason G.(2007) “**Computational Methods for Multiphase Flow**”, CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS, ISBN-13 978-0-511-29454-9.
- Rich L.G., (1961) “**Unit Operations in Sanitary Engineering**”, Wiiey and Sons, New York City.
- Schiller L., Naumann Z., *Z. Ver. Deutsch. Ing.*, 77:318, 1935.
- Scholzy W., Fuchs W. (2000), **Water Res.** **34 (14)**, 3621–3629.
- Shih T.-H., Liou W. W., Shabbir A., Yang Z., Zhu J.(1995)“ A New k-ε Eddy-Viscosity Model for High Reynolds Number Turbulent Flows - Model Development and Validation”, **Computers Fluids**, **24(3): 227-238.**
- Simmons M.J.H., Komonibo E., Azzopardi B.J., Dick D.R.(2004)“Residence Time Distributions and Flow Behaviour within Primary Crude Oil–Water Separators Treating Well-Head Fluids”, **Trans IChemE, Part A, Chemical Engineering Research and Design**, **82 ,(A10), 1383–1390.**
- Smith G. D.(1985), “Numerical Solution of partial Differential Equations: Finite Difference methods”, **3rd edn, Clarendon Press, Oxford.**
- Soo S. L. (1990) “ **Multiphase fluid dynamics**”, Hong Kong: Science Press.
- Taylor K.C., Burke R.A., Nasr-El-Din H.A., Schramm L.L. (1998), **J. Petrol. Sci. Eng.** **21,129–139.**

- Taylor K. C., Nasr-El-Din, Hisham A.(1996)“The effect of synthetic surfactants on the interfacial behaviour of crude oil/alkali/polymer”.
- Thoma G.J., Bowen M.L., Hollensworth D. (1999), **Sep. Purif. Technol. 16** 101–107.
- Tu J. Y., Fletcher C. A. J. (1994) “ An improved model for particulate turbulence modulation in confined two-phase flow”, **Int. Comm. in Heat and Mass Transfer, Vol 21, No.6, pp. 775 - 783.**
- Ungarish M. (1995)“ On the modelling and investigation of polydispersed rotating suspensions”, **Int. J. Multiphase 267 - 284. Flow, Vol. 21, pp.**
- Verloop, W. C. (1995)“ The inertial coupling force”, **Int. J. Multiphase Flow, Vol. 21, pp. 929 - 933.**
- Versteeg H. K.,Malalasekera W. (1995) “**An Introduction to Computational Fluid Dynamics The Finite Volume Method**”,first edn, Longman Scientific and Technical, ISBN 0-582-21884-5, Malaysia,TCP.
- Visvanathan C., Svenstrup P., Ariyamethee P. (2000), **Water Sci.Technol. 41 (10–11)**, 117–123.
- Wang D.M., Cheng J.C., Wu J.Z. (1998), **SPE 49018,313–317.**
- Wang Q., Dan Y., Wang X.G., J. Macromol. (1997) **Sci. Pure Appl. Chem. A34 (7),1155–1169.**
- Wilkinson D., Waldie B., Mohamad Nor M.I., Yen Lee H. (2000) “ Baffle plate separation in horizontal primary separators”, **Chemical Engineering Journal ,77 , 221–226.**
- Yakhot V. , Orszag S. A.(1986)“Renormalization Group Analysis of Turbulence: I. Basic Theory”. **Journal of Scientific Computing**, 1(1):1-51.
- Zhang L., Hong Xiao, Zhang H., Xu L., Zhang D.(2007)“ Optimal design of a novel oil-water separator for raw oil produced from ASP flooding ”, **Journal of Petroleum Science and Engineering, 59 , 213 – 218.**

- Zienkiewicz O. C., Taylor R. L. (1991), "The Finite Element Method", vol.2, **solid and Fluid Mechanics**, McGraw Hill, New York.
- Zuber N. , Findlay J. A. (1965) "Average Volumetric Concentration in Two-Phase Flow Systems" **J. Heat Trans.**, Vol. 87, pp. 453 - 468.

- صنیعی نژاد م، ۱۳۸۸ ه ش، "مبانی جریان های آشفته و مدل سازی آنها"، چاپ اول ، دانش نگار، تهران.

- کلاگر م، ۱۳۹۰ ه ش، "ارائه راهکار نوین بررسی عملکرد جداکننده های فازی در صنایع فراورش و پالایش نفت و گاز"، اولین همایش فناوری های پالایش در محیط زیست.

پیوست ۱. فایل ژورنال Gambit مربوط به هندسه دارای دو آرام کننده

```
vertex create coordinates 0 0 0
vertex create coordinates 0 0.28 0
vertex create coordinates 0.0015 0.28 0
vertex create coordinates 0.0015 0.25 0
vertex create coordinates 0.0015 0.22 0
vertex create coordinates 0.875 0.25 0
vertex create coordinates 0.875 0 0
vertex create coordinates 0.85 0 0
vertex create coordinates 0.8521 0 0
vertex create coordinates 0.776 0 0
vertex create coordinates 0.585 0 0
vertex create coordinates 0.5871 0 0
vertex create coordinates 0.776 0.2 0
vertex cmove "vertex.8" "vertex.9" multiple 1 offset 0 -0.01 0
vertex cmove "vertex.11" "vertex.12" multiple 1 offset 0 -0.01 0
vertex create coordinates 0 0.22 0
vertex create coordinates 0.776 0.25 0
```

```
vertex create coordinates 0.155 0.000000 0
vertex create coordinates 0.155 0.006425 0
vertex create coordinates 0.155 0.007175 0
vertex create coordinates 0.155 0.013600 0
vertex create coordinates 0.155 0.014350 0
vertex create coordinates 0.155 0.020775 0
vertex create coordinates 0.155 0.021525 0
vertex create coordinates 0.155 0.027950 0
vertex create coordinates 0.155 0.028700 0
vertex create coordinates 0.155 0.035125 0
vertex create coordinates 0.155 0.035875 0
vertex create coordinates 0.155 0.042300 0
vertex create coordinates 0.155 0.043050 0
vertex create coordinates 0.155 0.049475 0
vertex create coordinates 0.155 0.050225 0
vertex create coordinates 0.155 0.056650 0
vertex create coordinates 0.155 0.057400 0
vertex create coordinates 0.155 0.063825 0
vertex create coordinates 0.155 0.064575 0
vertex create coordinates 0.155 0.071000 0
vertex create coordinates 0.155 0.071750 0
vertex create coordinates 0.155 0.078175 0
vertex create coordinates 0.155 0.078925 0
vertex create coordinates 0.155 0.085350 0
vertex create coordinates 0.155 0.086100 0
vertex create coordinates 0.155 0.092525 0
vertex create coordinates 0.155 0.093275 0
vertex create coordinates 0.155 0.099700 0
vertex create coordinates 0.155 0.100450 0
vertex create coordinates 0.155 0.106875 0
vertex create coordinates 0.155 0.107625 0
vertex create coordinates 0.155 0.114050 0
vertex create coordinates 0.155 0.114800 0
vertex create coordinates 0.155 0.121225 0
vertex create coordinates 0.155 0.121975 0
vertex create coordinates 0.155 0.128400 0
vertex create coordinates 0.155 0.129150 0
vertex create coordinates 0.155 0.135575 0
vertex create coordinates 0.155 0.136325 0
vertex create coordinates 0.155 0.142750 0
vertex create coordinates 0.155 0.143500 0
vertex create coordinates 0.155 0.149925 0
vertex create coordinates 0.155 0.150675 0
vertex create coordinates 0.155 0.157100 0
vertex create coordinates 0.155 0.157850 0
vertex create coordinates 0.155 0.164275 0
vertex create coordinates 0.155 0.165025 0
vertex create coordinates 0.155 0.171450 0
```

vertex	create	coordinates	0.155	0.172200	0
vertex	create	coordinates	0.155	0.178625	0
vertex	create	coordinates	0.155	0.179375	0
vertex	create	coordinates	0.155	0.185800	0
vertex	create	coordinates	0.155	0.186550	0
vertex	create	coordinates	0.155	0.192975	0
vertex	create	coordinates	0.155	0.193725	0
vertex	create	coordinates	0.155	0.200150	0
vertex	create	coordinates	0.155	0.200900	0
vertex	create	coordinates	0.155	0.207325	0
vertex	create	coordinates	0.155	0.208075	0
vertex	create	coordinates	0.155	0.214500	0
vertex	create	coordinates	0.155	0.215250	0
vertex	create	coordinates	0.155	0.221675	0
vertex	create	coordinates	0.155	0.222425	0
vertex	create	coordinates	0.155	0.228850	0
vertex	create	coordinates	0.155	0.229600	0
vertex	create	coordinates	0.155	0.236025	0
vertex	create	coordinates	0.155	0.236775	0
vertex	create	coordinates	0.155	0.243200	0
vertex	create	coordinates	0.155	0.243950	0
vertex	create	coordinates	0.155	0.250000	0

vertex	create	coordinates	0.23	0.000000	0
vertex	create	coordinates	0.23	0.003213	0
vertex	create	coordinates	0.23	0.003963	0
vertex	create	coordinates	0.23	0.010388	0
vertex	create	coordinates	0.23	0.011138	0
vertex	create	coordinates	0.23	0.017563	0
vertex	create	coordinates	0.23	0.018313	0
vertex	create	coordinates	0.23	0.024738	0
vertex	create	coordinates	0.23	0.025488	0
vertex	create	coordinates	0.23	0.031913	0
vertex	create	coordinates	0.23	0.032663	0
vertex	create	coordinates	0.23	0.039088	0
vertex	create	coordinates	0.23	0.039838	0
vertex	create	coordinates	0.23	0.046263	0
vertex	create	coordinates	0.23	0.047013	0
vertex	create	coordinates	0.23	0.053438	0
vertex	create	coordinates	0.23	0.054188	0
vertex	create	coordinates	0.23	0.060613	0
vertex	create	coordinates	0.23	0.061363	0
vertex	create	coordinates	0.23	0.067788	0
vertex	create	coordinates	0.23	0.068538	0
vertex	create	coordinates	0.23	0.074963	0
vertex	create	coordinates	0.23	0.075713	0
vertex	create	coordinates	0.23	0.082138	0
vertex	create	coordinates	0.23	0.082888	0
vertex	create	coordinates	0.23	0.089313	0
vertex	create	coordinates	0.23	0.090063	0
vertex	create	coordinates	0.23	0.096488	0
vertex	create	coordinates	0.23	0.097238	0
vertex	create	coordinates	0.23	0.103663	0
vertex	create	coordinates	0.23	0.104413	0
vertex	create	coordinates	0.23	0.110838	0
vertex	create	coordinates	0.23	0.111588	0
vertex	create	coordinates	0.23	0.118013	0
vertex	create	coordinates	0.23	0.118763	0
vertex	create	coordinates	0.23	0.125188	0
vertex	create	coordinates	0.23	0.125938	0
vertex	create	coordinates	0.23	0.132363	0
vertex	create	coordinates	0.23	0.133113	0
vertex	create	coordinates	0.23	0.139538	0
vertex	create	coordinates	0.23	0.140288	0
vertex	create	coordinates	0.23	0.146713	0
vertex	create	coordinates	0.23	0.147463	0
vertex	create	coordinates	0.23	0.153888	0
vertex	create	coordinates	0.23	0.154638	0
vertex	create	coordinates	0.23	0.161063	0
vertex	create	coordinates	0.23	0.161813	0
vertex	create	coordinates	0.23	0.168238	0
vertex	create	coordinates	0.23	0.168988	0
vertex	create	coordinates	0.23	0.175413	0
vertex	create	coordinates	0.23	0.176163	0

```

vertex create coordinates 0.23 0.182588 0
vertex create coordinates 0.23 0.183338 0
vertex create coordinates 0.23 0.189763 0
vertex create coordinates 0.23 0.190513 0
vertex create coordinates 0.23 0.196938 0
vertex create coordinates 0.23 0.197688 0
vertex create coordinates 0.23 0.204113 0
vertex create coordinates 0.23 0.204863 0
vertex create coordinates 0.23 0.211288 0
vertex create coordinates 0.23 0.212038 0
vertex create coordinates 0.23 0.218463 0
vertex create coordinates 0.23 0.219213 0
vertex create coordinates 0.23 0.225638 0
vertex create coordinates 0.23 0.226388 0
vertex create coordinates 0.23 0.232813 0
vertex create coordinates 0.23 0.233563 0
vertex create coordinates 0.23 0.239988 0
vertex create coordinates 0.23 0.240738 0
vertex create coordinates 0.23 0.250000 0

```

```

edge create straight "vertex.1" "vertex.18"
edge create straight "vertex.18" "vertex.2"
edge create straight "vertex.3" "vertex.4"
edge create straight "vertex.4" "vertex.5"
edge create straight "vertex.4" "vertex.89"
edge create straight "vertex.89" "vertex.159"
edge create straight "vertex.159" "vertex.19"
edge create straight "vertex.19" "vertex.6"
edge create straight "vertex.6" "vertex.7"
edge create straight "vertex.7" "vertex.9"
edge create straight "vertex.9" "vertex.15"
edge create straight "vertex.14" "vertex.8"
edge create straight "vertex.8" "vertex.10"
edge create straight "vertex.10" "vertex.13"
edge create straight "vertex.10" "vertex.12"
edge create straight "vertex.17" "vertex.12"
edge create straight "vertex.16" "vertex.11"
edge create straight "vertex.1" "vertex.20"
edge create straight "vertex.20" "vertex.90"
edge create straight "vertex.90" "vertex.11"
edge create straight "vertex.2" "vertex.3"
edge create straight "vertex.18" "vertex.5"
edge create straight "vertex.11" "vertex.12"
edge create straight "vertex.16" "vertex.17"
edge create straight "vertex.8" "vertex.9"
edge create straight "vertex.14" "vertex.15"
edge create straight "vertex.13" "vertex.19"
edge create straight "vertex.20" "vertex.21"
edge create straight "vertex.21" "vertex.22"
edge create straight "vertex.22" "vertex.23"
edge create straight "vertex.23" "vertex.24"
edge create straight "vertex.24" "vertex.25"
edge create straight "vertex.25" "vertex.26"
edge create straight "vertex.26" "vertex.27"
edge create straight "vertex.27" "vertex.28"
edge create straight "vertex.28" "vertex.29"
edge create straight "vertex.29" "vertex.30"
edge create straight "vertex.30" "vertex.31"
edge create straight "vertex.31" "vertex.32"
edge create straight "vertex.32" "vertex.33"
edge create straight "vertex.33" "vertex.34"
edge create straight "vertex.34" "vertex.35"
edge create straight "vertex.35" "vertex.36"
edge create straight "vertex.36" "vertex.37"
edge create straight "vertex.37" "vertex.38"
edge create straight "vertex.38" "vertex.39"
edge create straight "vertex.39" "vertex.40"
edge create straight "vertex.40" "vertex.41"
edge create straight "vertex.41" "vertex.42"
edge create straight "vertex.42" "vertex.43"
edge create straight "vertex.43" "vertex.44"
edge create straight "vertex.44" "vertex.45"
edge create straight "vertex.45" "vertex.46"
edge create straight "vertex.46" "vertex.47"

```

```
edge create straight "vertex.47" "vertex.48"
edge create straight "vertex.48" "vertex.49"
edge create straight "vertex.49" "vertex.50"
edge create straight "vertex.50" "vertex.51"
edge create straight "vertex.51" "vertex.52"
edge create straight "vertex.52" "vertex.53"
edge create straight "vertex.53" "vertex.54"
edge create straight "vertex.54" "vertex.55"
edge create straight "vertex.55" "vertex.56"
edge create straight "vertex.56" "vertex.57"
edge create straight "vertex.57" "vertex.58"
edge create straight "vertex.58" "vertex.59"
edge create straight "vertex.59" "vertex.60"
edge create straight "vertex.60" "vertex.61"
edge create straight "vertex.61" "vertex.62"
edge create straight "vertex.62" "vertex.63"
edge create straight "vertex.63" "vertex.64"
edge create straight "vertex.64" "vertex.65"
edge create straight "vertex.65" "vertex.66"
edge create straight "vertex.66" "vertex.67"
edge create straight "vertex.67" "vertex.68"
edge create straight "vertex.68" "vertex.69"
edge create straight "vertex.69" "vertex.70"
edge create straight "vertex.70" "vertex.71"
edge create straight "vertex.71" "vertex.72"
edge create straight "vertex.72" "vertex.73"
edge create straight "vertex.73" "vertex.74"
edge create straight "vertex.74" "vertex.75"
edge create straight "vertex.75" "vertex.76"
edge create straight "vertex.76" "vertex.77"
edge create straight "vertex.77" "vertex.78"
edge create straight "vertex.78" "vertex.79"
edge create straight "vertex.79" "vertex.80"
edge create straight "vertex.80" "vertex.81"
edge create straight "vertex.81" "vertex.82"
edge create straight "vertex.82" "vertex.83"
edge create straight "vertex.83" "vertex.84"
edge create straight "vertex.84" "vertex.85"
edge create straight "vertex.85" "vertex.86"
edge create straight "vertex.86" "vertex.87"
edge create straight "vertex.87" "vertex.88"
edge create straight "vertex.88" "vertex.89"
```

```
edge create straight "vertex.90" "vertex.91"
edge create straight "vertex.91" "vertex.92"
edge create straight "vertex.92" "vertex.93"
edge create straight "vertex.93" "vertex.94"
edge create straight "vertex.94" "vertex.95"
edge create straight "vertex.95" "vertex.96"
edge create straight "vertex.96" "vertex.97"
edge create straight "vertex.97" "vertex.98"
edge create straight "vertex.98" "vertex.99"
edge create straight "vertex.99" "vertex.100"
edge create straight "vertex.100" "vertex.101"
edge create straight "vertex.101" "vertex.102"
edge create straight "vertex.102" "vertex.103"
edge create straight "vertex.103" "vertex.104"
edge create straight "vertex.104" "vertex.105"
edge create straight "vertex.105" "vertex.106"
edge create straight "vertex.106" "vertex.107"
edge create straight "vertex.107" "vertex.108"
edge create straight "vertex.108" "vertex.109"
edge create straight "vertex.109" "vertex.110"
edge create straight "vertex.110" "vertex.111"
edge create straight "vertex.111" "vertex.112"
edge create straight "vertex.112" "vertex.113"
edge create straight "vertex.113" "vertex.114"
edge create straight "vertex.114" "vertex.115"
edge create straight "vertex.115" "vertex.116"
edge create straight "vertex.116" "vertex.117"
edge create straight "vertex.117" "vertex.118"
edge create straight "vertex.118" "vertex.119"
edge create straight "vertex.119" "vertex.120"
edge create straight "vertex.120" "vertex.121"
edge create straight "vertex.121" "vertex.122"
```

```

edge create straight "vertex.122" "vertex.123"
edge create straight "vertex.123" "vertex.124"
edge create straight "vertex.124" "vertex.125"
edge create straight "vertex.125" "vertex.126"
edge create straight "vertex.126" "vertex.127"
edge create straight "vertex.127" "vertex.128"
edge create straight "vertex.128" "vertex.129"
edge create straight "vertex.129" "vertex.130"
edge create straight "vertex.130" "vertex.131"
edge create straight "vertex.131" "vertex.132"
edge create straight "vertex.132" "vertex.133"
edge create straight "vertex.133" "vertex.134"
edge create straight "vertex.134" "vertex.135"
edge create straight "vertex.135" "vertex.136"
edge create straight "vertex.136" "vertex.137"
edge create straight "vertex.137" "vertex.138"
edge create straight "vertex.138" "vertex.139"
edge create straight "vertex.139" "vertex.140"
edge create straight "vertex.140" "vertex.141"
edge create straight "vertex.141" "vertex.142"
edge create straight "vertex.142" "vertex.143"
edge create straight "vertex.143" "vertex.144"
edge create straight "vertex.144" "vertex.145"
edge create straight "vertex.145" "vertex.146"
edge create straight "vertex.146" "vertex.147"
edge create straight "vertex.147" "vertex.148"
edge create straight "vertex.148" "vertex.149"
edge create straight "vertex.149" "vertex.150"
edge create straight "vertex.150" "vertex.151"
edge create straight "vertex.151" "vertex.152"
edge create straight "vertex.152" "vertex.153"
edge create straight "vertex.153" "vertex.154"
edge create straight "vertex.154" "vertex.155"
edge create straight "vertex.155" "vertex.156"
edge create straight "vertex.156" "vertex.157"
edge create straight "vertex.157" "vertex.158"
edge create straight "vertex.158" "vertex.159"

```

```

face create wireframe "edge.2" "edge.3" "edge.21" "edge.4" "edge.22" real
face create wireframe "edge.4" "edge.22" "edge.1" "edge.5" "edge.18" \
"edge.28" "edge.29" "edge.30" "edge.31" "edge.32" "edge.33" "edge.34" \
"edge.35" "edge.36" "edge.37" "edge.38" "edge.39" "edge.40" "edge.41" \
"edge.42" "edge.43" "edge.44" "edge.45" "edge.46" "edge.47" "edge.48" \
"edge.49" "edge.50" "edge.51" "edge.52" "edge.53" "edge.54" "edge.55" \
"edge.56" "edge.57" "edge.58" "edge.59" "edge.60" "edge.61" "edge.62" \
"edge.63" "edge.64" "edge.65" "edge.66" "edge.67" "edge.68" "edge.69" \
"edge.70" "edge.71" "edge.72" "edge.73" "edge.74" "edge.75" "edge.76" \
"edge.77" "edge.78" "edge.79" "edge.80" "edge.81" "edge.82" "edge.83" \
"edge.84" "edge.85" "edge.86" "edge.87" "edge.88" "edge.89" "edge.90" \
"edge.91" "edge.92" "edge.93" "edge.94" "edge.95" "edge.96" real
face create wireframe "edge.28" "edge.29" "edge.30" "edge.31" "edge.32" \
"edge.33" "edge.34" "edge.35" "edge.36" "edge.37" "edge.38" "edge.39" \
"edge.40" "edge.41" "edge.42" "edge.43" "edge.44" "edge.45" "edge.46" \
"edge.47" "edge.48" "edge.49" "edge.50" "edge.51" "edge.52" "edge.53" \
"edge.54" "edge.55" "edge.56" "edge.57" "edge.58" "edge.59" "edge.60" \
"edge.61" "edge.62" "edge.63" "edge.64" "edge.65" "edge.66" "edge.67" \
"edge.68" "edge.69" "edge.70" "edge.71" "edge.72" "edge.73" "edge.74" \
"edge.75" "edge.76" "edge.77" "edge.78" "edge.79" "edge.80" "edge.81" \
"edge.82" "edge.83" "edge.84" "edge.85" "edge.86" "edge.87" "edge.88" \
"edge.89" "edge.90" "edge.91" "edge.92" "edge.93" "edge.94" "edge.95" \
"edge.96" "edge.6" "edge.19" "edge.97" "edge.98" "edge.99" "edge.100" \
"edge.101" "edge.102" "edge.103" "edge.104" "edge.105" "edge.106" \
"edge.107" "edge.108" "edge.109" "edge.110" "edge.111" "edge.112" \
"edge.113" "edge.114" "edge.115" "edge.116" "edge.117" "edge.118" \
"edge.119" "edge.120" "edge.121" "edge.122" "edge.123" "edge.124" \
"edge.125" "edge.126" "edge.127" "edge.128" "edge.129" "edge.130" \
"edge.131" "edge.132" "edge.133" "edge.134" "edge.135" "edge.136" \
"edge.137" "edge.138" "edge.139" "edge.140" "edge.141" "edge.142" \
"edge.143" "edge.144" "edge.145" "edge.146" "edge.147" "edge.148" \
"edge.149" "edge.150" "edge.151" "edge.152" "edge.153" "edge.154" \
"edge.155" "edge.156" "edge.157" "edge.158" "edge.159" "edge.160" \
"edge.161" "edge.162" "edge.163" "edge.164" "edge.165" real
face create wireframe "edge.97" "edge.98" "edge.99" "edge.100" "edge.101" \
"edge.102" "edge.103" "edge.104" "edge.105" "edge.106" "edge.107" \
"edge.108" "edge.109" "edge.110" "edge.111" "edge.112" "edge.113" \

```

```

"edge.114" "edge.115" "edge.116" "edge.117" "edge.118" "edge.119" \
"edge.120" "edge.121" "edge.122" "edge.123" "edge.124" "edge.125" \
"edge.126" "edge.127" "edge.128" "edge.129" "edge.130" "edge.131" \
"edge.132" "edge.133" "edge.134" "edge.135" "edge.136" "edge.137" \
"edge.138" "edge.139" "edge.140" "edge.141" "edge.142" "edge.143" \
"edge.144" "edge.145" "edge.146" "edge.147" "edge.148" "edge.149" \
"edge.150" "edge.151" "edge.152" "edge.153" "edge.154" "edge.155" \
"edge.156" "edge.157" "edge.158" "edge.159" "edge.160" "edge.161" \
"edge.162" "edge.163" "edge.164" "edge.165" "edge.20" "edge.7" "edge.27" \
"edge.14" "edge.15" "edge.23" real
face create wireframe "edge.23" "edge.16" "edge.17" "edge.24" real
face create wireframe "edge.8" "edge.27" "edge.14" "edge.9" "edge.13" \
"edge.10" "edge.25" real
face create wireframe "edge.25" "edge.11" "edge.12" "edge.26" real

undo begingroup
edge picklink "edge.2"
edge mesh "edge.2" successive ratio1 1 size 0.005
undo endgroup
undo begingroup
edge picklink "edge.22"
edge mesh "edge.22" successive ratio1 1 size 0.0005
undo endgroup
undo begingroup
edge picklink "edge.18" "edge.5"
edge mesh "edge.5" "edge.18" successive ratio1 1 size 0.0025
undo endgroup
undo begingroup
edge picklink "edge.1"
edge mesh "edge.1" successive ratio1 1 size 0.005
undo endgroup
undo begingroup
edge picklink "edge.15" "edge.20" "edge.19"
edge mesh "edge.19" "edge.20" "edge.15" successive ratio1 1 size 0.005
undo endgroup
undo begingroup
edge picklink "edge.25" "edge.23"
edge mesh "edge.23" "edge.25" successive ratio1 1 size 0.0007
undo endgroup
undo begingroup
edge picklink "edge.17" "edge.12"
edge mesh "edge.12" "edge.17" successive ratio1 1 size 0.001
undo endgroup
undo begingroup
edge picklink "edge.10" "edge.13"
edge mesh "edge.13" "edge.10" successive ratio1 1 size 0.005
undo endgroup

edge picklink "edge.95" "edge.93" "edge.91" "edge.89" "edge.87" "edge.85" "edge.83" \
"edge.81" "edge.79" "edge.77" "edge.75" "edge.73" "edge.71" "edge.69" \
"edge.67" "edge.65" "edge.63" "edge.61" "edge.59" "edge.57" "edge.55" \
"edge.53" "edge.51" "edge.49" "edge.47" "edge.45" "edge.43" "edge.41" \
"edge.39" "edge.37" "edge.35" "edge.33" "edge.31" "edge.29"
edge mesh "edge.29" "edge.31" "edge.33" "edge.35" "edge.37" \
"edge.39" "edge.41" "edge.43" "edge.45" "edge.47" "edge.49" "edge.51" \
"edge.53" "edge.55" "edge.57" "edge.59" "edge.61" "edge.63" "edge.65" \
"edge.67" "edge.69" "edge.71" "edge.73" "edge.75" "edge.77" "edge.79" \
"edge.81" "edge.83" "edge.85" "edge.87" "edge.89" "edge.91" "edge.93" "edge.95" \
successive ratio1 1 size 0.000375

edge picklink "edge.96" "edge.94" "edge.92" "edge.90" "edge.88" "edge.86" "edge.84" \
"edge.82" "edge.80" "edge.78" "edge.76" "edge.74" "edge.72" "edge.70" \
"edge.68" "edge.66" "edge.64" "edge.62" "edge.60" "edge.58" "edge.56" \
"edge.54" "edge.52" "edge.50" "edge.48" "edge.46" "edge.44" "edge.42" \
"edge.40" "edge.38" "edge.36" "edge.34" "edge.32" "edge.30" "edge.28"

edge mesh "edge.28" "edge.30" "edge.32" "edge.34" "edge.36" \
"edge.38" "edge.40" "edge.42" "edge.44" "edge.46" "edge.48" "edge.50" \
"edge.52" "edge.54" "edge.56" "edge.58" "edge.60" "edge.62" "edge.64" \
"edge.66" "edge.68" "edge.70" "edge.72" "edge.74" "edge.76" "edge.78" \
"edge.80" "edge.82" "edge.84" "edge.86" "edge.88" "edge.90" "edge.92" \
"edge.94" "edge.96" successive ratio1 1 size 0.0034

edge picklink "edge.98" "edge.100" "edge.102" "edge.104" "edge.106" "edge.108"
"edge.110" \

```

```

"edge.112" "edge.114" "edge.116" "edge.118" "edge.120" "edge.122" "edge.124" \
"edge.126" "edge.128" "edge.130" "edge.132" "edge.134" "edge.136" "edge.138" \
"edge.140" "edge.142" "edge.144" "edge.146" "edge.148" "edge.150" "edge.152" \
"edge.154" "edge.156" "edge.158" "edge.160" "edge.162" "edge.164"

edge mesh "edge.98" "edge.100" "edge.102" "edge.104" "edge.106" "edge.108" "edge.110" \
"edge.112" "edge.114" "edge.116" "edge.118" "edge.120" "edge.122" "edge.124" \
"edge.126" "edge.128" "edge.130" "edge.132" "edge.134" "edge.136" "edge.138" \
"edge.140" "edge.142" "edge.144" "edge.146" "edge.148" "edge.150" "edge.152" \
"edge.154" "edge.156" "edge.158" "edge.160" "edge.162" "edge.164" successive ratio1 1
size 0.000375

edge picklink "edge.97" "edge.99" "edge.101" "edge.103" "edge.105" "edge.107" "edge.109"
\
"edge.111" "edge.113" "edge.115" "edge.117" "edge.119" "edge.121" "edge.123" \
"edge.125" "edge.127" "edge.129" "edge.131" "edge.133" "edge.135" "edge.137" \
"edge.139" "edge.141" "edge.143" "edge.145" "edge.147" "edge.149" "edge.151" \
"edge.153" "edge.155" "edge.157" "edge.159" "edge.161" "edge.163" "edge.165"

edge mesh "edge.97" "edge.99" "edge.101" "edge.103" "edge.105" "edge.107" "edge.109" \
"edge.111" "edge.113" "edge.115" "edge.117" "edge.119" "edge.121" "edge.123" \
"edge.125" "edge.127" "edge.129" "edge.131" "edge.133" "edge.135" "edge.137" \
"edge.139" "edge.141" "edge.143" "edge.145" "edge.147" "edge.149" "edge.151" \
"edge.153" "edge.155" "edge.157" "edge.159" "edge.161" "edge.163" "edge.165"
successive ratio1 1 size 0.0034

face mesh "face.1" map size 1
face mesh "face.2" pave size 1
face mesh "face.5" "face.7" map size 1
face mesh "face.3" map size 1
face mesh "face.4" map size 1
face mesh "face.6" map size 1

physics create btype "VELOCITY_INLET" edge "edge.21"
physics create btype "PRESSURE_OUTLET" edge "edge.24"
physics create btype "PRESSURE_OUTLET" edge "edge.26"
physics create btype "WALL" edge "edge.5" "edge.6" "edge.7" "edge.8"
physics create btype "WALL" edge "edge.4" "edge.14"
physics create btype "WALL" edge "edge.3" "edge.2" "edge.1" "edge.18" \
"edge.19" "edge.20" "edge.17" "edge.16" "edge.15" "edge.13" "edge.12" \
"edge.11" "edge.10" "edge.9"
physics create btype "INTERIOR" edge "edge.22" "edge.27" "edge.23" "edge.25"

physics create btype "WALL" edge "edge.28" "edge.30" "edge.32" "edge.34" "edge.36" \
"edge.38" "edge.40" "edge.42" "edge.44" "edge.46" "edge.48" "edge.50" \
"edge.52" "edge.54" "edge.56" "edge.58" "edge.60" "edge.62" "edge.64" \
"edge.66" "edge.68" "edge.70" "edge.72" "edge.74" "edge.76" "edge.78" \
"edge.80" "edge.82" "edge.84" "edge.86" "edge.88" "edge.90" "edge.92" \
"edge.94" "edge.96" \
"edge.97" "edge.99" "edge.101" "edge.103" "edge.105" "edge.107" "edge.109" \
"edge.111" "edge.113" "edge.115" "edge.117" "edge.119" "edge.121" "edge.123" \
"edge.125" "edge.127" "edge.129" "edge.131" "edge.133" "edge.135" "edge.137" \
"edge.139" "edge.141" "edge.143" "edge.145" "edge.147" "edge.149" "edge.151" \
"edge.153" "edge.155" "edge.157" "edge.159" "edge.161" "edge.163" "edge.165"
physics create btype "INTERIOR" edge "edge.29" "edge.31" "edge.33" "edge.35" "edge.37" \
"edge.39" "edge.41" "edge.43" "edge.45" "edge.47" "edge.49" "edge.51" \
"edge.53" "edge.55" "edge.57" "edge.59" "edge.61" "edge.63" "edge.65" \
"edge.67" "edge.69" "edge.71" "edge.73" "edge.75" "edge.77" "edge.79" \
"edge.81" "edge.83" "edge.85" "edge.87" "edge.89" "edge.91" "edge.93" "edge.95" \
"edge.98" "edge.100" "edge.102" "edge.104" "edge.106" "edge.108" "edge.110" \
"edge.112" "edge.114" "edge.116" "edge.118" "edge.120" "edge.122" "edge.124" \
"edge.126" "edge.128" "edge.130" "edge.132" "edge.134" "edge.136" "edge.138" \
"edge.140" "edge.142" "edge.144" "edge.146" "edge.148" "edge.150" "edge.152" \
"edge.154" "edge.156" "edge.158" "edge.160" "edge.162" "edge.164"

```


پیوست ۲. فایل ژورنال Fluent مربوط به هندسه دارای دو آرام کننده

```
(cx-gui-do cx-activate-item "MenuBar*ReadSubMenu*Case...")  
  
(cx-gui-do cx-set-text-entry "Select File*Text" "2 per pl 0.155 0.23 .msh")  
  
(cx-gui-do cx-activate-item "Select File*OK")  
  
(cx-gui-do cx-activate-item "MenuBar*GridMenu*Check")  
  
(cx-gui-do cx-activate-item "MenuBar*ReorderSubMenu*Domain")  
  
(cx-gui-do cx-activate-item "MenuBar*ReorderSubMenu*Zones")  
  
(cx-gui-do cx-activate-item "MenuBar*ReorderSubMenu*Print Bandwidth")  
  
(cx-gui-do cx-activate-item "MenuBar*ModelsSubMenu*Multiphase...")  
  
(cx-gui-do cx-set-toggle-button "Multiphase Model*Table1*Frame1(Model)*ToggleBox1(Model)*Mixture" #f)  
  
(cx-gui-do cx-activate-item "Multiphase Model*Table1*Frame1(Model)*ToggleBox1(Model)*Mixture")  
  
(cx-gui-do cx-set-toggle-button "Multiphase Model*Table1*Frame5(Body Force Formulation)*Table5(Body Force Formulation)*CheckBox1(Implicit Body Force)" #f)  
  
(cx-gui-do cx-activate-item "Multiphase Model*Table1*Frame5(Body Force Formulation)*Table5(Body Force Formulation)*CheckBox1(Implicit Body Force)")  
  
(cx-gui-do cx-activate-item "Multiphase Model*PanelButtons*PushButton1(OK)")  
  
(cx-gui-do cx-activate-item "MenuBar*ModelsSubMenu*Viscous...")  
  
(cx-gui-do cx-set-toggle-button "Viscous Model*Table1*Frame1(Model)*ToggleBox1(Model)*k-epsilon (2 eqn)" #f)  
  
(cx-gui-do cx-activate-item "Viscous Model*Table1*Frame1(Model)*ToggleBox1(Model)*k-epsilon (2 eqn)")  
  
(cx-gui-do cx-activate-item "Viscous Model*PanelButtons*PushButton1(OK)")  
  
(cx-gui-do cx-activate-item "MenuBar*DefineMenu*Materials...")  
  
(cx-gui-do cx-activate-item "Materials*Table1*Frame1*Frame3*ButtonBox3*PushButton1(Fluent Database)")  
  
(cx-gui-do cx-set-list-selections "Database Materials*Table1*Frame1*Frame1*List1(Materials)" '( 4))  
  
(cx-gui-do cx-activate-item "Database Materials*Table1*Frame1*Frame1*List1(Materials)")  
  
(cx-gui-do cx-set-list-selections "Database Materials*Table1*Frame1*Frame1*List1(Materials)" '( 242))  
  
(cx-gui-do cx-activate-item "Database Materials*Table1*Frame1*Frame1*List1(Materials)")  
  
(cx-gui-do cx-set-list-selections "Database Materials*Table1*Frame1*Frame1*List1(Materials)" '( 243))
```


(cx-gui-do cx-set-list-selections "Database Materials*Table1*Frame1*Frame1*List1(Materials)" '(258))

(cx-gui-do cx-activate-item "Database Materials*Table1*Frame1*Frame1*List1(Materials)")

(cx-gui-do cx-activate-item "Database Materials*PanelButtons*PushButton1(Copy)")

(cx-gui-do cx-set-list-selections "Database Materials*Table1*Frame1*Frame1*List1(Materials)" '())

(cx-gui-do cx-activate-item "Database Materials*Table1*Frame1*Frame1*List1(Materials)")

(cx-gui-do cx-set-list-selections "Database Materials*Table1*Frame1*Frame1*List1(Materials)" '(552))

(cx-gui-do cx-activate-item "Database Materials*Table1*Frame1*Frame1*List1(Materials)")

(cx-gui-do cx-activate-item "Database Materials*PanelButtons*PushButton1(Copy)")

(cx-gui-do cx-activate-item "Database Materials*PanelButtons*PushButton1(Close)")

(cx-gui-do cx-set-real-entry-list "Materials*Frame2(Properties)*Table2(Properties)*Frame4*Frame2*RealEntry3" '(997))

(cx-gui-do cx-set-real-entry-list "Materials*Frame2(Properties)*Table2(Properties)*Frame10*Frame2*RealEntry3" '(0.00089))

(cx-gui-do cx-activate-item "Materials*PanelButtons*PushButton1(Change/Create)")

(cx-gui-do cx-set-list-selections "Materials*Table1*Frame1*Table1*DropDownList4(Materials)" '(1))

(cx-gui-do cx-activate-item "Materials*Table1*Frame1*Table1*DropDownList4(Materials)")

(cx-gui-do cx-set-real-entry-list "Materials*Frame2(Properties)*Table2(Properties)*Frame4*Frame2*RealEntry3" '(805))

(cx-gui-do cx-set-real-entry-list "Materials*Frame2(Properties)*Table2(Properties)*Frame10*Frame2*RealEntry3" '(0.014))

(cx-gui-do cx-activate-item "Materials*PanelButtons*PushButton1(Change/Create)")

(cx-gui-do cx-activate-item "Materials*PanelButtons*PushButton1(Close)")

(cx-gui-do cx-activate-item "MenuBar*DefineMenu*Phases...")

(cx-gui-do cx-set-list-selections "Phases*Table1*Frame1*List1(Phase)" '(0))

(cx-gui-do cx-activate-item "Phases*Table1*Frame1*List1(Phase)")

(cx-gui-do cx-activate-item "Phases*PanelButtons*PushButton1(OK)")

(cx-gui-do cx-set-text-entry "phase-domain-2*TextEntry1(Name)" "water")

(cx-gui-do cx-set-list-selections "phase-domain-2*Table2*Table1*DropDownList1(Phase Material)" '(0))

(cx-gui-do cx-activate-item "phase-domain-2*Table2*Table1*DropDownList1(Phase Material)")

(cx-gui-do cx-activate-item "phase-domain-2*PanelButtons*PushButton1(OK)")

(cx-gui-do cx-set-list-selections "Phases*Table1*Frame1*List1(Phase)" '(0))

(cx-gui-do cx-activate-item "Phases*Table1*Frame1*List1(Phase)")

(cx-gui-do cx-set-list-selections "Phases*Table1*Frame1*List1(Phase)" '(1))

(cx-gui-do cx-activate-item "Phases*Table1*Frame1*List1(Phase)")

(cx-gui-do cx-activate-item "Phases*PanelButtons*PushButton1(OK)")

(cx-gui-do cx-set-text-entry "phase-domain-3*TextEntry1(Name)" "crude-oil")

(cx-gui-do cx-set-list-selections "phase-domain-3*Table2*Table1*DropDownList1(Phase Material)" '(1))

(cx-gui-do cx-activate-item "phase-domain-3*Table2*Table1*DropDownList1(Phase Material)")

(cx-gui-do cx-set-real-entry-list "phase-domain-3*Frame3(Properties)*Table3(Properties)*Frame1*Frame2*RealEntry3" '(4e-005))

(cx-gui-do cx-activate-item "phase-domain-3*PanelButtons*PushButton1(OK)")

(cx-gui-do cx-set-list-selections "Phases*Table1*Frame1*List1(Phase)" '(1))

(cx-gui-do cx-activate-item "Phases*Table1*Frame1*List1(Phase)")

(cx-gui-do cx-activate-item "Phases*Table1*PushButton4(Interaction)")

(cx-gui-do cx-set-list-selections "interaction-domain-4*Frame2*Frame3(Drag)*Frame1(Drag Coefficient)*Table1(Drag Coefficient)*Frame3*Frame2*DropDownList1" '(1))

(cx-gui-do cx-activate-item "interaction-domain-4*Frame2*Frame3(Drag)*Frame1(Drag Coefficient)*Table1(Drag Coefficient)*Frame3*Frame2*DropDownList1")

(cx-gui-do cx-activate-item "interaction-domain-4*PanelButtons*PushButton1(OK)")

(cx-gui-do cx-activate-item "Phases*PanelButtons*PushButton2(Cancel)")

(cx-gui-do cx-activate-item "MenuBar*DefineMenu*Operating Conditions...")

(cx-gui-do cx-set-toggle-button "Operating Conditions*Table1*Frame2(Gravity)*Table2(Gravity)*Frame1*ToggleBox1*CheckBox1(Gravity)" #f)

(cx-gui-do cx-activate-item "Operating Conditions*Table1*Frame2(Gravity)*Table2(Gravity)*Frame1*ToggleBox1*CheckBox1(Gravity)")

(cx-gui-do cx-set-real-entry-list "Operating Conditions*Table1*Frame2(Gravity)*Table2(Gravity)*Frame2(Gravitational Acceleration)*Table2(Gravitational Acceleration)*RealEntry2(Y)" '(-9.81))

(cx-gui-do cx-activate-item "Operating Conditions*PanelButtons*PushButton1(OK)")

(cx-gui-do cx-activate-item "MenuBar*DefineMenu*Boundary Conditions...")

(cx-gui-do cx-set-list-selections "Boundary Conditions*Table1*Frame1*List1(Zone)" '(6))

(cx-gui-do cx-activate-item "Boundary Conditions*Table1*Frame1*List1(Zone)")

(cx-gui-do cx-activate-item "Boundary Conditions*PanelButtons*PushButton1(OK)")

(cx-gui-do cx-set-list-selections "velocity-inlet-11-1*Frame4*Frame3(Momentum)*Table1*Frame1(Turbulence)*Table1(Turbulence)*DropDownList1(Specification Method)" '(3))

(cx-gui-do cx-activate-item "velocity-inlet-11-1*Frame4*Frame3(Momentum)*Table1*Frame1(Turbulence)*Table1(Turbulence)*DropDownList1(Specification Method)")

```

(cx-gui-do cx-set-real-entry-list "velocity-inlet-11-
1*Frame4*Frame3(Momentum)*Table1*Frame1(Turbulence)*Table1(Turbulence)*RealEntry8(Turbulent Intensity)" '( 0.0002))

(cx-gui-do cx-set-real-entry-list "velocity-inlet-11-
1*Frame4*Frame3(Momentum)*Table1*Frame1(Turbulence)*Table1(Turbulence)*RealEntry10(Hydraulic Diameter)" '( 0.044))

(cx-gui-do cx-activate-item "velocity-inlet-11-1*PanelButtons*PushButton1(OK)")

(cx-gui-do cx-set-list-selections "Boundary Conditions*Table1*DropDownList4(Phase)" '( 1))

(cx-gui-do cx-activate-item "Boundary Conditions*Table1*DropDownList4(Phase)")

(cx-gui-do cx-activate-item "Boundary Conditions*PanelButtons*PushButton1(OK)")

(cx-gui-do cx-set-real-entry-list "velocity-inlet-11-2*Frame4*Frame3(Momentum)*Table1*Table4*RealEntry2(Velocity
Magnitude)" '( 0.833))

(cx-gui-do cx-activate-item "velocity-inlet-11-2*PanelButtons*PushButton1(OK)")

(cx-gui-do cx-set-list-selections "Boundary Conditions*Table1*DropDownList4(Phase)" '( 2))

(cx-gui-do cx-activate-item "Boundary Conditions*Table1*DropDownList4(Phase)")

(cx-gui-do cx-activate-item "Boundary Conditions*PanelButtons*PushButton1(OK)")

(cx-gui-do cx-set-real-entry-list "velocity-inlet-11-3*Frame4*Frame3(Momentum)*Table1*Table4*RealEntry2(Velocity
Magnitude)" '( 0.8328))

(cx-gui-do cx-set-text-entry "velocity-inlet-11-3*TextEntry1(Zone Name)" "velocity_inlet.1")

(cx-gui-do cx-set-real-entry-list "velocity-inlet-11-3*Frame4*Frame8(Multiphase)*Table1*Table2*RealEntry2(Volume Fraction)"
'( 0.2))

(cx-gui-do cx-activate-item "velocity-inlet-11-3*PanelButtons*PushButton1(OK)")

(cx-gui-do cx-set-list-selections "Boundary Conditions*Table1*Frame1*List1(Zone)" '( 4))

(cx-gui-do cx-activate-item "Boundary Conditions*Table1*Frame1*List1(Zone)")

(cx-gui-do cx-set-list-selections "Boundary Conditions*Table1*DropDownList4(Phase)" '( 0))

(cx-gui-do cx-activate-item "Boundary Conditions*Table1*DropDownList4(Phase)")

(cx-gui-do cx-activate-item "Boundary Conditions*PanelButtons*PushButton1(OK)")

(cx-gui-do cx-set-list-selections "pressure-outlet-10-
1*Frame4*Frame3(Momentum)*Table1*Frame1(Turbulence)*Table1(Turbulence)*DropDownList1(Specification Method)" '( 3))

(cx-gui-do cx-activate-item "pressure-outlet-10-
1*Frame4*Frame3(Momentum)*Table1*Frame1(Turbulence)*Table1(Turbulence)*DropDownList1(Specification Method)")

(cx-gui-do cx-set-real-entry-list "pressure-outlet-10-
1*Frame4*Frame3(Momentum)*Table1*Frame1(Turbulence)*Table1(Turbulence)*RealEntry8(Backflow Turbulent Intensity)" '(
0.0002))

```

```

(cx-gui-do cx-set-real-entry-list "pressure-outlet-10-
1*Frame4*Frame3(Momentum)*Table1*Frame1(Turbulence)*Table1(Turbulence)*RealEntry10(Backflow Hydraulic Diameter)" '(
0.0021))

(cx-gui-do cx-activate-item "pressure-outlet-10-1*PanelButtons*PushButton1(OK)")

(cx-gui-do cx-set-list-selections "Boundary Conditions*Table1*Frame1*List1(Zone)" '( 5))

(cx-gui-do cx-activate-item "Boundary Conditions*Table1*Frame1*List1(Zone)")

(cx-gui-do cx-activate-item "Boundary Conditions*PanelButtons*PushButton1(OK)")

(cx-gui-do cx-set-list-selections "pressure-outlet-9-
1*Frame4*Frame3(Momentum)*Table1*Frame1(Turbulence)*Table1(Turbulence)*DropDownList1(Specification Method)" '( 3))

(cx-gui-do cx-activate-item "pressure-outlet-9-
1*Frame4*Frame3(Momentum)*Table1*Frame1(Turbulence)*Table1(Turbulence)*DropDownList1(Specification Method)")

(cx-gui-do cx-set-real-entry-list "pressure-outlet-9-
1*Frame4*Frame3(Momentum)*Table1*Frame1(Turbulence)*Table1(Turbulence)*RealEntry8(Backflow Turbulent Intensity)" '(
0.0002))

(cx-gui-do cx-set-real-entry-list "pressure-outlet-9-
1*Frame4*Frame3(Momentum)*Table1*Frame1(Turbulence)*Table1(Turbulence)*RealEntry10(Backflow Hydraulic Diameter)" '(
0.0021))

(cx-gui-do cx-activate-item "pressure-outlet-9-1*PanelButtons*PushButton1(OK)")

(cx-gui-do cx-activate-item "Boundary Conditions*PanelButtons*PushButton1(OK)")

(cx-gui-do cx-activate-item "pressure-outlet-9-1*PanelButtons*PushButton1(OK)")

(cx-gui-do cx-set-list-selections "Boundary Conditions*Table1*Frame1*List1(Zone)" '( 7))

(cx-gui-do cx-activate-item "Boundary Conditions*Table1*Frame1*List1(Zone)")

(cx-gui-do cx-activate-item "Boundary Conditions*PanelButtons*PushButton1(OK)")

(cx-gui-do cx-set-toggle-button "wall-8-1*Frame4*Frame3(Momentum)*Table1*Frame2*Frame1*Table1*Frame1(Shear
Condition)*ToggleBox1(Shear Condition)*Specified Shear" #f)

(cx-gui-do cx-activate-item "wall-8-1*Frame4*Frame3(Momentum)*Table1*Frame2*Frame1*Table1*Frame1(Shear
Condition)*ToggleBox1(Shear Condition)*Specified Shear")

(cx-gui-do cx-set-real-entry-list "wall-8-1*Frame4*Frame3(Momentum)*Table1*Frame3*Frame1(Wall Roughness)*Table1(Wall
Roughness)*Table2*RealEntry2(Roughness Constant)" '( 0))

(cx-gui-do cx-activate-item "wall-8-1*PanelButtons*PushButton1(OK)")

(cx-gui-do cx-activate-item "Boundary Conditions*PanelButtons*PushButton2(Cancel)")

(cx-gui-do cx-activate-item "MenuBar*MonitorsSubMenu*Residual...")

(cx-gui-do cx-set-toggle-button "Residual Monitors*Table1*Frame1(Options)*ToggleBox1(Options)*CheckBox2(Plot)" #f)

(cx-gui-do cx-activate-item "Residual Monitors*Table1*Frame1(Options)*ToggleBox1(Options)*CheckBox2(Plot)")

```

(cx-gui-do cx-set-real-entry-list "Residual Monitors*Table2*RealEntry11" '(1e-005))

(cx-gui-do cx-set-real-entry-list "Residual Monitors*Table2*RealEntry17" '(1e-005))

(cx-gui-do cx-set-real-entry-list "Residual Monitors*Table2*RealEntry23" '(1e-005))

(cx-gui-do cx-set-real-entry-list "Residual Monitors*Table2*RealEntry29" '(1e-005))

(cx-gui-do cx-set-real-entry-list "Residual Monitors*Table2*RealEntry35" '(1e-005))

(cx-gui-do cx-set-real-entry-list "Residual Monitors*Table2*RealEntry41" '(1e-005))

(cx-gui-do cx-activate-item "Residual Monitors*PanelButtons*PushButton1(OK)")

(cx-gui-do cx-activate-item "MenuBar*WriteSubMenu*Stop Journal")

Abstract

Horizontal Gravitational separators are often used for separating oil and other existent compounds in oil well from water. In this research numerical simulation for gravitational separators using computational fluid dynamic has been done to evaluate and improve their efficiency. Software package GAMBIT 2.4.6 was used for geometry and mesh generation and software package FLUENT 6.3 was used for simulating oil/water or grease/water two phase flow. In simulation, mixture multiphase model and k- ϵ turbulence model was used. Generally oil/water separator and grease interceptor were evaluated as two instances of gravitational separators. Oil/water separator was evaluated with mixture of 20 percent oil and 80 percent water, whereas mixture in use on grease interceptor assessment only had 0.11 percent grease diffused in water.

Simulation results in both of gravitational separators had good relative agreement with experimental results. grease interceptor evaluation results for mixture of only 0.11% grease in water using mixture multiphase flow model illustrate that mixture multiphase flow model can be appropriate for two phase flows with very low volume fraction second phase. In addition, effective changes on separating efficiency are evaluated and final improved model produce from composition of most effective changes, in order to improving efficiency of separator system.

Key words:

Computational fluid dynamic, Oil-water separators, Grease interceptors, Mixture multiphase model, k- ϵ turbulence model.