

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه کردستان
دانشکده مهندسی
گروه مهندسی شیمی

عنوان:

حذف آلاینده‌های آلی از پساب‌ها بوسیله زئولیت‌های نانوساختار

پژوهشگر:

بنت الهدی چنارانی

اساتید راهنما:

دکتر فرانک اخلاقیان

دکتر محمد قادرمزی

پایان نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی شیمی گرایش مهندسی شیمی

اسفندماه ۱۳۹۱

کلیه حقوق مادی و معنوی مترتب بر نتایج مطالعات،

ابتکارات و نوآوری‌های ناشی از تحقیق موضوع این

پایان‌نامه متعلق به دانشگاه کردستان است.

*** تعهد نامه ***

اینجانب بنت‌الهدی چنارانی دانشجوی کارشناسی ارشد رشته مهندسی شیمی گرایش مهندسی شیمی دانشگاه کردستان، دانشکده مهندسی گروه مهندسی شیمی تعهد می‌نمایم که محتوای این پایان‌نامه نتیجه تلاش و تحقیقات خود بوده و از جایی کپی برداری نشده و به پایان رسانیدن آن نتیجه تلاش و مطالعات مستمر اینجانب و راهنمایی و مشاوره اساتید بوده است.

با تقدیم احترام

بنت‌الهدی چنارانی

۱۳۹۱/۱۲/۱۹



دانشگاه کردستان
دانشکده مهندسی
گروه مهندسی شیمی

پایان نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی شیمی گرایش مهندسی شیمی

عنوان:

حذف آلاینده‌های آلی از پساب‌ها بوسیله زئولیت‌های نانوساختار

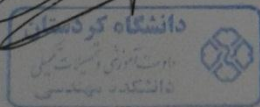
پژوهشگر:

بنت‌الهدی چنارانی

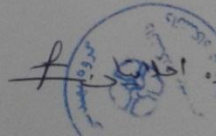
در تاریخ ۱۳۹۱ / ۱۲ / ۱۹ توسط کمیته تخصصی و هیات داوران زیر مورد بررسی قرار گرفت و با نمره $\frac{17}{20}$ و درجه $\frac{75}{100}$ تصویب رسید.

امضاء	مرتبۀ علمی	نام و نام خانوادگی	هیات داوران
	استادیار	دکتر فرانک اخلاقیان	۱- استاد راهنما
	دانشیار	دکتر محمد قادرمزی	۲- استاد راهنما
	استادیار	دکتر بهزاد شاهرادی	۳- استاد داور خارجی
	استادیار	دکتر تیمور امانی	۴- استاد داور داخلی

مهر و امضاء معاون آموزشی و تحصیلات تکمیلی



مهر و امضاء گروه اخلاقیان
دانشکده



تقدیم به

مادرم

پدرم

دو خواهر عزیزم

به پاس حضور سبزشان در زندگی من

سپاسگزاری و قدردانی

شکر خداوند متعال را که توفیق داد تا این پایان نامه را به پایان برسانم. در آغاز لازم می دانم از پدر و مادر مهربان و فداکار و دو خواهر عزیزم (زهرا و شیرین) که با پشتیبانی و دلگرمی های فزاینده سهم بسزایی در موفقیت و پیشرفت بنده داشته اند، کمال تشکر را داشته باشم.

مراتب سپاس و قدردانی را از اساتید گرامی و ارجمندم سرکار خانم دکتر فرانک اخلاقیان و جناب آقای دکتر محمد قادرمزی که در نهایت سعه صدر با راهنمایی های ارزشمند و سازنده، اینجانب را در طول این دوره و تدوین و نگارش پایان نامه مورد لطف قرار داده اند، ابراز می دارم.

همچنین از جناب آقای دکتر بهزاد شاهرادی و جناب آقای دکتر تیمور امانی که زحمت داوری این پایان نامه را برعهده گرفتند سپاسگزاری می نمایم.

در انتها از دوستانم آقایان و خانم ها مرتضی نوروزی، شیلان الیاسی، سونیا جعفری، کامبیز ویسی، امید پیروزرام، محمد چرخ آبی، زهرا محمودی آذر، سعیده کیوانی پور، لیلا بهرامی، ندا حاجی محمدی، طیبه عسگری و خانواده محترم الیاسی که در این مدت با حمایت های معنوی خود همواره مرا مورد لطف خود قرار می دادند کمال تشکر و قدردانی را دارم.

چکیده

در این پژوهش نقش زئولیت‌های نانوساختار آلومینا، سلیکا و آلومینا-سلیکا در حذف ترکیب‌های آلی از پساب‌ها بررسی و گزارش شد. از روش سل-ژل و از ماده پیشگام آلی ایزوپروپوکساید آلومینیوم و ماده پیشگام آلی تترااتیل‌اورتوسلیکات برای ساخت زئولیت‌های آلومینا و سلیکا استفاده شد. روش‌هایی همچون SEM، FT-IR، XPS، XRF و BET و تخلخل‌سنجی برای تعیین مشخصات به کار برده شدند. نتایج حاصل از BET و تخلخل‌سنجی نشان دادند که این جاذب‌ها همگی مزوپور و دارای مساحت سطح زیاد می‌باشند و اندازه قطر حفره‌ها زیر ۱۰ نانومتر است. زئولیت‌های نانوساختار آلومینا، سلیکا و آلومینا-سلیکا به عنوان جاذب برای حذف آلاینده‌های آلی فنل، اورتوآمینوفنل و ۲-نفتل به کار برده شدند. از روش جذب اشعه UV، برای اندازه‌گیری غلظت آلاینده‌ها در پساب قبل و بعد از عملیات جذب سطحی استفاده شد. نمودار جذب سطحی ایزوترم‌های لانگ‌مور و فرندلیچ با استفاده از نرم‌افزار اکسل برای هر آلاینده آلی رسم شد. با بررسی نتایج بدست آمده از انحراف معیار مدل‌های ایزوترم جذب سطحی لانگ‌مور و فرندلیچ مشخص شد که انحراف معیار مدل لانگ‌مور کوچکتر از مدل فرندلیچ می‌باشد و مدل ایزوترم جذب سطحی از نوع لانگ‌مور است. نتایج آزمایشگاهی نشان داد که مولکول بزرگتر ۲-نفتل با جرم مولکولی بیشتر، بهتر توسط زئولیت‌های نانوساختار از محلول‌های پساب حذف می‌شود. همچنین نتایج آزمایشگاهی مشخص کردند که با افزایش مقدار سلیکا در جاذب، خاصیت جذب سطحی آلاینده آلی بهبود می‌یابد.

کلمات کلیدی: زئولیت‌های نانوساختار، آلومینا، سلیکا، ایزوترم لانگ‌مور، آلاینده آلی، جذب

سطحی، پساب

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱	فصل اول مقدمه
۲	۱-۱ آلودگی آب
۴	۲-۱ جذب سطحی
۶	۳-۱ زئولیت‌ها
۸	۴-۱ اهداف تحقیق
۸	۵-۱ چگونگی تنظیم مطالب و روند نگارش پایان نامه
۱۰	فصل دوم مروری بر پژوهش‌های پیشین
۱۹	۱-۲ ارتباط با این پایان نامه
۲۲	فصل سوم مواد و روش‌ها
۲۲	۱-۳ مواد مورد استفاده
۲۳	۲-۳ مشخصات دستگاه‌ها و تجهیزات به کار رفته در تولید
۲۳	۳-۳ روش سل-ژل
۲۴	۴-۳ روش تهیه زئولیت‌های نانو ساختار
۲۴	۱-۴-۳ ژل آلومینا
۲۵	۲-۴-۳ ژل سلیکا
۲۵	۳-۴-۳ ژل آلومینا-سلیکا
۲۶	۴-۴-۳ مراحل تهیه پودر آلومینا، سلیکا و آلومینا-سلیکا
۲۷	۵-۴-۳ روش‌های مورد استفاده برای تعیین مشخصات
۲۹	۵-۳ آزمایش جذب سطحی
۳۰	۶-۳ قانون بیر
۳۰	۷-۳ تعیین نوع ایزوترم جذب
۳۰	۱-۷-۳ ایزوترم‌های جذب سطحی
۳۳	فصل چهارم نتایج و بحث
۳۳	۱-۴ تعیین مشخصات زئولیت‌ها
۳۴	۱-۱-۴ فلئورسانس اشعه ایکس (XRF)
۳۴	۲-۱-۴ اسپکتروسکوپی مادون قرمز تبدیل فوریه (FT-IR)

۳۵	..... میکروسکپی روبش الکترونی (SEM).....
۳۸	..... مساحت سطح و تخلخل سنجی.....
۴۲	..... اسپکتروسکپی فتوالکترونی اشعه X (XPS).....
۴۵	..... ایزوترم‌های جذب سطحی.....
۴۵	..... ماده آلی فنل.....
۴۸	..... ماده آلی اورتو آمینوفنل.....
۵۲	..... ماده آلی ۲-نفتل.....
۵۵	..... بهترین جاذب.....
۵۶	..... مقایسه با سایر جاذب‌ها.....
۵۷	..... بهترین جذب شونده.....
۵۹	..... فصل پنجم نتیجه‌گیری و پیشنهادات
۶۰	..... روش سل-ژل برای ساخت زئولیت‌های نانو ساختار.....
۶۰	..... ایزوترم‌های جذب سطحی.....
۶۱	..... پیشنهادات برای ادامه پژوهش.....
۶۲	..... مراجع

فهرست جداول

صفحه	عنوان
۳	۱-۱ حد مجاز آلاینده‌های آلی در آب.....
۱۹	۱-۲ خلاصه کارهای انجام شده در زمینه حذف آلاینده‌های آب با روش جذب سطحی.....
۳۴	۱-۴ تجزیه شیمیایی جاذب‌ها.....
۳۸	۲-۴ مساحت سطح ویژه، حجم حفره و قطر متوسط حفره نمونه‌های پودری A، B، C، D
۴۸	۳-۴ ثابت‌های جذب سطحی فنل بوسیله جاذب‌های نانوساختار A تا E.....
۴۸	۴-۴ معادلات لانگ‌مور بدست آمده برای ماده آلی فنل.....
۵۰	۵-۴ ثابت‌های جذب سطحی اورتوآمینوفنل بوسیله جاذب‌های نانوساختار A تا E.....
۵۰	۶-۴ معادلات لانگ‌مور بدست آمده برای ماده آلی اورتوآمینوفنل.....
۵۴	۷-۴ ثابت‌های جذب سطحی ۲- نفتل بوسیله جاذب‌های نانوساختار A تا E.....
۵۴	۸-۴ معادلات لانگ‌مور بدست آمده برای ماده آلی ۲- نفتل.....
۵۷	۹-۴ مقایسه جاذب‌های ساخته شده با سایر جاذب‌ها.....

فهرست شکل‌ها

صفحه	عنوان
۷	۱-۱ واحدهای ساختمانی اولیه زئولیت‌ها.....
۷	۲-۱ ساختار شیمیایی زئولیت.....
۷	۳-۱ کریستال زئولیت.....
۲۵	۱-۳ سنتز سل سلیکا.....
۲۶	۲-۳ پودر سلیکا قبل از تکلیس.....
۲۶	۳-۳ پودر سلیکا بعد از تکلیس.....
۳۵	۱-۴ طیف‌های FT- IR نمونه‌های آلومینا، سلیکا و آلومینا- سلیکا.....
۳۶	۲-۴ تصاویر SEM مربوط به پودرهای آلومینا، سلیکا، آلومینا-سلیکا با بزرگنمایی ۶۰×۱۰۰۰
۳۷	۳-۴ تصاویر SEM مربوط به پودرهای آلومینا، سلیکا، آلومینا-سلیکا با بزرگنمایی ۱۵۰×۱۰۰۰
۳۹	۴-۴ ایزوترم‌های جذب/دفع نیتروژن در نمونه‌های جاذب A و B.....
۴۰	۵-۴ ایزوترم‌های جذب/دفع نیتروژن در نمونه‌های جاذب C، D و E.....
۴۱	۶-۴ توزیع اندازه حفره‌ها با ایزوترم جذب BJH نمونه‌های جاذب A، B و C.....
۴۲	۷-۴ توزیع اندازه حفره‌ها با ایزوترم جذب BJH نمونه‌های جاذب D و E.....
۴۳	۸-۴ طیف XPS مربوط به درصد عناصر.....
۴۳	۹-۴ طیف درصد ترکیب‌های عنصر Al.....
۴۴	۱۰-۴ طیف درصد ترکیب‌های عنصر Si.....
۴۴	۱۱-۴ طیف اکسیژن و پیوندهای اکسیژنی.....
۴۵	۱۲-۴ ماده آلی فنل.....
۴۵	۱۳-۴ منحنی جذب اشعه UV برحسب طول موج در فنل.....
۴۷	۱۴-۴ ایزوترم‌های جذب سطحی فنل توسط جاذب‌های A، B، C، D و E.....
۴۹	۱۵-۴ ساختار مولکولی اورتو آمینو فنل.....
۴۹	۱۶-۴ منحنی جذب اشعه UV برحسب طول موج در اورتو آمینوفنل.....
۵۱	۱۷-۴ ایزوترم‌های جذب سطحی اورتو آمینو فنل توسط جاذب‌های A، B، C، D و E.....
۵۲	۱۸-۴ ساختار مولکولی ۲-نفتل.....
۵۲	۱۹-۴ منحنی جذب اشعه UV برحسب طول موج در ۲-نفتل.....
۵۳	۲۰-۴ ایزوترم‌های جذب سطحی ۲-نفتل توسط جاذب‌های A، B، C، D و E.....
۵۵	۲۱-۴ مقایسه عملکرد جاذب‌های مختلف سنتز شده در حذف آلاینده‌های آلی از پساب.....

- ۴-۲۲ نمایش شماتیک انواع گروه‌های عاملی در سطح سلیکا ۵۶
- ۴-۲۳ مقایسه جذب سطحی آلاینده‌های مختلف در شرایط مساوی ۵۸

فصل اول

مقدمه

آب ماده‌ای منحصر به فرد است، زیرا به طور طبیعی خاصیت تجدیدپذیری و خودتمیزکنندگی دارد که این کار با تصفیه‌ی آلودگی‌ها توسط فرآیندهایی همانند تفکیک، رقیق کردن و ته‌نشینی انجام می‌شود [۱]. آب از ترکیب‌های فراوان در طبیعت به شمار می‌آید که تقریباً ۷۵ درصد سطح زمین را احاطه کرده است. بیش از ۹۷ درصد از آن در اقیانوس‌ها جاری و شور است که این آب برای ما قابل استفاده نمی‌باشد و نیز بالغ بر ۲ درصد از آن به یخچال‌های طبیعی محدود می‌گردد که قابل دسترس نمی‌باشد. تنها کمتر از ۱ درصد این ماده حیاتی برای مصارف خانگی، صنعتی و فعالیت‌های کشاورزی قابل استفاده است [۲]. آب ترکیبی از دو اتم هیدروژن و اکسیژن بوده که فرمول شیمیایی آن به صورت H_2O است. اگرچه، آب خالص تنها در آزمایشگاه تولید می‌شود و آب‌های موجود، ترکیبی خالص از هیدروژن و اکسیژن نمی‌باشند. بنابراین، آب مقادیری از مواد مختلف مانند یون‌ها، مواد معدنی و ترکیب‌های آلی را دارا می‌باشد که این مواد ناخالصی‌هایی هستند که در طی جریان آب در مسیر هیدرولیکی در آن حل می‌شوند [۳].

۱-۱. آلودگی آب

هنگامی که مواد خارجی به محیط زیست وارد می‌شوند و به سیکل آب راه پیدا می‌کنند، آب آلوده می‌شود. این مواد اضافه شده آلودگی نامیده می‌شوند که برای انسان و محیط‌زیست مضر می‌باشند [۴]. منابع آلودگی آب به دو دسته اصلی منابع نقطه‌ای و منابع غیرنقطه‌ای تقسیم می‌شوند. آلودگی منابع نقطه‌ای هنگامی بوجود می‌آید که آلودگی از یک منبع خاصی تخلیه شود یا به عبارت دیگر، منبع آلودگی به آسانی شناسایی شود. مثال‌های آلودگی نقطه‌ای شامل یک لوله سوراخ شده یا یک تانک ذخیره کننده با یک سوراخ در جدارهای آن است که آب را در هنگام خروج از یک کارخانه آلوده می‌کند. شناسایی آلودگی غیرنقطه‌ای آب دشوار است و ممکن است ناشی از حشره‌کش‌ها، کودهای شیمیایی و ... باشد [۴]. آلودگی منابع غیر نقطه‌ای می‌تواند ناشی از سه منبع اصلی صنایع شهری، کشاورزی و منابع اتمسفری باشد.

آلاینده‌های آلی مانند فاضلاب انسانی، پسماند حیوانی، کودهای شیمیایی و ته‌مانده‌های گیاهی دسته‌ای از آلوده‌کننده‌های آب می‌باشند. هنگامی که مواد آلی تجزیه پذیر زیستی^۱ در سطح آب افزایش می‌یابند تعداد ریزسازواره‌های^۲ تجزیه‌کننده نیز افزایش پیدا می‌کنند. این ریزسازواره‌ها به سرعت رشد کرده و مقادیر زیادی اکسیژن در طی این رشد مصرف می‌کنند که منجر به کاهش اکسیژن شده و موجودات آبی را از بین می‌برند. از بین رفتن موجودات آبی توسط این ریزسازواره‌ها، منجر به کاهش بیشتر اکسیژن خواهد شد [۵].

از انواع آلاینده‌های آلی غیر قابل تجزیه زیستی^۳ در آب می‌توان به پلی‌سیکلیک هیدروکربن‌های آروماتیک^۴ (PAHs)، مواد ضد آفت آلی کلردار^۵ (OCPs) و ترکیبات آلی فرار^۶ (SVOCS) اشاره کرد [۶]. از انواع دیگر آلاینده‌های آلی می‌توان ترکیبات فنلی، پاک‌کننده‌ها، رنگ‌ها، داروها، علف‌کش‌ها، مواد خروجی خطرناک از پساب‌ها و لجن‌ها را نام برد [۸،۷]. آلاینده‌های آلی تجزیه ناپذیر زیستی در

¹ Biodegradable

² Micro Organism

³ Non Biodegradable

⁴ Polycyclic Aromatic Hydrocarbons

⁵ Organochlorine Pesticides

⁶ Semi-Volatile Organic Compounds

آب ممکن است برای دوره‌های طولانی تجزیه نشوند و در نتیجه موجب مشکلات شدید زیست محیطی گردند [۹].

ترکیب‌های آروماتیک مانند فنل، آمینوفنل‌ها، ۲-نفتل و مشتق‌های آن‌ها، تجزیه ناپذیر زیستی و سرطان‌زا می‌باشند. این مواد به عنوان ماده خام و یا واسطه در صنایع شیمیایی مثل تولید حشره‌کش‌ها، مواد دارویی، پلیمرها، مواد فعال سطحی، مواد بازدارنده خوردگی و رنگ مورد استفاده قرار می‌گیرند. هنگامی که این مواد به محیط زیست تخلیه شوند موجب آلودگی منابع آب نیز می‌گردند [۱۰].

سازمان بهداشت جهانی، حد مجاز غلظت مواد خطرناک را در آب تعیین کرده است که برای تعدادی از این آلاینده‌ها در جدول ۱-۱، این مقدار گزارش شده است [۱۱].

جدول ۱-۱ حد مجاز آلاینده های آلی در آب [۱۱]

ماده	غلظت (میلی گرم بر لیتر)
بنزن	۰/۵
فنل	۵
اورتو آمینو فنل	۵
۲- نفتل	۵
تولوئن	۱۰۰
متیلن کلراید	۰/۵
ارتو دی کلرو بنزن	۶۰
پارا دی کلرو بنزن	۷/۵
تری کلرو اتیلن	۰/۵

روش‌های زیادی مانند جذب سطحی، استخراج، اکسیداسیون شیمیایی و میکروبی، تجزیه فتوشیمیایی و روش‌های الکتروشیمیایی برای جداسازی این آلاینده‌های آلی از آب وجود دارد. در میان این روش‌ها، جذب سطحی به علت طراحی ساده، عملیات و امکان بزرگ‌نمایی^۱، ظرفیت بالا، سهولت احیاء جاذب و هزینه پایین مورد توجه فراوان قرار گرفته است [۱۲، ۱۳، ۱۴].

۲-۱. جذب سطحی

جذب سطحی یک فرآیند جداسازی است که در آن برخی از اجزای فاز سیال به سطح یک جاذب سطحی جامد منتقل می‌شوند. معمولاً ذرات ریز جاذب در بستر ثابتی نگاه داشته می‌شوند و سیال به صورت پیوسته از میان بستر عبور داده می‌شود تا جامد تقریباً اشباع شود و دیگر نتوان به جداسازی موردنظر دست یافت. سپس جریان به بستر دوم هدایت می‌شود تا بتوان جاذب اشباع شده را جایگزین یا احیاء کرد [۱۵].

جذب فیزیکی یا جذب واندروالس یک پدیده برگشت‌پذیر است که نتیجه نیروهای جاذبه‌ی بین مولکول‌های جامد و ماده جذب شده است. برای مثال، وقتی که نیروهای جاذبه‌ی بین یک جامد و یک گاز بیشتر از نیروهای بین مولکول‌های گاز باشد، گاز روی سطح جامد جمع و متراکم می‌شود، حتی اگر فشار بخار آن در همان دما کمتر شود. این حالت تراکم با تولید حرارت همراه است که کمی بیشتر از حرارت نهان تبخیر و در حدود حرارت تصعید گاز است. ماده جذب شده در شبکه کریستالی جامد نفوذ نمی‌کند و در آن حل نمی‌شود بلکه در سطح باقی خواهد ماند [۱۶].

عملیات جذب سطحی به بازگشت‌پذیری به منظور بازیابی جاذب برای مصرف مجدد، بازیابی ماده جذب شده و یا تفکیک مخلوط‌ها بستگی دارد. جذب سطحی برگشت‌پذیر به گازها محدود نمی‌شود بلکه در مایعات هم مشاهده می‌شود [۱۶].

جذب سطحی شیمیایی یا جذب سطحی فعال شده، نتیجه فعل و انفعال شیمیایی جامد و ماده جذب شده است. قدرت پیوند شیمیایی حاصل به طور قابل توجهی در حالت‌های مختلف تغییر

^۱ Scale Up

می‌کند و شناسایی ترکیبات شیمیایی عملاً مشکل است ولی نیروهای چسبندگی معمولاً بیشتر از آن چیزی است که در جذب فیزیکی وجود دارد. حرارت آزاد شده در عمل جذب شیمیایی معمولاً زیاد و در حدود حرارت یک واکنش شیمیایی است. فرآیند عموماً برگشت‌ناپذیر است و با دفع و جداسازی ماده اولیه جذب شده، تغییر شیمیایی در آن مشاهده می‌شود. برای یک ماده در دمای کم ممکن است جذب فیزیکی و در دمای زیاد جذب شیمیایی رخ دهد و هر دو پدیده نیز ممکن است در یک زمان اتفاق بیافتند [۱۶].

اکثر جاذب‌ها موادی بسیار متخلخل‌اند و قطر حفره‌های آن‌ها از ۵۰ میکرومتر تا ۱۲ میلی‌متر متغیر است. جذب سطحی عمدتاً روی دیواره‌ی حفره‌ها یا مکان‌های مشخصی در داخل حفره صورت می‌گیرد. از آنجایی که حفره‌ها عموماً بسیار کوچکند، مساحت سطح داخلی چندین مرتبه بزرگتر از مساحت سطح خارجی است و ممکن است به ۲۰۰۰ مترمربع بر گرم برسد. اختلاف در جرم مولکولی، شکل یا قطبیت باعث می‌شود برخی از مولکول‌ها محکم‌تر از سایرین روی سطح حفظ شوند یا ممکن است حفره‌ها کوچکتر از آن باشند که مولکول‌های درشت‌تر را بپذیرند، در نتیجه مواد از هم جدا می‌شوند. در بسیاری از موارد، اجزاء جذب‌شونده (یا ماده جذب شده) به اندازه کافی محکم نگاه داشته می‌شوند تا جداسازی کامل آن جزء از سیال همراه با جذب بسیار کم سایر اجزاء ممکن باشد. آنگاه می‌توان احیاء جاذب را انجام داد تا ماده جذب شده به‌صورت غلیظ یا تقریباً خالص به‌دست آید [۱۵].

جذب سطحی از فاز مایع برای جداکردن اجزای آلی پساب‌ها، ناخالصی‌های رنگی محلول‌های شکر و روغن‌های نباتی و آب از مایعات آلی بکار می‌رود. از جذب سطحی همچنین می‌توان برای بازیابی محصولات واکنش که به آسانی از طریق تقطیر یا تبلور قابل جداسازی نیستند، استفاده کرد. برخی از همین انواع جامد را می‌توان برای جذب سطحی در فاز بخار و فاز مایع به‌کار برد، هر چند که غالباً جاذب‌هایی که حفره‌های بزرگی دارند برای استفاده با مایعات ترجیح داده می‌شوند [۱۵].

غربال‌های مولکولی دسته بزرگی از جاذب‌ها هستند که در جذب سطحی استفاده می‌شوند. غربال‌های مولکولی کریستال‌های مصنوعی ژئولیت خیلی متخلخل هستند که از آلومینوسیلیکات‌های فلزی ساخته می‌شوند. شبکه‌های کریستالی قفس مانند، می‌توانند مواد جذب‌شده را به تله بیاندازند.

قطر محل‌های عبور با ترکیب درصد کریستال تعیین می‌شود و اندازه مولکول عبور شده را تنظیم می‌کند. این غربال‌ها، نه تنها مولکول‌ها را براساس اندازه جدا می‌کنند، جذب سطحی آن‌ها با قطبی بودن مولکول و درجه غیراشباعی تغییر می‌کند. این نوع از جاذب‌ها دارای سوراخ‌هایی به قطر داخلی ۳ تا ۱۰ آنگستروم هستند و به شکل گلوله، دانه و پودر وجود دارند. از این مواد برای رطوبت‌زدایی گازها و مایعات، جداسازی مخلوط‌های هیدروکربنی گازی و مایع و در فرآیندهای دیگر استفاده می‌شود. این مواد در اثر حرارت‌دادن یا شستن احیاء می‌شوند [۱۶].

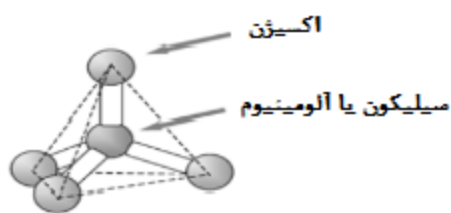
۱-۳. ژئولیت‌ها

ژئولیت‌ها، آلومینوسیلیکات‌های سه‌بعدی و متخلخل با ساختارهای قفسه‌ای متفاوت حاوی کاتیون‌های مبادله‌پذیر و اتم‌های اکسیژن بوده که این کاتیون‌ها به‌عنوان اسید لوئیس و اتم‌های اکسیژن به‌عنوان باز لوئیس عمل می‌کنند [۱۲]. ساختارهای آن‌ها به صورت بدنه‌ای سه‌بعدی است که یک شبکه باردارشده منفی دارد. بار منفی ژئولیت‌ها توسط کاتیون‌های موجود در محلول به تعادل می‌رسد [۱۷]. تاکنون بیش از ۵۰ نوع ژئولیت طبیعی و بیش از ۱۵۰ نوع ژئولیت مصنوعی شناخته و ساخته شده است. ژئولیت‌ها دارای استحکام حرارتی، مکانیکی و شیمیایی بوده و نیز در برابر فشار بالا مقاوم می‌باشند [۱۸].

از نظر شیمی‌دان‌ها، ژئولیت ساختمانی از پلیمرهای معدنی است که دارای اندامی چهار وجهی می‌باشد که این چهاروجهی‌ها واحدهای ساختمانی اولیه^۱ (PBU) ژئولیت‌ها را تشکیل می‌دهند (شکل ۱-۱).

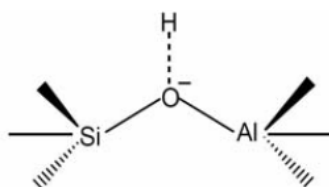
ساختمان کلی این چهاروجهی‌ها به صورت TO_4 است که در آن‌ها ممکن است T یک عنصر ۳ ظرفیتی مانند Ga، Al و Ba و یا ۴ ظرفیتی نظیر Ge و Si و یا ۵ ظرفیتی مانند P باشد.

^۱ Primary Building Units



شکل ۱-۱ واحدهای ساختمانی اولیه زئولیتها [۱۹]

کلیه این چهاروجهی‌ها از طریق اکسیژن مشترک به یکدیگر متصل می‌شوند و واحدهای ساختمانی ثانویه^۱ (SBUs) را به وجود می‌آورند (شکل ۲-۱). SBUs ممکن است چندوجهی ساده همچون مکعب، منشورهای شش ضلعی (بلورهای شش ضلعی)، یا مکعب هشت وجهی باشند [۱۹].



شکل ۲-۱ ساختار شیمیایی زئولیت [۱۹]

در واقع زئولیت‌ها شبکه‌های سه‌بعدی متشکل از چهاروجهی‌های (SiO_4) و (AlO_4) هستند. در

نهایت از اتصال واحدهای ثانویه، کریستال‌های زئولیت تشکیل می‌شوند (شکل ۳-۱).



شکل ۳-۱ کریستال زئولیت

^۱Secondary building unit