نشریه علمی سازمان انرژی اتمی ایران
شماره ۲۰، صفحات ۳۶-۳۲، ۱۳۷۸

# اثر پارامترهای عملیاتی روی افت فشار و شرایط طغیان در ستون‌های استخراج کنندهٔ ضربه‌ای سینی‌دار

*محمدقنادی مراغه، سید جابرصفدری [۱]، مهدی پناهی (سازمان انرژی اتمی آزمایشگاههای تحقیقاتی جابربن‌حیان)، حسین بهمنیار، داریوش باستانی (دانشکده فنی دانشگاه تهران - بخش مهندسی شیمی، دانشگاه شریف - بخش مهندسی شیمی)*

## چکیده

یکی از پارامترهایی که در ستونهای ضربه‌ای از اهمیت ویژه برخوردار است افت فشار ناشی از حرکت همزمان و غیرهمسوی فازهای سبک و سنگین است. از این پارامتر می‌توان در ستونهای ضربه‌ای برای تخمین حداقل توان دستگاه ایجاد کننده ضربه، تعیین نقطهٔ طغیان یا انباشتگی در شرایط عملیاتی مختلف و تاثیر آن بر میزان تولید محصول در این ستون‌ها، و همچنین برای تخمین موجودی فاز پراکنده [۲] و در نتیجه، محاسبهٔ ارتفاع ستون در طراحی آن استفاده کرد. در این مقاله تاثیر هر یک از پارامترهای عملیاتی از جمله سرعتهای حجمی فاز سبک و فاز سنگین، دامنه و بسامد (فرکانس) ضربه روی افت فشار ستون و نقطهٔ طغیان، به طریق تجربی بررسی شده است. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که حتی افزایش یکی از پارامترهای عملیاتی باعث افزایش افت فشار می‌شود و زمان رسیدن به نقطهٔ طغیان را در شرایط عملیاتی مختلف کاهش می‌دهد. همچنین، تغییرات افت فشار در شرایط قبل از طغیان خیلی کندتر از تغییرات آن در شرایط بعد از طغیان است.

## ۱ـ مقدمه:

ستون ضربه‌ای، یک دستگاه تماس دهنده مایع - مایع است که در آن با اعمال ضربه به مایعها و ایجاد تغییر در ساز و کارِ و سطح انتقال جرم، سرعت انتقال جرم را افزایش می‌دهند. ستونهای ضربه‌ای به دو دسته تقسیم می‌شوند:

۱ـ ستونهای ضربه‌ای دارای سینی مشبّک [۳]

۲ـ ستونهای ضربه‌ای پر شده [۴]

ستونهای ضربه‌ای معمولاً برای استخراج اورانیوم، پلوتونیوم و توریم در صنعت هسته‌ای و کارخانه‌های بازفراوری فلز استفاده می‌شود. ستونهای سینی‌دار ضربه‌ای با وجود داشتن بازدهی بالا در مقایسه با آمیزنده‌های مرحله‌ای [۵] سطح کمتری اشغال می‌کنند و نیاز به حفاظ کمتری دارند؛ موجودی فاز پراکنده آنها نیز کمتر است، به همین جهت مقدار حلاّل مصرفی کمتر است.

ظرفیت و بازدهی ستونهای ضربه‌ای به متغیّرهای زیادی وابسته‌اند [۱]. متغیرهای عملیاتی تحت کنترل در ستون ضربه‌ای عبارتند از: بسامد ضربه، دامنه ضربه (حاصلضرب دامنه در بسامد)، نسبت جریان دو فاز، غلظت جزء حل شونده، و خواص فیزیکی مایعها. متغیرهای تثبیت شدهٔ ستون عبارتند از: شکل هندسی سینی‌های مشبّک (شکل و اندازه سوراخها، درصد مساحت آزاد و فاصله سینی‌ها)، ارتفاع بخش فعّال ستون (قسمتی از ستون که دارای سینی است)، قطر ستون و شکل موج ضربه‌ای. در ستونهای ضربه‌ای تماس دو فاز به صورت دیفرانسیلی است، بنابراین آنها جزو تماس دهنده‌های دیفرانسیلی به شمار می‌روند، و در آنها میزان خوردگی و خطرات ناشی از مواد رادیوآکتیو در مقایسه با تماس دهنده‌های مکانیکی کمتر است.

شکل ۱، طرح سادهٔ یک استخراج کننده سینی‌دار ضربه‌ای را نشان می‌دهد. استخراج کننده‌های مایع - مایع ضربه‌ای با سینی مشبّک به سبب بکارگیری انرژی مکانیکی، دارای درجه آزادی

---

۱- تهیه کننده مقاله

2- Hold - up
3- Pulsed sieve - plate columns
4- Pulsed packed columns
5- mixer settler

بیشتری در کنترل اندازهٔ قطره هستند و قابلیت انعطاف‌پذیری بیشتری در عملیات نسبت به ستونهای غیر ضربه‌ای دارند. ستون معمولاً از یک ناحیهٔ فعّال و دو ناحیهٔ ته‌نشین کننده در بالا و پایین ناحیهٔ فعّال تشکیل شده است؛ ناحیهٔ فعّال ستون مجهز به سینی‌های مشبّک بدون لوله‌های ریزش است که به طور افقی نصب شده‌اند. جریان نوسانی مایع داخل دستگاه به وسیلهٔ تولیدکننده ضربه، که در ته ستون نصب شده است ایجاد می‌شود. فاز سبک از پایین ناحیهٔ فعّال ستون به دستگاه استخراج تغذیه می‌شود و به وسیلهٔ یک توزیع‌کننده پراکنده می‌گردد. فاز پراکنده از میان ستون بالا می‌رود و در سطح مشترک دو فاز در ناحیهٔ ته‌نشین کنندهٔ بالای ستون جمع می‌شود و از آنجا ستون را ترک می‌کند. فاز سنگین به طور پیوسته در بالای قسمت فعّال ستون تغذیه می‌شود و در داخل ستون در سوی مخالف فاز پراکنده جریان می‌یابد. جریان خروجی فاز پیوسته به وسیلهٔ سطح تماس دو فاز در بالای ستون کنترل می‌شود.

یکی از عوامل که در ستون‌های استخراج ضربه‌ای میزان تولید محصول را محدود می‌کند نقطهٔ طغیان است. در برجهای جذب و دفع، متغیّرهای عملیاتی برای ایجاد شرایط طغیان، سرعتهای حجمی گاز و مایع‌اند ولی در استخراج‌کننده‌های ضربه‌ای متغیّرهای عملیاتی برای ایجاد شرایط طغیان علاوه بر سرعت حجمی فازهای سبک و سنگین، بسامد و دامنهٔ ضربه نیز می‌باشند. چون تعداد متغیّرهای عملیاتی در استخراج‌کننده‌های ضربه‌ای بیشتر از تعداد آنها در ستون‌های جذب و دفع است، کنترل شرایط طغیان در این‌گونه استخراج‌کننده‌ها آسان‌تر است.

## ۲ـ اندازه‌گیری موجودی فاز پراکنده از طریق افت فشار ستون[۲]

در استخراج‌کننده‌های ضربه‌ای یکی از راههای اندازه‌گیری موجودی فاز پراکنده استفاده از معادلهٔ زیر است:

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{h_1} - \frac{N\Delta P_N}{(\rho_d - \rho_c) g h_1} \qquad (۱)$$

که در آن $N\Delta P_N$ افت فشار ناشی از اصطکاک دیوارهٔ ستون و وجود N سینی مشبک در فاصلهٔ $h_1$ بین نقاط A,B (در شکل ۲) و $\Delta l$ افت فشار زمین ایستایی (ژئواستاتیکی) است و این معادله از ترکیب معادلات زیر بدست می‌آید:

$$P_A - P_B = \rho_c g h_1 + (\rho_d - \rho_c) g \Delta l \qquad (۲)$$

$$P_A - P_B = N\Delta P_N + \bar{\rho} g h_1 \qquad (۳)$$

$$\bar{\rho} = \varepsilon \rho_d + (1-\varepsilon)\rho_c \qquad (۴)$$

$\rho_c$ و $\rho_d$ به ترتیب چگالیهای فازهای پیوسته و پراکنده، $\bar{\rho}$ چگالی متوسّط دو فاز و $\varepsilon$ موجودی فاز پراکنده است.

چنانچه افت فشار $N\Delta P_N$ فقط ناشی از حرکت فاز پیوسته باشد در این حالت فاز پراکنده نداریم و خواهیم داشت:

$$\varepsilon = 0 \qquad (۵)$$

و

$$N\Delta P_N = (\rho_d - \rho_c)\, g \Delta l' \qquad (۶)$$

از ترکیب معادلات (۱) و (۶) داریم:

$$\varepsilon = \left[\frac{\Delta l - \Delta l'}{h_1}\right] \qquad (۷)$$

$\Delta l'$ افت فشار زمین ایستایی ناشی از فاز پیوسته است.

سیّالهای مورد استفاده در فشارسنج بکار رفته (شکل ۲)، آب و تولوئن می‌باشند؛ به جای تولوئن از هر سیّال غیر قابل امتزاج و سبکتر از آب نیز می‌توان استفاده کرد در این صورت شکل معادلات (۱) و (۷) تغییر خواهند کرد.

## ۳ـ روش کار

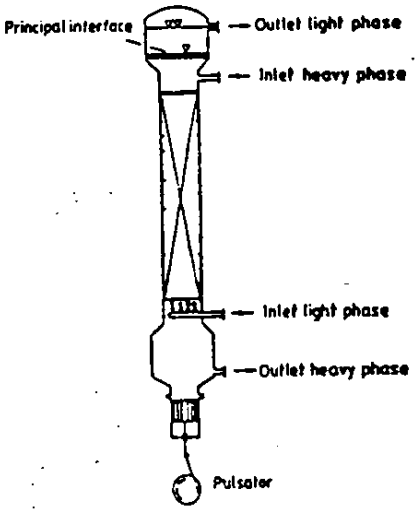
### ۳-۱ - مشخصات ستون و مواد مصرفی

سیستم مورد استفاده برای آزمایش آب / تولوئن طراحی شده است که سیستمی با کشش بین فازی بالاست. آزمایشها بدون انتقال جرم انجام شده‌اند و مشخصات ستون در جدول (۱) بیان شده است. طریقهٔ انجام آزمایشها به این صورت است که ابتدا دامنه و بسامد ضربه و دبی حجمی فاز پیوسته را از مقادیر دلخواهی در محدوده‌های مجاز آنها انتخاب کرده سپس دبی حجمی فاز پراکنده

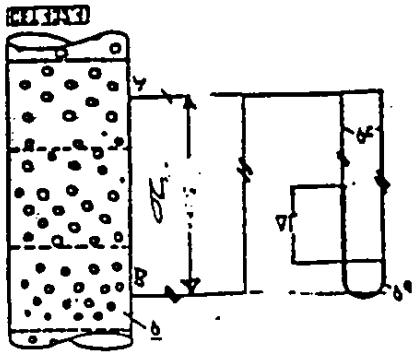
را بتدریج افزایش داده‌ایم و در هر مرحله، افت فشار زمین ایستایی (ژئواستاتیکی) را از روی فشارسنج یادداشت کرده و این عمل را تا رسیدن به نقطهٔ طغیان ادامه داده‌ایم.

**جدول ۱ ـ مشخصات ستون استخراج کنندهٔ ضربه‌ای**

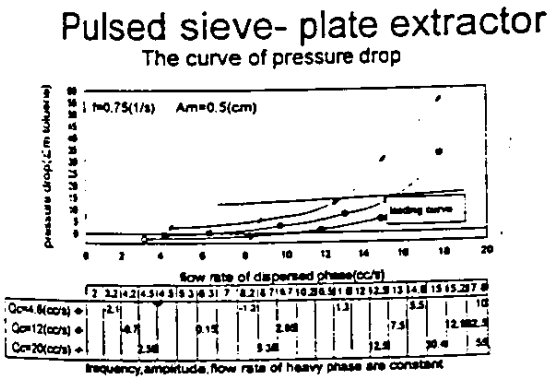
| | |
|---|---|
| طول ستون | ۱۵۰ سانتی متر |
| قطر ستون | ۵ سانتی متر |
| جنس ستون | شیشه |
| قطر سوراخها | ۲ میلی متر |
| فاصله سوراخها | ۵ میلی متر |
| فاصله سینی‌ها | ۵ سانتی‌متر |
| جنس لوله‌های نگهدارنده سینی | فولاد ۳۱۶ |
| جنس سینی‌ها | فولاد ۳۱۶ |
| قطر لوله‌های نگهدارنده | ۱ سانتی‌متر |




شکل ۱ ـ طرح سادهٔ استخراج کنندهٔ ضربه‌ای سینی‌دار



شکل ۲ ـ نحوه اتصال فشارسنج به ستون




شکل ۳ ـ نمودار تغییرات افت فشار زمین ایستایی با تغییر سرعت حجمی فاز پراکنده در بسامد $0/75\ S^{-1}$ و دامنهٔ 0/5cm

۳ـ۲ ـ *نتایج آزمایشها*

اگر نمودار تغییرات اختلاف فشار زمین‌ایستایی (متناظر با $\Delta L$ در شکل ۲) اندازه گیری شده را نسبت به تغییرات سرعت حجمی فاز پراکنده، در شرایطی که پارامترهای دیگر عملیاتی ثابت‌اند رسم کنیم، منحنی‌های نشان داده شده در شکلهای ۳ تا ۵ حاصل می‌شوند. (پارامترهای عملیاتی در ستونهای استخراج ضربه‌ای عبارتند از: سرعت حجمی فازهای سبک و سنگین، بسامد و دامنه ضربه). در شکلهای ۳ تا ۵ نحوهٔ تغییرات در همهٔ نمودارهای حاصل مشابه هم می‌باشند و به کمک آنها نتایج زیر را می‌توان استنتاج کرد:

۱ ـ با زیاد شدن سرعت حجمی فاز سبک، در حالی که پارامترهای عملیاتی دیگر ثابتند، اختلاف فشار زمین ایستایی افزایش می‌یابد.

۲ ـ با زیاد شدن سرعت حجمی فاز سنگین، در حالی پارامترهای عملیاتی دیگر ثابتند، اختلاف فشار زمین‌ایستایی افزایش می‌یابد.

۳ ـ با زیاد شدن شدت ضربه (حاصل ضرب بسامد در دامنه ضربه)، در حالی که پارامترهای عملیاتی دیگر ثابتند، اختلاف فشار زمین ایستایی افزایش می‌یابد.

۴ ـ در روی هر یک از منحنی‌ها نقطه‌ای وجود دارد که از آنجا به بعد شیب منحنی شدیداً افزایش می‌یابد، این نقطه بیانگر نقطهٔ انباشتگی ستون در شرایط داده شده است.

۳ـ با توجه به نتایج بدست آمده (منفی یا مثبت بودن اختلاف فشار زمین‌ایستایی) و معادله (۲)، اختلاف فشار بین دو نقطه در طول ستون گاهی از اختلاف فشار ایستایی بین آنها کمتر و گاهی بیشتر است. این کیفیت به هنگام طراحی، در انتخاب دستگاه ایجاد کنندهٔ ضربه به ما کمک زیادی می‌کند.

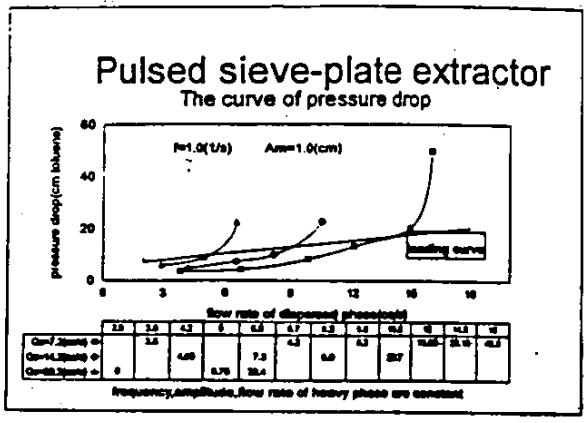
## قدردانی

در اینجا لازم است که از کلیهٔ پرسنل زحمتکش و فنی کارگاه‌های شیشه گری سازمان به ویژه آقای غلامرضا جعفرزاده (سرپرست کارگاههای شیشه گری) که کار ساخت ستون استخراج ضربه‌ای را به عهده داشته‌اند و همچنین آقای محمدحسن ملاّح (کارشناس ارشد شیمی کاربردی آزمایشگاههای تحقیقاتی جابربن حیان) به سبب همکاری در انجام آزمایشها تشکّر و قدردانی شود.

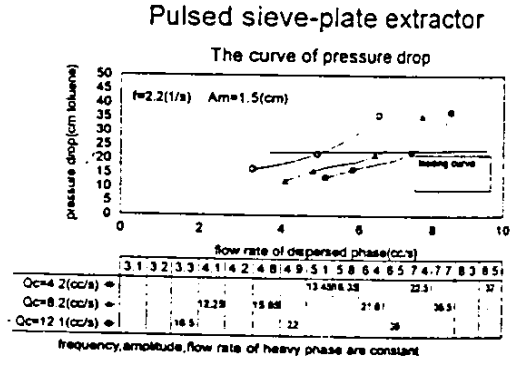
## *References*

1. G.C. Godfrey, and M.J. Slater, ; Liquid - Liquid Extraction, PP. 279- 303,(1994)

2. Wolfgang Pietzsch, Eckhart Blass: Chem. Eng. Tech.; 10, PP. 73-86,(1987)




▲ شکل ۴ ـ نمودار تغییرات افت فشار زمین ایستایی با تغییر سرعت حجمی فاز پراکنده در بسامد $1/0\ S^{-1}$ و دامنهٔ ۱ cm




▲ شکل ۵ ـ منحنی تغییرات افت فشار زمین ایستایی با تغییر سرعت حجمی فاز پراکنده در بسامد $2/2\ S^{-1}$ و دامنهٔ ۱/۵cm

## ۴ـ بحث و نتیجه گیری

۱ـ با آنکه پارامترهای عملیاتی در برجهای جذب و دفع غیر ضربه‌ای با پارامترهای عملیاتی در ستون‌های ضربه‌ای متفاوتند امّا نحوهٔ تغییرات افت فشار و رسیدن به شرایط طغیان، مشابه هم می‌باشند.

۲ـ یکی از راه‌های جلوگیری از رسیدن به نقطهٔ طغیان یا دور شدن از آن در ستون‌های ضربه‌ای، کاستن دست کم یکی از پارامترهای عملیاتی (مانند شدت ضربه، سرعت حجمی فاز پیوسته، سرعت حجمی فاز پراکنده) است.

# Effect of the operating parameters on pressure drop and flooding velocities in pulsed - perforated plate - columns

*S. J. Safdari, M. Panahi, M. Ghnnadi, Maragheh, Jaber Ibn Hayan, Research Labs., AEOI*

*H. Bahmanyar, facupty of Engineering, Tehran University*

*D. Bastani, Faculty of Chemical Engineering, Sharif University of Technology*

*Abstract*

one of the important parameters in design of the pulsed columns is the pressure drop of the column consisting heavy and light phases. The pressure drop can be used to estimate parameters such as, the minimum pulsated power, flooding velocities or maximum column capacities and the dispersed phase hold - up. In this work the offects of All operating parameters (Volumetric flow rates of heavy and light phases, frequency and amplitude of pulsation) on the pressure drop and loading point have studied experimentally.

The experimental results show that increase in one of the operating parameters will increase pressure drop and decrease flooding velocities.

The results also show that, same as packed columns, the slapes of the curve showing variation of pressure drop against dispersed phase flow rate is much lower than its values after flooding point.