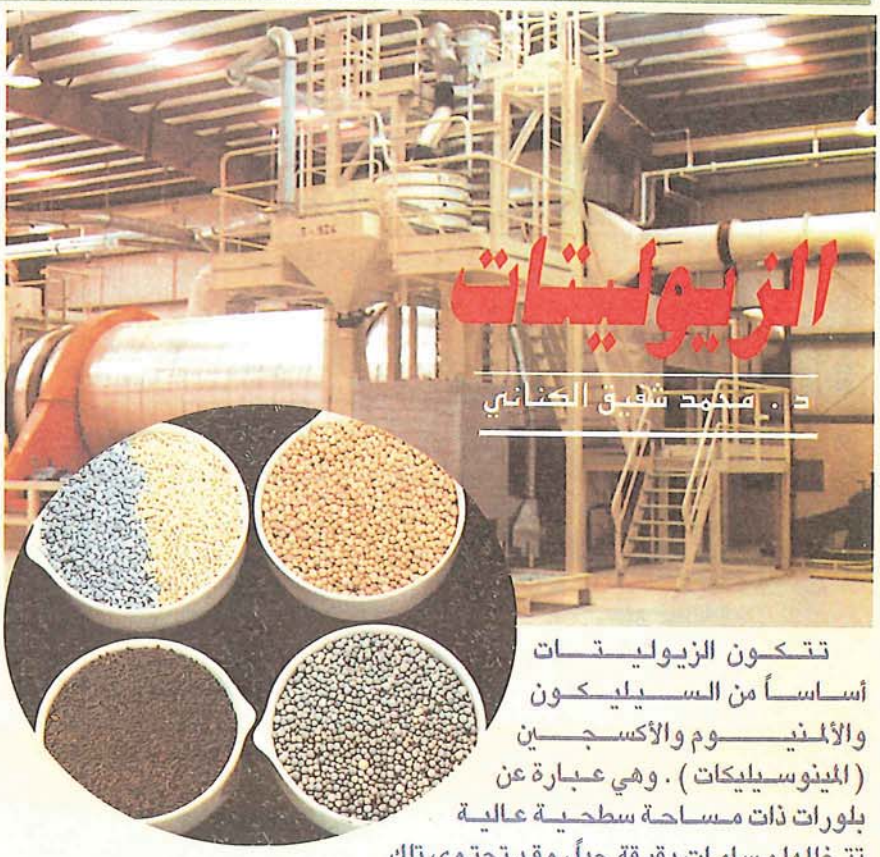


الزيوليتات

د. محمد شفيق الكنالي

تتكون الزيوليتات أساساً من السيليكون والألمنيوم والأكسجين (المينوسيليكات) . وهي عبارة عن بلورات ذات مساحة سطحية عالية تتخللها مسامات دقيقة جداً ، وقد تحتوي تلك البلورات على الماء الذي يمكن طرده بالتسخين. وقد اشتقت كلمة زيولايت من كلمتين يونانيتين توضحان سلوكية هذه المادة عند تسخينها ، هما زيو (Zeo) وتعني يغلي وليثوس (Lithos) وتعني حجر وبذلك تعني كلمة زيوليتات الأحجار التي تغلى .

يمكن التعبير عن الزيوليتات بالصيغة العامة التالية :

$$[(M^{+}, M^{2+})\ Al_2O_3]x\ .\ [SiO_2]y\ .\ Z(H_2O)$$

حيث :

M^{+} : كاتيونات المعادن القلوية من المجموعة الأولى مثل أيون الصوديوم (Na^{+}) أو البوتاسيوم (K^{+}) .

M^{2+} : كاتيونات المعادن القلوية من المجموعة الثانية مثل أيون الكالسيوم (Ca^{2+}) أو المغنيسيوم (Mg^{2+}) .

Z : عدد جزيئات ماء التميه .

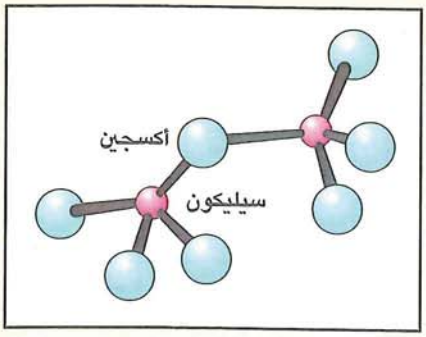
تتمتع الزيوليتات بمساحة سطح كبيرة تقع في مساماتها مراكز فعالة للتبادل الكاتيوني (Cation Exchange Sites) ، وعليه فإنها تتمتع بفعالية عالية تؤهلها إلى أن تؤدي دوراً كبيراً كمحفزات لمختلف التفاعلات الكيميائية .

يعتمد تصنيف الزيوليتات على عدة عوامل من أهمها نسبة السيليكون إلى الألومنيوم ، ونوع كاتيون المعدن (M) ، وتركيب وحدة الخلية . وهي تتشكل بعدة تراكيب ولكنها بوجه عام عبارة عن وحدات بنائية رباعية الأوجه (Tetrahedral) من السيليكا والألومينا . تتصل كل وحدة من السيليكا أو الألومينا بعضها ببعض بوساطة ذرة أكسجين بحيث تؤلف ذرات الأكسجين الرؤوس الأربعة لكل رباعي وجوه يحاط بإحكام إما بذرة سيليكون (Si) أو ألومينوم (Al) ، شكل (١) . وتتقاسم كل ذرة من ذرات الأكسجين الرأسية اثنين من رباعي الوجوه بحيث يمكن القول بأن كل ذرة سيليكون أو ألومينوم موجودة داخل قفص رباعي الوجوه مرتبطة عن طريق ذرة أكسجين متوسطة بالذرات الأربع المجاورة المحصورة داخل أقفاصها .

وعادة ما يكون عدد ذرات الألومنيوم (X) في البنية الشبكية للألومينوسيليكات المكونة للزيوليتات أقل من ذرات السيليكون (Y) أو مساوياً له ، أي أن نسبة السيليكون إلى الألومنيوم (Y/x) ، تساوي واحدا أو أكثر ($Y/x > 1$) إلا أن هناك حالات استثنائية تصل فيها ذرات الألومنيوم إلى رقم خيالي ، و يوضح الجدول (١) تصنيف الزيوليتات من حيث البنيات الشبكية للألومينوسيليكات ، حيث يتضح أن هذه الأنواع يختلف بعضها عن بعض في التركيب الكاتيوني ، ونسبة السيليكا إلى الألومنيوم التي تعتمد عليها الصفات الفيزيائية والكيميائية للزيوليتات المختلفة مثل الثباتية الحرارية والخواص الوسيطية والرقم الهيدروجيني للسطح وخاصية عدم امتصاص الماء وغيرها . ومن الأمثلة على ذلك مقاومة الزيولايت للأحماض والثباتية الحرارية حيث تزدادان بازدياد نسبة السيليكا .

تتكون بنية الزيوليتات من مجموعة من الفجوات المنتظمة للألومنيوم التي يتصل بعضها ببعض بوساطة مسامات تتراوح أنصاف أقطارها ما بين ٠,٣ إلى ١ نانومتر وذلك حسب نوع الزيولايت ونوع المعالجة التي تتم له . ويتضح من جدول (٢) أن تبادل أيون الصوديوم مع أيون البوتاسيوم يعمل على تناقص حجم المسام في بنية الزيولايت ، وعليه فإن الكاتيونات تلعب دوراً أساساً في خواص الزيوليتات .

من جانب آخر هناك بعض الحالات التي يتم فيها تبادل الكاتيونات مثل الصوديوم والبوتاسيوم والكالسيوم والمغنيسيوم



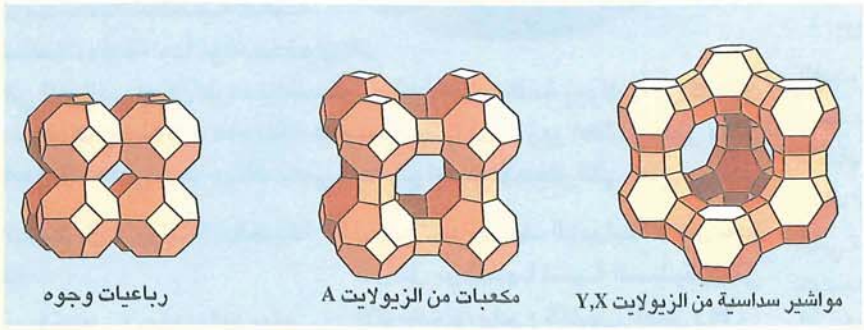
● شكل (١) كيفية ترابط ذرة السيليكون بذرات الأكسجين .

المجموعة	بنية وحدة الخلية	المجموعة	بنية وحدة الخلية
١ ـ أنالسيم (Analsime)		٥ ـ الموردينايت (Mordenite)	
(أ) أنالسيم	$Na_{16}[Al_{16}Si_{32}O_{96}].16H_2O$	(أ) موردينايت	$Na_8[Al_8Si_{40}O_{96}].24H_2O$
(ب) ويراكيت (Wairakite)	$Ca_8[Al_{16}Si_{32}O_{96}].16H_2O$	(ب) فيريرايت (Ferrierite)	$Na_{1.5}Mg_2[Al_{5.5}Si_{30.5}O_{72}].18H_2O$
٢ ـ نترولايت (Natrolite)		٦ ـ التشبازايت (Chabazite)	
(أ) نترولايت	$Na_{16}[Al_{16}Si_{24}O_{80}].16H_2O$	(أ) تشبازايت	$Ca_2[Al_4Si_8O_{24}].13H_2O$
(ب)ثمسونايت(Thomsonite)	$Na_4Ca_8[Al_{20}Si_{20}O_{80}].24H_2O$	(ب) زيولايت (Zeolite)	$K_6Na_3[Al_9Si_{27}O_{72}].21H_2O$
٣ ـ هيولاندايت (Heulandite)		٧ ـ الفوجاسايت (Faujasite)	
(أ) هيولاندايت	$Ca_4[Al_8Si_{28}O_{72}].24H_2O$	(أ) فوجاسايت(Zeolite X,Y)	$[Na_{12}Ca_{12}Mg_{11}][Al_{59}Si_{133}O_{334}].26H_2O$
(ب) كلينوبتيلولايت(Clinoptilolite)	$Na_6[Al_6Si_{30}O_{72}].24H_2O$	(ب) زيولايت A (Zeolite - A)	$Na_{12}[Al_{12}Si_{12}O_{48}].27H_2O$
٤ ـ فيلبسايت (Phillipisite)		٨ ـ لومونايت (Laumonite)	$Ca_4[Al_8Si_{16}O_{48}].16H_2O$
(أ) فيليبسايت	$[K,Na]_5[Al_5Si_{11}O_{32}].10H_2O$	٩ ـ البنتاسيل (Pentasil)	
(ب) زيولايت -Na	$Na_8[Al_8Si_8O_{32}].16H_2O$	(أ) زيوليتات (ZSM)	$Na_n[Al_nSi_{96-n}O_{196}].16H_2O$ [$n \approx 3$]

● جدول (١) البنيات الشبكية لبعض مجموعات الزيوليتات .

ببروتون (H^+) ، وفي هذه الحالة يصبح الزيولايت عبارة عن حامض قوي يسمى حامض برونستد .

يوجد في الوقت الحاضر حوالي ١٥٠ نوعاً من الزيوليتات منها ٤٠ نوعاً طبيعيا . وهي تختلف في نسبة السيليكون إلى الألومينوم (Si/Al) في البنية الشبكية الانيونية . ويوضح شكل (٢) البنيات الشبكية لبعض الزيوليتات .



● شكل (٢) أشكال مختلفة من بنيات الزوليتات .

الزيوليتات الطبيعية

تتشكل الزيوليتات المعدنية (الطبيعية) على سطح الأرض ، وذلك في العديد من الصخور وقاع البحر ، وقد اكتشف وجودها لأول مرة حول البازلت المتدفق من فوهات البراكين ، حيث تشكلت بوساطة التفكك الهيدروحراري (Hydrothermal) للصخور البركانية . كذلك اكتشف في حوالي عام ١٩٠٠م كميات كبيرة من الزيوليتات كصخور رسوبية ، اتضح أنها تشكلت ـ بشكل أساس ـ نتيجة فعل الماء على الرماد البركاني أثناء حقب جيولوجية متعددة ومتنوعة ، كذلك وجد أن الزيوليتات قد تتشكل من الطين (Clay) وسيليكا البايوجينيك والفلدسبار والفلدسباثيود .

وتعد الأنالسيم من أنواع الزيوليتات الأقل ثباتاً التي تم تشكيلها أثناء البلورة الابتدائية ، ويمكن تحويلها إلى أنواع ثابتة مثل الفليبسايت أو الكلينوبتيولايت .

يتأثر تشكيل الزيوليتات بعدة ظروف محلية منها : درجة الحرارة (٢٥ ـ ٥٠°م) ، والضغط ، والرقم الهيدروجيني (PH) ، ونوع وتركيز الأملاح ، وتوفر وفعالية مصادر السيليكا والألومنيوم ، وتنشأ الظروف المناسبة لتشكل الزيوليتات وفقاً لأنظمة جيولوجية أو هيدرولوجية متنوعة قد تكون مفتوحة (Open System) ـ معرضة للهواء ـ أو مغلقة (Closed System) عندما تكون في قاع البحار ، وطبقاً لذلك فقد تتشكل الزيوليتات في المناطق القاحلة

الزيولايت	A	X	Y	موردينايت تركيبي	ZSM - 5
نصف قطر المسام (nm)	٤,١	٧,٤	٧,٤	٦,٧ ـ ٧	٦
حجم المسام (٪)	٤٧	٥٠	٤٨	٢٨	-

جدول (٢) نصف قطر المسام لبعض الزيوليتات .

وشبه القاحلة ، أو على شكل ترسبات بحرية ذات محتوى عال من الأملاح والقلويات ، وهنا تتسبب كربونات الصوديوم (Na_2CO_3) أو بيكربونات الصوديوم ($NaHCO_3$) في ارتفاع الرقم الهيدروجيني ليصل إلى حوالي ٩,٥ مما يؤدي إلى تحويل الطين إلى زيولايت . وبالقدر نفسه يمكن أن تتشكل الزيوليتات في التربة القلوية الموجودة على سطح الأرض ، وكذلك في ترسبات المحيطات نتيجة لفعل الترشيح المائي (Percolating) والطمر (Burial Digenesis) والتفاعل الهيدروحراري (Hydrothermal) ، وذلك حسب صفات الترسبات مثل تركيبها الكيميائي وسمكها ومدى تشكلها . وقد تتكون الزيوليتات على شكل طبقات يصل سمكها مئات الأمتار وعلى امتداد مئات الكيلومترات المربعة .

توجد الزيوليتات كذلك كشوائب لخامات ألومينوسيليكات أخرى مثل المنتموريللونيت والكريستوباليت والكوارتز والبايوتيت وفلسبار البوتاسيوم .

تعد الكلينوبتيلولايت والهيولانديت والموردينيت والفلبسايت والتشابازيت والأريونايت والأنالسيم واللومونتايت من أهم الزيوليتات التي تم حصرها في الطبيعة ، كما تعد مناطق غرب الولايات المتحدة وكوبا واليابان وتشيكوسلوفاكيا وهنغاريا وصربيا وبلغاريا وإيطاليا وألمانيا من أهم مناطق وجود الزيوليتات الطبيعية .

الأهمية الصناعية للزيوليتات

تدخل الزيوليتات في مجالات صناعية متعددة ، فعلى سبيل المثال يدخل الزيولايت من نوع كلينوبتيلولايت (Clinopilolite) في الزراعة كمادة لتحسين التربة خاصة في اليابان وكمادة إضافة لعلف الحيوان . ويعتمد الاستخدام الأول على تأثيرها في زيادة الرقم الهيدروجيني للأرض الحمضية وكمادة تبادل أيوني لتخزين أيونات البوتاسيوم والأمونيوم ، وعليه فإنها تزيد من نشاط الأسمدة - خاصة الأسمدة النيتروجينية - وتحفظها لمدة طويلة ليتم الاستفادة منها أثناء نمو النبات .

لولا متطلباتها الضرورية للنقاوة العالية والتركيب الثابت والسعة الكاتيونية العالية (High Exchange Capacity) لنافست الزيوليتات الطبيعية الزيوليتات الصناعية في التطبيقات الصناعية . ومن الأمثلة على الصناعات التي تدخل فيها بعض الزيوليتات الطبيعية والصناعية مايلي :

١ - تجفيف الغازات أو السوائل باستخدام الكلينوبتيلولايت .

٢ - الادمصاص الانتقائي لغازي ثاني أكسيد الكربون وثاني أكسيد الكبريت باستخدام الكلينوبتيلو لايت أو الموردينايت (Mordenite) .

٣ - إزالة العناصر المشعة من مياه الصرف (Waste Water) باستخدام الكلينوبتيلولايت بسبب انتقائيتها لأيونات الأسترونشيوم - ٩٠ (^{90}Sr) والسيزيوم - ١٣٧ (^{137}Cs) .

وفضلاً عن ذلك فهناك العديد من الزيوليتات الطبيعية التي يمكن استخدامها كمواد مالئة في صناعة الورق والمواد البلاستيكية وضمن مكونات الأسمنت وقوالب البناء الخفيفة .

الزيوليتات التركيبية

بدأت صناعة الزيوليتات في أواخر الثلاثينيات ومابعدها حيث تصنيع عدد من التراكيب الزيولاتية المختلفةفي البنية والمشابهة للزيوليتات الطبيعية . وفي منتصف الخمسينيات بدأ الإنتاج التجاري لأنواع معينة من الزيوليتات منها زيولايت (A) الصوديومي والكالسيومي . والزيولايت (X) والزيولايت (Y) .

تلا ذلك في منتصف الستينيات بدء إنتاج زيولايت صناعي آخر يسمى (ZSM - 5) حيث Z و S و M الأحرف الأولى من زيولايت سكوني موبيل (Zeolite - Socony Mobil) حيث يوضح لفظ « سكوني موبيل » اسم الشركة المنتجة له . ويتميز هذا النوع باحتوائه على كاتيونات الأمونيوم الرباعية - مثل رباعي ميثيل الأمونيوم - محل كل أو بعض الأيونات الفلزية القلوية . وقد تم تطوير هذا النوع لاستخدامه في عمليات تكرير وتصنيع البترول . وحتى وقتنا الحاضر تم تصنيع أكثر من ١٥٠ نوعاً من الزيوليتات المختلفة لاستخدامها في أغراض متعددة .

تصنيع الزيوليتات التركيبية

تتم صناعة الزيوليتات التركيبية بعدة طرق من أهمها مايلي :

● مواد خام طبيعية

يمكن تصنيع الزيوليتات X و Y وبشكل خاص زيولايت (A) من مواد صلصالية (طينية) كاولينيتية Kaolinitic) (Clay - يكثر وجودها في أوربا الوسطى ، وبريطانيا ، واليابان ، والصين - بتحويل الكاولين حرارياً بالشوى أو بالتسخين إلى درجة حرارة أعلا من ٥٠٠° إلى ٧٠٠م° إلى ميتاكاولين كما هو مبين من المعادلة أدناه :-

$$2Al_2Si_2O_5(OH)_4 \xrightarrow{٥٠٠-٧٠٠^{\circ}م} Al_2Si_2O_7 + 4H_2O$$

كاولين ميتاكاولين

ومن ثم يعلّق المنتج في محلول من هيدروكسيد الصوديوم ليحول إلى زيولايت (A) عند درجة حرارة تتراوح بين ٧٠ - ١٠٠م° ، ومن عيوب هذه الطريقة احتمال وجود بعض الشوائب الموجودة أصلاً في المواد الخام .

● مواد خام تركيبية

في هذه الحالة يتم تركيب المواد اللازمة للزيولايت (الألومينا والسيليكا) من مواد أولية ، حيث يتم الحصول على ألومينات

الصوديوم بإذابة هيدرات أكسيد الألومنيوم في محلول هيدروكسيد الصوديوم ، أما السيليكا المستخدمة فتكون على شكل زجاج مائي أو حبيبات ناعمة جداً أو محلول من السيليكا . ويفضَّل استخدام الزجاج المائي لأنه أرخص ثمناً ولكن من عيوبه أن الزيولايت الناتجة عنه تكون أقل فعالية .

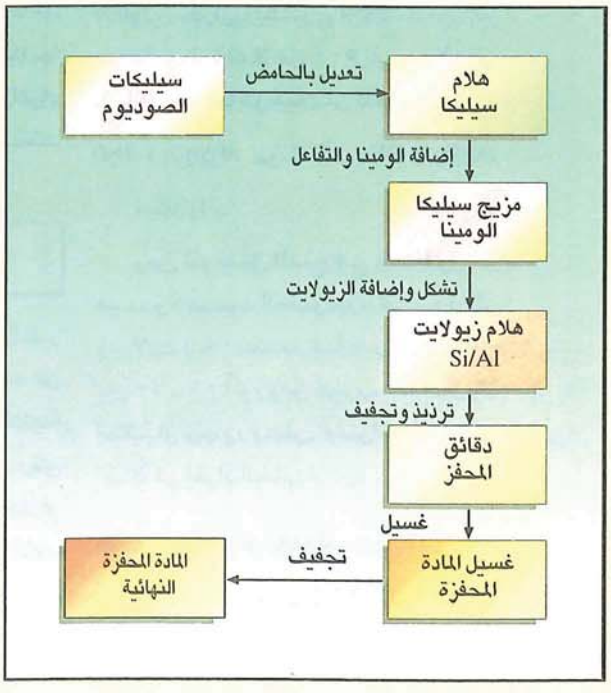
كذلك يمكن استخدام هيدروكسيد البوتاسيوم حيث يستفاد منه في صناعة الزيوليتات (ZSM) الغنية بالسيليكا والقواعد العضوية مثل هيدروكسيد رباعي ألكيل الأمونيوم بالإضافة إلى هيدروكسيد الصوديوم .

وتتم صناعة الزيوليتات الهامة صناعياً مثل الأنواع (A) و (X) و (Y) بمزج محلول من ألومينات الصوديوم وسيليكات الصوديوم حيث يتشكل هلام (Gel) من ألومينوسيليكات الصوديوم ، ورغم أن آلية التفاعل لم تعرف حتى الآن إلا أنه من المعتقد أن الألومينا (Al_2O_3) والسيليكا (SiO_2) المتشكلين في الهلام ينفصلان في المحلول ليتفاعلا من خلال عملية البلمرة ليشكلا الزيولايت .

وللحصول على زيوليتات ذات صفات معينة لاستخدامها في أغراض خاصة يمكن إنشاء ظروف خاصة من درجة الحرارة والضغط والمزج والنسب المولية أو الوزنية أثناء عملية مزج مواد التفاعل ، فعلى سبيل المثال فإنه للحصول على زيولايت (A) بغرض التنظيف لابد من إنتاج دقائق صغيرة جداً (أقل من ٥ ,١٠-٣مم) ، وبالتالي فإن إنتاج هذا النوع من زيولايت (A) يتطلب إجراء التفاعل في وقت قصير جداً عند درجة حرارة أقل من درجة حرارة التبلور مع التحريك المستمر . وبعد تشكل الزيولايت يتم فصله بواسطة الترشيح بالضغط وغسله عدة مرات ، بعدها يتم إعادة تدوير واستخدام السائل الأم والرشاحات الناتجة عن الغسيل . ويبين شكل (٣) خطوات صناعة أحد الزيوليتات المستخدمة كمادة محفزة في عمليات تكسير المشتقات النفطية .

● التبادل الكاتيوني

تعد عملية التبادل الكاتيوني للزيوليتات مع كاتيونات أخرى من العمليات الهامة للحصول على زيوليتات يمكن استخدامها في الصناعات البتروكيميائية. وفي هذه الحالة يتم تبادل الأيونات الكاتيونية مثل الصوديوم والبوتاسيوم والأمونيوم والكالسيوم بعضها ببعض ، أو تبادلها بأيونات المعادن الأرضية والمعادن الانتقالية مثل الكوبالت والنيكل والبلاتين والبلاديوم وغيرها . وفي هذه الحالات فإن عملية التبادل قد تجري أثناء عملية التصنيع أو بعدها للحصول على عدد لايحصى من الزيوليتات التي يمكن استخدامها في كثير من الصناعات خاصة الصناعات البتروكيميائية .



● شكل (٣) خطوات صناعة الزيولايت كمادة محفزة .

تشكيل الزيوليتات

يمكن تصنيع الزيوليتات الصناعية بأشكال مختلفة على هيئة كريات أو حلقات أو قطع اسطوانية صغيرة ، ويعتمد كل من الشكل والحجم على ظروف تشغيل الوحدة ونوع المفاعل المستخدم ، حيث إن كليهما يؤثران على المساحة السطحية الخارجية وهبوط الضغط في المفاعل . ويستخدم لهذا الغرض أجهزة خاصة للحصول على الأشكال المختلفة .

استخدامات الزيوليتات

تستخدم الزيوليتات التركيبية في مجالات صناعية متعددة من أهمها مايلي :

● مبادلات أيونية

يمكن استخدام بعض أنواع الزيوليتات في المنظفات لإزالة أيونات الكالسيوم والمغنيسيوم المسببة لعسر الماء وذلك عن طريق التبادل الأيوني لهذه الكاتيونات - المانعة لتشكيل رغوة مع الصابون - بأيون الصوديوم . وتتم العملية بامرار الماء العسر خلال الزيوليتات المحتوية على أيون الصوديوم والأكثر مقاومة للحامضية ، حيث تعمل تلك الزيوليتات على ضم أيون كالسيوم أو مغنيسيوم مقابل تخليها عن أيوني صوديوم ، وهكذا يزول عسر الماء ليشكل رغوة مع الصابون أثناء عملية التنظيف .

● عوامل ادمصاص

تتميز الزيوليتات بقدرتها الجيدة على الادمصاص وعليه يمكن استخدامها كمرشحات في عملية فصل الجزيئات الصغيرة نسبياً مثل الماء ، وحامض النمل ، والميثانول والإيثانول . أما الجزيئات الكبيرة مثل الأسيتون والإيثر والبنزين

فإنه لايمكن ادمصاصها بواسطة الزيوليتات بسبب قلة حجم مساماها البلورية ، ولذلك يطلق على الزيوليتات اسم المناخل الجزيئية . وذلك يعني أن الزيوليتات لها خاصة انتقائية في ادمصاص المواد ، مما يجعلها تكتسب أهمية في عملية التجفيف ، كعملية فصل الماء والجزيئات القطبية ، وعملية تنظيف الغازات الطبيعية أو الهواء قبل إسالتهما .

إضافة لذلك يستفاد من خاصية الإدمصاص في إزالة ثاني أكسيد الكربون والمركبات الكبريتية مثل كبريتيد الهيدروجين (Hydrgen Sulphide) والميركبتانات(Mercaptans) وثاني أكسيد الكبريت من المزائج الغازية .

● الصناعات البترولية والبتروكيميائية

تعد الصناعات البترولية والبتروكيميائية من أهم المجالات التي تستخدم فيها الزيوليتات . ومن أهم العمليات الصناعية في هذا المجال عمليات التكسير الحفزي والتكسير الهيدروجيني والألكلة (Alkylation) والتماكب (Isomerization)، وعمليات نزع الكبريت من المشتقات النفطية وتحويل بعض المشتقات النفطية إلى مشتقات أخرى والتي من أهمها تحويل الميثانول إلى مركبات ألوفينية ، وغيرها من الاستخدامات . ويبين الجدول (٣) بعض التطبيقات الصناعية البترولية والبتروكيميائية الهامة لأنواع معينة من الزيوليتات .

تعمل الزيوليتات في التفاعلات المذكورة كمحفزات وفق آلية تسمى الحفز الانتقائي للشكل (Shape - Selective Catalysis) ، وفي هذه الآلية يؤثر شكل وحجم مسام الزيولايت على انتقائية التفاعل بطريقتين وذلك كما يلي :

١ ـ يعمل حجم وشكل المسام على دخول الجزيئات الأصغر وطرد الجزيئات الأكبر خارجها ، وبذلك تهيء الفرصة للجزيئات الصغيرة بأن تتفاعل بعضها مع بعض ، وهذا الأمر لا يمكن أن يحدث لو لم تتم عملية الفصل (الانتقاء) بوساطة الزيوليتات .

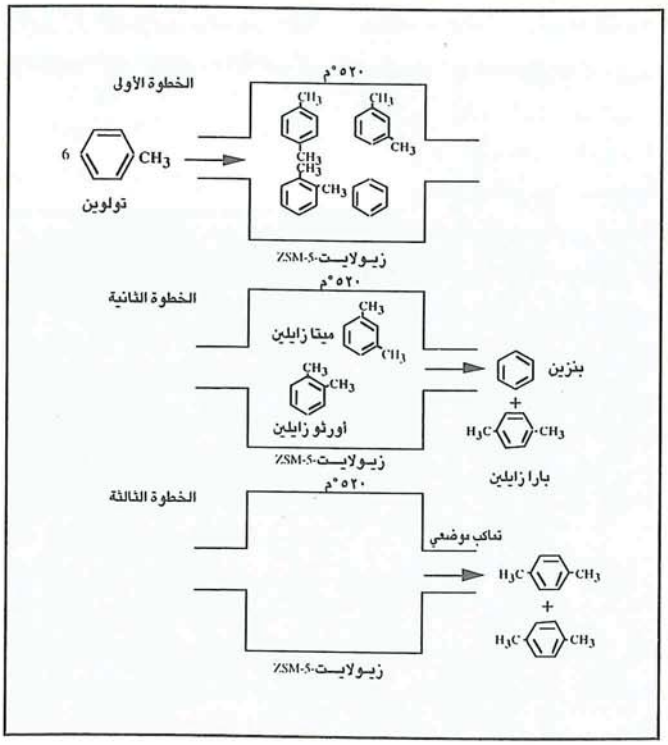
٢ ـ تحدث انتقائية المواد الناتجة عندما لا تستطيع جزيئاتها من الانتشار خارج المسام، وإذا تشكلت فإنها تتحول إلى جزيئات أصغر أو إلى ترسبات كربونية قد تعمل على إغلاق المسام ، وبتزايد الترسبات تقل الفعالية الحفزية للزيولايت ، مما يتطلب إما استبداله أو إزالة الترسبات المذكورة ، وهو ما يعرف بعملية التنشيط (Activation) .

ولحدوث الانتقائية للشكل فإنه من الضروري أن تكون جميع المراكز الحفزية الفعالة داخل المسامات . فعلى سبيل المثال تتم عملية الحفز الانتقائي للشكل في الزيولايت (ZSM-5) عند صناعة البارازايلين من التولوين بسبب أن حجم أو شكل مسامات الزيولايت المذكور أو كليهما يسمح بمرور جزيئات التولوين عند درجات حرارة عالية تصل إلى ٥٢٠°م ، وعندئذ تقوم المراكز الفعالة داخل المسام بدورها في تحويل التولوين إلى بنزين وبارازايلين(p-) واورثوزايلين (o-) وميتازايلين (m-) ، وعندها تخرج جزيئات البنزين والبارازايلين بسهولة من المسامات لصغر حجمها وتبقى جزيئات الأورثوزايلين والميثازايلين داخل المسام ليتم تحويلهما عن طريق التماكب الموضعي إلى بارازايلين وعندها فقط يمكنها الخروج من المسامات ، شكل (٤).

نوع الزيولايت	أهم التطبيقات
RE* - Y , H - Y **	التكسير الحفزي للهيدروكربونات الثقيلة
Pd, H - Y	التكسير الهيدروجيني للهيدروكربونات الثقيلة
Pt, H - Erionite H - ZSM - 5	التكسير الهيدروجيني الانتقائي للألكانات النظامية بوجود الكانات متفرعة
Pt, H - Mordenite	تماكب الالكانات المستقيمة والمتفرعة
H - ZSM - 5	صناعة اثيل البنزين
Ni,H - ZSM - 5	تماكب الزايلينات
H - ZSM - 5	نزع الالكيل من العطريات المؤلكلة
H - ZSM - 5	تحويل الميثانول إلى جازولين
VPI - 5 ***	تكسير المواد الهيدروكربونية للحصول على الجازولين من مصادر نفطية

* Rare earth exchange
** Hydrogen exchange
*** زيوليتات فسفورية بدلا من سيليكونية .

● جدول (٣) التطبيقات الصناعية لبعض الزيوليتات .



● شكل (٤) خطوات تحول التولوين إلى بارازايلين بالتماكب الموضعي .