بسم الله الرحمن الرحیم

حل تشریحی مسائل

راکتورهای شیمیایی

ویرایش سوم

جلد اول

Octave Levenspiel

دوره کارشناسی

ترجمه و تألیف:
مهندس جواد خدیوی
مهندس سید هادی سیدین

زیر نظر اساتید:
دکتر فرهاد خراشه
عضو هیئت علمی دانشگاه صنعتی شریف

دکتر مهدی ارجمند
عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد

سرشناسه	: خدیوی، جواد، ۱۳۶۳ –
عنوان و نام پدیدآور	: حل تشریحی مسائل راکتورهای شیمیایی/ ترجمه و تالیف جواد خدیوی، سیدهادی سیدین.
مشخصات نشر	: تهران: پارسیا، ۱۳۹۱.
مشخصات ظاهری	: ۱۷۶ص.
شابک	: ج.۱: ۲-۵۳-۶۲۵۷-۶۰۰-۹۷۸
وضعیت فهرست نویسی	: فیپا
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) (فیپا).
یادداشت	: کتاب حاضر حل‌المسائل کتاب "طراحی راکتورهای شیمیائی Chemical reaction engineering,3rd ed,1999" اثر اوکتاو لونسپیل است.
مندرجات	: ج.۱. دوره کارشناسی.
عنوان دیگر	: طراحی راکتورهای شیمیائی.
موضوع	: رآکتورهای شیمیایی
موضوع	: رآکتورهای شیمیایی -- مسائل، تمرین‌ها و غیره (عالی)
شناسه افزوده	: سیدین، هادی، ۱۳۶۳ –
شناسه افزوده	: لونسپیل،اکتاو . طراحی راکتورهای شیمیایی
رده بندی کنگره	: ۱۳۹۱ ۴۲۴ط۹ل/۱۵۷ TP
رده بندی دیویی	: ۲۸۳۲/۶۶۰
شماره کتابشناسی ملی	: ۲۹۳۲۷۲۲

حل تشریحی مسائل راکتورهای شیمیایی (دوره کارشناسی) ـ جلد اول

ترجمه و تألیف:	**جواد خدیوی ـ سید هادی سیدین**
ناشر:	**پارسیا**
شمارگان:	**۱۰۰۰نسخه**
ناظر چاپ:	**محمدرضا نصیرنیا**
نوبت چاپ:	**دوم -۱۳۹۱**
شابک:	**۹۷۸-۶۰۰-۶۲۵۷-۵۳-۲**

قیمت: ۸۰۰۰ تومان

نمایشگاه دائمی و مرکز فروش:

پخش نوآور: تهران ـ خ انقلاب، خ فخررازی، خ شهدای ژاندارمری 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 اول: نگرشی بر مهندسی واکنش‌های شیمیایی
فصل دوم: سینتیک واکنش‌های همگن
فصل سوم: تفسیر نتایج حاصل از راکتورهای ناپیوسته
فصل چهارم: درآمدی بر طراحی راکتور
فصل پنجم: راکتورهای آرمانی برای واکنش‌های آرمانی
فصل ششم: طراحی راکتور برای واکنش‌های منفرد
فصل هفتم: طراحی برای واکنش‌های موازی
فصل هشتم: گوناگونی واکنش‌های چندگانه
فصل نهم: اثرات دما و فشار
فصل دهم: انتخاب راکتور مناسب

شرنوآور
تلفن: ۲-۶۶۴۸۴۱۹۱

مقدمه چاپ دوم:

خدا را شکر می‌کنیم که در این چاپ، بسیاری از ایرادات نگارشی و چاپی نسخه اولیه، اصلاح شد.

با توجه به استقبال بی‌نظیر دانشجویان مقطع کارشناسی ارشد، در بسیاری از شاخه‌های مهندسی شیمی (فرآیند، جداسازی، ترموسینیتک، فرآوری گاز و...) از کتاب راکتورهای شیمیایی تألیف پروفسور «Octave Levenspiel» جلد دوم، بر آن شدیم تا جلد اول (کتاب حاضر) را، ویژه دانشجویان کارشناسی مهندسی شیمی تألیف نمائیم. این کتاب شامل ۱۰ فصل می‌باشد، که حدود ۷ فصل اول آن برای دانشجویان کارشناسی و ۳ فصل باقی‌مانده، برای بخش میان ترم دانشجویان ارشد است. این کتاب در طول مدت ۴ ماه تلاش بی‌وقفه و با یاری خداوند و با کمک دوستان عزیزمان برای چاپ آماده شده است. جواب‌ها کاملاً تشریحی و قابل فهم است و درک آنها آسان می‌باشد. لازم به ذکر است، در تهیه این کتاب برای حل برخی مسائل و رسم نمودارها، از نرم‌افزارهایی چون Snagit، Matlab، Excell، word 2007 استفاده شده است و برخی تصاویر از کتاب مرجع درسی آورده شده است.

بنابراین ضمن قدردانی از خداوند متعال، از زحمات بی‌دریغ خانواده عزیزمان که ما را در این زمینه حمایت نمودند، کمال تشکر و قدردانی را داریم.

البته از آنجایی که هیچ اثری خالی از نقص و اشتباه نمی‌باشد، از دانشجویان گرامی تقاضا می‌شود، نظرات و پیشنهادات خود را ارسال نمایند، تا در چاپ‌های بعدی اصلاح گردد.

جواد خدیوی ـ سید هادی سیدین

E-mail: javad-kh63@yahoo.com
Ertebatbama@yahoo.com

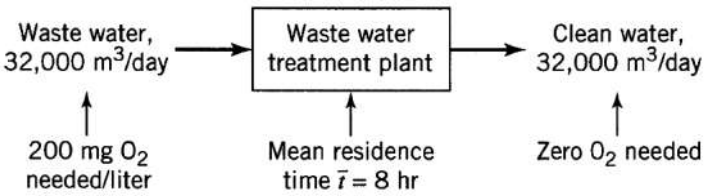
تلفن: ۲-۶۶۴۸۴۱۹۱

نگرشی بر مهندسی واکنش‌های شیمیایی

۱-۱) یک واحد تصفیه آب برای یک اجتماع کوچک را در نظر بگیرید (شکل ۱-۱) فاضلاب به مقدار (روز / m) ۳۲۰۰۰ از واحد تصفیه می‌گذرد و دارای زمان اقامت متوسط ۸ ساعت است. هوا به داخل مخزن دمیده می‌شود و میکروبهای درون مخزن به مواد آلی حمله کرده و آنها را تجزیه می‌کنند.

$$\text{(مواد زائد آلی)} + O_2 \xrightarrow{\text{میکروب}} CO_2 + H_2O$$

فاضلابهای معمولی دارای BOD (اکسیژن مورد نیاز برای تجزیه مواد زیستی (demand) ۲۰۰ mg o بر لیتر است). سرعت واکنش یا سرعت کاهش BOD در مخازن تصفیه را بر واحد $\left(\text{mol}/\text{m}^3.\text{s}\right)$ بدست آورید.



شکل (م ۱-۱): واحد تصفیه فاضلاب‌های شهری

حل: سرعت را طبق واکنش زیر تعیین می‌کنیم:

$$r_{O_2} = \frac{\text{mol } O_2 \text{ used}}{\text{sec.m}^3 \text{ of tank}}$$

ابتدا روابط زیر را بررسی می‌کنیم:

$$\bar{t} = \frac{V}{\nu} \quad \text{یا} \quad V = \bar{t}.\nu$$

تلفن: ۲-۶۶۴۸۴۱۹۱

$$\left(\text{Volome of treatment tanks}\right)=\left(\frac{۱}{۳}\ \text{day}\right)\left(۳۲۰۰۰\frac{\text{m}^۳}{\text{day}}\right)=۱۰۶۶۷\ \text{m}^۳$$

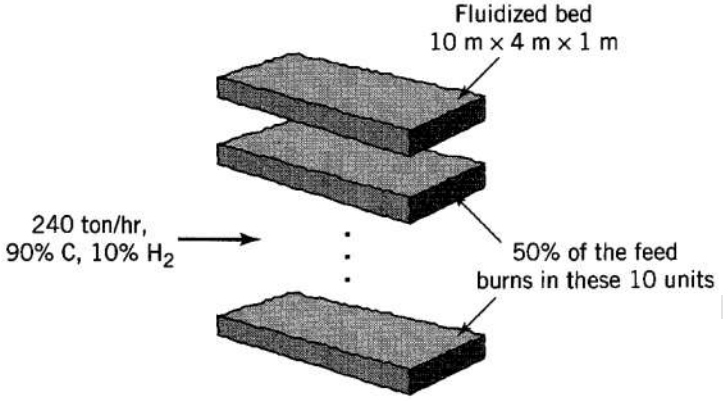
$$\text{O}_۲\ \text{used}:\left(۲۰۰\frac{\text{mg}}{\text{lit}}\right)\left(\frac{۱\ \text{g}}{۱۰۰۰\ \text{mg}}\right)\left(\frac{\text{mol}}{۳۲\text{g}}\right)\left(\frac{۱۰۰۰\ \text{lit}}{\text{m}^۳}\right)\left(\frac{۳۲۰۰۰\ \text{m}^۳}{\text{day}}\right)$$

$$=۲\times۱۰^۵\ \frac{\text{mol O}_۲}{\text{day}}$$

سرعت واکنش عبارت است از:

$$\frac{۲\times۱۰^۵\ \text{mol O}_۲/\text{day}}{۱۰۶۶۷\ \text{m}^۳}=۱۸/۷۵\ \text{mol}/\text{m}^۳.\text{day}=۲/۱۷\times۱۰^{-۴}\ \text{mol}/\text{m}^۳.\text{s}$$

۱-۲) می‌توان نیروگاه‌های بزرگی (در حدود ۱۰۰۰ MW الکتریسیته) برپا کرد، که در آن از سوزاننده‌های بستر سیال استفاده شود (شکل م۱-۲). این واحدهای غول‌پیکر مقدار ۲۴۰ تن زغال سنگ در ساعت مصرف می‌کنند (ترکیب نسبی زغال سنگ ۹۰٪ C ، $H_۲$ ۱۰٪) که ۵۰ درصد آن در تأمین انرژی بسترهای سیال استفاده شده است. طول هر بستر ۲۰ متر و عرض آن ۴ متر است و حاوی سوخت جامد به ارتفاع ۱ متر می‌باشد. سرعت واکنش در بسترها را بر مبنای اکسیژن مصرفی بدست آورید. (سرعت در واحد حجم است)



شکل (م ۱-۲): نیروگاه زغال سنگ تولید برق

$$\text{H}_۲+\text{C}+\frac{۳}{۲}\text{O}_۲\rightarrow\text{CO}_۲+\text{H}_۲\text{O}$$

حل: سرعت مصرف C از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$r''_{O_۲}=\frac{۱}{V_s}\ \frac{\text{d NO}_۲}{\text{dt}}$$

تلفن: ۲-۶۶۴۸۴۱۹۱

$$\frac{dNC}{dt} = ۰/۵ \times ۰/۹ \times ۲۴۰ \frac{\cancel{ton\,(C)}}{hr} \times \frac{۱۰۰۰\,\cancel{kg\,c}}{\cancel{۱\,ton\ c}} = \frac{۱۰۰۰\,\cancel{gre}}{۱\,\cancel{kgc}}$$

$$= ۱/۰۸ \times ۱۰^{۸} \quad (gr/hr)$$

سرعت مصرف $O_۲$ از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$\Rightarrow \frac{dNO_۲}{dt} = ۱/۰۸ \times ۱۰^{۸} \times \frac{\frac{۳}{۲} mol\ O_۲}{۱۲\ gr\ C} = ۱/۳۵ \times ۱۰^{۷} \frac{mol\,O_۲}{hr}$$

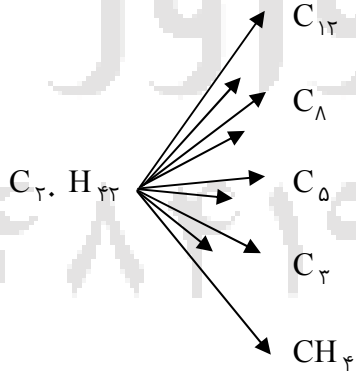
حجم کل راکتورهای بستر سیال (V_s) از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$V_s = ۱۰ \times (۲۰ \times ۴ \times ۱) = ۸۰۰\ m^۳$$

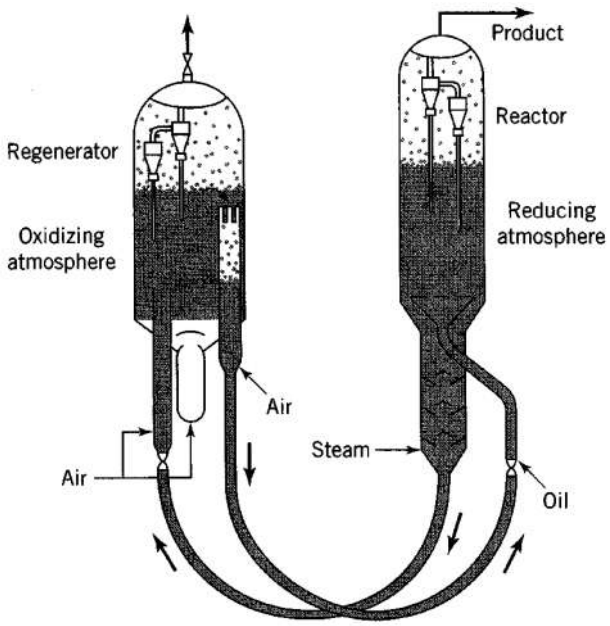
پس در نتیجه سرعت مصرف $O_۲$ در واحد حجم از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$r'''_{O_۲} = \frac{۱}{۸۰۰} \times ۱/۳۵ \times ۱۰^{۷} = ۱۶۸۷۵ \frac{mol\ O_۲}{m^۳\ solid\ .\ hr}$$

۱-۳) راکتورهای FCC جزء بزرگترین واحدهای عملیاتی در صنعت نفت محسوب می‌شوند. در شکل (م ۱-۳) یک نمونه از این واحدها مشاهده می‌شود. یک واحد معمولی به قطر داخلی ۴ تا ۱۰ متر و ۱۰ تا ۲۰ متر ارتفاع بوده و حاوی ۵۰ تن کاتالیزور متخلخل با $\rho = ۸۰۰\ kg/m^۳$ است. خوراک ورودی شامل ۳۸۰۰۰ بشکه نفت خام در روز می‌باشد (۶۰۰۰ متر مکعب در روز و جرم ویژه $\rho = ۹۰۰\ kg/m^۳$) به منظور کسب اطلاع کلی از سرعت واکنش فرض می‌کنیم، که خوراک فقط شامل هیدروکربن $C_{۲۰}$. است. اگر ۶۰ درصد از خوراک تبخیر شده در راکتور شکسته شود، سرعت واکنش برحسب r' [مول‌های ترکیب شده بر واحد kg کاتالیزور جامد (s)] و بر حسب r'' [مول‌های ترکیب شده بر واحد m^3 کاتالیزور جامد (s)] چه مقدار است؟



تلفن: ۲-۶۶۴۸۱۹۱۲



شکل (م ۱-۳): راکتور *FCC* (بزرگترین واحد عملیاتی در صنعت نفت)

حل: سرعت واکنش برابر نسبت (خوراک واکنش داده) بر حسب (کیلوگرم کاتالیست در واحد زمان) است. پس داریم: $V_{cat} = \frac{۵۰۰۰۰ kg}{۸۰۰ kg/m^۳} = ۶۲/۵ \ m^۳ \ of \ catalyst$

جرم مولی کاتالیست (mw) از رابطه زیر محاسبه می‌شود: $W_{cat} = ۵۰۰۰۰ \ kg$

$$mw_{C_۲H_{۴۲}} = \left[۲۰(۱۲) + ۴۲(۱)\right]\frac{۱}{۱۰۰۰} = ۰/۲۸۲ \ (kg/mol)$$

$$F_{feed} = \left(۶۰۰۰ \ m^۳/day\right)\left(۹۰۰ \ kg/m^۳\right) = ۵۴۰۰۰۰۰ \ (kg/day)$$

بنابراین دبی جرمی خوراک در واحد زمان بصورت بالا محاسبه می‌شود و سرعت واکنش، بصورت مولی در زیر بدست می‌آید.

$$-\frac{dN_{C_۲H_{۴۲}}}{dt} = \left(\frac{۵۴۰۰۰۰۰ \ kg/day}{۰/۲۸۲ \ kg/day}\right)\left(\frac{day}{۲۴(۳۶۰۰) \ s}\right)(۰/۶)$$

$$= ۱۳۳ \ (mol \ reacted/s)$$

سرعت ناپدید شدن $C_۲H_{۴۲}$ $-r' = \frac{۱}{W_{cat}}\frac{dN}{dt} = \frac{۱}{۵۰۰۰۰}(۱۳۳) = ۰/۰۰۲۷ \ (mol/kg \ cat.s)$

$$-r''' = \frac{۱}{V_{cat}}\frac{dN}{dt} = \frac{۱}{۶۲/۵}(۱۳۳) = ۲/۱۳ \ \left(mol/m^۳ \ cat.s\right)$$

فصل دوم

سینتیک واکنش‌های همگن

۲-۱) واکنشی دارای معادله سرعت $A + B \rightarrow ۲R$ است. درجه واکنش چیست؟

حل: بدون داشتن داده‌های آزمایشی، نمی‌توان درجه واکنش را پیشگویی کرد. ولی با فرض واکنش ابتدائی، درجه کلی واکنش ۲ خواهد بود.

۲-۲) واکنش $۲NO_۲ + \frac{۱}{۲}O_۲ \rightarrow N_۲O_۵$ را در نظر می‌گیریم. در این واکنش بین سرعت تولید و مصرف سه سازنده موجود در فعل و انفعال، چه رابطه‌ای موجود است؟ (واکنش را ابتدایی در نظر بگیرید).

حل: از ضرایب استکیومتری داریم: $\frac{-r_{NO_۲}}{-۲} = \frac{r_{O_۲}}{-\frac{۱}{۲}} = r_{NO_۲} \rightarrow +۴ro_۲ = -۲r_{N_۲O_۵}$

۲-۳) واکنشی بصورت $\frac{۱}{۲}A + B \rightarrow R + \frac{۱}{۲}R$ دارای معادله سرعتی بصورت $-r_A = ۲C_A^{۰/۵} C_B$ است. رابطه سرعت واکنش در صورتیکه معادله شیمیایی بشکل $A + ۲B \rightarrow ۲R + S$ نوشته شود چیست؟

حل: سرعت واکنش تغییری نمی‌کند، چون ضرایب استوکیومتری در دو طرف معادله استوکیومتری به یک نسبت تغییر کرده است.