

به نام خدا

۱-۱- جریانهای برخورد کننده

بسیاری از عملیات مهندسی که در بین دو فاز استخراج ناپذیر انجام می شود بوسیله انتقال جرم یا انتقال حرارت کنترل می شوند، بنابراین همواره کوشش می شود که تا حد امکان چنین مقاومت‌هایی را

کاهش داد.

اولاً فرایندهای انتقال حرارت یا جرم گدیر سیستم، گاز-جامد، گاز-مایه، مایه-مایه و جامد-مایه عموماً ممکن است با سه مقاومت سری دتر نظر گرفته شوند، با فرض یک سیستم قطره مایه-گاز به عنوان حالت مبنا مشاهده شود. ممکن است برحسب خواص سیستم مقاومت

های زیر مؤثر باشند، مقاومت خارجی^۱ مقاومت سطح^۲، مقاومت

داخلی^۳.

مقاومت داخلی را ممکن است با کاهش اندازه ذره^۴ فار پیوسته کاهش

داد، اگر این کارها امکان پذیر نباشد باید زمان اقامت ذره را در داخل

سیستم افزایش داد. کاهش مقاومت خارجی ممکن است از طریق

روشهای زیر میسر گردد.

a- افزایش سرعت حنسی بین ذرات و فاز پیوسته که با افزایش

اصطکاک بین فازها نیز مرتبط است

b- کاهش ابعاد و ذرات که باعث کاهش ضخامت زیر لایه آرام که

کنار سطح تشکیل می شود، می گردد. کاهش ایجاد ذراتن باعث

افزایش ضرایب انتقال می گردند.

¹ - External Resistance

c- توزیع یکنواخت فاز پراکنده درون فاز پیوسته.

d- اعمال تأثیرات دیرگر روی ذرات، مثل نیروهای اینرسی و

سانتریفوژی

مقاومت سطح با حذف ناخالصی ها ممکن است به دست آید.

در دهه 60 میلادی روش بسیار ویژه ای بعنوان جریانهای برخورد

کننده^۲ (IS) توسط Elperin [1] مطرح شد که روش بسیار مؤثری

برای فرایندهای انتقال جرم و حرارت محسوب می گردد. انتظار می

رود که این سیستم ها بصورت گسترده ای مورد استفاده قرار

بگیرند.

این سیستم می تواند برای سیستم های دو زمانه مایع-گاز-جامد

بکار برود. در این روش دو جریان در خلاف جهت هم روی یک

² - Surface Resistance

³ - Internal Resistance

محور به یکدیگر برخورد می کنند. برای یک جریان نمونه گاز-جامد

همانطور که در شکل ۱-۱ دیده می شود دو جریان در وسط (ناحیه

برخورد) به شدت به هم برخورد می کنند، بدلیل برخورد بین

جریانهای مخالف، یک ناحیه نسبتاً باریکی یا تلاطم شدید ایجاد می

شود، که شرایط بسیار مطلوبی را برای افزایش سرعت انتقال جرم و

حرارت بوجود می آورد. علاوه بر این در این ناحیه غلظت (تراکم)

ذرات بیشترین مقدار است [2]، و بصورت یکنواخت تا نقطه تزریق

کاهش می یابد، این تکنیک در سیستم های گاز-مایع-مایع و

جامد-مایع نیز بکار می رود. با توجه به شکل ۱-۱

جریان مخالف باعث ورود ذرات به داخل فاز پیوستهٔ مقابل به علت وجود نیروی اینرسی می شود. بعلت نیروی درگ سرعت ذره ها در فاز مخالف کاهش پیدا می کند و در نهایت همراه فاز پیوسته بر می گردد و دوباره به ناحیه برخورد می رسد و این عمل تکرار می گردد. بطور کلی سه حالت ممکن استن برای ذرات در سیستم پیش بیاید.

اول ممکن است برخی ذرات بصورت رودرو با هم برخورد کنند و در نتیجه سرعت آنها صفر گردد و از سیستم بخاطر نیروی وزن خارج گردند. دوم اینکه گاهی این برخورد با زاویه صورت بگیرد که باعث تغییر مسیر ذره شده و ذره را از سیستم خارج می کند. در

حالت سوم ذره بدون برخورد وارد جریان فاز پیوسته مقابل می شود. با توجه به شکل ۱-۱ ذره در ابتدا هم سرعت فاز گاز می باشد

و سرعت آن u_g است وقتی که ذره وارد فاز مقابل می شود سرذعت

نسبی فاز پیوسته و ذره برابر $2u_g$ می باشد.

$$U = u_g - (-u_g) = 2u_g \quad 1-1$$

بنابراین سرعت ذره در ابتدای ورود به فاز پیوسته مقابل بیشترین

مقدار و برابر $2u_g$ است، با حرکت ذره به عمق فاز پیوسته مقابل به

علت نیروی درگ رفته رفته از سرعت ذره کاسته می گردد و سرعت

نسبی آن کم می شود.

$$U = U_p - (-U_g) = U_p + U_g \quad 2-1$$

به اینکه سرعت ذره صفر می گردد و سپس همراه فاز پیوسته بر می

گردد و سرعت آن افزایش می یابد، اگرچه در سیستم به علت اتلاف

های انرژی سرعت ذره رفته رفته کم می شود، و از سیستم خارج

می شود وای آمد و رفت های متوالی ذره در بین دو فاز باعث

افزایش زمان اقامت در سیستم می شود تا اینکه ذره به علت اتلاف

انرژی و یا حالت اول و دوم از سیستم خارج شود. بنابراین جبرای

تعداد ذرات توزیعی از زمان اقامت در سیستم وجود خواهد داشت که

بصورت متوسط باعث بهبود عملیات انتقال در سیستم دو فازی می

گردد.

۲-۱- مزایای جریانهای برخورد کننده

۳-۱- بطور کلی جریانهای برخورد کننده بعلا شرایط ویژه، سرعت

نسبی بالای فازها، برخورد و نیروهای برخوردی، افزایش

زمان اقامت و تلاطم شدید در ناحیه برخورد باعث بهبود و

افزایش پدیده های انتقال در سیستم می شوند.

۱- افزایش سرعت نسبی U بین فازها که جریان پیوسته فاز

متقابل می شوند. که نسبت به راکتورهای دیگر بسیار بیشتر

می باشد.

۲- بعلت حرکت نوسانی در فاز پیوسته زمان اقامت ذرات در

سیستم افزایش می یابد.

۳- سطح مؤثر تماس بریا اتصال جرم و حرارت برابر سطح

واقعی ذرات است، این حالت در دستگاههای دیگر وجود ندارد

زیرا سطح تماس مؤثر کمتر از سطح واقعی ذرات است.

۴- جریان آشفته ایجاد شده در نایه برخورد باعث افزایش

ضرایب انتقال حرارت و جرم می شود.

۵- بعثت برخورد ذرات و نیروهای بررسی در سیستم های گاز

جامد باعث شکست ذرات می شود که باعث کاهش اندازه

ذرات و افزایش سطح آنها می گردد.

در سیستم های مایع-گاز یا مایع مایع مزیت های زیر دیده می

شود.

۱- تبدیل جریان مایع به قطرات ریز که باعث افزایش سطح تماس

می شود.

۲- حرکت نوسانی قطرات باعث افزایش زمان اقامت می شود.

۳- در منطقه برخورد جریان آشفته ایجاد می شود و باعث

اختلاط کامل و کاهش گرادیان دما و غلظت در فاز پیوسته می

شود که باعث افزایش انتقال بین دو فاز می شود. و نیز

افزایش ضرایب انتقال را در پی دارد.

افزایش زمان اقامت ذرات در راکتور و حرکت نوسانی به وسیله

آزمایشات مختلف به اثبات می رسد.

انواع مختلف راکتورهای تک مرحله ای با جریانهای برخوردی در

شکل ۲-۳ مشاهده می شود که برای سیستم های مختلف مورد

استفاده قرار می گیرد.

بطور متداول راکتورهای با جریانهای برخورد کننده (ISR) از اجزاء

زیر تشکیل می شوند. تانک ذخیره خوراک، تغذیه کننده؛ دو لوله

شتاب دهنده که به بدنه راکتور متصل است؛ بدنه راکتور؛ خروج

محصول و خروج فاز پیوسته؛ جداکننده؛ تانک ذخیره محصول

راکتورهای با جریانهای برخوردی (ISR) را بر مبنای تعداد

جریانهای برخورد کننده، زاویه برخورد، شکل مجرای حاوی

جریانها، مشخصات جریان سیالها (برای مثال گردابه ای و غیر

گردابه ای) و غیره، می توان به دسته ای بزرگ مختلفی تقسیم بندی

کرد. تقسیم بندی بخشی از انواع این نوع راکتورها که مورد بحث

ثرار می گرد بوسیله Mujamdar , kudva ارایه گردیده است.

موارد مختلفی می تواند ملاک تقسیم بندی باشد

- جریان در فاز پیوسته^۵ (jet)

- چرخش گردابه ای،^۶ موازی^۷

- جریان سیال درون راکتور^۸

- مختلف جهت و هم محور^۹

- مختلف جهت و غیر هم محور^{۱۰}

⁵ (Flow in the continuous Stream)

⁶ - Rotational (swirling)

⁷ - Parallel

⁸ - Flow of the stream inside the reactor

⁹ - Coaxial Center Current

- منحنی وار روی یک محور^{۱۱}

- منحنی وار غیر هم محور

- حالت و تعداد واحد برخورد

حالت ثابت، حالت متحرک، چند منطقه ای شکل ۲-۴

تقسیم بندی راکتورهای با جریانهای برخوردی

راکتورهای با جریان برخورد کننده با استفاده از اثرات جریانهای

برخورد کننده بر روی پدیده های انتقال برای سیستم های چند فازی

مورد استفاده قرار می گیرند. تکنیک IS (Impinging Streams) به

تکنیک استفاده از جریانهای برخورد کننده در فرآیندهای گاز-گاز،

گاز-جامد، گاز-مایع، مایع-مایع و

¹⁰ - Eccentric Countercurrent

¹¹ - Curvilinear on the same axis

مایع-جامد گفته می شود. راکتورهای برخوردی ممکن است به دلایل

زیر فقط در ساختارشان متفاوت باشند.

۱- خواص مواد تحت فرآیند، گرانول، خمیر، محلول ها و ...

۲- پارامترهای انجام پروسس، دما، فشار و ...

۳- ملزوماتی که برای خواص محصول لازم است

۴- مواد ساخت راکتور

راکتورهای با جریانهای برخورد (ISR) بطور کلی به دو دسته تک

مرحله ای و چند مرحله ای تقسیم می شوند. در راکتورهای تک

مرحله ای جریان ها فقط یک بار با یکدیگر برخورد می کنند. در حالی

که راکتورهای چند مرحله ای از تعدادی راکتور تک مرحله ای ساخته

شده اند که جریانهای خروجی از هر راکتور وارد راکتور دیگر می

شود. یک شمای کلی از هر یک از دو دسته از راکتورهای با

جریانهای برخوردی در شکل ۱-۲ و ۲-۲ دیده می شود.

۱-۲ راکتور برخورد تک مرحله ای شکل 3-1-a کتاب

۲-۲ راکتور برخوردی چند مرحله ای شکل 3-5 کتاب

در راکتورهای چند مرحله ای با جریانهای برخورد کننده علاوه بر

اینکه نوع هر یک از راکتورهای موجود می تواند مبنای تقسیم بندی

آنها قرار بگیرد نحوه آرایش جریانها نیز اساس تقسیم بندی قرار می

گیرد، این دو گونه، ۲ جریان همسو و ناهمسو در شکل ۲-۲ مشاهده

می گردد.

مسطح با جریان شعاعی، مسطح با جریان داره ای

- نحوه کار راکتور

خوراک پیوسته دو طرفه، خوراک پیوسته یک طرفه، نیمه پیوسته

شکل و سیستم خاص هر یک از انواع راکتورهای با جریانهای

برخوردی آنها برای کاربرد متفاوتی مناسب می کند.

۱-۲ انواع راکتورها با جریانهای برخوردی

۱-۱-۲ راکتورهای سیکلونی با دو جریان برخورد کننده

این راکتورها یکی از رایج ترین انواع راکتورهای برخورد کننده می

باشند و در سیستمهای جامد - گاز و جامد - مایع کاربرد دارند. یک

نمونه از این راکتورها در واکنش گاز-جامد در شکل ۲-۵ نشان داده

شده است. راکتور از محفظه ای حلقه ای (منطقه شماره یک) که درون

یک استوانه قرار دارد، تشکیل شده است (همانند یک سیکلون). گاز از

طریق دو لوله موازی ورودی به محفظه حلقه ای وارد می شود. ذرات

جامد از طریق مایه رساتن شماره ۲، به درون جریان اصلی تزریق

می شوند. هر دو جریان داخل لوله های اصلی دارای یک شدت می

باشند. این دو جریان پس از ورود به محفظه حلقه ای، به دلیل میروی جانب مرکز و اثر ماگنوس به طرف مرکز راکتور منحرف می شوند و در نقطه ۳ (منطقه برخوردی) با یکدیگر برخورد می کنند. سیال پس از برخورد و ذرات پس از طی حرکت نوسانی خود به پایین می ریزند. ذرات از طریق خروجی انتهای راکتور و سیال، اگر گاز باشد از طریق استوانه وسط (مانند شکل) و اگر مایع باشد، از طریق مجرای خروجی ذرات از راکتور خارج می شود.

شکل ۲-۵ راکتور سیکلونی با دو جریان برخورد کننده از این راکتور در موارد زیر استفاده شده است. خشک کردن ذرات جامد، اختلاط گاز-گاز و جامد-جامد، انحلال ذرات و احتراق گازها.

۲-۱-۱ راکتورهای سیکلونی با دو جریان برخورد کننده همراه با

خوراک اضافی سیال

این راکتورها مشابه با راکتورهای سیلکونی با دو جریان برخورد کننده و دارای دو منطقه برخورد می باشند (شکل ۲-۶). سیال و ذرات از طریق لوله هیا موازی واقع در بالای راکتور وارد شده و در منطقه برخوردی با یکدیگر برخورد کرده و به پایین می ریزند. در دو لوله پایین، تنها جریان سیال وجود دارد که با برخورد با ذرات، دومین منطقه برخوردی را به وجود می آورد. با استفاده از این راکتور بعلت وجود دو منطقه ی برخوردی، زمان اقامت متوسط ذرات افزایش و عملیات اختلاط بهبود می یابد (نسبت به راکتورهای سیلکونی با دو جریان برخورد کننده و بدون خوراک اضافی سیال). از این راکتور نیز همانند راکتورهای قبلی در خشک کردن جامدات انحلال و ذرات جامد در این راکتور بررسی شده است.

شکل ۲-۶ راکتور سیلکونی با دو جریان برخورد کننده همراه با

خوراک اضافی سیال

۲-۱-۳ راکتورهای سیلکونی با چهار جریان برخورد کننده

این نوه راکتور همانطور که در شکل ۲-۷ مشاهده می شود از چهار

جریان که بصورت موازی و مماسی وارد آن می شوند، تشکیل می

شود. در این راکتور چهار منطقه ی برخوردی (شماره های ۳ و

مناطق بین دو شماره ۳ در شکل ۲-۷) بوجود می آید که می تواند

بطور همزمان چهار نوع جامد مختلف را با یکدیگر مخلوط کرد. از

طرفی این راکتور در خشک کردن جامدات نیز کاربرد دارد.

۲-۱-۴ راکتورهای با دو جریان برخورد کننده هم محور

این دسته نیز در واکنشهای سیال - جامد بکار می روند. در این

راکتورها دو جریان بصورت هم محور و ناهمسو از طریق لوله های

شماره ۲ (شکل ۲-۸) وارد می شوند. در ناحیه شماره ۳ (منطقه

برخوردی). برخورد انجام شده و گاز از بالا و جامد و مایع از پایین

خارج می شوند. در این نوع راکتورها اختلاط، انحلال و خشک کردن

جامدات انجام شده است.

۲-۱-۵ راکتورهای پاششی با دو جریان برخورد کننده

این راکتورها نیز از نوع راکتورهای هم محور می باشند که دو

جریان بصورت همراستا و مختلف الجهد به سوی یکدیگر گسیل می

شوند (شکل ۲-۹)، لذا دیگر برخورد جریانها با دیواره را مشاهده

نمی کنیم. در این راکتورها با استفاده از نازلها، جریان مایع و گاز به

درون راکتور پخش می شود و در منطقه برخوردی اختلاط بین دو

جریان و همچنین قطعه قطعه شدن ذرات مایع مشاهده می شود.

واکنشهای گاز-مایع و مایع-مایع در این راکتورها انجام می شود.

شکل ۲-۹ راکتور پاششی با دو جریان برخورد کننده

نازلهای عامل اصلی در قطعه قطعه شدن قطرات و پخش مناسب مایع

می باشند، لذا انتخاب نوع نازل در این راکتورها بسیار مهم می باشد.

نازلهای

عمل نازل عبارت است از قطعه قطعه کردنم و شتاب دادن توده سیال

است که ذره های مایع بوسیله الگوهای جریان خاص که بستگی به

شکل نازل دارد بصورت اسپره در فضا پخش می شود.

یک افشانک^{۱۲} یا ارفیس^{۱۳} اگر مایع دارای آشفتگی کافی باشد می

تواند باعث مقطع قطعه شدن مایع می شود ولی نمی تواند به عنوان

¹² - ejector

یک نازل بحساب بیاید زیرا دارای شکل اسپری مشخص و ویژه مانند

یک نازل نخواهد بود.

سه نوع نازل برحسب منبع انرژی مورد استفاده برای اسپره کردن

بکار می برند وجود دارند.

فشاری^{۱۴}، سینماتیکی^{۱۵} و سونیک^{۱۶}.

نازل فشاری سانتیرفوژی (تک سیاله)

این نوع نازلها از انرژی فشاری جهت قطعه قطعه کردن توده سیال

استفاده می کنند. با تبدیل انرژی فشاری به انرژی جنبشی درون لایه

های توده سیال لایه ها در اثر خواص فیزیکی مایع و اثر اصطکاک

¹³ - Roifice

¹⁴ - Pressure

¹⁵ -Kinetic

¹⁶ - Sonic

بین محیطی که تخلیه می شود توده مایع به قطعات مایع تبدیل می شود.

تبدیل انرژی در این نوع نازلها بطوری است که باعث حالت چرخشی در مایع می شود که باعث تبدیل انرژی بهتر می گردد. اساس کار و شکل نازلهای فشاری سانتریفوژی در شکل (- و -) دیده می شود.

این نوع نازلها باعث ایجاد الگوی اسپری به شکل مخروط توخالی می شوند که اندازه آنها کاملاً وابسته به شرایط کار نازل. برای هر فشاری طول ماکسیمم برای طول هر واحد وجود دارد. کاهش فشار باعث کاهش طول مخروط می گردد. کاهش ویسکوزیته باعث افزایش طول مخروط می گردد. در حالی که افزایش جذب سطحی اثر عکس را دارد. افزایش سرعت پرده ایجاد شده و نیز افزایش آشفتگی

ناشی از اصطکاک با محیطی که تخلیه در آن صورت می گیرد باعث

کاهش طول اسپره می گردد.

طراحی داخلی نازل بصورتی است که باعث گردش سیال درون نازل

می گردد. چرخش سیال درون نازل باعث توخالی شدن مخروط

خروجی از نازل می گردد.

شکل اسپره خروجی از نازل به نحوه طراحی آن بستگی دارد. نازل

های نشان داده شده در شکل (۱۷-۶) ایجاد مخروط توخالی^{۱۷} می

کنند هر قدر که چرخش داخل نازل زیادتر باشد زاویه مخروط بازتر

می شود.

¹⁷ - Holoow-cone

با حذف چرخش مایع درون نازل و یا تنظیم مقدار چرخش نسبت به سرعت خطی سیال شکل اسپره خروجی به مخروط توپر^{۱۸} تبدیل می شود. در این نوعت اسپره قطره تقریباً بطور یکنواخت پخش می شوند گرچه تراکم قطرات در قسمت مرکزی بیشتر است شکل (۱۸-۶) الگوهای مختلف اسپره و نیز اثر فشار و ضریب تخلیه نازل به شکل اسپره را نشان می دهد.

معایب اصلی نازل‌های فشاری (تک سیاله) نیاز به فشار بالا، دبی های بالای خروجی و نیز نیاز به فیلتر کردن مایعات برای جلوگیری از گرفتگی نازل است، علاوه بر آن هر نوع سیالی نمی تواند در این نازلها مورد استفاده قرار گیرد.

نازل‌های دو سیاله

¹⁸ - Solid-cone

نازلهای دو سیاله براساس استفاده از انرژی سینماتیکی برای تبدیل مایع به قطعات ناپیوسته کار می کنند. سرعت زیاد گاز باعث ایجاد نیروی اصطکام بر سطح مایع می شود که سبب گسیختن مایع به قطرات اسپره می گردد. شکل و خواص اسپره بستگی به خواص مایع (دانسیته، کشش سطحی و ویسکوزیته) و خواص جریان گاز (دانسیته و سرعت) دارد.

باید نیروی کاصطکاکی بهینه ای در مایع ایجاد شود که این کار از دو طریق زیر امکان دارد. (a) انبساط هوا به سرعت صوت یا مافوق صوت قبل از تماس با فاز مایع و یا (b) هدایت خوا به سوی لایه نازک و ناپایدار مایع که ممکن است بوسیله چرخش مایع درون نازل ایجاد شود. به علت موثر بودن روش مایعات با ویسکوزیته بالا نیز می تواند بکار برده شوند.

در این نوع از نازلها مقدار مایع کم نیز می تواند مورد استفاده قرار گیرد. در این وضعیت حتی نیاز به چرخش مایع درون نازل قبل از تماس با هوا نیز وجود ندارد. ولی برای دبی های بالای مایع لایه لایه کردن مایع قبل از برخورد با گاز باعث یکنواختی اندازه و توزیع قطرات مایع می شود.

اشکال مختلف نازل های دو سیاله

۱. تماس گاز درون سر نازل (internal mixing)
۲. تماس گاز و مایع خارج از سر نازل (external mixing)
۳. ترکیب ماس داخلی و خارجی با استفاده از دو جریان گاز (Three-fluid nozzle)
۴. تماس گاز و مایع در لبه یک نازل چرخان (Pneumatic cup atomizer)

در شکل (23-6) سه نوع از نازل‌های دو سیاله مشاهده می‌شود.

نازل‌های دو سیالی دارای انعطاف بسیار زیادی در ایجاد سانیوهای

کوچک قطره در محدوده وسیعی از مقدار جریان مایع هستند. اما

اندازه کوچک ذرات اجازه پرتاب زیاد مایع از دهانه نازل تا فاصله

های دور را نمی‌دهد. اندازه قطره‌ها و خواص آن می‌تواند در

محدوده زیادی توسط نسبت هوا به خوراک تنظیم شود.

زاویه اسپری باریک است و نمی‌تواند بوسیله نسبت خوراک کایع به

گاز تغییر زیادی کند. معمولاً بیشترین مقدار زاویه 70-80 است که

در بیشترین دبی مایع و فشار هوا (گاز) برای نازل بدست می‌آید.

تا به حال انواع مختلفی از نازلها برای راکتورهای برخوردی مورد

استفاده قرار گرفته است. انتخاب نازل برحسب نوع راکتور و مورد

استفاده متفاوت است.

دو نوع نازل مختلف در این راکتورها مورد استفاده قرار گرفته اند.

در نوع اول، گاز و مایع سریعاً پس از خروج از نازل با یکدیگر تماس

پیدا می کنند بطوریکه افشانه گاز در اطراف افشانه مایع در جریان

است. در شکل ۲-۸ این نازل به همراه نگاهدارنده آن که در واکنش

جذب CO_2 بکار رفته است، نشان داده می شود. در این سیستم

نگاهدارنده نازل به شکل خاصی طراحی شده است که بتوان گاز را

یا در اطراف یا در داخل افشانه مایع هدایت کرد که این حالت برر

روی اندازه قطرات و نوسان آنها در محدوده جذب موثر می باشند.

شرایط گذر شده را می توان با زاویه α و طول حلقوی d (شکل ۲-۸)

۸) کنترل کرد. نازل نوع دوم، یک نازل دو فازی بحرانی می باشد به

صورتی که دو فاز، درون نازل با یکدیگر تلاقی می کنند. مشخصات

ویژه این نوع نازل در کمتر بودن سرعت مخلوط مایع-گاز به نسبت

تک تک فازها می باشد که در نتیجه محدوده توزیع اندازه قطرات

باریک می شود. از طرفی حدود ۴۰-۸۰ درصد جذب در داخل نازل

کامل می شود. یک نوع از این نازلها در شکل ۲-۹ نشان داده شده که

در فرآیند جذب CO_2 در آب بکار رفته است.

در این نوع راکتور عملیات جذب گاز، واجذبی، امولسیون سازی،

واکنش شیمیائی، سرمایش تبخیری و استخراج مایع انجام شده است.

۲-۱-۶ راکتورهای عمودی با دو جریان برخورد کننده

یکی دیگر از انواع راکتورهای برخورد کننده، راکتورهای عمودی

است (شکل ۲-۱۰ الف) که در حقیقت صورت بهبود یافته راکتورهای

بستر فواره ای (شکل ۲-۱۰ ب) می باشد. این نوع راکتور در

واکنشهای گاز-جامد بکار رفته و فرآیند اختلاط و خشک کردن ذرات

جامد در آن انجام گرفته است.

۷-۱-۲ راکتورهای چرخشی با دو جریان برخورد کننده

راکتورهای چرخشی با دو جریان برخورد کننده یکی دیگر از انواع

راکتورهای برخورد کننده می باشند که نسبت به راکتورهای

چرخشی جت دار معمولی، ضریب انتقال جرم بالاتری دارند. این

راکتورها در واکنشهای گاز-مایع دارند و یک نمونه از آن در شکل

۱۱-۲ نشان داده شده است. فاز گاز و مایع در داخل نازلها پیش

مخلوط می شوند، سپس دو جریان هموزن در داخل راکتور به هم

برخورد می کنند. بخشی از مخلوط گاز-مایع در منطقه برخوردی یک

گردش داخلی درون راکتور انجام می دهد. گردش خارجی جریان می

تواند باعث افزایش بیشتر سرعت جریانهای برخوردی شود. در این

راکتورها هوادهی به آب و تخریب بیولوژیکی فاضلاب بررسی شده

است.

۸-۱-۲ راکتورهای چند مرحله ای با دو - چهار جریان برخورد کننده

نمایی از راکتورهای چند مرحله ای با دو جریان برخورد کننده در

شکل ۲-۱۲-a نشان داده شده است. راکتور از قسمت‌های مختلفی

تشکیل شده که بوسیله صفحات a و a' که دارای ورودیهای ۱، ۴ و ...

هستند از یکدیگر جدا شده اند. دو صفحه جداکننده متوالی و نمای

بالایی آنها 'A-A' و 'B-B' در شکل نشان داده شده اند. در بین هر دو

صفحه یک جداره وجود دارد که با b و b' نشان داده شده است. این

جداره ها باعث تقسیم جریان گاز - جامد به دو جریان مساوی شده

و پدیده برخورد در قسمت بعد را بوجود می آورند.

در این راکتورها، دو جریان گاز-جامد از بالا به راکتور وارد می

شوند. این دو جریان در منطقه برخوردی با یکدیگر برخورد می کنند.

جریان مخلوط گاز-جامد حاصل از ورودی ۱ به سمت پایین جریان

می یابد و توسط جداره b به دو جریان افقی مساوی تقسیم می شود.

دو جریان در بالای خروجی ۴ با یکدیگر برخورد می کنند و سپس

وارد مرحله بعد می شوند که در این مرحله مجدداً توسط جداره b

به دو جریان افقی و مساوی تقسیم شده و این رفتار تا انتها ادامه می

یابد. نهایتاً جامدات از خروجی ۲ خارج گشته و گاز نیز از لوله ۳

خارج می شود. شکل ۲-۱۲-b نیز نمایی از راکتورهای چند مرحله

ای با چهار جریان برخوردکننده است که اصول کار آن مانند حالت

قبل می باشد. در این راکتورها خشک کردن جامدات بررسی شده

است.

فصل سوم

سولفوته کردن تولوئن

۳-۱- مقدمه

سولفوته کردن مواد آلی یکی از فرآیندهای مهم صنعتی محسوب می شود. این واکنشها معمولاً در دو فاز گاز-مایع و یا مایع-مایع

صورت می گیرند. تولید بسیاری از محصولات مورد نیاز بشر از جمله بخش عمده ای از مواد پاک کننده از طریق واکنشهای سولفوته

شدن حاصل می شوند.

هدف اساسی در طرح حاضر بررسی کاربر راکتورهای با دو جریان

برخورد کننده در واکنش دو فازی مایع-مایع می باشد. جهت ارجیا

این مطالعه یک واکنش خاص بعنوان الگوی واکنشهای مایع-مایع

انتخاب گردید. گزینش چنین واکنشی منوط به موجود بودن اطلاعات

کافی نستیکی بود. پس از بررسی های لازم سرانجام سولفوتیله کردن

تولون بوسيله اسيد سولفوریک مناسب تشخیص داده شد.

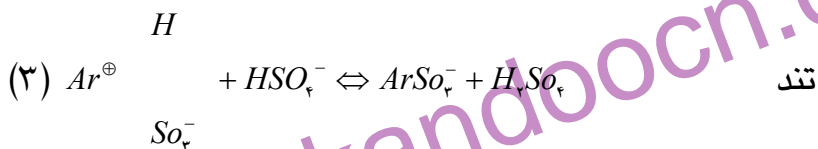
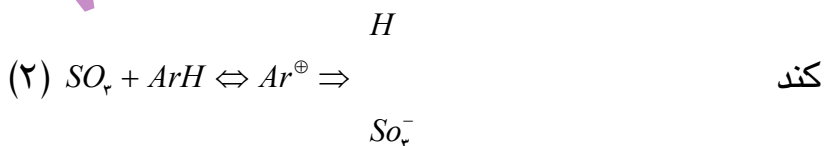
واکنش دوفازی کردن تولون با اسيد سولفوریک تا کنون بوسيله

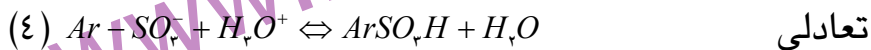
پژوهشگران مختلفی مورد مطالعه قرار گرفته است.

۲-۳ مکانیسم سولفوتیله شدن

سولفوتیله شدن بسیاری از ترکیبات آروماتیک با اسيد سولفوریک از

مراحل زیر تشکیل می شود.





اولین مرحله را که در آن تری اکسید گوگرد الکتروفیلیک تولد می شود در حقیقت می توان یک تعادل اسید-باز بین ملکولهای اسید سولفوریک محسوب کرد.

در مرحله (۲)، عامل الکتروفیلیک یعنی SO_3 یعنی حلقه بنزن و یک واسطه کاربو کاتیونی ایجاد می کند. با وجود آنکه تری اکسید گوگرد فاقد بار مثبت است معینا بعلت کمبود الکترون یک نوع اسید محسوب می شود.

در مرحله (۳) با از میان رفتن یک یون هیدروژن یک محصول استخلافی پایدار حاصل می گردد. و آنگاه آنیون اسید سولفوریک که یک اسید قوی است به شدت تجزیه می شود (مرحله ۴)

در مورد برخی از مواد آروماتیک و تحت شرایط ویژه ممکنست که

عامل الکتروفیل HSO_4^+ و یا ملکولهایی باشند که عوامل SO_4 و یا

HSO_4^+ را به سهولت به حلقه انتقال می دهند.

بدیهی است در صورت استفاده از انرژی اکسید گوگرد بعنوان عامل

سولفوته کننده مراحل (۱) و (۳) صورت نمی گیرد و کاربوکاتیون

واسطه در اثر بازآرایی به محصول نهائی تبدیل می شود.

بر اسا مطالعات بعمل آمده سرعت واکنش شیمیائی سا سولفوته

شدن تولوئن با اسید سولفوریک در دماهای بین ۲۰ تا ۵۰ درجه

سلسیوس و غلظت ۱۲ تا ۱۵ مول بر لیتر از اسید سولفوریک از درجه

دوم بصورت زیر است.

$$Rate = k[H_2SO_4][C_6H_5CH_3]$$

۳-۳ مدلهای ریاضی وامنش نامتجانس سولفوته شدن تولوئن

(الف) سیستم دو فازی مایع-مایع

از بررسی ای که صورت گرفته روشن شده است که واکنش

نامتجانس سولفوته شدن تولوئن با اسید سولفوریک یک فعل و انفعال

تند محسوب می شود و بعبارت دیگر واکنش در فاز اسید و در

ناحیه ی حوزه ای مجاور با فصل مشترک دو فاز انجام شده و تجمع

تولوئن در فاز اسید وجود ندارد. علاوه بر آن مراحل زیر نیز صورت

می گیرد.

(۱) تولوئن از فاز آ L به سوی فصل مشترک دو فاز نفوذ می نماید.

(۲) تولوئن در فصل مشترک دو فاز به توده اسید نفوذ می کند.

(۳) در حین نفوذ، تولوئن با اسید سولفوریک ترکیب شده و تولوئن

سولفوریک اسید ایجاد می کند.

(۴) محصول ایجاد شده در فاز اسید باقی می ماند.

(۵) مقدار اندکی از اسید سولفوریک به داخل فاز آ L نفوذ می نماید.

چنانکه ذکر شد مراحل (۲) و (۳) تعیین کننده سرعت کلی واکنش می باشند.

(۱) واکنش فاز آ L بسیار کند و قابل اغماض است.

(۲) غلظت اسید سولفوریک در فاز اسید بمراتب بزرگتر از غلظت

تولون تفوذ کننده در این فاز است.

(۳) رابطه ساده ای بین توزیع غلظت تولون در فاز آ L و غلظت آن

در فصل مشترک وجود دارد. $C_{T0} = \phi C_T^*$

از برقراری موازنه جرم تولون در بخش حوزه واکنش به ضخامت

dx معادله زیر حاصل می شود.

$$D \frac{d^* C_T}{dx^*} = \text{rate} = r(C_T) \quad (6)$$

که در آن D ضریب نفوذ در فاز اسید و C_T غلظت تولوئن در این فاز

است. از حل معادله فوق با شرایط مرزی زیر، معادله سرعت کلی

واکنش حاصل خواهد گردید.

در فصل مشترک: $x = 0 \quad C_T = C_T^*$

در توده فاز اسید: $C_T = 0 \quad \frac{dc}{dx} = 0$

$$\text{Rate} = a \sqrt{2D \int_0^{C_T^*} r(C_T) dc_t} \quad (7)$$

یا

$$\text{Rate} = a \sqrt{Dk C_{H,SO_4} C_T^*} \quad (8)$$

$$= \frac{a}{\phi} \sqrt{Dk C_{H,SO_4}}$$

(ب) مستقیم دوفازی گاز-مایع

واکنش بین گاز SO_3 و تولوئن یک فعل و انفعال بسیار سریع است که در فاز مایع صورت می گیرد. در ایسن حالت تری اکسید گوگرد به محض نفوذ در فاز مایع و در طی یک واکنش آنی با تولوئن ترکیب می شود. واکنش برگشت ناپذیر است اما امکان تولید مواد جانبی از جمله سولفاتها در این سیستم بیش از فرآیندهای مایع-مایع می

باشد.

در واکنشهای آنی امکان حضور ترکیب شونده ها در مجاورت یکدیگر وجود ندارد و از حوزه واکنش یک صفحه محدود می شود. اگر فاصله صفحه واکنش تا فصل مشترک را به λ نشان دهیم،

معادلات دیفرانسیلی موازنه جرم در چنین سیستمی بصورت زیر بیان خواهد گردید.

$$D_T \frac{\partial^2 C_T}{\partial x^2} = \frac{\partial C_T}{\partial t} \quad \text{در } x > \lambda \quad (9)$$

$$D_A \frac{\partial^2 C_A}{\partial x^2} = \frac{\partial C_A}{\partial t} \quad \text{در } x > \lambda \quad (10)$$

شرایط مرزی و اولیه عبارتست از:

$$t = 0 \quad C_A = 0 \quad C_T = C_{T_0} \quad (11)$$

$$x = 0 \quad C_A = C_A^* \quad (12)$$

$$x \rightarrow \infty \quad C_T = C_{T_0}, \quad \frac{\partial C_T}{\partial x} = 0 \quad (13)$$

$$x = \lambda \quad C_T = 0, \quad C_A = 0 \quad (14)$$

$$\frac{d\lambda}{dt} = - \left(\frac{\partial C_A / \partial t}{\partial C_A / \partial x} \right)_{x=\lambda} \quad (15)$$

به علاوه بر اساس معائله استوکیومتری رابطه زیر در صفحه واکنش برقرار می باشد.

$$D_T \left(\frac{\partial C_T}{\partial x} \right) = - D_A \left(\frac{\partial C_A}{\partial x} \right) \quad \text{در } x = \lambda \quad (16)$$

در روابط فوق C_T غلظت تولوئن در حوضه L_1 صفحه واکنش و C_{T0}

غلظت آن در توده مایع است. C_A و C_A^* به ترتیب غلظت SO_2 در فاز

مایع و غلظت آن بر روی فصل مشترک دو فاز می باشد. از حل

معادلات (۹) و (۱۰) توزیع غلظت تولوئن بصورت زیر حاصل می

شود:

$$C_T = C_{T0} - A_1 \operatorname{erfc} \frac{x}{\sqrt{2} \sqrt{D_A t}} \quad (17)$$

$$C_A = C_A^* - A_2 \operatorname{erf} \frac{x}{\sqrt{2} \sqrt{D_A t}} \quad (18)$$

حرکت صفحه واکنش با رابطه زیر بیان می گردد.

$$\lambda = \sqrt{2} \sqrt{\alpha t} \quad (19)$$

ثابت های A_1 ، A_2 و α از سه شرط مرزی (۱۴)، (۱۵) و (۱۶) حاصل

ذمی شوند.

$$A_1 = -\frac{C_A^*}{\operatorname{erf} \sqrt{\alpha / D_A}} \quad (20)$$

$$A_2 = -\frac{C_{T0}}{\operatorname{erfc} \sqrt{\alpha / D_T}} \quad (21)$$

$$\frac{q \sqrt{D_A} C_A^*}{\operatorname{erf} \sqrt{\alpha / D_A}} \exp\left(-\frac{\alpha}{D_A}\right) = \frac{\sqrt{D_T} C_{T0}}{\operatorname{erfc} \sqrt{\alpha / D_T}} \exp\left(-\frac{\alpha}{D_T}\right) \quad (22)$$

سرعت واکنش آنی با رابطه زیر داده می شود.

$$\text{Rate} = D_A \left(\frac{\partial C_A}{\partial x} \right)_{x=0} = \sqrt{\frac{D_A}{\pi}} \cdot \frac{C_A^*}{\operatorname{erf} \sqrt{\alpha / D_A}} \quad (23)$$

با توجه به آنکه غلظت تولوئن در توده مایع بمراتب بزرگتر از غلظت

SO_2 در فصل مشترک است لذا معادله (۲۲) را می توان بصورت زیر

ساده کرد.

$$\sqrt{\frac{D_T}{D_A}} \frac{C_{T0}}{C_A^*} \exp\left(-\frac{\alpha}{D_T} + \frac{\alpha}{D_A}\right) \operatorname{erf} \sqrt{\frac{\alpha}{D_A}} + \operatorname{erf} \sqrt{\frac{\alpha}{D_T}} = 1 \quad (24)$$

از معادله (۲۴) روشن می شود که اگر C_{To}/C_A^* بزرگ باشد، مقدار

$erf(\alpha/D_A)^{1/2}$ کوچک خواهد بود. بعبارت دیگر $\alpha \ll D_A$ است. در این

صورت تقریب زیر قابل قبول می باشد.

$$erf \sqrt{\frac{\alpha}{D_A}} \cong \sqrt{\frac{D_T}{D_A}} erf \sqrt{\frac{\alpha}{D_T}} \quad (25)$$

و یا

$$\exp\left(-\frac{\alpha}{D_A} + \frac{\alpha}{D_T}\right) \cong 1 \quad (26)$$

معادله فوق در صورتی که D_A و D_T تفاوت چندانی با یکدیگر نداشته

باشند صادق خواهد بود که در مورد فرآیند سولفورده شدن این

فرض برقرار می باشد. از جایگزینی معادلات (۲۵) و (۲۶) در (۲۳)

خواهیم داشت:

$$\frac{1}{erf \sqrt{\alpha/D_A}} = \sqrt{\frac{D_A}{D_T}} + \sqrt{\frac{D_T}{D_A}} \cdot \frac{C_{To}}{C_A^*}$$

صحت روابط داده شده در فوق در مرجع [۴۳] مورد بحث قرار

گرفته است.

[37] Gaddis E.S, Vogelpohl, A. « The Impinging Streams Reactor : A High Performancw », Chem.Eng.Sci., 74(9-11)2877 (1992).

[38] Sievers, M., Gaddis, E.S., Vogelphol,A., Flind Dynamics in a Impinging Dstream Reactor'', Chem.Eng.Proc., 34(2)115 (1995)

[39] Sohrabi, M., Kaghazchi; T., Hanson, C., «Homogencous and two phase sulphonatron of some Aromatic hydrocarbons», J.appl.Chem. Biotechnol., 27,453 (1977).

[40] Sohrabi,M., T., «Some aspects of homogeneous and two phase aromatic sulphonation», J.Chem. Tech. Niotechnol. 13,409(1981)

[41] Roberts, D., Gore, P.H., J.Apple.Chem. , 14, 212(1996)

[42] Cerfontain, H, Kaandrop, AW., Sixma, F.L., Rec. Trau.Chim 79, 935 (1960)

[43] Sohrabi, M., «Continuous two phase sulphonation of some aromatic hydrocarbons», Afinidad, 50, 181(1983)