تكوير المناخل الجزيئية

نجوى صابر، أمل المميز، ومازن عبد الهادي*
قسم الهندسة الكيمياوية – كلية الهندسة – جامعة بغداد – العراق
* شركة الباسل العامة

الخلاصة

تم في هذا العمل دراسة عملية تكوير مادة الزيولايت (4A) المحضرة من الكاؤلين العراقي المتوفر في منطقة كعرة، للحصول على الحجم المطلوب (٢-٦ ملم).

لقد تم دراسة متغيرات مهمة لها تاثير على عملية التكوير مثل المحتوى المائي، سرعة دوران القرص، زاوية ميلان القرص، زمن التكوير، نوع المادة الرابطة، والحجم الحبيبي للمادة الاولية.

إن طريقة وموقع رش الماء تم تحديدها باستخدام رشاش نسبة إلى حركة وكمية واسلوب اضافة مسحوق الزيولايت حيث استخدم لهذا الغرض هزاز خاص لتحديد معدل اضافة كتلية.

ثم دراسة تاثير المتغيرات أعلاه على الخواص الفيزياوية والميكانيكية المهمة لهذه الحبيبات مثل المسامية(Porosity)، الكثافة الحبيبية(Bulk Density)، مقاومة السحق (Crushing Strength)، مقاومة التآكل بالاحتكاك(Attrition) وسعة الامتزاز لبخار الماء(Adsorption Capacity).

وقد وجد إن الظروف المثلى التي تعطي نماذج من الزيولايت بالمواصفات المرغوبة هي: حجم حبيبي اقل من ٤٥ مايكرون، زاوية ميلان القرص ٤٥ درجة، سرعة دوران القرص ٤٠دورة/دقيقة، محتوى الرطوبة(٤٠-٤٥)% والكاؤلين كمادة رابطة مفضلة.

المقدمة

عرفت عملية التكوير منذ مئات السنين[١]، وهي عملية يتم فيها تحويل المساحيق إلى مكورات بأشكال وقياسات منتظمة باستخدام أجهزة خاصة مثل جهاز القرص الدوار وغيرها من الأجهزة.

وقد نمت عملية التكوير بسرعة كبيرة لعدة أسباب منها[٥]:

١. لتسهيل عمليات نقل المواد الصلبة والتي هي في حالة مساحيق.

٢. لتحسين مواصفات مساحيق بعض المواد مثل خاصية الفعالية والقابلية على التبلل وغيرها.

٣. عملية التكوير تعطي مواصفات افضل في حالات استخدام المواد كعوامل مساعدة وعند استخدامها في عمليات التجفيف.

الجزء النظري

المناخل الجزيئية هي نوع من الزيولايت التي تتكون من سليكات الألمنيوم مع آيون موجب من فلزات العناصر القلوية وتستعمل المناخل الجزيئية كمجففات للغازات وفي بعض الأحيان في فصل بعض الغازات ذات الأقطار المتساوية لمسامات التركيب الجزيئي للمناخل الجزيئية[١].

تحتاج المناخل الجزيئية إلى عملية تشكيل اما على شكل قضبان أو على شكل كرات معتمدة على نوع المفاعل المستخدم والظروف التشغيلية.

وفي هذا البحث تمت دراسة ظروف تكوير المناخل الجزيئية باستخدام القرص الدوار لذلك في البداية نتطرق إلى نظرية التكوير والاجهزة المستخدمة في عملية التكوير.

نظرية التكوير

تعتمد عملية التكوير باستخدام القرص الدوار على نوعين من القوى[٢]:

١. القوى الطبيعية: وهي قوى فيزياوية تكون مسؤولة عن تكوين التجمعات، لي متانة المواد الرطبة تعتمد على هذه القوى الفيزياوية التي تربط الدقائق بعضها مع بعض. ويمكن ان تصدر أو تنتج من مصادر عديدة منها:

أ. القوى الجزيئية: وهذه تنتج من التجاذب مابين الدقائق الصلبة بسبب قوى فاندرفال Vander Waals أو القوى الالكتروستاتيكية والمغناطيسية حيث تشحن الدقائق أثناء الاحتكاك ويتم التجاذب بين الشحنات المتعاكسة الموجودة على الدقائق.

ب. تاثير التشابك الميكانيكي مابين حبتين متجاورتين وهذا يظهر نتيجة تغير شكل الدقائق التي تتشوه تحت تاثير الضغط.

ج. قوى الالتصاق والتماسك الموجودة في جسور الربط أو الروابط الجسرية التي تتحرك بشكل حر.

د. قوى السطوح الفاصلة والقوى الشعرية الناتجة عن وجود الطور السائل الذي يشجع عملية الالتصاق.

٢. القوى المسلطة: وتعتمد على القوى الميكانيكية التي تتكون بين جهاز التكوير والدقائق المستعملة.

وتعتمد عملية التكوير على نوعية المادة المستعملة والمادة الرابطة التي يتم ترطيبها بالسائل مما يجعل الدقائق الرطبة تتلامس بعضها مع بعض وتتكون بينها جسور وبذلك يتكون التجمع الأول للكرات وتستمر العملية إذا استمر اضافة خليط المادة الاولية والمادة الرابطة واستمرار عملية رش السائل أو ترطيب الدقائق.

آلية تكوين الكرات

إن معظم الباحثين يتفقون على ان ديناميكية التكوير تمر بثلاث مراحل رئيسة[٣،٤،٥،٦،٧] هي:

١. مرحلة التنوية (Nuclation): توصف هذه المرحلة بأنها اتحاد لدقائق المساحيق الناعمة بطبقة السائل وتكوين نويات صغيرة بسبب التجاذب الشعري مابين التجمعات البدائية الأولية لدقائق المسحوق الرطب وقد وجد إن تكوين نوية المكورات تمر بثلاث مراحل هي:

أ. المرحلة البندولية: تحصل هذه المرحلة عندما يوجد السائل عند نقاط التلامس مابين الدقائق وان الشد السطحي يمسك الدقائق بعضها مع بعض كما في الشكل (1-a).

ب. المرحلة الحبلية: ويكون الهواء فيها محجوز كما في الشكل (1-b).

ج. المرحلة الشعرية: يتم الوصول إلى هذه المرحلة عندما تملئ جميع المسامات بالسائل ولكن لا توجد هناك طبقة من الماء أو السائل ملتصقة تغطي السطوح للدقائق الدخلة كما في (1-c).

ان الوصول إلى المرحلة الأخيرة من تكوين الكرات يحدث عندما تغطي الدقائق الصلبة بشكل كلي متكامل بالماء أو السائل وعند ذاك فان الشد السطحي لقطرات الماء أو السائل التي تحتويها الكرة ستكون فاعلة وفي هذه المرحلة تقدر قيمة متانة الشد للمجتمع بانها ثلاث اضعاف المتانة في المرحلة البندولية.

٢. المرحلة الانتقالية (Transition state): بعد ان تتكون النويات للكرات الرطبة تمر بمرحلة انتقالية تعيد فيها الدقائق ترتيب نفسها في صفوف اكثر تراصا لغرض تقليل الفجوات الموجودة ويتم ذلك بمساعدة القوى الميكانيكية المتولدة من اجهزة التكوير التي تعمل على تقليب ودحرجة هذه التجمعات وباستمرار العملية تبدا هذه التجمعات اللدنة و الرطبة نسبيا بالنمو.

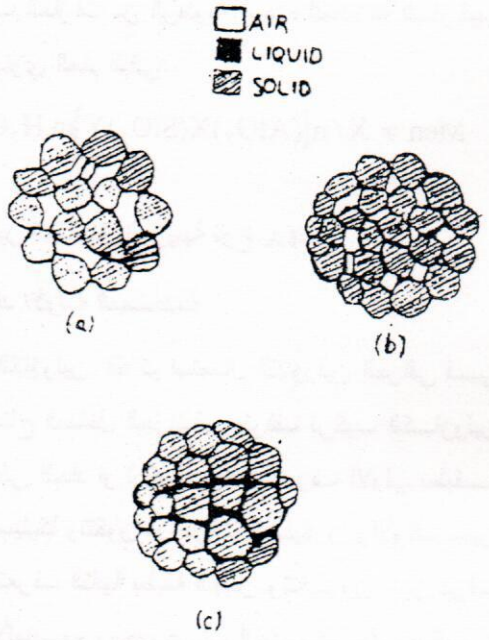
٣. مرحلة النمو(Growth state): هناك ثلاث آليات لعملية نمو الدقائق:

أ. آلية الاتحاد (Coalescence): ويتم إنتاج جسيمات كبيرة عن طريق تجميع اثنين أو اكثر من الدقائق المتصادمة للحصول على دقائق ذات حجم اكبر[٨].

ب. آليـة التكسر(Breakage): وتعتمد تكوين مجموعة من الشظايا الصغيرة والتي يعـاد توزيعـها علـى سطوح المكورات أو الدقائق الباقية.

ج. آليـة الحك(Abrasion Transfer): وتحدث نتيجة للتصادم والحك لدقائق المواد المتجمعة فـي جـهاز التكوير فتنتقل كتلة معينة من المـواد مـن إحـدى الدقائق إلى الأخرى وبالتالي تؤدي إلى تغيير مستمر في حجم المكورات.

ان الاستمرار في اضافة المسحوق والسـائل إلـى جهاز التكوير يؤدي إلى الية النمو الشـبيهة بتكويـن كرات الثلج ويزداد نمو الكـرات وحسـب الظـروف التشغيلية المستخدمة.



شكل (١) طريقة التجمع وتوزيع مجتمع الهواء والمـاء والمـادة الصلبة: (a) المرحلة البندولية. (b) المرحلة الحبلية. (c) المرحلة الشعرية.

انتاج المكورات

في بداية إنتاج المكورات تم استخدام عدد كبير مـن اجهزة التكوير وهي الاسطوانة الافقية والمائلة, قـرص التكوير الدوار, مخروط التكوير, والمجلة الطـائرة. ان جميع اجهزة التكوير تحصـل علـى مبـدا التقـايت (TumBling) وتستعمل بنفس الالية لتكبير الحجـوم (Size Enlargement) ولكنـها تختلـف ببعـض الخواص عند التطبيق وعند اختيار الجـهاز الملائـم للتكوير[٩]. تؤخذ بعض العوامل بنظر الاعتبار ومنها:

أ. المتطلبات الرئيسة للمنتج (حجم و كثافة الكرات).

ب. طبيعة المسحوق المستخدم.

ج. تحديد الظروف واقتصادية عملية التكويـر .وتعـد الاسطوانة الدوارة (Rotating drum) والقـرص الدوار(Rotating disk) من الاجهزة التي اثبتـت كفاءة عالية عند الاستخدام في المعامل الانتاجية لذا سنتطرق إلى هذه الاجهزة بشئ من التفصيل.

١. اسطوانة التكوير(Rotating drum):وهي عبـارة عن اسطوانة مصنوعـة مـن الصلـب ذات نـهايتين مفتوحتين وتدور حول محورها بزاوية مائلة قليلا عـن الافق ويتراوح قطر الاسطوانة بين (٢-٣) متر يبلـغ حوالي (٧٥, ٦-١٠) م وهي تدور بسرعة ثابته. يتـم شحن المادة الاولية من خلال الفتحة العلوية للاسطوانة وعند الحاجة إلى السائل تثبت رشاشات السـائل فـي مناطق قريبة من هذه النهاية واثناء دوران الاسـطوانة تتحرك على الجدران المحدبة للاسطوانة وتتدحرج إلى الأسفل نتيجة ميلان الاسطوانة إلى ان تصل إلى النهاية السفلية الاسطوانة حيث تخرج منها فـي الاسـطوانة المائلة يتم الحصول على مكورات بحجم يتراوح بيـن (٣-٢) ملم لذلك يكون من الضروري استخدام منـاخل وغرابيل لفصل الحجوم المرغوبة فيها اذا يتم تكسـر المكورات ذات الحجوم الكبيرة على شـكل مسـحوق يمزج مع المادة الاولية ويعود مرة ثانية إلـى دائـرة التكوير اما الحجوم الصغيرة جدا فيعاد استخدامها مـرة ثانية وهي تتصرف وكانـها نـواة تكويـن الحجـوم المطلوب من المكورات.

٢. قرص التكوير(Rotating disk): وهو عبارة عن قرص أو صحن سبيط له قاع مستوي أو قـد يحتـوي على مناطق متدرجة ويكون قطر قرص التكوير الدوار اكبر من قطر اسطوانة التكوير وتتراوح النسبة مـابين قطر القرص إلى عمقـه مـن (٠,١-٠,٣) ويشـتغل القرص بزاوية ميلان مع الافق تتراوح بين (-٣٠ الى

٣٠) درجة وتحدد سرعة دوران القرص اعتمادا على خواص التكوير للمساحيق المستخدمة. يتم تبطين سطح القرص (القعر) بطبقة من المواد الرطبة بسمك حوالي (٣-١٠) ملم لغرض زيادة الاحتكاك وتوليد قوة رفع جيدة، ويتم التحكم بسمك هذه الطبقة بسكاكين أو قاشطات. وبعد ان يتم تشغيل القرص تجهز المواد المستخدمة المرطبة بعد خلطها جيدا إلى القرص ونتيجة مقاومة احتكاك المواد على سطح القرص المائل فان المواد ستتجمع بشكل طبقات مكونة كومة هرمية وعندما يتم التغلب على الاحتكاك عند الميلان المتحرر لسطح القرص فان سطح الكومة ستكون تحت تاثير الدحرجة.

وعندما تكون حركة الدقائق مائلة بشكل كاف فانها ستندفع إلى الاعلى نتيجة قوة الرفع لسطح القرص الخشن وسرعة الدوران ومقاومة الاحتكاك وعندما تصبح زاوية الاسناد المائلة منحدرة اكثر فان الدقائق سوف تنقلب وتتدحرج إلى الاسفل فوق سطح المسحوق الصلب.

واثناء الدحرجة إلى الاسفل سوف تلتقط دقائق رطبة أخرى من سطح المسحوق وتبدا بتكوين الكرات ومع استمرار الدحرجة سيزداد حجم هذه الكرات ويتم تفريغها ذاتيا من حافة القرص تحت تاثير الجاذبية الارضية.

٣. مقارنة بين اسطوانة التكوير وقرص التكوير[١١]:

إن كلتا الطريقتين تستخدمان مبدا عملية التكوير ذاته وتكون نوعية ومواصفات الكرات المنتجة متشابهة تقريبا كما إن استهلاك الماء وخواص التكوير للمواد المراد تكويرها والمواد الرابطة تكون متشابهة لكلتا الطريقتين، ولكن هنالك فر وقات قليلة فمنها تظهر أثناء التشغيل وهي كالتالي:

أ. إن مرونة الاسطوانات الى التغيرات في تجانس المادة الأولية تكون احسن من القرص الى حد ما.

ب. الحيز الذي تشغله وحدات التكوير القرصية اقل منه في وحدات التكوير الأسطوانية ولكنه يحتاج الى سقف اكثر ارتفاعا.

ج. تكاليف انتاج المكورات بالقرص الدوار اقل من تكاليفها في الاسطوانة بنسبة تتراوح بين(٤-٨)%.

الجزء العملي

المواد المستخدمة

مناخل الجزيئية عبارة عن مادة سيليكات الالمنيوم مع أيونات موجبة لعناصر الفلزات القلوية والقلوية الترابية ولها خواص تميزها عن المواد الأخرى وتجعل منه مجموعة منفصلة لكونها مواد بلورية ذات تركيب معين تحتوي بينها على فجوات أو تجاويف تتراوح أقطارها بين 1.5nm الى 0.3nm وان حجم وشكل هذه المسامات يحدد أي جريئة يمكن ان تدخل الفجوات واوية منها تستثنى ولذلك فهي تستخدم في عملية تجفيف الغازات من الرطوبة. وهذه المادة له التركيب الكيمياوي العام التالي:

$$Men = X/n[(AlO_2)X(SiO_2)Y]m.H_2O$$

تحضير المناخل الجزيئية نوع 4A

المواد الأولية المستخدمة

أ. الكاؤولين: لقد تم استعمال الكاؤولين العراقي في انتاج المناخل الجزيئية، ويتوقف تركيب الكاؤولين على اتحاد او تركيب طبقتين تعرف الاولى بطبقة السيليكا وتتكون من ذرات السيليكون والأوكسجين وتعرف الثانية بطبقة الجبس وتتكون من ذرات الألمنيوم ومجموعات الهيدروكسيل وتركيبه الكيمياوي $2SiO_2\text{-}Al_2O_3.2H_2O$ والذي يمتاز بسعة تبادل أيوني قليلة.

ب. مادة هيدروكسيد الصوديوم: يستخدم بشكل محلول ذو تركيز ٢ عياري (٨%).

طريقة التحضير

١. يسخن الكاؤولين بوجود الهواء عند درجة (٥٥٠-٦٠٠) °م لمدة (١-٢) ساعة لتحطيم الشكل البلوري للطين المستعمل وتحويله الى صيغة تركيبية قابلة

للتفاعل مع هيدروكسيد الصوديوم.

٢. يوضع الكاؤولين المكلسن في دورق ويضاف محلول الصودا الكاوية بتركيز ٢ عياري وبنسبة وزنية ٥:١ ويسخن الخليط الى درجة (٩٥-١٠٠)°م مع استخدام محرك لمنع التصاق الخليط بجدار الدورق الزجاجي ويستمر التسخين عند هذه الدرجة لمدة ٣ ساعات ليتم التفاعل.

٣. يترك المزيج لفترة قصيرة ليركد الزيولايت (المناخل الجزيئية) وتغسل لعدة مرات بالماء لحين الحصول على محلول ذو حامضية pH=10.

٤. بعد الانتهاء من عملية الغسل يرشح المحلول ويوضع المسحوق الناتج في فرن عند ١٠٠°م لمدة ٢٤ ساعة لتجفيفه.

يوجد مخطط يوضح خطوات عملية التحضير كما في الشكل (٢) والمعادلة التالية توضح التفاعلات الحاصلة خلال عملية التحضير:

$$2Al_2SiO_4(OH)_4 \rightarrow 2Al_2SiO_7 + 4H_2O$$

metakolin

$$6Al_2SiO_7 + 12Na(OH)_{aq} \rightarrow Na_{12}(AlO_2)_{12}(SiO_2)_{12}27H_2O + 6H_2O$$

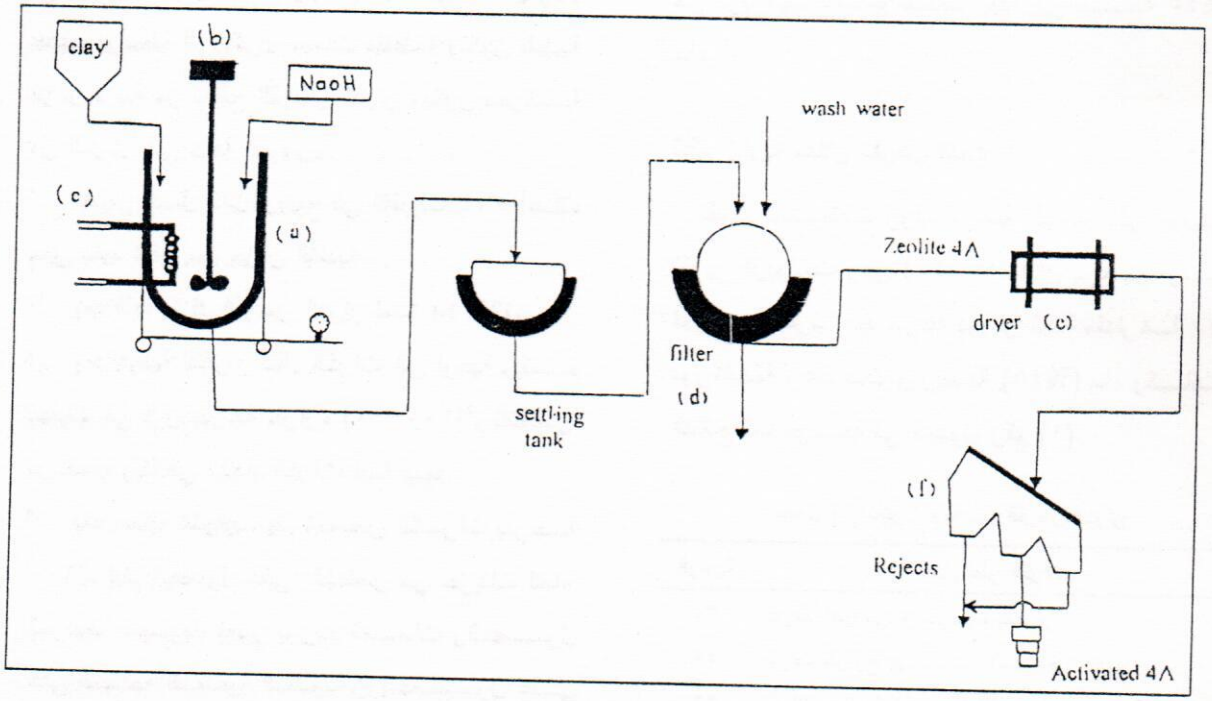
الأجهزة المستخدمة

عملية تشكيل الزيولايت بشكل كرات في هذا البحث تمت باستخدام جهاز القرص الدوار بالاضافة الى معدات استخدمت لتزويد الجهاز باللقيم والماء وهي:

١. جهاز القرص الدوار: تم استخدام جهاز القرص الدوار نوع (GTE) والذي يتكون من قرص دوار بقطر ٤٠سم وعمق ٨سم مائل بزاوية مع الأفق يمكن التحكم في مقدارها والتي تتراوح بين (-٣٠ الى +٣٠) درجة ويدور القرص باتجاه عقرب الساعة وبسرعة تتراوح بين (١٥-٦٠) دورةادقيقة.

٢. Magnetic hopper نوع Ritsch والذي يتكون من مستودع بسعة ٣ لتر مرتبط بقناة لمرور المادة بعرض (١٥) ملم مصنوع من مادة الستنلس ستيل ويمكن التحكم في سرعة تفريغ اللقيم بمعدل يتراوح بين (١٠-١٧٥) غمادقيقة ويثبت الجهاز على حامل وببعد ثابت عن جهاز القرص الدوار خلال جميع التجارب.

٣. الرشاش: تم استخدام رشاش يدوي للماء ذا قابلية على رش الماء بشكل رذاذ دقيق جداً وتثبيت نقطة الرش على سطح القرص.



شكل (٢) مخطط يوضح خطوات عملية التحضير

طريقة العمل

عملية تزويد الجهاز بالغذاء كانت شبه مستمرة وذلك لأن كمية المادة المستخدمة لم تكن كافية لجعل العملية مستمرة في كل تجربة يأخذ ما يعادل ١,٥ كغم فقط من مادة الزيولايت وكما في الخطوات التالية:

١. توضع كمية مقدارها ١ كغم من مادة الزيولايت في المستودع الخاص الموجود في جهاز الـ magnetic hopper الذي يؤدي الى القناة التي تزود القرص الدوار بالغذاء بصورة مستمرة وثابتة عند معدل جريان مقداره ١٠٠ غم/دقيقة.

٢. توضع ٥٠٠ غم من مادة الزيولايت في القرص ويثبت عند زاوية ميلان معينة وسرعة معينة.

٣. يشغل القرص بسرعة معينة ويدور لفترة (١-٢) دقيقة لضمان سرعة مستقرة للدوران.

٤. بعد ذلك تبدأ عملية تغذية اللقيم للقرص الدوار من موقع معين ويكون ثابتاً لجميع التجارب. وقد وجد ان أفضل مكان لتغذية اللقيم هو في الربع الأعلى الأيسر من القرص.

٥. عندما تبدأ عملية التغذية بالزيولايت مع المادة الرابطة يبدأ برش الماء أو (الماء + سليكات الصوديوم في حالة استخدامها كمادة رابطة) على شكل رذاذ خفيف بواسطة الرشاش وبدفعات متقطعة وتكون نقطة الرش قريبة من سطح القرص الدوار ويكون بحركة من المركز الى حافة القرص.

٦. يستمر العمل كما موضح في الفقرات ٤، ٥ أعلاه حتى يتنفذ اللقيم من خزان التغذية.

٧. بعد ذلك يترك القرص الدوار لمدة ١٠ دقائق.

٨. بعد عملية التكوير تنقل الكرات الى أوعية ويتم تجفيفها في فرن بدرجة حرارة (٨٠-١٠٠)°م للتخلص من الماء ولتلافي التحام الكرات فيما بينها.

٩. بعد عملية التجفيف يتم تحميص الكرات بدرجة ٦٠٠°م ليتم الحصول على: التخلص من جزيئات الماء المرتبطة كيمياوياً، تغيير توزيع المسامات والحصول على المساحة السطحية المطلوبة، والحصول على الطور المحفز واستقرارية المواصفات الميكانيكية.

النتائج والمناقشة

تأثير نسبة الرطوبة على نوع وشكل المنتوج

أجريت عدة تجارب لعملية التكوير باستخدام نسب مختلفة من الماء، تتراوح بين (٣٥-٥٣)% نسبة الى وزن (مسحوق الزيولايت + الكاؤلين كمادة رابطة) وقد لوحظ ان معدل نمو الكرات يزداد بزيادة كفاءة عملية الالتحام لدقائق المسحوق الصلب في المكورات والتي تزداد بزيادة نسبة الماء المضافة لمعدل جريان معين. كما لوحظ ان كرات قوية ومنتظمة يمكن الحصول عليها عند نسبة رطوبة بين (٤٣-٥٠)% وعند زيادة محتوى الرطوبة عن ٥٠% فان امكانية عملية التكوير تكون صعبة بسبب التصاق الكرات مع بعضها وكبر أقطارها بسبب التلاحم فيما بينها. أما عند استخدام محتوى رطوبة أقل من ٣٥% فإن الارتباط بين الكرات المتكونة والمسحوق يكون قليل جداً وتكون الكرات ضعيفة وهشة لا تتحمل أن تبقى على شكلها عند دوران القرص بل تتهشم وبذلك تحصل على مسحوق رطب يلتصق على جدار القرص ويدور معه دون تكوين كرات.

لقد وجد ان أفضل نسبة رطوبة التي تعطي مكورات من الزيولايت ذات مواصفات جيدة هي نسبة ٤٥% ماء.

تأثير زاوية ميلان القرص الدوار

لقد تم تحديد ثلاث زوايا لدراسة تأثيرها على عملية تكوير الزيولايت وهي (٣٠، ٤٥، ٥٥) درجة وقد اجريت التجارب عند سرعة دوران ثابتة مقدارها ٤٠ دورة/دقيقة وعند محتوى رطوبة (٤٥%) ماء وكانت النتائج كما موضحة في الجدول رقم (١).

جدول (١) تأثير زاوية ميل القرص الدوار

الزاوية	معدل قطر الكرات
٣٠	كرات أكبر من ٥ ملم جيدة التكوير
٤٥	كرات تتراوح بين ٤مل و ٦ملم جيدة التكوير
٥٥	كرات صغيرة غير جيدة التكوير أصغر من ٣ ملم

من الجدول أعلاه نلاحظ ان أفضل نتائج استحصلت من ناحية حجم المكورات المطلوبة هي زاوية (٤٥) درجة. فقد وجد ان زيادة ميل القرص الدوار تؤدي الى تقليل أقطار الكرات الناتجة وبالعكس عند تقليل زاوية ميل القرص يعطي فرصة أكبر للكرات بأن تتدحرج فوق الكرات الناعمة والمسحوق وزيادة امكانية الالتحام وبذلك فان أقطار الكرات المتكومة تكون أكبر.

تأثير سرعة دوران القرص

اجريت عدة تجارب لأختيار مقدار السرعة المناسبة للحصول على الكرات بمواصفات جيدة وهذه السرع هي ٣٠، ٤٠، ٥٠، ٦٠ دورةادقيقة. وقدد لوحظ عند زيادة سرعة دوران القرص زيادة سرعة نمو المكورات حيث ان زيادة عدد الدورات في زمن معين يؤدي الى وصول المكورات الى مرحلة متقدمة من النمو وبذلك تكون بحجم وقطر أكبر عند اجراء التجارب ثبت زاوية الميل للقرص عند (٤٥) درجة ومحتوى رطوبة (٤٥%) ماء ولزمن تكوير (١٠) دقيقة في كل تجربة. وقد كانت النتائج كما في الجدول رقم (٢).

جدول رقم (٢) تأثير سرعة دوران القرص

التجربة	الحجم الحبيبي للدقائق	السرعة دورةادقيقية	الملاحظات
١	أقل من ٤٥ مايكرون	٣٠	كرات قليلة الصلابة تتراوح أقطارها بين ١ملم و ٢ملم
٢	أقل من ٤٥ مايكرون	٤٠	كرات جيدة الصلابة ذات اقطار بين ٤ ملم و٦ملم
٣	اقل من ٤٥ مايكرون	٥٠	كرات جيدة الصلابة ذات اقطار بين ٦ملم و٧,٥ ملم
٤	اقل من ٤٥ مايكرون	٦٠	كرات جيدة الصلابة ذات أقطار اكبر من ٧ ملم

من الجدول أعلاه نجد أن أفضل مواصفات من حيث قطر المكورات المرغوبة للعوامل المساعدة والصلابة الجيدة نحصل عليها عند سرعة ٤٠ دورةادقيقة.

تأثير زمن التكوير

درست عملية التكوير عند ثلاث أزمان وهي (١٠، ١٥، ٢٠) دقيقة عند زاوية ميل (٤٥) درجة وسرعة دوران ثابتة مقدارها (٤٠) دورةادقيقة ونسبة رطوبة (٤٥%)، وقد لوحظ ان زيادة زمن التكوير يؤدي الى زيادة في أقطار المكورات الناتجة وذلك يعود الى وصول المكورات الى مراحل النمو النهائية عند زيادة زمن التكوير لسرعة ثابتة. الجدول رقم (٣) يوضح النتائج المستحصلة.

جدول (٣) تأثير زمن التكوير

الزمن (دقيقة)	قطر الكرات
١٠	قطر الكرة اقل من ٥ملم
١٥	قطر الكرة أقل من ٦ملم
٢٠	قطر الكرة أقل من ٦,٥ملم

لقد لوحظ ان حجم الكرات لا يستمر بالزيادة مع استمرار زيادة زمن التكوير بسبب تسرب هذه الكرات من القرص وبذلك يكون معدل الزيادة عند مدى زمني ضيق.

تأثير نوع المادة الرابطة

استخدمت في البحث ثلاث أنواع من المادة الرابطة وهي: الكاؤولين، الألومينا، وسليكات الصوديوم. وبعد انتهاء عملية التكوير درست مواصفات المكورات الناتجة والنتائج المستحصلة كما في الجدول رقم (٤).

جدول (٤) تأثير نوع المادة الرابطة

نوع المادة الرابطة	قوة السحق (N)	المسامية	اعلى مقدار للامتزاز
الكاؤولين	٢٠	٠,٤١	٠,١٤
الألومينا	١٠	٠,٤٤	٠,١٧
سليكات الصوديوم	١٨	٠,٢٢	٠,٩٦

نلاحظ من الجدول أعلاه ان أفضل نوع من المادة الرابطة المستخدمة هي مادة الكاؤولين من حيث عدم تأثيره على درجة امتزاز الزيولايت كما وجد ان

المكورات التي استخدمت فيها الألومينا كمادة رابطة ذات قابلية عالية على الأمتزاز ولكن قوة وصلابة هذه المكورات قليلة جداً.

أما المكورات التي استخدمت فيها مادة سليكات الصوديوم فقد كانت على درجة جيدة من الصلابة ولكن قابلية امتزازها قليلة نسبة الى كرات الكاؤولين كمادة رابطة.

وبذلك نستنتج بأن المكورات التي استخدمت فيها مادة الكاؤولين كمادة رابطة هي أفضل أنواع المكورات من حيث المواصفات الفيزياوية والميكانيكية.

اختيار الظروف المثالية

من التجارب السابقة تم التوصل الى الظروف المثلى للتشغيل لتكوير مادة الزيولايت وذلك بتحديد زاوية ميل (٤٥) درجة، سرعة القرص (٤٠) دورةادقيقة، نسبة رطوبة (٤٥%)، ومعدل جريان المادة الأولية (١٠٠) غمادقيقة. وقد تم الحصول على منتوج باحجام مختلفة ونسب مختلفة بعد اجراء عملية النخل كما موضح في الجدول رقم (٦).

جدول (٥) الظروف المثالية لعملية التكوير

ت	الحجم الحبيبي للكرات	النسبة الوزنية
١	١-٢	%١٢
٢	٢-٤	%٣٥
٣	٤-٦	%٤٠
٤	أكبر من ٦	%١٣

لقد اجريت على النماذج المستحصلة في الظروف التشغيلية المختلفة فحوصات لأختيار خواصها الميكانيكية وأهمها:

١. المسامية

تم قياس المسامية للكرات المنتجة بتجفيفها بدرجة حرارة ٣٥٠ °م ولمدة ساعتان وبعدها تترك لتبرد بداخل حاوية تجفيف ويتم وزن الكرات وهي جافة وليكن وزنها (D) وبعد ذلك توضع في ماء مغلي لمدة (٢) ساعة ثم تزال من الماء ويجفف سطحها وتوزن وليكن وزنها (M1). بعدها يأخذ وزن الكرات وهي مغمورة في ماء لمدة نصف ساعة وليكن وزنها (S) وتحسب المسامية من القانون التالي:

$$\text{Porosity} = \frac{M - D}{M - S}$$

من النتائج قياس المسامية للكرات المستحصلة لوحظ ان قيم المسامية تزداد مع تقليل سرعة دوران القرص وكذلك مع نقصان زمن التكوير وتقليل زاوية ميل القرص حيث في المراحل الأولية من عملية التكوير يكون الالتحام بين دقائق المسحوق الصلب في الكرات قليل وعند تقدم مراحل نمو الكرات فان التماسك بين الحبيبات الصلبة يزداد وهذا يتحقق عند زيادة سرعة دوران القرص او عند ازدياد زمن التكوير او تقليل زاوية ميل القرص الدوار.

٢. قوة السحق:

قوة السحق للكرات الناتجة خاصية مهمة جداً حيث انها تدل على قابلية الكرات لتحمل الخزن والنقل وغيرها من الظروف التي يتعرض لها المنتوج.

وقد تم فحص قوة السحق بوضع كل كرة من نموذج معين بين سطحين وتسليط قوة على الكرة وتسجيل مقدار القوة المسلطة والتي تمثل قوة سحق الكرة وتعاد العملية لعدة كرات في كل نموذج لأخذ معدل السحق للنموذج.

لقد وجد ان مقدار قوة سحق الكرات تتناسب تناسباً طردياً مع قطر الكرة وعليه فان زيادة سعة القرص الدوار وزيادة زمن التكوير وتقليل زاوية ميلان القرص كلها عوامل تؤدي الى زيادة مقدار قوة السحق للكرات المنتجة. والجدول رقم (٦) يوضح تغير مواصفات العامل المساعد مع تغير قطر الكرات المنتجة.

جدول (٦) تغيير مواصفات العامل المساعد مع تغيير قطر الكرات المنتجة

ت	قطر الكرات (ملم)	المسامية	قوة السحق (N)
١	١-٢	٠,٤٣	١٥
٢	٤-٦	٠,٤١	٢٠
٣	٦-٧	٠,٣٩	٣٠
٤	٧-٨	٠,٣٧	٣٥

الاستنتاجات

١. مكورات قوية ومنظمة يسهل تحضيرها عند محتوى رطوبة ٤٠-٥٠% وان متوسط قطر المكورات الناتجة يزداد بصورة خطية وعبر مدى ضيق من محتوى الرطوبة.

٢. زيادة سرعة دوران القرص تؤدي الى زيادة في قطر المكورات وقد تم الحصول على الأقطار المرغوبة التي تتراوح من ٢-٦ ملم عند سرعة دوران ٤٠ دورةادقيقة.

٣. تقليل زاوية ميلان القرص الدوار يؤدي الى زيادة أقطار المكورات.

٤. زيادة زمن التكوير يؤدي الى زيادة في أقطار المكورات الناتجة.

٥. تقليل محتوى الرطوبة، سرعة دوران القرص، زمن التكوير، وزيادة زاوية ميلان القرص يؤدي الى زيادة مسامية المكورات الناتجة وتقليل الكثافة Bulk density.

٦. زيادة في سرعة دوران القرص، زمن التكوير، محتوى الرطوبة وتقليل زاوية ميلان القرص يؤدي زيادة في قوة المكورات ويقلل من مقدار الخسارة بالحك.

٧. زيادة في سرعة دوران القرص وزمن التكوير وتقليل زاوية ميلان القرص يؤدي الى تقليل قابلية الامتزاز.

٨. عند استخدام الكاؤولين كمادة رابطة وجد انه أفضل من مادتي الألومينا وسليكات الصوديوم.

المصادر

1. James T. Richardson, "Principles of catalyst development", a book published in (1989).
2. Hardesty, J. O., "Principles of fertilizer agglomeration", Chem. Eng. Prog. Symp. Ser., 60(48), 1964, pp 46-52.
3. Capes, C. E. and Danckwerts, P. V., "Granule formation by the agglomeration of damp powders", Part I, "The mechanism of granule growth", Trans. Inst. Chem. Engrs., Vol. 43, p T116, 1965.
4. Sastry and Fuerstenau, "Mechanism of agglomerate growth in green pelletization", Powder Tech., 7, 1973), pp. 97-105.
5. Sastry and Fuerstenau, "Kinetics of green pellet growth by the layering mechanism", Society of Mining Eng., 1977.
6. Kapur, et. al., "Mathematical models of open circuit balling of granulating devices", American Chem. Soc., 1981.
7. Capes, C. E., "Particle size enlargement", Elsevier, Amsterdam, 1980.
8. Kapur, "Kinetics of Granulation by non-random coalescence mechanism", Chem. Eng. Sci., Vol. 27, 1972, pp. 1863-1869.
9. Retting, "Granulation, its place in chemical engineering", British Chem. Eng., 1965.
10. Brecj, D. W., "Zeolite molecular sieves, chemistry and use", NY, 1974.
11. Meyer, K., "Pelletizing of iron ores", Springer-Verlag Berlin, 1980.
12. Rumpf, H., "Agglomeration", Wiley, NY, 1962, p.379.