

## بررسی اثر چرخش های درونی قطرات در طراحی ستون های استخراج کننده ضربه ای از نوع سینی دار

حسین بهمنیار

دانشیار گروه مهندسی شیمی - دانشکده فنی - دانشگاه تهران

داریوش باستانی

استادیار دانشکده مهندسی شیمی - دانشگاه صنعتی شریف

محمد قنادی مراغه

سازمان انرژی اتمی - معاونت تولید سوخت هسته ای

سید جابر صفدري

دانشجوی دوره دکترای گروه مهندسی شیمی - دانشکده فنی - دانشگاه تهران

محمد علی سائلی

سازمان انرژی اتمی - آزمایشگاههای تحقیقاتی جابربن حیان

(تاریخ دریافت ۷۸/۱۰/۸، تاریخ تصویب ۷۹/۹/۵)

### چکیده

یکی از پارامترهای اساسی و مهم در طراحی ستون های ضربه ای ضربه کلی انتقال جرم فاز پراکنده یا پیوسته است در این مقاله به صورت تجربی و با استفاده از معادلات ارائه شده تئوری برای ضربه کلی انتقال جرم فاز پراکنده از قبیل معادله Newman یا اصلاح شده آن با اعمال اثر چرخشهای درونی قطرات به صورت فاکتور افزایش دهنده ضربه نفوذ ( $\mathcal{R}$ ) جزء منتقل شونده (استفاده از  $\mathcal{R} D_d$  به جای  $D_d$ )، معادله Kronig and Brink و معادله Handlos and Baron، در شرایط عملیاتی مختلف به محاسبه ارتفاع ستون های ضربه ای پرداخته شده است. نتایج حاصل از محاسبات ارتفاع ستون تحت شرایط عملیاتی مختلف (فرکانس ضربه، دامنه ضربه، دبی حجمی فاز پراکنده و پیوسته) نشان می دهد که در طراحی ستون های ضربه ای استفاده از معادلات Newman، Kronig and Brink، و معادلات Temos، Steiner و Davies برای تعیین  $\mathcal{R}$  مناسب نمی باشند چون ارتفاع محاسبه شده توسط این معادلات علی رغم اینکه از مقاومت فاز پیوسته صرف نظر شده خیلی بیشتر از ارتفاع واقعی ستون است (کاهش مقاومت فازها در برابر انتقال جرم سبب کاهش ارتفاع محاسبه شده برای ستون می شود). استفاده از معادلات Lochiel and Calderbank، Johnson and Hamielec برای تعیین  $\mathcal{R}$  در طراحی مناسبتر هستند. همچنین نتایج حاصل از پیش بینی های ارتفاع ستون توسط معادله اصلاح شده Handlos and Baron نشان می دهد ارتفاع های محاسبه شده خیلی کمتر از ارتفاع های واقعی هستند و افزایش چرخش های درونی قطرات که نسبت مستقیم با قطر قطرات دارد سبب کاهش ارتفاع محاسبه شده ستون می شود.

**واژه های کلیدی:** ستون های استخراج کننده ضربه ای سینی دار، استخراج کننده مایع-مایع

### مقدمه

شیمیایی از جمله صنایع هسته ای است که از آن جهت جداسازی عناصر سنگین در چرخه سوخت یا چرخه

ستونهای ضربه ای (سینی دار مشبک ضربه ای) یکی از استخراج کننده های بسیار مهم در صنایع مختلف

۴- حفاظ گذاری اینگونه استخراج کننده ها نسبت به استخراج کننده های Mixer- Settler آسانتر است.  
۵- راه اندازی<sup>۳</sup> و از کار اندازی<sup>۴</sup> آن راحتتر از Mixer-Settler است.  
۶- استخراج کننده های ضربه ای قابلیت کنترل از راه دور را دارا میباشند.  
در طراحی ستون های استخراج کننده مایع-مایع با جریان های غیر همسو که دارای دو فاز پیوسته و پراکنده است یکی از پارامترهای لازم و اساسی، ضربه کلی انتقال جرم برای فاز پراکنده یا پیوسته است. در یک دسته بندی اجمالی معادلات ارائه شده برای ضربه کلی انتقال جرم فاز پراکنده را می توان به چهار دسته زیر تقسیم نمود:

- ۱- معادله Newman یا اصلاح شده آن.
- ۲- معادله Kronig and Brink یا اصلاح شده آن.
- ۳- معادله Handlos and Baron یا اصلاح شده آن.
- ۴- معادله اصلاح شده نیومن با ضربه نفوذ افزایش یافته ( استفاده از  $RD_{II}$  به جای  $D_{II}$  )  
در طراحی ( محاسبه ارتفاع ستون های ضربه ای سینی دار ) از چهار دسته معادله بالا استفاده شده است

### ضربه انتقال جرم برای فاز پراکنده

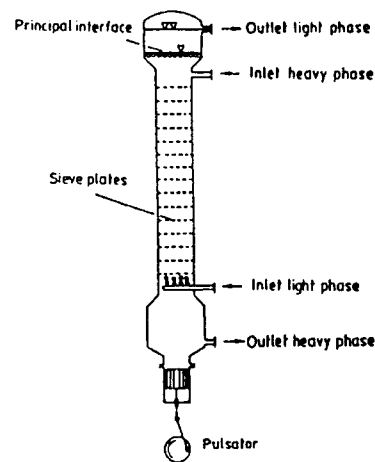
در استخراج کننده های مایع-مایع با جریانهای غیرهم سوکه یک فاز پیوسته و دیگری به صورت پراکنده است معمولاً برای پیش بینی ضربه انتقال جرم فاز پراکنده از معادلات ارائه شده توسط Newman and Kronig استفاده نمود. که به طور مختصر به شرح بعضی از آنها پرداخته شده است:

#### ۱- معادله نیومن (Newman)

این معادله معمولاً برای قطرات خیلی کوچک صادق است که میتوان آنها را بصورت کرات صلب فرض نمود. شکل کلی آن به صورت زیر است [2]:

$$K_{od} = \left( -\frac{d}{6t} \right) \ln \left( \frac{6}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} c_n \exp \left( \frac{-4\lambda_n^2 D_d t}{d^2} \right) \right) \quad (1)$$

بازآوری محصولات شکافت میتوان استفاده نمود. شمای یک ستون ضربه ای در شکل (۱) نشان داده شده است [1] و ستون از سه قسمت اصلی زیر تشکیل شده است  
۱- ناحیه ته نشین کننده بالایی ( کار این قسمت جدا کردن محصول سبک از محتویات داخل برج است)  
۲- ناحیه فعال ستون (ناحیه ای که دارای سینی است و قسمت اعظم انتقال جرم در این ناحیه صورت میگیرد و وجود سینی در این ناحیه باعث شکست قطرات میشود).  
۳- ناحیه ته نشین کننده پایینی ( کار این قسمت جدا کردن محصول سنگین از محتویات داخل برج است).



شکل ۱: شمای یک استخراج کننده ضربه ای سینی دار.

ستونهای ضربه ای سینی دار مشبک نسبت به استخراج کننده های به هم زننده - ته نشین کننده<sup>۱</sup> دارای مزایای زیر است:

- ۱- به علت پایین بودن موجودی فاز پراکنده<sup>۲</sup> نسبت به استخراج کننده های Mixer-Settler، در حین عملیات از حلال مصرفی کمتری استفاده میشود.
- ۲- در صورت داشتن محدودیت سطح مکانی استفاده از این گونه استخراج کننده ها نسبت به استخراج کننده های Mixer-Settler ارجحیت دارد چون سطح کمتری را اشغال می کنند.
- ۳- خطرات ناشی از تشعشع در اینگونه ستون ها نسبت به استخراج کننده های Mixer-Settler کمتر است.

$$k_d = -\left(\frac{d}{6t}\right) \text{Ln} \left[ \left(\frac{3}{8}\right) \sum_{n=1} c_n^2 \exp\left(\frac{64\lambda_n D_d t}{d^2}\right) \right] \quad (8)$$

مقادیر  $\lambda_n$  و  $c_n$  توسط Elzingo and Banchero در سال ۱۹۵۹ تعیین شده اند [5]. معادله فوق برای حالتی است که بتوان از مقاومت در برابر انتقال جرم فاز پیوسته صرف نظر نمود و آن از معادله زیر مشتق شده است:

$$E = 1 - \frac{3}{8} \sum_{n=1} c_n^2 \exp\left(\frac{64\lambda_n D_d t}{d^2}\right) \quad (9)$$

Calderbank & Korchinski پیشنهاد نمودند که به جای رابطه بالا می توان با تقریب نسبتاً خوبی رابطه زیر را نوشت [6]:

$$E = \left[ 1 - \exp\left(\frac{-9.0\pi^2 D_d t}{d^2}\right) \right]^{0.5} \quad (10)$$

با مقایسه این رابطه با رابطه (۴) می توان نتیجه گرفت که اگر در رابطه (۴) ضریب نفوذ را 2.25 برابر کنیم پیش بینی این معادله، همان پیش بینی معادله (۴) خواهد بود لذا در حالتی که  $k_c \rightarrow \infty$  برای محاسبه ارتفاع برج می توان از روابط (۶) و (۷) استفاده نمود با این تفاوت که باید به جای  $D_d$ ،  $2.25D_d$  قرار داد.

### ۳- معادله هندلس و بارون (Handlos and Baron)

این معادله معمولاً برای قطراتی که  $Re_d > 20$  است صادق است و شکل آن به صورت زیر است [7]:

$$k_d = -\left(\frac{d}{6t}\right) \text{Ln} \left[ 2 \sum_{n=1} A_n \exp\left(\frac{-\lambda_n D_d t Pe'}{128d^2}\right) \right] \quad (11)$$

و برای حالتی که بتوان از مقاومت در برابر انتقال جرم در فاز پیوسته صرف نظر نمود صادق است و آن از رابطه زیر مشتق شده است:

$$E = 1 - 2 \sum_{n=1} A_n^2 \exp\left(\frac{-\lambda_n D_d t Pe'}{128d^2}\right) \quad (12)$$

که در این رابطه  $\lambda_n$ ،  $c_n$  تابعی از  $\frac{k_c d}{D_d}$  هستند و در حالتی که بتوان از مقاومت در برابر انتقال جرم در فاز پیوسته صرف نظر نمود رابطه به صورت زیر ساده می شود:

$$k_d = -\left(\frac{d}{6t}\right) \text{Ln} \left( \frac{6}{\pi^2} \sum_{n=1} \frac{1}{n^2} \exp\left(\frac{-4n^2 \pi^2 D_d t}{d^2}\right) \right) \quad (2)$$

این رابطه از رابطه زیر مشتق شده است:

$$\frac{c_0 - c}{c_0 - c^*} = 1 - \frac{6}{\pi^2} \left( \sum_{n=1} \frac{1}{n^2} \exp\left(\frac{-4n^2 \pi^2 D_d t}{d^2}\right) \right) \quad (3)$$

Vermeulen در سال ۱۹۵۳ پیشنهاد نمود که با یک تقریب نسبتاً خوب رابطه (۳) را می توان به صورت زیر نوشت [3]:

$$E = \left( 1 - \exp\left(\frac{-4\pi^2 D_d t}{d^2}\right) \right)^{0.5} \quad (4)$$

$$E = \frac{c_0 - c}{c_0 - c^*} \quad (5)$$

با حل معادله (۴) بر حسب  $t$  نتیجه می شود:

$$t = \frac{-d^2}{4\pi^2 D_d} \text{Ln} (1 - E^2) \quad (6)$$

$$t = \frac{LA \varepsilon}{Q_d} \quad (7)$$

از این رابطه برای محاسبه ارتفاع برج (زمانی که  $k_c \rightarrow \infty$ ) می توان استفاده نمود.

### ۲- معادله کرنینگ و برینک (Kronig and Brink)

این معادله برای قطراتی که  $Re_d < 20$  است صادق است و شکل آن به صورت زیر است [4]:

(۲۰)

$$Pe' = \frac{V_t d}{D_d} \left( \frac{\mu_c}{\mu_c + \mu_d} \right)$$

(۱۳)

4-Temos et al (1993) [12]:

$$\mathfrak{R} = 1 + 0.44 D_E / D_d$$

$$D_E = 3.29 \cdot 10^{-4} (\rho_d d U_i / \mu_d)^*$$

$$\left[ 1 - \exp\left(-3.29 \cdot 10^{-4} \rho_d d U_i / \mu_d\right) \right] \left( \frac{\mu_d}{\rho_d} \right)$$

(۲۱)

$$U_i = \left\{ 1 - \left[ \frac{2 + 3\kappa}{1 + (\mu_d \rho_d / \mu_c \rho_c)^{0.5}} \right] \frac{1.45}{Re^{0.5}} \right\} U_T$$

if  $Re \gg 1$ 

(۲۲)

5-Lochiel and Calderbank (1964) [13]:

$$\mathfrak{R} = 1 + \left[ \frac{dU_t}{2048(1 + \kappa)D_d} \right] \left\{ 1 - \left[ \frac{2 + 3\kappa}{1 + (\mu_d \rho_d / \mu_c \rho_c)^{0.5}} \right] \frac{1.45}{Re^{0.5}} \right\}$$

(۲۳)

6-Davies(1966) [14]:

$$\mathfrak{R} = \frac{D_{OE}}{D_d} = f_v + (1 - f_v) \left[ \frac{k_H d U_t}{(2048)(1 + \kappa)D_d} \right]$$

Where  $k_H = 0 - 1$ 

(۲۴)

$$D_E = \frac{dU_t}{2048(1 + \kappa)}$$

(۲۵)

$$f_v = 1 - \exp\left[-(0.098 Eo/k)^{-2.21}\right], 6k = Eo_c$$

(۲۶)

$$Eo = \frac{gd^2 \Delta \rho}{\gamma}$$

(۲۷)

### روش کار، مشخصات ستون و مواد مصرفی

مواد مورد استفاده برای آزمایش سیستم آب/استون/تولون است (آب فاز پیوسته، استون جزء منتقل شونده و تولون فاز پراکنده) که یک سیستم با کشش بین فازهای بالاست و جهت انتقال جرم از فاز پراکنده به پیوسته است و سیستم مربوطه توسط فدراسیون بین المللی استخراج

Olander پیشنهاد نمود که با یک تقریب نسبتاً خوب می

توان رابطه (۱۵) را به صورت زیر نوشت [8]:

$$E = 1 - 0.64 \exp\left(\frac{-2.80 D_d t Pe'}{32 d^2}\right)$$

(۱۴)

و برای  $k_d$  رابطه زیر را پیشنهاد نمود:

$$k_d = 0.00375 V_t \left( \frac{\mu_c}{\mu_c + \mu_d} \right) + \frac{0.075 d}{t}$$

(۱۵)

با گرفتن لگاریتم از طرفین رابطه (۱۴) و حل رابطه بر

حسب  $t$  نتیجه میشود:

$$t = \frac{32 d^2 (\ln(1 - E) + 0.446)}{-(2.80) D_d Pe'}$$

(۱۶)

$$t = \frac{LA \varepsilon}{Q_d}$$

(۱۷)

### ۴- معادله نیومن با ضریب نفوذ افزایش یافته

در اینجا برای تعیین ضریب انتقال جرم فاز پراکنده از معادله نیومن استفاده می شود و به جای ضریب نفوذ جزء منتقل شونده  $D_d$  در فاز پراکنده از ضریب نفوذ افزایش یافته  $(\mathfrak{R} D_d)$  استفاده می شود. و محققین برای روابط مختلفی پیشنهاد نموده اند که از جمله آنها می توان به موارد زیر اشاره نمود:

1-Johnson and Hamielec(1960) [9]:

$$\mathfrak{R} = \frac{dU_t}{2048(1 + \kappa)D_d}$$

(۱۸)

2-Steiner(1986) [10]:

$$\mathfrak{R} = 1 + 0.177 Re^{0.43} Sc^{0.23} [1/(1 + \kappa)]^{0.89}$$

if  $\mathfrak{R} < 10$ 

(۱۹)

3-Boyodzhiev et al (1969) [11]:

$$\mathfrak{R} = 0.003(\rho_c d U_T / \mu_c)^2 [1/(1 + \kappa)]^2$$

برداری از چهار نقطه مختلف برج و استفاده از معادله زیر تعیین می شود.

$$d_{32} = \frac{\sum_1^N n_i d_i^3}{\sum_1^N n_i d_i^2} \quad (28)$$

در هر آزمایش به کمک مقادیر اندازه گیری شده (قطر متوسط قطرات ، متوسط موجودی فاز پراکنده و غظت استون در فاز های پراکنده و پیوسته) و استفاده از معادلات تئوری مختلف برای ضریب انتقال جرم فاز پراکنده با صرف نظر از مقاومت فاز پیوسته به سبب کوچک بودن موجودی فاز پراکنده، به محاسبه ارتفاع ستون ضربه ای پرداخته شده است.

مایع- مایع تأیید شده است [۱۵]. غلظت استون در خوراک حدود سه درصد و مشخصات ستون در جدول (۱) بیان شده است. با استفاده از ستون و مواد مصرفی به کار گرفته شده آزمایشاتی در شرایط عملیاتی مختلف انجام شده (شرایط عملیاتی تعدادی از آزمایشات در جدول (۲) نشان داده شده است) و در هر آزمایش موارد ذیل اندازه گیری شده است:

۱- غلظت استون در جریان های ورودی و خروجی به ستون برای فاز های پیوسته و پراکنده (با استفاده از دستگاه GC).

۲- متوسط موجودی فاز پراکنده در طول ستون.

۳- قطر متوسط قطرات ( $d_{32}$ ) که در هر آزمایش با عکس

جدول ۱: مشخصات ستون استخراج کننده ضربه ای.

طول ستون	۱۷۵ سانتیمتر
قطر ستون	۵ سانتیمتر
جنس ستون	شیشه
قطر سوراخها	۲ میلی متر
فاصله سوراخها	۴ میلی متر
فاصله سینی ها	۵ سانتیمتر
جنس لوله های نگهدارنده سینی	استیل ۳۱۶
جنس سینی ها	استیل ۳۱۶
قطر لوله های نگهدارنده	۱ سانتیمتر

جدول ۲: شرایط عملیاتی آزمایشات (جهت انتقال جرم از فاز پراکنده به پیوسته است).

RUN	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷
F(۱/s)	۱/۵	۱/۶	۲/۶	۱/۵	۱/۵	۱/۶	۱/۶
Am(cm)	۱/۰	۱/۵	۱/۵	۱/۰	۱/۰	۱/۵	۱/۵
Q <sub>c</sub> (cc/s)	۳/۱	۳/۱۴	۳/۰۱	۶/۵۵	۱۰/۴۳	۳/۱۴	۳/۱۷
Q <sub>d</sub> (cc/s)	۲/۶۵	۳/۰۷	۲/۸۹	۲/۷۹	۲/۹۶	۳/۶۱	۰/۹۵
100X <sub>c,out</sub>	۲/۰۵	۲/۲۵	۲/۴۹	۱/۱۱	۰/۷۶	۲/۹۶	۰/۸۹۸
100X <sub>c,in</sub>	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
100X <sub>d,out</sub>	۰/۳۲	۰/۴۳۵	۰/۲۱۹	۰/۰۵۵	۰/۰۳۶	۰/۴۹۵	۰/۰۱۸
100X <sub>d,in</sub>	۳/۰۹	۳/۰۹	۳/۲	۳/۰۷	۳/۱۳	۳/۴۷	۳/۴۴
100ε(Hold-up)	۱/۰۴	۱/۱۷	۱/۳۴	۱/۰۹	۱/۱۲	۱/۶۸	۰/۵۶
D <sub>32</sub> (cm)	۰/۳۹۸	۰/۳۰۷	۰/۲۶۴	۰/۲۸	۰/۲۸۲	۰/۲۸۳	۰/۲۶۵

## نتایج

استفاده از سرعت حدی یا سرعت نسبی) با در نظر گرفتن  $R D_{il}$  به جای  $D_{il}$  در صورت استفاده از  $R$  پیشنهادی توسط Lochiel and Calderbank، و Johnson and Hamielec ( اشکال ۴ و ۵) در تمامی موارد (جزء یک مورد) کمتر از ارتفاع واقعی است و متوسط خطای مطلق آنها به ترتیب حدود ۳۴/۴ و ۶۴ درصد می باشند.

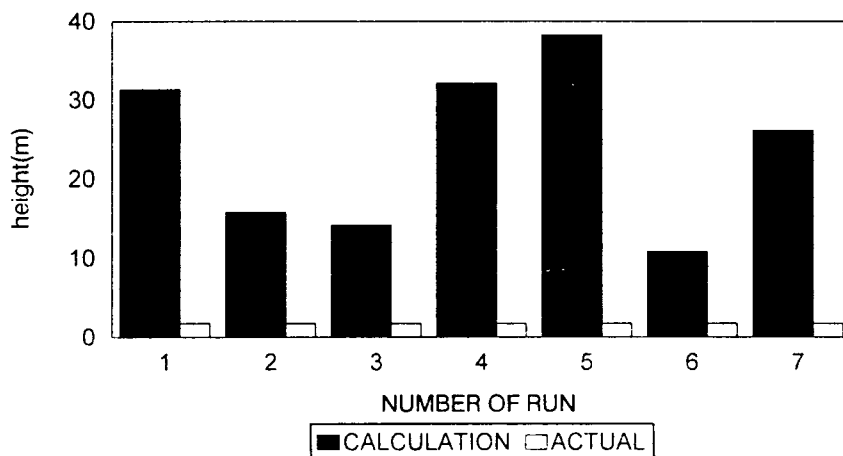
۳ - ارتفاع محاسبه شده برای ستون های ضربه ای با استفاده از معادله اصلاح شده نیومن (در صورت استفاده از سرعت حدی یا سرعت نسبی) با در نظر گرفتن  $R D_{il}$  به جای  $D_{il}$  در صورت استفاده از  $R$  پیشنهادی توسط Davies، Temos و Steiner (اشکال ۶، ۷، و ۸) خیلی بیشتر از ارتفاع واقعی آنها است.

۴ - ارتفاع محاسبه شده برای ستون های ضربه ای با استفاده از معادله اصلاح شده هندلس و بارون (در صورت استفاده از سرعت حدی یا سرعت نسبی) در تمامی حالت ها خیلی کمتر از ارتفاع واقعی آنها است (شکل ۹) و انحراف آنها از ارتفاع واقعی خیلی زیاد می باشد.

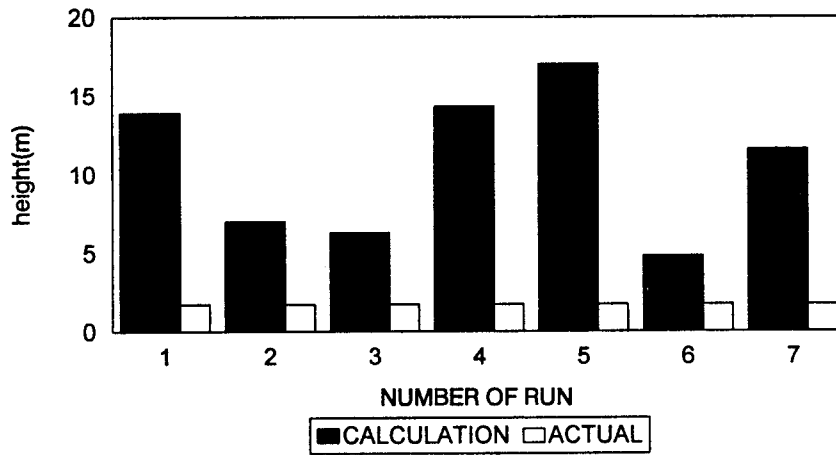
در این حالت برای شرایط عملیاتی مختلف با استفاده از چند روش مختلف (به کارگیری معادله نیومن، معادله کرنیک و برینک، معادله هندلس و بارون، و معادله اصلاح شده نیومن با در نظر گرفتن فاکتور افزایشی ضریب نفوذ ( $R$ ) پیشنهادی توسط Steiner، Davies، Temos، و Lochiel and Calderbank، و Johnson and Hamielec محاسبه ارتفاع ستون ضربه ای پرداخته شده است. نتایج حاصل از این کار در اشکال (۲)، (۳)، (۴)، (۵)، (۶)، (۷)، (۸)، (۹) نشان داده شده است و با بررسی و مشاهده تک اشکال حاصله و مقایسه آنها با هم نتایج ذیل را می توان استنتاج نمود:

۱ - ارتفاع محاسبه شده برای ستون های ضربه ای با استفاده از معادله نیومن و معادله کرنیک و برینک ( اشکال ۲، ۳) خیلی بیشتر از ارتفاع واقعی آنها است به طوری که ارتفاع محاسبه شده با استفاده از معادله نیومن بیشتر از ارتفاع محاسبه شده با استفاده از معادله کرنیک و برینک است.

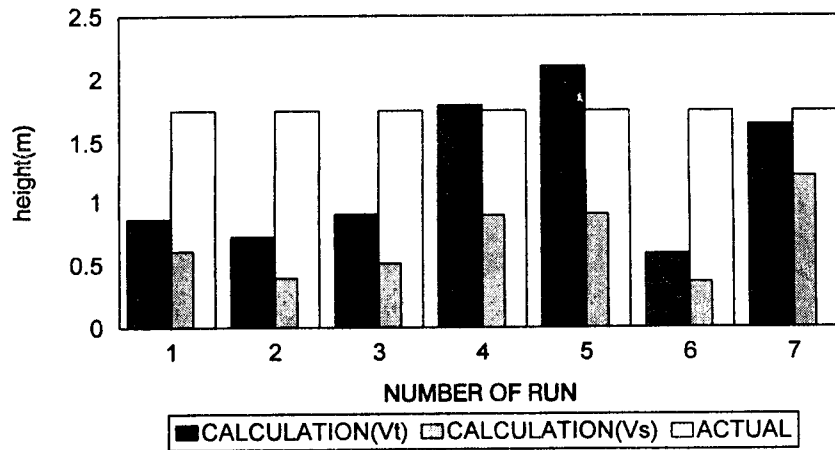
۲ - ارتفاع محاسبه شده برای ستون های ضربه ای با استفاده از معادله اصلاح شده نیومن (در صورت



شکل ۲: ارتفاع محاسبه شده با استفاده از معادله نیومن .

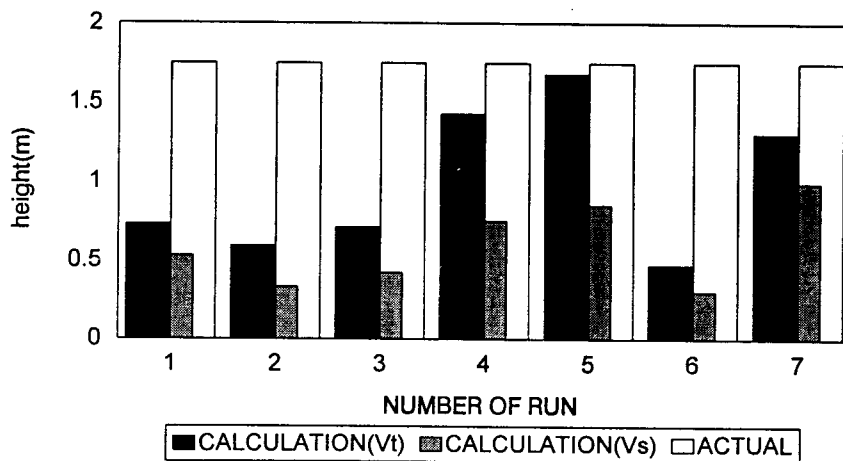


شکل ۳: ارتفاع محاسبه شده با استفاده از معادله کرنیگ و برینگ.



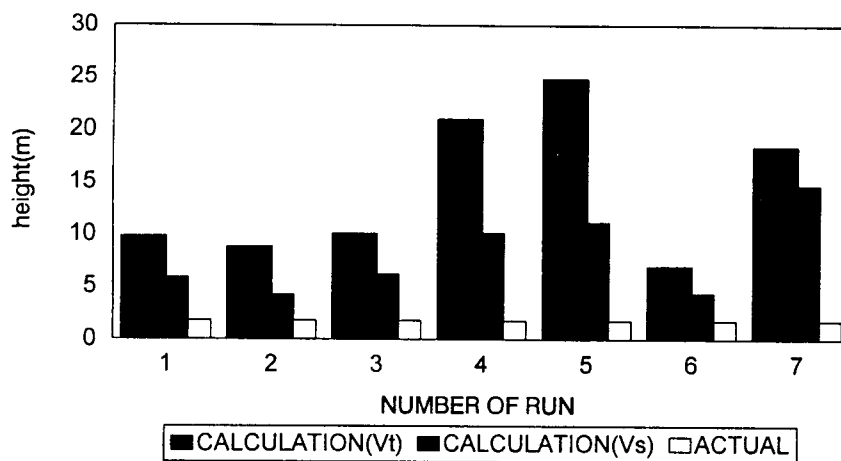
toluene/acetone/water

شکل ۴: ارتفاع محاسبه شده با استفاده از معادله لوچینل و کالدربانک.



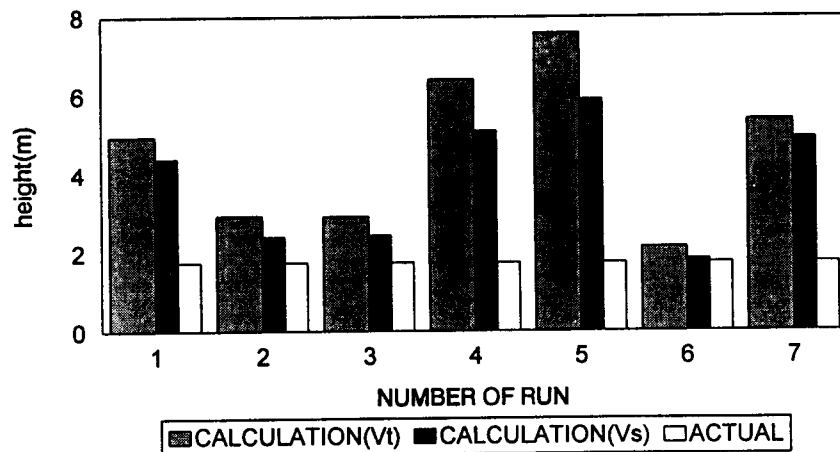
toluene/acetone/water

شکل ۵: ارتفاع محاسبه شده با استفاده از معادله جوهنسون و هامینلک.

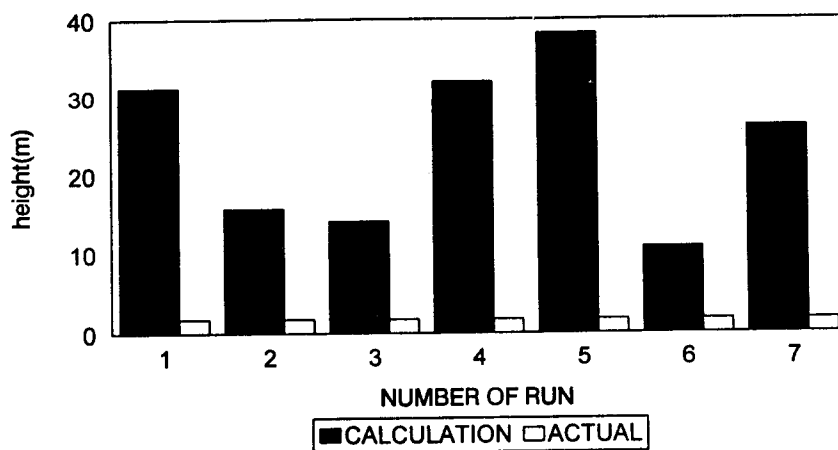


شکل ۶: ارتفاع محاسبه شده با استفاده از معادله تموس.

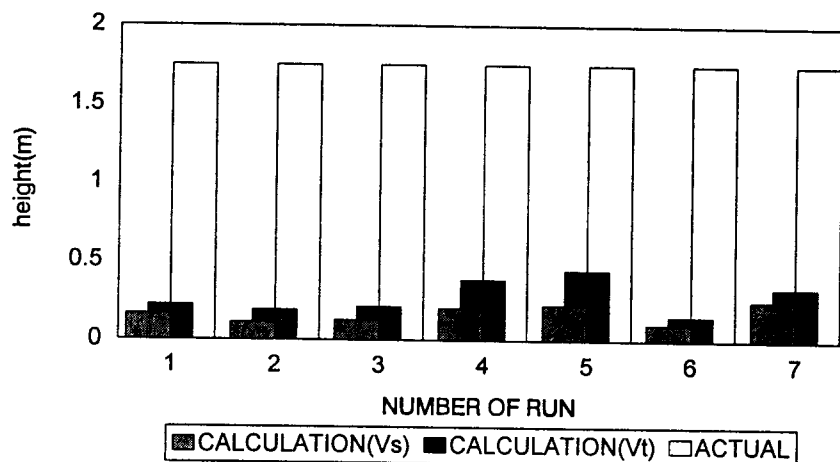




شکل ۷: ارتفاع محاسبه شده با استفاده از معادله استیئر.



شکل ۸: ارتفاع محاسبه شده با استفاده از معادله دوپس.



شکل ۹: ارتفاع محاسبه شده با استفاده از معادله هندلس و بارون.

## بحث و نتیجه گیری

۱ - با وجود اینکه از مقاومت در برابر انتقال جرم فاز پیوسته به سبب کوچک بودن موجودی فاز پراکنده صرف نظر شده ارتفاع های محاسبه شده با استفاده از معادله نیومن، معادله کرنیک و برینک، و معادله اصلاح شده نیومن (با در نظر گرفتن  $RD_d$  به جای  $D_d$ ) در صورت استفاده از  $R$  پیشنهادی توسط Davies, Temos و Steiner خیلی بیشتر از ارتفاع واقعی آنها است دلیل این افزایش ناشی از کم بودن بیش از حد مقدار  $R$  پیش بینی شده (کم گرفتن اثر چرخشهای درونی قطرات) توسط نیومن، کرونیگ و برینک، تموس، دوپس و استینر است. (نیومن از چرخشهای درونی قطرات صرف نظر کرده، کرونیگ و برینک چرخش های درونی قطرات را لمینار فرض نموده و مقادیر  $R$  پیش بینی شده توسط معادلات تموس، دوپس و استینر کم است). لذا این معادلات در طراحی ستون های ضربه ای سینی دار برای تعیین ارتفاع ستون پیشنهاد نمی شوند.

۲ - ارتفاع های محاسبه شده با استفاده از معادله اصلاح شده نیومن (با در نظر گرفتن  $RD_d$  به جای  $D_d$ ) در صورت استفاده از  $R$  پیشنهادی توسط Johnson and Hamielec و Lochiel and Calderbank

تقریباً به ارتفاع های واقعی نزدیک میباشند لذا در طراحی ستون ضربه ای به عنوان معادلات تقریباً خوبی توصیه میشوند و در صورت استفاده می بایست برای آنها ضریب تصحیحی در نظر گرفت.

۳ - ارتفاع های محاسبه شده با استفاده از معادله هندلس و بارون برای ستون های ضربه ای خیلی کوچکتر از ارتفاع واقعی آنها است و تفاوت مقادیر محاسبه شده از مقدار واقعی آنها زیاد می باشد. چون هندلس و بارون چرخش های درونی قطرات را توربولنت در نظر گرفته اند.

۴ - استفاده از سرعت نسبی دو فاز ( $V_p$ ) به جای سرعت حدی قطرات در تمامی معادلات ضریب انتقال جرم، سبب کاهش ارتفاع محاسبه شده میشود و بهتر است که به هنگام استفاده از معادله اصلاح شده نیومن (با در نظر گرفتن  $RD_d$  به جای  $D_d$ ) با استفاده از  $R$  پیشنهادی توسط Johnson and Lochiel and Calderbank و Hamielec در طراحی از سرعت حدی قطرات استفاده شود دلیل این کاهش به سبب کمتر بودن سرعت حدی در تمامی آزمایشات از سرعت نسبی دو فاز است.

۵ - ارتفاع های محاسبه شده با استفاده از معادله نیومن یا کرنیک و برینک در تمامی حالات بیشتر از ارتفاع های واقعی اند و با استفاده از معادله هندلس و بارون آنها کمتر

از مقادیر واقعی هستند. ( در معادله نیومن از چرخش های درونی قطرات صرف نظر شده و در معادله کرنیگ و برینک، و هندلس و بارون به ترتیب چرخش های درونی قطرات به صورت لمینار و توربولنت در نظر گرفته میشوند) لذا ارتفاعهای واقعی ستون دارای مقادیری مابین این دو میباشند و به نظر می رسد که بتوان معادله زیر برای محاسبه ارتفاع ستون های ضربه ای پیشنهاد نمود:

$$h = a(h_1)^b + c(h_2)^d \quad (29)$$

که  $a$ ،  $b$ ،  $c$  و  $d$  ثابت های معادله (۲۹) هستند و از طریق فیت کردن ارتفاع های واقعی با ارتفاع های محاسبه شده با استفاده از معادله هندلس و بارون ( $h_1$ ) و معادله نیومن ( $h_2$ ) بدست می آیند.

۶- هدف از انجام این تحقیق بررسی تجربی صحت کاربرد مدل های ریاضی ضربه انتقال جرم بر مبنای فاز پراکنده، در محاسبه و پیش بینی ارتفاع ستون های ضربه ای است. مدل های ریاضی پیشنهاد شده برای ضربه انتقال جرم بر مبنای فاز پراکنده، مختص قطرات منفرد است در حالیکه در ستون های ضربه ای به جای قطرات منفرد دسته های قطرات با سایز های مختلف وجود دارد که مسلماً کنش و اندرکنش بین قطرات بر سرعت های آنها و بر میزان انتقال جرم تاثیر دارد.

**علائم**

$A$  : مساحت سطح مقطع برج ( $m^2$ )  
 $Am$  : دامنه ضربه ( $cm$ )  
 $A_n$  : ثابت های ویژه سری تیلور در معادلات (۱۱) و (۱۲)  
 $c$  : غلظت استون در فاز پراکنده ( $gr/cm^3$ )  
 $c_n$  : غلظت اولیه استون در فاز پراکنده ( $gr/cm^3$ )  
 $c^*$  : غلظت تعادلی استون در فاز پراکنده، متناظر با غلظت استون در فاز پیوسته ( $gr/cm^3$ )  
 $c_n$  : ثابت های ویژه سری تیلور در معادلات (۱)، (۸) و (۹).  
 $d$  : قطر قطره ( $m$ )  
 $d_i$  : قطر قطره های دسته ام ( $m$ )  
 $d_{32}$  : قطر متوسط قطرات ( $m$ )  
 $D_d$  : ضریب نفوذ جزء منتقل شونده در فاز پراکنده ( $m^2/s$ )  
 $E$  : پشامتر تعریف شده بصورت:  
 $E = (c_o - c)/(c_o - c^*)$   
 $EO$  : عدد بدون بعد اوتوس  
 $EO_c$  : عدد بدون بعد اوتوس در حالتی که قطر قطره دارای مقدار بحرانی است  
 $f$  : فرکانس ضربه ( $1/s$ )  
 $k$  : عدد بدون بعد بکار رفته در معادله (۲۶) تعریف شده بصورت:  
 $k = EO_c / 6$   
 $k_d$  : ضریب انتقال جرم بر مبنای فاز پراکنده ( $m/s$ )  
 $k_c$  : ضریب انتقال جرم بر مبنای فاز پیوسته ( $m/s$ )  
 $K_{od}$  : ضریب کلی انتقال جرم بر مبنای فاز پراکنده ( $m/s$ )  
 $k_H$  : ثابت تجربی معادله (۲۴) که مقدار آن بین (۰.۰-۱.۰) است  
 $L$  : ارتفاع برج ( $m$ )  
 $n_f$  : تعداد قطرات دسته ام  
 $Pe'$  : عدد بدون بعد پکلت تعریف شده بصورت:  
 $Pe' = (V_f d / D_d)(1/(1 + \kappa))$   
 $Q_d$  : دبی حجمی فاز پراکنده ( $cc/s$ )  
 $Q_c$  : دبی حجمی فاز پیوسته ( $cc/s$ )  
 $t$  : زمان اقامت فاز پراکنده در ستون (sec)  
 $V_s$  : سزعت نسبی فازها ( $m/s$ ) تعریف شده بصورت:  
 $V_s = Q_d / (A\varepsilon) + Q_c / (A(1 - \varepsilon))$   
 $V_f$  : سرعت حدی قطرات ( $m/s$ )  
 $X_d$  : غلظت استون در فاز پراکنده ( $gr\ acetone / gr\ toluene$ )  
 $X_c$  : غلظت استون در فاز پیوسته ( $gr\ acetone / gr\ water$ )  
 $\mathcal{R}$  : فاکتور افزایش دهنده ضریب نفوذ جزء منتقل شونده ناشی از چرخش های درونی  
 $\varepsilon$  : موجودی فاز پراکنده (Hold-up)  
 $k$  : نسبت ویسکوزیته فاز پراکنده به پیوسته  
 $\mu_c$  : ویسکوزیته فاز پیوسته ( $kg/s.m$ )

رضوانیان زاده کارشناس ارشد شیمی، مهدی پناهی کارشناس مهندسی شیمی، نیما ابطحی دانشجوی رشته مهندسی شیمی و حسن زهره تکنسین آزمایشگاه و واحد عکاسی سازمان (آقایان فرهی، فرخی و محمودپور) که در انجام آزمایشات نهایت همکاری را داشته اند تشکر و قدردانی شود.

$\mu_d$ : ویسکوزیته فاز پراکنده ( $kg / s.m$ )

$\lambda_n$ : مقادیر ویژه سری تیلور در معادلات (۱)، (۸)، (۹)، (۱۱) و (۱۲)

### تشکر و قدردانی

در اینجا لازم است که از آقایان محمدرضا

### مراجع

- 1 - Godfrey, G. C. and Slater, M. J. (1994). *Liquid-liquid extraction equipment*. PP. 231, 279-280.
- 2 - Newman, A. B., (1931). *Trans. Am. Inst. Chem. Eng. J.*, Vol. 27, PP. 203.
- 3 - Vermeulen, T. (1953). *Ind. Eng. Chem.*, Vol. 45, PP. 1664-76.
- 4 - Kronig, R. and Brink, J. C. (1950). *Appl. Sci. Res.*, A-2, PP. 142.
- 5 - Elzinga, E. R. and Banchemo, J. T. (1959). *Chem. Eng. Progr. Symposium Ser.*, No. 29, 55, 149.
- 6 - Calderbank, P. H. and Korchinski, I. J. O (1956). *Chem. Eng. Sci.*, Vol. 6, PP. 65.
- 7 - Handlos, A. E. and Baron T. (1957). *Am. Inst. Chem. Eng. J.*, Vol. 3, No. 1, PP. 127.
- 8 - Olander, D. R. (1966). *A. I. Ch. E. J.*, Vol. 12, PP. 1018.
- 9 - Johnson A. I. and Hamielec A. E. (1960). *Am. Inst. Chem. Eng. J.*, Vol. 6, No. 1, PP. 145-9.
- 10 - Steiner, L. (1986). *Chem. Eng. Sci.*, Vol. 41, No. 8, PP. 1979-86.
- 11 - Boyadzhiev, L., Elenkov, D. and Kyuchukov, G. (1969). *Can. J. Chem. Eng.*, Vol. 47.
- 12 - Temos, J., Pratt, H. R. C. and Stevens, G. W. (1993). *Proc. ISEC 93*, SCI London.
- 13 - Lochiel, A. C. and Calderbank, P. H. (1964). *Chem. Eng. Sci.*, Vol. 19, PP. 471-84.
- 14 - Davies, J. T. (1966). *Chem. Eng. Prog.*, Vol. 62, No. 7, PP. 89-94.
- 15 - Misek, T., Berger, R. and Schroter, J. (1978). "Recommended systems for liquid extraction studies, european federation of chemical engineers." *I. Chem. E.*

### واژه های انگلیسی به ترتیب استفاده در متن

- 1 - Mixer - Settler
- 2 - Hold - Up
- 3 - Start - Up
- 4 - Shut Down