

بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِیْمِ

حل تشریحی مسائل

# راکتورہاے تیمیاریے

ویرایش سوم

جلد دوم

Octave Levenspiel

دوره کارشناسی ارشد و دکترا

ترجمہ و تالیف:

مهندس سید ہادی سیدین  
مهندس مہدی محامی

زیر نظر اساتید:

دکتر فرہاد خراشہ  
عضو ہیئت علمی دانشگاه صنعتی شریف

دکتر مہدی ارجمند  
عضو ہیئت علمی دانشگاه آزاد

سرشناسه	: سیدین، هادی، ۱۳۶۳ -
عنوان و نام پدیدآور	: حل تشریحی مسائل راکتورهای شیمیایی / ترجمه و تالیف سیدهادی سیدین، مهدی محامی.
مشخصات نشر	: تهران: پارسیا، ۱۳۹۱.
مشخصات ظاهری	: ۱۴۴ ص.
شابک	: ج. ۴: ۹-۵۴-۶۲۵۷-۶۰۰-۹۷۸
وضعیت فهرست نویسی	: فیبا
یادداشت	: نویسنده همکار جلد دوم مهدی محامی است.
یادداشت	: ج. ۱ و ۲ قبلا به صورت جداگانه توسط انتشارات نوآور و پارسیا منتشر شده است.
یادداشت	: ج. ۲ (چاپ اول: ۱۳۹۱) (فیبا).
یادداشت	: کتاب حاضر حل المسائل کتاب "طراحی راکتورهای شیمیایی Chemical reaction engineering, 3rd ed, 1999 اثر اوکتاو لونسپیل است.
مندرجات	: ج. ۲. دوره کارشناسی ارشد - دکترا.
عنوان دیگر	: طراحی راکتورهای شیمیایی.
موضوع	: راکتورهای شیمیایی
موضوع	: راکتورهای شیمیایی -- مسائل، تمرین‌ها و غیره (عالی)
شناسه افزوده	: محامی، مهدی، ۱۳۶۲ -
شناسه افزوده	: لونسپیل، اوکتاو . طراحی راکتورهای شیمیایی
رده بندی کنگره	: ۱۳۹۱ ۴۲۴/۹ل ۱۵۷/ TP
رده بندی دیویی	: ۲۸۳۲/۶۶۰
شماره کتابشناسی ملی	: ۲۹۳۲۷۲۲

## حل تشریحی مسائل راکتورهای شیمیایی (دوره کارشناسی ارشد - دکترا) - جلد دوم

ترجمه و تألیف:	سیدهادی سیدین - مهدی محامی
ناشر:	پارسیا
شمارگان:	۱۰۰۰ نسخه
مدیر فنی:	محمدرضا نصیرنیا
نوبت چاپ:	سوم - ۱۳۹۱
شابک:	۹-۵۴-۶۲۵۷-۶۰۰-۹۷۸



قیمت: ۶۵۰۰ تومان

نمایشگاه دائمی و مرکز فروش:

پخش نوآور: تهران - خ انقلاب، خ فخررازی، خ شهدای زاندارمری نرسیده به خ دانشگاه ساختمان ایرانیان،

پلاک ۵۸، طبقه دوم، واحد ۶

۰۹۱۲۶۰۶۲۳۸۳ - ۶۶۴۸۴۱۹۱-۹۲

www.noavarpub.com

حق چاپ و نشر برای ناشر محفوظ است..

## فهرست مطالب

مقدمه:

فصل ۱۱: مبانی جریان غیر ایده‌آل

فصل ۱۲: مدل‌های مجزا

فصل ۱۳: مدل پراکندگی

فصل ۱۴: مدل تانک‌های سری (پشت سر هم)

فصل ۱۵: مدل جابجایی برای جریان آرام

فصل ۱۷: معرفی واکنش‌های غیرهمگن

فصل ۲۳: سینتیک واکنش‌های سیال - سیال

فصل ۲۴: طراحی راکتورهای سیال - سیال

فصل ۲۵: سینتیک واکنش‌های ذره - سیال

فصل ۲۶: طراحی راکتورهای ذره - سیال

جدول علائم اختصاری

شیرنوآور

تلفن: ۲-۶۶۴۸۴۱۹۱

به نام او که دانش را آفرید و آگاهی را همانند  
چراغی درخشان در همه جا گستراند

### مقدمه چاپ سوم:

با توجه به استقبال گسترده شما دانشجویان عزیز، چاپ سوم این کتاب را در مدت کوتاهی با ویرایش مجدد و تصحیح اشتباهات جزئی آماده کردیم. به دلیل یکسان نبودن منابع تدریس در دانشگاه‌های مختلف آزاد و سراسری، سه فصل ۸، ۹ و ۱۰ در جلد اول این حل‌المسائل آورده شده است.

نگاهی به تعداد دانشجویان ورودی به مقاطع کارشناسی ارشد و دکتری، نشان می‌دهد که در سال‌های اخیر، تقاضا برای ادامه تحصیل در دوره‌های تحصیلات تکمیلی دانشگاه‌ها و مراکز آموزش عالی به طور چشمگیری افزایش یافته است. ولی بسیاری از منابع درسی در این دوره، به زبان اصلی بوده و به علت کوتاه بودن مدت زمان یک ترم تحصیلی، فرصت کافی برای تمرین و حل تمامی مسائل هر فصل کتاب درسی، برای دانشجویان عزیز وجود ندارد.

کتاب حاضر، دارای ۱۰ فصل می‌باشد، که تمام سرفصل‌های مورد نظر آموزش عالی، در مقاطع کارشناسی ارشد و دکتری از فصل ۱۱ تا ۱۷ و سپس ۲۳ تا ۲۶ با جواب‌های کاملاً تشریحی را، برای مراکز آموزشی سراسری و آزاد در برمی‌گیرد.

بسیاری از شاخه‌های مهندسی شیمی (جداسازی- فرآیند- ترموسینتیک- فرآوری گاز- پتروشیمی- پالایش نفت- پلیمر) و رشته‌هایی چون مهندسی نانوتکنولوژی، مهندسی بیوتکنولوژی، داروسازی، مهندسی هسته‌ای، مهندسی تسلیحات و نیز برخی گرایش‌های مهندسی مکانیک یا مواد، با این درس سروکار دارند و این درس از اهمیت زیادی در دوره تحصیلات تکمیلی، برخوردار می‌باشد. کتاب طراحی راکتورهای شیمیایی نوشته پروفیسور Octave Levenspiel و

ترجمه دکتر سهرابی (ویرایش سوم)، به عنوان منبع اصلی بسیاری از رشته‌های دوره ارشد، شناخته شده و یکی از منابع مهم، برای آمادگی در آزمون دکتر می‌باشد. همچنین بسیاری از مسائل کتاب حاضر، کاربردی بوده و در صنعت مورد استفاده قرار می‌گیرد. بنابراین تصمیم گرفتیم، تا یک کتاب کمک درسی، همانند دوره کارشناسی تالیف نماییم.

این کتاب، ظرف مدت ۵ ماه با تلاش و کوشش بسیار و با کمک برخی دانشجویان گرامی جهت ترجمه، تصحیح و مرتب‌سازی مطالب، آماده و کامل شده است. جواب‌ها کاملا تشریحی و قابل فهم بوده و درک آن‌ها آسان می‌باشد. لازم به ذکر است، که در تهیه این کتاب از نرم افزارهایی چون Snagit, Paint و همچنین Microsoft Office Word 2007 و Microsoft Office Visio استفاده و برخی از تصاویر نیز، عینا از کتاب درسی گنجانده شده است.

در اینجا ضمن شکرگزاری به درگاه ایزد منان، از تمامی عزیزانی که در تهیه این اثر ارزشمند یار و یاور ما بودند، از جمله خانواده‌های گرامی که با صبر و مهربانی خود ما را پشتیبانی نمودند و همچنین پرسنل محترم انتشارات نوآور، که کمال همکاری را داشتند، نهایت تشکر و قدردانی را داریم.

در پایان امید است، که این کتاب تاثیر مهمی در پیشرفت تحصیلی و علمی دانشجویان عزیز داشته باشد. از آنجایی که هیچ اثری خالی از نقص و اشتباه نمی‌باشد، از شما دانشجویان گرامی، تقاضا می‌شود تا ایرادات و اشتباهات احتمالی را شناسایی نمایید، تا در چاپ‌های بعدی اصلاح گردد.

سید هادی سیدین - مهدی محامی

آذر ۱۳۹۱

E-mail: [Ertebatbama@gmail.com](mailto:Ertebatbama@gmail.com)

تلفن: ۲-۶۶۲۸۲۱۹۱

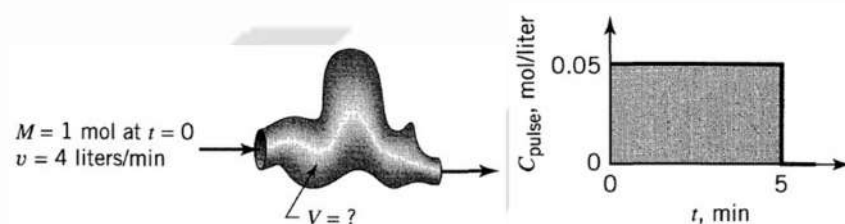
## فصل ۱۱

### مبانی جریان غير ایده آل

(۱-۱۱) یک ورودی پالسی به یک لوله، نتایج نشان داده شده در شکل ۱۱،۱ را حاصل می‌کند.

(a) موازنه جرم را با منحنی tracer (ردیاب) بررسی کنید، تا مطمئن شوید، که نتایج سازگار هستند.

(b) در صورتی که نتایج سازگار است،  $t$  و  $V$  را تعیین کرده و منحنی  $E$  را رسم کنید.



شکل (۱-۱۱)

حل قسمت a: ابتدا بررسی می‌نماییم، که نتایج مربوط به موازنه جرم سازگار باشند.

۱- از روی رابطه زیر:

$$\text{Area} = \frac{M}{v} = \frac{1 \text{ mol}}{4 \frac{\text{lit}}{\text{min}}} = 0.25 \frac{\text{mol} \cdot \text{min}}{\text{lit}}$$

۲- از روی نمودار غلظت و زمان نشان داده شده در شکل:

$$\text{Area} = \left(0.05 \frac{\text{mol}}{\text{lit}}\right) (5 \text{min}) = 0.25 \frac{\text{mol} \cdot \text{min}}{\text{lit}}$$

در نتیجه می‌بینیم که نتایج با هم برابر و سازگار می‌باشند.

**حل قسمت b:** متوسط زمان اقامت به صورت زیر محاسبه شده و سپس حجم

$$\bar{t} = \frac{V}{v}$$

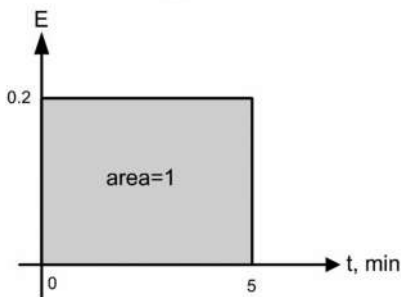
سیستم راکتور حساب می‌گردد:

$$V = \bar{t}v = 2.5 \times 4 = 10 \text{ lit}$$

پس بنابراین منحنی E را بر حسب زمان از

۰ تا ۵ دقیقه رسم می‌نماییم:

$$E = \frac{C}{M} = \frac{C}{\frac{1}{4}} = 4C = 0.2$$

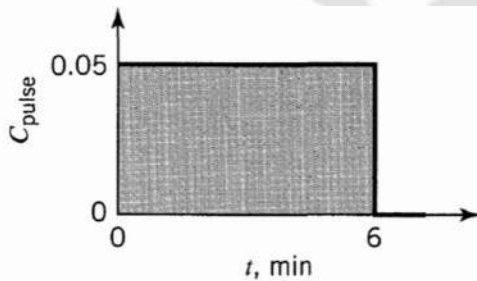


و چون می‌دانیم مساحت زیر نمودار E - t

برابر ۱ می‌باشد داریم:

$$E = \frac{1}{5} = 0.2$$

(۲-۱۱) مسئله ۱-۱۱ را با یک تغییر تکرار کنید. اکنون منحنی ردیاب در شکل



شکل (۲-۱۱)

۱۱،۲ نشان داده شده است.

**حل:** مانند مسئله قبل عمل کرده و ابتدا مقدار A را از روی نمودار و فرمول به

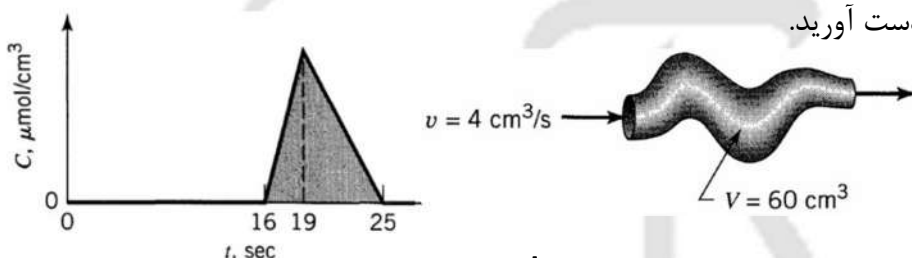
دست آورده و با هم مقایسه می‌کنیم.

$$A_1 = \text{Area from formula} = \frac{M}{v} = \frac{1}{4} = 0.25 \frac{\text{mol} \cdot \text{min}}{\text{lit}}$$

$$A_2 = \text{Area from graph} = 6 \times 0.05 = 0.3$$

$$A_1 \neq A_2$$

بنابراین موازنه جرم ناسازگار است و دیگر حل مسئله را ادامه نمی‌دهیم.  
 (۳-۱۱) یک ورودی پالسی به لوله نتایج نشان داده شده، در شکل ۱۱،۳ را ارائه می‌دهد.  
 (a) آیا نتایج سازگار هستند؟ (موازنه جرم را با منحنی ردیاب تجربی بررسی کنید)  
 (b) اگر نتایج سازگار باشند، مقدار ردیاب ایجاد شده توسط M و منحنی E را به دست آورید.



شکل (۳-۱۱)

**حل قسمت a:** دوباره همانند مسائل قبل، سازگار بودن نتایج مربوط به نمودار و فرمول را بررسی می‌نماییم.

روش ۱- از روی رابطه زیر متوسط زمان اقامت ردیاب (tracer) را حساب می‌کنیم.

$$\bar{t} = \frac{V}{v} = \frac{60}{4} = 15 \text{ sec}$$

روش ۲- از روی منحنی تجربی مورد نظر نیز، همین زمان را محاسبه می‌نماییم.  
 از دوره کارشناسی به یاد داریم، که در درس استاتیک، برای محاسبه مرکز سطح به صورت زیر عمل می‌کردیم و در مثلث قائم الزاویه، مقدار  $\frac{1}{3}$  از قاعده را برای

محاسبه  $\bar{x}$  در نظر می‌گرفتیم.  $\frac{1}{3} \cdot (19 - 16) = 1$  و  $\bar{x} = 19 - 1 = 18$  و

همچنین داریم  $\frac{1}{3} \cdot (25 - 19) = 2$  و  $19 + 2 = 21$  و مساحت مثلث قائم

الزاویه نیز عبارتست از: قاعده ضرب در ارتفاع تقسیم بر دو. بنابراین به صورت زیر زمان اقامت متوسط را محاسبه می‌نماییم.

$$\bar{t} = \frac{1}{3} (18 \times 1 + 21 \times 2) = 20 \text{ sec}$$

رابطه قبل ساده شده معادله زیر است و جواب‌ها یکسان می‌باشد.

$$A_t = A_1 + A_2$$



$$\bar{t} = \frac{A_1 \times \bar{x}_1 + A_2 \times \bar{x}_2}{A_t}$$

$$= \frac{(19 - 16) \cdot \frac{h}{2} \times 18 + (25 - 19) \cdot \frac{h}{2} \times 21}{(25 - 16) \cdot \frac{h}{2}} = 20 \text{ sec}$$

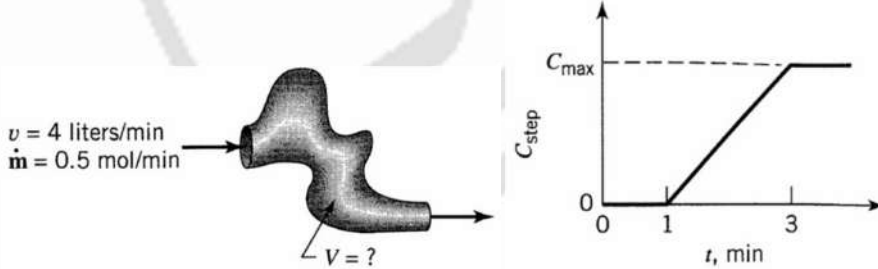
**حل قسمت b:** دو مقدار روش ۱ و ۲ را با یکدیگر مقایسه می‌نماییم. ملاحظه می‌کنید که حرکت ردیاب با تاخیر همراه است، بنابراین آزمایش به درستی انجام نشده و اشتباه رخ داده و بنابراین نتایج سازگار نیست.

$$\Rightarrow 15 \neq 20$$

(۴-۱۱) یک آزمایش پله‌ای روی یک راکتور انجام می‌شود. نتایج در شکل ۱۱،۴ نشان داده شده است.

(a) آیا موازنه جرم با منحنی ردیاب سازگار است؟

(b) در این صورت، حجم لوله  $V$ ،  $\bar{t}$  و منحنی‌های  $E$  و  $F$  را تعیین کنید.



شکل (۱۱-۴)

**حل قسمت a:** ابتدا سازگاری موازنه جرم را از روی مقدار زمان متوسط اقامت یا  $\bar{t}$  بررسی کرده و سپس حل مسئله را ادامه می‌دهیم.

$$\bar{t} = \frac{\int_0^{C_{\max}} t \, dC_{\text{step}}}{\int_0^{C_{\max}} dC_{\text{step}}} = \frac{1}{C_{\max}} \int_0^{C_{\max}} t \, dC_{\text{step}}$$

$$= \frac{1}{C_{\max}} \times A = \frac{1}{C_{\max}} [\text{مساحت کل}]$$

$$A = A_1 + A_2$$

تلفن: ۰۲۱-۶۶۸۱۹۱

$$\Rightarrow \bar{t} = \frac{1}{C_{\max}} \left[ 1 \times C_{\max} + \frac{2 \times C_{\max}}{2} \right] = 2 \text{ min}$$

$$C_{\max} = A_1 = \frac{\dot{m}}{v} = \frac{0.5}{4} = 0.125 \text{ min}$$

$$A_2 = \text{Area} = 2C_{\max}$$

در این قسمت در صورت سؤال  $C_{\max}$  ذکر نشده است. پس اگر  $C_{\max} = 0.125$  باشد، نتیجه سازگار است.

**حل قسمت b:** می توان مقادیر مورد نظر را، به صورت زیر محاسبه نمود:

$$\bar{t} = \frac{V}{v} \Rightarrow V = v \cdot \bar{t} = 4 \times 2 = 8 \text{ lit}$$

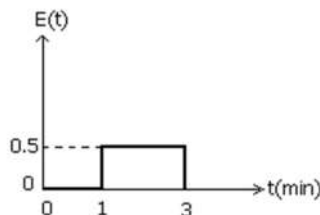
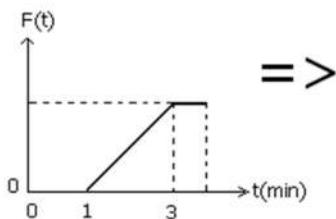
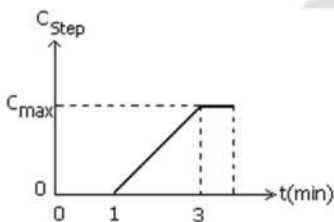
سایر مقادیر را می توان، به صورت تابعی از متغیر  $t$  و در بازه های مشخص در شکل محاسبه کرد.

$$C = \begin{cases} 0, & 0 < t < 1 \\ 0.063(t-1), & 1 < t < 3 \\ 0.125, & t > 3 \end{cases}$$

$$F = \frac{C}{C_{\max}} = \begin{cases} 0 & 0 < t < 1 \\ 0.5(t-1) & 1 < t < 3 \\ 1 & t > 3 \end{cases}$$

$$E = \frac{dF}{dt} = \begin{cases} 0 & 0 < t < 1 \\ 0.5 & 1 < t < 3 \\ 0 & t > 3 \end{cases}$$

اکنون نمودارها را به صورت زیر، رسم می نماییم:



۶۶

تلفن: