

## مطالعه تجربی موجودی فاز پراکنده و سرعت لغزشی در ستون استخراج کوهنی

ابراهیم عرب، احد قائمی\*، میثم تراب مستعدی، مهدی اسداله‌زاده

دانشکده مهندسی شیمی، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران

دریافت: 94/8/28 پذیرش: 95/8/25

### چکیده

در فرآیندهای استخراج مایع-مایع، موجودی فاز پراکنده و سرعت لغزشی از پارامترهای مهم هیدرودینامیکی ستون‌های استخراجی محسوب می‌شوند. در این تحقیق موجودی فاز پراکنده و سرعت لغزشی در ستون استخراج کوهنی به طور تجربی مطالعه شده است. آزمایش‌های تجربی استخراج در یک ستون کوهنی نیمه‌صنعتی با دو سیستم شیمیایی تولوئن-استون-آب و بوتیل استات-استون-آب در حالت با و بدون انتقال جرم انجام شده است. اثر متغیرهای عملیاتی شامل دور هم‌زن، دبی فازهای پراکنده و پیوسته و همچنین جهت انتقال جرم بر موجودی فاز پراکنده و سرعت لغزشی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که موجودی فاز پراکنده با افزایش شدت اختلاط، دبی فازهای پراکنده و پیوسته افزایش می‌یابد در حالی که افزایش دور هم‌زن موجب کاهش سرعت لغزشی می‌گردد. همچنین نتایج حاکی از آن است که جهت انتقال جرم تأثیر قابل توجهی بر روی موجودی فاز پراکنده و سرعت لغزشی دارد.

**کلمات کلیدی:** موجودی فاز پراکنده، سرعت لغزشی، ستون استخراج کوهنی

### مقدمه

در فرآیندهای استخراج از دستگاه‌ها و تماس دهنده‌های متنوعی استفاده می‌شود. اغلب تماس دهنده‌های مایع-مایع برای ایجاد سطح تماس بیشتر، افزایش ضریب انتقال جرم و ایجاد شرایط هیدرودینامیکی بهتر استفاده می‌شوند. به این منظور در بسیاری از تماس دهنده‌های مایع-مایع برای افزایش سطح تماس و میزان اغتشاش از هم‌زن‌های مکانیکی استفاده می‌شود [1]. از تماس دهنده‌های فرآیندهای استخراج می‌توان میکسر ستلرها، ستون‌های پرشده و سینی دار، ستون‌های دیسک چرخان، ستون‌های ضربه‌ای و ستون‌های

\*[aghaemi@iust.ac.ir](mailto:aghaemi@iust.ac.ir)

دیسک و دونات را نام برد. یکی از انواع ستون‌های هم‌زن‌دار، ستون کوهنی بوده که دارای کاربردی تقریباً مشابه با ستون دیسک چرخان است. صفحات مشبک استفاده شده بین مراحل در این ستون امکان ایجاد جریان محوری در ستون را فراهم می‌نمایند، این موضوع موجب کاهش اختلاط معکوس به ویژه برای فاز پراکنده می‌شود، اما باز و بسته کردن ستون برای تمیز کردن و نگهداری را مشکل‌تر می‌سازد. ستون کوهنی دارای کاربردهای گسترده‌ای از جمله استخراج آروماتیک‌ها، استخراج ویتامین‌ها، استخراج روغن‌های نفتی، حذف روی از محلول نیکل - کبالت و همچنین استخراج ناخاصی‌های آلی به عنوان فنل و نیترو بنزن از پساب‌های آبی می‌باشد [2].

در طراحی ستون‌های استخراج، پارامترهای هیدرودینامیکی از جمله موجودی فاز پراکنده، سرعت لغزشی، سرعت‌های طغیان و اندازه قطره از پارامترهای کلیدی جهت تعیین ابعاد و ظرفیت ستون محسوب می‌شوند [2]. موجودی فاز پراکنده و سرعت لغزشی در ستون‌های استخراج مختلفی از قبیل ستون‌های سینی‌دار [3]، ستون‌های سینی‌دار ضربه‌ای [4]، ستون‌های دیسک چرخان [5]، ستون کار<sup>1</sup> با صفحه رفت و برگشتی [6]، ستون اولدشو-راشتون [7]، ستون میسکر-ستلر هنسون [8]، ستون دیسک و دونات ضربه‌ای [9] ستون‌های پر شده ضربه‌ای [10] به صورت تجربی مورد بررسی قرار گرفته‌اند، اما اطلاعات اندکی در مورد موجودی فاز پراکنده و سرعت لغزشی ستون کوهنی موجود است. در این تحقیق، موجودی فاز پراکنده و سرعت لغزشی در ستون کوهنی با استفاده از دو سیستم شیمیایی تولوئن-استون-آب و بوتیل استات-استون-آب در حالت با و بدون انتقال جرم و به صورت تجربی مورد مطالعه قرار گرفته است. همچنین اثر پارامترهای عملیاتی نظیر دور هم‌زن، دبی فاز پراکنده و پیوسته و همچنین جهت انتقال جرم بر روی موجودی فاز پراکنده و سرعت لغزشی بررسی شده است.

### موجودی فاز پراکنده

موجودی فاز پراکنده یکی از مهم‌ترین پارامترهای هیدرودینامیکی ستون‌های استخراج بوده که بر مشخصات طغیان و انتقال جرم ستون تأثیر می‌گذارد. موجودی فاز پراکنده برای محاسبه سطح مشترک به ازای واحد حجم، سرعت مطلق فازها و زمان اقامت قطرات استفاده می‌شود [11]. ورود حلال به درون استخراج کننده موجب ایجاد قطراتی می‌شود که این قطرات در ستون دستخوش پیوند و شکست مداوم می‌شوند. کسر حجمی ایجاد شده (موجودی فاز پراکنده)، به صورت نسبت حجم اشغال شده توسط فاز پراکنده به حجم فعال ستون تعریف می‌شود.

$$\phi = \frac{V_d}{V_d + V_c} \quad (1)$$

رابطه میان موجودی فاز پراکنده و ضرایب کلی انتقال جرم به صورت زیر می‌باشد.

<sup>1</sup>Karr

$$K_E a = K_E \left( \frac{6\phi}{d_{32}} \right) \quad (2)$$

$$K_R a = K_R \left( \frac{6\phi}{d_{32}} \right) \quad (3)$$

که در این روابط،  $K_E$  و  $K_R$  به ترتیب ضرایب کلی انتقال جرم بر مبنای فاز استخراج شده و فاز پساب،  $a$  مساحت فصل مشترک دو فاز،  $d_{32}$  قطر متوسط ساتر،  $K_E a$  و  $K_R a$  به ترتیب ضرایب کلی حجمی انتقال جرم بر مبنای فاز استخراج شده و فاز پساب می‌باشند [12]. همچنین رابطه‌ی میان سطح ویژه‌ی انتقال جرم در ستون‌های استخراج، ماندگی فاز پراکنده و قطر میانگین قطرات به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$a = \frac{6\phi}{d_{32}} \quad (4)$$

از  $a$  برای تخمین سطح انتقال جرم بین دو فاز پراکنده و پیوسته استفاده می‌شود که در طراحی استخراج کننده‌ها برای تعیین واحدهای انتقال و ارتفاع یک واحد انتقال به کار گرفته می‌شود. متداول‌ترین روش‌های اندازه‌گیری موجودی فاز پراکنده در ستون‌های استخراج روش از کاراندازی دستگاه (جابجایی فصل مشترک<sup>1</sup>)، روش افت فشار<sup>2</sup>، روش نمونه‌گیری از ستون<sup>3</sup> می‌باشد. علاوه بر روش‌های فوق روش‌های دیگری برای به‌دست آوردن موجودی فاز پراکنده وجود دارد که کم‌تر مورد استفاده قرار می‌گیرند [13-14].

### سرعت لغزشی

سرعت لغزشی یکی دیگر از پارامترهای هیدرودینامیکی در ستون‌های استخراج مایع-مایع بوده که در محاسبه ضرایب انتقال جرم و عدد رینولدز در ستون‌های استخراج مورد استفاده قرار می‌گیرد. با توجه به اینکه اندازه‌گیری مستقیم سرعت لغزشی در ستون‌های استخراج مشکل می‌باشد، لذا با استفاده از موجودی فاز پراکنده و دبی حجمی فازهای پیوسته و پراکنده می‌توان سرعت لغزشی را تعیین کرد [15]. برای این منظور سرعت لغزشی در ستون‌های استخراج هنگامی که دو فاز در خلاف جهت هم جریان دارند مانند ستون کوهنی به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$V_{slip} = \frac{V_d}{\phi} + \frac{V_c}{(1-\phi)} \quad (5)$$

و برای حالتی که دو فاز دارای جهت یکسان هستند:

$$V_{slip} = \frac{V_d}{\phi} - \frac{V_c}{(1-\phi)} \quad (6)$$

که در آن،  $V_{slip}$ ، سرعت لغزشی،  $V_d$  سرعت فاز پراکنده،  $V_c$  سرعت فاز پیوسته می‌باشد.

<sup>1</sup>Shutdown or Displacement Method

<sup>2</sup>Differential Pressure Method

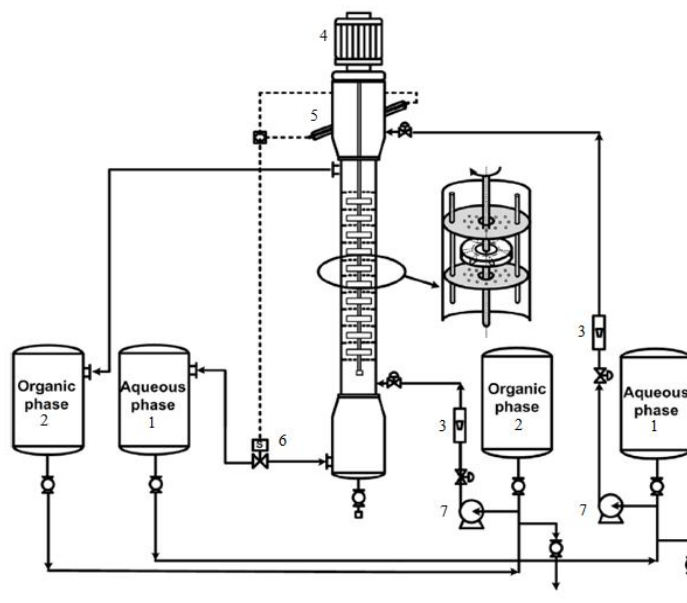
<sup>3</sup>Sampling Method

## شرح دستگاه و آزمایشات

برای انجام آزمایشات تجربی از یک استخراج کننده کوهنی در مقیاس نیمه صنعتی استفاده شده است. این دستگاه دارای بخش فعال ستون از جنس شیشه بوده لذا داخل ستون و نحوه جریان فازها قابل مشاهده می‌باشد. این ستون از 10 مرحله تشکیل شده که مراحل توسط صفحات مشبک از یکدیگر جدا شده‌اند، این صفحات مشبک دارای 36 سوراخ با قطر 7/5 میلی‌متر می‌باشند. این ستون دارای یک محور بوده که از یک الکتروموتور جهت چرخاندن آن استفاده می‌شود. جهت انجام عملیات اختلاط فازها در این ستون از ده هم‌زن از نوع توربینی شش پره‌ای با تیغه‌های عمودی که بر روی یک شفت سوار شده‌اند، استفاده شده است. شماتیک ستون کوهنی استفاده شده در شکل (1) و مشخصات هندسی آن در جدول (1) آمده است.

جدول 1. مشخصات هندسی ستون کوهنی

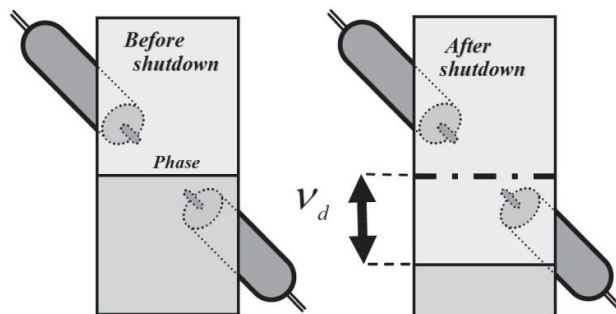
ابعاد	اجزاء ستون
0/7	ارتفاع ستون (m)
0/117	قطر ستون (m)
0/05	قطر روتور (m)
0/07	ارتفاع مرحله (m)
0/212	سطح آزاد صفحه (-)
0/00806	حجم فعال ستون (m <sup>3</sup> )
0/01075	سطح مقطع ستون (m <sup>2</sup> )



شکل 1. شماتیک ستون کوهنی: 1- مخازن فاز پیوسته، 2- مخازن فاز پراکنده، 3- روتامترهای فاز پیوسته و پراکنده، 4- الکتروموتور، 5- سنسور نوری، 6- شیر برقی، 7- پمپ‌های فاز پیوسته و پراکنده

در ستون کوهنی، فاز پیوسته از بالا و فاز پراکنده از پایین وارد ستون می‌شوند و پس از انجام عملیات جداسازی در ستون، فاز پیوسته از پایین ستون و فاز پراکنده از بالای ستون خارج و وارد مخازن تعبیه شده برای پساب می‌شوند.

موجودی فاز پراکنده با استفاده از روش از کار اندازی دستگاه (جابجایی فصل مشترک) اندازه‌گیری می‌شود. به این ترتیب که پس از برقراری شرایط پایا در ستون (ثابت ماندن فصل مشترک فاز پیوسته و پراکنده توسط عملکرد صحیح سنسور نوری با شیر برقی) مکان فصل مشترک را مشخص کرده و به طور همزمان شیرهای ورودی و خروجی فازها را بسته و همزن خاموش می‌شود. بر اثر تجمع قطرات فاز پراکنده در بالای ستون و فشار آن‌ها بر روی فاز پیوسته، فصل مشترک پایین می‌آید. هنگامی که مکان فصل مشترک ثابت شد، مطابق شکل (2) تغییر ارتفاع فصل مشترک را اندازه‌گیری کرده و از تقسیم آن بر ارتفاع فعال ستون موجودی فاز پراکنده به دست می‌آید (مطابق معادله (1)). سپس با معلوم بودن موجودی فاز پراکنده و استفاده از معادله (5) سرعت لغزشی محاسبه می‌شود. لازم به ذکر است که کلیه آزمایش‌ها در شرایط دور از طغیان انجام شده است.



شکل 2. اندازه‌گیری موجودی فاز پراکنده به روش جابجایی فصل مشترک

آزمایش‌ها بر روی دو سیستم استاندارد تولوئن-استون-آب و بوتیل استات-استون-آب در حالت بدون انتقال جرم انجام شده است. از آب مقطر به عنوان فاز پیوسته و تولوئن و بوتیل استات به عنوان فاز پراکنده استفاده گردید. تمامی مواد آلی مورد استفاده در آزمایش‌ها ساخت شرکت ریدل دی هائن<sup>1</sup> با درصد خلوص بیش از 99% می‌باشند. همچنین برای در نظر گرفتن اثر انتقال جرم از داده‌های ارائه شده توسط همتی و همکاران [16] که برای ستونی با هندسه مشابه به دست آمده بود، استفاده گردید. خصوصیات فیزیکی سیستم‌های مورد استفاده در جدول (2) آمده است.

<sup>1</sup>Riedel-deHaën

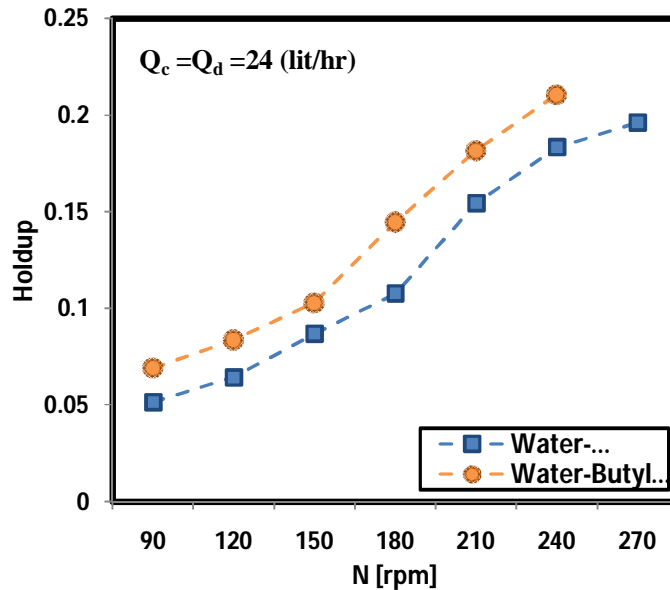
جدول 2. خصوصیات فیزیکی سیستم‌های مایع - مایع

خاصیت فیزیکی	تولوئن - آب	بوتیل استات - آب	تولوئن - استون - آب	بوتیل استات - استون - آب
$\rho_c \left( \frac{Kg}{m^3} \right)$	998/2	997/8	994/4	994/3
$\rho_d \left( \frac{Kg}{m^3} \right)$	865/2	882/3	864/4	879/6
$\mu_c \times 10^{-3} (pa.s)$	0/96	1/04	1/059	1/075
$\mu_d \times 10^{-3} (pa.s)$	0/570	0/760	0/574	0/723
$\sigma \left( \frac{N}{m} \right)$	36/1	14/1	27/5 - 30/1	12/4 - 13/2

### بحث و نتایج

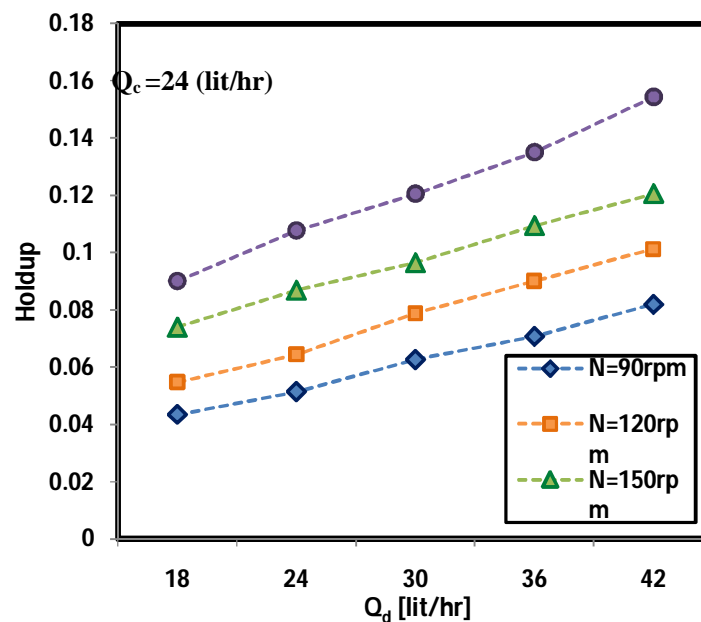
#### اثر پارامترهای عملیاتی بر موجودی فاز پراکنده

موجودی فاز پراکنده تابع شرایط عملیاتی فرآیند، ویژگی‌های سیستم‌های مورد استفاده و مشخصات فازها می‌باشد. برای بررسی اثر هر یک از پارامترها بر روی موجودی فاز پراکنده باید پارامترهای دیگر را ثابت نگه داشت. در شکل (3) اثر شدت اختلاط بر موجودی فاز پراکنده نشان داده شده است. همان‌گونه که در این شکل مشاهده می‌شود افزایش دور هم‌زن در دبی ثابت فازهای پراکنده و پیوسته، موجب افزایش موجودی فاز پراکنده می‌شود. با افزایش شدت اختلاط شکست قطرات افزایش یافته و در نتیجه اندازه قطرات کاهش می‌یابد. با کاهش اندازه قطرات، سرعت آن‌ها نسبت به فاز پیوسته کاهش یافته و با افزایش تعداد قطرات درون ستون موجودی فاز پراکنده افزایش می‌یابد. همچنین مقایسه‌ی منحنی‌های موجود در شکل (3) نشان می‌دهد که با افزایش کشش بین سطحی، موجودی فاز پراکنده کاهش می‌یابد. با افزایش کشش بین سطحی قطر قطرات افزایش یافته و در نتیجه سرعت نسبی فازها افزایش می‌یابد که این امر موجب کاهش موجودی فاز پراکنده می‌شود. به علاوه مقایسه تغییرات موجودی فاز پراکنده با شدت اختلاط برای دو سیستم نشان می‌دهد که اثر افزایش شدت اختلاط بر موجودی فاز پراکنده در سیستم بوتیل استات - آب (با کشش بین سطحی کم‌تر) بیش‌تر از سیستم تولوئن - آب (با کشش بین سطحی بالاتر) است که این موضوع به علت محدود بودن شکست قطرات در سیستم با کشش بین سطحی بالاتر است.



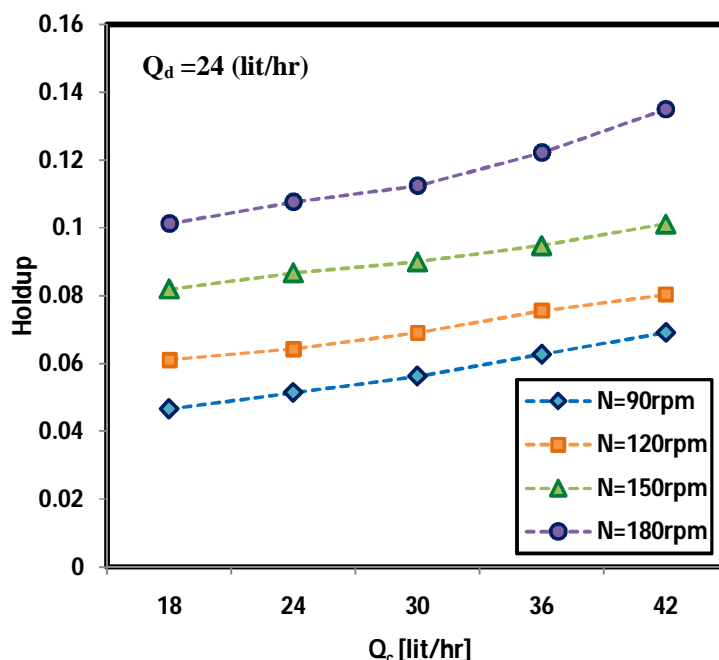
شکل 3. اثر دور همزن بر موجودی فاز پراکنده

در شکل (4) اثر دبی فاز پراکنده بر موجودی فاز پراکنده نشان داده شده است. مطابق این شکل، افزایش دبی فاز پراکنده سبب افزایش موجودی فاز پراکنده می‌شود. در دور ثابت همزن و دبی ثابت فاز پیوسته، با افزایش دبی فاز پراکنده، تعداد قطرات افزایش یافته و مطابق تعریف موجودی فاز پراکنده (معادله (1))، مقدار موجودی فاز پراکنده در ستون افزایش می‌یابد.



شکل 4. اثر دبی فاز پراکنده بر موجودی فاز پراکنده (سیستم تولوئن - آب)

در شکل (5) اثر دبی فاز پیوسته بر موجودی فاز پراکنده مشاهده می‌شود. با افزایش دبی فاز پیوسته در دور ثابت هم‌زن و دبی ثابت فاز پراکنده، مقاومتی در برابر حرکت قطرات فاز پراکنده ایجاد می‌شود و نیروی درگ افزایش یافته و در نتیجه موجودی فاز پراکنده افزایش می‌یابد. البته مقایسه شکل‌های (4) و (5) نشان می‌دهد که اثر دبی فاز پراکنده بر موجودی فاز پراکنده بیش‌تر از اثر دبی فاز پیوسته می‌باشد.

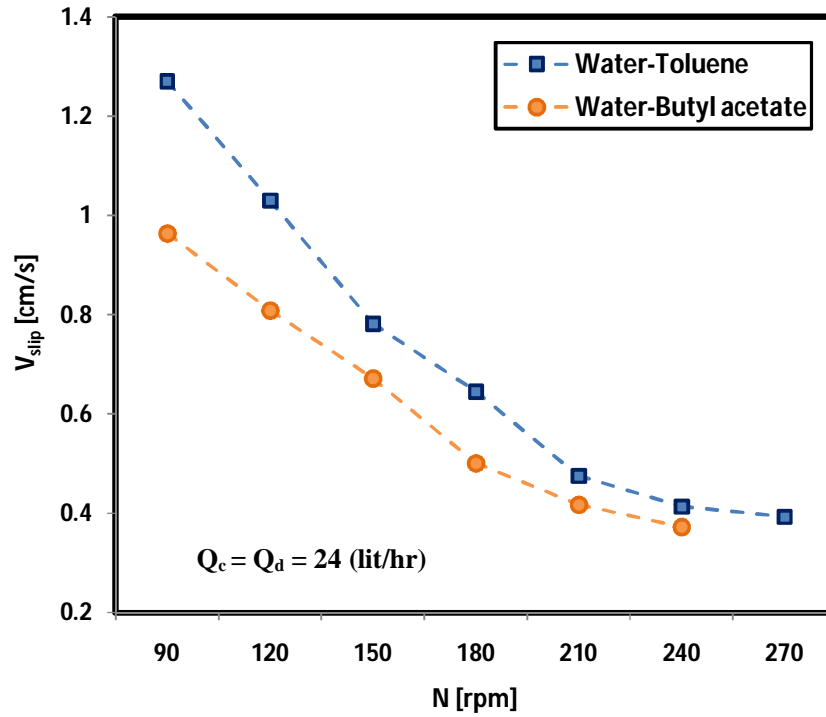


شکل 5. اثر دبی فاز پیوسته بر موجودی فاز پراکنده (سیستم تولوئن - آب)

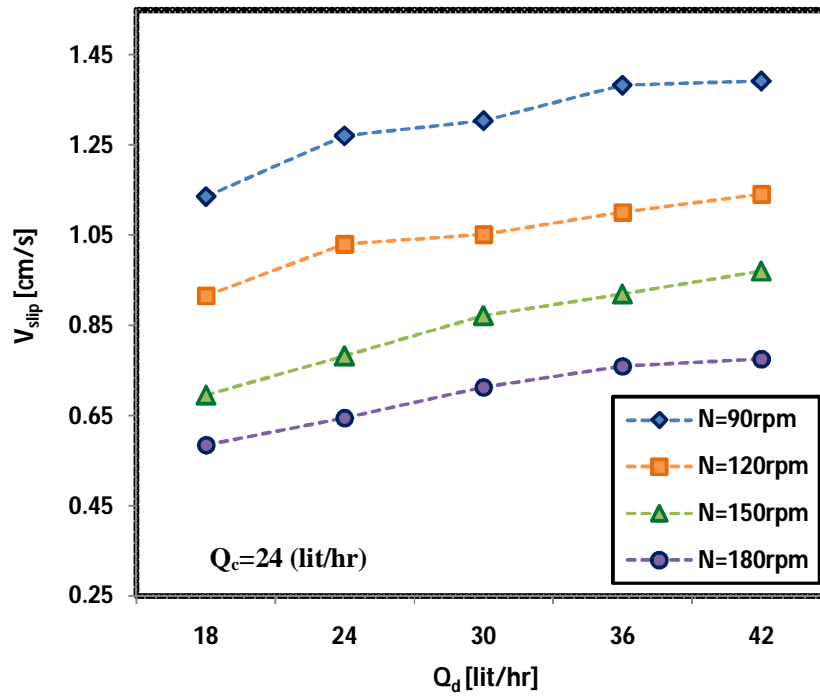
#### اثر پارامترهای عملیاتی بر سرعت لغزشی

سرعت لغزشی یکی از پارامترهای مهم هیدرودینامیکی ستون‌های استخراج بوده که در طراحی ستون و محاسبه ضرائب انتقال جرم و درگ استفاده می‌شود. در شکل (6) اثر دور هم‌زن بر سرعت لغزشی نشان داده شده است. همان‌طور که در این شکل مشخص است با افزایش دور هم‌زن در دبی ثابت فازهای پراکنده و پیوسته، سرعت لغزشی کاهش می‌یابد. با افزایش دور هم‌زن در اثر افزایش نیروهای برشی، شکست قطرات بیش‌تر اتفاق می‌افتد، در نتیجه قطر قطرات کاهش یافته و سرعت لغزشی کاهش می‌یابد. همان‌گونه که در شکل (7) مشاهده می‌شود، در سیستم تولوئن - آب با افزایش دبی فاز پراکنده در دور ثابت هم‌زن و دبی ثابت فاز پیوسته، قطر قطرات افزایش یافته و در نتیجه سرعت لغزشی افزایش می‌یابد.



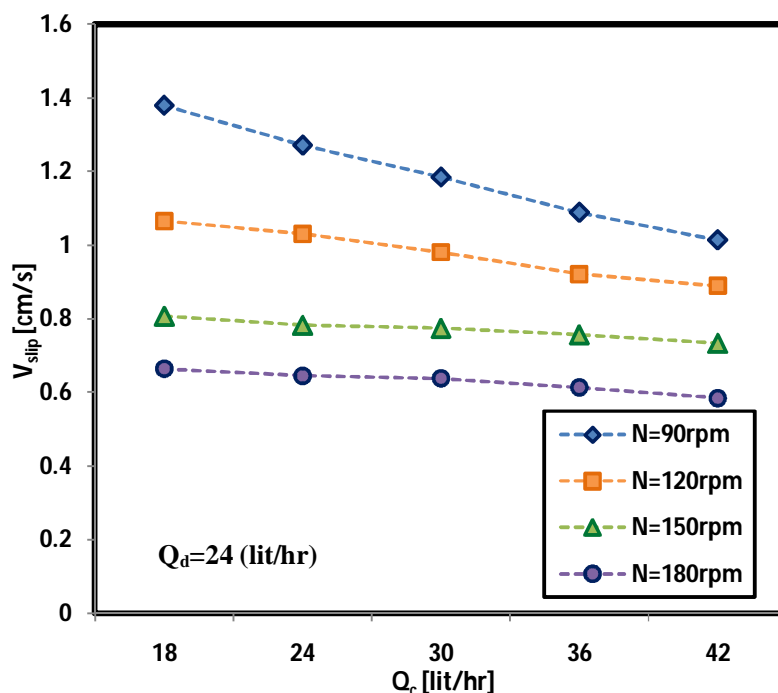


شکل 6. اثر دور هم‌زن بر سرعت لغزشی



شکل 7. اثر دبی فاز پراکنده بر سرعت لغزشی (سیستم تولوئن - آب)

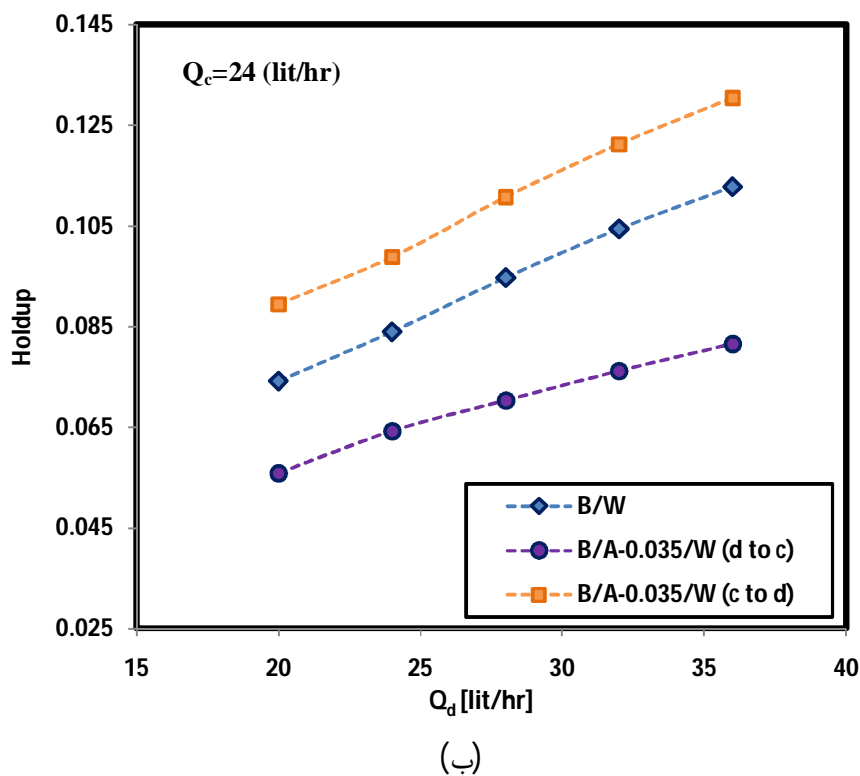
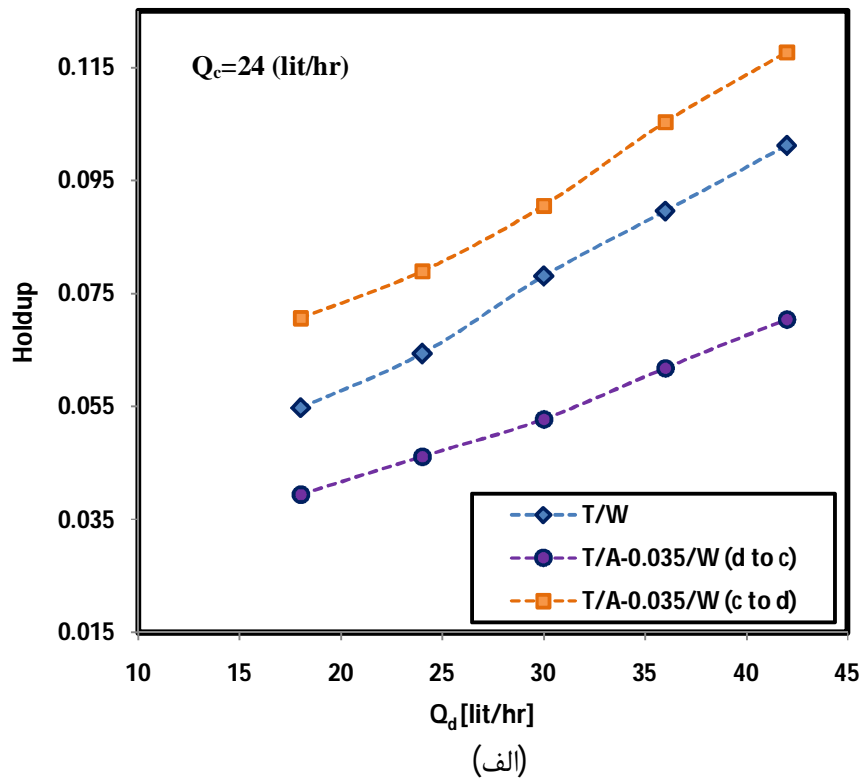
با توجه به شکل (8) در سیستم تولوئن- آب با افزایش دبی فاز پیوسته، سرعت لغزشی کاهش می‌یابد. با افزایش دبی فاز پیوسته در دور ثابت هم‌زن و دبی ثابت فاز پراکنده، مقاوتی در برابر حرکت قطرات فاز پراکنده ایجاد می‌شود و در نتیجه سرعت لغزشی کاهش می‌یابد.



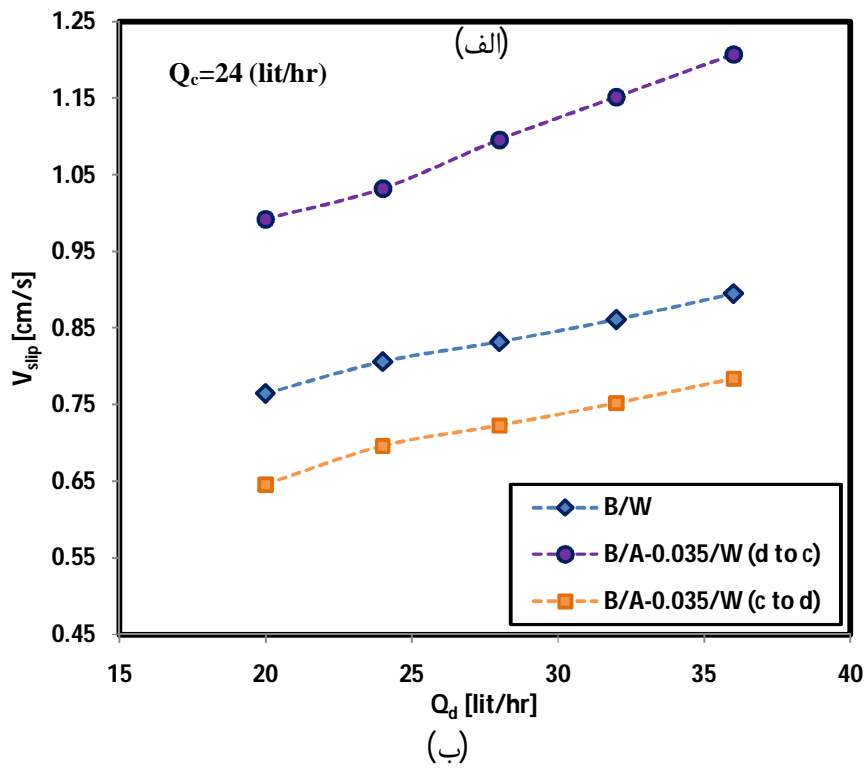
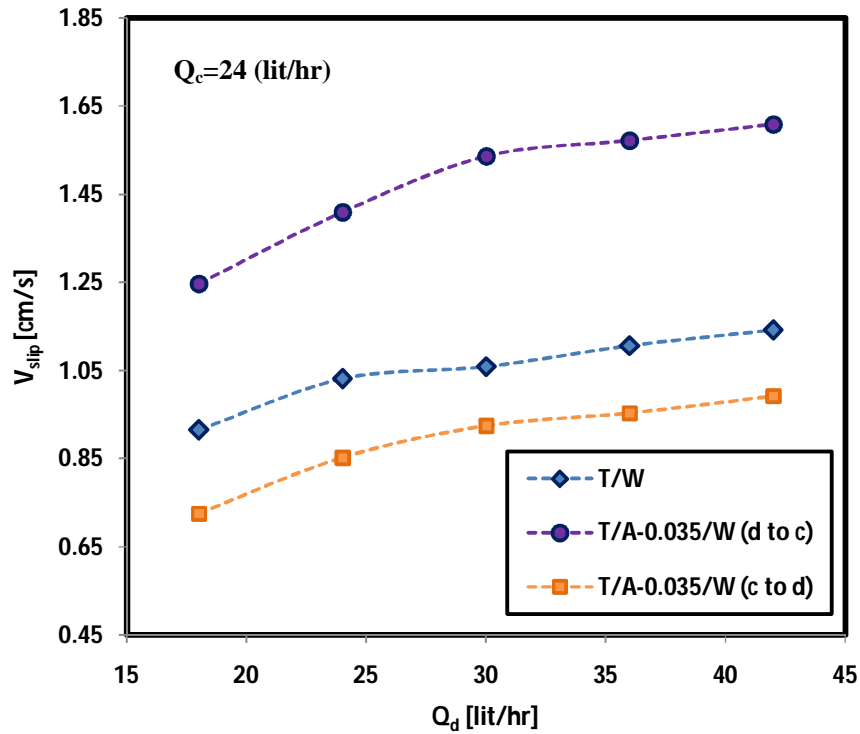
شکل 8. اثر دبی فاز پیوسته بر سرعت لغزشی (سیستم تولوئن- آب)

#### اثر انتقال جرم

شکل‌های (9) و (10) به ترتیب اثر جهت انتقال جرم بر موجودی فاز پراکنده و سرعت لغزشی را برای هر دو سیستم تولوئن- استن- آب و نرمال بوتیل استات- استن- آب نشان می‌دهند. در حالت انتقال جرم از فاز پراکنده به پیوسته نیز با افزایش دبی فاز پراکنده در دور ثابت هم‌زن و دبی ثابت فاز پیوسته، نحوه تغییرات موجودی فاز پراکنده و سرعت لغزشی مشابه حالت بدون انتقال جرم است. زمانی که انتقال جرم در داخل ستون وجود دارد، توزیع غلظت حل شونده (با توجه به جهت انتقال جرم) در داخل برج وجود دارد که این توزیع غلظت، بر کشش بین فازی تأثیر خواهد گذاشت. افزایش غلظت جزء حل شونده در فاز پیوسته (XC) باعث کاهش کشش بین فازی می‌شود که همین امر بر اندازه‌ی قطرات تأثیر می‌گذارد.

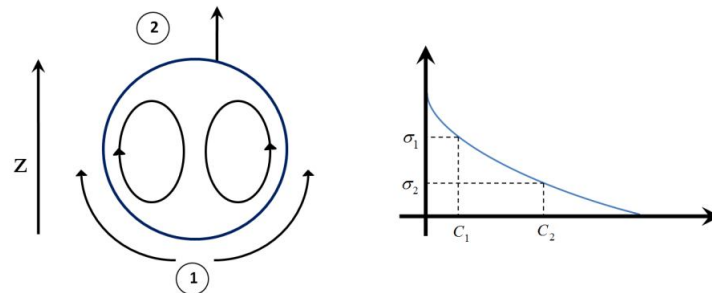


شکل 9. اثر جهت انتقال جرم بر موجودی فاز پراکنده سیستم الف (تولون - استون - آب سیستم ب) بوتیل استات - استون - آب



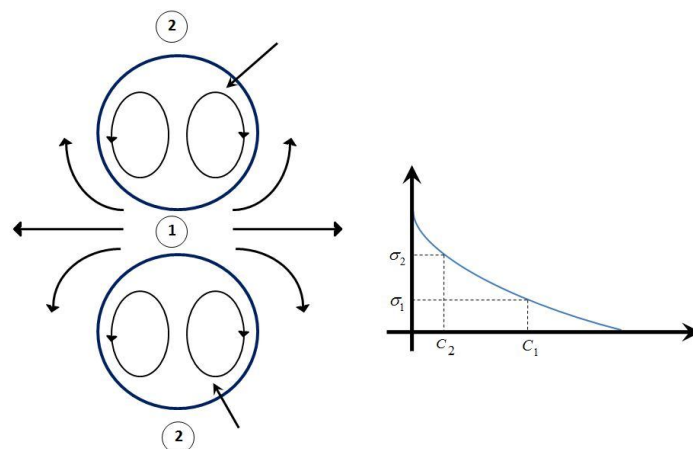
شکل 10. اثر جهت انتقال جرم بر سرعت لغزشی سیستم الف) تولوئن - استون - آب سیستم ب) بوتیل استات - استون - آب

هنگامی که انتقال جرم از فاز پراکنده به پیوسته باشد، غلظت جز انتقال یابنده در فاز پیوسته در بالای قطره، بیش از پایین قطره است. با توجه به شکل (11) مشاهده می‌شود کشش بین فازی در پایین قطره بیش از بالای قطره بوده، در نتیجه نیرویی به سمت بالا بر قطره اعمال می‌شود که چون جهت آن موافق با چرخش داخلی قطره است، قطره پایدارتر خواهد شد [17].



شکل 11. نیروی وارد شده بر قطرات (انتقال جرم از فاز پراکنده به پیوسته)

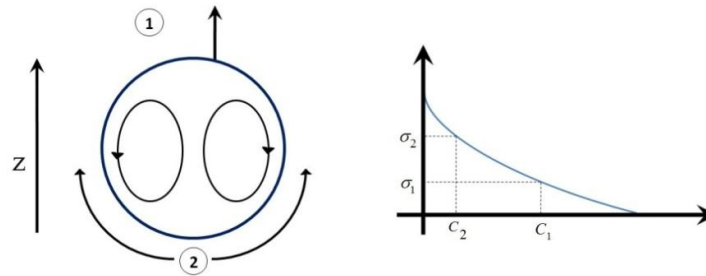
علاوه بر مطالب ذکر شده بر اثر انتقال جرم از فاز پراکنده به پیوسته، بین دو قطره ناحیه‌ای با غلظت بالا به وجود می‌آید ( $X_{C_1}$ ) که غلظت آن از غلظت در اطراف قطره ( $X_{C_2}$ ) بیش‌تر است. با توجه به شکل (12)، کشش بین فازی بین دو قطره از کشش بین فازی در اطراف قطره کم‌تر بوده و همین امر موجب می‌شود بر اثر پدیده‌ی مارانگونی‌مایع از ناحیه‌ی بین قطرات به اطراف جاری شده و بر اثر تخلیه‌ی مایع و ایجاد خلا نسبی، قطرات بهم بیوندند و ائتلاف قطرات افزایش یابد که منجر به کاهش موجودی فاز پراکنده و افزایش سرعت لغزشی نسبت به حالت بدون انتقال جرم می‌گردد [17].



شکل 12. اثر مارنگونی بر ائتلاف قطرات (انتقال جرم از فاز پراکنده به پیوسته)

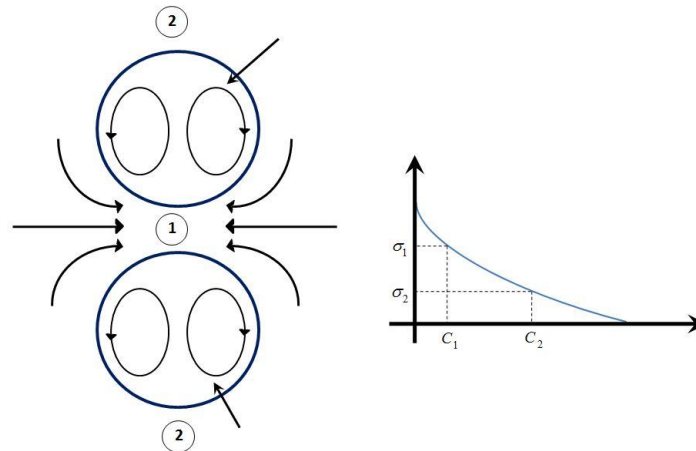
با توجه به شکل‌های (9) و (10) روند تغییرات موجودی فاز پراکنده و سرعت لغزشی نسبت به فاز پراکنده در حالت انتقال جرم از فاز پیوسته به پراکنده مشابه حالت بدون انتقال جرم است. همان‌گونه که در شکل (13) نشان داده شده است هنگامیکه انتقال جرم از فاز پیوسته به پراکنده باشد، غلظت جز انتقال یابنده در

پایین قطره از بالای قطره کم تر است به همین دلیل کشش بین فازی در بالای قطره از پایین قطره کم تر بوده در نتیجه نیرویی در جهت بالا بر قطره اعمال می شود که چون جهت آن مخالف با چرخش داخلی قطرات است، این نیرو باعث ناپایداری و شکست قطرات خواهد شد.



شکل 13. نیروی وارد شده بر قطرات (انتقال جرم از فاز پیوسته به پراکنده)

به علاوه بر اثر انتقال جرم در این جهت، بین دو قطره ناحیه ای با غلظت کم به وجود می آید ( $X_{C_1}$ ) که این غلظت از غلظت در اطراف قطره ( $X_{C_2}$ ) کم تر است. با توجه به شکل (14) مشاهده می شود کشش بین فازی بین دو قطره از کشش بین فازی در اطراف قطره بیش تر بوده و همین امر موجب می شود بر اثر پدیده ی مارانگونی مایع از اطراف به ناحیه ی بین قطرات جاری شود در نتیجه قطرات از هم فاصله گرفته و به هم پیوستن آن ها کاهش یابد. این پدیده باعث کاهش اندازه ی میانگین قطرات و به دنبال آن افزایش موجودی فاز پراکنده و کاهش سرعت لغزشی در ستون می گردد [17].



شکل 14. اثر مارنگونی بر ائتلاف قطرات (انتقال جرم از فاز پیوسته به پراکنده)

### نتیجه گیری

در این تحقیق، پارامترهای هیدرودینامیکی شامل موجودی فاز پراکنده و سرعت لغزشی به طور تجربی برای ستون استخراجی کوهنی مورد مطالعه قرار گرفت. تأثیر شرایط مختلف عملیاتی به همراه خواص فیزیکی سیستم های مورد آزمایش بر روی این پارامترها بررسی گردید. آزمایش های انجام شده در ستون کوهنی

نشان داد که سرعت اختلاط و دبی فازهای پیوسته و پراکنده دارای یک اثر مشابه بر تغییرات موجودی فاز پراکنده می‌باشند. نتایج آزمایش‌ها حاکی از آن است که موجودی فاز پراکنده با افزایش شدت اختلاط، دبی فازهای پراکنده و پیوسته افزایش می‌یابد. همچنین نتایج بررسی‌ها بر روی ستون کوهنی نشان می‌دهد که با افزایش دور هم‌زن در دبی ثابت فازهای پیوسته و پراکنده، سرعت لغزشی در دو سیستم مورد آزمایش کاهش می‌یابد. بعلاوه در دبی ثابت فاز پراکنده و دور ثابت هم‌زن، افزایش دبی فاز پیوسته موجب کاهش سرعت لغزشی در سیستم تولوئن- آب می‌گردد، در حالی که افزایش دبی فاز پراکنده در دور ثابت هم‌زن و دبی ثابت فاز پیوسته، دارای اثر معکوس می‌باشد. نتایج نشان داد که مسیر انتقال جرم دارای یک اثر قابل توجه بر موجودی فاز پراکنده و سرعت لغزشی بوده و موجودی فاز پراکنده برای انتقال جرم از فاز پراکنده به پیوسته نسبت به حالت بدون انتقال جرم کاهش و سرعت لغزشی افزایش می‌یابد در حالی که مسیر مقابل دارای یک اثر معکوس است. پیشنهاد می‌گردد در تحقیقات بعدی این پارامترها برای فرآیندهای واکنش‌دار و کاربردی تعیین گردد.

### فهرست علائم

علائم	نام
$V_d \left( \frac{m}{s} \right)$	سرعت ظاهری فاز پراکنده
$V_c \left( \frac{m}{s} \right)$	سرعت ظاهری فاز پیوسته
$X_c \left( \frac{gr}{lit} \right)$	غلظت جز حل شونده در فاز پیوسته
$K_E \left( \frac{m}{s} \right)$	ضریب کلی انتقال جرم بر مبنای فاز استخراج شده
$K_R \left( \frac{m}{s} \right)$	ضریب کلی انتقال جرم بر مبنای فاز پساب
$K_E a \left( \frac{1}{s} \right)$	ضریب کلی حجمی انتقال جرم بر مبنای فاز استخراج شده
$K_R a \left( \frac{1}{s} \right)$	ضریب کلی حجمی انتقال جرم بر مبنای فاز پساب
$a \left( \frac{m^2}{m^3} \right)$	مساحت فصل مشترک
$\phi(-)$	موجودی فاز پراکنده
$V_{Slip} \left( \frac{cm}{s} \right)$	سرعت لغزشی
$d_{32} (cm)$	قطر متوسط ساتر



## منابع

- [1] Aoun Nabli, M.S., Guiraud, P. Numerical experimentation a tool to calculate the axial dispersion coefficient in discs and doughnuts pulsed solvent extraction column, *Chemical Engineering Science*, Vol.52, 1997, pp. 2353–2368.
- [2] Torab-Mostaedi, M., Ghaemi, A., Asadollahzadeh, M. Flooding and drop size in a pulsed disc and doughnut extraction column, *Chemical Engineering Research And Design*, Vol. 89, 2011, pp. 2742-2751.
- [3] Gois, L.M.N., Sá, R.M., Cavalcanti, C.F. Dispersed phase holdup in a liquid- liquid extraction column", *Latin American Applied Research*, Vol. 40, 2010, pp. 373-376.
- [4] Godfrey, J.C., Slater, M.J. Liquid-Liquid Extraction Equipment, John Wiley and Sons, New York, 1994.
- [5] Kalaichelvi, P., Murugesan, T. Prediction of slip velocity in rotating disc contactors, *Chemical Technology and Biotechnology*, Vol. 69, 1997, pp.130-136.
- [6] Camurdan, M.C., Baird, M.H.I., Taylor, P.A. Steady state hydrodynamics and mass transfer characteristics of karr extraction column, *The Canadian Journal of Chemical Engineering*, Vol. 67, 1989, pp.554-559.
- [7] Kirou, V.I., Tavlarides, L.L., Bonnet, J.C., Tsouris, C. Flooding, holdup, and drop size measurements in multistage column extractor, *AIChE Journal*, Vol. 34, 1988, pp.283-292.
- [8] Napeida, M., Haghghi Asl, A. Holdup and characteristic velocity in a Hanson mixer-settler extraction column, *Chemical Engineering Research And Design*, Vol. 88, 2010, pp. 703-711.
- [9] Asadollahzadeh, M., Jalilvand, H. Slip velocity in pulsed disc and doughnut extraction column, *Chemical Industry & Chemical Engineering Quarterly*, Vol. 17(3), 2011, pp.333-339.
- [10] Asadollahzadeh, M., Safdari, j., Dispersed phase holdup and characteristic velocity in a pulsed packed extraction column, *Chemical Industry & Chemical Engineering Quarterly*, Vol. 18 (2), 2012, pp. 255-256.
- [11] Kumar, A., Hartland, S. A unified correlation for the prediction of dispersed phase holdup in liquid-liquid extraction column, *Industrial Engineering Chemical Research*, Vol.34, 1995, pp. 3925-3940.
- [12] Pietzsch, W., Eckhart, B. A new model for the prediction of liquid pulsed sieve tray extractors, *Chemical Engineering Technology*, Vol.10, 1987, pp. 73-86.
- [13] Chen, J., Fu, R., Xu, S., Wu, Q., Song, C. Measurement of interface level, holdup, pulsation frequency, and amplitude in a pulsed column by air purge, *Institute of Nuclear Energy Technology* Vol. 41, 2002, pp. 1868–1872.
- [14] Ribeoro, M.M.M., Concolves, C., Regueiras, P.F., Guimaraes, M.M.L., CruzePinto, J.J.C. Measurements of toluene-water dispersions holdup using a non-invasive ultrasonic technique, *Chemical Engineering Journal*, Vol. 118, 2006, pp.47–54.
- [15] Giraldo-Zuniga, A.D., Coimbra, J.S.R., Minim, L.A., Garcia Rojas, E.E. Dispersed phase hold-up in a Graesser raining bucket contactor using aqueous two-phase systems, *Journal of Food Engineering*, Vol. 72, 2006, pp. 302-309.
- [16] Hemmati, A., Torab-Mostaedi, M. and Asadollahzadeh, M. Mass transfer coefficients in a Kühni extraction column, *Chemical Engineering Research and Design*, Vol. 93, 2014, pp. 747-754.
- [17] Gourdon, C., Casamatta, G. Influence of mass transfer direction the operation of a pulsed sieve-plate pilot column, *Chemical Engineering Science*, Vol. 46, 1991, pp.2799-2808.