

# طراحی راکتور پیشرفته

مرجع: طراحی راکتورهای شیمیایی، لون اشپیل  
ترجمه دکتر سهرابی

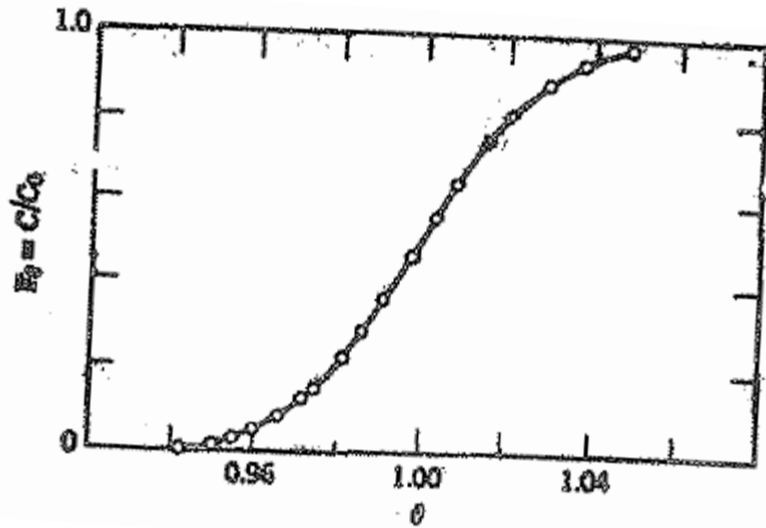
**Ref.: Chemical Reaction Engineering, Levenspiel**

مدرس: یگانه داودبیگی

(جلسه دهم)

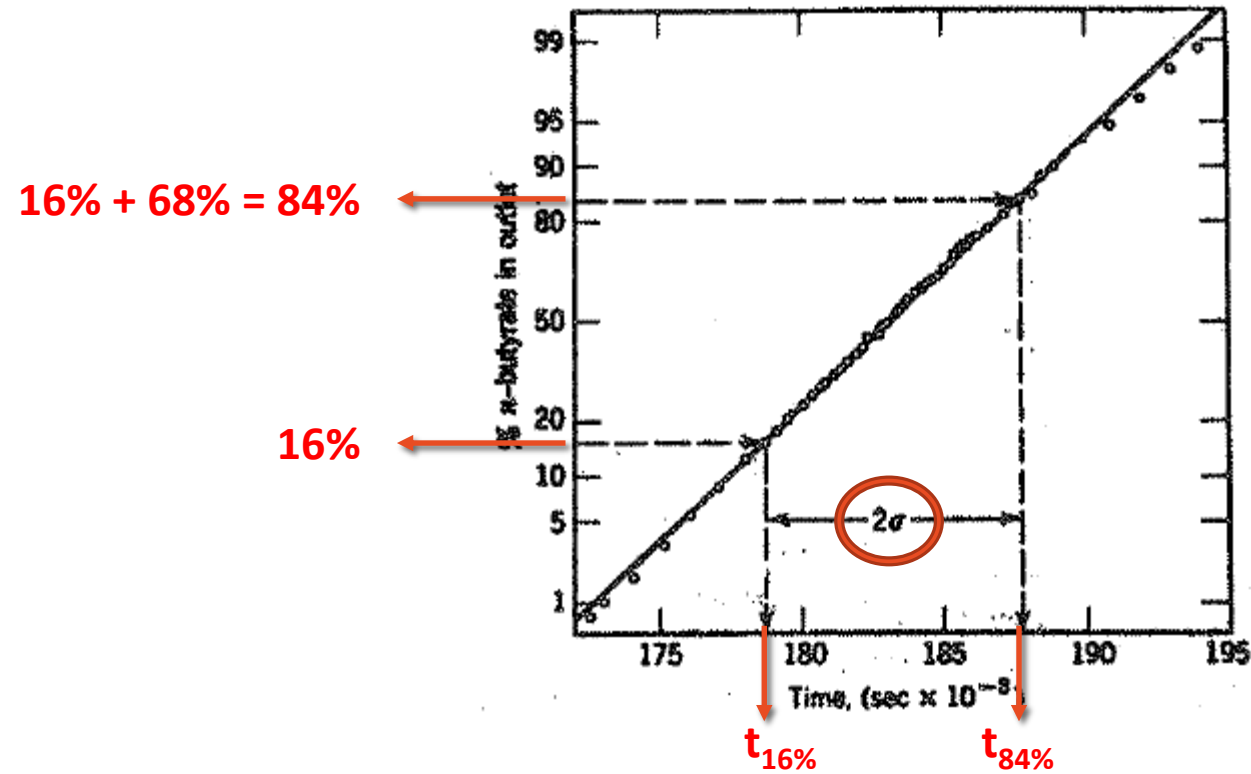
#### مثال ۴: تعیین $D/uL$ با استفاده از منحنی $F$ :

در یک آزمایش و برای یک برج آکنده به قطر 1.5 in و ارتفاع 4 ft و با سرعت بسیار کم جریان  $2.19 \times 10^{-5} \frac{ft}{s}$  منحنی  $F$  بصورت تجربی ترسیم شده است. عدد پراکندگی را بدست آورید.



**راه حل اول:** تعیین شیب در هر یک از نقاط و سپس ترسیم منحنی پراکندگی و از روی آن عدد پراکندگی.

**راه حل دوم:** اگر انحراف از حالت تقارن (گوسی شکل) زیاد نباشد، اگر منحنی  $F$  را بر روی کاغذهای مخصوص منحنی احتمالات ترسیم کنیم، منحنی به خط مستقیم تبدیل می شود (این کاغذها شبیه کاغذهای نیمه لگاریتمی هستند). (صفحه بعد)

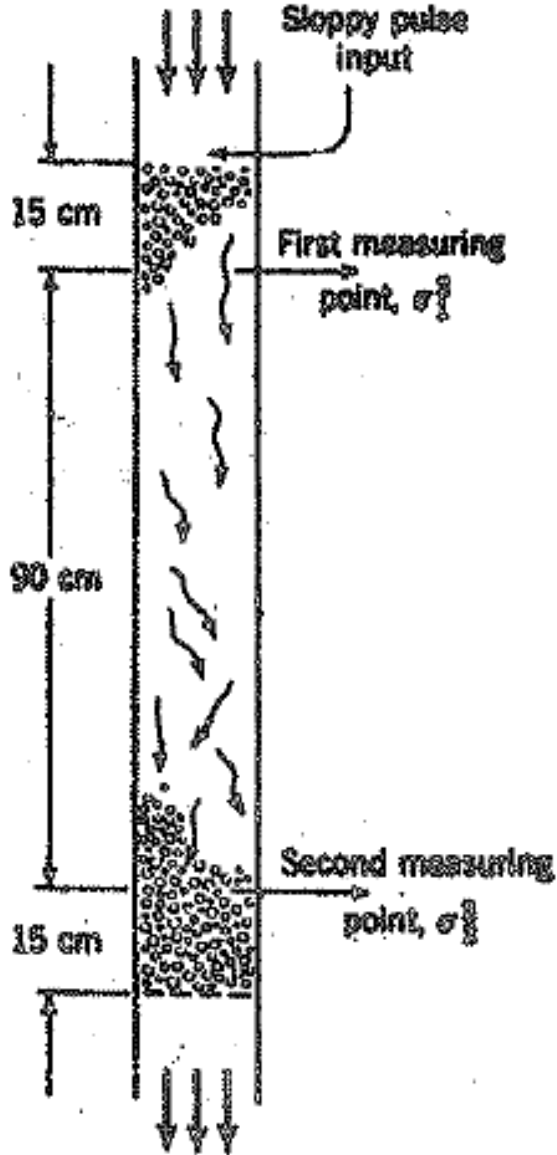


$$2\sigma = t_{84\%} - t_{16\%} = 9200 \rightarrow \sigma = 4600 \text{ sec}$$

$$\sigma_{\theta} = \frac{\sigma}{\bar{t}} = \frac{4600}{\frac{4 \text{ ft}}{2.19 \times 10^{-5} \frac{\text{ft}}{\text{sec}}}} = 0.0252 \longrightarrow \sigma_{\theta}^2 = 0.0252^2 = 0.00064 \longrightarrow \sigma_{\theta}^2 = \frac{2D}{uL} \rightarrow \frac{D}{uL} = 0.00032$$

**مثال ۵:** محاسبه  $D/uL$  از طریق تزریق یک مرتبه ردیاب:

$$u = 1.2 \text{ cm/sec}$$



دانه‌های کاتالیزور به ابعاد 0.625 cm روی سینی سوراخ‌دار راکتوری تا ارتفاع 120 cm به طور نامنظم ریخته شده است. سیال از بالا به پایین جاری می‌گردد. ردیاب به صورت تابع دلتا در بالای برج تزریق می‌شود و غلظت آن در دو نقطه برج با فاصله 90 cm از یکدیگر اندازه‌گیری می‌شود. فضای تهی بستر ثابت برابر 0.4، سرعت سیال بر مبنای لوله خالی برابر 1.2 m/s، واریانس در نقطه دو نقطه برابر  $\sigma_1^2 = 39 \text{ sec}^2$ ,  $\sigma_2^2 = 64 \text{ sec}^2$ .

$D/uL$  را محاسبه کنید.

$$\sigma_1^2 - \sigma_2^2 = 64 - 39 = 25 \text{ sec}^2$$

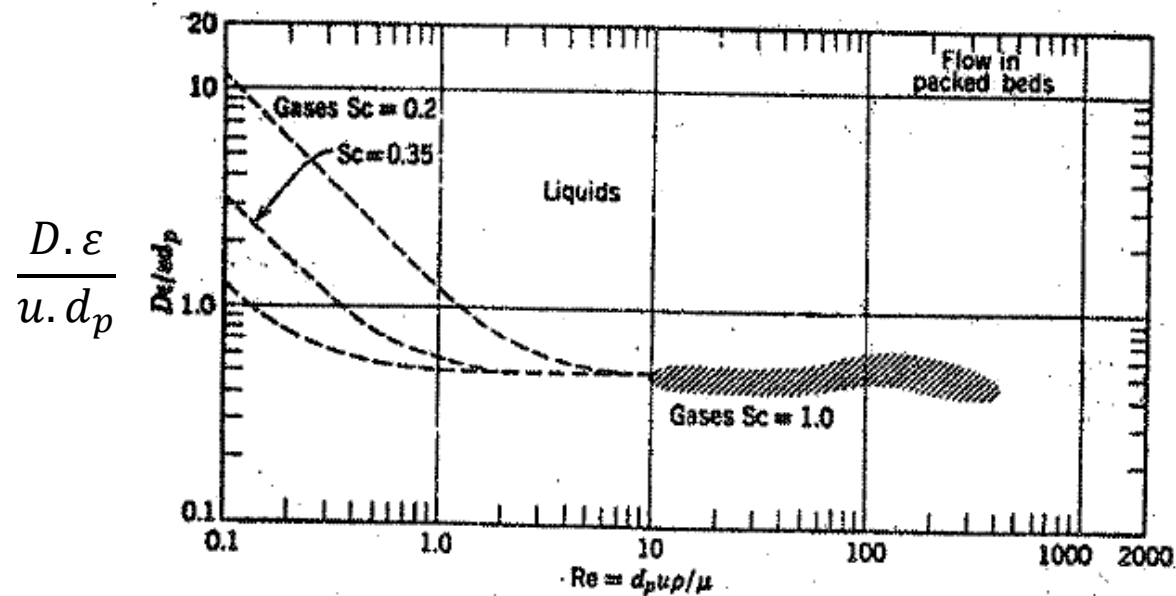
$$\Delta\sigma_\theta^2 = \frac{\Delta\sigma^2}{\bar{t}^2} = \frac{\Delta\sigma^2}{(V/Q)^2} = \frac{25}{\left(\frac{90 \times S \times 0.4}{1.2 \times S}\right)^2} = \frac{1}{36}$$

$$\Delta\sigma_\theta^2 = \frac{2D}{uL} \rightarrow \frac{D}{uL} = \frac{\Delta\sigma_\theta^2}{2} = \frac{1}{72}$$

\* راکتور بصورت یک ظرف باز عمل می‌کند. اگر بخواهیم دقیق‌تر محاسبه کنیم از فرمول ظرف باز استفاده می‌کنیم.

## روابط (منحنی‌های) تجربی تعیین عدد پراکندگی

۱. حرکت سیال در بستر آکنده: Bischoff نتایج تجربی‌اش را برای حرکت سیال در بسترهای آکنده بصورت شکل زیر نشان داده است.



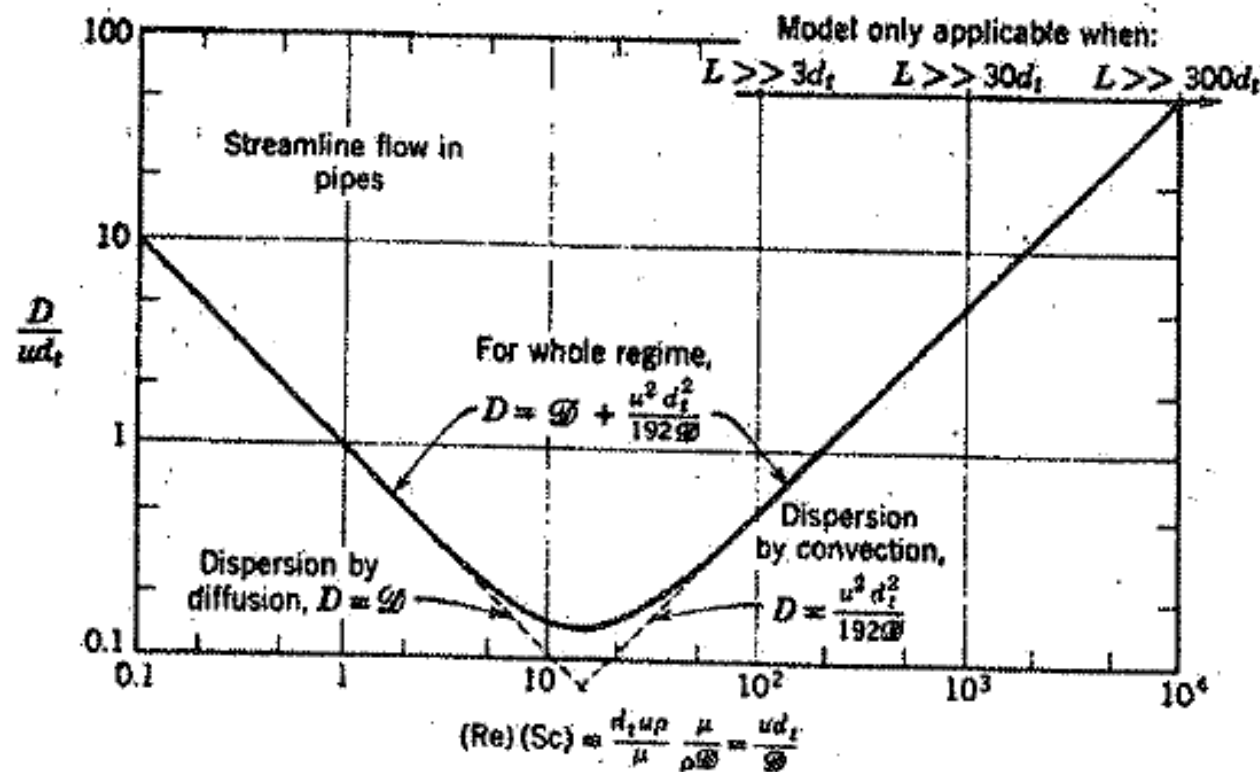
فاکتور هندسی (معلوم)

$$\left. \begin{array}{l} Sc \rightarrow \text{اگر جنس گاز معلوم باشد} \\ Re \rightarrow \text{اگر دبی گاز معلوم باشد} \end{array} \right\} \xrightarrow{\text{نمودار}} \frac{D \cdot \varepsilon}{u \cdot d_p} \longrightarrow \frac{D}{uL} = \underbrace{\frac{D \cdot \varepsilon}{u \cdot d_p}}_{\text{شدت پراکندگی}} \times \underbrace{\frac{d_p}{\varepsilon \cdot L}}_{\text{فاکتور هندسی (معلوم)}} \longrightarrow \frac{D}{uL} \checkmark$$

شدت پراکندگی

## روابط (منحنی‌های) تجربی تعیین عدد پراکندگی

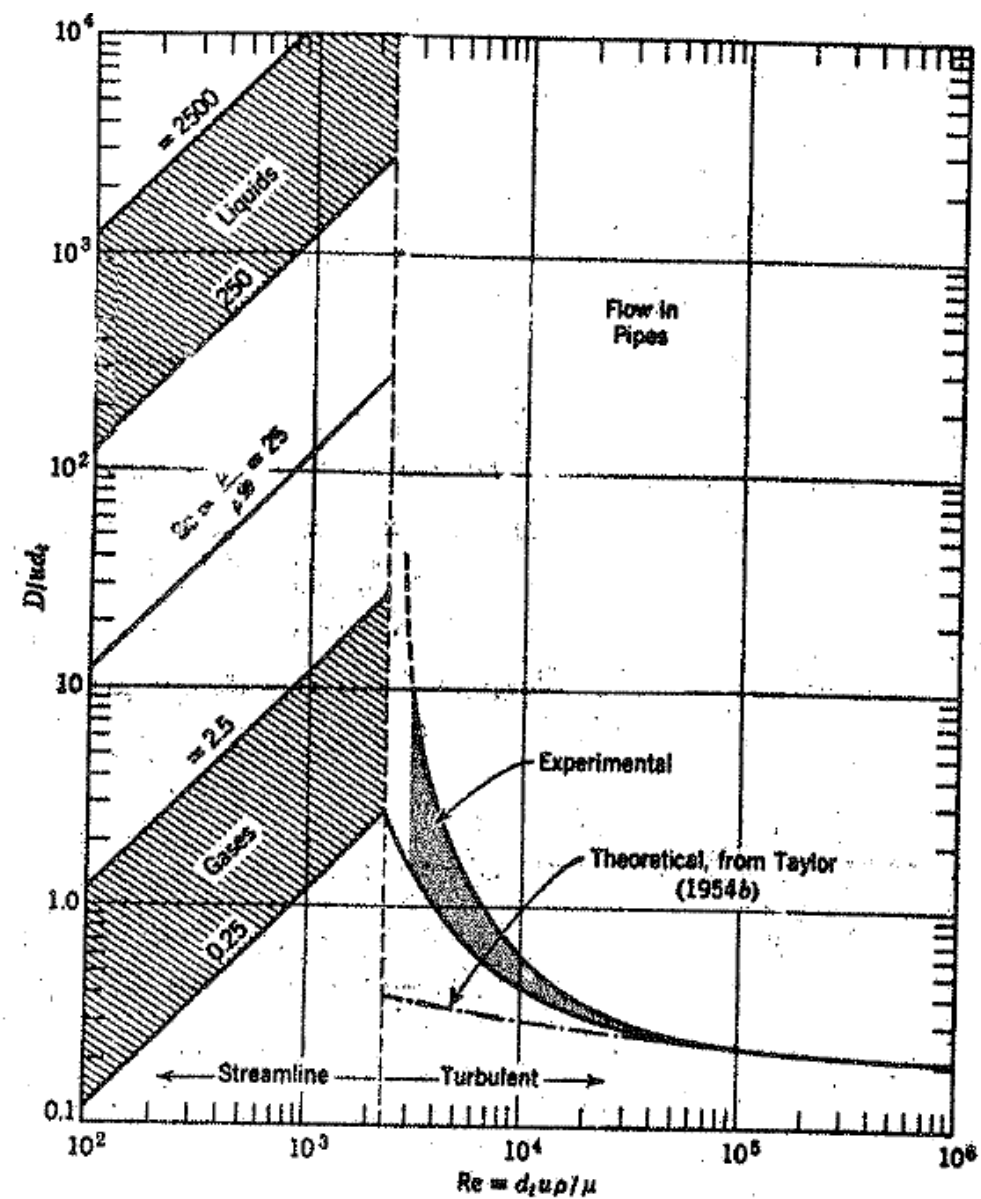
۲. حرکت سیال در لوله: Taylor و Aris نیز ارتباط بین شدت پراکندگی و عدد Re و Sc را برای جریان آرام سیال به صورت شکل زیر ارائه دادند. در جریان آرام انحراف به دو دلیل است: یکی وجود جریان برگشتی و دیگری اختلاف غلظت که منجر به انتقال جرم به دلیل نفوذ می‌گردد.



از منحنی  $\rightarrow \frac{D}{u \cdot d_t}$  قطر لوله

$$\frac{D}{u \cdot L} = \frac{D}{u \cdot d_t} \times \frac{d_t}{L}$$

رابطه بین پراکندگی سیال‌های جاری در لوله با عدد رینولدز، اقتباس از Levenspiel



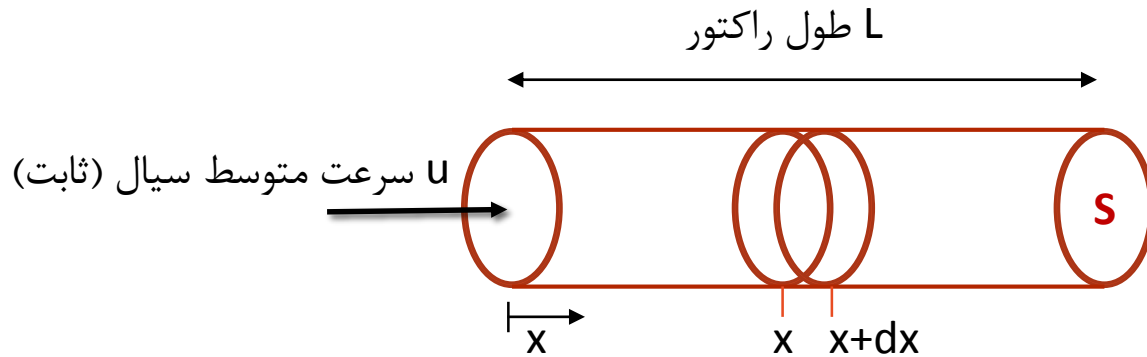
## واکنش شیمیایی و پراکندگی:

حال اگر در ظرف واکنش شیمیایی انجام گیرد میخواهیم ببینیم عامل پراکندگی (D) چه اثری روی میزان تبدیل در ارکتور دارد.

فرضیات:

(۱) اختلاط فقط در جهت محوری با ضریب پراکندگی D،

(۲) واکنش درجه n ساده  $A \rightarrow R + S + \dots$   $-(r_A) = kC_A^n$



موازنه جرم A در واحد زمان:

تجمع در المان = تعداد مول A واکنش داده در المان - تعداد مول A خروجی از المان - تعداد مول A ورودی به المان

$$\left[ (u \cdot S \cdot C_A)_x + \left( -D \cdot S \cdot \frac{dC_A}{dx} \right)_x \right] - \left[ (u \cdot S \cdot C_A)_{x+dx} + \left( -D \cdot S \cdot \frac{dC_A}{dx} \right)_{x+dx} \right] - (-r_A) \cdot S \cdot dx = 0$$

$$\longrightarrow \boxed{D \frac{d^2 C_A}{dx^2} - u \frac{dC_A}{dx} - k C_A^n = 0}$$



اگر واکنش درجه صفر باشد:

با حل معادله با در نظر گرفتن واکنش درجه صفر و در نظر گرفتن شرایط مرزی خواهیم داشت:  $C_{A,out} = C_{A0} - k\bar{t}$

که همان رابطه‌ای است که در یک راکتور Plug ایده‌آل و همچنین mixed ایده‌آل داشتیم. در واقع واکنش درجه صفر تابع جریان سیال نیست و در هر راکتوری نتیجه‌ای واحد حاصل می‌گردد.

اگر واکنش درجه یک باشد:

برای واکنش‌های بالاتر از درجه صفر، روش تحلیلی مشکل شده و روش ترسیمی ترجیح داده می‌شود.

Wilhem و Wehner یک حل جبری برای ظروف بسته ارائه داده‌اند:

$$\frac{C_A}{C_{A0}} = 1 - X_A = \frac{4a \exp\left(\frac{1}{2} \frac{uL}{D}\right)}{(1+a)^2 \exp\left(\frac{a uL}{2D}\right) - (1-a)^2 \exp\left(-\frac{a uL}{2D}\right)}$$

$$a = \sqrt{1 + 4k\tau(D/uL)}$$