

طراحی راکتور پیشرفته

مرجع: طراحی راکتورهای شیمیایی، لون اشپیل
ترجمه دکتر سهرابی

Ref.: Chemical Reaction Engineering, Levenspiel

مدرس: یگانه داودبیگی

(جلسه سیزدهم)

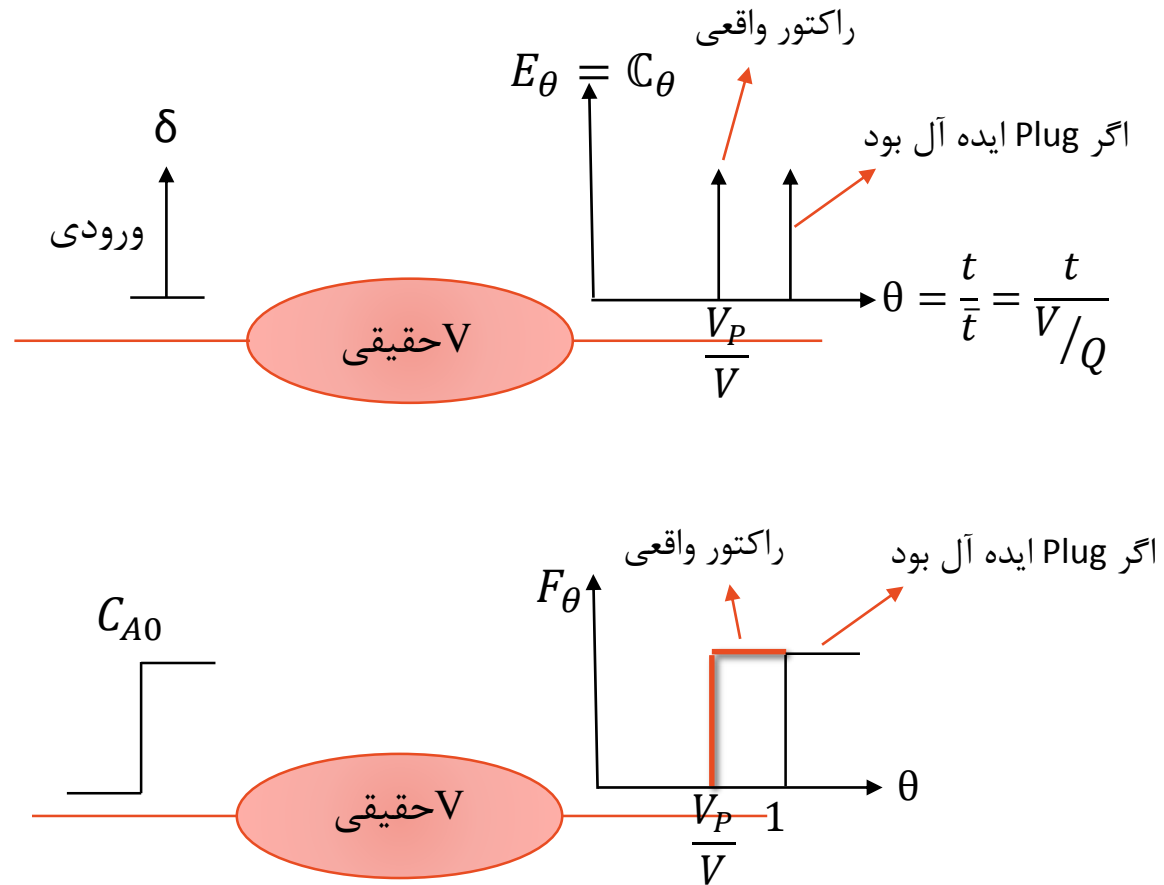
مدل‌های چند پارامتری

گاهی اوقات میزان انحراف راکتور از حالت ایده‌آل به گونه‌ای است که مدل‌های تک پارامتری گفته شده توجیه‌کننده رفتار سیستم نیستند. یک راکتور حقیقی را می‌توان در حالت کلی متشکل از نواحی یا راکتورهایی از قبیل plug ایده‌آل، mixed ایده‌آل، plug پراکنده و ناحیه مردابی فرض نمود، که این نواحی به طرق مختلف با یکدیگر ارتباط دارند و مجموعاً رفتار راکتور حقیقی را توجیه می‌کنند. در مورد مثال فوق مدل چهار پارامتری است که مد نظر ما نیست.

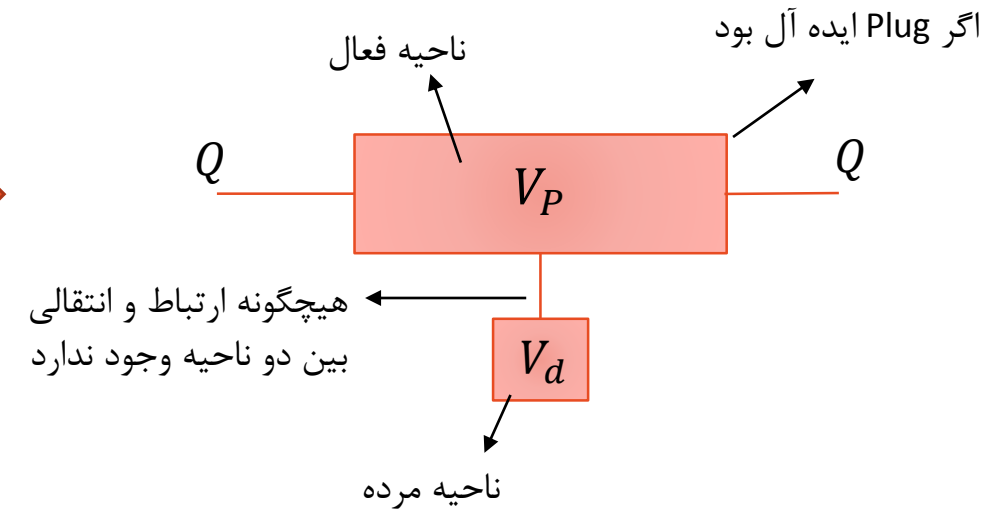
مدل دوپارامتری:

در یک نوع از این مدل‌ها، راکتور حقیقی را متشکل از یک فضا یا ناحیه فعال (راکتور mixed یا plug ایده‌آل) و یک فضای مردابی یا مرده در نظر می‌گیریم. فضای مردابی یعنی قسمتی از حجم راکتور که سیال برای مدت طولانی در آن بی حرکت می‌ماند و باعث کاهش حجم مفید راکتور و نهایتاً راندمان راکتور می‌شود. مثلاً در راکتورهای بستر پر شده، در صورتی که سیال وارد خلل و فرج جامد شود یا در گوشه‌های راکتور سیال به تله بیفتد این حالت پیش می‌آید، و یا اینکه سیال جذب packing شود. بنابراین سیال مدت زیادی در راکتور می‌ماند و پروفایل ردیاب نسبتاً وسیع می‌شود. در این موارد از مدل‌های دو پارامتری استفاده می‌کنیم.

در یکی از مدل‌های دو پارامتری هیچ ارتباطی بین فضای فعال (active) و فضای مرده (dead) در نظر نمی‌گیریم (البته این ضعف مدل است). مثلاً اگر عکس‌العمل یک راکتور حقیقی (plug حقیقی) نسبت به آزمایش ردیاب بصورت زیر باشد:



مدل



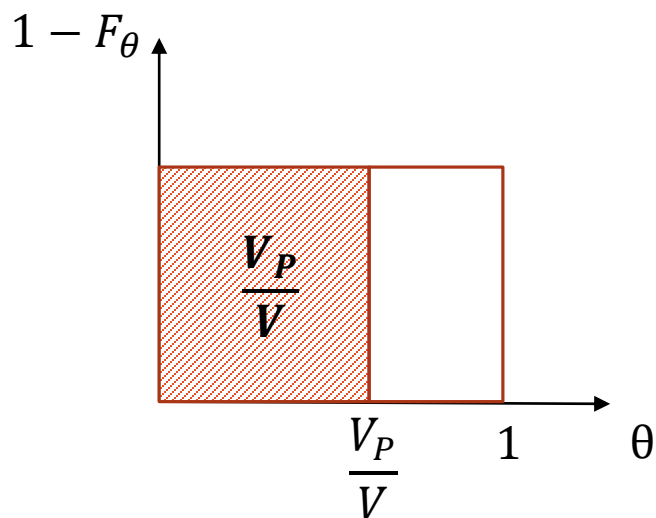
$$V = V_P + V_d \quad (1)$$

$\frac{V_P}{Q}$ = زمان اقامت سیال در راکتور فعال plug = زمان اقامت سیال در راکتور حقیقی = زمانی که تابع پله‌ای (یا دلتا) در خروجی ظاهر می‌شود

$$\theta = \frac{t}{\bar{t}} = \frac{V_P/Q}{V/Q} = \frac{V_P}{V} \quad (2)$$

حجم ظاهری راکتور

(2) را از شکل می‌خوانیم (1) را نیز داریم و از حل دو معادله و دو مجهول، پارامترها بدست می‌آیند.

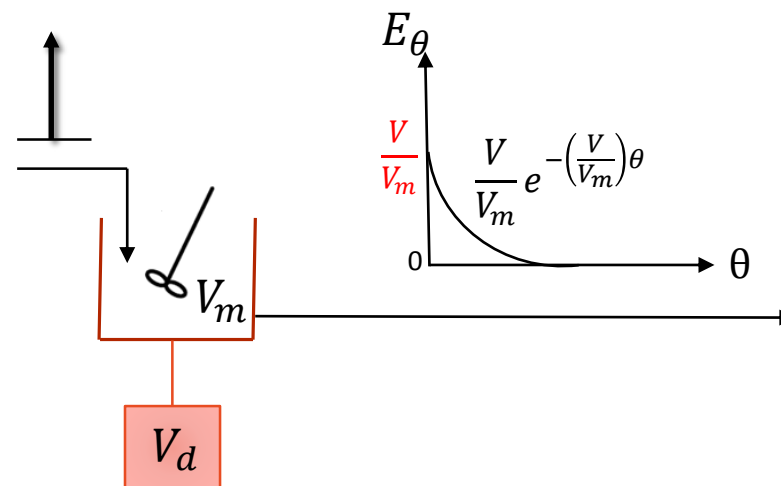
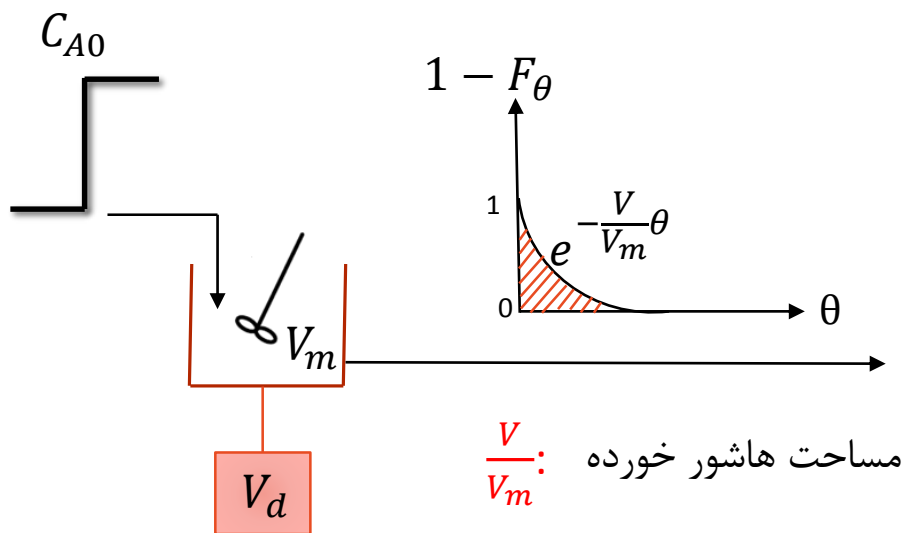
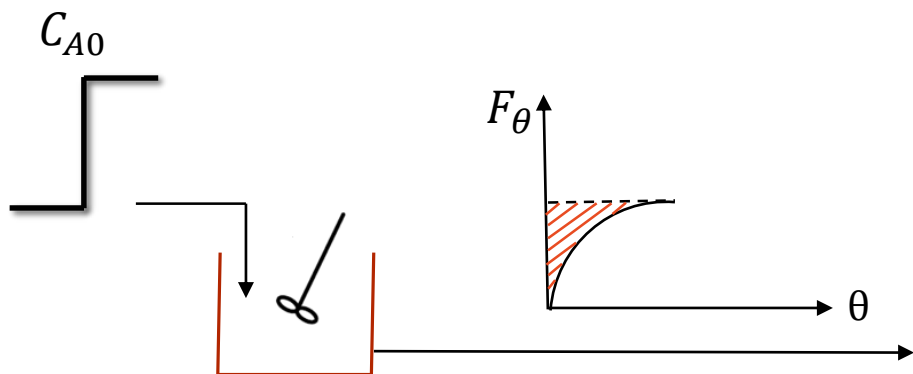


* معمولاً $1-F$ را بر حسب θ رسم می‌کنند.

$\frac{V_P}{V}$ = مساحت سطح هاشورخورده = درصدی از حجم اکتور که فعال می‌باشد

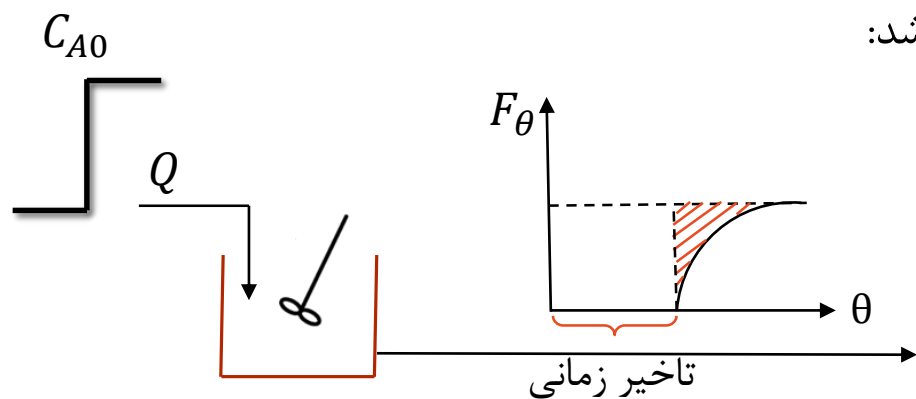
عکس‌العمل یک راکتور mixed حقیقی نسبت به آزمایش ردیاب:

اگر سطح هاشورخورده مساوی یک باشد راکتور mixed ایده‌آل است.
اگر سطح هاشورخورده کمتر از یک باشد راکتور mixed با فضای مردابی است.



از طرفی $V = V_m + V_d$

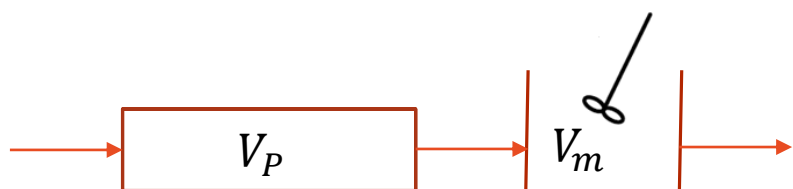
اگر عکس‌العمل حاصل از تزریق یک تابع پله‌ای به یک راکتور mixed واقعی به صورت زیر باشد:



تاخیر مربوط به راکتور plug است و برابر $\frac{V_P}{Q}$ است.

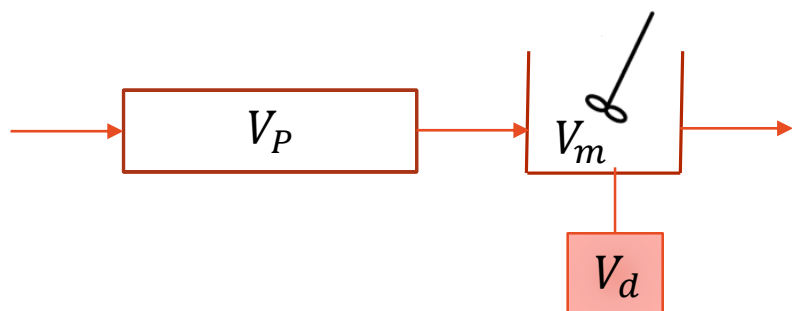
* اگر سطح هاشورخورده مساوی یک باشد:

مدل دو پارامتری



$$\text{تاخیر زمانی} = \frac{V_P}{Q}$$

$$V = V_P + V_m \quad \text{و} \quad \theta = \frac{t}{\bar{t}} = \frac{V_P/Q}{V/Q} = \frac{V_P}{V} \quad \text{تاخیر زمانی بدون بعد}$$

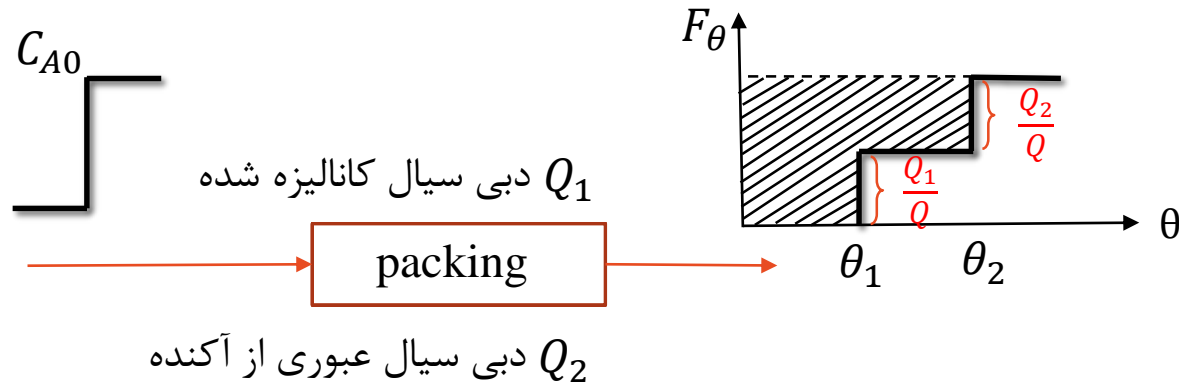


$$V = V_P + V_m + V_d$$

* اگر سطح هاشورخورده مساوی یک نباشد:

که این مورد مد نظر ما نیست.

حال حالتی را در نظر می‌گیریم که یک راکتور آکنده داریم که packing آن شکسته شده و سیال کانالیزه می‌شود.



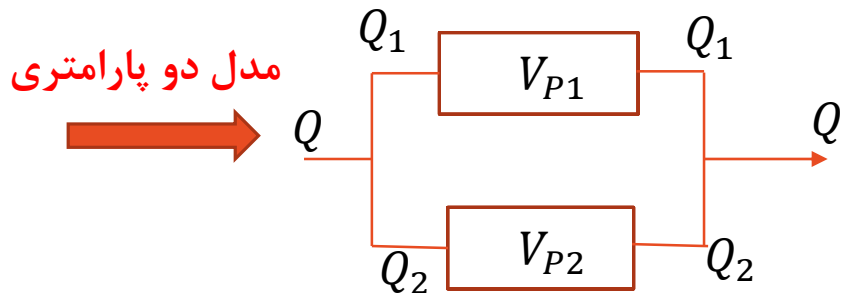
* اگر سطح هاشورخورده مساوی یک باشد:

$$Q = Q_1 + Q_2 \text{ همیشه}$$

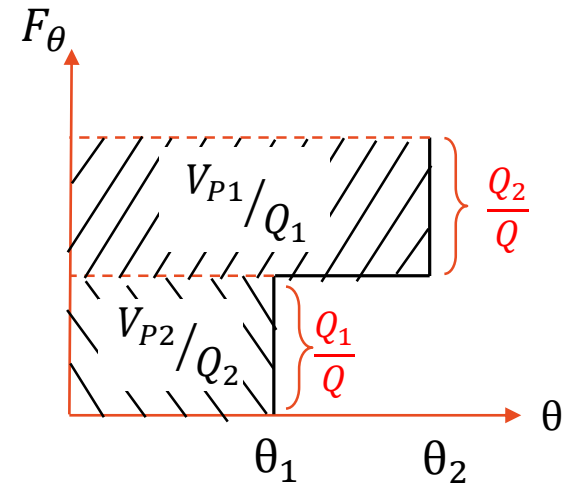
$$Area = 1 \quad V = V_{P1} + V_{P2}$$

پله اول پس از این زمان ظاهر می‌شود. $\text{زمان اقامت سیال در راکتور اول} = \frac{V_{P1}}{Q_1}$

پله دوم پس از این زمان ظاهر می‌شود. $\text{زمان اقامت سیال در راکتور دوم} = \frac{V_{P2}}{Q_2}$

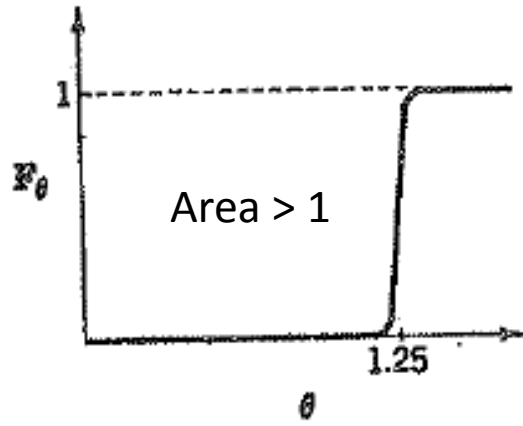


زمان اقامت راکتور $\bar{t} = \frac{V}{Q}$ $\left\{ \begin{array}{l} \theta_1 = \frac{V_{P1}/Q_1}{V/Q} = \frac{V_{P1}}{V} \cdot \frac{Q}{Q_1} \\ \theta_2 = \frac{V_{P2}/Q_2}{V/Q} = \frac{V_{P2}}{V} \cdot \frac{Q}{Q_2} \end{array} \right.$



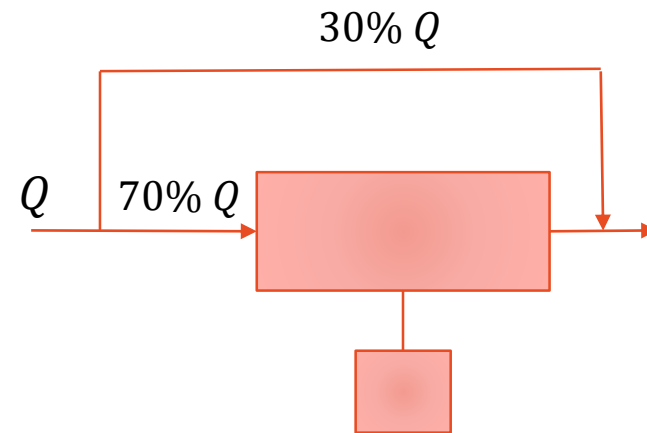
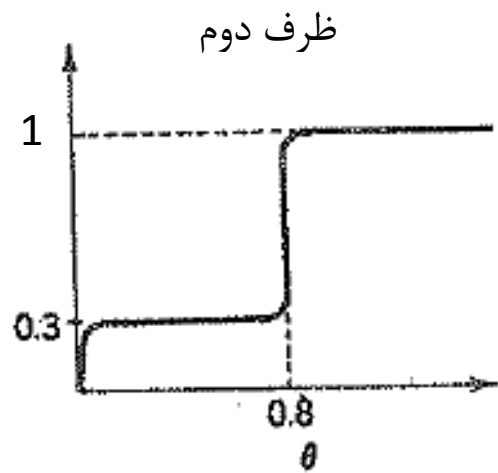
مساله ۲۲ فصل ۹: نتایج آزمایش ردیاب (بصورت پلکانی) در دو ظرف مختلف در شکل نشان داده شده است. در هر دو آزمایش $V=80 \text{ lit}$ و $Q=100 \text{ lit/min}$ است. با توجه به شکل‌های بدست آمده، مدل‌های مناسبی برای راکتورهای فوق پیشنهاد کنید.

ظرف اول



اگر راکتور plug کامل باشد این پله باید در $\theta = 1$ اتفاق بیفتد. سه حالت دارد:

- (۱) ظرف بستر آکنده ایده‌آل باشد و پرکن ردیاب را جذب سطحی کرده و پس از مدتی ردیاب آزاد گردد.
- (۲) نقطه تزریق دقیقاً در مدخل راکتور نیست.
- (۳) در اندازه‌گیری زمان یا دبی جریان یا تخمین حجم اشتباه شده است.



مدل راکتور plug با جریان bypass و حجم مرده

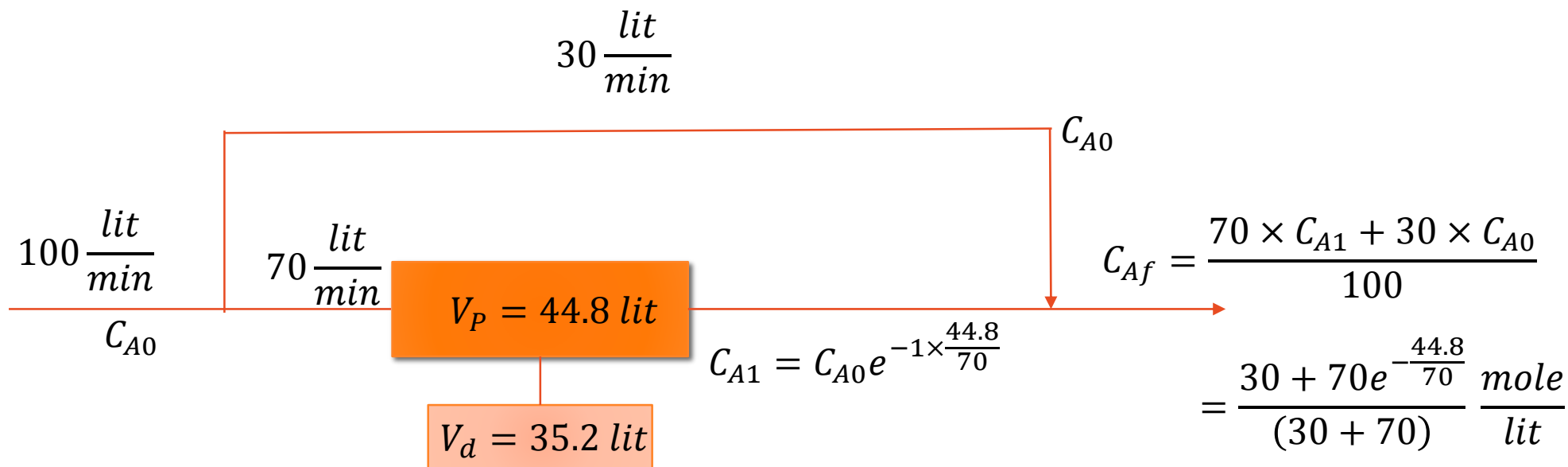
$$\theta = 0.8 = \frac{t}{\bar{t}} = \frac{V_P / Q_P}{V / Q} = \frac{V_P / 0.7Q}{V / Q} = \frac{V_P}{V} \cdot \frac{1}{0.7} \rightarrow \frac{V_P}{V} = 0.8 \times 0.7 = 0.56$$

$$V_P = 0.56V = 0.56 \times 80 \text{ lit} = 44.8 \text{ lit}$$

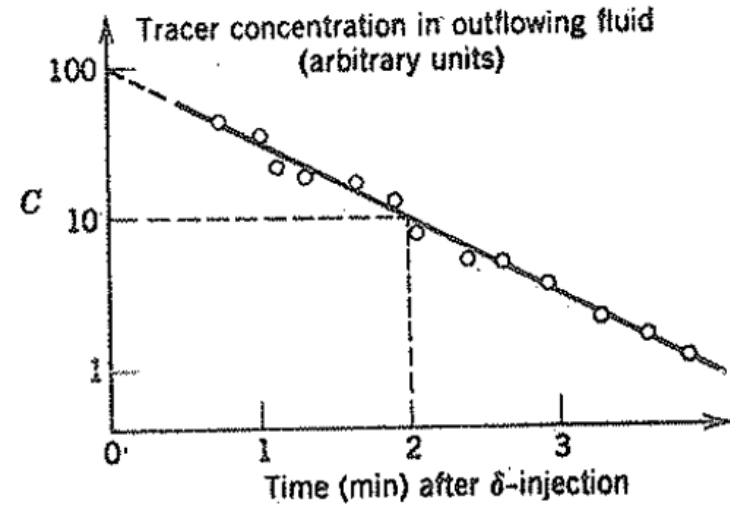
$$V_d = V - V_P = 80 - 44.8 = 35.2 \text{ lit}$$

حال اگر در این راکتور واکنش درجه اول ساده با $k=1 \text{ min}^{-1}$ انجام گیرد درصد تبدیل خروجی از این ظرف چقدر خواهد بود در صورتی که غلظت خوراک ورودی (C_{A0}) یک مول بر لیتر باشد.

حداقل غلظت قابل انتظار $= C_A = C_{A0} e^{-1 \times 0.8}$: اگر راکتور plug ایده‌آل باشد



مساله ۲۵ از فصل ۹: آزمایش ردیاب را در ظرفی به حجم 100 lit و با دبی 100 lit/min انجام می‌دهند. عکس‌العمل ظرف در مقابل یک ضربه ناگهانی در شکل زیر نشان داده شده است. مدلی برای این راکتور پیشنهاد کنید.



اگر راکتور mixed کامل باشد

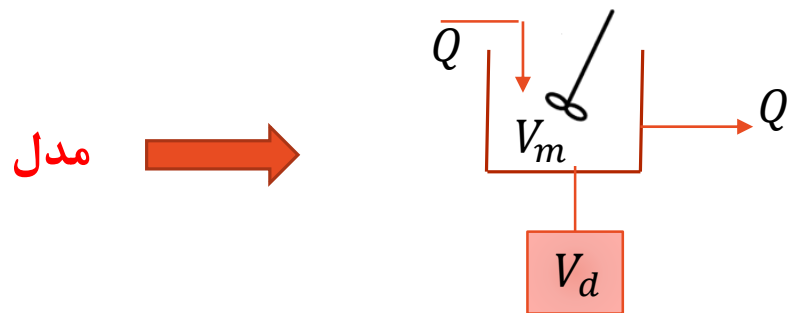
$$C = E = \frac{1}{t} \cdot e^{-\frac{t}{\bar{t}}} \rightarrow C = \frac{S}{\bar{t}} \cdot e^{-\frac{t}{\bar{t}}} \rightarrow \ln C = \ln \left(\frac{S}{\bar{t}} \right) - \frac{1}{\bar{t}} \cdot t = \alpha - \frac{1}{\bar{t}} \cdot t$$

بنابراین اگر راکتور mixed کامل باشد، تغییرات لگاریتم غلظت باید خطی با شیب $-\frac{1}{\bar{t}}$ یا $-\frac{1}{V/Q}$ بدست دهد.

$$\text{Slope} = -\frac{1}{\bar{t}} = -\frac{1}{V/Q} = -\frac{1}{100/100} = -1$$

پس راکتور mixed ایده‌آل نیست. $\text{Slope} = \frac{\ln(100) - \ln(10)}{0 - 2} = -1.15$ از روی منحنی

$$\frac{1}{\bar{t}} = 1.15 \rightarrow \bar{t}_{\text{واقعی}} = \frac{1}{1.15} < 1 = \bar{t}_{\text{ظاهری}} \rightarrow \text{فضای مرده داریم}$$



$$\bar{t}_{\text{واقعی}} = \frac{V_m}{Q} \rightarrow V_m = \frac{100}{1.15} = 86.9 \text{ lit}$$

$$V_d = V - V_m = 100 - 86.9 = 13.1 \text{ lit}$$