

# بررسی تأثیر شرایط عملیاتی در جداسازی آسفالتین از نفت خام سنگین در هیدروسیکلون با استفاده از شبیه‌سازی CFD

مهدی قائی‌زاده<sup>۱</sup>، سیدحسن هاشم‌آبادی<sup>۱\*</sup>، محمود بیات<sup>۲</sup>

۱- تهران، دانشگاه علم و صنعت ایران، دانشکده مهندسی شیمی، آزمایشگاه تحقیقاتی دینامیک سیالات محاسباتی

۲- تهران، پژوهشگاه صنعت نفت ایران

پیام نگار: Hashemabadi@iust.ac.ir

## چکیده

در این مقاله یک هیدروسیکلون مدل (کولمن-تئو) به منظور جداسازی آسفالتین از نفت خام طراحی گردید و با استفاده از شبیه‌سازی سه‌بعدی CFD میدانهای سرعت و بازدهی عملکرد آن مورد بررسی قرار گرفت. برای شبیه‌سازی CFD هیدروسیکلون مدل اغتشاش بکار برده شده، مدل تنش رینولدز (RSM) و مدل برهمکنش بین فازی از نوع مخلوط بوده و قطر ذرات آسفالتین ۳۰ میکرون در نظر گرفته شده است. برای صحت‌سنجی، نتایج حاصل از شبیه‌سازی، با داده‌های آزمایشگاهی مقایسه شده است. دیده می‌شود شبیه‌سازی می‌تواند با خطای متوسط ۱۰٪ نسبت به نتایج آزمایشگاهی رفتار هیدروسیکلون را پیش‌بینی کند. در بررسی شرایط عملیاتی شدت جریان ورودی، قطر ذرات آسفالتین، گرانروی فاز پیوسته و نسبت جدایش مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج، نشان‌دهنده افزایش بازدهی جداسازی با افزایش شدت جریان ورودی و کاهش گرانروی می‌باشد. همچنین افزایش قطر ذرات آسفالتین به ۵۰ میکرون باعث افزایش ۱۳۳٪ در بازدهی کل هیدروسیکلون گردید. بررسی تأثیر نسبت جدایش نشان‌دهنده یک تأثیر دوگانه در عملکرد هیدروسیکلون بود. با افزایش نسبت جدایش، محصول فرایند کاهش یافته و از طرف دیگر بازدهی کل هیدروسیکلون افزایش می‌یابد. لذا در این خصوص بایستی بین کیفیت و کمیت محصول بهینه‌سازی انجام شود.

**کلمات کلیدی:** شبیه‌سازی CFD، نفت خام سنگین، آسفالتین، هیدروکربن سیکلون، بازدهی کل

## ۱- مقدمه

داد که نتیجه آن کاهش هزینه‌های عملیاتی خواهد بود. پایداری نفت خام تابع عواملی همچون دما، فشار و ساختار نفت بوده و هرگونه تغییر در عوامل مذکور می‌تواند منجر به تشکیل رسوب آسفالتین و ناپایداری نفت خام می‌شود [۱ و ۲]. تحقیقات گسترده‌ای برای جلوگیری از رسوب آسفالتین در هر یک از مراحل استخراج، انتقال و پالایش نفت خام صورت گرفته که در اغلب موارد با استفاده از افزودنیها از تجمع ذرات آسفالتین جلوگیری می‌شود. در کنار این

یکی از پدیده‌های مهم در صنایع نفت رسوب مواد آلی سنگین (آسفالتین، پارافین و واکس) در مخازن نفتی، چاههای تولیدی، مخازن نگهداری، تجهیزات فرایندی و لوله‌های انتقال می‌باشد که سبب ایجاد مشکلات فراوانی می‌شود. شناخت دقیق مکانیزم رسوب مواد آلی سنگین و پارامترهای مؤثر بر رسوب، دانش ما را در جهت اتخاذ تدابیر لازم و راه‌حل مناسب برای رفع مشکل افزایش خواهد

## ۲- معادلات حاکم

معادله پیوستگی یا بقای جرم از این حقیقت نشأت می‌گیرد که جرم نه تولید می‌شود و نه به وجود می‌آید. معادله پیوستگی در تمام مسائل سیالات حل می‌شود. فرم کلی معادله پیوستگی به صورت معادله (۱) است [۵]

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho U) = S \quad (1)$$

جمله اول از سمت چپ نشان‌دهنده انباشتگی جرم است و در مواقعی که چگالی ثابت است حذف می‌شود. جمله دوم نشان‌دهنده انتقال جرم از طریق جابجایی است. این معادله در برخی مسائل چند فازی برای اجزای سیال به صورت جداگانه برای هر فاز حل می‌شود. در این مواقع، S یک چشمه این تغییرات را نشان می‌دهد.

برای تأمین بقای اندازه حرکت در المان، قانون دوم نیوتن روی آن اعمال می‌شود. به این معنی که تغییرات اندازه حرکت در یک المان برابر است با برآیند نیروهای وارد به آن. نمایش نیروهای سطحی به صورت جملات جداگانه در معادله اندازه حرکت، برای نشان دادن نقش آنها و نیز وارد کردن اثرات نیروهای بدنه به صورت عبارتهای چشمه، امر رایجی است. بدون در نظر گرفتن جزئیات دقیق نیروهای بدنه، تأثیر کلی این نیروها را می‌توان بصورت یک ترم چشمه، F، برای اندازه حرکت در سه بعد در نظر گرفت. با این توضیحات معادله کلی اندازه حرکت از برآیند نیروهای وارد بر حجم کنترل در سه بعد به صورت زیر بدست می‌آید:

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho U) + \nabla \cdot (\rho U U) = -\nabla \cdot \Pi + \rho g + F \quad (2)$$

ترم اول از سمت چپ، نرخ تجمع اندازه حرکت در واحد حجم است. ترم دوم دربرگیرنده انتقال ممنتوم از طریق جابجایی است. ترم سوم نشان‌دهنده فلاکس مولکولی ممنتوم است و از رابطه (۳) به دست می‌آید:

$$-\nabla \cdot \Pi = -\nabla p + \nabla \cdot \tau \quad (3)$$

موضوع، تحقیقاتی نیز برای حذف آسفالتین از نفت خام صورت گرفته که تحقیق حاضر از این دست فعالیتهاست و جداسازی آسفالتین از نفت خام توسط هیدروسیکلون با توجه به تحقیقات آزمایشگاهی، مورد شبیه‌سازی به روش دینامیک سیالات محاسباتی، قرار گرفته است.

هیدروسیکلونها وسایلی هستند که برای جداسازی دو یا چند فاز مورد استفاده قرار می‌گیرند و انواع مختلفی دارند. در فرایند جداسازی در داخل هیدروسیکلونها از انرژی سیال برای تولید یک تأثیر گردابه‌ای استفاده می‌شود، گردابه یک شتاب چرخشی در حدود صدها برابر شتاب گرانشی ایجاد می‌کند، اگر ذرات فاز پراکنده سنگینتر از فاز پیوسته باشند تحت تأثیر این نیرو به سمت دیواره هیدروسیکلون رانده می‌شوند. محدوده اندازه ذرات برای یک جداسازی مؤثر بین ۱۰ تا ۳۰۰ میکرون است. یکی از کاربردهای وسیع هیدروسیکلونها در صنعت نفت می‌باشد. علت مقبولیت عامه برای هیدروسیکلون به سادگی طراحی، نداشتن هزینه‌های نگهداری و عملیاتی، ظرفیت بالا، بهره برداری آسان و ساختمان محکم و بدون تحرک آن بر میگردد. از دیگر مزایای این وسیله کوچک، زمان ماند کم آن است که کنترل آنرا ساده‌تر می‌کند. اما با این حال این وسایل دارای ویژگی‌های نامطلوب نیز هستند، از جمله اینکه انعطاف‌پذیری اندکی دارند. لذا نسبت به شرایط بسیار حساس‌اند و بازدهی آنها به شدت تحت تأثیر شرایط عملیات قرار می‌گیرد. اما در این میان باید به این نکته توجه کرد که هر هیدروسیکلونی با هر ابعادی می‌تواند کارایی بهینه را در شرایط عملیاتی خاص خود داشته باشد. به همین منظور در طی سال‌ها و از بدو ورود هیدروسیکلونها به عرصه جداسازی، همواره سعی شده است که با مدلسازی یا آزمایشات مختلف به ابعاد یا شرایط عملیاتی بهینه برای هیدروسیکلون دست پیدا کنند [۳ و ۴].

با توجه به اینکه روش جداسازی آسفالتین از نفت خام با حلال و سایر روش‌ها هزینه بسیار بالایی دارد، هیدروکربن‌سیکلون گزینه مناسبی محسوب شده و تحقیقات در زمینه بررسی عملکرد آنها همچنان ادامه دارد ولی تاکنون کار تحقیقاتی قابل ملاحظه‌ای گزارش نشده است. در این تحقیق تلاش بر آن بوده که میزان جداسازی آسفالتین توسط هیدروکربن‌سیکلون با تغییر ابعاد هیدروسیکلون به صورت شبیه‌سازی CFD مورد بررسی قرار گیرد.

۰/۳۵۷ کیلوگرم بر ثانیه به طور مماسی به قسمت بالای آن وارد می‌شود. درصد آسفالتین و شدت جریان سیال ورودی در همه موارد، به جز در مواردی که هدف مقایسه مدل با نتایج آزمایشگاهی و بررسی تأثیر شدت جریان بوده، همین مقادیر در نظر گرفته شده است. گرانی و چگالی نفت نیز به ترتیب  $0.00125 \text{ (kg/m.s)}$  و  $1100 \text{ (kg/m}^3\text{)}$  است. همچنین چگالی آسفالتین برابر  $1100 \text{ (kg/m}^3\text{)}$  و متوسط اندازه ذرات برابر ۳۰ میکرومتر در نظر گرفته شده است. نسبت جدایش برای تمامی شبیه‌سازها به جز مواردی که هدف بررسی تأثیر نسبت جدایش و مقایسه مدل با نتایج آزمایشگاهی بوده برابر  $0.514$  در نظر گرفته شده است.

نسبت جدایش (SR)<sup>۵</sup> به صورت نسبت شدت جریان خروجی از ته‌ریز به شدت جریان ورودی هیدروسیکلون و بازدهی کل<sup>۶</sup> به صورت معادله (۴) تعریف می‌شود [۱۲ و ۱۱].

$$E_{overall} = \frac{100 - SR}{100} \left( \frac{100 - \beta_o}{100 - \beta_f} - \frac{\beta_o}{\beta_f} \right) \quad (4)$$

در معادله فوق اندیس‌های ۰ و f به ترتیب به معنی جریان سرریز و ورودی است. SR و  $\beta$  نیز به ترتیب نسبت جدایش و درصد جرمی آسفالتین می‌باشند.

جهت بررسی استقلال از شبکه بندی تعداد سلول  $132804$ ،  $290908$  و  $533155$  برای مدل پایه استفاده شد. در جدول (۱) نتایج به دست آمده برای بازدهی کلی و همینطور زمان محاسبات برای هر شبکه بندی آورده شده است. مشاهده شد که در صورت افزایش تعداد سلول‌ها از  $290908$  به  $533155$  بازدهی کلی کمتر از  $2/5\%$  تغییر کرد و این در حالی است که زمان محاسبات از  $85$  ساعت به  $220$  ساعت افزایش می‌یابد. بنابراین در اینجا به نظر می‌رسد که استفاده از شبکه بندی با چگالی سلولی  $300000$  هم از لحاظ زمان محاسبات و هم از نظر دقت، قابل پذیرش می‌باشد و لذا در این تحقیق از این شبکه بندی استفاده شده است.

F نیز به منظور وارد کردن نیروهایی غیر از نیروهای معمول که بر بدنه حجم کنترل وارد می‌شوند، به کار برده می‌شود. نیروی بدنه ناشی از گرانش با استفاده از  $pg$  مدل می‌شود که  $g$  شتاب گرانش است.

از آنجا که توربولنسی در هیدروسیکلون شدید و به طور طبیعی نایزوتروپیک است، لذا در اکثر موارد به منظور انجام یک شبیه‌سازی با دقت بالا و از نظر محاسباتی به صرفه، از مدل RSM استفاده می‌شود [۹-۶]. در اینجا نیز به منظور شبیه‌سازی اغتشاشات، از مدل ناهمگن RSM به عنوان یک مدل بهینه از نظر دقت و سرعت و مدل دو فازی MIXTURE برای بررسی فازها استفاده شده است. همچنین برای گسسته‌سازی ترمهای جابجایی معادله مقدار حرکت و درصد حجمی از روش QUICK و به منظور کوپل کردن معادله مقدار حرکت و پیوستگی از روش SIMPLE استفاده شده است.

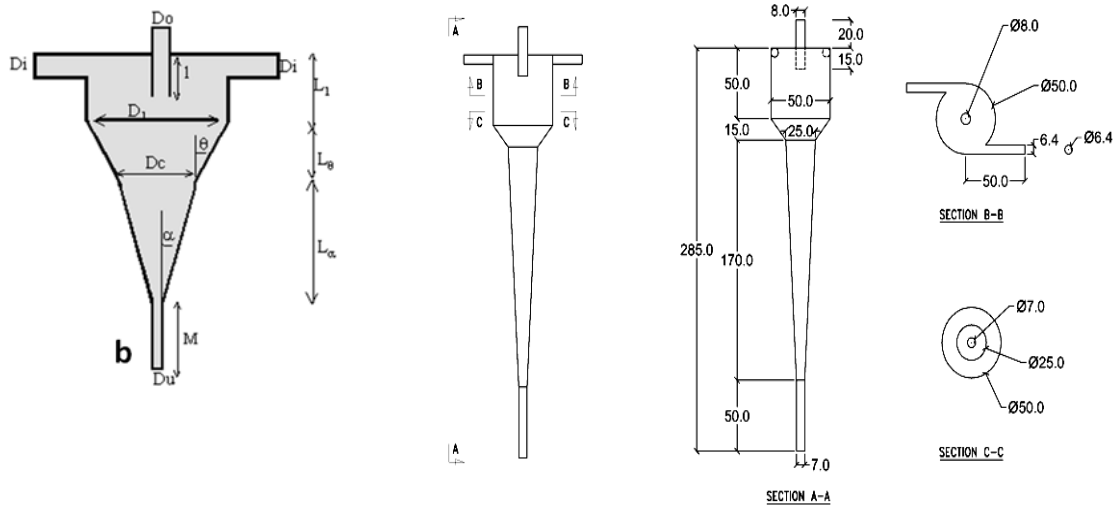
جمله‌های F موجود در معادلات مقدار حرکت (معادله (۲))، دربرگیرنده نیروهای بدنه وارد بر حجم سیال است. از جمله این نیروها، نیروی دراگ و نیروی برآ<sup>۱</sup> است. در اینجا نیز به منظور در نظر گرفتن نیروی دراگ، از رابطه (شیلر- نیومن)<sup>۲</sup> استفاده شده است. این مدل برای ذرات جامد است که با شرط غیرلغزشی بودن در سطح برقرار است. نیروی برآ در اندازه‌های بزرگ قطره تأثیرگذار بوده و لذا در اینجا از این نیرو صرف‌نظر شده است [۱۰].

## ۱-۲ شبکه محاسباتی و شرایط مرزی

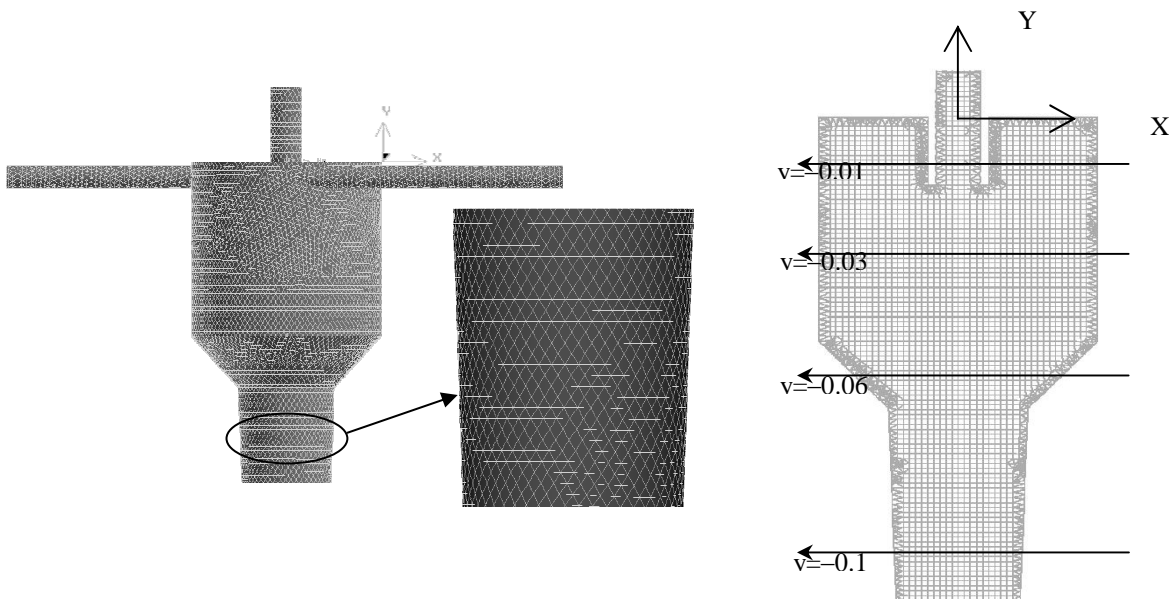
هندسه‌ای که به عنوان هیدروسیکلون پایه برای شبیه‌سازی در نظر گرفته شده است، هیدروسیکلون مدل (کولمن-تئو) است که دو قسمت مخروطی دارد [۱۱]. ابعاد این هیدروسیکلون در شکل (۱) آمده است. به منظور شبیه‌سازی هیدروسیکلون، به دلیل پیچیدگی هندسی و محدودیت در ایجاد شبکه شش وجهی، از شبکه چهار وجهی استفاده شده است. در شکل (۲) این هیدروسیکلون با شبکه چهار وجهی نشان داده شده است. در همه موارد شبیه‌سازی، شرط جرم ورودی<sup>۳</sup> در ورودی‌ها و جریان خروجی<sup>۴</sup> در خروجی‌ها در نظر گرفته شده است. این هیدروسیکلون دارای دو ورودی استوانه‌ای است که نفت خام شامل  $12$  درصد وزنی آسفالتین و با شدت جریان

1. Lift Force
2. Schiller and Naumann Model
3. Mass Flow Inlet
4. Outlet Flow

5. Split Ratio
6. Overall Efficiency



شکل ۱- مقاطع مختلف هیدروسیکلون پایه بر مبنای طرح (کولمن- تنو) (کلیه ابعاد بر حسب میلیمتر می باشند)



شکل ۲- هیدروسیکلون با سلول چهار وجهی (اندازه‌ها به متر است)

جدول ۱- بازده کل برای بررسی استقلال از شبکه بندی

$E_{overall}$	زمان محاسبات (ساعت)	تعداد سلول
۱۴/۷۴۸	۳۰	۱۳۲۸۰۴
۲۳/۴۴۶	۸۵	۲۹۰۹۰۸
۲۴/۰۳۱	۲۲۰	۵۳۳۱۵۵

### ۳-۱ تأثیر تغییر شدت جریان ورودی بر عملکرد هیدروسیکلون

شدت جریان ورودی تعیین کننده سرعت ورودی و در نتیجه توزیع سرعت در داخل هیدروسیکلون و کارایی آن در جداسازی فاز گسسته است. در اینجا به منظور بررسی تأثیر شدت جریان ورودی بر عملکرد هیدروسیکلون، شدت جریان‌های ۰/۳۵۷، ۰/۲۶۶۲ و ۰/۴۴۷ در نسبت جدایش ۰/۵۱۴ و مقدار آسفالتین ۱۲ درصد بررسی شده است.

شکل (۳)، نتایج حاصل از شبیه‌سازی برای تأثیر شدت جریان ورودی بر بازدهی کل را نشان می‌دهد. کارهای انجام شده بر روی تأثیر شدت جریان ورودی بر عملکرد هیدروسیکلون نشان می‌دهد که با افزایش شدت جریان ورودی و در نتیجه افزایش سرعت ورودی، بازدهی جداسازی در داخل هیدروسیکلون افزایش می‌یابد. همانطور که انتظار می‌رود، با افزایش شدت جریان ورودی، سرعت مماسی افزایش می‌یابد و این امر باعث افزایش بازدهی هیدروسیکلون می‌شود [۱۴-۱۳].

شکل (۴) نشان‌دهنده تغییر سرعت مماسی با شدت جریان ورودی در دو مقطع مختلف است. همانطور که دیده می‌شود، با افزایش شدت جریان ورودی و افزایش سرعت ورودی، سرعت مماسی نیز افزایش می‌یابد.

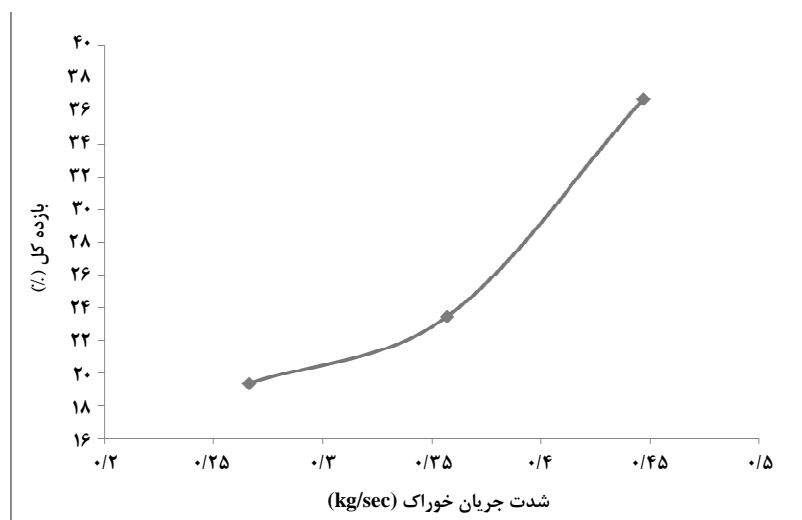
در جدول (۲) مقایسه بازدهی جداسازی هیدروسیکلون حاصل از شبیه‌سازی و همینطور نتایج تجربی نشان‌دهنده خطایی در حدود ۱۰٪ می‌باشد. لازم به ذکر است که هیدروکربن سیکلون نشان داده شده در شکل (۱) در یک سامانه آزمایشگاهی مورد مطالعه تجربی قرار گرفت که نتایج جدول (۲)، حاصل این مطالعه می‌باشد.

جدول ۲- مقایسه نتایج آزمایشگاهی و شبیه‌سازی برای بازدهی کل هیدروسیکلون

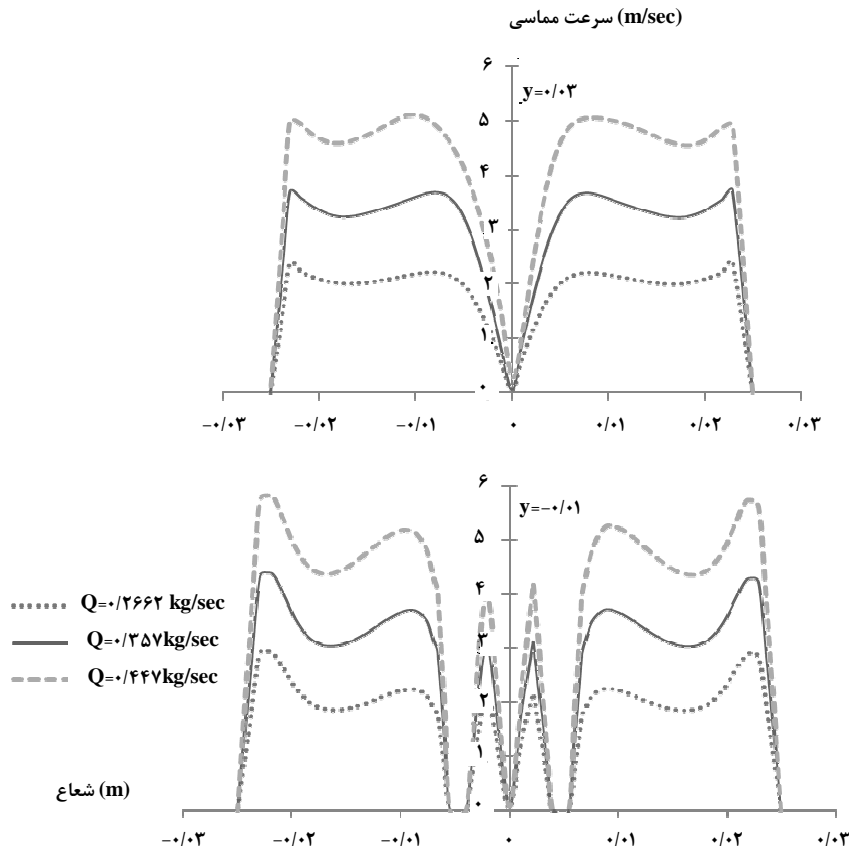
ردیف	بازدهی کل بر اساس نتایج شبیه‌سازی	بازدهی کل بر اساس نتایج آزمایشگاهی	درصد خطا
۱	۲۳/۴۴۶	۲۱/۵۶۱	-۸/۷۴
۲	۲۲/۷۶۶	۲۰/۹۹۴	-۸/۴۴
۳	۳۳/۰۵۷	۲۹/۸۱۶	-۱۰/۸۷

### ۳-۲ بررسی تأثیر شرایط عملیاتی بر عملکرد هیدروسیکلون

در این قسمت به بررسی شرایط عملیاتی حاکم بر هیدروسیکلون پرداخته می‌شود. از جمله شرایط عملیاتی مؤثر بر عملکرد هیدروسیکلون که در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفتند، شدت جریان ورودی، قطر ذرات آسفالتین، گرانروی فاز پیوسته و نسبت جدایش می‌باشند.



شکل ۳- تأثیر شدت جریان ورودی بر بازدهی کل هیدروسیکلون در نسبت جدایش ۰/۵۱۴



شکل ۴- توزیع سرعت مماسی در هیدروسیکلون در شدت جریان‌های مختلف در مقاطع  $y = -0.03$  و  $y = -0.01$

### ۲-۳ قطر ذرات ورودی

$$F = (\Delta\rho V_p) a \quad (5)$$

در این قسمت شبیه‌سازی‌هایی با قطر ۳۰ و ۵۰ میکرومتر برای ذرات آسفالتین در نسبت جدایش ۰/۵۱۴ و شدت جریان ورودی ۰/۳۵۷ کیلوگرم بر ثانیه هیدروسیکلون انجام شد. نتایج این شبیه‌سازیها نشان‌دهنده بازدهی کلی ۲۳/۴۴۶ درصد برای ذرات با قطر ۳۰ میکرومتر و ۵۴/۵۶۱ درصد برای اندازه ۵۰ میکرومتر بود. همانطور که دیده می‌شود، در اینجا نیز با افزایش اندازه ذرات، به علت افزایش نیروی جانب مرکز ذرات آسفالتین، افزایش بازدهی هیدروسیکلون به اندازه ۱۳۳٪ است. همانطور که قبلاً گفته شد، آنچه که سبب انتقال ذرات آسفالتین به سمت دیواره هیدروسیکلون می‌شود، نیروی جانب مرکز است که به خاطر اختلاف چگالی بر ذرات وارد می‌شود. این نیرو باعث حرکت ذرات به طرف دیواره با سرعت شعاعی  $u_r$  می‌شود. این نیرو با استفاده از رابطه (۵) به قطر ذره مربوط می‌گردد.

$$u_r = \left[ \frac{4}{3} \left( \frac{\rho_s - \rho_o}{\rho_o} \right) \frac{u_{\theta}^2 d}{r C_D} \right]^{0.5} \quad (6)$$

پدیده به این علت است که کاهش گرانیوی نفت منجر به کاهش مقاومت در برابر حرکت ذرات آسفالتین به سمت دیواره می‌شود. همچنین همانطور که از معادله (۶) مشخص است کاهش گرانیوی باعث افزایش سرعت در جهت شعاعی و در نتیجه افزایش نیروی جانب مرکز شده و به تبع آن باعث افزایش بازدهی جداسازی در هیدروسیکلون می‌شود.

### ۳-۴ نسبت جدایش

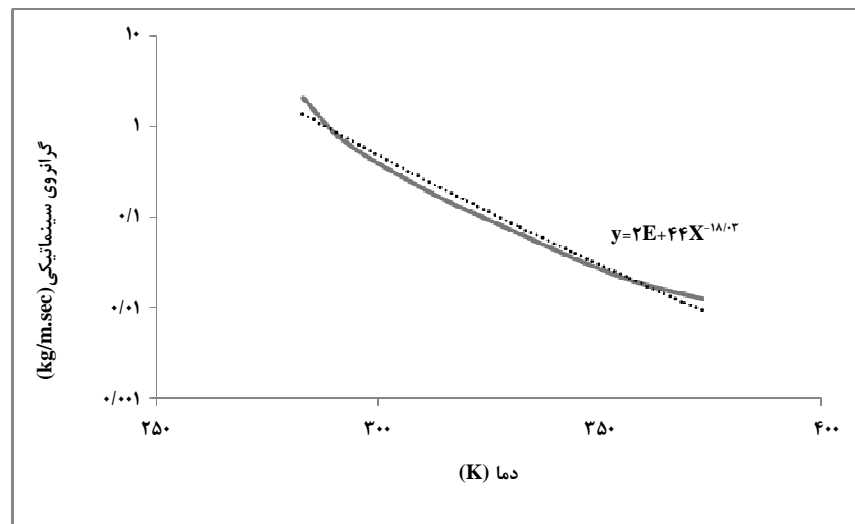
برای بررسی تأثیر این پارامتر طراحی پایه که قبلاً برای نسبت جدایش ۰/۵۱۴ انجام شده بود برای نسبتهای جدایش ۰/۴، ۰/۶، ۰/۷ و ۰/۸ نیز شبیه‌سازی انجام گرفت. در شکل (۶)، نمودار بازدهی کل و شدت جریان محصول (سرریز هیدروسیکلون) بر حسب نسبت جدایش هیدروسیکلون در شدت جریان خوراک ۰/۳۵۷ کیلوگرم بر ثانیه نشان داده شده است. همانطوری که در این شکل مشخص است افزایش نسبت جدایش باعث افزایش بازدهی کلی و کاهش شدت جریان محصول هیدروسیکلون شده است.

در شرایط شدت جریان ثابت، افزایش نسبت جدایش باعث کاهش اختلاف فشار بالا و پایین هیدروسیکلون می‌شود. سیال برای حرکت به سمت پایین هیدروسیکلون، باید بر این اختلاف فشار غلبه کند لذا طبعاً با کاهش اختلاف فشار حرکت فاز پیوسته به سمت پایین هیدروسیکلون تسهیل و در نتیجه همراه با آن درصد بیشتری از ذرات آسفالتین از ته‌ریز هیدروسیکلون خارج شده و بازدهی کلی

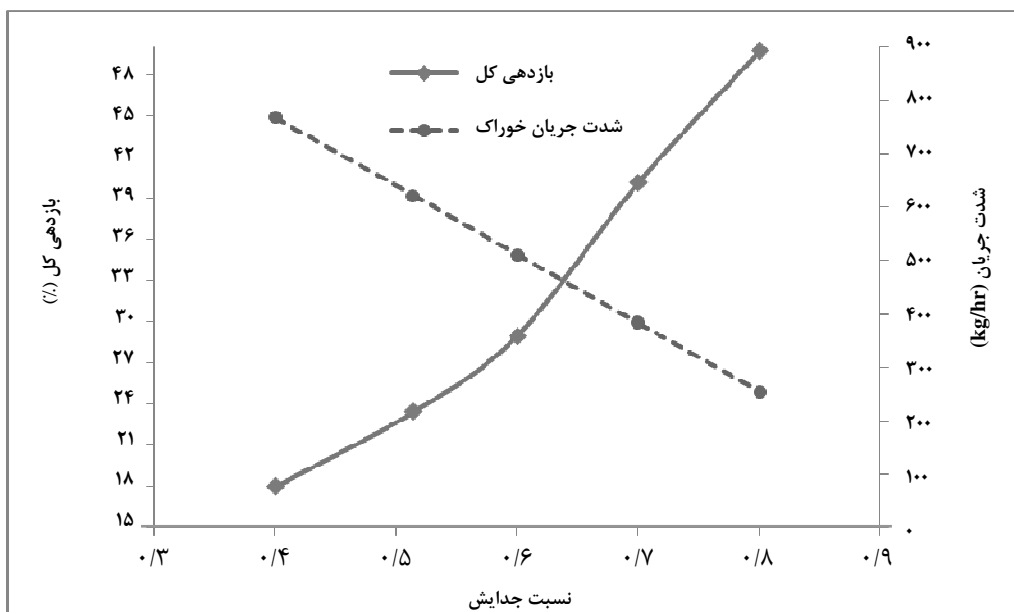
ضریب دراگ (CD)، با عدد رینولدز نسبت عکس دارد. بنابراین با افزایش قطر ذره و در نتیجه افزایش رینولدز، این سرعت بیشتر شده و بازدهی افزایش می‌یابد. این نتیجه در همه کارهای انجام شده، از جمله در کارهای گومز و همکاران [۱۵]، ناراسیمها و همکاران [۱۶]، هانگ [۶] و بای و همکاران [۱۷]، بیان شده است.

### ۳-۳ گرانیوی نفت

در این بخش تأثیر گرانیوی فاز پیوسته بر بازدهی کلی هیدروسیکلون شبیه‌سازی با قطر ۳۰ میکرومتر برای ذرات آسفالتین در نسبت جدایش ۰/۵۱۴ و شدت جریان ورودی ۰/۳۵۷ کیلوگرم بر ثانیه در هیدروسیکلون طرح (کولمن-تئو) مورد بررسی قرار گرفت. نمودار گرانیوی مخلوط نفت خام سروش و نوروز در شکل (۵) نشان داده شده است. این اطلاعات از مشخصات نفت خام مخلوط سروش و نوروز استخراج شده است. در مشخصات نفت خام سروش و نوروز گرانیوی تا دمای ۱۰۰°C ارائه شده، لذا جهت به دست آوردن گرانیوی در دمای مورد نظر درونیابی انجام گرفته است. مطابق پیش‌بینی نمودار، گرانیوی این نفت در دمای ۴۱۵K برابر ۰/۰۱۲۵ (kg/m.s) می‌باشد. شبیه‌سازی CFD با در نظر گرفتن گرانیوی ۰/۰۱۱۲۵ (kg/m.s) برای فاز پیوسته که معادل ۹۰٪ گرانیوی واقعی نفت خام بود، انجام گردید. نتیجه این شبیه‌سازی نشان‌دهنده بازدهی کلی ۲۷/۸۶۱ درصد برای هیدروسیکلون بود که نسبت به حالت اصلی افزایش ۱۸/۸۳ درصد را نشان می‌دهد. این



شکل ۵- گرانیوی مخلوط نفت خام میادین سروش و نوروز بر حسب دما



شکل ۶- تأثیر نسبت جدایش بر بازدهی کلی و شدت جریان محصول هیدروسیکلون در شدت جریان خوراک (kg/sec) ۰/۳۵۷

بازدهی کل افزایش پیدا می‌کند. بررسی تأثیر نسبت جدایش نشان داد که نسبت جدایش یک تأثیر دوگانه در عملکرد هیدروسیکلون خواهد داشت، چرا که با افزایش نسبت جدایش مقدار جریان خارج شده از سرریز هیدروسیکلون که در واقع محصول فرایند می‌باشد کاهش یافته و تأثیر مستقیمی بر بازدهی اقتصادی فرایند خواهد داشت. از طرف دیگر افزایش نسبت جدایش باعث افزایش بازدهی کل هیدروسیکلون یا به عبارت دیگر افزایش کیفیت محصول می‌شود. لذا در این خصوص بایستی بین کیفیت و کمیت محصول بهینه‌سازی انجام شود.

هیدروسیکلون افزایش می‌یابد. باید توجه کرد که نسبت جدایش یک تأثیر دوگانه در عملکرد سامانه عملیاتی خواهد داشت، زیرا با افزایش نسبت جدایش مقدار جریان خارج شده از سرریز هیدروسیکلون که در واقع محصول فرایند می‌باشد کاهش یافته و تأثیر مستقیمی بر بازدهی اقتصادی فرایند خواهد داشت. لذا در این خصوص بایستی بین بازدهی جداسازی و میزان محصول بهینه‌سازی انجام شود.

#### ۴- نتیجه‌گیری

نتایج بررسی شدت جریان ورودی نشان می‌دهد که با افزایش شدت جریان ورودی و در نتیجه افزایش سرعت ورودی، سرعت مماسی داخل هیدروسیکلون افزایش و بازدهی جداسازی نیز افزایش می‌یابد. قطر ذرات آسفالتین، به دلیل تأثیر مثبتی که بر نیروی جانب مرکز قطره دارد، باعث افزایش بازدهی هیدروسیکلون می‌شود. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که با افزایش قطر ذرات از ۳۰ به ۵۰ میکرون، بازدهی جداسازی هیدروسیکلون تا نزدیکی ۱۳۳٪ افزایش می‌یابد. نتایج حاصل از شبیه‌سازی برای بررسی تأثیر گرانروی نفت خام نشان می‌دهد که با کاهش گرانروی فاز نفتی، به علت کاهش مقاومت در برابر حرکت ذرات آسفالتین و افزایش نیروی وارد بر آنها،

#### مراجع

- [1] Yen, T. F., Chilingarian, G. V., "Developments in Petroleum Science Vol. 40, Asphaltenes and Asphalts", 1st Ed., Elsevier Science, Amsterdam, (2000).
- [2] Ghanei, M., Edalat, M., Vaziri, H. H., "The Non-Regular Solubility Parameter Term for Predicting Onset and Amount of Asphaltene Precipitation", SPE 67329.
- [3] Noroozi, S., Hashemabadi, S. H., "CFD analysis of inlet chamber body profile effects on de-oiling hydrocyclone efficiency", Chemical Engineering Research and Design, 8, 968-977 (2011).
- [4] Noroozi, S., Hashemabadi, S. H., "CFD Simulation of Inlet Design Effect on Deoiling Hydrocyclone Separation Efficiency", Chem. Eng. Technol., 32 (12), 1885-1893 (2009).



- [5] Ranade, V. V., "Computational Flow Modeling for Chemical Reactor", 3rd Ed., Academic Press, New York, (2002).
- [6] Hung, S., "Numerical Simulation of Oil-water Numerical Using Reynolds-Stress Model for Eulerian Multiphase Flows", The Canadian Journal of Chemical Engineering, 83, 829-834 (2005).
- [7] Krisantus, R., Tue Nenu, Yoshida, H., "Comparison of separation performance between single and two inlets hydrocyclones", Advanced Powder Technology 20, 195-202 (2009).
- [8] Bhaskar, K. U., Murthy, Y. R., Ramakrishnan, N., Srivastava, J. K., Sarkar, S., Kumar, V., "CFD validation for flash particle classification in hydrocyclones", Minerals Engineering, 20, 290-302 (2007).
- [9] Medronho, R. A., Schuetze, J., Deckwer, W. D., "Numerical simulation of hydrocyclones for cell separation", Latin American Applied Research, 35, 1-8 (2005).
- [10] Documentation of Commercial package FLUENT 6.3.26.
- [11] Smyth, I. C., Thew, M. T., Colman, D. A., "The effect of split ratio on heavy dispersion liquid-liquid separation in hydrocyclones", 2nd International Conference on Hydrocyclone, 177-190 (1984).
- [12] Smyth, I. C., Thew, M. T., Debenham, P. S., Colman, D. A., "Small scale experiments on hydrocyclones for dewatering light oils", 1st International Conference on Hydrocyclones, 189-208 (1980).
- [13] Young, G. A., Taggart, D. L., Hild, D. G., Simms, D. W., Worrell, G. R., "Hydrocyclone with finely tapered tail section", Patent, 5225082 (1993).
- [14] Bai, SH., Wang, H. L., "Numerical simulation of the separating performance of hydrocyclones", Chemical Engineering Technology, 29, 1161-1166 (2006).
- [15] Gomez, C., Caldentey, J., Wang, S., Gomez, L., Mohan, R., Shoham, O., "Oil-water separation in Liquid-Liquid Hydrocyclones (LLHC)-Experiment and Modeling", SPE 71538 (2001).
- [16] Narasimha, M., Sripriya, R., Banerjee, P. K., "CFD modeling of hydrocyclone prediction of cut size", International Journal of Mineral Processing, 75, 53- 68 (2005).
- [17] Bai, Z., Wang, H., Tu, S., "Dehydration of waste edible oil by hydrocyclones", International Journal of Green Energy, 6, 184-191 (2009).