

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه تربیت مدرس
دانشکده فنی و مهندسی

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی شیمی - طراحی فرآیند

بررسی تاثیر توالی زمان بر عملکرد جداسازی نیتروژن از هوا باروش جذب سطحی با تناوب فشار (PSA)

دانشجو:

سارا سپهری

استاد راهنما:

دکتر جعفر توفیقی

استاد مشاور:

دکتر مسعود مفرحی

پاییز ۱۳۸۸

تقدیم به

دستان پرتلاش و چشمان نگران

پدر و مادرم

قدردانی

سپاس خداوند یکتا را که انسان را به حرمت عقل ، اندیشه و عواطف انسانی خلیفه خود در این کره خاکی قرار داد. بر خود لازم می دانم که بعد از شکر و سپاس از درگاه خداوند، نسبت به ایشار و محبت اساتید گرامیم سر تعظیم فرود آورده و قدردان محبتشان باشم. مراتب احترام خود را به تمامی معلمان و اساتید معزز ابراز می دارم، خصوصاً جناب آقای دکتر جعفر توفیقی داریان که در حد امکان با مشاورت خویش در پرباری این مجموعه زحمت کشیده اند و همچنین از جناب آقای دکتر مسعود مفرحی که در این پروژه همواره مرا از رهنمودهای ارزنده خویش بهره مند نمودند و با وجود تمام مشکلات لحظه ای از راهنماییهای خردمندانه خود محروم نساختند. در آخر لازم می دانم از پدر و مادر و همسر عزیزم که مرا در انجام این پروژه کمک و یاری کرده اند، تشکر و قدردانی نمایم.

چکیده

موضوع این تحقیق مطالعه آزمایشگاهی و تئوری تاثیر توالی زمان بر عملکرد جداسازی نیتروژن از هوا با روش جذب سطحی با تناوب فشار است. توالی زمانی از پارامترهای تاثیرگذار در عملکرد این فرایند بوده که تا کنون کمتر مورد توجه قرار گرفته است. مطابق آزمایشات انجام شده و نتایج مدلسازی، انتخاب صحیح این آرایش می تواند تاثیر مطلوبی در عملکرد سیستم داشته باشد. به منظور تحقیق و مطالعه بیشتر یک واحد نیمه صنعتی شامل چهار بستر مجهز به سیستمهای کنترل و آنالیز در دانشگاه تربیت مدرس راه اندازی گردید. در این تحقیق، به منظور بررسی عملکرد واحد و بررسی توالیهای متفاوت، جداسازی نیتروژن از هوا با استفاده از جاذب غربال مولکولی کربنی در یک سیکل ۶ مرحله ای در زمانها و توالی های زمانی مختلف، شدت جریانهای مختلف محصول و زدایش انجام پذیرفت. با انجام این آزمایش ها منحنیهای کارائی سیستم در توالیهای زمانی متفاوت بدست آمده و با یکدیگر مقایسه شده اند و اثر سایر پارامترهای موثر بر فرآیند نیز مورد بررسی قرار گرفت و نتایج مربوطه ارائه شد. به منظور بررسی بهتر نتایج تجربی، دینامیک فرایند نیز با استفاده از روش اورتوگونال کالوکیشن^۱ و نرم افزار MATLAB مدلسازی شده است. نتایج تئوری و تجربی ارائه شده مطابقت خوبی را با یکدیگر داشته و همچنین مطابقت خوبی را با نتایج موجود در منابع نشان داده است. در این تحقیق، آزمایش ها در سه دسته سیکلهای ۱۲۰، ۱۶۰ و ۲۰۰ ثانیه و سه نوع توالی زمانی A, B, C در فشار ۸ بار و چهار مقدار محصول ۱/۲۵، ۳/۷۵، ۶/۲۵ و ۱۰/۶۲ لیتر بر دقیقه و شش مقدار جریان زدایش ۲، ۴، ۶، ۸، ۱۲، ۱۵ لیتر بر دقیقه انجام شده است. مطابق نتایج، فرایند در مراحل کوتاهتر جذب و طولانی تر تخلیه و فشار زنی با خوراک در سیکل نوع B عملکرد بهتری داشته است. بیشترین درصد خلوص ۹۸/۵۳ در زمان سیکل ۱۲۰ ثانیه با توالی زمانی نوع B با طول مرحله جذب ۳۰ s طول مرحله تخلیه ۲۰ s و خوراک زنی ۲۰ بدست آمد.

واژه های کلیدی: جذب سطحی با تناوب فشار، توالی زمانی، نیتروژن، غربال مولکولی کربنی، مدلسازی،

اورتوگونال کالوکیشن

^۱ Orthogonal Collocation

صفحه	عنوان
۲	فصل ۱ کلیات
۳	۱-۱. مقدمه.....
۳	۲-۱. تئوری جذب سطحی.....
۴	۱-۲-۱. جذب سطحی فیزیکی یا واندروالس.....
۴	۲-۲-۱. جذب سطحی شیمیایی.....
۵	۳-۱. انواع روش های احیای جاذب.....
۶	۴-۱. دسته بندی فرایندهای جذب بر اساس مکانیزم جداسازی.....
۷	۵-۱. جاذبها.....
۷	۱-۵-۱. طبیعت جاذبها.....
۸	۲-۵-۱. انواع جاذبها.....
۱۰	۳-۵-۱. مشخصات جاذب.....
۱۱	۴-۵-۱. انتخاب جاذب مناسب.....
۱۲	۶-۱. فرایند جذب با تناوب فشار.....
۱۳	۱-۶-۱. تاریخچه فرایند.....
۱۴	۲-۶-۱. مزایای فرایند PSA.....
۱۵	۳-۶-۱. مقایسه روش PSA با سایر روشهای جذب سطحی.....
۱۶	۴-۶-۱. انواع فرایند های PSA.....
۱۷	۵-۶-۱. بررسی پارامترهای موثر بر فرایند PSA.....
۲۰	۶-۶-۱. کاربردهای صنعتی فرایند PSA.....
۲۱	۷-۱. جداسازی هوا.....

۱-۷-۱. جداسازی اکسیژن..... ۲۱

۲-۷-۱. تولید نیتروژن..... ۲۳

۲۷

فصل ۲ مدل سازی و شبیه سازی فرآیند

۱-۲. مقدمه ۲۸

۲-۲. تئوری مدل ۲۹

۳-۲. ایزوترم جذب سطحی ۲۹

۴-۲. فرضیات مدل سازی ۳۰

۵-۲. قانون بقای جرم در فاز گاز ۳۱

۶-۲. موازنه جرمی در فاز جامد ۳۵

۷-۲. معادلات و شرایط مرزی مراحل ۳۶

۸-۲. بدون بعد کردن معادلات ۴۲

۹-۲. حل معادلات ۴۷

۱-۹-۲. آماده سازی معادلات به روش اورتوگونال کالوکیشن برای حل ۵۳

۶۱

فصل ۳ واحد آزمایشگاهی جذب با تناوب فشار

۱-۳. مقدمه ۶۲

۲-۳. شرح واحد آزمایشگاهی ۶۲

۱-۲-۳. بخش خوراک ۶۳

۲-۲-۳. بسترها ۶۴

۳-۲-۳. کنترل ۶۵

۴-۲-۳. آنالیز ۶۶

۳-۳. توجیه نحوه طراحی آزمایش ها ۶۶

۴-۳. شرح فرآیند ۶۸

۵-۳. نتایج مدل سازی ۷۰

۳-۵-۱. بررسی تغییرات غلظت نیتروژن حاصل از شبیه سازی نسبت به زمان بی بعد.....	۷۲
۳-۵-۲. بررسی تغییرات غلظت نیتروژن حاصل از شبیه سازی نسبت به طول بستر بی بعد.....	۷۴
۳-۵-۳. بررسی تغییرات سرعت بدست آمده از شبیه سازی فرایند برای کلیه مراحل.....	۷۶
۳-۶-۶. مقایسه نتایج تجربی و مدل سازی.....	۷۷
۳-۶-۱. بررسی تغییرات دما در یک بستر در سیکل های متوالی.....	۷۷
۳-۶-۲. بررسی تغییرات فشار بسترها در سیکل های متوالی.....	۷۸
۳-۶-۳. بررسی الگوی فشار.....	۷۹
۳-۷-۷. بررسی تاثیر پارامترهای مختلف بر عملکرد.....	۸۰
۳-۷-۱. منحنی های خلوص و بازیابی محصول بر حسب جریان خوراک.....	۸۰
۳-۷-۲. اثر مقدار محصول بر خلوص و بازیابی.....	۸۱
۳-۷-۳. مقایسه سیکل هایی با زمانهای متفاوت.....	۸۲
۳-۷-۴. بررسی اثر زمان و نسبت Purge/Feed.....	۸۳
۳-۷-۵. عملکرد فرآیند: منحنیهای درصد خلوص بر حسب بازیابی.....	۸۵
۳-۸-۸. مقایسه سیکل هایی با ترتیب های زمانی متفاوت.....	۸۶
۳-۸-۱. انتخاب طول زمانی مرحله جذب:.....	۸۷
۳-۸-۲. اثر طول زمانی مرحله فشارزنی با خوراک.....	۸۹
۳-۸-۳. اثر طول زمانی مرحله تخلیه.....	۹۱
۳-۸-۴. بررسی عملکرد فرایند در توالی های متفاوت.....	۹۲
۳-۸-۵. انتخاب بهترین توالی زمانی.....	۹۴
۳-۹-۹. نتیجه گیری.....	۹۵
۳-۱۰-۱۰. پیشنهادات.....	۹۶

فهرست علائم اختصاری

$A (cm^2)$	سطح مقطع بستر
$A (j, i)$	ضریب گرادیان درروش اورتوگونال کالوکیشن
$b_i (1/atm)$	پارامتر تعادلی لانگمویر جزء i
$B (j, i)$	ضریب لاپلاسین درروش اورتوگونال کالوکیشن
$C_i (mol/cm^3)$	غلظت جزء i در فاز گاز
$C_t (mol/cm^3)$	غلظت کل
$D (cm^2/s)$	ضریب نفوذ محوری
$K_i (cm/s)$	ضریب انتقال جرم جزء i
$L (cm)$	طول بستر
$m (mol/s)$	دبی مولی گاز
$N_i (mol/cm^2 s)$	شار مولی جزء i
n	تعداد ذرات جاذب
N	تعداد نقاط کالوکیشن
$P_i (atm)$	فشار کل
$P_H (atm)$	بالاترین فشار در هر سیکل
$P_L (atm)$	پائین ترین فشار در هر سیکل
$q_i (mol/cm^3)$	غلظت جزء i در فاز جامد
$q_i^* (mol/cm^3)$	غلظت جزء i در فاز جامد در حال تعادل با فاز گاز
$q_{is} (mol/cm^3)$	غلظت اشباع جزء i در فاز جامد
$R (J/gmol.k)$	ثابت گازها

$T (C)$	دما
$t (S)$	زمان
$V (cm/s)$	سرعت. جریان داخل بستر
$V_{OH}(cm /s)$	سرعت جریان در ورودی به بستر در مرحله جذب
$V_{OL}(cm /s)$	سرعت جریان در محصول خروجی از مرحله جذب
$Vt (cm^3)$	حجم کل
$Vp (cm^3)$	حجم یک ذره جاذب
$z(cm)$	فاصله از نقطه ورودی به بستر
ε	ضریب تخلخل بستر
G	نسبت سرعت جریان در ورودی به بستر به سرعت جریان در محصول خروجی از مرحله جذب
U	سرعت بدون بعد
τ	زمان بدون بعد
X_i	غلظت بدون بعد جزء i در فاز گاز
Y_i	غلظت بدون بعد جزء i در فاز جامد
γ_i	نسبت غلظت‌های اشباع جزء i
P_{e_n}	عدد پکلت جرمی
α_i	ضریب انتقال جرم بدون بعد جزء i
β_i	ضریب لانگمویر بدون بعد جزء i
X	طول بدون بعد

فهرست جداول

صفحه	عنوان
۲	فصل ۱ کلیات
۲۸	فصل ۲
۲۸	مدل سازی و شبیه سازی فرآیند
۴۴	جدول ۳-۱: گروه های بدون بعد مورد استفاده برای بدون بعد کردن معادلات
۶۲	فصل ۳ واحد آزمایشگاهی جذب با تناوب فشار
۶۶	جدول ۳-۱: مشخصات جاذب و بستر جذب
۶۸	جدول ۳-۲: ترتیب زمانی بسترها
۶۹	جدول ۳-۳: شرایط عملیاتی آزمایشها
۷۲	جدول ۳-۴: پارامترهای استفاده شده در شبیه سازی فرایند
۹۰	جدول ۳-۵: مراحل زمانی سیکل های PSA مورد آزمایش
۹۹	جدول ۱. نتایج آزمایشات تجربی و تئوری جداسازی نیتروژن از هوا توسط غربال مولکولی کربنی در فشار ۸ بار

فهرست اشکال

صفحه	عنوان
۲	فصل ۱ کلیات
۲۷	فصل ۲ مدل سازی و شبیه سازی فرآیند
۳۲	شکل ۳-۱. المان حجمی به صورت استوانه
۶۱	فصل ۳ واحد آزمایشگاهی جذب با تناوب فشار
۶۱	شکل ۳-۱. نمودار جریان فرآیند جداسازی نیتروژن از هوا
۶۴	شکل ۳-۲. نمایی از واحد آزمایشگاهی
۷۰	شکل ۳-۳. ۵۰ ثانیه اول فرایند چهار بستری سیکل ۲۰۰ ثانیه ای نوع B
۷۳	شکل ۳-۴. بررسی تغییرات غلظت نیتروژن بدست آمده از شبیه سازی فرایند در انتهای بستر نسبت به زمان بی بعد
۷۵	شکل ۳-۵. بررسی بررسی تغییرات غلظت نیتروژن بدست آمده از شبیه سازی فرایند نسبت به طول بستر بی بعد
۷۷	شکل ۳-۶. بررسی تغییرات سرعت بدست آمده از شبیه سازی فرایند برای کلیه مراحل در ورودی بستر نسبت به زمان بدون بعد
۷۸	شکل ۳-۷. تغییرات دما نسبت به زمان در یک بستر سیکل ۱۲۰ ثانیه ای در چهارسیکل متوالی
۷۹	شکل ۳-۸. تغییرات فشار بسترها در ۴ سیکل ۱۲۰ ثانیه ای متوالی
۸۰	شکل ۳-۹. نتایج تجربی و شبیه سازی تغییرات فشار در یک سیکل ۱۲۰ ثانیه ای
۸۱	شکل ۳-۱۰. بازیابی و خلوص محصول بر حسب جریان خوراک در زمان سیکل ۲۰۰s نوع C و میزان جریان پاکسازی lit/min
۸۲	شکل ۳-۱۱. بازیابی و خلوص محصول بر حسب جریان محصول در زمان سیکل ۲۰۰s نوع C و میزان جریان پاکسازی lit/min
۸۳	شکل ۳-۱۲. خلوص محصول بر حسب زمان سیکل با توالی زمانی یکسان نوع C درمیزان پاکسازی ۶ lit/min و محصول ۱,۲۵ lit/min
۸۴	شکل ۳-۱۳. درصد خلوص برحسب نسبت *۱۰ Purge/Feed در زمانهای سیکل متفاوت و توالی یکسان نوع B و مقدار محصول ۳/۷۵ lit/min
۸۶	شکل ۳-۱۴. خلوص محصول بر حسب بازیابی در زمانهای سیکل متفاوت و توالی یکسان نوع C و جریان پاکسازی ۸۶ lit/min
۸۸	شکل ۳-۱۵. خلوص محصول بر حسب زمان مرحله جذب در مفادیر خوراک ۲۸ lit/min و جریان پاکسازی ۶ lit/min و در مقدار محصول ۱/۲۵ lit/min و توالی زمانی یکسان نوع C

شکل ۳-۱۶. خلوص محصول بر حسب بازیابی در زمانهای مرحله جذب متفاوت در مقدار جریان پاکسازی ۴ lit/min ۸۸

شکل ۳-۱۷. خلوص محصول بر حسب نسبت زمان مرحله فشارزنی با خوارک به زمان مرحله جذب در مقدار محصول lit/min ۱/۲۵ و زمان سیکل ۲۰۰ s با توالی های متفاوت. ۹۰

شکل ۳-۱۸. خلوص محصول بر حسب زمان مرحله فشارزنی با خوارک به زمان مرحله جذب در مقدار محصول lit/min ۶/۲۵ و جریان پاکسازی ۲lit/min و زمان سیکل ۲۰۰ s با توالی های متفاوت ۹۱

شکل ۳-۱۹. خلوص و بازیابی محصول بر حسب نسبت زمان مرحله تخلیه در در زمان کل سیکل ثابت و توالی های متفاوت و مقدار محصول ۱/۲۵ لیتر بر دقیقه و جریان پاکسازی ۴ لیتر بر دقیقه ۹۲

شکل ۳-۲۰. خلوص محصول بر حسب بازیابی در ترتیب های زمانی متفاوت ۲۰۰s و مقدار جریان پاکسازی ۴ لیتر بر دقیقه ۹۳

فصل ۱

کلیات

۱-۱. مقدمه

گاهی اوقات در صنعت به مواردی برخورد می‌کنیم که برای جداسازی آنها از فرایندهای معمول مانند استخراج، تقطیر و ... نمی‌توان استفاده کرد. در این موارد غالباً از جذب سطحی استفاده می‌شود. اصولاً از این فرایند زمانی استفاده می‌شود که عمل تقطیر اقتصادی نبوده و نقطه جوش مواد به هم نزدیک باشد. اساساً در این فرایند، سیال از یک بستر پر شده عبور کرده و این مواد بطور فیزیکی یک گونه مشخص از مولکول‌ها را جذب و در نتیجه غلظت سیال تغییر می‌کند. این گزینش‌پذیری جاذب ممکن است به تفاوت در تعادل جذب یا تفاوت در گزینش‌پذیری سنتیکی بستگی داشته باشد. بنابراین این فرایند به عملیات انتقال جرم بین فاز توده سیال و سطح داخلی جاذب بستگی دارد [۱]. فرایند جذب سطحی یک تکنولوژی جدید برای تولید گازهای صنعتی مانند اکسیژن، هیدروژن، نیتروژن و دی‌اکسید کربن می‌باشد [۲، ۱]. اولین کار تحقیقاتی در سال ۱۹۸۵ بر روی این فرایند انجام شد و از آن زمان به عنوان یکی از پرکاربردترین روش‌های صنعتی مطرح شد [۳]. این فرایند از دو مرحله اصلی جذب^۱ و دفع^۲ تشکیل شده است.

۱-۲. تئوری جذب سطحی

عملیات جذب سطحی توانائی و قابلیت جذب انتخاب یک یا چند جزء از یک مخلوط نسبت به اجزاء دیگر در سطح یک جامد با تخلل میکروسکوپی که بنام جاذب شناخته می‌شود، می‌باشد. در این حالت اجزاء مخلوطهای گاز یا مایع می‌توانند از هم جدا شوند [۴]. جداسازی جریان‌های گازی توسط جذب سطحی همچنان رو به افزایش است. در این فرایند مخلوطی که باید جدا شود در تماس با یک فاز نامحلول به نام

^۱ Adsorption

^۲ Desorption

جاذب قرار گرفته و توزیع نامتعادلی از اجزاء اصلی بین فاز جذب شده روی سطح جاذب و توده سیال ایجاد شده و بدین ترتیب جداسازی انجام می‌شود. فرایند جذب می‌تواند در فاز هموژن صورت گیرد در حالیکه جداسازی در سطح مشترک سیال- جامد اتفاق می‌افتد [۵]. عملیات جذب از قابلیت بعضی از جامدات در جذب بعضی از مواد موجود در محلول روی سطح استفاده می‌نماید. دو نوع جداسازی در جذب مطرح است، جذب سطحی فیزیکی یا واندروالس و جذب سطحی شیمیایی [۴].

۱-۲-۱. جذب سطحی فیزیکی یا واندروالس

این نوع جذب از طریق نیروهای بین مولکولی جامد و اجزاء جذب شده صورت گرفته و یک پدیده بازگشت پذیر می‌باشد. زمانیکه نیروهای جذب بین مولکولی یک جامد و گاز بزرگتر از نیروهای بین مولکولی گاز به تنهایی است، گاز چنانچه دارای فشاری پائین تر از فشار بخار مربوطه باشد، روی سطح جامد کندانس می‌شود. این کندانس شدن همراه با آزاد شدن مقداری گرماست که معمولاً مقدار آن بزرگتر از گرمای نهان تبخیر و یا گرمای تصعید گاز است. جزء جذب شده به داخل ساختارها نفوذ نکرده و در آن حل نمی‌شود، بلکه بر روی سطح آن باقی می‌ماند. زمانی که تعادل برقرار است، فشار جزئی ماده جذب شده با فشار جزئی فاز گاز در تماس با آن مساوی است [۷،۶]. در بیشتر مواقع، با پائین آوردن فشار گاز و یا افزایش دما، گاز جذب شده سطحی به راحتی دفع سطحی می‌شود [۴].

۱-۲-۲. جذب سطحی شیمیایی

جذب سطحی شیمیایی نتیجه واکنش بین جامد و ماده جذب شده است [۸]. این پدیده اغلب غیر قابل بازگشت بوده و نیروی چسبندگی معمولاً بزرگتر از نیروی است که در نوع فیزیکی مشاهده می‌شود. گرمای آزاد شده در طی جذب شیمیایی به دلیل انجام واکنش شیمیایی معمولاً بزرگتر است، این نوع جذب بیشتر در کاتالیزورها مشاهده می‌شود [۷]. همان موادی که در دمای پایین به صورت فیزیکی جذب سطحی جامد می‌شوند، ممکن است در دمای بالا به صورت شیمیایی جذب شوند و حتی ممکن است هر

۳-۱. انواع روش های احیای جاذب

پس از گذشت مدتی از انجام عملیات جذب سطحی، در اثر جذب مولکول‌ها در خلل و فرج جاذب، ظرفیت جاذب تمام و از نقطه نظر تعادل دینامیکی غیر فعال می‌شود و برای استفاده مجدد از جاذب لازم است با بیرون راندن جزء سنگین احیاء شود. برای احیاء چندین روش وجود دارد که هر کدام مناسب شرایط خاص عملیاتی می‌باشند. در برخی موارد می‌توان از ترکیب این روش‌ها استفاده نمود. روش‌های رایج احیای جاذب عبارتند از :

- **تناوب دما (TSA):** در این روش جاذب با اعمال حرارت احیاء می‌شود. عملیات حرارتی معمولاً با پیش گرم کردن توسط یک جریان زدایش گازی انجام می‌شود. با افزایش دما میزان جذب کاهش یافته و عمل دفع اتفاق می‌افتد. کاهش عمر جاذب در اثر تکرار چرخه‌ها زمان طولانی و هزینه بالا از اشکالات این فرایند است [۶]. این فرایند معمولاً در خالص‌سازی‌ها استفاده می‌شود [۹].
- **تناوب فشار (PSA):** در این روش که متداولترین روش بوده احیای جاذب با کم کردن فشار انجام می‌شود. مزیت آن نسبت به TSA این است که تغییر فشار بسیار سریعتر از دما ایجاد و زمان سیکل کوتاهتر و میزان خوراک دهی به ازای واحد حجم بستر افزایش و مقدار جاذب مورد نیاز کاهش می‌یابد [۶،۲].
- **استفاده از یک گاز بی اثر:** روش دیگر استفاده از یک گاز بی‌اثر و غیر قابل جذب و عبور آن از داخل بستر است که باعث پاکسازی بستر می‌شود. این فرایند زمانیکه اتصال ماده جذب شده به جاذب ضعیف باشد، به کار می‌رود. مزیت این روش این است که در این حالت مواد مختلف از یکدیگر جدا شده و می‌توان عمل دفع را در دماهای پایین‌تری انجام داد [۱۰،۶].

• استفاده از یک گاز تمیز کننده: روش دیگر استفاده از یک گاز تمیز کننده است که به طور کامل جذب می‌شود و از آن تنها زمانی استفاده می‌شود که امکان احیاء توسط روش‌های دیگر نباشد. به عنوان مثال زمانی که دمای بالا در روش TSA به محصول صدمه بزند. گازی که به طور کامل جذب می‌شود، دافع نامیده می‌شود که برای شروع سیکل بعدی ماده دافع را باید از جاذب خارج کرد [۱۰، ۶].

۱-۴. دسته بندی فرایندهای جذب بر اساس مکانیزم جداسازی

فرایند جداسازی بر اساس مکانیزم جذب به سه گروه استریک^۱، سینتیک^۲ و تعادل^۳ تقسیم می‌شود:

استریک: در این حالت، جداسازی به علت تفاوت در ساختمان و ابعاد هندسی جزء جذب شونده و جاذب صورت گرفته و مولکولهای ریز و شکل‌دار می‌توانند درون جاذب نفوذ کنند [۵]. از این نوع جاذبها، می‌توان به غربالهای مولکولی و زئولیتها اشاره نمود. دو نمونه از کاربردهای اصلی آن خشک کردن توسط زئولیت ۳A و جداسازی نرمال پارافینها از ایزوپارافینها و هیدروکربنهای حلقوی توسط زئولیت ۵A می‌باشد [۱۰].

سینتیک: در این حالت، اختلاف در سرعتهای نفوذ مولکولهای مختلف، منجر به جداسازی می‌شود. از جاذب‌های مورد استفاده، می‌توان غربال مولکولی کربنی را نام برد. جداسازی سینتیکی کاربرد محدودی دارد و زمانی که جداسازی تعادلی امکان‌پذیر نیست، مورد توجه قرار می‌گیرد. جداسازی هوا یکی از مواردی است که در آن جداسازی سینتیکی مکمل خوبی برای جداسازی تعادلی است. در اکثر فرایندهای جداسازی هوا، جداسازی اکسیژن مدنظر است در حالیکه حدود ۸۰٪ هوا از نیتروژن تشکیل شده است. با استفاده از غربال مولکولی کربنی می‌توان نیتروژن را از هوا جدا نمود [۱۱]. از مهمترین کاربردهای جداسازی سینتیکی

^۱ Steric

^۲ Kinetic

^۳ Equilibrium

جداسازی نیتروژن از هوا توسط غربال مولکولی کربنی می‌باشد [۱۰].

تعداد: تعداد بسیاری از فرایندهای جداسازی در صنعت با استفاده از جذب تعادلی مخلوطها صورت می‌گیرند از جاذبه‌های مورد استفاده در این حالت، زئولیت‌ها هستند. همانطور که اشاره شد در جداسازی هوا جداسازی سینتیکی مکمل خوبی برای جداسازی تعادلی می‌باشد، اما قابل ذکر است که ظرفیت جذب زئولیت چندین برابر غربال مولکولی کربنی می‌باشد [۱۱].

۱-۵. جاذب‌ها

۱-۵-۱. طبیعت جاذب‌ها

جذب سطحی یک پدیده عمومی بوده و حتی جامدات معمولی نیز حداقل مقدار کمی گاز یا بخار را جذب می‌کنند. جاذب‌های جامد معمولاً به شکل گرانولی و در اندازه‌های مختلف، از قطر ۱۲ تا $50 \mu m$ استفاده می‌شوند و بسته به کاربرد باید خصوصیات ویژه‌ای داشته باشند. اگر جاذب به صورت بستر ثابت استفاده شود، نباید افت فشار زیادی را ایجاد کند و یا به راحتی توسط جریان مایع یا گاز حمل شود. همچنین باید استحکام کافی داشته تا در اثر عملیات نشکند و یا تغییر اندازه ندهد. توانایی جذب جاذب‌ها از اهمیت زیادی برخوردار بوده و جاذب‌ها بر اساس خواص جذب سطحی‌شان تعیین خواص می‌شوند. میزان سطح بزرگ در واحد حجم از مهمترین خصوصیات آنها محسوب می‌شود. در جذب سطحی، سطحی که استفاده می‌شود سطحی نیست که دیده می‌شود، بلکه بسیار بزرگتر بوده و به خلل و فرج ذرات مربوط است. از مشخصات دیگر جاذب‌ها می‌توان حجم خالی، توزیع اندازه منفذ^۱ و مساحت سطح^۲ را نام برد [۷،۳].

^۱ Pore size distribution

^۲ Surface area

۱-۵-۲. انواع جاذبها

از جاذب‌های مهم صنعتی می‌توان به کربن فعال شده^۱، آلومینا^۲، زئولیت^۳، خاک رس فعال شده^۴، بوکسیت، کربنهای کلرزدا^۵، جاذب‌های پلیمری مصنوعی^۶، سیلیکاژل^۷، غربال مولکولی کربنی^۸ اشاره کرد. اما مهمترین جاذبها که کاربرد بیشتری دارند عبارتند از غربال مولکولی کربنی، سیلیکاژل و زئولیتها.

۱-۵-۲-۱. جاذب غربال مولکولی کربنی

غربال مولکولی کربنی شامل کریستال‌های کربن کوچک است که برای شکل دادن یک ساختار حفره‌ای شکل با کریستال‌های دیگر پیوند یافته است. این حفره، شکلی شکاف مانند دارد که به عنوان ورودی سوراخ شکل گرفته و با کریستال‌های متعدد عمل می‌کند [۱۲]. ساختار منحصر به فرد این نوع جاذبها اجازه می‌دهد که آب کریستالیزاسیون جدا شده و ساختمان کریستالی را ترک کند. حفره‌ها تمایل دارند که آب و یا دیگر مولکول‌ها را دوباره جذب نمایند. به کمک نیروی یونی قوی که به سبب حضور کاتیون‌هایی چون سدیم، کلسیم، پتاسیم وجود دارد این جاذبها به میزان قابل توجهی آب و دیگر سیالات را جذب می‌کنند. گونه ای از این جاذبها توانایی جداسازی گاز و مایعات را بوسیلهٔ اندازهٔ مولکول دارند. این نوع فقط در جداسازی سینتیکي مورد استفاده قرار می‌گیرد، زیرا توزیعی از اندازه حفره در آن وجود دارد و به این دلیل سرعت نفوذ گازهای مختلف در آن متفاوت است و به طور عملی برای تولید نیتروژن از هوا استفاده می‌شود [۱۳].

-
- ۱ Activated carbon
 - ۲ Alumina
 - ۳ Zeolite
 - ۴ Activated clays
 - ۵ Decolorizing carbons
 - ۶ Synthetic polymeric adsorbents
 - ۷ Silica gel
 - ۸ Carbon molecular sieve