

# مطالعه هیدرودینامیک در راکتورهای ایرلیفت حاوی میکروامولسیون آب در نفت

محمد رضا مهرنیا<sup>۱</sup>، جعفر توفیقی<sup>۲\*</sup>، بابک بنگدارپور<sup>۳</sup>، محمدمهدی اکبرنژاد<sup>۴</sup>

۱- دانشجوی دوره دکتری مهندسی بیوتکنولوژی، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس

۲- استاد بخش مهندسی شیمی، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس

۳- استادیار دانشکده مهندسی شیمی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

۴- عضو هیأت علمی پژوهشگاه صنعت نفت

\* تهران، صندوق پستی: ۴۸۳۸ - ۱۴۱۵۵

towfighi@modares.ac.ir

((دریافت مقاله: بهمن ۱۳۸۱، پذیرش مقاله: آبان ۱۳۸۲))

**چکیده** - در این تحقیق، پارامترهای هیدرودینامیکی راکتور ایرلیفت با گردش داخلی برای سیستم میکروامولسیون آب در نفت سفید، به عنوان محیط مدل فرایند سولفورزدایی بیولوژیکی برشهای نفتی مطالعه شده است. نتایج نشان می‌دهد که نسبت سطح ناودان به بالابر و سرعت گاز، بر پارامترهای هیدرودینامیکی اثر قابل توجهی دارند. افزایش سرعت گاز و کاهش نسبت سطح ناودان به بالابر، موجب افزایش نگهداشت گاز در ناودان، بالابر و کل راکتور و کاهش زمان اختلاط و تغییراتی متفاوت در سرعت چرخش مایع می‌شود. عدم همخوانی کامل مدل توری ارائه شده توسط چستی و همکاران با نتایج مربوط به سرعت چرخش مایع به دست آمده از این تحقیق، بررسی شده است. همچنین روابطی تجربی با دقت بالا برای پیش‌بینی سرعت چرخش مایع و زمان اختلاط برای سیستم مذکور در راکتور ایرلیفت ارائه شده است.

**کلیدواژه‌گان:** راکتور ایرلیفت؛ هیدرودینامیک؛ میکروامولسیون؛ محیط مدل.

## ۱- مقدمه

گوگرد از برشهای نفتی (BDS)<sup>۱</sup> است [۴-۶]. بنابراین گزارشهای ارائه شده، سادگی ساختار، تنش ناچیز، عدم استفاده از همزن مکانیکی، اختلاط مناسب، ایجاد شرایطی آسانتر برای فرایندهای پایین دستی مانند جداسازی فازها و بهبود انتقال اکسیژن با هزینه های ثابت و جاری، از جمله مزایای استفاده از راکتورهای DT-ALR در مقایسه با راکتورهای همزن دار<sup>۲</sup> است [۷-۸]. فرایند BDS اولین هدف به کارگیری علم فناوری زیستی<sup>۴</sup> برای پالایش بیولوژیکی<sup>۵</sup> برشهای نفتی در مقیاس صنعتی است [۹] که

استفاده از راکتورهای ایرلیفت در فرایندهای مهندسی شیمی و فناوری زیستی مورد توجه بسیاری از محققان و صاحبان صنایع است [۱-۳]. مزایای بسیار زیاد این راکتورها موجب به کارگیری گسترده آنها در صنایع نفت و گاز شده است. بررسی تازه ترین نتایج تحقیقات در به کارگیری بیوراکتورها در صنایع نفت، نشانگر پیشنهاد بیوراکتورهای ایرلیفت با گردش داخلی سیال از طریق لوله بالابر (DT-ALR)<sup>۱</sup> در فرایند سولفورزدایی بیولوژیکی

2. Biodesulfurization  
3. Stirred Tank  
4. Biotechnology  
5. Biorefining

1. Draft Tube Airlift Reactor

عنوان جداکننده گاز - مایع<sup>۷</sup> عمل می‌کند. بررسی نشان می‌دهد که مطالعه هیدرودینامیک و انتقال جرم، بیشتر در راکتورهای DT-ALR حاوی محیطهای با پایه آب<sup>۸</sup> و در سطح کمتری برای محیطهای نیوتنی و غیرنیوتنی انجام شده است [۱-۳، ۱۱-۱۳].

با توجه به خواص متفاوت سیستمهای امولسیون و از جمله میکروامولسیونهای آب در نفت و نیز با توجه به کاربرد این نوع راکتورها در فرایند BDS و پیش بینی استفاده از آنها در فرایندهای بهبود کیفیت سوخت<sup>۹</sup>، تحقیق در زمینه پارامترهای مهم هیدرودینامیکی میکروامولسیونهای آب در نفت<sup>۱۰</sup> ضروری است. با وجود اهمیت و کاربرد رو به افزایش این فرایند، تاکنون تحقیقات در این زمینه به طور مکتوب منتشر نشده است. در این مقاله، شاخصهای هیدرودینامیکی از جمله نگهداشت گاز در بالابر و ناودان، نگهداشت کلی گاز (E)<sup>۱۱</sup>، سرعت چرخش مایع و زمان اختلاط در راکتور DT-ALR حاوی میکروامولسیون آب در نفت مطالعه می‌شود.

## ۲- مواد و روشها

### ۲-۱- طراحی راکتور

شکل ۱ راکتور DT-ALR مورد استفاده در این تحقیق را نشان می‌دهد. راکتور به گونه‌ای طراحی شده که قابلیت تغییر در قطر و ارتفاع لوله بالابر، توزیع کننده گاز، جداکننده گاز - مایع در آن بخوبی وجود دارد. این راکتور از شیشه پیرکس با قطر داخلی ۰/۱۴m و ارتفاع بالابر با ۱/۸۵m ساخته شده است. اثر نسبت سطح ناودان به سطح بالابر ( $\frac{A_d}{A_r}$ )، با تغییر قطر لوله بالابر در سه مقدار ۰/۷۰۷، ۱/۰۶۴ و ۱/۳۰۶، مطالعه شده است.

در آن ترکیبات گوگردی برشهای نفتی، به وسیله کاتالیزورهای بیولوژیکی به طور اختصاصی و به نحوی بسیار مؤثر، در حضور اکسیژن حذف می‌شوند [۴-۸].

در قسمت بیوراکتور این فرایند، محلولی از میکروارگانیسمها با آنزیم ناشی از آنها با برش نفتی مخلوط و امولسیون پایدار ایجاد می‌شود [۴، ۷، ۹]. ایجاد شرایط برای تولید میکروامولسیون در بیوراکتور مورد نظر برای افزایش بازدهی فرایند BDS توصیه شده است [۷، ۹، ۱۰]. اگرچه انجام واکنش BDS در نسبتهای مختلف آب به روغن و در محدوده ۵/۹۵ تا ۹۰/۱۰ گزارش شده [۴-۱۰]. اما از دیدگاه کاهش هزینه های ثابت و عملیاتی بیوراکتور و فرایندهای پایین دستی، انجام واکنش در نسبتهای پایین تر ترجیح داده می‌شود [۴، ۷، ۹، ۱۰].

به دلیل پیچیدگیهای موجود در فرایندهای مختلف بیولوژیکی به کارگیری راکتورهای مدل سرد<sup>۱</sup> (بدون انجام واکنش)، در مطالعه هیدرودینامیک و انتقال جرم بسیار مفید و متداول است [۱-۳، ۱۱، ۱۳]. بنابراین استفاده از این راکتورها برای پیشگویی فرایند BDS مفید واقع خواهد شد.

مطابق شکل ۱، راکتورهای DT-ALR از یک لوله بالابر<sup>۲</sup> و یک ناودان<sup>۳</sup> تشکیل شده که قسمت بالابر توسط توزیع کننده گاز<sup>۴</sup> هوادهی می‌شود. با افزایش سرعت هوادهی، نگهداشت گاز (نسبت حجم گاز به حجم گازومایع) در هر قسمت افزایش می‌یابد. اختلاف هوادهی در این دو قسمت موجب افزایش نگهداشت گاز در بالابر (E<sub>gr</sub>)<sup>۵</sup> نسبت به نگهداشت گاز در ناودان (E<sub>gd</sub>)<sup>۶</sup> می‌شود. اختلاف چگالی توده سیال در این دو قسمت موجب ایجاد جریان رو به بالا در بالابر و جریان رو به پایین در ناودان می‌شود. ناحیه بالای راکتور به

1. Cold Model
2. Riser
3. Downcomer
4. Sparger
5. Riser Gas Holdup
6. Downcomer Gas Holdup

7. Gas-Liquid Separator
8. Water-like Medium
9. Upgrading
10. W/O Microemulsion
11. Total Gas Holdup

بدین منظور از یک زوج سورفکتانت غیریونی محلول در آب و محلول در نفت به نام تجاری Arkopal N100 و Arkopal N40 تهیه شده از شرکت آلمانی Clariant استفاده شد. نسبت حجمی آب به نفت در میکروامولسیون پایدار و شفاف ایجاد شده برابر ۲۰٪ بوده است. خواص نفت و میکروامولسیون به کار گرفته شده در این مطالعه در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱ خواص فیزیکی به دست آمده برای مایعات به کاررفته در

دمای ۲۵°C

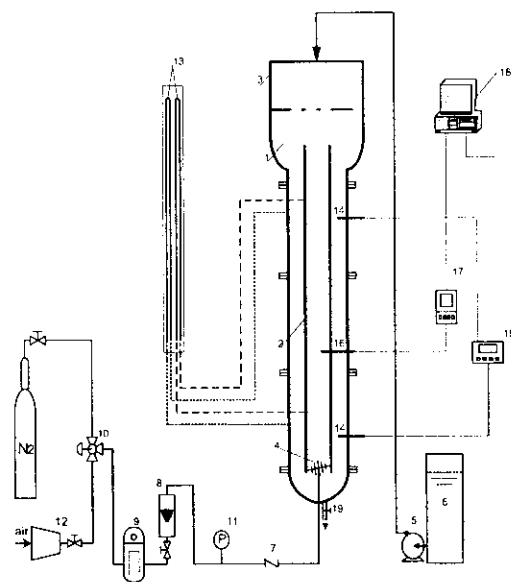
نقطه فلاش در مایع	چگالی (kg/m <sup>3</sup> )	لزجت (m <sup>2</sup> /s)	کش سطحی (N/m)	نفت سفید
یک اتمسفر (°C)				
۶۲	۸۰۱/۸	۱/۲	۰/۰۲۹	نفت سفید
۶۰/۸	۸۴۵/۸	۵/۲۶	۰/۰۳	میکروامولسیون

### ۳-۲- روشهای آزمایش

- **نگهداشت گاز در بالابر و ناودان.** مقادیر  $E_{gd}$  و  $E_{gr}$  به وسیله فشارسنج‌های به شکل U معکوس و براساس روش اختلاف فشار هیدروستاتیک<sup>۳</sup> به دست آمد [۳].

- **نگهداشت کلی گاز.** مقادیر  $E$  به روش انبساط بستر<sup>۴</sup> با اندازه گیری حجم سیال داخل راکتور در قبل و بعد از هوادهی، محاسبه شده است [۳].

- **سرعت چرخش مایع در ناودان ( $U_{10}$ ).** برای محاسبه سرعت چرخش مایع از دو الکتروود هدایت سنج از شرکت Mettler-Toledo و ترانسسمیتر هدایت سنج الکتریکی و نرم افزار مربوط استفاده شد به طوری که منحنی‌های پاسخ مربوط به ردیاب<sup>۵</sup> به طور همزمان توسط دو الکتروود بر روی رایانه ذخیره می شود. ردیاب مربوطه یک امولسیون ۲۰٪ حجمی آب (حاوی کلرید سدیم) در نفت سفید (حاوی ورساتیک اسید) بوده است [۱۴].



شکل ۱ طرحواره راکتور مورد آزمایش: (۱) راکتور؛ (۲) لوله بالابر؛ (۳) جداکننده گاز - مایع؛ (۴) توزیع کننده گاز؛ (۵) پمپ خوراک؛ (۶) مخزن خوراک؛ (۷) شیر یکطرفه؛ (۸) روماتر؛ (۹) تنظیم کننده فشار و فیلتر؛ (۱۰) شیر سه طرفه؛ (۱۱) فشار سنج؛ (۱۲) هوای ورودی؛ (۱۳) فشارسنج به شکل U معکوس؛ (۱۴) الکتروود هدایت سنج؛ (۱۵) هدایت سنج الکتریکی؛ (۱۶) الکتروود اکسیژن؛ (۱۷) اکسیژن متر؛ (۱۸) رایانه؛ (۱۹) خروجی سیال.

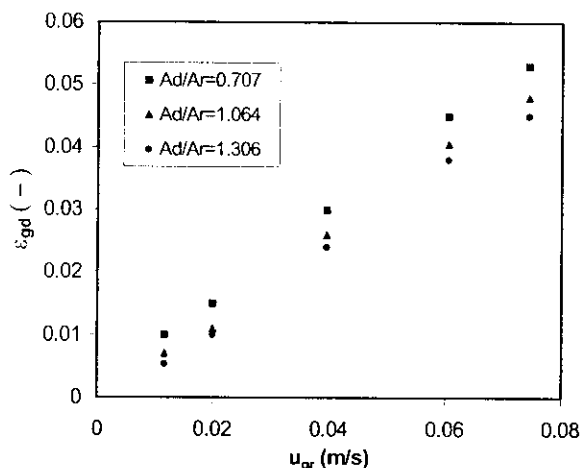
قسمت پایین راکتور شکل ۱ به شکل U شکل و توزیع کننده گاز نردبانی شکل<sup>۱</sup> با ۳۰ سوراخ به قطر ۰/۰۰۱ m و در فواصل یکسان است. فاصله بالابر تا قسمت پایین متناظر آن به صورتی است که سطح ناودان با سطح زیر درافت یکسان باشد. جداکننده گاز - مایع با قطر ۰/۲۳m در بالای راکتور به کار رفته و فاصله مایع تا بالای بالابر تقریباً برابر ۰/۱ متر است.

### ۲-۲- فازهای گاز و مایع

هوا به عنوان گاز ورودی استفاده شد و سرعت ظاهری آن برحسب سطح بالابسر<sup>۲</sup> ( $u_{gr}$ ) در محدوده ۰/۱-۰/۱ m/s قابل تغییر بود. میکروامولسیون آب در نفت سفید به عنوان محیط مدل BDS به کار گرفته شد.

3. Differential Hydrostatic Pressure  
4. Bed Expansion  
5. Liquid Circulation Velocity  
6. Tracer

1. Ladder - like Shape  
2. Superficial Gas Velocity



شکل ۳ اثر سرعت ظاهری گاز و نسبت سطح ناودان به بالا بر نگهداشت گاز در ناودان

با توجه به مشاهدات آزمایش مشخص شد که در سرعت‌های بالای گاز ورودی، کل راکتور از حباب‌های بسیار ریز هوا (با قطر حدود یک میلی‌متر) پر می‌شوند به طوری که به دلیل شیری رنگ شدن<sup>۳</sup>، قابلیت تشخیص رفتار سیال در راکتور مشکل می‌شود. این گونه رفتار برای سیالات مشابه آب با شدت بسیار کمتری صورت می‌گیرد و شیری شدن رنگ سیال در این سیالات گزارش نشده است. همچنین در سیالات مشابه آب پس از حالت گذرا<sup>۴</sup>، با افزایش سرعت گاز تغییر رژیم از حالت حبابی به رژیم ناپایدار و ناهمگن<sup>۵</sup> صورت می‌گیرد که باعث تغییر سرعت افزایش نگهداشت کلی گاز و سرعت چرخش مایع می‌شود [۱۱، ۱۰، ۳-۱].

با توجه به شکل‌های ۲ و ۴، در صورت استفاده از سیال میکرومولسیون، تغییر رژیم از جریان حبابی به جریان ناهمگن و در نتیجه تغییر قابل توجهی در سرعت افزایش  $\epsilon_{gr}$  و  $\epsilon$  مشاهده نمی‌شود. بررسی این موضوع با آزمایش‌هایی در شکل‌های مختلف راکتور نشان داد که به دلیل حضور انبوه حباب‌های بسیار ریز، کشش سطحی پایین تر و به هم چسبیدگی کمتر حباب‌ها در این نوع سیال نسبت

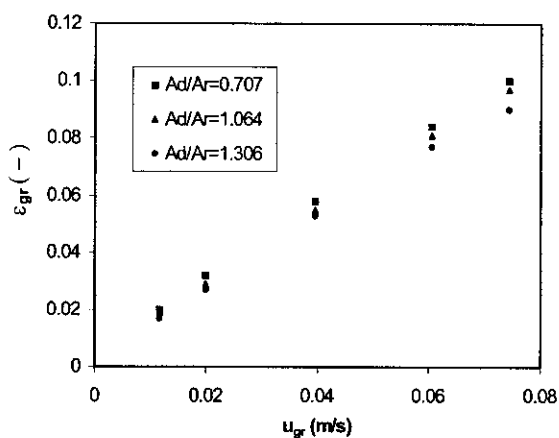
داشتن فاصله بین پروبها و زمان طی شده مایع ردیاب از منحنی توزیع زمان اقامت مایع، سرعت مایع به دست آمده است [۱۲، ۱۱، ۳].

زمان اختلاط ( $t_m$ )<sup>۱</sup>، زمان اختلاط نیز به روش پاسخ ردیاب<sup>۲</sup> بوسیله هدایت سنج الکتریکی محاسبه می‌شود. مدت زمان مورد نیاز برای رسیدن به ۹۰٪ هدایت الکتریکی نهایی ردیاب، (در منحنی توزیع زمان اقامت مایع) به عنوان زمان اختلاط گزارش شده است [۱۲، ۱۱، ۳].

### ۳- نتایج و بحث

شکل‌های ۲ و ۳ بترتیب مقادیر حاصل به  $\epsilon_{gd}$  و  $\epsilon_{gr}$  را بر حسب سرعت ظاهری گاز در نسبت‌های مختلف  $\frac{A_d}{A_r}$  نشان می‌دهد.

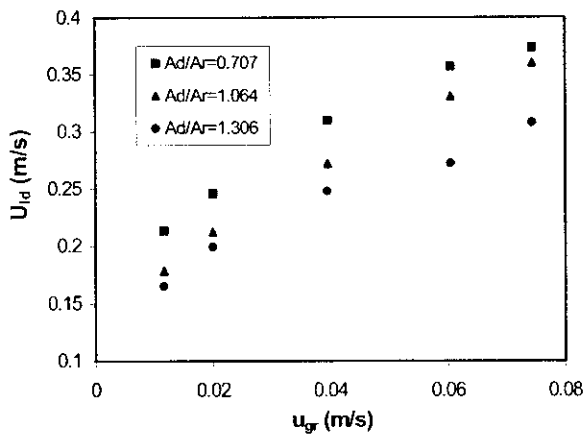
مقدار متوسط انحراف معیار برای  $\epsilon_{gd}$  و  $\epsilon_{gr}$  برابر ۰/۰۰۰۸ است. بنا بر شکل‌های مذکور،  $\epsilon_{gd}$  و  $\epsilon_{gr}$  با افزایش  $u_{gr}$  زیاد می‌شوند. در سرعت‌های بالای گاز ورودی، شیب افزایش نگهداشت گاز در این دو قسمت، بویژه در قسمت ناودان کاهش می‌یابد.



شکل ۴ اثر سرعت ظاهری گاز و نسبت سطح ناودان به بالا بر نگهداشت گاز در بالا بر

3. Milky  
4. Transition  
5. Heterogeneous

1. Mixing Time  
2. Tracer Response Technique

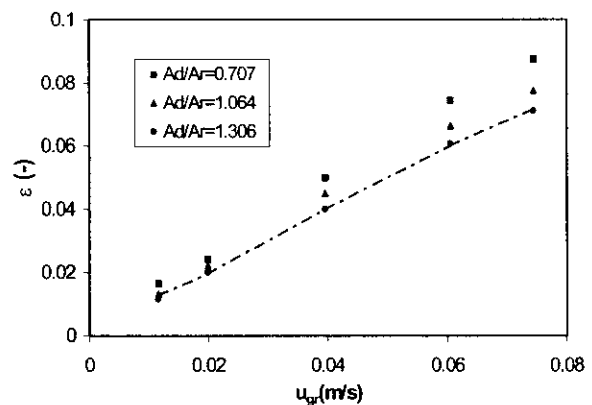


شکل ۵ اثر سرعت ظاهری گاز و نسبت سطح ناودان به بالابر بر سرعت چرخش مایع در ناودان

با توجه به شکلهای ۲ و ۳، مقادیر  $\epsilon_{gd}$  و  $\epsilon_{gr}$  با افزایش نسبت  $\frac{A_d}{A_r}$  کاهش می‌یابد. افزایش نسبت  $\frac{A_d}{A_r}$  یا به بیان دیگر افزایش قطر ناودان، سبب کاهش سرعت مایع در ناودان می‌شود. بنابراین مقدار کمتری از حبابهای هوا توسط مایع به ناودان منتقل شده و  $\epsilon_{gd}$  را کاهش می‌دهد. در قسمت بالابر، افزایش  $\frac{A_d}{A_r}$  یا به بیان دیگر کاهش قطر بالابر، از طرفی موجب افزایش سرعت گاز در آن قسمت شده و  $\epsilon_{gr}$  را افزایش می‌دهد و از طرفی زمان اقامت حبابها در بالابر را - به دلیل افزایش سرعت مایع در آنها - کاهش می‌دهد. این دو اثر متفاوت، در مجموع موجب می‌شوند که  $\epsilon_{gr}$  با افزایش نسبت  $\frac{A_d}{A_r}$  دچسار کاهش کمتری نسبت به  $\epsilon_{gd}$  شود (شکل ۲).

شکل ۴ مقادیر نگهداشت کلی گاز بر حسب سرعت گاز را در نسبت های مختلف  $\frac{A_d}{A_r}$  نشان می‌دهد. مقدار متوسط انحراف معیار برای نتایج  $\epsilon$  برابر  $0.0068$  است. مقدار  $\epsilon$  با افزایش شدت گاز ورودی به‌طور مداوم افزایش می‌یابد. سرعت افزایش در سرعتهای پایین گاز محسوس تر است. بنابراین شکل، کاهش شدید شیب

به مایعات با پایه آب، حبابهای بسیار درشت در این فرایند ایجاد نشده و در نتیجه تغییر رژیم از حالت حبابی به رژیم ناپایدار صورت نمی‌گیرد [۱۴]. از طرف دیگر نمودارهای مربوط به نگهداشت گاز در ناودان بنا بر شکل ۳ و نمودار مربوط به سرعت چرخش مایع بنا بر شکل ۵ نشانگر کاهش سرعت افزایش این پارامترها با افزایش سرعت گاز است. در سرعتهای پایین هوادهی، میزان حبابهای ریز برگشتی همراه با مایع به ناودان و در نتیجه  $\epsilon_{gd}$  افزایش می‌یابد. افزایش بیشتر سرعت گاز ورودی و  $\epsilon_{gd}$  موجب کاهش نیروی محرک چرخش سیال ناشی از اختلاف نگهداشت گاز در بالابر و ناودان و در نتیجه کاهش سرعت چرخش مایع بر طبق شکل ۵ می‌شود. کاهش سرعت چرخش مایع در سرعتهای بالای هوادهی، موجب افزایش زمان اقامت حبابها و در نتیجه افزایش پیوسته  $\epsilon_{gr}$  و  $\epsilon$  مطابق شکلهای ۲ و ۴ می‌شود. همچنین در سرعتهای بالای هوادهی، کاهش سرعت چرخش مایع، مانع از ورود مقدار بیشتری از حبابهای گاز همراه با مایع به ناودان و موجب کاهش محسوس  $\epsilon_{gd}$  مطابق شکل ۳ شده است. دلیل دیگر برای کاهش سرعت افزایش  $\epsilon_{gd}$  با افزایش سرعت گاز ورودی، می‌تواند افزایش خروج حبابها در جداکننده گاز - مایع باشد.



شکل ۴ اثر سرعت ظاهری گاز و نسبت سطح ناودان به بالابر بر نگهداشت کلی گاز

ناودان کاهش می‌یابد. بنابراین حضور مقدار زیاد حباب معلق در ناودان می‌تواند به‌عنوان مقاومت هیدرولیکی برای چرخش مایع، مانع از افزایش سرعت چرخش مایع با وجود نیروی محرک ناشی از اختلاف نگهداشت گاز در بالابر و ناودان شود. بنابراین توازن بین نیروی محرک و مقاومت هیدرولیکی، موجب ایجاد رفتاری نامشخص و آشوبگونه در سرعت چرخش مایع می‌شود. این رفتار برای سیالات با پایه آب گزارش نشده است [۱، ۳، ۱۱، ۱۲].

برای بررسی امکان پیش بینی رفتار سرعت چرخش مایع توسط روابط موجود، از رابطه تئوری مهم چستی<sup>۱</sup> و همکاران (رابطه ۲) برای راکتورهای DT-ALR حاوی محیطهای با پایه آب و سیالات غیر لزج استفاده شد [۲، ۳].

$$U_L = \left[ \frac{2gH(\varepsilon_{gr} - \varepsilon_{gd})}{K_B \left(\frac{A_r}{A_d}\right)^2 \frac{1}{(1 - \varepsilon_{gd})^2}} \right]^{0.5} \quad (2)$$

$K_B$  مقاومت اصطکاکی در بخش پایین راکتور و  $H$  ارتفاع راکتور بوده و برای محیط آبی و در صورت یکسان بودن سطح زیر بالابر با سطح ناودان، برابر  $11/402$  است [۳، ۲]. شکل ۶ عدم همخوانی کامل نتایج تجربی این تحقیق را با مدل مذکور نشان می‌دهد. بنابراین شکل به‌نظر می‌رسد که مقاومت اصطکاکی و در نتیجه  $K_B$  راکتور به نسبت‌های مختلف  $\frac{A_d}{A_r}$  بستگی دارد. همچنین نوع سیال و کشش سطحی پایین‌تر آن نسبت به مایعات با پایه آب و در نتیجه حضور انبوه و برگشت حبابهای بسیار ریز به ناودان و در نتیجه ایجاد مقاومت هیدرولیکی، می‌توانند از دلایل دیگر عدم همخوانی کامل نتایج با مدل مذکور باشد؛ این دو موضوع در رابطه تئوری چستی و همکاران در نظر گرفته نشده است. بنابراین با

افزایش  $\varepsilon$  در سرعتهای بالای هوادهی مشاهده نمی‌شود در حالی که در سیالات با پایه آب، افزایش سرعت هوادهی، موجب کاهش شیب افزایش  $\varepsilon$  می‌شود. این رفتار ناشی از افزایش ورود حبابهای برگشتی و کاهش سرعت چرخش مایع در مقادیر بالاتر  $u_{gr}$  در محیط میکرومولسیون است [۱۴]. این شکل همچنین نشان می‌دهد که افزایش نسبت  $\frac{A_d}{A_r}$ ، موجب کاهش  $\varepsilon$  می‌شود. این رفتار به دلیل کاهش مقادیر  $\varepsilon_{gd}$  و  $\varepsilon_{gr}$  در مقادیر بالاتر  $\frac{A_d}{A_r}$  است.

خط پیوسته در شکل ۵ مقدار  $\varepsilon$  را بر طبق معادله زیر:

$$\varepsilon = \frac{\varepsilon_r A_r + \varepsilon_d A_d}{A_r + A_d} \quad (1)$$

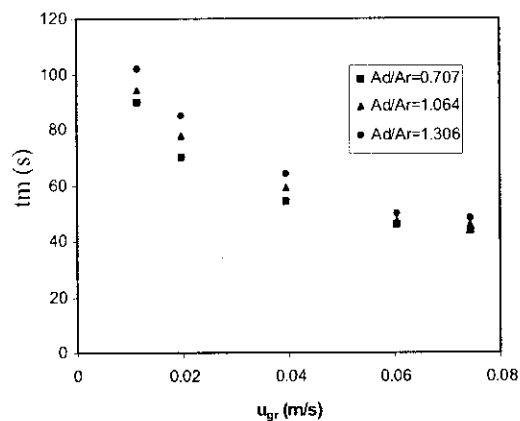
برای نسبت  $\frac{A_d}{A_r} = 1/0.6$  نشان می‌دهد. مقادیر  $\varepsilon$  حاصل از این تحقیق از رابطه (۱)، ناشی از نگهداشت گاز در جداکننده گاز - مایع است.

شکل ۵ نتایج مربوط به سرعت چرخش مایع در ناودان بر حسب سرعت گاز را در نسبت‌های مختلف  $\frac{A_d}{A_r}$  نشان می‌دهد. متوسط انحراف معیار برای نتایج برابر  $0.062$  است. چنانچه در توضیح قبیل آورده شد سرعتهای بالای جریان گاز موجب کاهش شیب افزایشی سرعت چرخش مایع در ناودان می‌شود. دلیل این رفتار آن است که در مقادیر کم  $\frac{A_d}{A_r}$ ، مایع حبابهای بیشتری را با خود به ناودان منتقل می‌کند و در نتیجه  $\varepsilon_{gd}$  افزایش یافته و نیروی محرک چرخش سیال ناشی از اختلاف نگهداشت گاز در بالابر و ناودان، در نتیجه سرعت چرخش مایع کاهش می‌یابد.

با توجه به قانون پیوستگی، با افزایش سطح ناودان در نتیجه افزایش نسبت  $\frac{A_d}{A_r}$ ، سرعت چرخش مایع در

1. Driving Force  
2. Chisti

ماندن  $U_{id}$  و در نتیجه عدم تغییر به هم خوردگی محوری در بالا بر و ناودان، اثر قابل توجهی بر زمان اختلاط نخواهد داشت.



شکل ۷ اثر سرعت ظاهری گاز و نسبت سطح ناودان به بالا بر بر زمان اختلاط

رابطه تجربی زیر با استفاده از اطلاعات این تحقیق با ضریب همبستگی  $R^2 = 0.99$  برای سیال میکرومولسیون آب در نفت در راکتور DT-ALR استفاده شده به دست آمد:

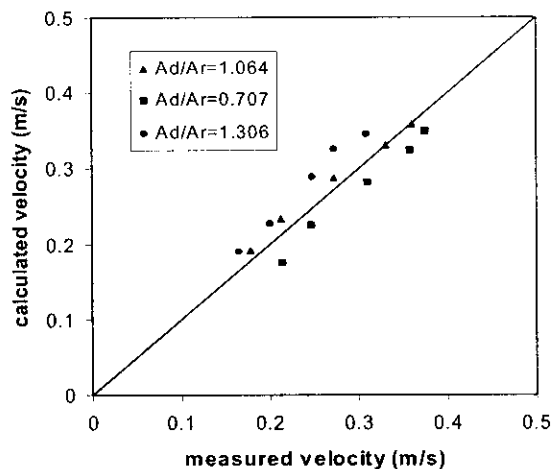
$$t_m = 1587(u_{gr})^{-0.403} \left(\frac{A_d}{A_r}\right)^{0.225} \quad (4)$$

#### ۴- نتیجه گیری

در این مقاله رفتار هیدرودینامیکی مربوط به نگهداشت گاز در بالا بر و ناودان، نگهداشت کلی گاز، سرعت چرخش مایع و زمان اختلاط در یک راکتور ایرلیفت حاوی میکرومولسیون آب در نفت ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد که افزایش سرعت ظاهری گاز موجب افزایش  $\epsilon$ ،  $\epsilon_{gd}$ ،  $\epsilon_{gr}$  و  $U_{id}$  می‌شود تفاوت خواص این نوع سیال و حضور حبابهای بسیار ریز هوا در این فرایند نسبت به مایعات با پایه آب موجب شیری شدن رنگ مایع در راکتور و تغییراتی متفاوت در رفتار هیدرودینامیکی می‌شود.

توجه به نقش مفید روابط تجربی برای مطالعات مختلف، رابطه زیر با ضریب همبستگی  $(R^2 = 0.98)$  برای اطلاعات به دست آمده در این تحقیق ایجاد شد:

$$U_{id} = 0.826(U_{gr})^{0.339} \left(\frac{A_d}{A_r}\right)^{-0.341} \quad (3)$$



شکل ۸ مقایسه نتایج تجربی با مدل چستی (معادله ۲)

لازم است اشاره شود که بنا بر یافته های بسیاری از تحقیقات در این زمینه، روابطی تجربی برای سرعت چرخش مایع و زمان اختلاط، به شکل معادله مذکور گزارش شده است [۱۳-۱۱، ۳-۱].

شکل ۷ نتایج مربوط به زمان اختلاط ( $t_m$ ) نسبت به سرعت گاز ورودی را در نسبتهای مختلف  $\frac{A_d}{A_r}$  نشان می‌دهد. متوسط انحراف معیار برای نتایج مربوط، برابر ۱ است. چنانکه در شکل دیده می‌شود زمان اختلاط با افزایش سرعت گاز کاهش می‌یابد. همچنین مانند نتایج مربوط به سرعت مایع، سرعت کاهش زمان اختلاط با افزایش سرعت گاز کاهش می‌یابد [۳، ۱۱، ۱۲، ۱۴]. با توجه به اینکه افزایش قطر بالا بر موجب اختلاط مؤثرتر در این قسمت می‌شود بنابراین کاهش  $\frac{A_d}{A_r}$  موجب بهبود اختلاط شده است.

این اثر با توجه به نتایج مربوط به سرعت چرخش مایع نشان می‌دهد که سرعتهای بالای هوادهی، به دلیل ثابت

- [8] Maghsoudi, S., Vossoughi, M., Kheirloom, A., Tanaka, E, Katoh, S., Biodesulfurization of Hydrocarbons and Diesel fuels by *Rhodococcus* sp. (Strain P32C1). *Biochem. Eng. J.*, 8 (2001) 151-6.
- [9] Institut Francais du Petrole, Biological Culture Containing *Rhodococcus Erythropolis* and/or *Rhodococcus Rhodnii* and Process for Desulfurization of Petroleum Fraction. United States Patent No. 6337204 (2002).
- [10] Energy BioSystems Corporation, Microemulsion Process for Direct Biocatalytic Desulfurization of Organosulfur Molecules. United States Patent No. 5358870 (1994).
- [11] Choi, K. H., Chisti, Y. & Moo-Young, M., Influence of the Gas-liquid Separator Design on Hydrodynamics and Mass Transfer Performance of Split-Channel Airlift Reactors. *J. Chem. Technol. Biotechnol.* 62:327-32 (1995).
- [12] Russell, A. B., Thomas, C. R. & Lilly, M. D., The Influence of Vessel Height and Top-Section Size on the Characteristics of Airlift Fermentors. *Biotechnology & Bioengineering* 43 (1): 69-76 (1994).
- [13] Moo-Young, M. & Chisti, Y., Bioreactor Design for Aeration of Shear Sensitive Fermentation Cultures. 8<sup>th</sup> Int. Biotechnol Symp. pp 454-66 (1988).
- [14] Mehrnia, M.R., Towfighi, J, Bonakdarpoor, B. & Akbarnegad, M.M., Influence of Top-Section Design and Draft-Tube Height on the Performance of Airlift Bioreactors Containing Water-in-Oil Microemulsion. *J. Chem. Technol. Biotechnol.*, Accepted for Publication.
- افزایش نسبت سطح ناودان به بالابر، موجب کاهش نگهداشت گاز در بالابر و ناودان و نگهداشت کلی گاز و زمان اختلاط و همچنین تغییر در سرعت چرخش مایع می شود. مدل‌های غیرخطی با ضریب همبستگی بالا برای سرعت چرخش مایع در ناودان و زمان اختلاط ارائه شد. بررسی اثرات شکل هندسی راکتور مانند ارتفاع، جداکننده گاز مایع، توزیع کننده گاز و همچنین بررسی اثر میزان آب در امولسیون در دست تحقیق است.

### ۵ - منابع

- [1] Chisti, Y., *Pneumatically Agitated Bioreactors in Industrial and Environmental Bioprocessing: Hydrodynamics, Hydraulics, and Transport Phenomena.* *Appl. Mech. Rev.* 51 (1): 33-112 (1998).
- [2] Chisti, Y. & Moo-Young, M., Improve the Performance of Airlift Reactors. *Chem. Eng. Progress* 89 (6): 38-45 (1993).
- [3] Chisti, Y., *Airlift Bioreactors.* Elsevier Applied Science, London (1989).
- [4] Monticello, D. J., Biodesulfurization and the Upgrading of Petroleum Distillates. *Curr. Opin. Biotechnol.* 11:540-6 (2000).
- [5] Lange, E. A. & Pacheco, M. A., Advances in Biocatalytic Desulphurization. *PTQ Autumn*: 37-43 (1999).
- [6] McFarland, B. L., Biodesulfurization. *Curr. Opin. Microbiol.* 2:257-64 (1999).
- [7] Pacheco, M. A., Lange, E. A., Pienkos P. T., Yu, L. Q., Rouse M. P., Lin, Q. & Linguist, L. K., Recent Advances in Biodesulfurization of Diesel Fuel. 1999 National Petrochemical and Refiners Association, Annual Meeting, NRPA AM-99-27, March 21-23, San Antonio, Texas. pp 1-26 (1999).