

# شبیه سازی برجهای استخراج RDC در مقیاس نیمه صنعتی و صنعتی

## دکتر حسین بهمنیار

عضو هیئت علمی گروه مهندسی شیمی دانشکده فنی دانشگاه تهران

## مهندس پریسا خدیو پارسا

فارغ التحصیل کارشناسی ارشد مهندسی شیمی دانشکده فنی دانشگاه تهران

### چکیده

به منظور شبیه سازی برجهای مجهز به صفحات چرخان، از فرآیند انتقال جرم استون از فاز پیوسته<sup>۱</sup> آب به قطرات ماده دی کلرودی اتیل اتر<sup>۲</sup> سود جسته شده است. در زمینه "آب پویایی"<sup>۳</sup> محاسبه های پدیده طغیان انجام و به منظور تعیین "اختلاط محوری"<sup>۴</sup> فازها معادله ای که براساس روش تریق پویای ردیاب بدست آورده شده است مبنای محاسبات قرار می گیرد. تعیین سرعت دوران واقعی محور مرکزی برج بر پایه محاسبه دو "حد پایین و بالای سرعت بحرانی"<sup>۵</sup>؛ و در نظر گرفتن درصد مطمئنی از حد پایین سرعت بحرانی (۱۲۰ درصد) انجام می یابد.

معادله انتخاب شده برای محاسبه اندازه متوسط قطره، رابطه ای است که خواص فیزیکی را از تاثیرات اختلاط مکانیکی و نحوه طراحی برج تفکیک نموده است و در مرحله دیگر طراحی، از توزیع یکنواخت و متقارن اندازه قطرات برای یافتن اندازه متوسط قطره استفاده گردیده است.

در زمینه انتقال جرم، پس از بررسی و براساس سرعتهای حجمی و قطر متوسط قطره معادله مربوط به محدوده قطراتی با جریان چرخشی درونی انتخاب گردید سپس با توجه به توزیع اندازه، مدل های متفاوتی برای سه محدوده قطرات صلب، دارای "جریانهای چرخشی و نوسانی"<sup>۶</sup> در نظر گرفته شد. در گام پایانی از امر شبیه سازی، پس از نگاشت مقادیر متفاوتی از اندازه بیشینه قطره برای بخشهای پی در پی برج و برحسب اندازه قطره ایجاد شده در توزیع کننده، محاسبه تعداد کل مراحل تعادلی در دو حالت وجود و عدم وجود توزیع معادله های انتقال جرم انجام و نتیجه هر یک با روش اعمال توزیع یکسان و متقارن اندازه قطره مقایسه گردیده شد.

### دیباچه

روند شبیه سازی برجهای استخراج RDC براساس روابط ریاضی که دارای پشتوانه های تجربی و مستدل می باشند، صورت می پذیرد. نخست از کلیه معادله های بدست آورده شده توسط دانش پژوهان در زمینه های گوناگون فرآیند استخراج که شامل جستارهای آب پویایی، انتقال جرم و مکانیک سیالات می گردد به منظور محاسبات رایانه ای استفاده شده و در مرحله دوم لازم است که نتایج حاصل از فرآورش مذکور توسط دیگر پژوهشگران در

1- Continuous    2- Dispersed phase    3- Hydrodynamics    4- Axial mixing    5- Lower and higher critical rotor speeds

6- Stagnant, Circulating, Oscillating drops

ضریب کلی انتقال جرم گردیده‌اند فرض دیگر آنان در نظر گرفتن حل تقریبی معادله‌های گوناگون انتقال جرم قطره و طولانی بودن زمان تماس با فاز پیوسته می‌باشد.

نتایج آزمایش آنها بر روی برجی به قطر ۰/۴۵ و ارتفاع ۶/۷۵ متر، بیانگر درستی کاربرد چنین روش است. در گام بعدی از مطالعات پژوهشگران، تلاش بر اعمال توزیع ناهمسان اندازه قطرات در طی صعود یا سقوط در ارتفاع برج شده است (۸). بنابه داده‌های تجربی، کاربرد توزیع غیر یکنواخت اندازه قطره سبب کاهش تعداد واحدهای انتقال و افزایش ارتفاع ستون استخراج به میزانی حداکثر برابر با ۵۶ درصد خواهد شد.

#### سازگان شیمیایی مورد پژوهش

روند شبیه سازی در مقیاس نیمه صنعتی و صنعتی، براساس سازگان آب - استون - دی کلرودی اتیل اتر و انتقال استون به قطرات فاز آلی انجام یافته است. طراحی برج از ابتدایی ترین روابط موجود در این زمینه آغاز و پس از هر گام از شبیه سازی، با تغییر و تصحیح در یکی از متغیرهای ورودی و یا تغییر رابطه محاسباتی یک مرحله از پیشرفت منظور می‌گردد.

#### گام نخست در طراحی

پس از محاسبه ارتفاع هر مرحله از "برج استخراج"<sup>۵</sup>، "قطر صفحه چرخان"<sup>۶</sup> و قطر "دهانه تیغه‌های ساکن"<sup>۷</sup> از روابط کاربردی موجود (۱۳ و ۱۵) با در دست داشتن مقدار حدس نخستین برای قطر ستون (۶۰ سانتی متر)، جریان حجمی فاز پیوسته، ضریب توزیع ماده استون و درصد استخراج آن اقدام به محاسبه سرعت‌های عبوری دو فاز می‌گردد. بنا به ضروریات طراحی صنعتی و ارائه بهترین

آزمایشگاه و صنعت مورد کندوکاو قرار گیرد.

با توجه به دو فاز پیوسته و قطره، تعیین اندازه متوسط قطره‌ها از نقطه نظر پدیده‌های انتقال جرم و آب پویایی حائز اهمیت فراوانی می‌باشد (۶ و ۱۵). در مورد هر نوع از طراحی هندسی برج و سازگان (سیستم) شیمیایی بخصوص و نیز سرعت "طغیان"<sup>۱</sup> و شرایط عملیاتی جریان فازها، متغیرهای سطح مخصوص تماس و ضریبهای انتقال جرم لایه‌ای به اندازه قطره بستگی خواهند داشت. بنابراین نقطه شروع در امر طراحی، از محاسبه این متغیر آغاز می‌گردد.

از سویی در هر سطح مقطعی از برج استخراج، قطرات از اندازه‌های گوناگون تشکیل یافته‌اند و تابع توزیع آن در هنگام بالارفتن یا پایین آمدن در ارتفاع برج که بستگی به سبک یا چگالتی بودن قطره نسبت به فاز پیوسته خواهد داشت، از حالت تقارن برخوردار می‌شود (۲).

و در نهایت میزان "کسر حجمی قطرات"<sup>۲</sup> نیز در طول ارتفاع ستون استخراج متغیر خواهد بود (۸).

قطرات بزرگتر دارای سرعت محوری بیشتر بوده سریعتر حرکت می‌نمایند و بدلیل زمان اقامت کوتاه، پدیده "اختلاط وارون"<sup>۳</sup> به میزان کمتری رخ می‌دهد (۲۰).

پیشتر، تعیین سازوکار (مکانیزم) انتقال جرم در درون قطره براساس اندازه متوسط آن صورت می‌پذیرفته است (۳ و ۷ و ۲۰). آل - اسود<sup>۴</sup> و همکاران (۱) با بخش نمودن کل محدوده اندازه قطرات در مقطعی از برج به درصدهای حجمی قطرات صلب، چرخشی و نوسانی و محاسبه ضرایب انتقال جرم در هریک از منطقه‌ها موفق به بدست آوردن

(۲۰، ۱۵، ۱۰، ۵)، قطر متوسط آن برابر با ۰/۷ مقدار فوق تخمین زده میشود.

$$d_{\max} = C_1 \left( \frac{\gamma g_c}{\rho_c} \right)^{0.6} E^{-0.4} \quad (۷)$$

$$E = N_{po} \left( \frac{4}{\pi} \frac{N d^3 R}{Z_c d^2 T} \right) \quad (۸)$$

مقدار ثابت موجود در معادله (۷) با توجه به فاز قطره (آبی یا آلی) متفاوت بوده در این مورد برابر با میزان عددی ۰/۵ در نظر گرفته می‌شود. (۲ و ۲۵ و ۲۰).

همگام با تعیین ضرایب اختلاط محوری دو فاز از رابطه‌های منسوب به استرنند<sup>۳</sup> (۱۴ و ۱۵)، به منظور محاسبه تعداد واقعی واحدهای انتقال از روش آزمون و خطای "اسلیشر"<sup>۴</sup> (۱۵) سود گرفته و در صورت کمتر بودن میزان اختلاف بین دو مقدار حدس و محاسبه شده تعداد واحد انتقال، محاسبه متوقف و نتیجه نهایی مشخص میگردد و ارتفاع حقیقی برج و تعداد مراحل براساس این نتیجه حاصل میشود.

#### تغییر روش محاسبه ضریب انتقال جرم

در مرحله دوم، روش محاسبه ضریب انتقال جرم فازها از معادله کانائین<sup>۵</sup> (۱۵) به رابطه کره صلب استرنند (۱۵) که برخلاف معادله نخست، اندازه متوسط قطره بعنوان متغیر اصلی آن می‌باشد، تبدیل می‌گردد.

نسبت به گام نخست، بر میزان ارتفاع ستون افزوده میشود. بدلیل در برگرفتن کل محدوده قطرات صلب چرخشی و نوسانی توسط مدل کانائین، در گامهای بعدی شبه‌سازی از این معادله استفاده می‌گردد.

نتیجه، مقدار نسبت عددی ارتفاع هر مرحله از ستون استخراج به قطر سطح مقطع برج برابر با ۰/۳ در نظر گرفته میشود (۱۵) تعیین حد پائین سرعت دورانی و سرعت مشخصه قطره از روابط (۱) و (۲) انجام گرفته سپس سرعت دوران واقعی محور مرکزی براساس درصد مطمئنی از آن (۱۲۰ درصد) و با شرط فراتر نگشتن این درصد از حد بالای سرعت دوران بحرانی بدست آورده میشود:

$$\left( \frac{g}{d_R N_{CR1}^2} \right) \Psi^{0.5} = 16 \quad (۱-الف)$$

$$\left( \frac{g}{d_R N_{CR2}^2} \right) \Psi^{0.5} = 8 \quad (۱-ب)$$

$$U_0 / \left( \frac{\gamma \Delta \rho g}{\rho_c} \right)^{0.25} G_f = \beta \left( \frac{g}{d_R N^2} \right) \Psi^{0.5} \quad (۲)$$

که در این روابط:

$$G_f = \left[ \left( \frac{Z_c}{d_R} \right)^{0.9} \left( \frac{d_s}{d_R} \right)^{2.1} \left( \frac{d_R}{d_T} \right)^{2.4} \right] \quad (۳)$$

$$\Psi = \left[ \left( \frac{\gamma \rho_c}{\mu_c g} \right)^{0.25} \left( \frac{\Delta \rho}{\rho_c} \right)^{0.6} \right] \quad (۴)$$

لازم به ذکر است که مقدار سنجه  $\beta$  در معادله (۲) در حالت انتقال جرم از فاز قطره به فاز پیوسته برابر با ۰/۱۱ و در صورت انتقال جرم وارون برابر با ۰/۰۷۷ می‌باشد.

محاسبه کسر حجمی فاز قطره از رابطه معروف ریچاردسن زکی<sup>۱</sup> (۷ و ۱۶) و با فرض برابر بودن توان  $m$  با عدد یک صورت می‌پذیرد.

$$U_s = U_o (1-x)^m = U_d / X + U_c / (1-x) \quad (۵)$$

$$U_o = C_R U_t \quad (۶)$$

پس از تعیین اندازه بیشینه قطره از رابطه هاینز<sup>۲</sup>

### محاسبه قطر برج از روش پدیده طغیان

هنگام کارکرد برج در شرایط "طغیان" نحوه تغییرات سرعت‌های هریک از دو فاز نسبت به کسر حجمی قطره، از شبیهی برابر با صفر برخوردار خواهد بود (۱۱ و ۱۳) بنابراین:

$$\left(\frac{du_c}{dx}\right)_{U_d} = 0 \quad (9)$$

$$\left(\frac{du_d}{dx}\right)_{U_c} = 0 \quad (10)$$

با مراجعه به معادله (۵) و با فرض ثابت بودن نسبت عددی بین سرعت‌های دو فاز در هر دو نحوه کارکرد برج که شامل شرایط طغیان و طبیعی می‌گردد، مقدار متغیرهای سرعت و کسر حجمی قطره در شرایط بحرانی عبارت خواهد شد از:

$$U_{cf} = (1 - X_f)^{(m+1)} [1 - (m+1)X_f] C_R U_t \quad (11)$$

$$U_{df} = (m+1)(1 - X_f)^m X_f^2 C_R U_t \quad (12)$$

$$X_f = \frac{[(R(m+2) + 4R(m+1)(1-R))^{0.5} - R(m+2)]}{2(m+1)(1-R)} \quad (13)$$

متغیر R عبارت است از:

$$R = U_{df} / U_{cf} \quad (14)$$

تعیین "عامل محدودیت برج" که نسبت سطح مقطع آزاد برای عبور جریانهای فاز پیوسته و قطره، به کل سطح مقطع برج میباشد از چهار روش صورت پذیرفته است:

- استفاده از نتایج گامهای نخست و دوم طراحی و جایگذاری در رابطه (۵).

- روش استرنند (۱۵) و محاسبه چند عبارت ریاضی و انتخاب حداقل مقدار بدست آمده از آنها بعنوان ضریب محدودیت.

- روش تجربی "گادفری" و "اسلیتر" (۹) که در مورد

پژوهش حاضر و با توجه به داده‌های سازگان شیمیایی و سرعت دوران محور مرکزی برج منجر به ارائه جواب منفی و غیرقابل قبول می‌گردد.

- روش "ون کاتارامانا" و همکاران (۱۹):

$$C_R = \frac{d_s - 0.5d_T}{d_R} \quad (15)$$

محاسبه سرعت حد سقوط و صعود آزاد قطره از معادله "استوکس" (۲۳) و با اعمال ضریب مربوط به حرکت چرخشی درون قطره انجام یافته است (۴ و ۷).

در این میان روش چهارم محاسبه ضریب محدودیت بدلیل سادگی کاربرد و در برداشتن اثر پدیده اختلاط محوری، بهترین مورد برای ادامه کنکاش تشخیص داده شده است و سرعت فاز پیوسته براساس درصدی بین ۷۰ تا ۷۵ درصد سرعت متناظر در حالت طغیان تعیین گشته در نتیجه مقدار قطر برج از ۶۰ به ۶۷ سانتی متر افزایش می‌یابد. پس از اعمال قطر جدید ستون استخراج، بر ارتفاع آن افزوده می‌گردد؛ (از ۵/۶۵ به ۶/۳۳ متر).

### محاسبه سرعت دوران محور مرکزی برج

در این مرحله از روشهای ارائه شده توسط "میشیک" و "استرنند" و نیز روش همبستگی سنجها (۲) و روند "سابارا" و "کامات" (۱۲) که بر پایه پژوهشهای "دگالیسان" و "لادها" (۱۵) بنا نهاده شده است، سود برده شده است. حداکثر هر دو روش برابر با ۳۰ درصد است. با وجود همسانی تقریبی جوابهای بدست آمده و پشتوانه‌های دقیق تجربی و علمی هریک و با توجه به محاسبه هر دو حد پائین و بالای سرعت دوران محور برج (محدوده مطمئن شکست قطرات) و نیز در نظر گرفتن تاثیر فرآیند انتقال جرم

تقارن توزیع اندازه در تابع معروف "ماگیل اونس" (۴ و ۶) (۲۰) بدست آورده شده و پس از جایگذاری در صورت انتگرالی تابعی (معادله ۲۱) چگالی توزیع حجمی قطرات دارای اندازه‌های گوناگون طبق نگاره (۲) حاصل می‌گردد:

$$V_{(d)} = \frac{\delta}{\pi} \frac{d_{\max}}{0.5 d(d_{\max} - d)} \exp \left\{ - \left[ \ln \left( \frac{ad}{d_{\max} - d} \right) \right]^2 \right\} \quad (21)$$

در نخستین قدم، فرض بر یکسان بودن این توزیع در کلیه مقطعهای برج خواهد گردید بنا به نحوه بدست آوری تابع توزیع مذکور، مقدار قطر میانگین حاصل از تابع برابر با قطر متوسط اعمال شده در محاسبات مربوطه می‌گردد و هیچگونه تغییری در طراحی حاصل نخواهد شد.

#### بررسی معادله‌های گوناگون انتقال جرم

پس از تعیین قطر متوسط قطره و محاسبه عدد رینولدز (Re) وابسته به آن، نوع قطره از نظر وضعیت جریانهای داخلی (صلب، چرخشی و نوسانی) مشخص گردیده، کلیه معادله‌های انتقال جرم مربوط به قطره و به پیروی از آن معادله‌های انتقال جرم فاز پیوسته مورد بررسی قرار می‌گیرد. در مقام مقایسه با کلیه مدلها و با توجه به قرار گرفتن اندازه متوسط قطره در محدوده قطرات "چرخشی"؛<sup>۵</sup> بهترین مدل، معادله "کرونیک - برینک"<sup>۶</sup> (۱۷) برای فاز ناپیوسته و معادله "استینر"<sup>۷</sup> (۱۸) برای فاز پیوسته است.

در این صورت ارتفاع برج برابر با ۵/۷۵ متر و تعداد مراحل تعادلی ۲۴ عدد خواهند گردید.

#### تعیین تعداد مراحل برج براساس تغییر اندازه پیشینه قطره

در این گام، به ازای اندازه قطره‌ای از مقدار صفر تا مقداری کوچکتر یا برابر با حداکثر اندازه آن محاسبه تعداد مراحل انجام میشود. با افزایش اندازه قطره و گسترده شدن

و جهت آن و عدم نیاز به دانستن مقدار انرژی ورودی به سازگان که بدلیل اتلاف قست اعظم آن در بخشهای گوناگون برج، تخمین میزان واقعی آن غیر ممکن است، ادامه عملیات طراحی براساس روش چهارم انجام خواهد گردید.

بنا به استفاده از این روش در نخستین گام طراحی، تغییری در پاسخهای شبه‌سازی حاصل نمی‌گردد. مقادیر حدود پائین و بالای سرعت بحرانی و سرعت واقعی دوران بترتیب برابر با ۳/۸۴۸، ۵/۴۴۲ و ۴/۶۱۷ دور بر ثانیه بدست آمده است.

#### تعیین اندازه میانگین قطره

در سازگانهای تماس مایع - مایع اندازه متوسط قطره براساس "قطر سطحی - حجمی"<sup>۱</sup> طبق رابطه (۱۶) در نظر گرفته میشود:

$$d_{32} = \frac{\sum n_i d_i^3}{\sum n_i d_i^2} \quad (16)$$

پس از آزمون کلیه روابط ریاضی ارائه شده برای محاسبه اندازه میانگین قطره معادله پیشنهاد شده توسط "فی"<sup>۲</sup> و "اسلیتر"<sup>۳</sup> (۶) بدلیل نوع خاص آن و جداسازی متغیرهای خواص فیزیکی و به ویژه کشش بین سطحی از شدت میزان اختلاط و موارد طراحی هندسی برج، برای ادامه روند شبه‌سازی مناسب تشخیص داده می‌شود:

$$d_{32} = 3.60 \times 10^{-5} (Z_c/d_R)^{0.18} p^{0.13} E^{-0.21} \quad (17)$$

$$E = 4 \quad P_R / (\pi d_T^2 Z_c \rho_c) \quad (18)$$

$$P_R = 0.069 Re^{-0.155} \rho_c^3 N^3 d^5 R \quad (Re > 6 \times 10^4) \quad (19)$$

$$P_R = 6.87 Re^{-0.568} \rho_c^3 N^3 d^5 R \quad (Re < 6 \times 10^4) \quad (20)$$

#### تعیین توزیع اندازه قطرات

با کاربرد اندازه متوسط سطحی - حجمی قطره، مقادیر قطر پیشینه قطره و سنجه‌های (پارامترهای) تقارن و عدم

1 - Sauter mean diameter

2 - Fei

3 - Slater

4 - Mugele - Evans

5 - Circulating

6 - Kronig - Brink

7 - Steiner

گستره توزیع، بر ارتفاع و تعداد مراحل ستون افزوده شده و در حالتی که قطر به مقدار قطر بیشینه خود در گامهای پیشین طراحی بدست آمده است برسد، تعداد مراحل ستون مانند حالت گذشته می‌گردد.

#### تعیین تعداد مراحل برج برای هر گام از اندازه قطرات

پس از بخش نمودن فاصله موجود بین اندازه‌های کمینه و بیشینه قطره به تعداد فواصل برابر یا نابرابر، تعداد مراحل و ارتفاع مناظر با هر فاصله بدست آورده میشود و پس از احتساب مجموع، با مقدار حاصله از طراحی کلی برج مقایسه می‌گردد. مشاهده شده است که بطور تقریب یک مرحله از ستون کاسته شده است و دلیل این امر استفاده از مدل انتقال جرم قطره صلب "نیومن"<sup>۱</sup> و "کینارد"<sup>۲</sup> (۱۸) برای محدوده قطرات مذکور است.

#### بررسی روابط اختلاط محوری

با توجه به تأثیر اختلاط محوری در کاهش بازده مرحله‌ای استخراج حتی تا میزان ۵۰ درصد، کلیه معادله‌های مربوط به فازهای قطره و پیوسته مورد بررسی قرار گرفته و با استناد به اطلاعات آزمایشگاهی پژوهشگران و نیز تحقیق حاضر، معادله‌های پیشنهاد شده توسط "کومار"<sup>۳</sup> و "هارتلند"<sup>۴</sup> (۱۴) که براساس روش تزریق پویای ماده ردیاب بوده و دارای کمترین خطای نسبی می‌باشد مبنای محاسبات آینده قرار می‌گردد.

#### توزیع معادله‌های انتقال جرم بر مبنای توزیع اندازه قطره

پس از تقسیم نمودن گستره اندازه قطرات به سه بخش صلب، چرخشی و نوسانی، از معادله‌های انتقال جرم مربوط به هر یک از سه محدوده استفاده می‌گردد مدل‌های قطره بترتیب معادله‌های نیومن (۱۸)، کرانیگ - برینک (۱)،

"هندلس بازن"<sup>۵</sup> (۱) و از آن فاز پیوسته معادله کینارد (۱۸) متناظر با قطره صلب و معادله "گارنر و همکارانش"<sup>۶</sup> (۱) متناظر با قطره چرخشی و نوسانی می‌باشد.

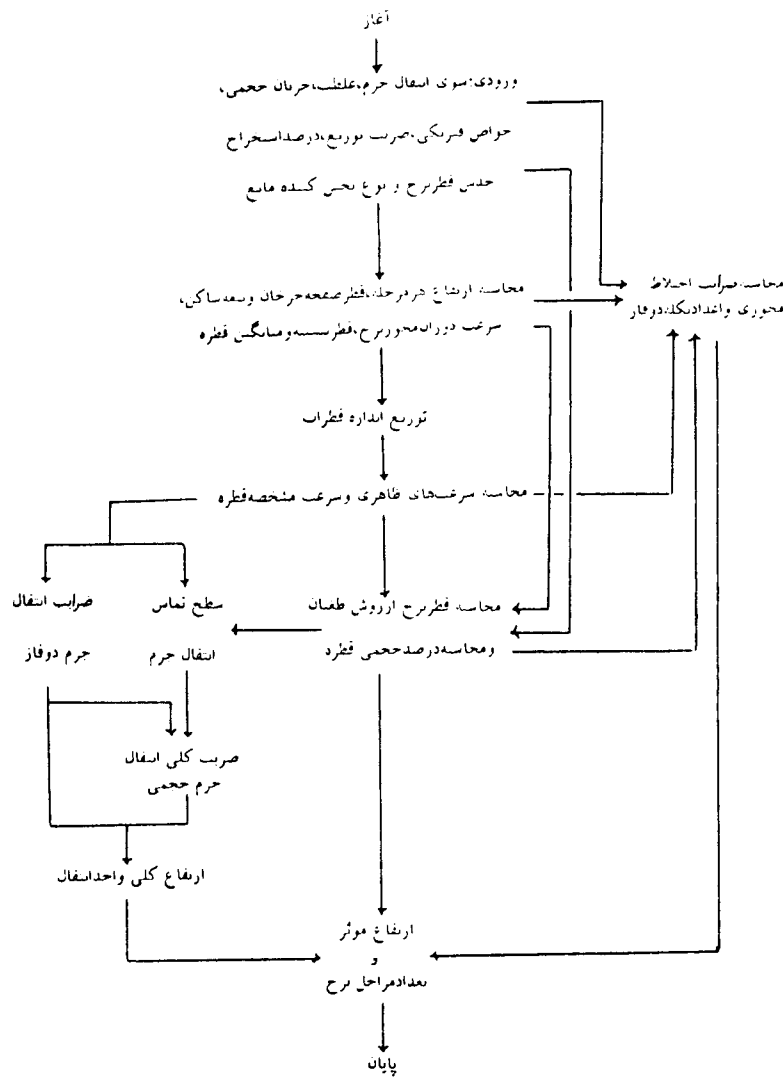
نسبت به حالت عدم در نظرگیری توزیع مدل‌های انتقال جرم، تعداد مراحل از ۲۳ به ۲۰ عدد کاهش یافته است.

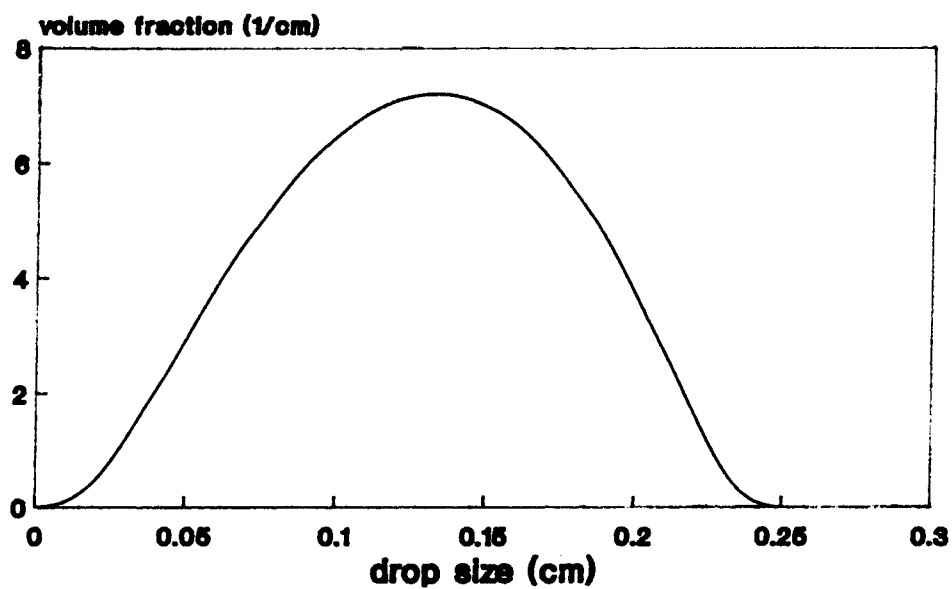
#### بررسی توزیع متغیر اندازه قطرات در ارتفاع برج

نخست با گزینش قطر مناسبی برای اندازه دستگاه توزیع کننده قطره و محاسبه اندازه قطره ایجاد شده در تارک آن و فرض چشم پوشی از پدیده پیوند قطرات در مجاورت پخش کننده؛ درصدهای کاهنده‌ای برای اندازه بیشینه قطره از قسمت پائین تا بالای برج (با توجه به سبکتر بودن مایع قطره نسبت به مایع پیوسته) در نظر گرفته میشود. این درصد در منطقه میانی ستون به حدود ۳۰ تا ۲۸ درصد میرسد. آنگاه برای هر قسمت از ستون و با در دست داشتن اندازه حداکثر قطره، مقدار میانگین آن بدست آورده شده سپس محاسبات طراحی در دو حالت وجود و عدم اعمال توزیع مدل‌های انتقال جرم انجام میگردد. مشاهده شده است که هنگام توزیع مدل انتقال جرم، تعداد کل مراحل ستون استخراج به حالتی که برای کل برج توزیع یکنواختی از اندازه قطره در نظر گرفته شود بسیار نزدیک است.

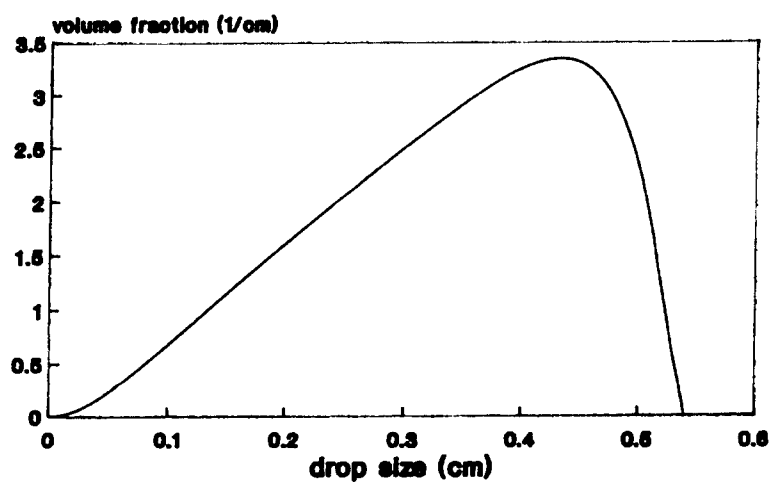
از نتایج چنین برمی‌آید که با افزایش قطر دهانه توزیع کننده قطره، بر ارتفاع برج افزوده میشود، در نگاره‌های (۳) تا (۵) نمودارهای مربوط به توزیع نامتقارن تا متقارن قطره بترتیب برای بخشهای زیرین تا بالایی ستون و برای افشانکی (نازل) به قطر دهانه برابر با ۰/۲ سانتی متر ملاحظه می‌گردد.

چکیده نمودار جریان‌ی (Flow Chart) برنامه رایانه بنیانه نگاره (۱) می‌باشد.



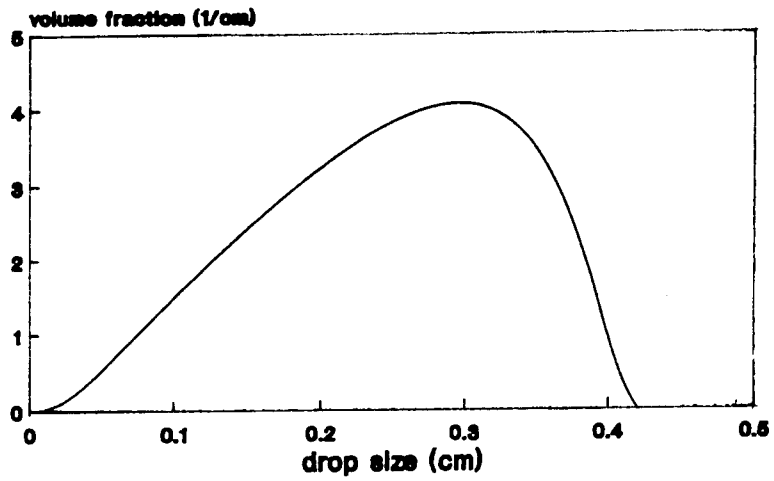


نگاره (۲) - توزیع یکسان اندازه قطره در کل ارتفاع برج .

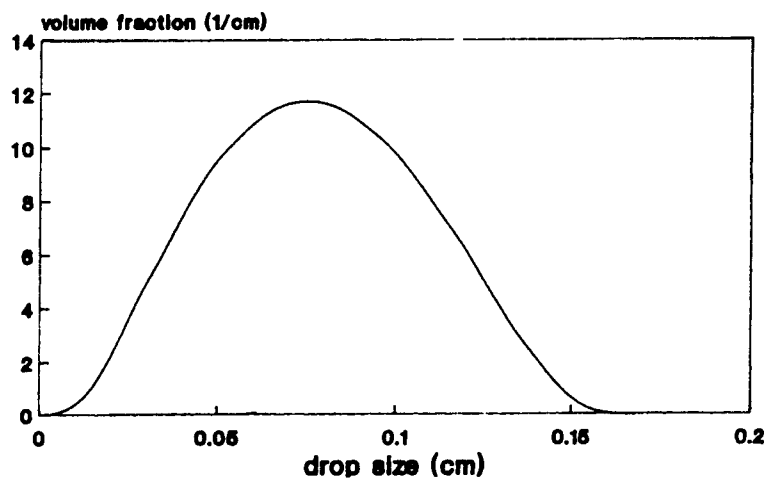


نگاره (۳) - توزیع اندازه قطرات در مراحل ۱ تا ۳ برج .





نگاره (۴) - توزیع اندازه قطرات در مراحل ۷۶ برج .



نگاره (۵) - توزیع اندازه قطرات پس از مرحله ۱۷ برج .

فهرست منابع

- 1- Al-Aswad, KK, et al., 1985. The application of drop Size distribution and discrete drop mass transfer models to assess the performance of a rotating disc Contactor .AIChE.J.31 (9), 1488-1497.
- 2- Bahmanyar, H. and M.J.slater, 1991.. studies of drop break-up in liquid-liquid Systems in a rotating disc contactor, Part 1: Condition of no mass transfer, Chem. Eng. Technol., 14,79-89.
- 3- Carra, S. and M. Morbidelli, 1986. Transient mass transfer on to Small Particles and drops. Handbook of heat and mass transfer: N.P. Chermisinoff.Ed., V.2,59-109.
- 4- Cavers, S.D., 1991. Nonmechanically agitated Contactors. Handbook of Solvent Extraction; Lo, T.C.et al., Eds., 319-341.
- 5- Chaffey, C.E.et al.1991. Emulsification of a Viscous monomer mix: Particle size and size distribution. Can.J. Chem. Eng., 69, 639-647.
- 6- Chang-Kakoti, D.K.et al, 1985. Drop sizes and distributions in rotating disc Contactors Used for liquid - liquid extraction .J.Separ.Proc. Technol., 6, 40-48.
- 7- Coulson, J.M.and J.F.Richardson, 1988. Chemical Engineering ,v.3,230-278.
- 8- Cruz-pinto, J.J.C. and W.J.Korchinsky, 1980. Experimental Confirmation of the influence of drop size distribution on liquid-liquid extraction Column Performance. Chem. Eng. Sci., 35, 2213-2219.
- 9- Godfrey, J.C.and M.J.slater, 1991.Slip velocity relationships for liquid-liquid extraction Columns. Trans. IChemE,69,130-141.
- 10- Haas, P. A., 1987. Turbulent dispersion of aqueous drops in organic liquids. AIChE. J., 33(6), 987-995.
- 11- Henley, E.J. and J. D.Seader, 1981. Equilibrium stage Separation Operations in Chemical engineering, 516-522.

- 12- Kamath, M.S. and M.G. Subba Rau, 1958, Prediction of operating range of rotor speeds for rotating disc Contactors. *Can. J. Chem. Eng.*, 63, 578-584.
  - 13- Koster, W.C.G., 1991, rotating disc Contactors, *Handbook of Solvent Extraction: Lo, T.C. et al.*, 391-405.
  - 14- Kumar, A. and S. Hartland, 1992. Prediction of axial mixing Coefficients in rotating disc and asymmetric rotating extraction columns. *Can. J. Chem. Eng.*, 70, 77-87.
  - 15- Laddha, G.S. and T.E. Degaleesan, 1976. Transport Phenomena in liquid-liquid extraction, 334-376.
  - 16- Richardson, J.F. and W.N. Zaki, 1954. Sedimentation and fluidization. *Trans. Inst. Chem. Eng.* 32, 35.
  - 17- Slater, M.J. et al., 1988. Drop phase mass transfer Coefficients for liquid-liquid systems and the influence of Packing. *Chem. Eng. Sci.*, 43(2), 233-245.
  - 18- Steiner, L. 1986. Mass transfer rates from Single drops and drop swarms. *Chem. Eng. Sci.*, 41(8), 1979-1986.
  - 19- Venkataramana, J. et al. 1980. Continuous Phase axial mixing in rotary disk Contactors. *Can. J. Chem. Eng.*, 58, 206-211.
  - 20- Zhang, S.H. et al., 1985. A model for liquid-liquid extraction column performance- the influence of drop size distribution on extraction efficiency. *Can. J. Chem. Eng.*, 63, 212-226.
-