طراحی راکتور پیشرفته

مرجع: طراحی راکتورهای شیمیایی، لون اشپیل

Ref.: Chemical Reaction Engineering, Levenspiel

مدرس: یگانه داودبیگی

(جلسه نهم)

گروه بدون بعد فوق را عدد پراکندگی ظرف گویند که یکی از مشخصات ظرف می‌باشد.

❋ در مدل پراکندگی، میزان انحراف از جریان ایده‌آل با پارامتر D بیان می‌باشد.

اگر پراکندگی کم باشد $D \to 0$ ⟹ $\frac{D}{uL} \to 0$ ⟹ $perfect\ plug\ flow$

اگر پراکندگی زیاد باشد $D \to \infty$ ⟹ عمل اختلاط یا نفوذ مولکولی بی نهایت است ⟹ $perfect\ mixed\ flow$

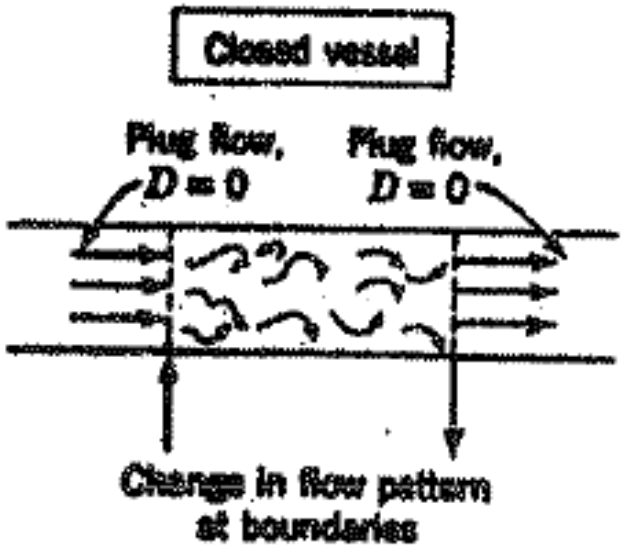
یعنی مخلوط شدن کامل

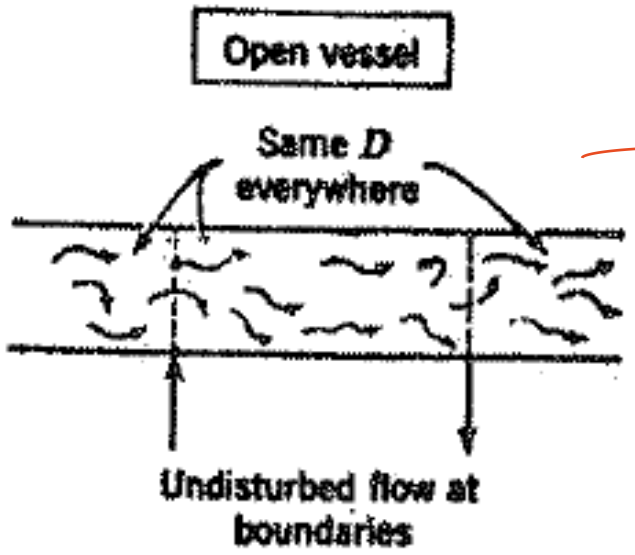
❋ وقتی پارامتر D کوچک باشد مدل دقت خوبی دارد ولی در D های بزرگ مدل قابل ارائه نیست.

ظروف بسته و باز:

اگر ظرف یا راکتور فوق (برج اکنده) را در نظر بگیریم در داخل آن یک جریان پراکنده داریم

برای جریان ورودی و خروجی مواد دو حالت داریم:





به این ظرف Open vessel گویند که به واقعیت نزدیک‌تر است.

اگر جریان ورودی و خروجی سیال پلاگ باشد به این ظرف closed vessel گوییم.

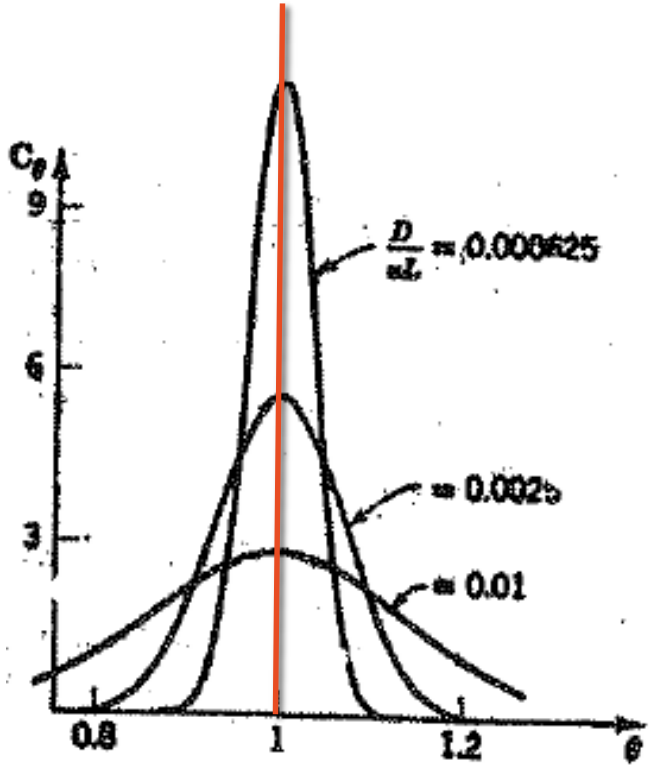
عکس‌العمل ظرف نسبت به یک ورودی دلتا (ضربان ایده‌آل):

C_θ نرمال شده

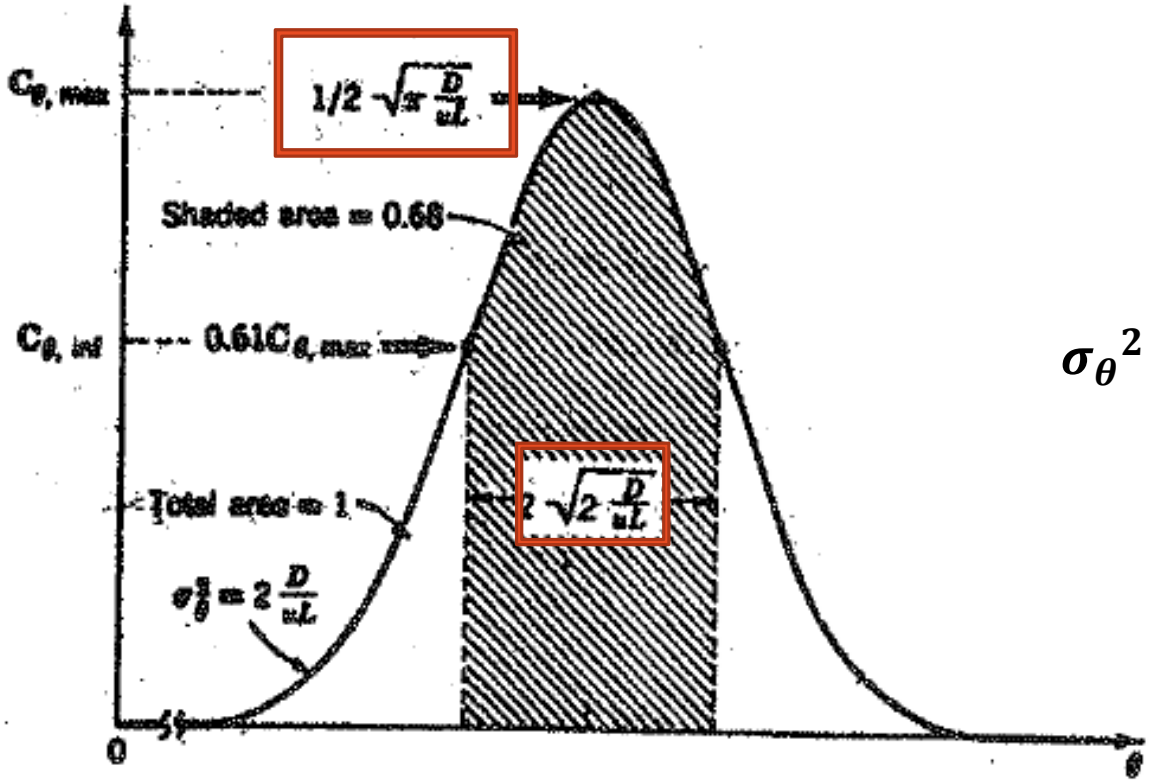
$$C_\theta = \frac{1}{2\sqrt{\pi(D/uL)}} \exp\left[-\frac{(1-\theta)^2}{4(D/uL)}\right]$$

ترسیم معادله

D/uL = 0, Plug flow



اگر D/uL کم باشد معادله فوق به شکل یک توزیع متقارن (گوسی شکل) از ردیاب را پیش‌بینی می‌کند. در صورتی که منحنی بدست آمده گوسی باشد از آمار و احتمالات داریم:



$$\sigma_\theta{}^2 = \frac{2D}{uL}$$

با افزایش D/uL شکل منحنی از حالت گوسی شکل خارج شده و پراکندگی از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$\sigma_\theta{}^2 = \frac{2D}{uL} - 2\left(\frac{D}{uL}\right)^2\left(1 - e^{-\frac{uL}{D}}\right)$$

برای ظرف بسته

$$\sigma_\theta{}^2 = \frac{2D}{uL} + 8\left(\frac{D}{uL}\right)^2$$

برای ظرف باز

خلاصه:

اگر اطلاعات آزمایشگاهی (عددی) در دسترس باشد:

$$\bar{t} = \frac{\sum t_i . c_i . \Delta t_i}{\sum c_i . \Delta t_i}$$

$$\sigma^2 = \frac{\sum {t_i}^2 . c_i . \Delta t_i}{\sum c_i . \Delta t_i} - \bar{t}^2$$

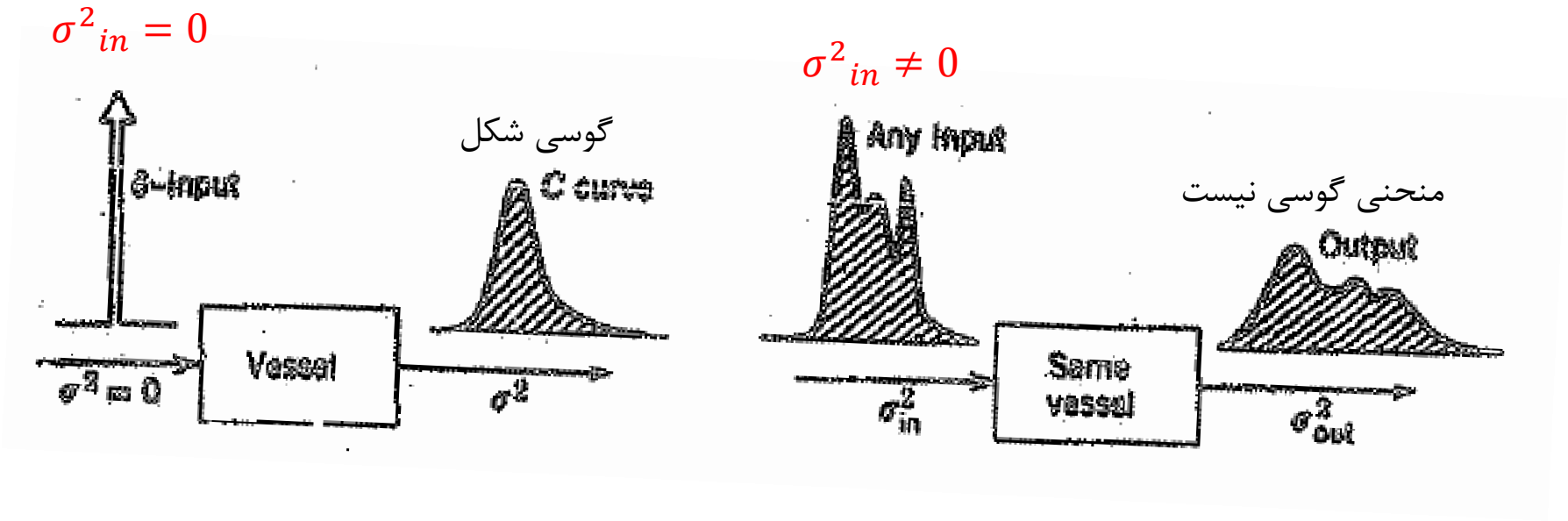
$$\longrightarrow \quad \boldsymbol{{\sigma_\theta}^2 = \frac{\sigma^2}{\bar{t}^2} = \frac{2D}{uL}}$$

محاسبه $\frac{D}{uL}$

- $\frac{D}{uL} < 0.001$ پراکندگی کم و مدل فوق مناسب
- $\frac{D}{uL} > 0.001$ پراکندگی زیاد و مدل فوق خیلی مناسب نیست.

* جهت تعیین D/uL لازم نیست که حتما یک پالس کامل در ورودی تزریق کنیم. می‌توانیم یک ورودی پله ای وارد کنیم. در این صورت از نمودار F استفاده می‌کنیم و در تمام نقاط تجربی شیب خط مماس را پیدا می‌کنیم (مشتق)، و بر حسب زمان آن را ترسیم می‌کنیم. و از روی منحنی بدست آمده D/uL را تعیین می‌کنیم.

حال یک ورودی دلخواه به سیستم وارد می‌کنیم:



عاملی که باعث انحراف شده (یعنی ظرف) برای هر دو تحریک یکسان است و با استفاده از خاصیت جمع‌پذیری داریم:

$$\sigma^2{}_{out} - \sigma^2{}_{in} = \sigma^2 - 0 \rightarrow \frac{\sigma^2{}_{out} - \sigma^2{}_{in}}{\bar{t}^2} = \frac{\sigma^2}{\bar{t}^2} = \frac{2D}{uL}$$

مثال ۳: با استفاده از مدل پراکندگی برای ظرف واکنش در مثال ۱، عدد پراکندگی ظرف (D/uL) را بدست آورید.

$$\boldsymbol{\sigma_t}^2 = \frac{\sum \boldsymbol{t_i}^2 . \boldsymbol{c_i}}{\sum \boldsymbol{c_i}} - \bar{\boldsymbol{t}}^2 = \frac{\sum \boldsymbol{t_i}^2 . \boldsymbol{c_i}}{\sum \boldsymbol{c_i}} - \left(\frac{\sum \boldsymbol{t_i} . \boldsymbol{c_i}}{\sum \boldsymbol{c_i}}\right)^2$$

$$\sum c_i = 0 + 3 + 5 + 5 + 5 + 4 + 2 + 1 + 0 = 20$$

$$\sum t_i . c_i = (5 \times 3) + (10 \times 5) + \cdots + (30 \times 1) = 300 \ \frac{min.gr}{lit}$$

$$\sum {t_i}^2 . c_i = (25 \times 3) + (100 \times 5) + \cdots + (900 \times 1) = 5450 \ \frac{min^2.gr}{lit}$$

$${\sigma_t}^2 = \frac{5450}{20} - \left(\frac{300}{20}\right)^2 = 47.5 \qquad {\sigma_\theta}^2 = \frac{{\sigma_t}^2}{\bar{t}^2} = \frac{47.5}{\left({}^{300}/_{20}\right)^2} = 0.211 \qquad \frac{D}{uL} = \frac{0.211}{2} = 0.105$$

از رابطه زیر نیز می‌توان استفاده کرد:

$${\sigma_\theta}^2 = \frac{2D}{uL} - 2\left(\frac{D}{uL}\right)^2 \left(1 - e^{-\frac{uL}{D}}\right) = 0.211 \xrightarrow{\text{حدس و خطا}} \frac{D}{uL} = 0.120$$