



## اثر پارامترهای عملیاتی بر روی سرعت مشخصه و لغزشی در یک ستون ضربه ای پرسیده

ادریس الله یاری<sup>۱</sup>، حسین ابوالقاسمی<sup>۲</sup>، سید جابر صفدری<sup>۳</sup>، شایان شهبازی<sup>۴</sup>

۱،۲،۴- تهران- خیابان انقلاب- خیابان ۱۶ آذر- دانشگاه تهران- پردیس دانشکده های فنی- دانشکده مهندسی شیمی- صندوق پستی: ۴۵۶۳-۱۱۱۵۵

۱،۳،۴- تهران- پژوهشگاه علوم و فنون هسته ای- پژوهشکده چرخه سوخت- صندوق پستی: ۴۵۶۳-۱۱۳۶۵

Email: edris.allahyari@gmail.com

### چکیده

سرعت مشخصه و لغزشی از پارامترهای مهم در طراحی ستون های استخراج مایع- مایع می باشند. هدف این مقاله بررسی پارامترهای عملیاتی موثر بر سرعت مشخصه و لغزشی در یک ستون ضربه ای پرسیده در مقیاس نیمه صنعتی می باشد. با توجه به تاثیر کشش بین فازی بر قطر قطرات و متعاقبا تاثیر آن بر سرعت قطرات فاز پراکنده در طول ستون ضربه ای پرسیده، آزمایشات بر روی سیستم تولوئن- آب که دارای کشش بین فازی بالایی می باشد در حالت بدون انتقال جرم انجام شده اند. در این مقاله ابتدا موجودی فاز پراکنده در شرایط عملیاتی مختلف اندازه گیری شد و سپس اثر این پارامترها که عبارتند از شدت ضربه، دبی فازهای پراکنده و پیوسته بر روی سرعت مشخصه و سرعت لغزشی بررسی گردید.

**واژه های کلیدی:** ستون ضربه ای پرسیده، موجودی فاز پراکنده، سرعت مشخصه، سرعت لغزشی، فاز پراکنده

### ۱- مقدمه

استخراج مایع- مایع یکی از مهم ترین روش های جداسازی می باشد که به صورت گسترده ای در صنایع

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی شیمی، دانشکده مهندسی شیمی، پردیس دانشکده های فنی، دانشگاه تهران

<sup>۲</sup> دکترای مهندسی شیمی، عضو هیئت علمی دانشکده مهندسی شیمی، پردیس دانشکده های فنی، دانشگاه تهران

<sup>۳</sup> دکترای مهندسی شیمی، عضو هیئت علمی گروه پژوهشی مهندسی شیمی، پژوهشکده علوم هسته ای، پژوهشگاه علوم و فنون هسته ای

<sup>۴</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی شیمی، دانشکده مهندسی شیمی، پردیس دانشکده های فنی، دانشگاه تهران



مختلف شیمیایی، بیوشیمیایی، معدنی، پتروشیمی، نفت، محیط زیست و صنایع غذایی کاربرد دارد. استخراج فلزات خاک نادر و هیدرومتالوژی زمینه های دیگر کاربرد این فرایند می باشد. با توجه به کم بودن انتقال جرم در سیستم های مایع-مایع نسبت به گاز-مایع، افزایش بازده ستون های استخراج مایع-مایع همواره مدنظر بوده است. یکی از عوامل مهم در افزایش بازده این ستون ها استفاده از انرژی مکانیکی به طرق مختلف می باشد [۱]. ستون های استخراج ضربه ای یکی از این برج ها بوده که انرژی مکانیکی ورودی به آن از طریق پالس ورودی به برج تامین می شود. پالس ورودی با ایجاد قطرات کوچکتر و افزایش مساحت سطح مشترک و اغتشاش بالا موجب افزایش شدت انتقال جرم و در پی آن افزایش بازده عملیاتی می گردد؛ با افزایش شدت ضربه ورودی سرعت قطرات فاز پراکنده نسبت به فاز پیوسته کاهش و موجودی فاز پراکنده افزایش می یابد.

در ستون ضربه ای وجود ضربه باعث تسریع در رسیدن به نقطه طغیان و افزایش شدت انتقال جرم می شود، لذا در این نوع ستون ها ظرفیت ستون پایین و ارتفاع آن کم می باشد. این ستون ها به دو صورت پرشده و سینی دار طراحی می شوند، که در این مقاله ستون ضربه ای پرشده مورد مطالعه قرار گرفته است.

ستون های پرشده ضربه ای در روزهای ابتدایی صنایع هسته ای، برای فرایند بازآوری سوخت های تشعشع دیده مورد استفاده قرار می گرفت. نخستین نمونه این نوع ستون ها با حلقه های لسینگ برای فرآیند اولیه جداسازی بکار برده شد. در سال ۱۹۵۵ پایگاه هندفورد ردکس، اولین پایگاه استخراج حلال در صنایع هسته ای، در ایالت متحده بود که از ستون ضربه ای پرشده با ظرفیت ۳ تا ۴ تن در روز استفاده نمود. دی اس ام (DSM) هلند از این نوع ستون با قطری در حدود ۲/۷ متر، برای فرایندهای پتروشیمی استفاده کرده است [۲].

طراحی این ستون ها بطور عمده تجربی می باشد و پارامترهای طراحی عبارتند از: هندسه ستون، خواص فازها و انرژی ورودی به ستون. از مزایای اینگونه برج ها می توان به اختلاط محوری کم، توزیع یکنواخت فاز پراکنده در طول سطح مقطع، کنترل سطح انتقال جرم، بازده استخراج بالا و مستقل از قطر ستون و نهایتاً اقتصادی بودن عملیات استخراج اشاره کرد.

در این مقاله ابتدا به اندازه گیری موجودی فاز پراکنده در شرایط عملیاتی مختلف پرداخته و سپس سرعت لغزشی و مشخصه در شرایط مختلف عملیاتی محاسبه گردید؛ سرانجام به بررسی تاثیر این پارامترها، شامل تغییرات شدت ضربه ضربان ساز، دبی فازهای پراکنده و پیوسته بر روی سرعت مشخصه و لغزشی پرداختیم.

### ۱-۱- موجودی فاز پراکنده (انباشت)

به نسبت حجم فاز پراکنده به مجموع حجم فاز پیوسته و پراکنده در داخل ستون موجودی فاز پراکنده گفته می شود.

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



سیزدهمین کنگره ملی مهندسی شیمی ایران  
و اولین کنفرانس بین‌المللی منطقه‌ای مهندسی شیمی و نفت

در ستون‌های پر شده انباشت یا تجمع مایع عبارت است از مقدار مایعی که به صورت لایه‌هایی آکنه‌ها را خیس کرده و نیز به صورت حوضچه‌هایی در لابه‌لای پرکن‌ها درگیر شده است. تجمع مایع  $f$ ، از دو قسمت تشکیل شده است:

$$f_{Lt} = f_{LO} + f_{LS} \quad (2)$$

که  $f_{LS}$ ، تجمع مایع ثابت و  $f_{LO}$  تجمع مایع متحرک یا در حین کار است و هر یک از این دو بر حسب حجم مایع در واحد حجم ستون پر شده بیان می‌شوند. تجمع متحرک عبارت است از مقدار مایعی که در بین پرکن‌ها بطور مداوم جای خود را به مایع جدید می‌دهد. اگر جریان‌های ورودی به درون برج متوقف شوند این مایع از لابه‌لای پرکن‌ها چکه خواهد کرد. جزء ثابت در بین آکنه‌ها درگیر شده و به صورت ساکن درآمده است و جابجایی آن با مایع جدید به کندی انجام می‌گیرد، همچنین در اثر توقف جریان‌های ورودی، چکه نخواهد نمود. تجمع مایع ثابت تاثیری بر انتقال جرم ندارد، چون نیروی محرک انتقال جرم که در واقع همان اختلاف غلظت است به سمت صفر میل می‌کند. در واقع برای افزایش انتقال جرم بهتر است تجمع مایع متحرک تا جایکه امکان طغیان نداشته باشد، بالا برود.

ویگانگ و همکارانش از جمله محققانی بودند که مشخصه‌های انباشت را تحت شرایط ضربه‌ای مشاهده کردند. آنها دریافتند در دبی پایین فاز پراکنده، پالس‌ها، راندمان را ۱۰ تا ۱۵ برابر و انباشت را از ۵ تا ۵۰ درصد بهبود می‌بخشند [۳].

هیدرودینامیک ستون‌های استخراج مایع-مایع بر اساس رابطه‌ای میان سرعت ظاهری فاز پیوسته ( $V_c$ ) و فاز پراکنده ( $V_d$ ) و موجودی فاز پراکنده ( $f$ ) توصیف می‌شود.

$$V_{slip} = \frac{V_d}{e(f)} + \frac{V_c}{e(1-f)} \quad (3)$$

که  $V_s$  سرعت قطرات نسبت به فاز پیوسته است هنگامیکه دو فاز در خلاف جهت هم جریان دارند.

## ۱-۲- سرعت لغزشی

مفهوم سرعت لغزش به وسیله گیلر در سال ۱۹۵۳ بیان گردید که برای پیش‌بینی انباشت در انواع مختلفی از ستون‌های استخراج بکار برده می‌شود و مرتبط با سرعت نسبی دو فاز مایع است. بنابراین مقدار سرعت لغزش برای جریان متقابل، معادل با جمع سرعت‌های واقعی فازی می‌باشد [۳، ۵، ۶].

همچنین بسیاری از محققان برای ارتباط سرعت لغزشی و موجودی فاز پیوسته ( $1-f$ ) پارامتری به نام سرعت مشخصه تعریف کرده‌اند. یکی از این روابط که توسط ریچادرسن و زاکی در سال ۱۹۵۴ ارائه شده عبارت است از [۷]:

$$V_{slip} = V_0(1-f)^n \quad (4)$$



که  $V_0$  سرعت متوسط قطرات است هنگامی که سرعت فاز پیوسته صفر باشد و سرعت فاز پراکنده به سمت صفر برود [۸].

### ۱-۳- سرعت مشخصه

سرعت مشخصه قطره برای ارتباط سرعت فازها و موجودی فاز پراکنده به کار می رود و نسبت سرعت های مشخصه و حدی به شکل ستون، دامنه و فرکانس ضربه، قطر قطره و اندازه آکنه ها مربوط می شود [۹]. بطور کلی سرعت مشخصه در رابطه سرعت فازها و موجودی فاز پراکنده مورد نیاز می باشد. تعیین مقدار سرعت مشخصه اهمیت بسیار ویژه ای دارد و می تواند برای پیش بینی بازده عملیاتی ستون های استخراج مایع-مایع و همچنین سرعت های طغیان که در محاسبه قطر ستون استفاده می شود، بکار رود. یک مدل تئوری قابل قبول برای  $V_K$  بدست نیامده است ولی آزمایشات زیادی توسط محققان مختلف جهت تعیین رابطه ای برای سرعت مشخصه انجام شده است [۸، ۱۰، ۱۱].

در این مقاله سرعت لغزشی و مشخصه در ستون ضربه ای پر شده با اندازه گیری انباشت در شرایط مختلف عملیاتی و به کمک معادلات (۳) و (۴) تعیین می گردد و تاثیرات شدت ضربه ضربان ساز ستون، دبی فاز پراکنده و دبی فاز پیوسته بر روی سرعت مشخصه و لغزشی بررسی می شود.

## ۲- شرح دستگاه و روش انجام آزمایشات

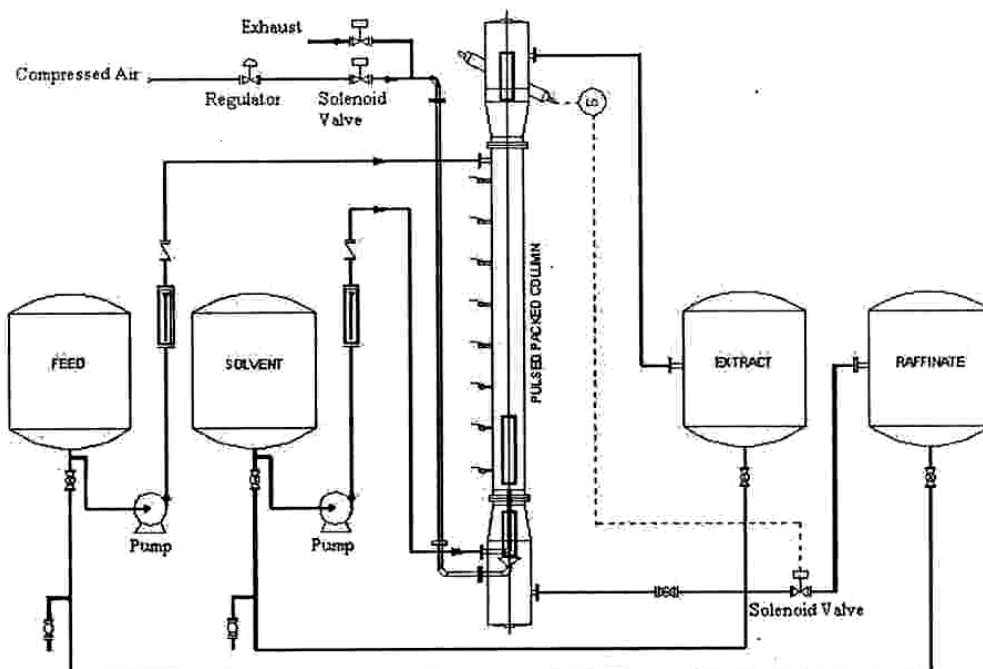
ستون استخراج مورد استفاده در آزمایش ها، ستون ضربه ای پر شده می باشد که نمای کلی آن در شکل (۱) نشان داده شده است. در این ستون ضربه ای پر شده از دو پمپ سانتریفیوژ جهت پمپ کردن فازهای سبک و سنگین به درون ستون استفاده می شود، همچنین دارای یک ضربان ساز می باشد که ضربه را توسط کمپرسور با فشار صفر تا ۸ بار تامین می کند. دستگاه مجهز به کنترل کننده فرکانس می باشد؛ دامنه نیز توسط تنظیم فشار هوا، به وسیله یک رگلاتور تنظیم می گردد.

همان طور که در شکل مشاهده می شود دستگاه از سه ناحیه اصلی تشکیل شده است:

ناحیه فعال ستون که به قطر ۳ اینچ و طول ۲ متر می باشد و از آکنه پر شده است. یک صفحه نگهدارنده مشبک به منظور نگهداری آکنه ها و توزیع فاز پراکنده در ابتدای بخش فعال ستون و صفحه نگهدارنده دیگری به منظور جلوگیری از خروج آکنه ها از قسمت فعال ستون، در اثر ضربه و جریان فازها، در انتهای بخش فعال ستون قرار داده شده است. در طول ناحیه فعال ستون ۷ شیر نمونه گیری تعبیه شده است که برای اندازه گیری موجودی فاز پراکنده در طول ستون، مورد استفاده قرار می گیرد. ناحیه ته نشین کننده بالایی جهت جداسازی



فاز سبک و ناحیه ته نشینی پایینی جهت جداسازی فاز سنگین از محتویات داخل برج استفاده می‌شود، قطر هر کدام ۵ اینچ و طول آن‌ها ۱ متر می‌باشد. تمامی قطعات برج از جنس فولاد ضد زنگ می‌باشند.



شکل ۱- شمایی از ستون ضربه ای پر شده مورد استفاده در آزمایشات

با توجه به اینکه در این آزمایشات فاز پراکنده، فاز آلی و فاز پیوسته، فاز آبی می‌باشد، می‌بایست از آکنه های فلزی و سرامیکی که توسط فاز آبی مرطوب می‌شوند استفاده کرد تا عملکرد ستون موثر باشد؛ همچنین برای جلوگیری از کانالیزه شدن جریان در جداره ستون، که تخلخل بالاتری نسبت به مرکز ستون دارد، نسبت اندازه آکنه به قطر ستون نباید از یک حد ماکزیمم بیشتر باشد. این نسبت برای آکنه های تصادفی در جدول (۱) آمده است:

جدول ۱- انتخاب اندازه آکنه [۱۲]

نوع آکنه	نسبت ماکزیمم اندازه آکنه به قطر برج
حلقه های راشیگ	۰/۱۲۵ و ۰/۰۵
زینی از نوع برل	۰/۱
زینی از نوع اینتالوکس	۰/۱۲۵ و ۰/۱



با توجه به نسبت  $\frac{1}{8}$  برای اندازه آکنه به قطر برج، که کاربرد بسیار معمولی برای اکثر آکنه ها دارد، و قطر ستون پر شده ضربه ای که ۳ اینچ می باشد، مشخصات آکنه مورد استفاده در جدول (۲) آورده شده است:

جدول ۲- مشخصات آکنه

جنس و نوع	تخلخل	قطر (inch)	ارتفاع (inch)
حلقه راشیک از جنس فولاد ضد زنگ	۰/۸	۰/۳۹۴	۰/۳۹۴

سیستم مورد استفاده در حالت بدون انتقال جرم، آب- تولوئن می باشد که یک سیستم با کشش بین فازی بالا است و توسط فدراسیون مهندسی شیمی اروپا تایید شده است [۱۳]. آب مقطر به عنوان فاز پیوسته و تولوئن به عنوان فاز پراکنده می باشد. خصوصیات فیزیکی سیستم مورد استفاده در جدول (۳) آمده است:

جدول ۳- خصوصیات فیزیکی سیستم مورد استفاده در دمای محیط [۱۳]

خاصیت	تولوئن	آب
دانسیته ( $\text{Kg/m}^3$ )	۸۶۴	۹۹۵
ویسکوزیته ( $\text{Kg/m.s}$ )	$0.586 \times 10^{-3}$	$1 \times 10^{-3}$
کشش بین فازی ( $\text{mN/m}$ )	۳۵/۴	

آزمایشات در شرایط عملیاتی مختلف (شدت ضربه، دبی فاز پیوسته و دبی فاز پراکنده) در حالت بدون انتقال جرم انجام می شود. قبل از انجام آزمایش ها می بایست دو فاز پیوسته و پراکنده از یکدیگر اشباع شوند تا از هرگونه حلالیت متقابل دو فاز در یکدیگر جلوگیری شود. در این پژوهش از روش نمونه گیری موضعی برای اندازه گیری موجودی فاز پراکنده در نقاط مختلف برج استفاده شده است. در این روش پس از رسیدن سیستم به حالت پایدار با استفاده از استوانه های مدرج، ۲۰ سی سی از محتویات برج را از طریق شیرهای نمونه گیری تخلیه کرده و پس از جدا شدن دو فاز از هم، از تقسیم حجم فاز پراکنده به کل حجم، موجودی فاز پراکنده در هر ناحیه از ستون و سپس انباشت میانگین را بدست می آوریم. در نهایت سرعت لغزشی و سرعت مشخصه به ترتیب از رابطه های (۳) و (۴) برای شرایط مختلف عملیاتی اعمال شده محاسبه می گردد.

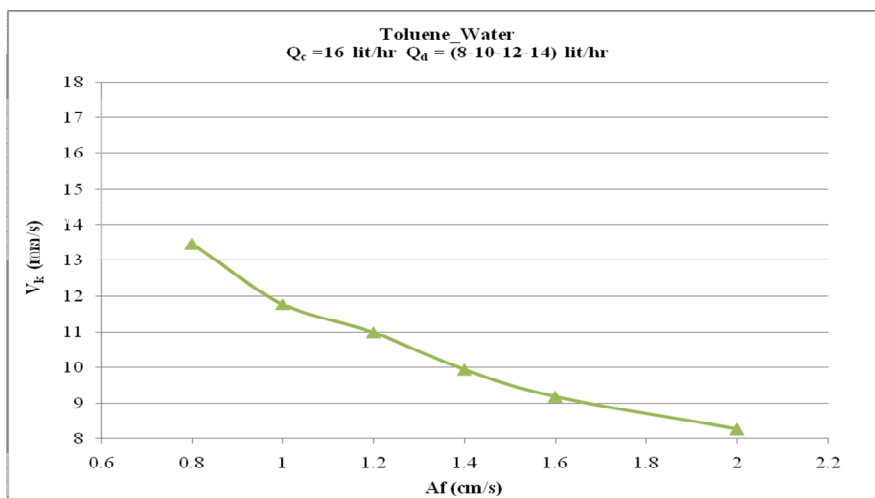
### ۳- نتایج و بحث

متغیرهای عملیاتی در این مقاله عبارتند از: شدت ضربه، دبی فاز پراکنده و دبی فاز پیوسته که در ذیل به تاثیر این پارامترها بر سرعت مشخصه و لغزشی پرداخته شده است.

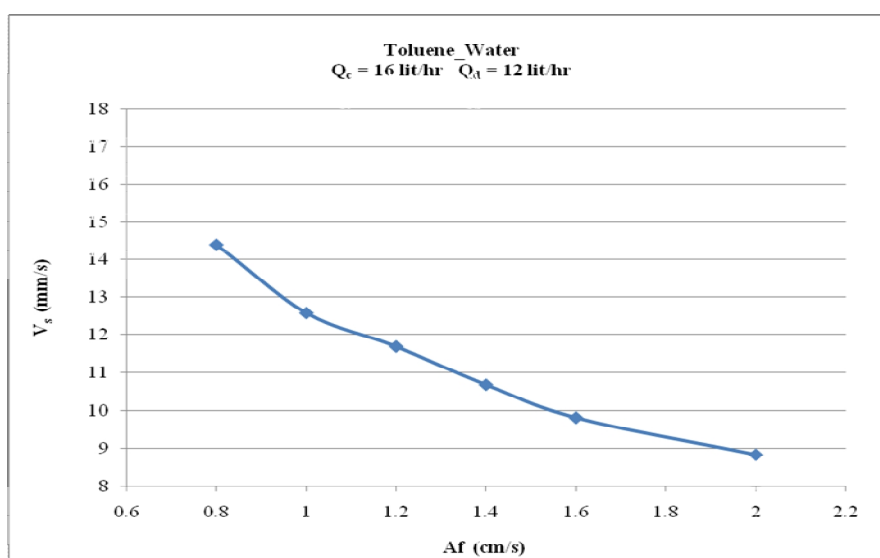


### 3-1- اثر شدت ضربه ( $Af$ )

همان طور که از شکل های (۲) و (۳) مشاهده می گردد، با افزایش شدت ضربه سرعت مشخصه قطرات فاز پراکنده و سرعت لغزشی کاهش می یابد. با افزایش شدت ضربه، قطر قطرات کوچکتر و یکنواخت تر شده و باعث کاهش سرعت حدی می گردد. کاهش سرعت حدی باعث افزایش زمان ماند قطرات می شود، این امر از یک جهت مجموع سرعت های فازی را کاهش می دهد که به معنای کاهش سرعت لغزشی است و از جهت دیگر افزایش زمان ماند موجب حرکت کندتر قطرات فاز پراکنده به سمت بالا شده که به معنای کاهش سرعت مشخصه است. این امر برای شرایط مختلف آزمایش ها صادق می باشد که نمونه ای از آن در شکل های (۲) و (۳) آمده است.



شکل ۲- تاثیر شدت ضربه بر سرعت مشخصه

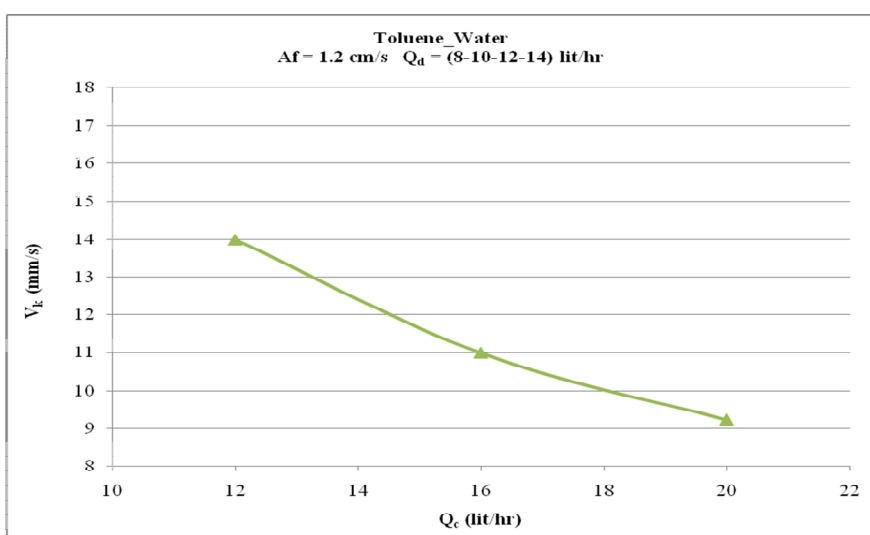


شکل ۳- تاثیر شدت ضربه بر سرعت لغزشی

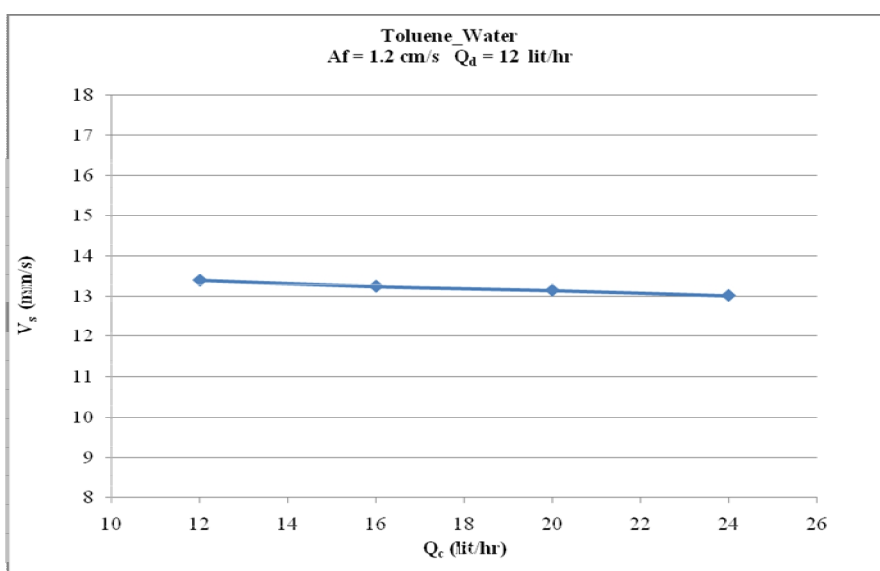


### ۳-۲- اثر دبی فاز پیوسته ( $Q_c$ )

با افزایش دبی فاز پیوسته، سرعت مشخصه و لغزشی کاهش می یابد. با افزایش دبی فاز پیوسته مقاومتی در برابر حرکت قطرات فاز پراکنده ایجاد می شود و سرعت حرکت قطرات کاهش می یابد، که این امر باعث افزایش زمان ماند قطرات و در نتیجه کاهش سرعت مشخصه می گردد. افزایش دبی فاز پیوسته، از یک جهت باعث افزایش سرعت فاز پیوسته شده ولی از جهت دیگر به دلیل کاهش زمان ماند قطرات باعث کاهش شدیدتر سرعت فاز پراکنده می گردد، که در مجموع باعث کاهش سرعت لغزشی می شود؛ البته همانطور که از شکل (۵) مشخص است، این کاهش بسیار اندک می باشد. این روند نیز برای شرایط مختلف آزمایش ها صادق می باشد که نمونه ای از آن در شکل های (۴) و (۵) آمده است.



شکل ۴- تاثیر دبی فاز پیوسته بر سرعت مشخصه



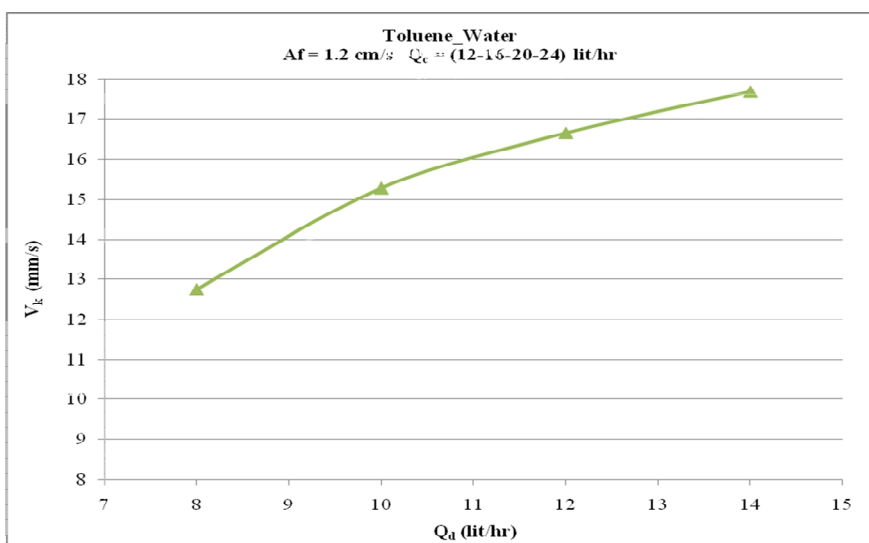
شکل ۵- تاثیر دبی فاز پیوسته بر سرعت لغزشی



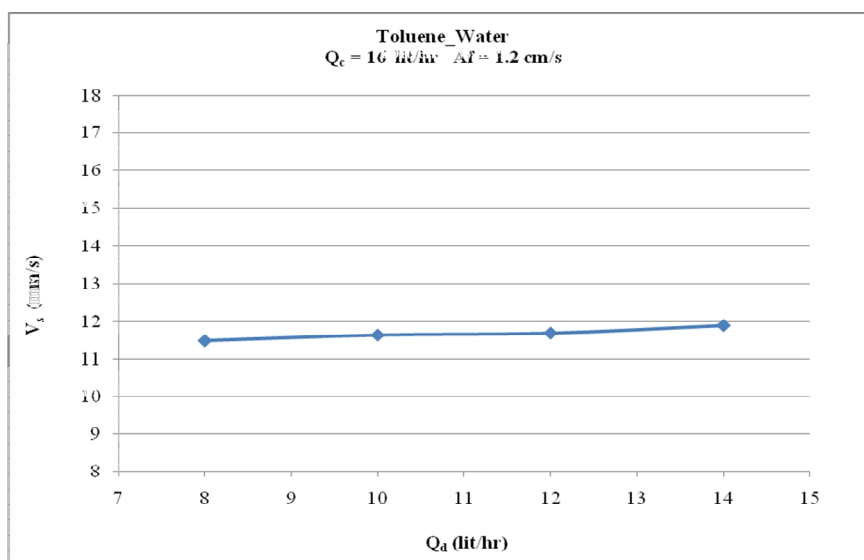


### ۳-۳- اثر دبی فاز پراکنده ( $Q_d$ )

با افزایش دبی فاز پراکنده، سرعت مشخصه قطرات فاز پراکنده و همچنین سرعت لغزشی افزایش می‌یابد. واضح است که با افزایش دبی فاز پراکنده قطرات با سرعت و انرژی ورودی بیشتری وارد ستون شده و با سرعت بیشتری در طول ستون حرکت می‌کنند، که این امر باعث افزایش سرعت مشخصه می‌گردد (شکل ۶). افزایش دبی فاز پراکنده از یک جهت باعث افزایش سرعت فاز پراکنده می‌گردد ولی از جهت دیگر مانع حرکت فاز پیوسته و در نتیجه کاهش سرعت فاز پیوسته می‌گردد؛ که در مجموع این امر باعث افزایش اندک سرعت لغزشی می‌شود (شکل ۷). این روند نیز برای شرایط مختلف آزمایش‌ها صادق می‌باشد که نمونه‌ای از آن در شکل‌های (۶) و (۷) نشان داده شده است.



شکل ۶- تاثیر دبی فاز پراکنده بر سرعت مشخصه



شکل ۷- تاثیر دبی فاز پراکنده بر سرعت لغزشی



#### ۴- نتیجه گیری

افزایش شدت ضربه و دبی فاز پیوسته باعث کاهش سرعت مشخصه قطرات و کاهش سرعت لغزشی می شود، همچنین افزایش دبی فاز پراکنده باعث افزایش سرعت مشخصه و لغزشی می گردد. البته تاثیر فاز پیوسته بر سرعت مشخصه و لغزشی کمتر از تاثیر فاز پراکنده می باشد. قابل توجه است که تغییرات شدت ضربه و دبی فازهای پراکنده و پیوسته تاثیر محسوسی بر سرعت مشخصه می گذارد ولی با وجود اینکه تغییرات شدت ضربه تاثیر ملموسی بر سرعت لغزشی دارد، تغییرات دبی فاز پیوسته و پراکنده تاثیر کمی بر سرعت لغزشی می گذارد.

#### مراجع

- [1] Torab-Mostaedi M., Safdari J., Moosavian M., Ghannadi Maragheh M., "Stage efficiency of Hanson mixer settler extraction column", Chem. Eng. Process, (2008), doi: 10. 1016/ j.cep. 2008. 03. 010.
- [2] Baird, Malcolm H.I., Hand book of Solvent Extraction, pp.343-353, 1991.
- [3] Bastani, D., PhD Thesis, University of Manchester Institute of Science and Technology, U.K., (1990).
- [4] Thornton J.D., "Spray Liquid-Liquid Extraction Columns: Prediction of Limiting Holdup and Flooding Rates", Chem. Eng. Sci. 5 (1956) 201.
- [5] Ladha. G.S. and Degalecsan T.E., "Transport Phenomena in Liquid- Liquid Extraction", Tata Mc Graw-Hill: New Delhi, 1976.
- [6] Katsuroko T., & Susmu N., "Behavior of Multistage Mixer Settler Extraction Columns", Vol.51, No.1, (1999).
- [7] Godfrey J.C., Slater M.J., "Slip Velocity Relationships for Liquid-Liquid Extraction Columns", Trans IChemE, Vol. 69, Part A (1991) 130.
- [8] Godfrey J.C., Slater M.J., "Liquid-Liquid Extraction Equipment", New York, John Wiley, (1994).
- [9] Hussain A.A., Liang T.B. and Slater M.J., Chem. Eng. Technol., 13, 411-421, (1988).
- [10] Potnis G.V., Bijawat H.C., Doraiswamy L.K., "Pulse Application-packed column", Ind. Eng. Che., Vol.51, No.5, pp.645-650, May 1959.
- [11] Ritcey G.M. and Ashbrook A.W., "Solvent Extraction". pp.43-49, 76-119, 1988.
- [12] Ludwig E.E., "Applied process Design for Chemical and Petrochemical Plants", Second Edition, Texas, 1983.
- [13] Misek T., Berger R., Schroter J., "Recommended systems for liquid extraction studies", European Federation of Chemical Engineering, Institution of Chemical Engineers, Rugby (1978).



## The effect of operating parameters on characteristic and slip velocity in a pulsed packed column

E. Allahyari<sup>a</sup>, H. Abolghasemi<sup>b</sup>, J. Safdari<sup>c</sup>, Sh. Shahbazi<sup>d</sup>

*a,b,d- School of Chemical Eng., College of Engineering, Tehran University, 16 Azar Str., Enghelab Str., Tehran, Iran, Postal code: 4563-11155*

*a,c,d- Nuclear Fuel Cycle Research School, Nuclear Science and Technology Research Institute, Tehran, Iran, Postal code: 11365-4563*

*Email: edris.allahyari@gmail.com*

### Abstract

As characteristic velocity and slip velocity are the important parameters in the design of liquid-liquid extraction columns, the effect of the operating parameters on characteristic and slip velocity in a pilot plant pulsed packed column, is main objective in paper. Refer to the interfacial tension influence on the drops diameters and its final effect on the velocity of dispersed phase drops during the column length, so the liquid-liquid system which has been used in the experiments is toluene-water that has got high interfacial tension with no mass transfer. In this work, at first the dispersed phase hold up was measured in difference operating conditions, and then the effect of the operating parameters on the characteristic velocity and slip velocity will be studied. These variable parameters include pulse intensity, flow rate of dispersed phase and flow rate of continuous phase.

**Keywords:** pulsed packed column, hold up, characteristic velocity, slip velocity, dispersed phase