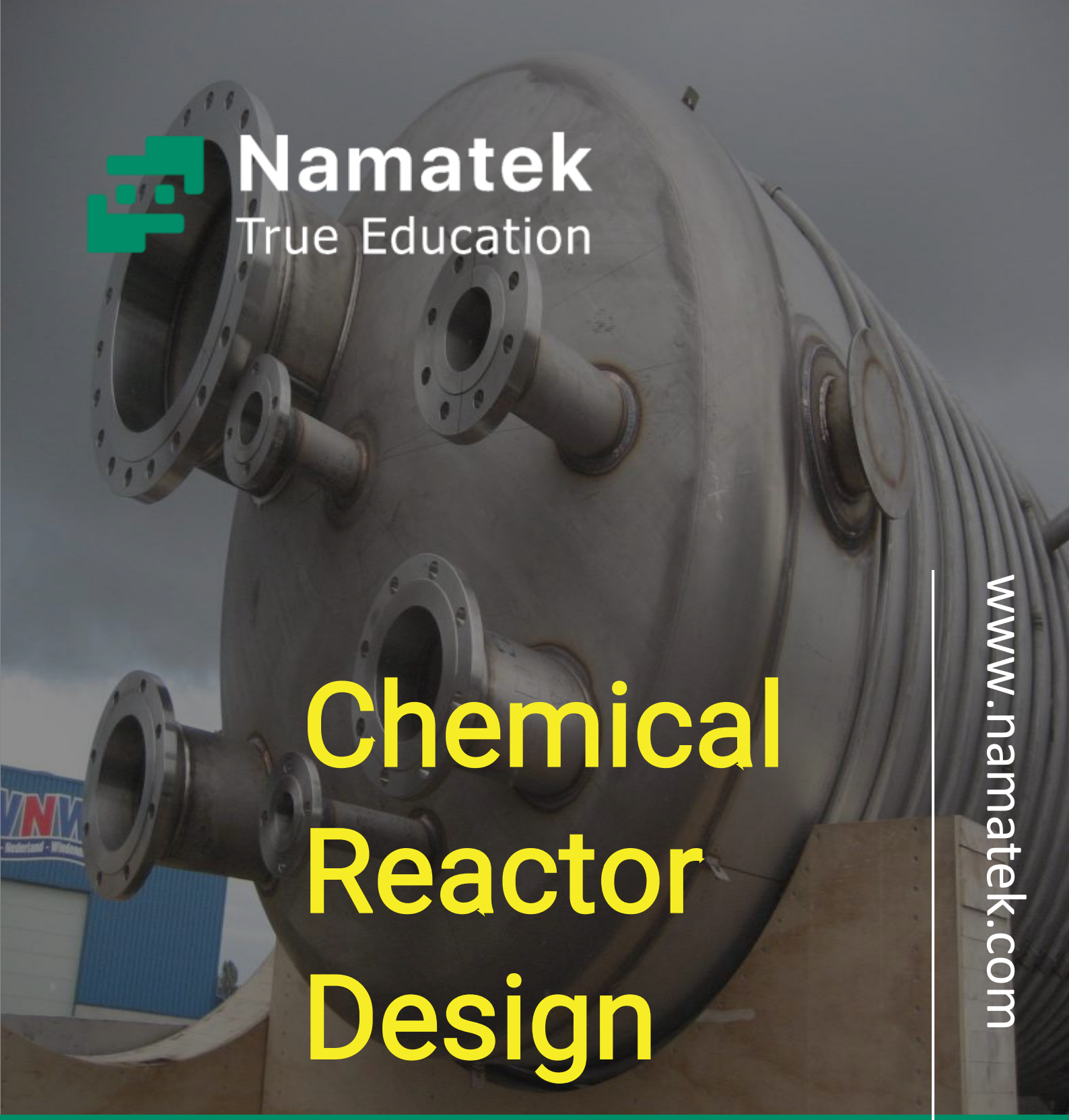


Namatek
True Education

Chemical Reactor Design

www.namatek.com

طراحی راکتور شیمیایی

www.namatek.com

فهرست مطالب

۱. انواع راکتورهای شیمیایی
۲. طراحی راکتور بر اساس نوع جریان
۳. طراحی راکتور بر اساس عملکرد
۴. طراحی راکتور بر اساس ساختمان
۵. طراحی راکتور شیمیایی
۶. شبیه سازی راکتور

راکتور (Reactor) یا **واکنشگاه**، قلب یک فرآیند شیمیایی در هر صنعتی است. **طراحی راکتور** و شبیه سازی آن، یکی از تخصص هایی است که، یک **مهندس فرایند** باید داشته باشد.

انواع راکتورهای شیمیایی

راکتور های شیمیایی را می توان بر اساس پارامتر های مختلفی دسته بندی کرد از جمله:

۱. بر اساس نوع جریان
۲. بر اساس عملکرد
۳. بر اساس ساختمان

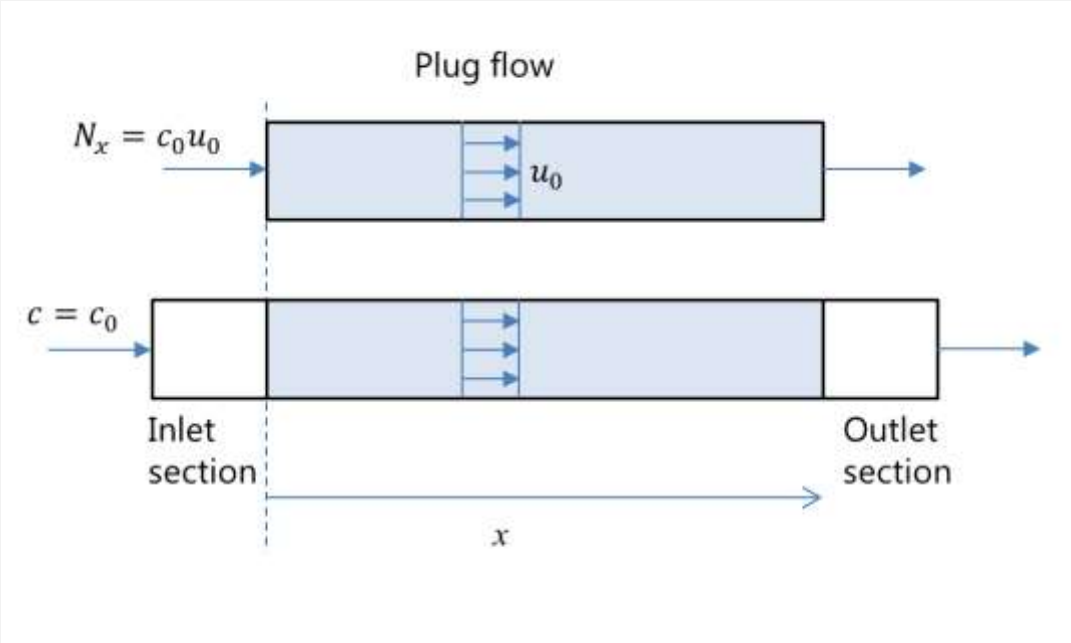
طراحی راکتور بر اساس نوع جریان

راکتور با جریان پلاگ

اگر جریان آب درون یک لوله را در نظر بگیریم، آب در مسیرحرکت خود **سرعت ثابتی** دارد، در راکتور های با جریان **پلاگ** (Plug Flow Reactor)

حرکت مواد دقیقا به همین صورت می باشد، با این تفاوت که در داخل یک راکتور با جریان Plug، **واکنش** انجام می شود.

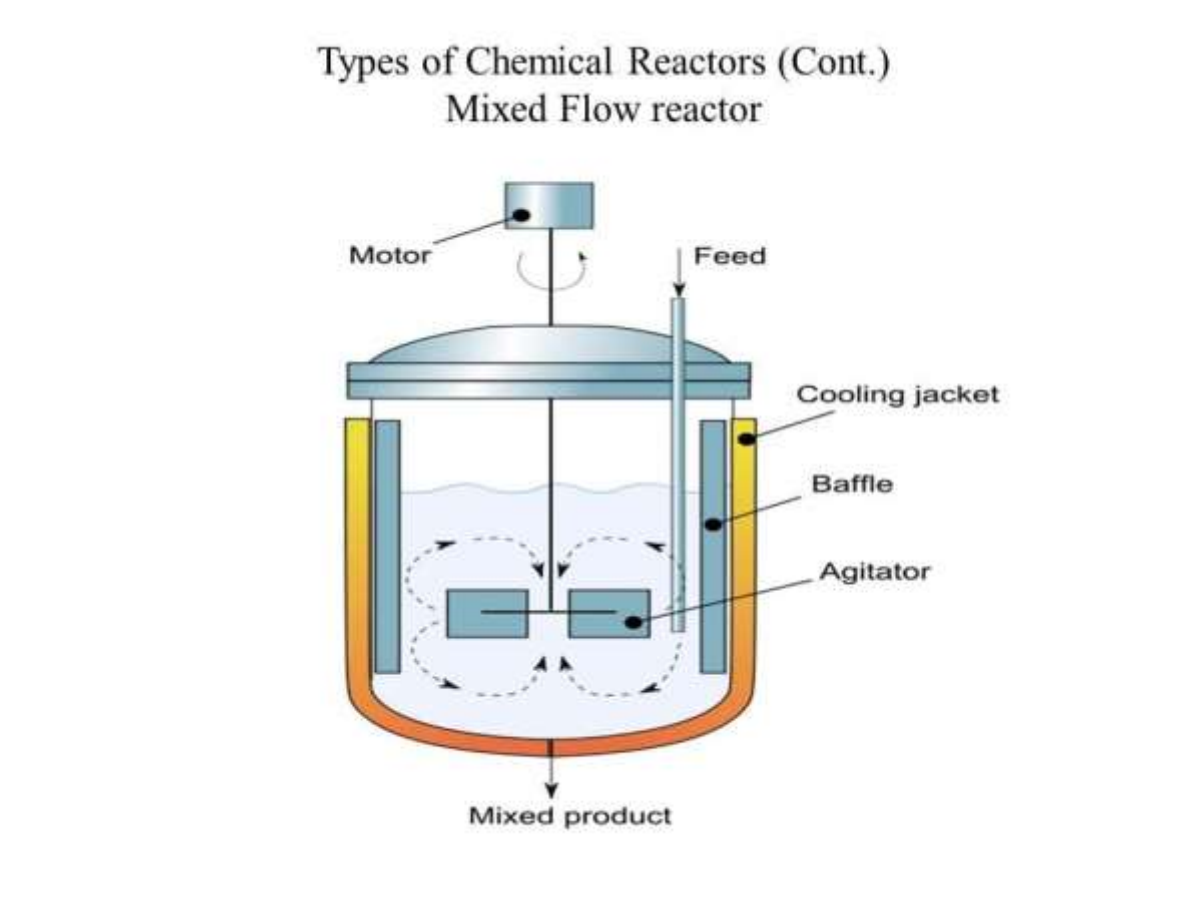
در شکل زیر پروفایل سرعت را در یک جریان پلاگ مشاهده می کنید:



در طول راکتور پلاگ به تدریج غلظت مواد **واکنش دهنده کاهش** و غلظت **فرآورده ها افزایش** می یابد.

راکتور با جریان Mixed

حال لیوانی که در حال پر شدن است را در نظر بگیرید، به علت تولید **گردابه** ها و چرخش دائمی که در لیوان ایجاد می شود، حرکت جریان در داخل راکتور **Mixed** همانند جریان آب درون لیوان در حال پر شدن است.



گردابه ها در این راکتورها با یک سیستم **همزن** و یا یک **جریان برگشتی** ایجاد می شود، تا غلظت محصولات به مقدار یکنواختی برسد.

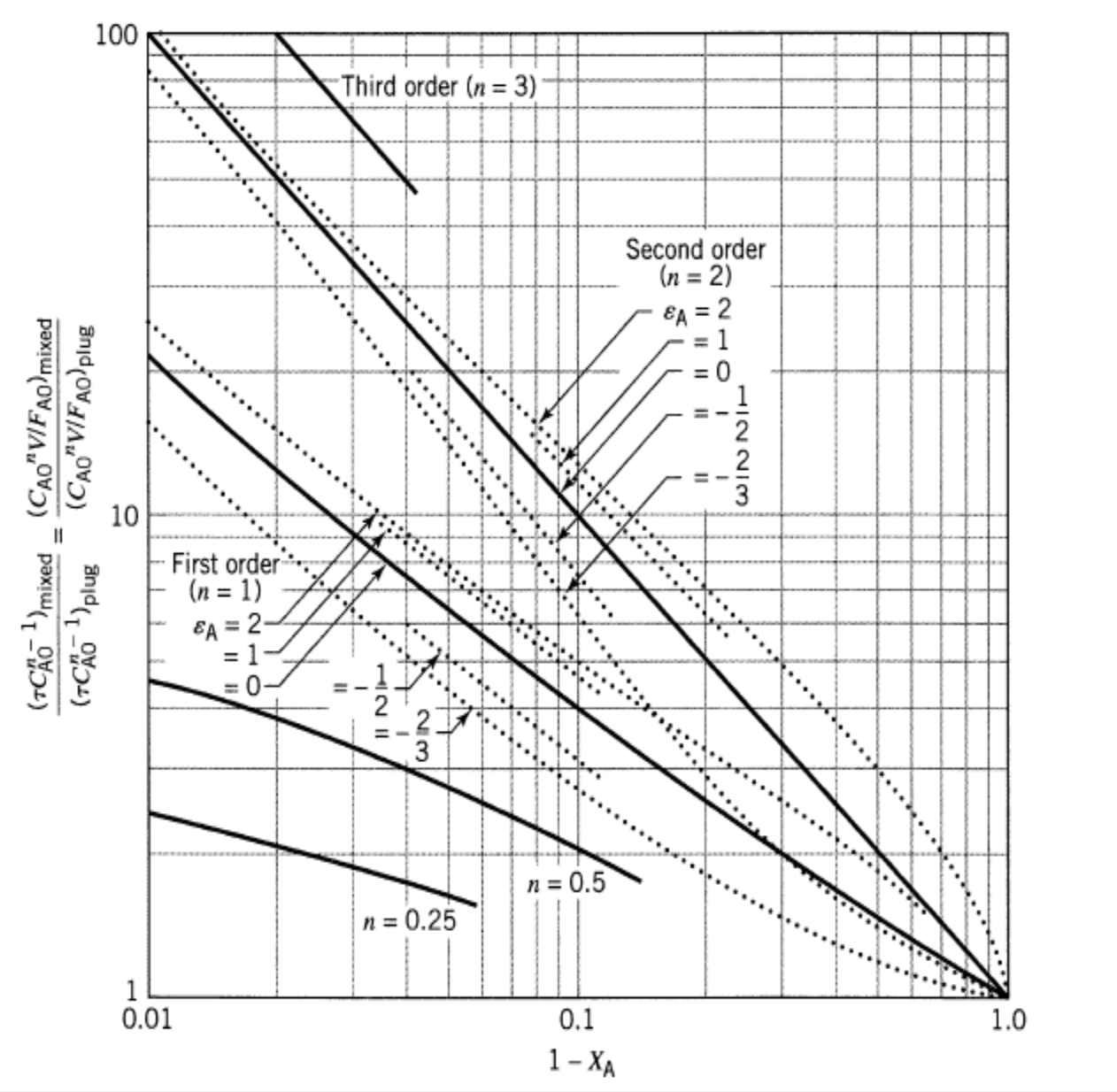
مقایسه راکتور Plug وMixed

سه پارامتر است که ارجحیت یک راکتور را بر دیگری مشخص می کند، یکی **حجم راکتور** و دیگری میزان **توزیع محصولات** و از همه مهم تر **هزینه** است.

مقایسه دو راکتور در این شرایط به شدت به نوع واکنش بستگی دارد،

مقایسه حجم

به عنوان مثال برای معادلات سرعتی که از مدل **توانی** (یا **پاورلا**) تبعیت می کنند، اگر درجه واکنش بیشتر از ۱ باشد راکتور **پلاگ** حجم **کمتری** دارد و برای واکنش هایی که درجه شان کمتر از ۱ باشد راکتور Mixed حجم کمتری دارد.



شکل بالا برای مقایسه حجم راکتور هایی با الگوی جریانی Mixed و Plug به کار می رود. در این شکل، نمودار نسبت حجم راکتور ها برحسب درصد تبدیل، در درجه های مختلف واکنش رسم شده است. این شکل مربوط به **فصل ٦** کتاب **طراحی راکتور** Octave.Levenspiel است.

مقایسه بر اساس درصد تبدیل

برای داشتن **حداکثر تبدیل** معمولا از راکتور هایی با **جریان Mixed** استفاده می شود. از شکل قبل نیز برای مقایسه دقیق درصد تبدیل ها میتوان استفاده کرد.

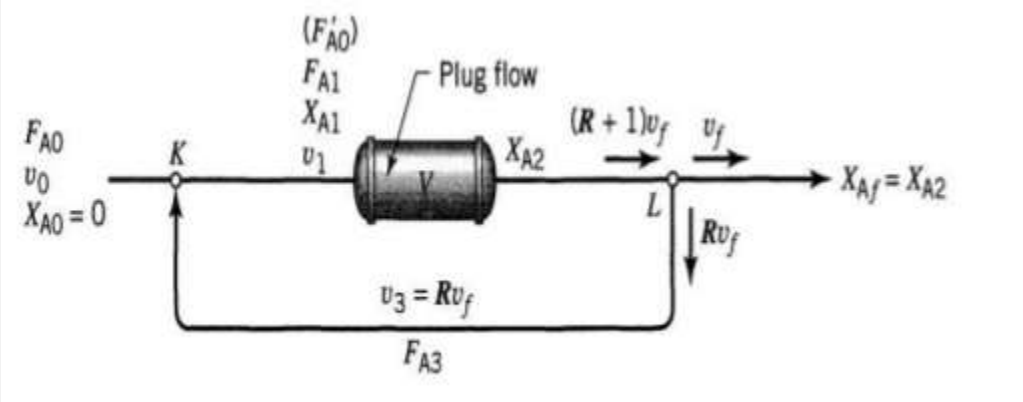
شکل بالا نمایی از داخل یک راکتور با جریان Mixed را نشان می دهد.

مقایسه هزینه

هزینه راکتور های **پلاگ** معمولا **کمتر** از راکتور های Mixed است به همین دلیل در طراحی راکتور برای یک واکنش معین، معمولا **راکتور پلاگ اولین انتخاب ماست**. در بعضی از واکنش ها، شرایط خاصی مثل **یکنواختی در غلظت** و یا **یکنواختی در گرمای واکنش** وجود دارد، در چنین مواردی، شرایط عملیاتی ایجاب می کند که از راکتور Mixed استفاده شود.

راکتور با جریان برگشتی

در بسیاری از موارد، برای **افزایش بهره وری** راکتور، از جریان برگشتی استفاده می کنیم، به این صورت که کل مواد خروجی از راکتور به عنوان محصول خارج نمی شود، بلکه بخشی از آن، از طریق جریان برگشتی دوباره به راکتور برمی گردد.



با این کار، مواد اولیه ای که فرصت لازم برای تبدیل شدن به محصول پیدا نکرده اند، به راکتور برمی گردند و فرصت واکنش دادن پیدا خواهند کرد و این امر باعث **بالا رفتن درصد تبدیل** می شود. جریان برگشتی علاوه بر بالا بردن درصد تبدیل، باعث ایجاد **یکنواختی دما در راکتور** نیز می شود. به عنوان مثال، در راکتور واحد LLDPE **پتروشیمی امیر کبیر**، از این نوع راکتور استفاده شده است.

طراحی راکتور بر اساس عملکرد

راکتور ها از لحاظ عملکرد، به ۳ دسته تقسیم می شوند:

راکتور پیوسته (Continuous)

عملکرد این دسته از راکتور ها به گونه ای است که مواد اولیه به صورت **پیوسته وارد** راکتور می شوند و محصولات نیز به طور **پیوسته** از راکتور **خارج** می شوند. مدت زمانی که مواد در داخل راکتور سپری می کنند، به **حجم راکتور** و **سرعت حرکت مواد** وابسته است.

از مزایای استفاده از راکتور های پیوسته این است که هزینه ها به علت حذف عملیات هایی مثل پر و خالی کردن، پایا شدن واکنش و ثبات محصول کاهش می یابد.

این نوع راکتورها، کاربرد بیشتری در صنعت دارند. به عنوان مثال تمام راکتور های واحد PET **پتروشیمی تند گویان**، پیوسته هستند.

راکتور ناپیوسته (Batch)

در راکتور های ناپیوسته، کلیه مواد به داخل راکتور وارد می شوند و بدون آن که ماده ای وارد یا خارج شود، به مواد اولیه اجازه داده می شود تا به محصول تبدیل شوند. زمان اقامت در این راکتور ها با توجه به میزان تبدیل مورد نیاز مشخص می شود.

از مزایای این راکتور ها، قیمت پایین و انعطاف بالای آن هاست، اما همان طور که قبلا گفته شد **هزینه های عملیاتی** آن ها بالاست.

به طور کلی این راکتور ها، برای کنترل بهتر واکنش و شرایط عملیاتی مفید بوده و بیشتر در مقیاس های آزمایشگاهی از آن استفاده می شود.

راکتور نیمه پیوسته (Semi-Batch)

این مدل شبیه راکتور های ناپیوسته هستند و تنها تفاوت آنها، نحوه ورود و خروج مواد به راکتور است. در این راکتور ها برای افزایش بهره وری، مواد اولیه و محصول در چند مرحله به راکتور وارد یا از آن خارج می شود.

به عنوان مثال در راکتور PVC که واکنش پلیمریزاسیون انجام می شود، ابتدا وینیل کلرید به همراه آب وارد می شود و بعد از ۱/۵ ساعت غلظت پلیمر ایجاد شده به حدی می رسد که همزدن در راکتور به سختی انجام می شود. بنابراین مجددا آب وارد می شود و پس از ۸-۱۰ ساعت با توجه به گرید پلیمر مورد نیاز واکنش به پایان می رسد.

از مزایای این راکتور ها **کنترل آسان واکنش های گرمازا** و **جلوگیری از ایجاد محصولات نامطلوب** است.

طراحی راکتور بر اساس ساختمان

راکتور ها در صنعت بر اساس ساختمان شان به ۵ دسته تقسیم می شوند:

طراحی راکتور CSTR

این نوع راکتور ها عملکرد جریانی شبیه راکتور های Mixed داشته و پیوسته هستند. در این راکتور ها برای ایجاد جریان Mixed از **همزن** و **Baffle** و یا **جریان برگشتی** استفاده می کنند.

در راکتور های واحد PP **پتروشیمی بندر امام** از همزن و بافل برای ایجاد جریان Mixed استفاده شده و در راکتور هایی مثل راکتور ۱-بوتن از جریان برگشتی برای این کار استفاده کرده اند.

طراحی راکتور PFR

به راکتور های لوله ای که به صورت **استوانه افقی** هستند گفته می شود. در این نوع راکتور ها، مواد اولیه از یک طرف وارد و محصولات از سمت دیگر خارج می شوند.

به عنوان مثال راکتور MEG **پتروشیمی مارون** از این نوع است.

طراحی راکتور Fixed Bed

برای انجام **واکنش های کاتالیستی** از این نوع راکتور ها استفاده می شود. کاتالیست هایی که به فرم جامد هستند در راکتور قرار می گیرند و مواد

اولیه پس از عبور از بستر جامد روی سطح کاتالیست واکنش داده و به محصول تبدیل می شوند.

در این راکتور ها دبی مواد اولیه به مقداری است که ذرات کاتالیست جابجا نمی شوند و ثابت هستند، دلیل نام گذاری این راکتور ها به این اسم نیز همین موضوع است.

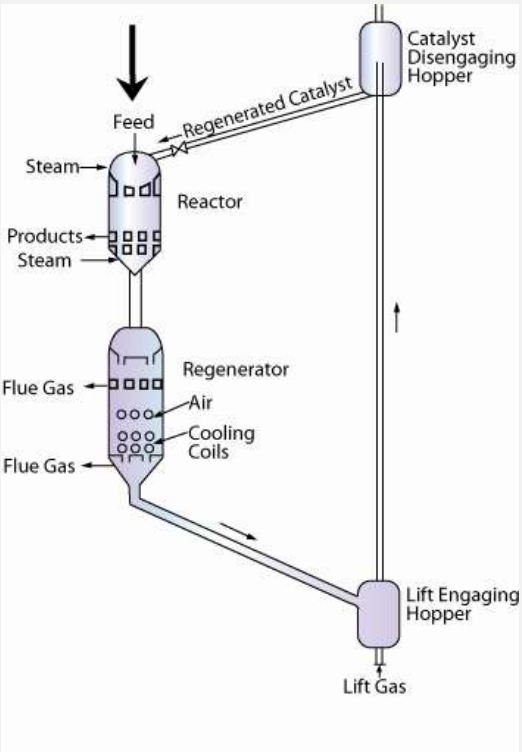
در شکل بالا، چند نمونه از کاتالیست های مورد استفاده در صنعت را مشاهده می کنید.

طراحی راکتور Fluidized Bed

شبیه راکتور های بستر ثابت هستند، اما با این تفاوت که ذرات کاتالیست به صورت ثابت روی هم قرار نمی گیرند و به علت سرعت بالای سیال ورودی به صورت معلق در می آیند. این راکتور ها به صورت پیوسته کار می کنند.

طراحی راکتور Moving Bed

در راکتور های بستر ثابت، کاتالیست های استفاده شده تا زمان قابل توجهی فعالیت خود را از دست نمی دهند، اما اگر کاتالیست به گونه ای باشد که طی بازه های کوتاه مدت، نیاز به احیا داشته باشد، باید از راکتور های بستر متحرک استفاده کرد.



این راکتور ها دو بخش اصلی دارند:

- **راکتور**: جایی است که واکنش روی سطح کاتالیست انجام شده و محصول تولید می شود.
- **احیا کننده**: کاتالیست از محفظه بستر بیرون می آید و پس از احیا دوباره بستر بازگردانده خواهد شد.

طراحی راکتور شیمیایی

در طراحی راکتور پارامتر های متعددی دخیل است، قدم اول انتخاب نوع راکتور است که این موضوع به ماهیت واکنش دهنده ها و معادله سرعت بستگی دارد.

به عنوان مثال برای طراحی راکتور وقتی که یک واکنش با معادله سرعت از نوع توانی (پاورلا) داشته باشیم، اگر از درجه واکنش بیشتر از ۱ باشد، بهتر است از الگوی جریانی راکتور پلاگ استفاده شود. بنابراین عامل اصلی تعیین کننده انتخاب نوع راکتور و طراحی و Sizing آن نوع واکنش شیمیایی است.

شبیه سازی راکتور

برای شبیه سازی راکتور ها از نرم افزار هایی مثل HYSYS می توان استفاده کرد.