

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
جامعة منتوري قسنطينة
كلية العلوم الدقيقة
قسم الفيزياء

رقم التسجيل:

السلسلة:

مذكرة

مقدمة لنيل شهادة الماجستير في الفيزياء

تخصص علوم المواد

شعبة خزفيات

العنوان

تمضير ودراسة مرشحات وحواملها انطلاقاً من مواد أولية محلية

من طرف

زنيخري فهيمة

أمام لجنة المناقشة:

جامعة قسنطينة	رئيسا	أستاذ	سليمان عاشور
جامعة قسنطينة	مقرا	أستاذ	عبد الحميد حرابي
جامعة قسنطينة	ممتحنا	أستاذ	صلاح الدين برامة
جامعة قسنطينة	ممتحنا	أستاذ محاضر	بوبرك بودين

تاريخ المناقشة 2008/ 06/16

شكر وتقدير

أشكر الله عز وجل الذي أماننا على إتمام هذا العمل المتواضع.
كما أتقدم بجزيل الشكر إلى الأستاذ عبد الحميد حرايبي أستاذ بقسم الفيزياء – كلية العلوم بجامعة منتوري على اقتراحه وإشرافه على هذا البحث، وكذا مساهمته في انجازه، وكذلك إلى الأستاذ عاشور سليمان أستاذ بقسم الفيزياء – كلية العلوم بجامعة منتوري، كما أشكره على تفضله برئاسة لجنة المناقشة. أتوجه بشكري أيضا إلى الأستاذ صلاح الدين برامة أستاذ بقسم الفيزياء – كلية العلوم بجامعة منتوري، و الأستاذ بوبكر بوديين أستاذ معاصر بجامعة منتوري على موافقتهم المشاركة كأعضاء ممتحنين في لجنة المناقشة. كما أتقدم بجزيل الشكر و العرفان إلى الأستاذ فرحات بوزرارة أستاذ معاصر بجامعة جيجل على ناصحه القيمة ومتابعته لنا المستمرة .

أشكر في الأخير زميلي بودايرة بوخميس وكل من ساهم من قريب أو بعيد في انجاز هذا العمل ولو بكلمة طيبة بعثت في نفسي حسن العمل والمواصلة.

إهداء

أهدي هذا العمل إلى الذي قدم الدفع القوي والدعم الوافر إلى من هون لي

صعب ويسر لي كل عسر إليك يا أحب الناس في قلبي أبي رابع.

إلى الشمعة التي أضأت طريقتي إلى من يعجز اللسان عن تقدير عطائها وتعجز الأقلام

عن وصف حبها إليك يا أعز الناس أمي الحبيبة عائشة .

إلى رمز المحبة والوفاء والتعاون إخوتي الأعمام عزوز وبوبكر، إلى أخواتي فريدة

وفتيحة وسماح وأمال وزوجة أخي حواء وبناتها الكتכות الصغيرة هديل نور اليقين

إلى أعز الناس إلى قلبي بو - شروم.

إلى صديقة الغالية وتوأمة الروح يحيى ولي سليمة و بومحراث كنزة وبوشوارب

ياسمينة وفياض مليكة وشلوش نجوى باونى عائشة وكبوت سورية وعرنوق شهناز

وقروط سعاد و بلعمرى زهيرة وإلى كل الزملاء و الزميلات بوحدة بحث فيزياء

المواد بجامعة قسنطينة وخاصة مخبر الخزفيات محلة وفتيحة خديجة وسعاد وسهام

مريم وأسماء وحدة.

مدخل عام

يواجه العالم اليوم تحديات بيئية ناجمة من اتساع نطاق القطاع الصناعي وانتشار المنشآت الصناعية ذات المنتجات المتنوعة التي لها تأثيراتها السلبية في الموارد الطبيعية، فأصبحت البيئة أكثر تعرضاً للضرر من جراء الملوثات المختلفة التي تطرحها تلك المنشآت ومنها مياه الصرف الصناعي و التي يختلف وضعها من صناعة لأخرى نتيجة لاختلاف المواد الأولية اللازمة للصناعة، وكذا ضعف وعي العامة اتجاه التحكم في التلوث خلال النصف الأول من القرن العشرين، إلا أنه شهد تحولاً جذرياً في بداية السبعينيات، وهذا لحدوث تطور في اهتمامات الرأي العام فيما يتعلق بالحفاظ على البيئة، حيث حدد يوم 22 مارس كيوم عالمي للمياه للفت الانتباه إلى عدم إمكانية الحصول على مياه الشرب النقية في العالم النامي، لأن الماء يعتبر أحد أهم الموارد الحيوية التي أنعم بها الله على الإنسان لتمكينه من الحياة والبقاء والتطور، كذلك يوجد أكثر من 2.6 مليار شخص في العالم، أي حوالي 40 في المائة من سكان العالم، يفتقرون إلى مرافق الصرف الصحي الأساسية، وما زال أكثر من بليون شخص يستعملون مصادر مياه شرب غير نقية، ويموت آلاف الأطفال يومياً بسبب إصابتهم بالإسهال، وأمراض أخرى التي لها صلة بماء الصرف الصحي، والنظافة الشخصية، مما يجعل عدم توفرها ثاني أكبر سبب يؤدي بحياة الأطفال دون الخامسة من العمر. وعليه تعمل اليونيسيف على هدف بلوغ الألفية الإنمائي، الذي يتمثل بتقليل نسبة الذين يعيشون بغير فرص مستدامة للحصول على المياه النقية ومرافق الصرف الصحي الأساسية بحلول عام 2015. أدت أيضاً الملوثات المتعددة المصادر و المختلفة الأنواع إلى تدهور البيئة المائية في كثير من أنحاء العالم (مثل بحار , بحيرات، مياه جارية في الأنهار ، آبار... الخ) ونمو الطحالب و الأشنيات السامة في المصادر المائية، لذلك شرعت الكثير من الدول المتقدمة إلى تعديل الكفاءة المطلوبة من محطات معالجة مياه الصرف، و اللجوء في

كثير من الحالات إلى معالجة المياه الملوثة معالجة أكثر كفاءة من المعالجة البيولوجية التقليدية للوصول إلى القيم المسموحة لتراكيز الملوثات الخارجة مع المياه المعالجة، و تستخدم عدة أساليب لمعالجة مياه الصرف من أهمها الترشيح، و هو موضوع بحثنا الذي يهدف إلى تحضير مرشحات انطلاقاً من مواد خزفية، واستخدامها في معالجة المياه الملوثة كأحد الوسائل للوقاية الصحية في منع الأمراض وإعادة استعمال المياه الملوثة كمياه نظيفة و نقية. حيث تزيل هذه المصفيات المواد العالقة والروائح الكريهة والكيماويات العضوية والمبيدات و الهرمونات، وغيرها من المواد الضارة المنتشرة في مياه الصرف الصحي والمياه السطحية والجوفية والصناعية، وتحسن نوعيتها(الماء) بواسطة الترشيح دون إضافة أي مواد كيميائية، أو خلق مواد جديدة.

المواد الأولية المستخدمة في هذا البحث هي الكاولان و كربونات الكالسيوم وهي متوفرة بكثرة في بلدنا. حيث تم استخدام الكاولان (صنف 3 DD) التي تم الحصول عليها من مدينة قالمة، والكربونات الكالسيوم المتوفرة بكثرة في محجرة بونوار بالخرروب.

قسم هذا البحث إلى خمسة فصول، الفصل الأول عبارة عن مقدمة حول الخزفيات، الفصل الثاني عن مفهوم التليد ومراحله ومخططات الأطوار، الفصل الثالث هو عبارة عن عموميات حول المرشحات، أما الفصل الرابع يعالج دراسة وتحليل المواد الأولية المستعملة وكذلك الطرق التجريبية المتبعة في عملية تحضير المساند والأغشية و الفصل الخامس الأخير خصيصاً لدراسة النتائج التجريبية و مناقشتها.

عموميات حول الخزفيات

مقدمة

تعتبر الخزفيات أقدم مواد استعمال من طرف الإنسان لكن لم تحظ دراستها باهتمام العلماء و الباحثين إلا حديثاً، وقد عرفت المواد الخزفية خلال العشرية الأخيرة تطوراً سريعاً مقارنة بتطور المواد الصلبة الأخرى، فلم يعد مفهومها يقتصر على المفاهيم الشائعة التقليدية على أنها فن صناعة الفخار لا تتعدى الأغراض التقليدية في استخدامها مثل أواني الطهي و مواد البناء ... بل أصبح مفهومها أكثر تطور و دقة حيث تعد فرع من الفروع التكنولوجية و العلم الذي يتعامل مع الخامات الفلزية غير معدنية ولا عضوية، كما أثبت الأبحاث حديثاً على أن الخزفيات تملك خصائص جيدة مثل درجة حرارة انصهارها العالية، كونها عازلة كهربائياً و مقاومة للإجهاد الحراري. مما أدى إلى تعدد مجالات استخدامها كمواد مبطنة للأفراد و مواد عازلة كهربائياً ...، كما توجد الخزفيات تملك التوافق الحيوي **Biocompatible** مع نظام البيولوجي لكائن الحي و اندماج مع نسيج الحيوي فأصبحت (الخزفيات) أكثر اهتمام في مجال الطب.

1.I تعريف الخزفيات

تعرف على أنها مواد مصنعة لا هي معدنية ولا هي عضوية يتم الحصول عليها من المواد أولية بعد معالجة حرارية [1]، و أهم ميزة تمتاز بها هي الخاصية البلاستيكية أي أنها قابلة لتشكيل [2]، أما بنية الخزفيات فهي جد متعددة، أبسطها احتواء مادة الخزفية على طور واحد صلب بلوري أو زجاجي، و اعقدها على شكل مركب مكون من تجاور عدة أطوار غير متلائمة، تتشكل الخزفيات عموماً عن طريق المعالجة الحرارية التي تؤدي إلى تحسين بعض خصائصها [2].

2.I خصائص عامة عن الخزفيات

1.2.1 الخصائص الكيميائية

تمتاز المواد الخزفية بنوعين من الروابط الكيميائية، أيونية و أخرى تكافئية أو ذات طبيعة مشتركة و هي روابط قوية مسؤولة عن تماسك المادة، و تلعب دورا كبير في تحديد أهم الخصائص الفيزيائية و الكيميائية للمواد الخزفية [3].

الجدول I-1 يمثل طاقة الربط لبعض المركبات [4].

الرابطة	SiC	Si-Si	Si-O	B-N	C-C
الطاقة (eV)	3.38	2.30	4.60	4.55	3.60

و تعرف المواد التي فيها الرابطة الأيونية هي السائدة بالفرق الكبير في الكهروسلبية أما التي تكون فيها الروابط التكافئية هي السائدة بالكهروسلبية ضعيف، و يمثل الجدول 1-2 نسبة الروابط الأيونية و التكافئية و الفرق في كهر وسلبية لبعض الخزفيات [3].

جدول I-2 يمثل نسبة الرابطة الأيونية و التكافئية و الفرق في الكهروسلبية لبعض الخزفية [3].

المركب	LiF	MgO	ZrO ₂	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Si ₃ N ₄	SiC
الفرق في الكهروسلبية	3	2.13	2.11	1.83	1.54	1.14	0.65
النسبة الأيونية	0.89	0.73	0.73	0.72	0.63	0.64	0.30
النسبة التكافئية	0.11	0.27	0.27	0.28	0.37	0.36	0.70

2.2.I الخصائص الحرارية

أهم الخصائص الحرارية في المواد الخزفية هي الناقلية الحرارية، و معامل التمدد الحراري و كذلك درجة حرارة الانصهار [5]. فمعظم المواد الخزفية عازلة حراريا و هذا يعود إلى طبيعة الرابطة القوية أيونية أو تكافئية لذلك تستعمل هذه المواد كعوازل حرارية مثل السيليس و الزركنيوم، كما تمتلك

(الخزفيات) معامل تمدد حراري المرتبط مباشرة بنوع الروابط الكيميائية و البنية البلورية، فاعلم الأكاسيد التي لها نسبة عالية من الرابطة الكيميائية والأيونية و بنيتها المتراسة مثل ZrO_2 و Al_2O_3 لها معامل تمدد حراري خطي كبير، يقارب معامل بعض المعادن، و المواد التي لها نسبة عالية من نوع الرابطة التكافئية فمعامل التمدد حراري خطي لها ضعيف، مثل السيليس و الكورديريت، و الخزفيات من النوع $LAS(LiO_3.Al_2O_3.SiO_2)$ ، كما تمتاز هذه المواد بدرجة انصهارها العالية نظرا لقوة الرابطة الكيميائية المشكلة لها، والجدول التالي بين درجة حرارة انصهار بعض المواد الخزفية.

الجدول 3-I يبين درجة حرارة انصهار لبعض المواد الخزفية [6].

المركب	Al_2O_3	MgO	CaO	TiO_2	SiO_2
درجة الانصهار (C°)	2070	2640	2625	2950	1700

I. 3.2 الخصائص الميكانيكية

إن معرفة الخصائص الميكانيكية للمواد الخزفية مهم لصناعة الخزفيات و تطبيقاتها الميدانية، فمعظم الخزفيات هشة و مقاومة للتشوه و لها قيم عالية لمعاملات المرونة مقارنة بالمعادن، و هذا يعود إلى قوة الرابطة التي لا تسمح بانزلاق المستويات البلورية بالنسبة لبعضها البعض ، فهي مواد قصفة (القوة اللازمة لخلعة تشوه لدن في العينة أكبر من القوة اللازمة لكسرها).

I. 2. 4 الخصائص الكهربائية

للمواد الخزفية تطبيقات واسعة في مجال الالكترنيات و الكهربائيات، فهي تستعمل كعوازل ومكثفات كهربائية، نظرا للخصائص العزلية التي تتميز بها [5]، وتعتبر المواد البلاستيكية و العضوية عند استعمالها كمكثفات أو عوازل كهربائية أحسن من المواد الخزفية و ذلك لسهولة إنتاجها بأبعاد أفضل من الخزفيات، لكن إيجابيات المواد الخزفية تتمثل في خصائصها الكهربائية العالية و غياب التشوه تحت قوى الإجهاد وعند درجات الحرارة المنخفضة، و المقاومة العالية لتغيرات المحيط عند درجات الحرارة المرتفعة أين تتبخر المواد البلاستيكية، فدرجة استعمال المواد البلاستيكية من $80^\circ C$ إلى $250^\circ C$ أما الخزفيات من $1500^\circ C$ إلى $1700^\circ C$ [5]، وتتعلق خصائص الخزفيات بصفة عامة بالشوائب الموجودة بها ومدى تجانس بنيتها المجهرية و الفراغات المحتواة فيها، ويعطي الجدول 4.I الأتي قيم ثابت العزل لبعض المواد الخزفية.

جدول I-4 ثابت العزل لبعض المواد الخزفية (عند التردد 1 KHz) [5].

المركب	ثابت العزل
NaCl	5.9
Lif	9.0
Mica	2.5-7.3
MgO	9.6
Al ₂ O ₃	8.6-10.6
ZrO ₂	8.8
المليت	17-15
الكورديريت	5.4-4.5
البورسلان	6-0

I. 2. 5 الخصائص الضوئية

ايونات المعادن الانتقالية لها دور كبير في إعطاء الألوان للخزفيات، فمثلا اوكسيد الألمنيوم أحادي البلورة عديم اللون يتلون بالأحمر بوجود نسبة ضئيلة جدا من Cr_2O_3 [6].

I. 3. 1 دراسة بعض المواد الخزفية

I. 1. 3 الكاولان

أ- تعريفها

تعتبر الكاولان واحدة من بين المواد الأولية المتواجدة بكثرة في العالم، والمستعملة بكثرة في الصناعة الخزفيات المنزلية، وصناعة المواد الحرارية التي تستخدم في تبطين الأفران [8]. اسم الكاولان مشق من اسم نل بالصين [9]، وهي تتواجد في الطبيعة على شكل صلصال، تأخذ اللون الأبيض أو الرمادي ذلك حسب احتوائها على شوائب أو مواد عضوية، ومعظم هذه الشوائب عبارة عن أكسيد مثل MgO و MnO و Na₂O و K₂O، وهي تلعب دورا كبيرا في تحديد خصائص الكاولان.

ب- التركيب الكيميائي للكاولان

الصيغة الكيميائية للكاولان النقي هي $Al_2Si_2O_5(OH)$ وهذا يوافق النسبة الوزنية التالية 39.5% وزنا من Al_2O_3 و 46.6% وزنا من SiO_2 و 13.9% وزنا من الماء، وهذه النسب الوزنية متغيرة من كاولان إلى أخرى حسب مقدار الشوائب المتواجدة بها [11.10] ، والوزن المولي يقدر بحوالي 258 g ، كما تقدر نسبتها الحجمية النظرية بحوالي 2.6 g/cm^3 .

ج- البنية البلورية

يطلق على الجزء المتبلور من الكاولان بالكاولينيت، له بنية بلورية ثلاثية الميل [12]، وهي تتواجد في الطبيعة على شكل صفائح رقيقة، أبعادها متغيرة من 0.5 و 10 ميكرومتر بالنسبة للقطر 0.05 إلى 2 ميكرومتر بالنسبة للسمك [9]، فهي عبارة عن تجمع طبقات رباعية الوجوه مع طبقات ثمانية الأوجه، كما هو موضح في الشكل I-4. أما الأبعاد الخلية الأولية للكاولينيت فهي [12].

$$c=7.391 \text{ \AA}$$

$$b=8.932 \text{ \AA}$$

$$a=5.119 \text{ \AA}$$

$$\gamma=89.9^\circ$$

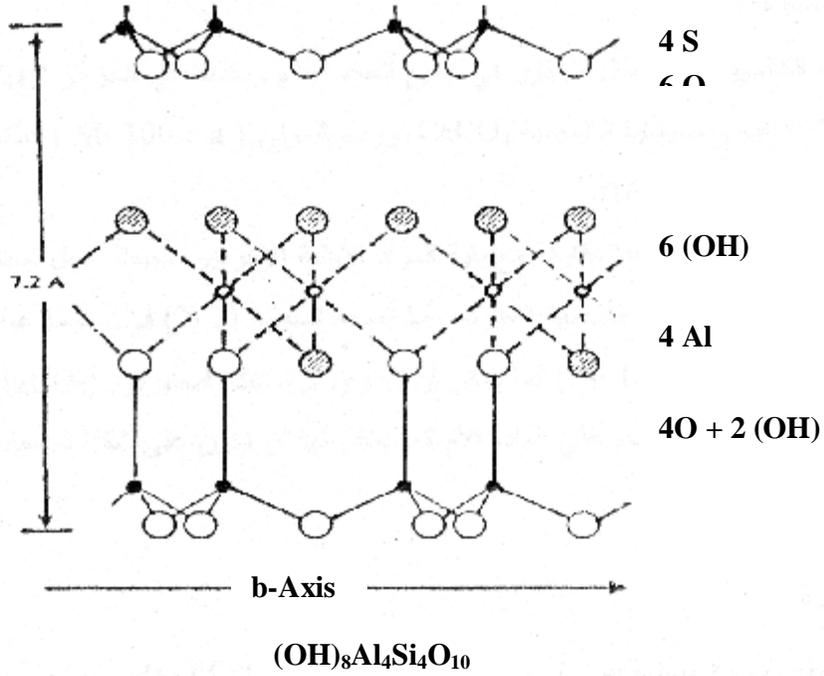
$$\beta =104.8^\circ$$

$$\alpha = 91.6^\circ$$

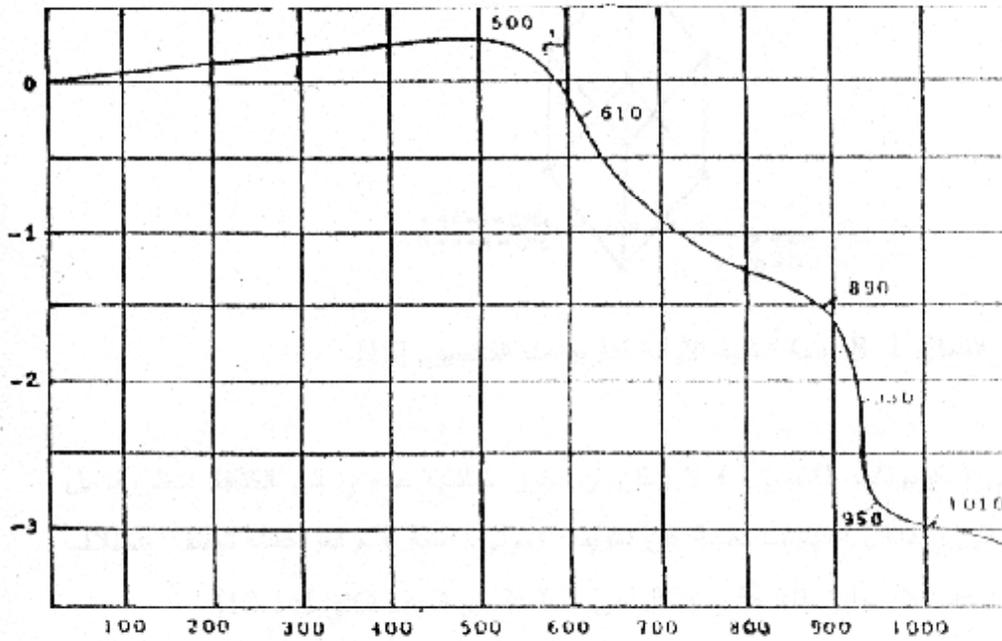
د- خصائص الكاولان

نلخص أهم خصائص الكاولان في الجدول I-5 التالي:

المرجع	القيمة	الخاصية
5.8	2.63-2.6	الكتلة الحجمية (g/cm^3)
5	2.5-2	الصلادة
9	$10.5-7^6$	معامل التمدد الخطي ($20-700^\circ \text{C}$)
9	$10.5-4^3$	الناقلية الحرارية ($\text{cal/cm.s.}^\circ \text{C}$)
9	1700	درجة حرارة الاستعمال ($^\circ \text{C}$)
9	210-50	مقاومة الشد (kg/cm^3)

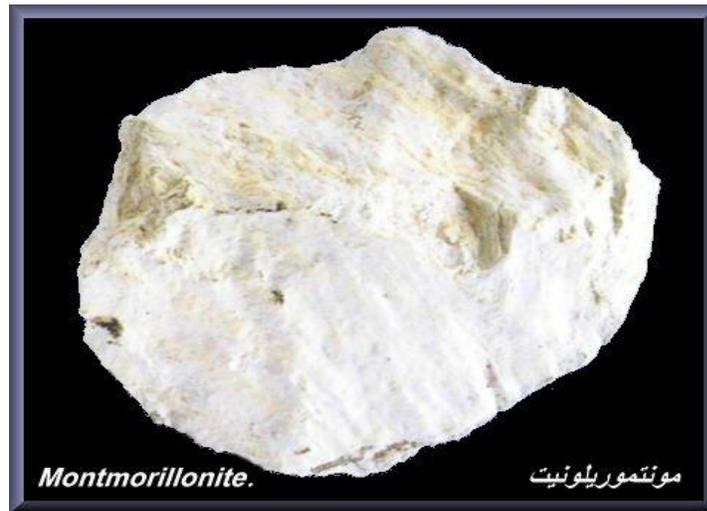
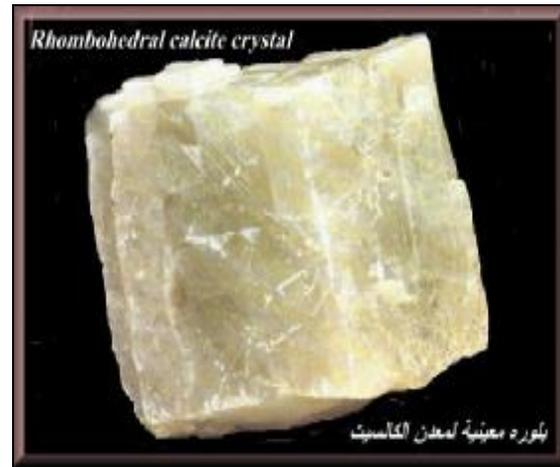


الشكل 1-I: البنية البلورية للكاولانيت [15].



الشكل 2-I: التمدد الطولي التفاضلي للكاولان [13].

I . 2.3 كالسيت



شكل I-3 : يمثل بعض الصخور الكالسية .

إن الكالسيت هو مادة خزفية تركيبها الكيميائي عبارة عن كربونات الكالسيوم نظامها البلوري سداسي أما شكلها الخارجي عبارة عن بلورات منشورية أو على شكل توائم سداسية، تتواجد على شكل كتل متراسة، بلورات مجهرية (الحجر الجيري)، ليفية، متصلبة على شكل (ستلاكتيت وستلاجميت)، أوليت إلخ. ذو ألوان مختلفة عديم اللون، أبيض، وردي، أخضر، أصفر، وأما خواص الطبيعية له متوسط الصلابة، خفيف، ذو انفصام تام شفاف بريق زجاجي لؤلؤي، ذو مخدش ابيض اللونين قابل للذوبان في حمض الهيدروكلوريك البارد المخفف مع إصدار فقائيع. وهو (الكالسيت) معدن رسوبي مثالي يتكون عن طريق الترسيب الكيميائي من خلال تبخر السوائل الغنية بكربونات الكالسيوم. كذلك يوجد في العروق

الحرمائية ذات درجة الحرارة المنخفضة المرافقة للكبريتيدات، ويتواجد في فراغات صخور الحمم البركانية، و يستخدم في صناعة الاسمنت وأحجار الزينة، معالجة المعادن (الميتالورجيه) كمساعد صهر، وخبث البراكين، في صناعة الاسمدة لتغذية التربة، في الصناعة الكيميائية لعمل الصودا الكاوية وكلوريد الكالسيوم، كحشو في المطاط وفي صناعة الأصباغ، و يوجد على نوعية جيدة نقية في الحجر الجيري وهو يغطي مناطق شاسعة في العالم وكذلك في العروق المتناسقة مع معادن الكبريت.

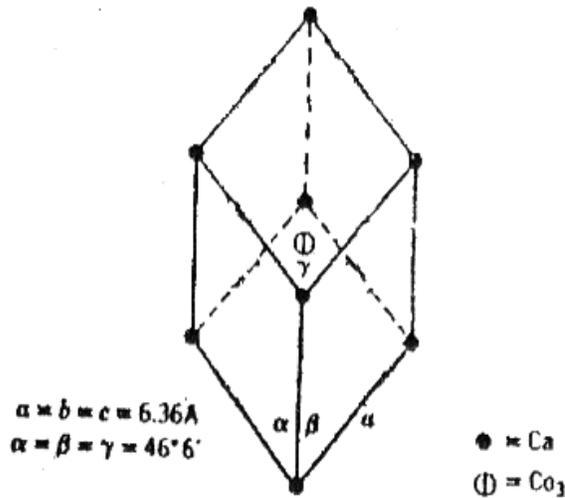
3.I . 3 كربونات الكالسيوم

تتواجد كربونات الكالسيوم على شكل صخور في جميع أنحاء العالم منها الجزائر، وهي تأخذ اللون الأبيض في حالة نقاوتها، صيغتها الكيميائية تكتب كما يلي : CaCO_3 وزنها المولي يقدر بحوالي (M= 100.1g)، كتلتها الحجمية النظرية حوالي 2.71 g/cm^3 [15]. إن درجة نقاوة CaCO_3 الطبيعية عالية جدا مقارنة مع بقية المواد الأولية الأخرى، حيث تصل درجة نقاوة CaCO_3 الطبيعية إلى أكثر من 98% من الكتلة الحجمية النظرية، فهي تعتبر عالية جدا بالمقارنة مع بقية المواد الأولية الأخرى. أما النسبة المتبقية أي 2% فهي عموما عبارة عن أكسيد مثل Al_2O_3 و Fe_2O_3 و SiO_2 [15، 16]. كما يمكن أن تحتوي كذلك على شوائب ككربونات المغنيزيوم (MgCO_3)، حيث أن هذه الشوائب يمن أن تكون موزعة بانتظام على المادة الأم أو على شكل تجمعات بالشقوق الصخرية [16].

أ - خصائصها الفيزيائية

يبين الكشف بواسطة انعراج الأشعة السينية أن بنية الكلس الحجري (CaCO_3) هي سداسي موشوري (شبكة ثلاثية متساوية الأحرف) [16]. حيث تنتوزع ذرات الكالسيوم على رؤوس متوازي السطوح وجزيئات CO_3 بمركزه كما يبينه الشكل I-5.

كربونات الكالسيوم في وجودها الطبيعي لا تكون كثافتها تساوي إلى الكثافة النظرية، نظرا لتواجد الفراغات بين الحبيبات وداخلها وهذا نتيجة تكوينها الأولي. تختلف نسبة هذه الفراغات باختلاف مناطق تواجدها وهي عادة لا تتجاوز 20% ولا تقل عن 0.3% من الحجم الكلي [15، 16].



الشكل 4-I : بنية الخلية الأولية لكاربونات الكالسيوم [16].

ب - خصائصها الميكانيكية

تمتاز كربونات الكالسيوم بخصائص ميكانيكية، حيث تقدر صلابتها ما بين 80 و 190 MN/m^2 [17]. معامل تمددها ضئيل جدا إذ يقدر بحوالي $5.10^{-6} \text{ m/}^\circ\text{C}$ [17]، أما فيما يخص معامل يونغ فيتراوح ما بين $2.2.10^4$ و $8.48.10^4 \text{ N/m}^2$ [18].

ج - خصائصها الكيميائية

تعتبر كربونات الكالسيوم مركبا غير نشط كيميائيا، لذا يستعمل فيزيائيا أكثر منه كيميائيا، من أهم خواصها، تفككها بارتفاع درجة الحرارة، لتعطي أكسيد الكالسيوم وغاز ثاني أكسيد الكربون وفق المعادلة الكيميائية التالية [19]:



تتفاعل كربونات الكالسيوم بسهولة مع الأحماض القوية لتعطي غاز ثاني أكسيد الكربون (CO_2) و زائدا

مع انتشار حرارة، و تتفاعل مع أكسيد الكبريت عند درجات حرارة عالية نسبيا ($T \geq 95^\circ\text{C}$) فتعطي الكبريت مع المادة الأساسية لصناعة الجبس وذلك وفق المعادلة التالية [16]:

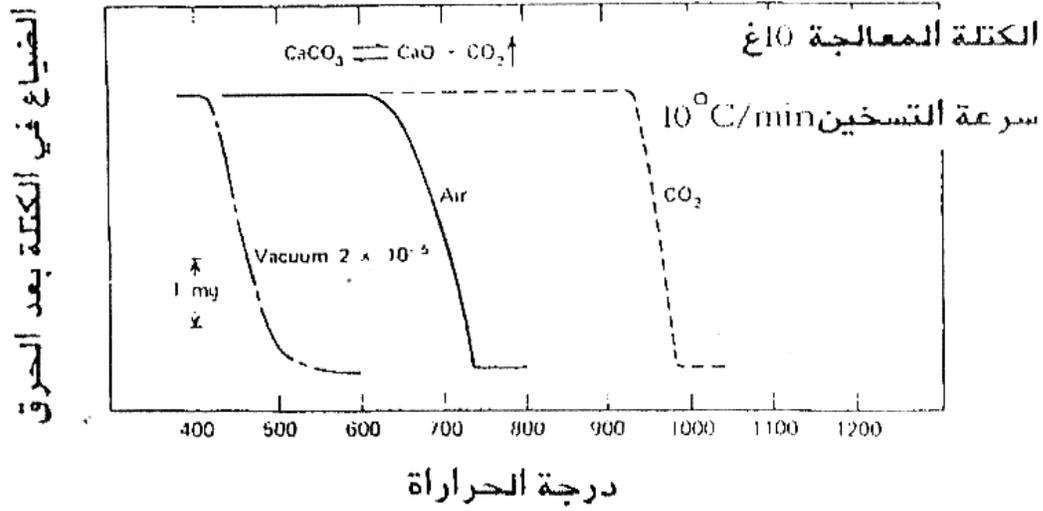


د - الكلسنة

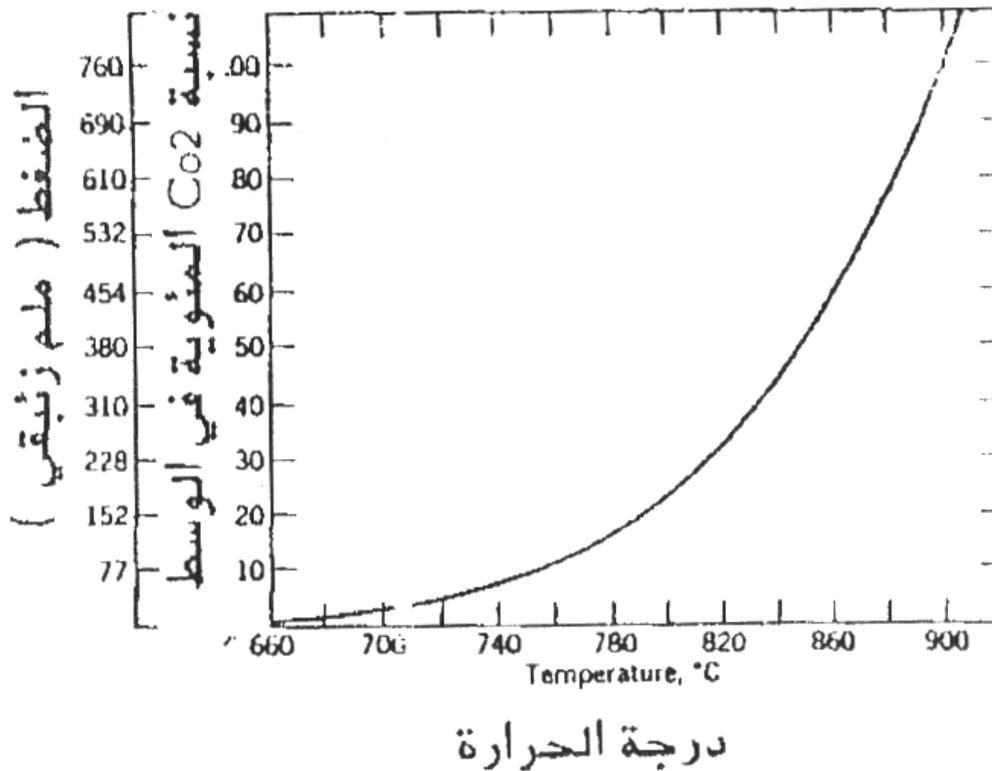
عند تسخين الكلس الحجري (CaCO_3) إلى درجات حرارة ملائمة ولزمن كاف يتفكك إلى غاز ثاني أكسيد الكربون CO_2 والكلس CaO ، فكل 1 Kg من الكربونات نحتاج إلى طاقة قدرها 1.7 MJ، عند درجة الحرارة $T(c) = 900^\circ\text{C}$ [20]، إن درجة حرارة التفكك والزمن اللازم لذلك مرتبط بعدة عوامل، منها خاصة الوسط المحيط بالمادة المعالجة (CaCO_3). حيث أنه كلما قل ضغط CO_2 في الجو المحيط بها كلما كانت درجة التفكك $T(c)$ اللازمة لذلك أقل. فالوسط الذي يحتوي على 100% من CO_2 وعند ضغط يساوي إلى الضغط الجوي فإن: $T(c) = 990^\circ\text{C}$ ، ودرجة التفكك في الهواء $^\circ\text{C}$ $T(c)=700$ ، أما إذا كان ضغط البخار منخفضا مثلا عند $P = 2.10^{-5}\text{Pa}$ فإن درجة حرارة التفكك تنخفض إلى $T(c) \leq 500^\circ\text{C}$ [21].

يبين الشكلان (I-5 و I-6) تغير $T(c)$ بدلالة الوسط المحيط بالكربونات وتأثير ضغط غاز CO_2 في درجة حرارة الكلسنة على الترتيب.

يمكن أن نجد من بين العوامل المؤثرة في درجة حرارة الكلسنة، الكثافة الابتدائية لكربونات وأبعاد حبيباتها الأولية، حيث وجد أنه كلما كانت الكثافة أقل كلما تناقص الزمن اللازم لتفككها عند درجة حرارة ثابتة.



الشكل-I-5: تأثير نوع الوسط المحيط بالكلس الحجري عند معالجته في درجة حرارة تفككه [22].



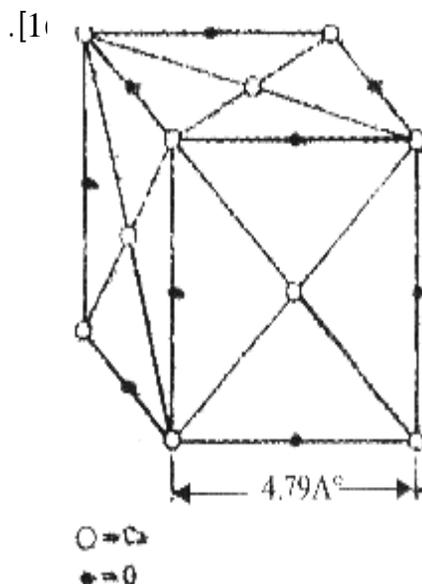
الشكل-I-6: تأثير ضغط وتركيز CO_2 في درجة حرارة تفكك CaCO_3 [16].

I. 4.3 أكسيد الكالسيوم

هو عبارة عن مسحوق أبيض يستخلص بواسطة عملية تسخين كربونات الكالسيوم (CaCO_3). يدخل في صناعة الإسمنت كمادة أساسية [15،23]. وكذا في صناعة الزجاج بمختلف أنواعه [24،25،26] والنحاس والذهب [21]، كما يستعمل أيضا في تصفية الحديد، حيث يضاف إلى خام الحديد المصهور ليتفاعل مع أكسيد السيليسيوم [28]، إضافة إلى أنه مادة حرارية مهمة جدا في كثير من التطبيقات الصناعية [24، 16، 21]. يعتبر الكلس (CaO) مادة غير مستقرة كيميائيا، حيث أنه يتفاعل مع الماء بسهولة ليعطي ماءات الكالسيوم، حيث أن هذه الأخيرة تكون أشد بياضا من الكلس [16].

أ- بنيته

إن بلورة لكلس عبارة عن شبكتين مكعبتين ممرزيتي الوجوه متداخلتين (الشكل I-5)، إحداهما للكالسيوم والأخرى للأوكسجين، بضم كل ذرة أوكسجين إلى ذرة كالسيوم أو العكس نحصل على شبكة مكعبة بسيطة (SC). البعد بين كل ذرتين من نفس



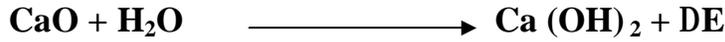
الشكل I-7: بنية الخلية الأولية لأكسيد الكالسيوم [28].

ب - خواصه الميكانيكية

تتراوح قصاوته ما بين 2 و3 على سلم موهس، معامل تمدده ضئيل جدا بحيث يقدر بحوالي $1.38 \cdot 10^{-7} \text{ m}^\circ\text{C}$ وهذا لدرجات الحرارة المحصورة من $T = 0^\circ\text{C}$ إلى $T = 1700^\circ\text{C}$ [19]. درجة ذوبانه عالية جدا $T(f) = 2625^\circ\text{C}$ [29].

ج - خواصه الكيميائية

إن أهم خاصية يمتاز بها أكسيد الكالسيوم هو تفاعله مع الماء، فعند إضافة الماء له فإنه يعطي ماءات الكالسيوم وحرارة شديدة منتشرة وفق المعادلة التالية:



$$\text{DE} = 16 \text{ cal/mol}$$

يكون ناتج التفاعل عبارة عن مسحوق ذو حبيبات دقيقة جدا، ويرجع ذلك إلى سرعة التفاعل والطاقة العالية الناتجة منه، بنيته سداسية (الشكل-I-7) بالإضافة إلى تفاعله مع الأحماض قوية كانت أم ضعيفة.

3.1 5. الانورثيت

أ - تعريف

هو مركب فلديسباتي مكون من سيليكات الألمونيوم و الكالسيوم $2\text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaO}$ [19]، و يمكن أن يتبلور في نظام سداسي أو ثلاثي الميل للجملة الثلاثية $\text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaO}$ ، و يكون محددًا بخمس نقاط تحول أو تكتيكي أين تتغير درجة الحرارة ما بين 1170°C و 1512°C [32]. كما هو موضح في مخططات الأطوار الثلاثية، للجملة السابقة.

ب - التركيب الكيميائي و البنية البلورية

الصيغة الكيميائية للانورثيت $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ و هذا يوافق النسب الوزنية التالية:
 20.16% من CaO و 36.65% من Al_2O_3 و 43.19% من SiO_2 .
 و يمكن أن يتبلور في نظام شبه سداسي أو ثلاثي الميل، و تبين وجود نوعان فلديسباتيان $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$.

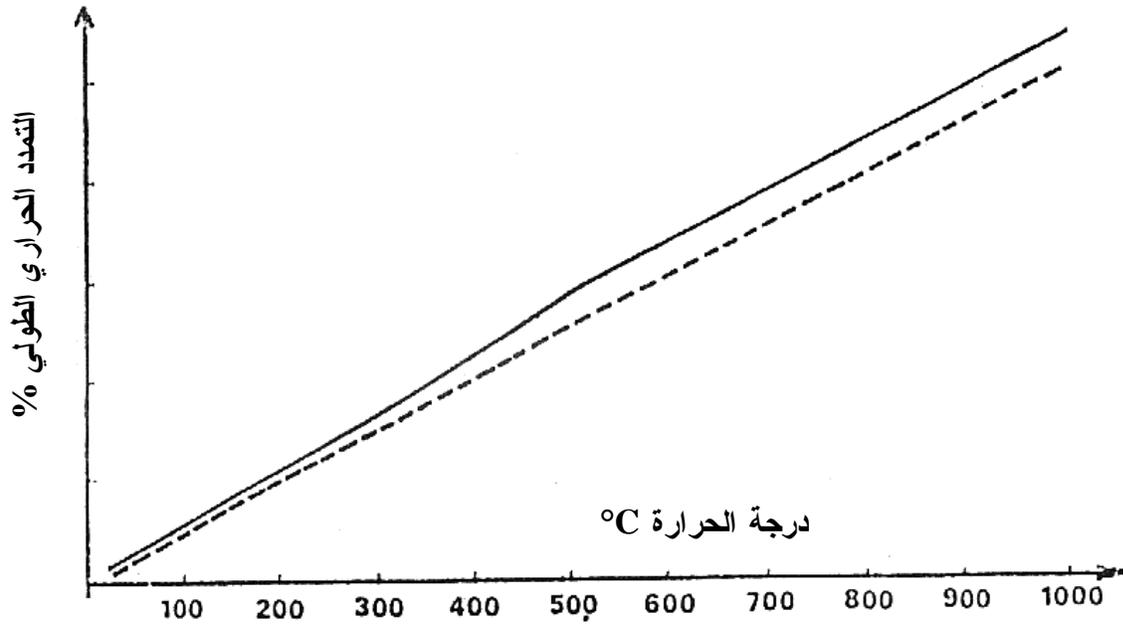
CaO، لكل منها ثابت الشبكة c يساوي $14A^\circ$ الأول ذات خلية بسيطة، و الآخر ذو خلية مركزية الجسم لها نفس الأبعاد تقريبا [30].

$$a=8.177A^\circ \quad b=12.877A^\circ \quad c=14.167A^\circ$$

$$\alpha=93.17 \quad \beta=115.85 \quad \gamma=91.22$$

ج- خصائص الأنورثيت

تمتاز الأنورثيت بخصائص مماثلة للكورديريت مثل مقاومة الإجهاد الحراري، و ثابت عزل كهربائي ضعيف، و تمتاز كذلك بالصلادة العالية، و مقاومة التآكل الكيميائي و معامل تمدد حراري منتظم و ضعيف تتراوح قيمته ما بين $(10^{-6} \cdot 4.5 - 6.5)$ (الشكل I-8) [30]، و درجة حرارة استعمال في حدود $1550^\circ C$ و له كثافة حجمية تقدر بحوالي $2.75g/cm^3$ ، هذه الخصائص تجعله واحدا من بين المركبات المهمة صناعيا.



الشكل I-8 : منحنى التمدد الحراري للإنورثيت [30]

التلييد ومخططات الأطوار

1.II تحضير قطعة خزفية

تتميز الخزفيات بخصائص جيدة كونها حرارية وصلدة وقصفة في نفس الوقت وهذا ما يجعل عملية تصنيعها صعبة، حيث أنها تختلف عن تصنيع بقية المواد، باستثناء الخزفيات الزجاجية، فمثلا درجات الحرارة العالية للخزفيات لا يمكن تشكيلها عن طريق الصب أو القولية، كما أنه لا يمكن تشكيلها عن طريق التصفيح لنقص لدونها، وبالتالي تكون عملية التصنيع محدودة [31]. إن معظم الخزفيات تعتمد في تحضيرها على تقنية التلييد، حيث تكمن هذه الأخيرة في تحويل المواد الأولية الموجودة على شكل مسحوق مضغوط إلى مادة ملتحة و صلبة بعد معالجتها عند درجات حرارة عالية نسبيا تكون أقل من درجة ذوبانها [31]. يرافق هذا التحويل في أغلب الأحيان زيادة في كثافة القطعة الخزفية وكذا تقلص في أبعادها الخارجية [31]. يمكن تلخيص مراحل تحضير قطعة خزفية في (الشكل II-1).

1.1.II التلييد و التنشيط

أهم طرق تنشيط التلييد هو تصغير حجم الحبيبات عن طريق السحق الجيد للمواد الأولية [32]، و توجد عدة تقنيات للسحق ولكن أكثرها استعمالا تلك المتمثلة في السحق بواسطة الكريات، حيث يتم وضع المادة المراد سحقها داخل علب ذات شكل أسطواني قابلة للدوران حول محور ثابت مع الاهتزاز بوجود كريات من الألمين أو الفولاذ و الماء، أين يتم السحق بواسطة كريات من الألمين أو الفولاذ مع وجود ماء مقطر [32]، حيث يمكن تلخيص هذه التقنية في (الشكل II-2). تعرف بعملية السحق الرطب.

II. 2.1 التشكيل

نقصد بالتشكيل إعطاء المادة الأولية شكلا معيناً يتناسب و الهدف منها، ومن أهم تقنياته الكبس المحوري، ويتم التشكيل عن طريق آلة ضغط مناسبة، حيث يطبق على المسحوق الموجود داخل قالب خاص ضغطا مناسباً يسمح بتشكيله (الشكل II-3). إن الاحتكاكات بين الحبيبات الناتجة عن الضغط المطبق تولد ارتفاعا محليا في درجة الحرارة، مما يسمح

بالتحام أولي بين الحبيبات حيث نحصل في النهاية على عينة متماسكة بشكل كافا يسمح بنقلها للفرن [32].

II. 3.1 الإضافات العضوية

يكون من الضروري في بعض الأحيان إضافة مواد عضوية، لأنه هناك مواد تساعد على ربط الجزيئات ببعضها وتسمى بالمواد الرابطة، و توجد أيضا مواد ملدنة تعمل على حماية العينات من التشقق أثناء المعالجة الحرارية [33]. فهذه الإضافات يجب التخلص منها خلال عملية التليد وذلك قبل انغلاق الفراغات لتجنب زيادة ضغط الغازات داخل الفجوات والتي تؤدي إلى حدوث بعض العيوب، كما أن لهذه الإضافات نسب محددة لا يمكن تجاوزها .

II. 1. 4 التليد

يعتبر التليد أهم مرحلة في صناعة الخزفيات حيث تتحول فيها العينات المشكلة من مسحوق مضغوط غير متماسك إلى مادة صلبة وصلدة.

• التليد الطبيعي

يعتبر التقنية الأكثر استعمالا، ويتمثل في تسخين عادي للقطع الخزفية المشكلة، وتكون نسبة الإضافات فيها كبيرة في غالب الأحيان بهدف تنشيط التليد و الحد من النمو المفرط للحبيب.

• التليد تحت الكبس

يتم في هذه التقنية التشكيل و التسخين في آن واحد، وتعطي هذه الطريقة في بعض الأحيان خزفية تليدا كليا (غياب الفراغات).

• التليد التفاعلي

في هذه التقنية تساهم التفاعلات الكيميائية داخل القطعة الخزفية في تحسين التليد، و يحدث التفاعل عادة بين مكونات الخليط، أو نتيجة تفاعل الغازات أو السوائل الموجود في الفراغات مع الطور الصلب المكون للعينة [32].

II. 5.1 التحسن والإتقان

هذه العملية بعد التليد تتحدد المميزات النهائية للقطعة الخزفية، ويصبح من غير الممكن تغيير شكلها لكن يمكن التحسين في سطحها وهذا باستعمال أدوات ماسية مناسبة للتقنب و الصقل [32].

II.2 التلييد

II.1.2 مفهوم التلييد

إن التلييد هو آخر مرحلة من مراحل تحضير قطعة خزفية، كما انه ظاهرة معقدة يصعب إيجاد تعريف دقيق لها، ولكن يمكن القول بأن التلييد عبارة عن عملية معالجة حرارية تعمل أساسا على إزالة الفراغات بين حبيبات المادة الأولية وتطوير نظام الحبيبات الفردية إلى حالة تكثيف مثالية. تكون هذه العملية مصحوبة بالظواهر التالية [23.24]. نقص في الأبعاد الأولية للعينة و زيادة في الكتلة الحجمية.

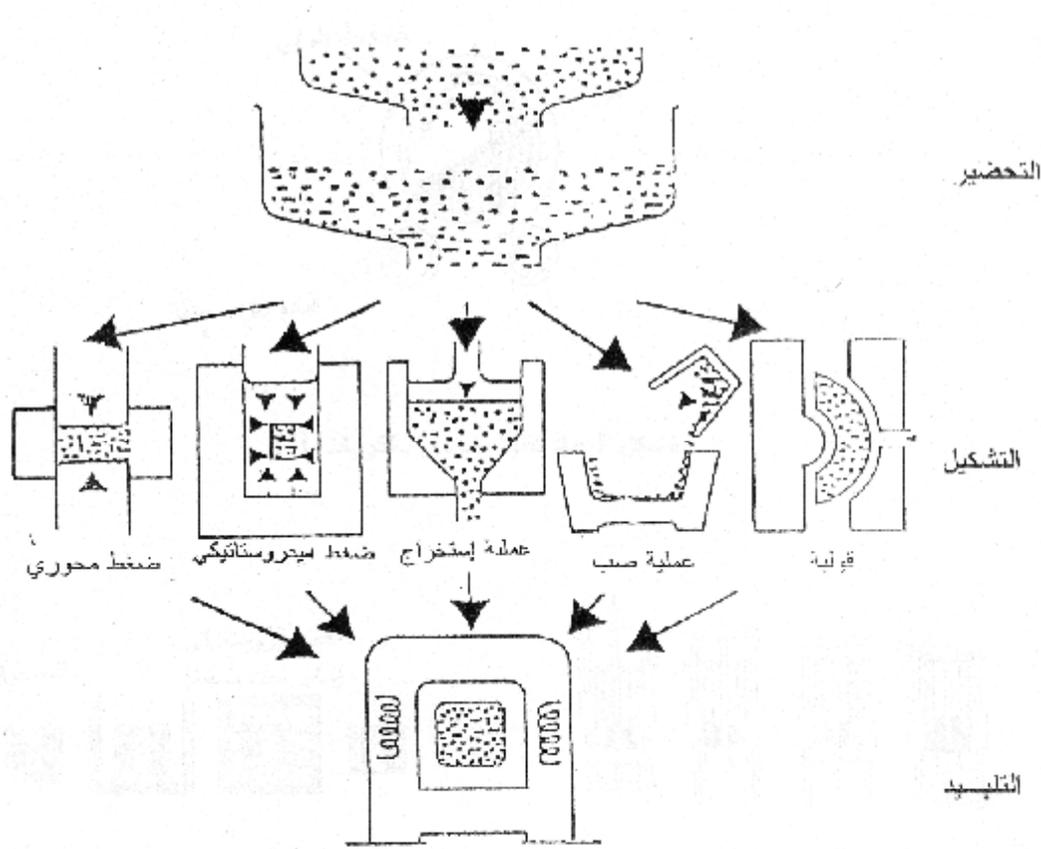
– نقص في الطاقة السطحية الإجمالية للمادة و ذلك نتيجة نمو الحبيبات.

– زيادة في عدد الروابط الحبيبات و شدة التماسك بينها.

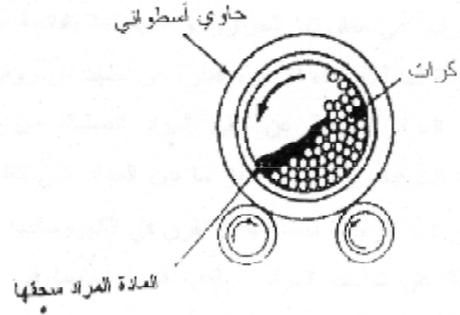
– تحسن في الخصائص الميكانيكية و الحرارية.

وتختار غالبا الفراغات كمعامل لوصف طرق التلييد للمواد الحرارية، وذلك لإمكانية شرح تغيرات الأبعاد الهندسية للمادة بواسطة التغيرات التي تطرأ على أبعاد الفراغات وأشكالها (مغلقة أو مفتوحة).

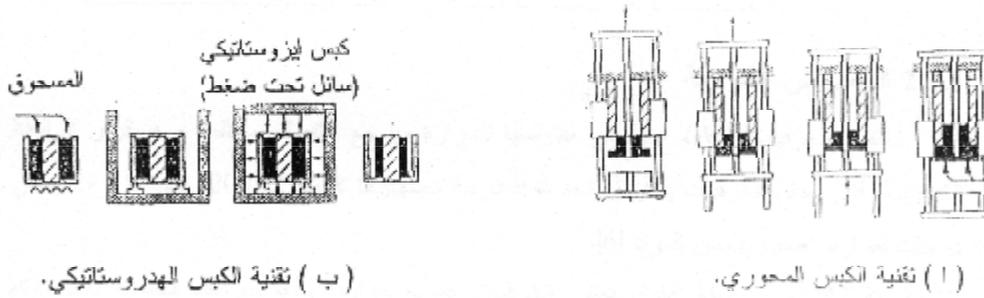
كما يتعلق كذلك تغير أبعاد المادة أثناء عملية التلييد بعوامل أخرى، منها ما هو متعلق بطبيعة المادة في حد ذاتها و أبعادها و شكل حبيباتها، وكذا تواجد الطور السائل، ومنها ما هو متعلق بشروط التلييد من ضغط و درجة الحرارة و زمن المعالجة... الخ.



الشكل II-1: أهم مراحل تحضير قطعة خزفيات [34].



الشكل II -2- تقنية السحق بالكرات [19].



الشكل II-3: تقنيات التشكيل عن طريق الكبس [31].

II.2.2 مراحل التلييد

إن عملية التلييد تقسم عادة إلى ثلاثة مراحل وهي المرحلة الابتدائية، الوسطية، النهائية، وذلك بناء على التحولات الهندسية التي تحدث أثناء تطور البنية المجهرية لمجموع الحبيبات إلى بنية متعددة البلورات ذات كثافة عالية [34].

• المرحلة الابتدائية

خلال هذه المرحلة يتم التحام جزئي للحبيبات المتلاصقة، حيث يبدأ تشكل الأعناق ونموها، أما الحبيبات الغير متلامسة فتتشكل بينها الحدود الحبيبية، كما انه خلال هذه المرحلة لا يحدث أي نمو للحبيبات، حيث تنتهي هذه المرحلة عندما تتطاول الأعناق و تنتشر فوق بعضها البعض و هذا يوافق تقلصا ب 5 % من الحجم الكلي .

• المرحلة الوسطية

خلال هذه المرحلة تبدأ الحبيبات في النمو و تتميز أيضا بظهور بنية جديدة مكونة من حبيبات و فراغات مفتوحة تميل لأخذ أشكال اسطوانية .

إن هذه المرحلة ذات أهمية كبرى في مراقبة تطور البنى الدقيقة للخزفيات، حيث أن أعلى نسبة من التكتيف تكون خلال هذه المرحلة .

• المرحلة النهائية

تتشكل فراغات مغلقة ذات أشكال كروية تقريبا، حيث أن هذه الفراغات تبقى معزولة داخل الحبيبات وذلك نتيجة للنمو الحبيبي، كما أن التكتيف يتم ببطء، وهنا يمكن القول بأن التلييد قد وصل إلى نهايته

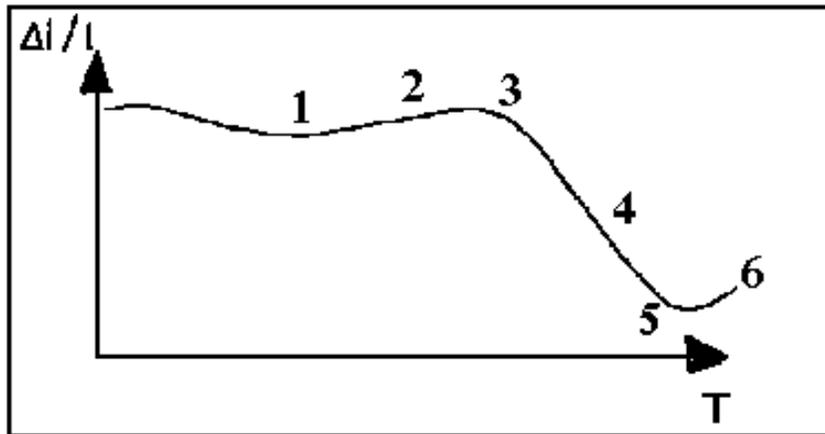
II.2.3 تقلص الخزفيات عند التلييد

إن تغير حجم العينة الذي يظهر على شكل تقلص في أبعادها هو ناتج عن عدة عوامل، نذكر منها إعادة الترتيب البلوري وزيادة مساحات التلامس بين الحبيبات و انخفاض أبعاد الفراغات وكذا زوالها.

إن هذه الظواهر يمكن توضيحها في الشكل يمكن تلخيصها في النقاط التالية :

- **المنطقة 1** يحدث تمدد لمجموعة الحبيبات بعد التقلص الأولي، كما يحدث احتراق للمواد العضوية وتبخر الماء الممتص و الداخل في التركيب خلال المئات الأولى لدرجات الحرارة (مابين 400°C و 600°C) فلا تبقى سوى حبيبات المادة الأولية.

- **المنطقة 2** تخضع مجموعة الحبيبات خلال عملية التحضير والتشكيل إلى تشوهات لدنة، ففي هذه المنطقة تسعى الحبيبات لإعادة ترتيبها الداخلي و تعرف هذه العملية أحيانا بإعادة التبلور الأولي كما تحدث عملية تبلور المناطق اللابلورية
- **المنطقة 3** تزداد مساحة التلامس بين الحبيبات في هذه المنطقة، مما يؤدي إلى اقتراب مراكز الحبيبات المتلامسة من بعضها البعض و هذا يجعل التمدد الحاصل سابقا مهملًا، وتمثل هذه المنطقة بداية التقصص وزوال الفراغات.
- **المنطقة 4** تزداد مساحة التلامس بين الحبيبات أكثر، وتحاول الفراغات ذات الشكل العشوائي اكتساب شكل كروي، أما الفجوات ذات الحجم الصغير تزول بهجرتها إلى السطح عبر الحدود الحبيبية، إن هذه المنطقة تعرف بمنطقة زوال الفراغات .
- **المنطقة 5** تصل الكثافة في هذه المنطقة إلى أعظم قيمة لها.
- **المنطقة 6** تبرز هنا ظاهرة جديدة وهي إعادة التبلور بين المتجاورة والتي لها توجهات مختلفة، فتنمو الحبيبات الكبيرة على حساب الحبيبات الصغيرة و يستمر هذا النمو إلى أن تلتقي الحدود الحبيبية لتشكل فيما بينها فراغات كبيرة ويزداد الحجم عمليا، ويمكن إيقاف عملية التليد في المنطقة 5 لأن هذه المنطقة غير مرغوب فيها.



الشكل II-4: التقصص النسبي بدلالة درجة الحرارة لمادة خزفية [31].

II.2. 4 تنشيط التليد

نقصد بتنشيط التليد تسريع و زيادة تكثيف المادة الملبدة، وذلك إما بخفض مدته عند درجة حرارة ثابتة، أو بخفض درجة حرارته نفسها، ويمكن تحقيق ذلك بطرق عديدة من أهمها زيادة مساحة التلامس بين الحبيبات وذلك بواسطة سحق الجيد للمادة وكذا استعمال ضغط كافي مما يسمح بالالتصاق الجيد للعينات.

استعمال الإضافات وذلك لتشكيل طور سئل في درجة حرارة منخفضة لأن وجود هذا الطور يسهل عملية تكثيف المادة.

زيادة مساحة التلامس بين الحبيبات وذلك عن طريق تطبيق ضغط خارجي عند درجات الحرارة المرتفعة .

استعمال مسحوق ذو توزيع حبيبي، أين تقوم الحبيبات الصغيرة بملأ الفراغات الموجودة بين الحبيبات الكبيرة و الزيادة من مساحة سطوح التلامس .

و يعتبر الشكل الكروي للحبيبات هو الشكل الذي يوافق فعالية أكثر للتليد، فهي تشكل عند بداية التليد مناطق بين الحبيبات شديدة التقعر إضافة إلى انتظام توزيع الفراغات على كامل العينة.

II.3. مخططات اتران الأطوار**II.3.1 النظام $SiO_2-Al_2O_3-CaO$**

تمثل هذه الجملة بمخطط رانكن الموضح في الشكل II-5 و هي تحتل مكانا خاصا في صناعة الخزفيات حيث نجد 15 مركبا كيميائيا، هناك عشرة مركبات تتفكك، و خمسة تصهر [33].

$3CaO.2Si_2$ و $3CaO.Al_2O_3$ و $3Al_2O_3.2SiO_2$ و $3CaO.SiO_2$ و $CaO.Al_2O_3$ أما المركبات التي تتصهر فهي، $CaO.2Al_2O_3$ و $CaO.Al_2O_3$ و $5CaO.SiO_2$ و $CaO.SiO_2$ و $2CaO$ و أهم ما يميز هذه الجملة هي المركبات الثلاثية مثل الأنورثيت ذو الصيغة الكيميائية $CaO.Al_2O_3.2SiO_2$.

II-3-2 النظام $SiO_2-Al_2O_3-MgO$

يعتبر هذا المخطط من بين المخططات البالغة الأهمية و تمكن أهميته في نوعية المركبات التي يعطيها فمثلا نجد السيليس و الألومين و اوكسيد المغنيزيوم و الفورستريت و السبينال و الميليت و الكوردريت، كلما مركبات تمتاز بدرجة انصهار عالية و هي أساس العديد من الحراريات و مسقط الجملة

ممثل في الشكل II-5 إذ يحتوي على 9 مركبات أهمها هي:

أ- الكوردريت

صيغته الكيميائية $2\text{MgO}.2\text{Al}_2\text{O}_3.5\text{SiO}_2$ يذوب بصفة غير متوافقة في المجال 1465°C - 1355°C مع إعطاء الميليت [15] و يمكن أن يتواجد في بنية سداسية و يعرف في هذه الحالة بالاندياليت الذي يملك مقاومة جيدة للتغيرات الحرارية المفاجئة.

ب - السابفرين

الصيغته الكيميائية هي $4\text{MgO}.5\text{Al}_2\text{O}_3.2\text{SiO}_2$ تذوب بصفة غير متوافقة عند درجات الحرارة أعلى من 2000°C مع أعطاه السيال.

ج- السبينال

و هو مركب ثنائي صيغته الكيميائية $\text{MgO}.\text{Al}_2\text{O}_3$ يذوب بصفة متوافقة في حدود 2135°C .

د - الميليت

الصيغته الكيميائية $3\text{Al}_2\text{O}_3.2\text{SiO}_3$ يذوب بصفة غير متوافقة في حدود 1890°C .

و- ميتاسلكات المغنيزيوم $\text{MgO}.\text{SiO}_2$

يذوب بصفة متوافقة في حدود 1557°C مع إعطاء الفورستريت.

II - 3-3 النظام $\text{SiO}_2\text{-CaO-MgO}$

يمثل الشكل II-6 مخطط الأطوار ويحتوي على 13 مركبا كيميائيا أهم هذه المركبات هي [35].

(1) الديوبسايد

الصيغة الكيميائية $\text{CaO}.\text{MgO}_2.2\text{SiO}$ ، له بنية بلورية أحادية الميل، ودرجة ذوبان تقدر 1490°C .

(2) المنتسليت

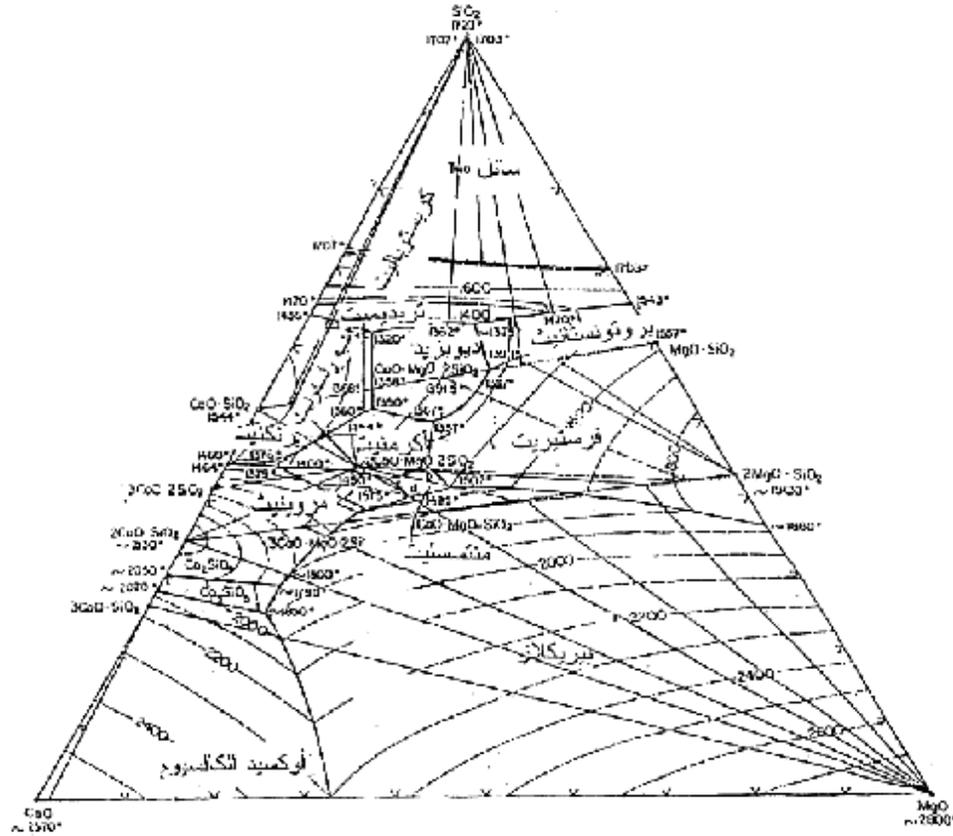
الصيغة الكيميائية $\text{CaO}.\text{MgO}.2\text{SiO}_2$ ، له بنية بلورية معينيه.

(3) اكرمنيت صيغته الكيميائية $2\text{CaO}.\text{MgO}.2\text{SiO}_2$

(4) المر ونيت

صيغته الكيميائية $2\text{SiO}_2.3\text{CaO}.\text{MgO}$

بالإضافة إلى مركبات أخرى لم يتم التطرق إليها



الشكل II-6 : الرسم البياني لاتزان الأطوار للنظام : $\text{SiO}_2\text{-CaO-MgO}$ [35]

عموميات حول المرشحات

1.III. مقدمة



تعد موضوعات الهندسة البيئية من أهم الموضوعات التي تشغل الباحثين في الوقت الحاضر، لأنها تتعلق مباشرة بالمحافظة على حياة الإنسان وحيمايته، حتى يتمكن من استثمارها بصورة سليمة، ومن أهم هذه المصادر الماء، الذي يعتبر أساس الحياة وأهم مقوماتها وبدون الماء لا يمكن للحياة البشرية أن تستمر، فالآثار السلبية الناتجة عن التطور الصناعي الكبير

والسريع أدت إلى بروز الكثير من الظواهر البيئية الغير صحية ومن بين هذه الظواهر تلوث المجاري المائية (الصرف الصحي السيئ) يسبب ضررا جسيما. فالأطفال الذين يعيشون في ظروف غير صحية، أو الذين يشربون مياهاً قذرة، يعانون من الأمراض الأكثر خطورة، في أغلب الأحيان. والعديد منهم يتوفون قبل سنّ الخامسة نتيجة إصابتهم بأمراض مرتبطة بالمياه والصرف الصحي - بما في ذلك الإسهال، والكوليرا، والملاريا، ويتأخر نمو هؤلاء الأطفال، إذا ما كُتب لهم البقاء على قيد الحياة، عن نمو نظرائهم. ونظرا لما يتوقعه من حدوث ندرة في هذه المادة، تعد الموارد المائية ثاني أهم تحد سيواجهه العالم بصفة عامة وبلدان العالم النامي بشكل خاص خلال العقد المقبل، و ارتفاع الطلب على مياه السقي والماء الصالح للشرب بنسبة 20% في غضون الخمسة وعشرين سنة المقبلة، والتلوث مشكلة أزلية و سبباً رئيساً في انتشار الأوبئة، لاسيما في الدول الأقل تقدماً، وقد بدأ استعمال الكلورة للماء في القرن العشرين عام 1908 عندما استخدم الكلور لتعقيم ماء الشرب، و اعتبرت هذه الخطوة من أهم الاكتشافات و استمر استخدامه إلى يومنا هذا و تقدر مياه الشرب حول العالم المعقمة به 98%. أدى تطوير استخدام تقنيات جديدة في تدبير الماء من خلال دراسة التقنيات المستعملة في هذا المجال من بينها تقنية المعالجة البايولوجية ذات الأغشية النفاذة لمعالجة مياه الصرف الصحي تعتبر وسيلة مثلى وبديل أفضل لحل أزمة تلوث المياه بصفة خاصة، والبيئة عامة، و زيادة الاهتمام العالمي بمشاريع إعادة استخدام المياه ودورها المهم في ديمومة توفير الطلب المتزايد على المياه، تبرز الحاجة بشكل متزايد للبحث عن تقنيات معالجة متقدمة للمياه. تتضمن تقنية المعالجة البايولوجية ذات الأغشية النفاذة الحاوية

على أغشية نفاذة دقيقة لفصل المواد الصلبة عن السائلة كبديل المستخدم في التقنية التقليدية، يكون الماء الناتج من المنظومات العاملة بهذه التقنية ذا مواصفات عالية صالحاً للاستخدامات المختلفة (عدا الشرب)، وكذلك يمكن دفعه مباشرة إلى منظومات تحليه المياه بالتنا فذ العكسي. تقوم الأغشية بدور حاجز، يمنع نفاذ بعض أنواع الكائنات المجهرية المسببة للأمراض والمقاومة لعملية التعقيم بالكلور. تعتبر تقنية المعالجة البيولوجية ذات الأغشية النفاذة من التقنيات المتقدمة لمعالجة مياه الفضلات، والتي تم تطبيقها بنجاح في أماكن متزايدة في العالم.

وتوجد اتجاهات حديثة بشأن المعالجة عن طريق استخدام مرشحات الأغشية، والتي ثبتت كفاءتها في إزالة الطحالب والبكتريا والفطريات والفيروسات، وتعتمد هذه المرشحات على وجود اسطوانات بها أغشية ذات نفاذية دقيقة لا تسمح بمرور الأحياء الدقيقة مثل الفيروسات. مما تفيد هذه المعالجة بصورة كبيرة في تقليل نسبة الكلور المضافة لتطهير المياه، وبالتالي تكون نوعية المياه أفضل نتيجة (عدم تكوين المركبات العضوية الكلورة)، حيث تتفاعل هذه المركبات نتيجة تأثير الكلور على الملوثات العضوية عند إضافة الكلور المبدئي والنهائي، تسمح التقنية المرتبطة بالمعالجة العضوية الوصول إلى الدقة في ترشيح المياه أي أعلى من تلك التي يتم الحصول عليها من المحطات التقليدية، إلى جانب احترام المعايير البيئية الصارمة، وفي هذا الفصل سنتطرق إلى مبدأ وعمل الشرائح وتطبيقاتها في مجال تنقية الماء وتعرف على أصنافها ومختلف أشكالها وخواصها.

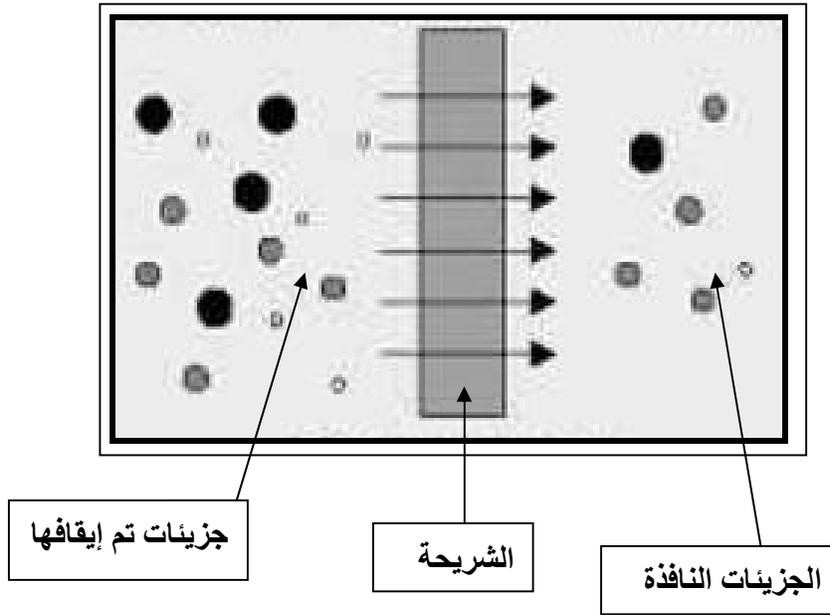
2.III. تعريف الترشيح

الترشيح (Filtration) هو إزالة الجزيئات الصلبة الدقيقة أو المنحلة من السائل، بتمريرها من خلال غشاء نفوذ (طبقة رقيقة) أو طبقة ذات فتحات صغيرة [37]. إنها إحدى التطبيقات الصناعية الأساسية التي تهتم مجالاً واسعاً من الصناعات مثل: الصناعات الكيماوية الأساسية (صناعة حمض الكبريت و ماءات الصوديوم)، معالجة المياه، صناعات الأغذية و المشروبات...الخ. إن الهدف من الترشيح هو الحصول على سوائل نقية في خلال وقت قصير ومجهود أقل و كلفة منخفضة.

3.III. الشريحة

3.III.1 تعريفها

الشريحة هي سطح مادي رقيق جدا (ذات سمك ضعيف من رتبة أجزاء المليمتر) يمكن أن تكون عبارة عن فلم بيولوجي أو عبارة عن فلم محضر من مادة عضوية أو غير عضوية (معدنية أو خزفية) تعمل على إيقاف أو تمرير جزيئات منحلّة أو عالقة تحت تأثير قوى فعالة (الشكل III-1) ميزتها أنها تسمح بمرور منتظم للمادة عبرها. نعني بهذا إذا ورد سائل به أصناف مختلفة للجزيئات على سطح الطبقة فإن بعض الجزيئات يتم إيقافها ونوع آخر يسمح له بالمرور [35].



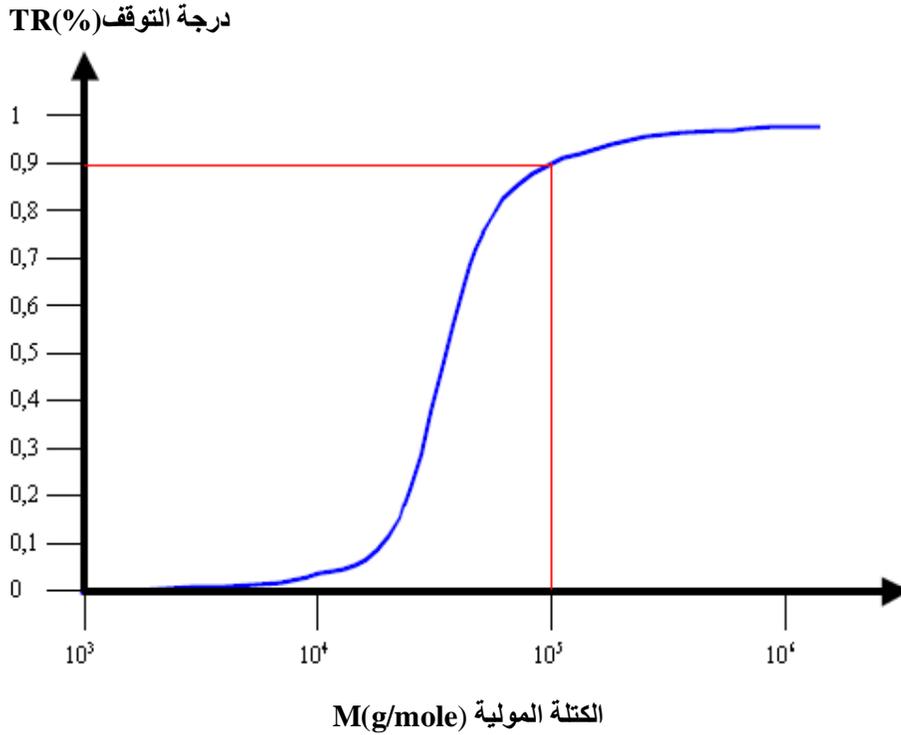
الشكل III-1 : رسم توضيحي لشريحة [2].

3.III.2 مميزاتاها

تتميز الأغشية بخصائص ذاتية منها: عتبة القص و الشحنة الكهربائية للمسام و السطح و أبعاد المسام و ... الخ.

أ- عتبة القص

تمثل عتبة القص (Weight Cut Off: WCO)، الكتلة المولية لأصغر الجسيمات التي تم إيقافها من قبل الغشاء [48]. تتعلق عتبة القص مباشرة بأبعاد الجسيمات و كذا أبعاد مسامات الغشاء. تقاس عتبة القص بوحدة الدالتون. (Da=1g/mole). في الحالة التطبيقية نجد نسبة عتبة القص لا تقل عن 95 %)



الشكل III-2: تغير نسبة التوقيف بدلالة الكتلة المولية لبعض الجسيمات [38].

(ب) - نسبة الانتقائية

انتقائية غشاء هو القدرة على إيقاف أو تمرير المحاليل عبره، و ذلك حسب كتلتها المولية. كما يمكن تعريفها بصفة عامة على أنها نسبة التوقيف للعناصر المادية (أملاح، جزيئات مكر ونية، جسيمات [38]. وتعرف بالمعامل $TR(\%)$.

$$TR(\%) = \left(\frac{C_0 - C_p}{C_0} \right) \cdot 100 = \left(1 - \frac{C_p}{C_0} \right) \cdot 100 \quad \text{..... (1-III)}$$

C_0 : التركيز الابتدائي للمحلول

C_p : تركيز العنصر في المحلول المرشح.

(ج) - الشحنة الكهروستاتيكية

عند استعمال تقنيات الأغشية لتطهير المياه فإن أبعاد الفراغات للغشاء هي العامل الأساسي المسؤول في عملية فصل عناصر المحلول [39]. بالمقابل فإن عملية التوقيف الفعالة يكون فيها قطر الفراغات أكبر من أبعاد الجسيمات من 2 إلى 3 مرات. هذه الجسيمات تحمل شحنات ذات إشارة معاكسة لشحنة الفراغات [40].

(د) - المسامية و طريقة حسابها

يتم قياس المسامية في المرشحات بواسطة جهاز خاص يدعى جهاز قياس الفراغات الزئبقي (porosimètre à mercure)، هذه التقنية تسمح بمعرفة المسامية في العينات و متوسط قطر الفراغات المفتوحة التي يمكن أن تصل أبعادها حتى 1.5 nm [41]. مبدأ عمل هذا الجهاز يعتمد أساسا على خاصية مادة الزئبق كونه لا يبيلل المواد التي يوضع عليها، فعند وضع عينة مسامية في وعاء به زئبق فإن هذا الأخير لا يتوغل في مساماتها إلا بتطبيق ضغط معين. و قد أعطيت العلاقة بين الضغط و بعد الفراغات من قبل Washburn

$$P r = 2\sigma \cos\theta \dots\dots\dots (2-III)$$

حيث: P:

r: يعبر عنه بالأنغستروم.

$$\sigma = 4.74 \times 10^{-5} \text{ N/m} \quad \sigma: \text{مقدار ثابت}$$

$$\theta: \text{زاوية التماس بين الزئبق و العينة ففي حالة الألومين مثلا } \theta = 142^\circ.$$

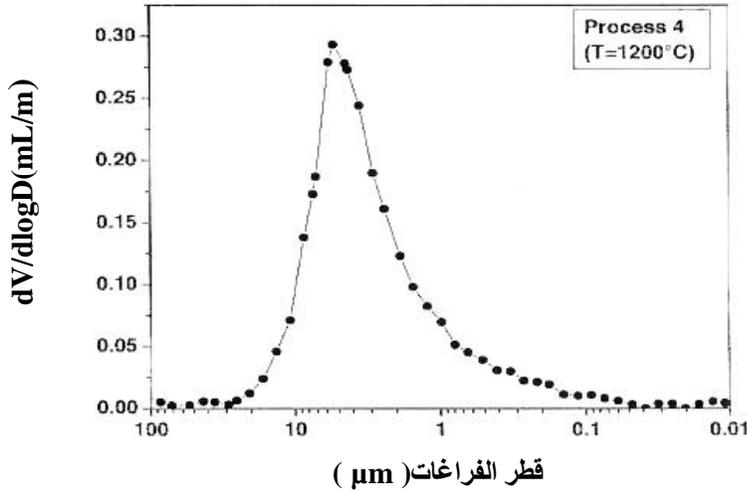
يتم معرفة حجم الزئبق الذي توغل في فراغات العينة بقياس سعة المكثفة (عمود الزئبق في خلية القياس) [41].

$$V_p(\text{mm}^3/\text{g}) = 10.18(\sum \Delta C/m) \quad (3-III)$$

حيث: ΔC : تمثل تغير السعة و هي مرتبطة بتغير حجم الزئبق خلال تغير الضغط.

m: كتلة العينة.

الشكل III-3 يمثل نمط توزيع الفراغات في عينة خزفية. كما يعطي هذا المنحنى معلومات أخرى حول العينة مثل المسامية و متوسط قطر الفراغات، يتم الحصول عليها بواسطة الحاسوب الموصول بجهاز قياس الفراغات الزئبقي porosimètre.



الشكل: III-3: نمط توزيع الفراغات في عينة خزفية [42].

(و) - النفاذية

نفاذية الغشاء (A) هي خاصية ذاتية تتعلق مباشرة بتركيبه. عمليا يمكن تعريف النفاذية بالنسبة بين

التدفق (J_p) (و فرق الضغط بين جهتي الغشاء) ΔP_m [43]:

$$A = \frac{J_p}{\Delta P_m} \quad (4-III)$$

كما يعرف التدفق J_p على أنه النسبة بين حجم السائل المرشح Q_p و سطح الغشاء S .

$$J_p = \frac{Q_p}{S} \quad (5-III)$$

بتعويض العلاقة (III-3) في العلاقة (III-2) نجد:

$$A = \frac{Q_p}{S \Delta P_m} \quad (6-III)$$

عمليا تعين نفاذية الغشاء بميل المستقيم J_p بدلالة ΔP_m .

(هـ) - تأثير درجة الحرارة في النفاذية

يمكن اعتبار أن نفاذية الغشاء تتناسب عكسا مع لزوجة السائل و هذا إذا اعتبرنا أن درجة الحرارة ليس لها تأثير كبير على بنية الغشاء [43].

$$A_{T1} m_{T1} = A_{T2} m_{T2} \quad (7-III)$$

4.III أنماط الترشيح

استخدمت أنظمة المعالجة الغشائية للمياه في الأصل في مشاريع تحلية المياه فقط. غير أن التحسينات التي أدخلت على تكنولوجيا الأغشية جعلتها خيارا أفضل لإزالة الكائنات الدقيقة، و الجسيمات العالقة، و المواد العضوية الطبيعية التي تعطي الماء مذاقا عفنا وتعكر صفاءه، غير أن أغشية معالجة المياه هي عبارة عن رقائق مكونة من مادة قادرة على فصل الملوثات المبنية على خصائص مثل الحجم أو الشحنة، وتمر هذه المياه عبر الغشاء، ولكن حسب حجمها، وبعض هذه الأنظمة.

1. 4.III الترشيح الدقيق

يتم صنع أغشية الترشيح الدقيق بعدة تصميمات مختلفة. فالأغشية اللولبية للارتشاح العكسي عبارة عن طبقات كثيرة من صفائح الأغشية المسطحة ملفوفة حول أنبوب مركزي يدخل الماء الذي يراد معالجته. وتستخدم الأشكال المجوفة من الألياف الدقيقة مجموعة من آلاف الأنابيب المجوفة التي أعدت بدورها من مواد غشائية. وتوجد المرشحات الدقيقة، مثل المرشحات الفائقة عادة على شكل ألياف مجوفة.

تكنولوجيا أغشية الترشيح الدقيق هي عبارة عن معالجة فيزيائية، فإنها تخضع للقيود الفيزيائية، فالمياه الممتلئة بالجسيمات العالقة أو المواد العضوية يمكن أن تسد الأغشية، وقد تحتاج بعض المياه، ولاسيما المياه السطحية إلى معالجة مسبقة قبل مرورها في نظام أغشية. وتنتج هذه الأنظمة أيضا أحجاما صغيرة من المحاليل المركزة بدرجة كبيرة والتي تتطلب التخلص منها.

يتم تصنيف الأغشية طبقا لحجم الجزيئات التي تستطيع ترشحها، وتعتبر هذه الأغشية الحد الفاصل الأعلى للوزن الجزيئي للمرشحات، وبالتالي فإن الأغشية تعد أكبر اتساع للمسام، ويستخدم الترشيح الدقيق أحجام مسام من 0.03 إلى 10 ميكرون (عادة 0.1 إلى 2 ميكرون). يبلغ الحد الاسمي الفاصل لوزنها 100000 دالتون أو أكثر. ويستخدم غالبا في إزالة الرمل والطين، الصلصال، الطحالب، والبكتيريا، الجيارديات، الكريبتوسبورديوم، وبالمقارنة مع أنواع أخرى من تكنولوجيا الأغشية، فإن

الترشيح الدقيق أقل استخداما بصورة شائعة في الوقت الحاضر [49].

III.4.2. الترشيح الفائق

يتم إنشاء أغشية الترشيح الفائق بتصميمات عديدة مختلفة. تشمل الأغشية اللولبية ذات الارتشاح العكسي طبقات كثيرة من صفائح الأغشية المسطحة ملفوفة حول أنبوب مركزي ينقل الماء الذي يراد معالجته، وتستخدم الأنواع المجوفة ذات الألياف الدقيقة مجموعة من آلاف من الأنابيب المجوفة التي يتم تكوينها بدورها من مواد غشائية. وتوجد المرشحات الفائقة، مثل المرشحات الدقيقة عادة على شكل الألياف المجوفة.

ونظرا لأن أغشية الترشيح الفائق تمثل تكنولوجيا معالجة فيزيائية، فإنها تخضع لقيود فيزيائية. فالمياه الممتلئة بالجسيمات العالقة أو المواد العضوية التي يمكن أن تسد ترشيح غشائي. وقد تحتاج بعض المياه ولاسيما المياه السطحية إلى معالجة مسبقة قبل مرورها في نظام أغشية. ويتم تصنيف الأغشية طبقا لحجم الجزيئات التي تستطيع أن ترشحها حد الوزن الجزيئي الأعلى. ويستخدم الترشيح الفائق أحجام مسام من 0.01 إلى 0.03 ميكرون وهو فعال بالنسبة لأحجام يبلغ حد الوزن الجزيئي الأعلى 10000 دالتون أو أكثر. ويستخدم غالبا لإزالة الرمل، والطيني، والصلصال، والطحالب، والبكتيريا، والجيارديات، والكريبتوسبورديوم، والفيروسات [49].

III.4.3. الترشيح الدقيق جدا

صنعت أغشية الترشيح الدقيق جدا بتصميمات متعددة مختلفة. فالأغشية اللولبية ذات الارتشاح العكسي تتكون من عدة طبقات من صفائح الأغشية المسطحة الملفوفة حول أنبوب مركزي تمر منه المياه التي يتعين معالجتها. وتستخدم الأنواع المجوفة التي تستخدم الألياف الدقيقة مجموعة من آلاف الأنابيب التي يتم تكوينها بدورها من مواد غشائية. وتوجد المرشحات الدقيقة جدا مثل الارتشاح العكسي، عادة في ترتيبات الأنظمة اللولبية، ونظرا لأن الأغشية تمثل تكنولوجيا معالجة فيزيائية، فإنها تخضع لقيود فيزيائية، فالمياه الممتلئة بالجسيمات العالقة أو المواد العضوية يمكن أن تسد الأغشية. وقد تحتاج بعض المياه ولاسيما المياه السطحية إلى معالجة مسبقة قبل مرورها في نظام ترشيح غشائي. وتنتج هذه الأنظمة أيضا كميات صغيرة من المحاليل المركزة بدرجة كبيرة والتي تتطلب التخلص منها.

ويتم تصنيف الأغشية طبقا لحجم الجزيئات التي تستطيع ترشحها، والحد الأعلى للوزن الجزيئي للمرشحات الدقيقة جدا هو 1000 دالتون أو أقل، وتتطلب العملية ضغوطا عالية جدا للمياه لدفع السائل من

خلال مسامات صغيرة للغاية تصل أبعادها إلى 0.001 من الميكرومتر أو نانومتر .

وتستخدم المرشحات الدقيقة جدا لإزالة عسر المياه، والمواد العضوية الطبيعية، والكيماويات العضوية التي تتكور من المياه.

يجب دائما معالجة مياه المصدر قبل الترشيح الدقيق جدا، حتى لا يحد من فعالية الغشاء وأحيانا تتطلب المياه التي توجد بها نسبة عالية من الكلور، معالجة مسبقة. تتطلب أنظمة الترشيح الدقيق جدا، مثل نظام الارتشاح العكسي تنظيفا منتظما واستبدالاً دورياً للأغشية.

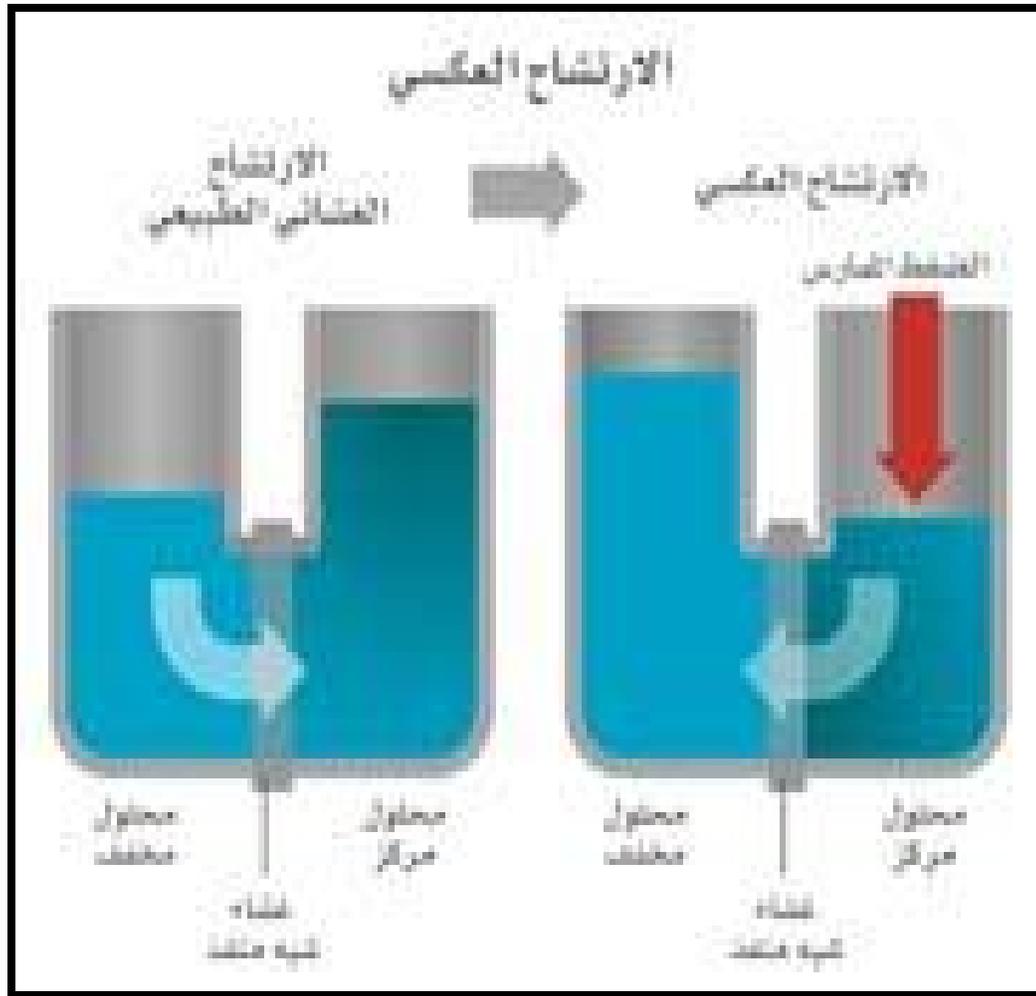
4.4.III. الارتشاح العكسي

استخدمت أنظمة أغشية معالجة المياه في الأصل فقط في مشروع إزالة الملوثات ، لكن جعل التقدم في تكنولوجيا الأغشية منها بصورة متزايدة اختياراً مرغوباً لتخلص من الكائنات الدقيقة والجسيمات العالقة والمواد العضوية الطبيعية التي تغير طعم المياه وتلوث نقاتها.

تتألف هذه الأنظمة من رقائق رقيقة من المواد لا يوجد بها عادة مسام. إنما تتيح الأغشية لجزيئات المياه أن تمر خلالها، ويضغط النظام على المحلول إلى الحد الذي يجعل المياه تتدفق من المحلول الأكثر تركيزاً خلال الغشاء إلى المحلول المخفف بدرجة أكبر عكس الانتشار الطبيعي بالارتشاح، ويتم تكوين أغشية الارتشاح العكسي بتصميمات كثيرة مختلفة

فالأغشية اللولبية ذات الارتشاح العكسي تشمل طبقات كثيرة من صفائح الأغشية المسطحة الملفوفة حول أنبوب مركزي يمر منه الماء الذي يجب معالجته، وتستخدم الأنواع المجوفة من الألياف الدقيقة مجموعة من آلاف الأنابيب المجوفة التي يتم تكوينها بدورها من مواد أغشية ويوجد الارتشاح العكسي مثل الارتشاح الدقيق جدا عادة في ترتيبات الأنظمة اللولبية.

ويجب أن تعالج مياه المصدر دائماً قبل الارتشاح العكسي، وذلك حتى لا تحد من فعالية الأغشية ، وتنتطلب المياه التي تحتوي على نسبة عالية من الكلور معالجة مسبقة. فإن نظام الارتشاح العكسي، مثل الارتشاح الدقيق جدا يتطلب أيضاً تنظيفاً منتظماً للأغشية واستبدالاً دورياً، ويصبح المحلول المركز بعد فصل مياهه التي تمت معالجتها من الملوحة التي تحتوي على الملوثات . وقد يصل حجم هذا إلى نحو نصف إجمالي حجم المياه المالحة الأصلية وهي كمية أكبر من تلك التي ينتجها الارتشاح التقليدي بالأغشية، ويمكن بسهولة تكيف حجم وحدات الارتشاح العكسي. ويمكن أن تمثل خياراً جيداً لمتطلبات الأنظمة الصغيرة لتقية مياه الشرب، حتى المحمولة منها في المناطق التي يتاح فيها التيار الكهربائي ويمكن الاعتماد عليه. ويمكن تدريب الموظفين على استخدام مواد حافظة لمنع تكوين ترسيبات علي الأغشية .



III.4.5 الديلزة الكهربائية/الديلزة الكهربائية العكسية

تستخدم أنظمة المعالجة الفرز الكهربائي/ الفرز الكهربائي العكسي الكهربائي وسلسلة من الأغشية لفصل الأملاح عن مياه المصدر وتركيزها في محلول للتخلص منه.

وعند تشغيل التيار الكهربائي في مياه المصدر، تتجذب أيونات الكلوريد إلى أحد الأطراف وتتجذب أيونات الصوديوم إلى الطرف الآخر. وعند تحركها في أي من الاتجاهين، تمر هذه المواد خلال مراحل من الأغشية تحجزها في قنوات مخصصة لاحتواء المحلول المركز بدرجة عالية. وقد تصل هذه المخلفات المنتجة، التي يجب التخلص منها بعناية، نحو 30% من إجمالي مياه المصدر المعالجة، وتعتبر نسبة 15-20% نسبة عادية متوقعة بدرجة أكبر، ويجب أيضا معالجة المياه التي تنتج عن هذه المعالجات لتخليصها من المركبات العضوية التي تبقى بها (إذا كانت مصدرا للقلق)، ومن الميكروبات سواء قبل أو بعد عملية الفرز الكهربائي، ونظرا لأن مياه المصدر لا تمر طبيعيا خلال الأغشية في هذه الأنظمة، فإن معظم

الملوثات العضوية لا يتم التخلص منها.

ويجب أيضا القيام بترشيح مسبق لمياه المصدر في هذه الأنظمة من خلال أغشية لتخفيض درجة التعكر، على الرغم من أن الأغشية أقل تعرضا للفساد منها في الأنظمة الأخرى، وذلك لأن مياه المصدر لا تمر خلالها. ويتم الحفاظ على نظافة الأغشية أيضا بالقيام بعكس دوري لقطبية النظام، وهو ما يجعل الأيونات تتدفق في الاتجاه المعاكس وتخفف من التراكم.

وتتطلب أنظمة الديليزة الفرز الكهربائي/ الفرز الكهربائي العكسي كميات كبيرة من الطاقة لإنتاج تيار مستمر يدفع عملية التنقية ويضخ المياه خلال النظام. ولهذا، ولأسباب أخرى، لا تستخدم بنفس الكثرة في المرافق الكبيرة لمعالجة المياه مثلما تستخدم التكنولوجيات الأخرى التي تم وصفها هنا. بل إنها قد تستخدم بدرجة أكثر شيوعا في التطبيقات الطبية والمختبرية التي تحتاج إلى مياه فائقة النقاء.

غير أنه يسهل تكيفها لتتناسب استخدام محطات تنقية صغيرة وعادة ما تعمل بصورة تلقائية بقليل من متطلبات الصيانة والتشغيل. والفرز الكهربائي أقل مناسبة لوحدة التنقية عند نقطة دخول أو استخدام المياه بالمقارنة بالارتشاح العكسي أو الترشيح الدقيق جدا.

III. 5 تصنيف الأغشية حسب بنيتها

يمكن تصنيف هذه الأغشية حسب بنيتها إلى ثلاثة أصناف و هي: الأغشية المتجانسة و الأغشية غير المتجانسة و الأغشية المركبة و الليفية المجوفة.

- الأغشية المتناظرة و تكون هذه الأغشية إما كثيفة أو مسامية فهي تملك نفس البنية على كامل امتداد سمك الغشاء [45،06،43].

- أغشية ذات بنية غير متناظرة حيث تتغير هنا البنية من طبقة لأخرى [45،06،43]. و يمكن تمييز نوعين آخرين.

أ- أغشية محضرة من نفس المادة.

ب- أغشية مركبة: و تتكون أساسا من طبقتين:

- طبقة فعالة على شكل قشرة أو غشاء رقيق جدا و هي التي تكون في تماس مباشر مع السائل المراد

ترشيحه.

- طبقة حاملة يكون لها سمك و نفاذية أكبر من سابقتها.

تعد أغشية التنقية الميكرونية و النانومترية من النوع غير المتناظر لأن هذا النوع له نفاذية أعلى [42].

III 1. 5. الأغشية المتجانسة

أغشية هذا النوع هي أغشية التنقية الميكرونية (MF) وتتميز بنفاذية ضعيفة نسبياً [46]. كما أن هذا النوع من الأغشية يتعرض بسهولة لظاهرة الانسداد و بالتالي يقل استعماله، بينما الأغشية المتجانسة الأكثر استعمالاً هي الأغشية الكثيفة ذلك أن مساميتها تكاد تكون منعدمة [47].

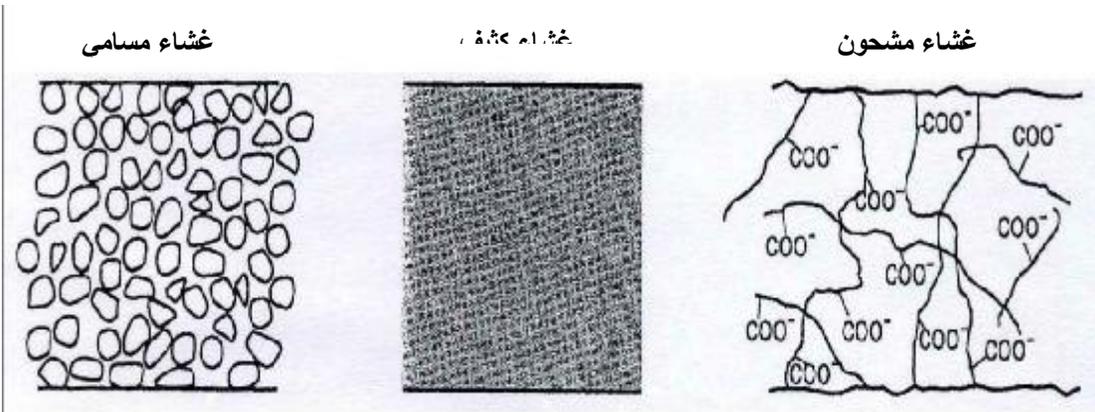
III 2. 5. الأغشية غير المتناظرة

تم اكتشافها سنة 1960، فهي تتكون من طبقتين موضوعتين فوق بعضهما البعض (الشكل III -4) حيث أن:

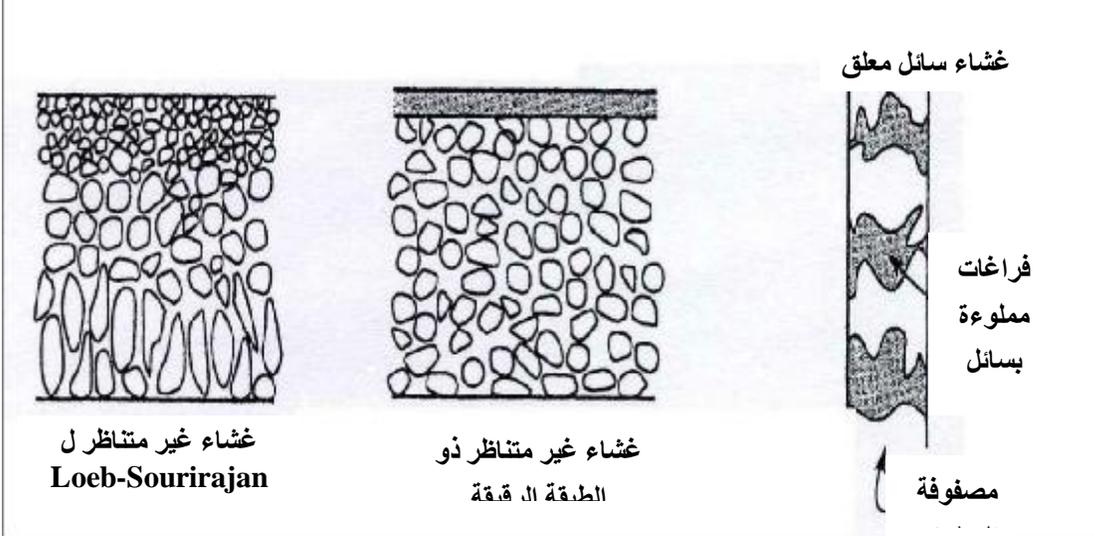
- الطبقة السفلية و يتراوح سمكها ما بين 100 و 200 μm [56]. دورها هو ضمان القوة الميكانيكية للأغشية [47].

- الطبقة العلوية (رقيقة جداً)، يتراوح سمكها ما بين 0.1 و 1.5 μm ، حيث أن خصائص الترشيح لهذا النوع من المرشحات (النفاذية، الانتقائية... الخ) تتعلق فقط بقشرة الطبقة العلوية. خاصة و أن نفاذية الأغشية تتناسب عكساً مع سمكها [46].

الأغشية المتجانسة



الأغشية غير المتناظرة



الشكل III-4: مخطط يوضح بعض النماذج للأغشية [47].

III 5. 3. الأغشية المركبة

ظهرت هذه الأغشية في بداية التسعينات و تتميز ببنية غير متناظرة أين تكون القشرة أو الطبقة العلوية أكثر دقة من تلك التي تملكها الأغشية الكلاسيكية غير المركبة، هذا النوع من الشرائح عبارة عن طبقات موضوعة فوق بعضها البعض حيث تختلف فيما بينها سواء في الطبيعة الكيميائية أو الحالة الفيزيائية. كما يمكن أن تكون هذه الأغشية إما عضوية أو خزفية [48]. تم تطوير هذا النوع من الأغشية بهدف الزيادة في نفاذية الأغشية الكلاسيكية و ذلك بتخفيض سمك الطبقة الفعالة (القشرة) [46].

III 5. 4. الأغشية الليفية المجوفة

تتكون هذه الأغشية من أنابيب مجوفة حيث يتراوح القطر الخارجي لهذه الأنابيب ما بين 50 و 1000 μm و القطر الداخلي ما بين 25 و 800 μm . تكون بنيتها غير متناظرة عموماً حيث توضع الطبقة الفعالة على السطح الداخلي أو الخارجي للأنبوب [46].

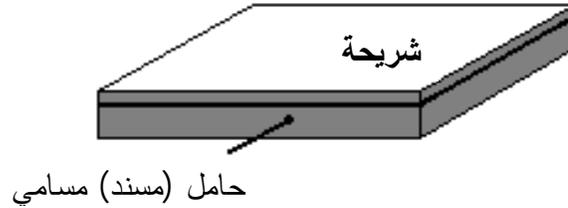
III 6. تصنيف الشرائح حسب شكلها

يمكن تصنيف الشرائح حسب الشكل الذي صنعت عليه إلى:

- 1- شرائح مستوية.
 - 2- شرائح أنبوبية الشكل.
- هذه الأشكال تتركب في نماذج مختلفة ويعرف النموذج على أنه وحدة صغيرة يمكن صناعة نماذج أكبر مشابهة له بهدف استغلالها في المجال الصناعي [49]. لوضع الطبقات الرقيقة في الخدمة تتركب على حوامل ذات أشكال مختلفة أين نميز أربع نماذج وهي: أنبوبية الشكل، مستوية، ليفية مجوفة و حلزونية. عند اختيار شكل من هذه الأشكال يجب أن تؤخذ في الحسبان بعض العوامل و نذكر منها:
- نظام جريان المادة. هل هو رقائقي أم توربيني وهذا لتفادي ظاهرة الاستقطابية [49].
 - سهولة عملية التنظيف.
 - هل هناك ضرورة تستدعي وجود مساعد المرشح أم لا.

III . 1.6 الطبقات الرقيقة المستوية

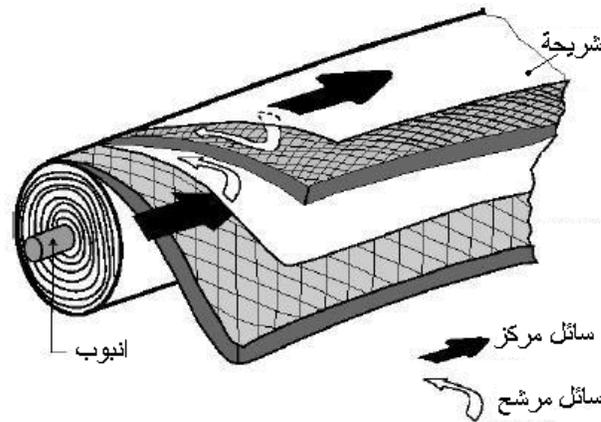
هذا النوع من الطبقات (الشكل III-5) يعد أبسط الأشكال وأقدمها، ونجده على شكل صفائح أحادية أو على شكل علبة مكونة من عدة صفائح.



الشكل III-5 : شكل توضيحي لطبقة مستوية.

III . 6. 2 الشكل الحلزوني

هذا الشكل في حقيقة الأمر هو عبارة عن مجموعة من الطبقات الرقيقة المستوية تم لفها حول أنبوب يحتوي سطحه على فتحات تتفد من خلالها المادة المرشحة (الشكل III-6) [51]. توضع بين كل طبقتين شبكة مرنة تعمل على خلق اضطراب في جريان المائع



الشكل III-6 : شكل توضيحي لطبقة حلزونية [51].

III.6.3 الشكل الأنبوبي

يتكون هذا النوع من أنبوب له مسامية و نفاذية عاليتين (الحامل) توضع عليه طبقة (أو طبقات) نصف نفوذة. أبعاد الأنبوب (الطول ونصف القطر) يتم اختيارها حسب الحاجة والكلفة، وان كان في الغالب صغر نصف القطر يقلل من استهلاك الطاقة وكذا الكلفة الإنتاجية، نميز في الشكل الأنبوبي نوعين:

أنبوب أحادي القناة وأنبوب متعدد القنوات [52].



الشكل III-7 : شكل يوضح أنواع الأنابيب [52].

III.7 الأغشية الخزفية

نظرا لتقدم السريع في مجال الصناعة خلال العقدين الماضية، التي تتطلب الماء الصالح لشرب بكميات هائلة من الناحية النوعية و الكمية [53].، ونظرا لنذرت مثل هذا المصدر الثمين في العالم قاد استصلاح الماء لحمايته وتحسين الماء الصالح لشرب، فتوجهت الأبحاث نحوى استعمال الترشيح الدقيق (Microfiltration) والترشيح الدقيق (Ultrafiltration) والترشيح النانومتري (Nanofiltration) [54,55] عن طريق الأغشية التي تمتاز بالاستقرار كيميائي وحراري وميكانيكي (41)، وتعد الأغشية الخزفية أحسن الأغشية الحالية ومن أهمها TiO_2 Titania و ZrO_2 Zirconia و الجدول III-1 التالي يبين لنا مميزات هذه الأغشية [56]

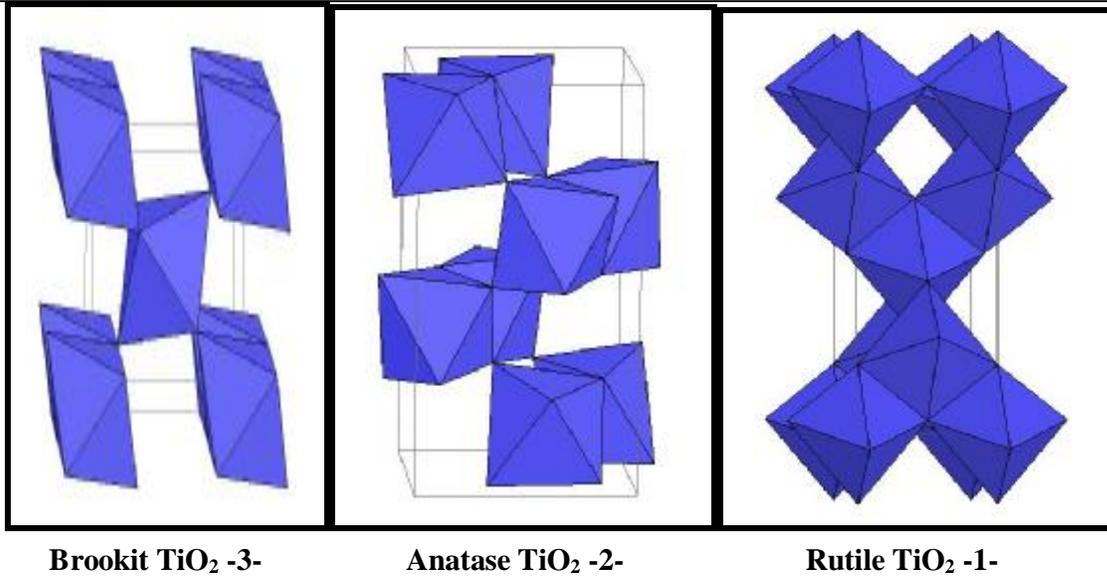
الجدول III-1 يبين لنا مميزات هذه الأغشية [56]

النسبة المسامية	متوسط قطر الفراغات	المواد	
40 %– 50 %	800 nm – 250 nm – 100 nm – 110 nm –	TiO ₂ ZrO ₂	التنقية الميكرونية Microfiltration
30 %– 50 %	30 nm – 5 nm – 3 nm –	TiO ₂ ZrO ₂	التنقية الميكرونية الدقيقة Ultrafiltration
30 %– 40%	1.0 nm – 0.9 nm –	TiO ₂	التنقية النانومترية Nanofiltration

ويعتبر أندرسن وزملائه الرواد في صناعة الأغشية TiO₂ الخزفي [57.58.59]

1.7.III أكسيد التيتانيوم TiO₂

صبغة ثاني أكسيد التيتانيوم عبارة عن مسحوق أبيض رفيع يوجد في الطبيعة في شكل خام مرتبط في الغالب بالحديد ينقب وينقى إلى أن يصبح على شكله الصافي الصالح للاستعمال يعمل على تزويد واكتساب البياض الأقصى وعدم الشفافية ويعطي قوة اختفاء طلاء عالية ففي الوقت الحاضر تعد هذه الصبغة المادة الأكثر أهمية والمستعملة من قبل صناعة البلاستيك والأطلية البيضاء وعدم الشفافية لأن هذه الصبغة عند استعمالها في صناعة البلاستيك أو الورقة أو الأطلية تعطيها اللون الأبيض وحتى البياض الأقصى [60]، و يصنف TiO₂ إلى ثلاثة أنواع الموضحة في الشكل III-8 هي:



الشكل 8-III يوضح أنواع أكسيد التيتانيوم [61]TiO₂

الجدول 2-III يبين بعض خصائص أنواع [61]TiO₂

Brookite TiO ₂	Anatase TiO ₂	Rutile TiO ₂	
79.890	97.890	79.890	الكتلة المولية g/mol
8	4	2	Z
orth	Quadr	Quadr	نوع التبلور
9.184	3.7842	4.5845	a(A°)
5.447	-	-	b(A°)
5.145	9.5146	2.9533	c(A°)
25.738	136.25	62.07	الحجم
19.377	20.156	18.693	حجم Molar
4.123	3.895	4.2743	الكثافة g/cm ³
		28.9	alpha
		0.2890	a ₀

8.III بعض طرق تحضير الأغشية الخزفية و دراستها

-لقد عرفت الأغشية الخزفية التجارية تطورا سريعا خلال العشريتين الأخيرتين، حيث أنها صبحت تستخدم بكثرة في ميادين شتى خاصة منها معالجة المياه [52]. فاستخدام الأغشية الخزفية لها فوائد كثيرة منها الاستقرار الحراري والكيميائي و مقاومة الضغط و مدة حياة طويلة و كذا خصائصها المتغيرة ذاتيا [42]. كما أن هذه الأغشية و التي هي عبارة عن طبقات رقيقة لا يمكنها تحمل فرق الضغط المطبق عليها خلال عملية الترشيح فهي توضع على حامل يوفر لها الحماية الكاملة[53]. تتكون الأغشية الخزفية أساسا من حامل مسامي و شريحة أو حامل و مجموعة من الشرائح، يمكن تحضير هذه الأغشية بعدة طرق [41]. يلخص الشكل III-9 أهم مراحل و تقنيات تحضير العينات .

الطريقة الأكثر استعمالا لتحضير حوامل أنبوبية الشكل هي طريقة الاستخراج (البثق) . لكن هناك طريقة أخرى و تتمثل في طريقة الطرد المركزي .

(أ) - طريقة الاستخراج (البثق)

تستخدم هذه التقنية بشكل واسع و في عدة ميادين صناعية و هذا راجع لبعض ميزاتها والتي نذكر منها ما يلي:

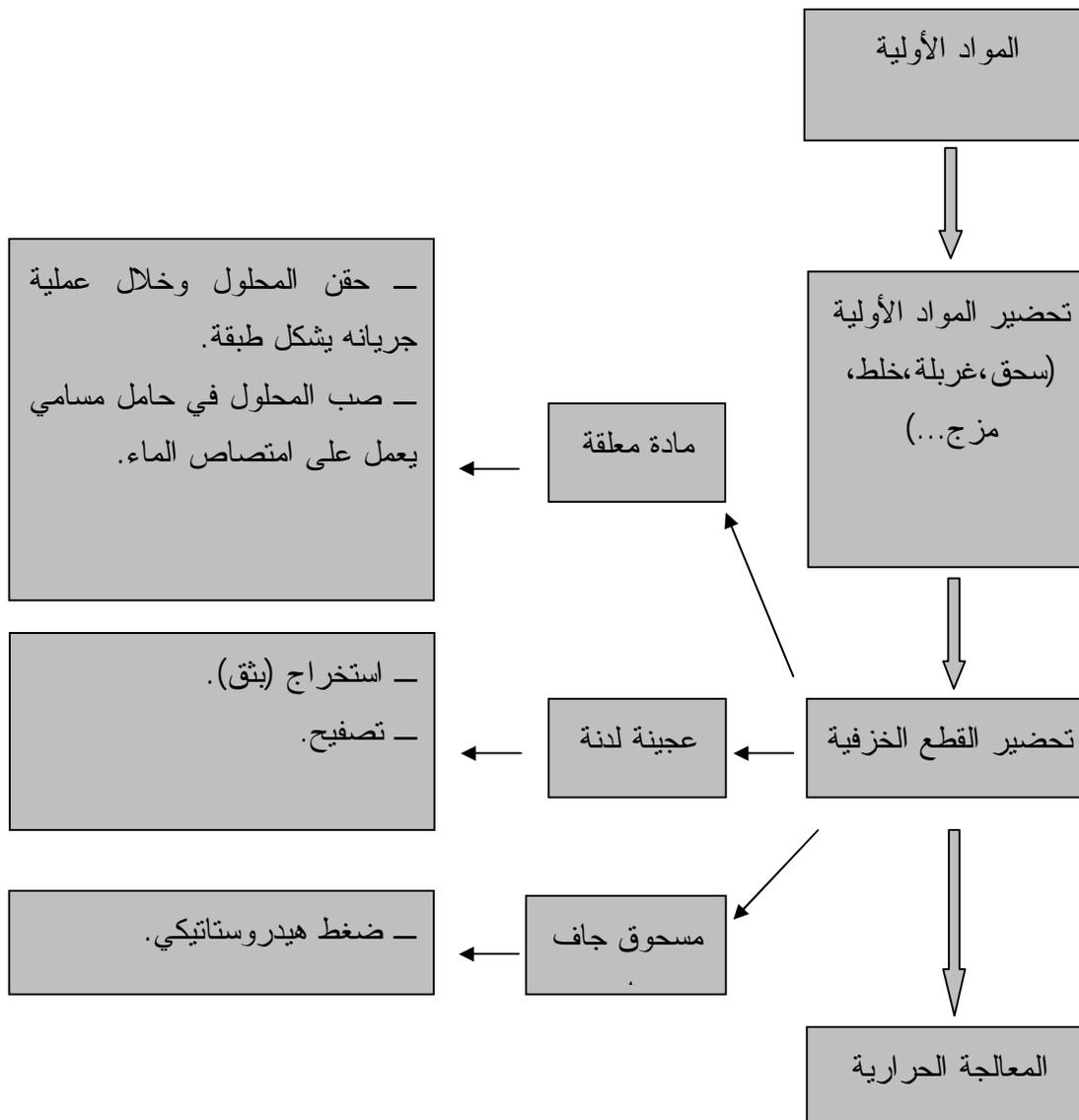
- إمكانية الحصول على قطع خزفية ذات كثافة منتظمة و عالية.
- إمكانية الحصول على قطع خزفية ذات مقطع منتظم و لها شكل هندسي معقد.
- قدرة إنتاجية كبيرة و كلفة منخفضة[41].

(ب) - طريقة الطرد المركزي

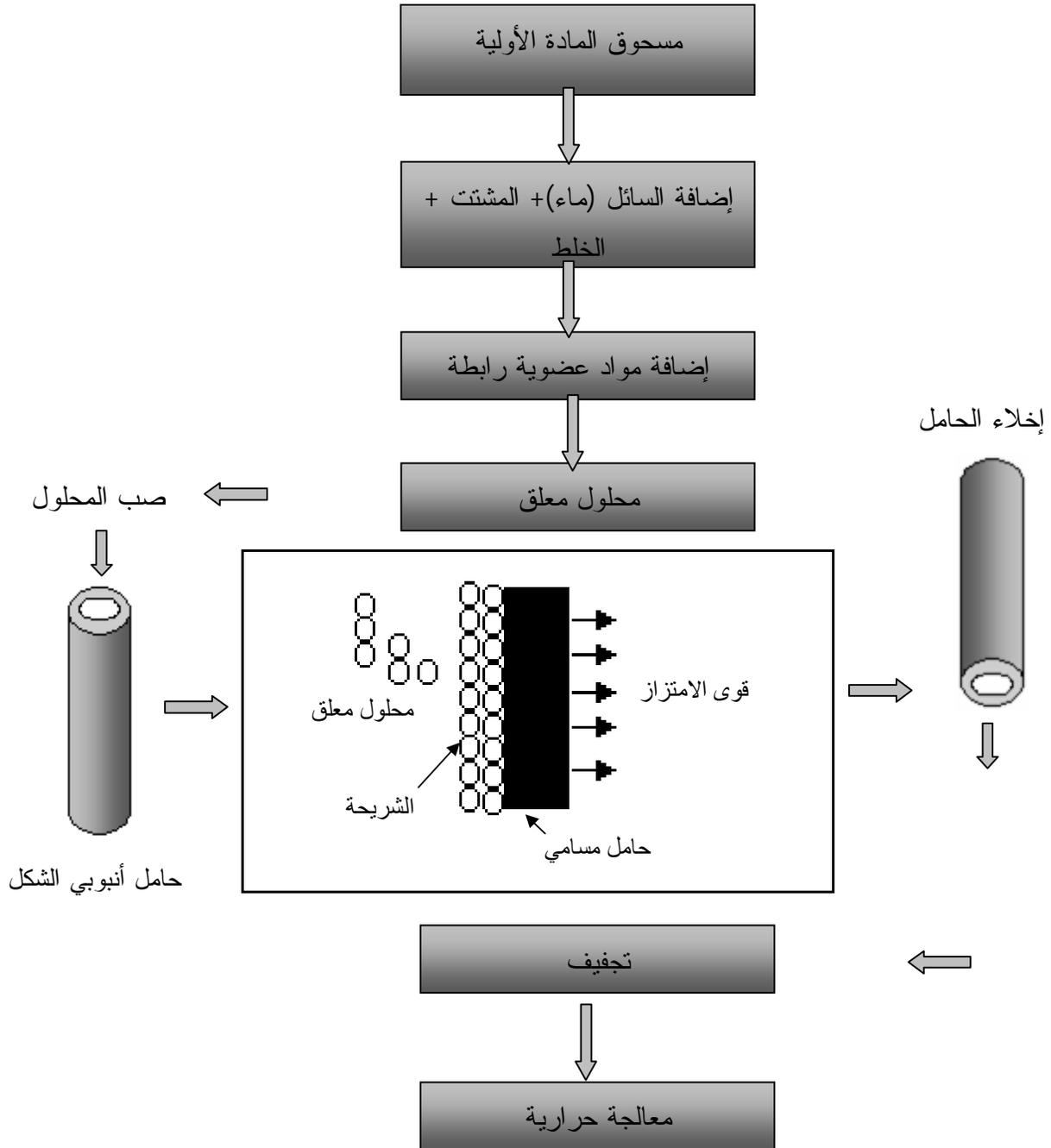
في طريقة الطرد المركزي يتم التعامل مع مسحوق للمادة الأولية تم تشتيته في الماء و تحت فعل قوة الطرد المركزي يتم فصل المادة الصلبة عن السائل و ترسيبها على جدار الأسطوانة مكونة بذلك شكلا أنبوبيا[41].

تمتاز هذه الطريقة عن سابقتها في نوعية العينات المحضرة حيث نجد:

- سطح الحامل يكون أملسا و ناعما جدا [55].
- مجال توزيع الفراغات ضيق جدا[55].
- هاتان الخاصيتان مهمتان جدا فنوعية سطح الحامل هي التي تتحكم في سمك الشريحة. و السمك كما هو معروف له علاقة مباشرة بالنفاذية فكلما قل السمك ازدادت النفاذية و بالتالي زاد مردود المرشح . أما



الشكل III - 9 : أهم مراحل وتقنيات تحضير قطعة خزفية [54].



الشكل III - 10: أهم مراحل تحضير شريحة [63].

مجال توزيع الفراغات فكلما كان ضيقاً سمح بتحديد الجسيمات التي يمكن فصلها [41].

(ج) - تحضير الأغشية باستخدام طريقة الصب

تستخدم تقنية الصب لتحضير قطع خزفية معقدة الشكل، فهي معروفة منذ القدم في مجال الصناعة الخزفية. أما في ميدان صناعة الأغشية فقد تم استخدام هذه التقنية لوضع طبقة أو عدة طبقات رقيقة (بضع ميكرونات) على سطح حامل مسامي [62]. يبين لنا الشكل III - 10 أهم مراحل هذه التقنية و التي نلخصها فيما يلي:

- تحضير محلول معلق. في هذه العملية يتم تشتيت المادة الأولية في الماء ثم إضافة مواد عضوية (مادة رابطة، مادة ملدنة).

- صب المحلول في حامل مسامي هذا الأخير يعمل على امتصاص الماء بفعل القوى الشعرية و هذا يؤدي إلى توضع المادة الصلبة على سطح الحامل و تشكيل الغشاء.

- عند الحصول على السمك المناسب للغشاء الذي يزداد مع الزمن يتم إخلاء الحامل من المحلول.

- يوضع المرشح (الحامل + الشريحة). في درجة حرارة عادية ليُجف ببطء ثم يعالج حرارياً [42].

دراسة المواد الأولية و الطرق التجريبية

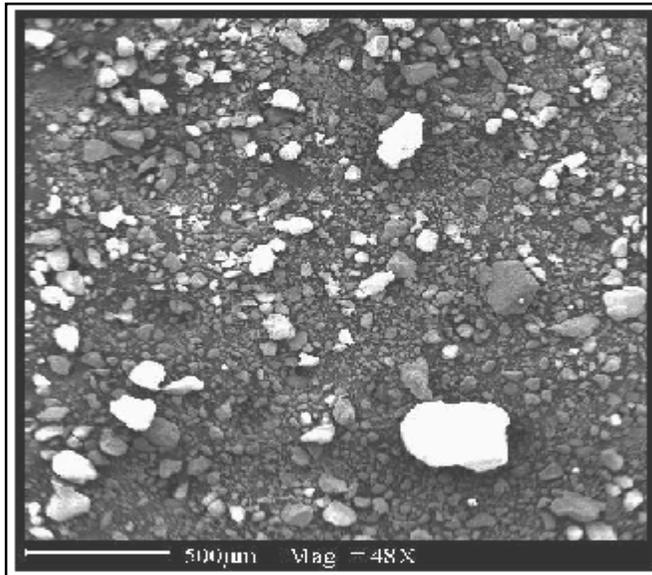
مقدمة

نتناول في هذا الفصل دراسة خصائص المواد الأولية المستخدمة، من خلال إجراء لها تحاليل مثل التحليل الكيميائي و التحليل بواسطة الأشعة السينية والتحليل الحراري الكتلي والتفاضلي لمعرفة مختلف الظواهر الحادثة والأطوار الناتجة أثناء المعالجة الحرارية. كما نتطرق إلى مختلف الطرق التجريبية المتبعة في تحضير العينات بالتفصيل، وأخيرا تعريف على الأجهزة المستعملة ومبدأ عملها .

IV. 1. دراسة المواد الأولية

I.IV الكاولان (DD3)

تم الحصول عليها من جبل دباغ ضواحي مدينة قالمة، وتمتاز بلونها رمادي وكتلتها الحجمية التي تقدر بحوالي 2.6 g/Cm^3 ويوضح لنا الشكل 1.IV صورة بالمجهر الالكتروني لحبيبات المادة الخام.

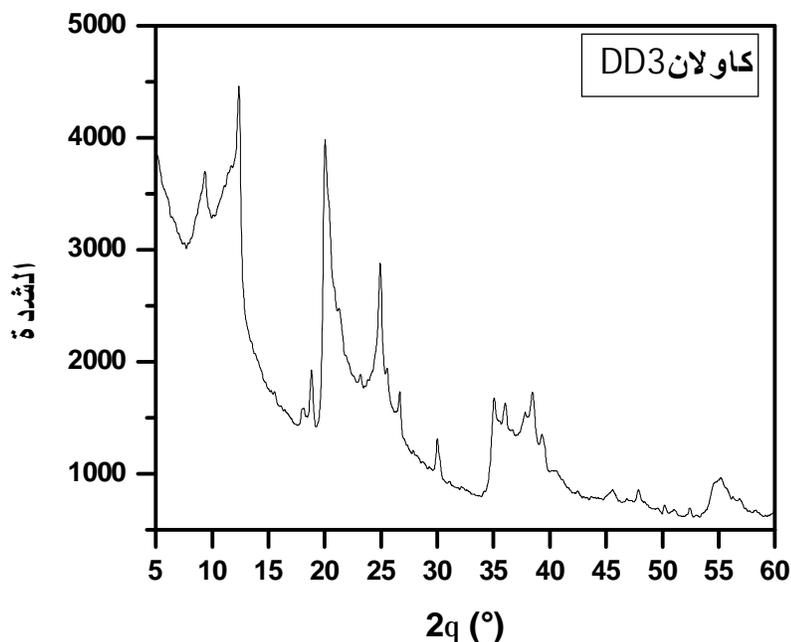


الشكل IV-1: صورة بالمجهر الالكتروني لحبيبات المادة الخام.

2.1.IV انعراج الأشعة السينية

يبين الشكل IV-2 مخطط حيود الأشعة السينية لمادة الكاولان، عملية فحص هذا المخطط

أظهرت أن كل خطوط الانعراج تابعة لمادة الكاولان (DD3) [55-59].



الشكل IV-2: طيف انعراج الأشعة السينية ($\lambda_{K\alpha Cu}$) للكاولان (DD3).

3.1.IV التحليل الحراري التفاضلي (DSC) و الكتلي (TGA)

يرتكز مبدأ التحليل الحراري التفاضلي على كمية الحرارة الممتصة أو المنبعثة من العينة عند حدوث تحولات فيزيائية أو كيميائية أثناء المعالجة الحرارية، فأى تحول طوري أو عملية تبلور أو تفاعل كيميائي أو خروج للماء أو الكربون أو تغير آخر يحدث في العينة يكون مصدرا لانبعثات أو امتصاص الحرارة [49]، وعندها يتم تسجيل الفرق في درجة الحرارة بين العينة المدروسة وعينة أخرى خاملة

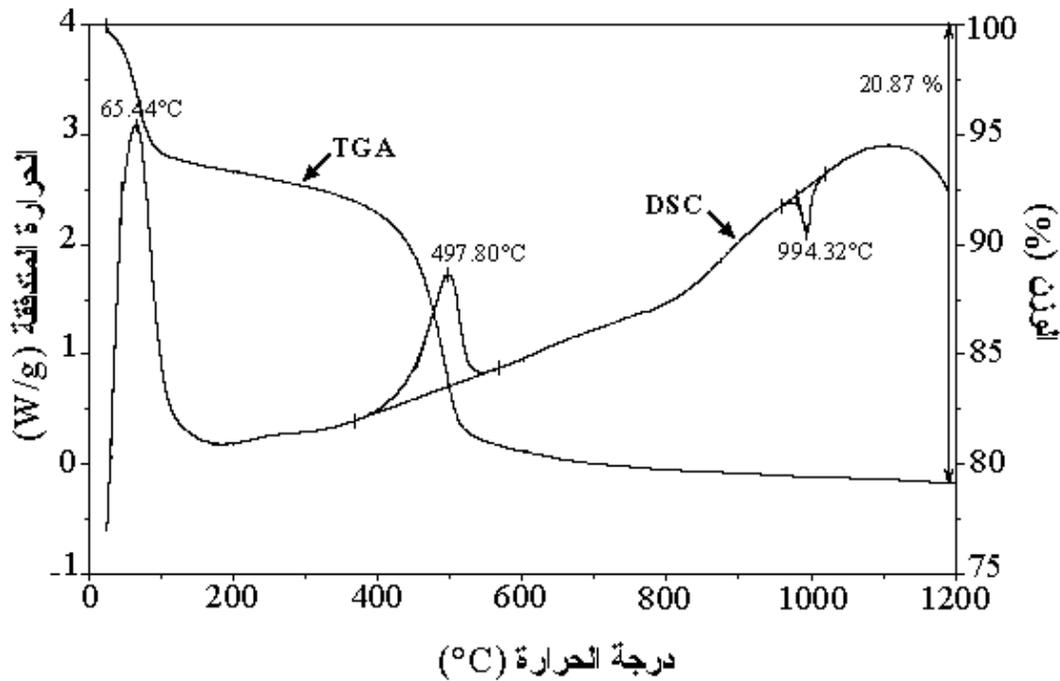
تستخدم كشاهد.

كما أن عملية تسخين بعض الخزفيات تؤدي إلى نقصان في كتلتها، هذا النقصان سببه احتراق مواد عضوية أو تفكك بعض المركبات الكربونية أو خروج ماء الرطوبة أو الماء الداخل في تركيب هذه المواد الخزفية [49].

التحليل الحراري الكتلّي يسمح بتحديد الكتلة الضائعة (نقصان كتلة العينة) خلال المعالجة الحرارية، وتشكل قيم درجات الحرارة المقابلة لمناطق الضياع الكتلّي معلومات مكملة لتلك المحصل عليها بواسطة التحليل الحراري التفاضلي.

في الغالب يكون من الأحسن رسم مشتق المنحنى كون المعلومات التي يمكن استخلاصها تكون أكثر فائدة لكون هذا الأخير يمثل سرعة فقدان الكتلة (dp/dt) بدلالة درجة الحرارة وهذا يسمح بتحديد المناطق الحساسة والتي يجب اخذ بعض الاحتياطات بشأنها خلال المعالجة الحرارية للعينة [11].

الشكل IV-3 يبين لنا منحنى التحليل الحراري للكاولان وقد تم استخدام سرعة تسخين تقدر بحوالي 10 °C/min.

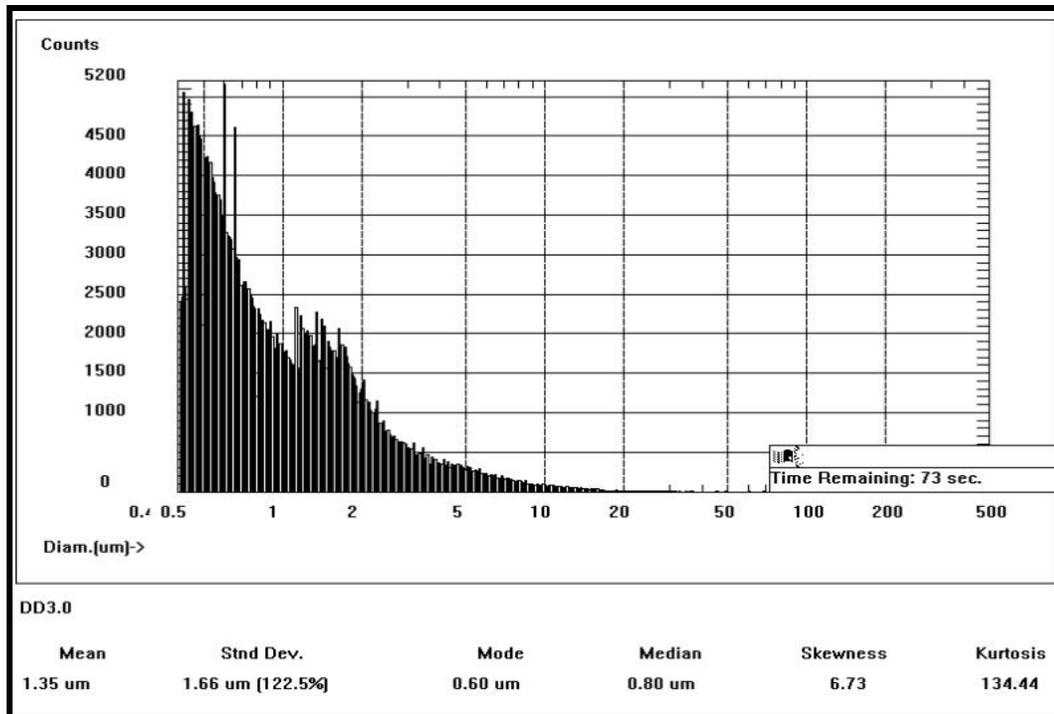


الشكل 3.IV: التحليل الحراري (TGA + DSC) للكاولان (DD3).

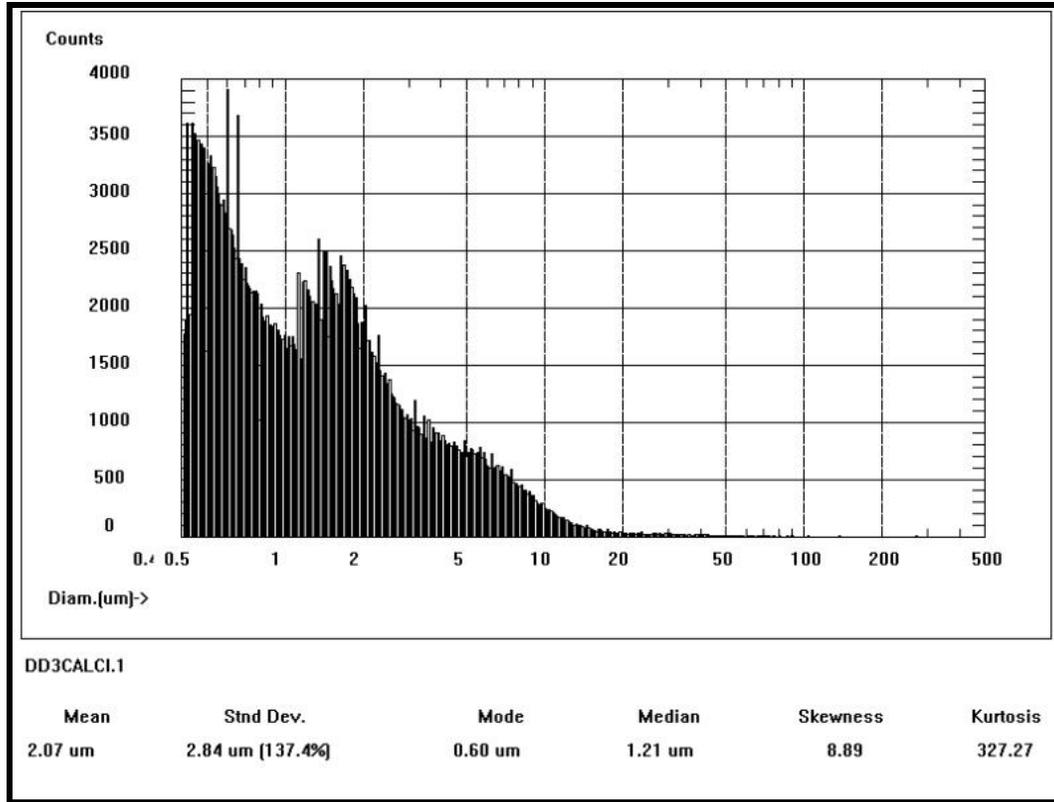
4.1.IV دراسة مسحوق الكاولان

يمثل الشكل 4.IV نمط توزيع أبعاد حبيبات الكاولان المستعملة لتحضير المساند وقد تم استخدام الجهاز .

(Particle Sizing System, Inc.Santa Barbara, Cali., USA. Model 770AccuSizer)



الشكل 4-IV: توزيع أبعاد حبيبات الكاولان.



الشكل IV-5: توزيع أبعاد حبيبات الكاولان مكلسنة عند 600°C .

من خلال البيانات السابقة نلاحظ أن متوسط قطر الحبيبات الكاولان دون الكلسنة يقدر بحوالي $0.8 \mu\text{m}$ ، أما متوسط حبيبات الكاولان المكلسنة بحوالي $1.21 \mu\text{m}$. نلاحظ أيضا كمية الحبيبات الكاولان دون الكلسنة تقدر بحوالي 5100، أما الكاولان المكلسنة تقدر 3800 (انخفاض في وزن كمية الكاولان المستعملة عند تعريضها للحرارة).

يرجع انخفاض كمية الحبيبات عند الكلسنة الكاولان إلى مايلي :

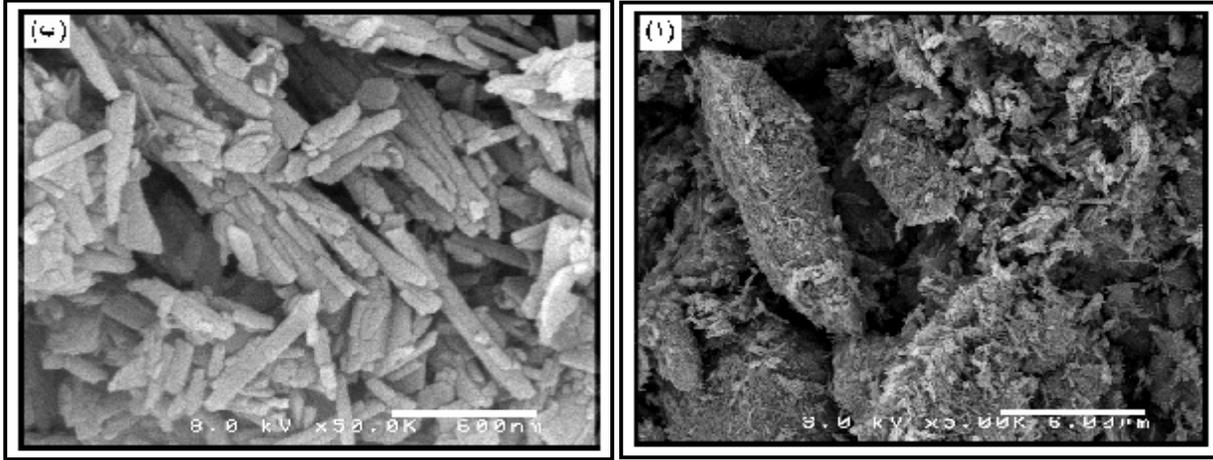
- ان أول مرحلة في سلاسل التحولات الكاولان هو التفاعل الماص للحرارة الواقع في المجال $(600^{\circ}\text{C}-400^{\circ}\text{C})$ يعني خروج الماء الداخل في تركيب الكاولان واحتراق المواد العضوية، ولا تبقى سوى حبيبات المادة الأولية لمركب الجديد ميتاكالولان.

-أما سبب زيادة في متوسط القطر الحبيبات الكاولان عند الكلسنة يعود إلى مايلي :

يحدث تمدد لمجموعة الحبيبات بعد التقلص الأولي فتخضع مجموعة الحبيبات خلال عملية التحضير والتشكيل إلى تشوهات لدنة، تسعى الحبيبات لإعادة ترتيبها الداخلي، تزداد مساحة التلامس بين الحبيبات

في هذه المنطقة، مما يؤدي إلى اقتراب مراكز الحبيبات المتلامسة من بعضها البعض، تزداد مساحة التلامس بين الحبيبات أكثر، فتتم الحبيبات الكبيرة على حساب الحبيبات الصغيرة وعليها يزداد قطر الحبيبات .

يوضح لنا الشكل IV-6 البنية المرفلوجية لحبيبات الكاولان المحصل عليها بواسطة المجهر الالكتروني للمسح باستعمال تكبيرين مختلفين حيث تبين الصورة (ب) بوضوح الشكل العصوي لحبيبات الكاولان .



الشكل IV-6: صورتان بالمجهر الالكتروني توضحان البنية المرفلوجية لحبيبات الكاولان.

1.2.IV كربونات الكالسيوم (CaCO_3)

تم الحصول عليها من محجرة بونوارة بضواحي مدينة قسنطينة، وهي عبارة عن مسحوق ذو لون أبيض ناصع، تقدر كتلتها الحجمية بحوالي 2.68 g/cm^3 وهذا ما يعادل 98.90% من الكثافة النظرية.

2.2.IV التحليل الكيميائي لكربونات الكالسيوم (CaCO_3)

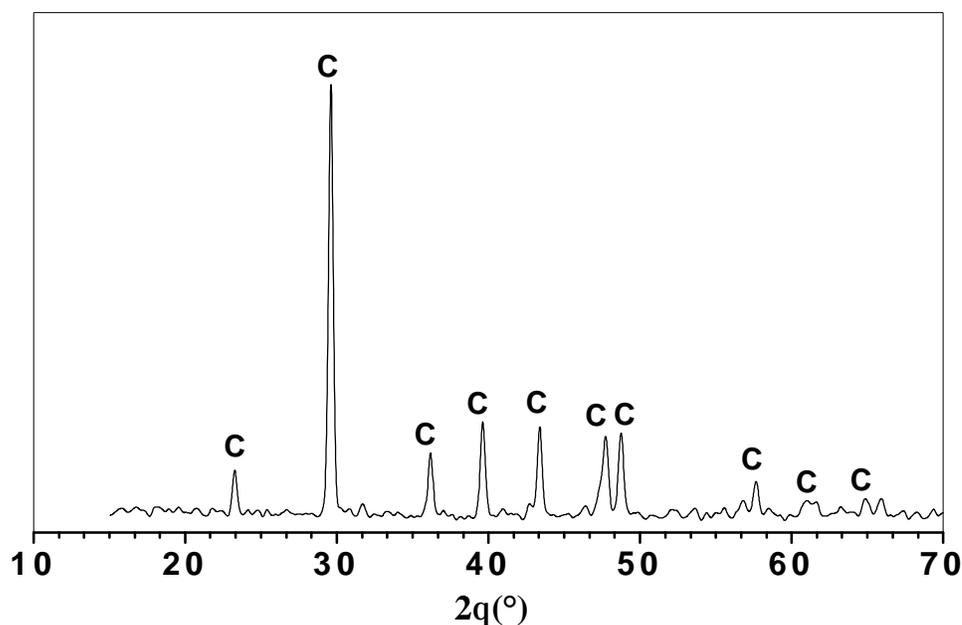
لقد أعطى التحليل الكيميائي لكربونات الكالسيوم (CaCO_3) النتائج المبينة في الجدول IV-3.

الجدول 3-IV التركيب الكيميائي لكاربونات الكالسيوم المستعملة (CaCO₃).

SO ₃	Cl	SrO	CaO	K ₂ O	SiO ₂	Al ₂ O ₃	P ₂ O ₅	الأكسيد
0.011	0.037	0.013	99.692	0.007	0.145	0.088	0.006	النسبة الوزنية (%)

3.2.IV انعراج الأشعة السينية

بينت نتائج حيود الأشعة السينية الموضحة في الشكل IV -7 بعد تحليلها بالاستعانة ببطاقات تعريف العناصر A.S.T.M أن كل خطوط الانعراج تابعة لكاربونات الكالسيوم، كما أنه يوجد تطابق تام مع طيف انعراج الأشعة السينية لكاربونات الكالسيوم المخبرية والتي تصل درجة نقاوتها إلى 99.89%.

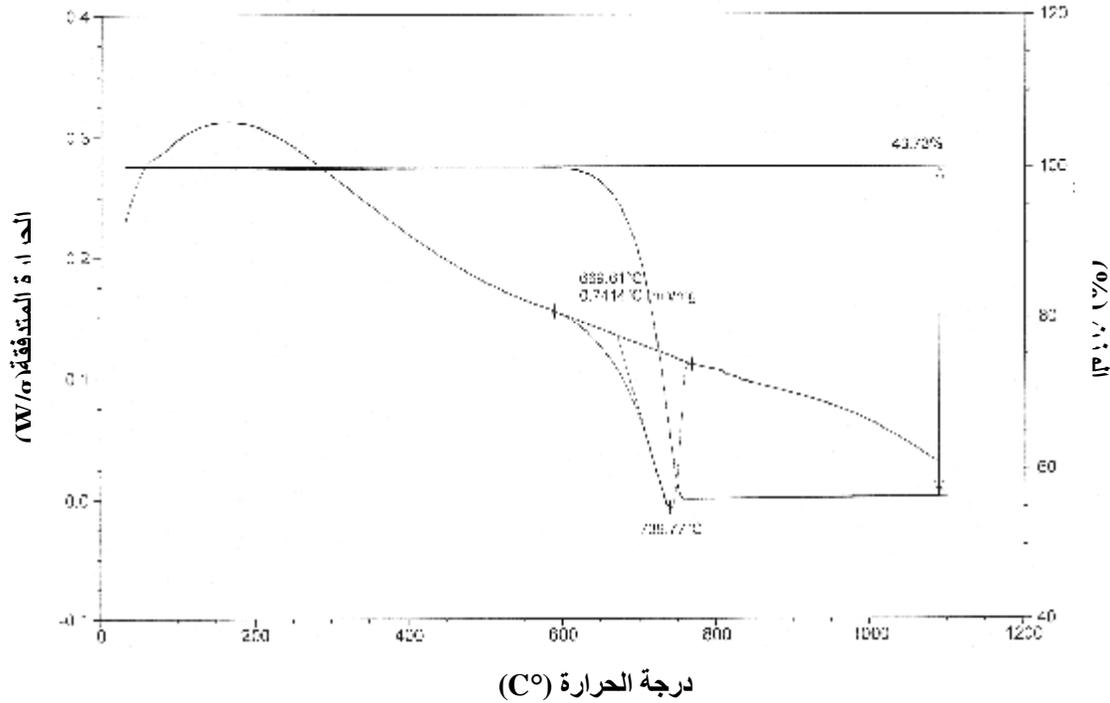


شكل 7-IV: طيف انعراج الأشعة السينية ($\lambda_{K\alpha} Cu$) للكربونات الكالسيوم (CaCO₃).

حيث C: الكالسيت.

4.2.IV التحليل الحراري التفاضلي (DSC) والكتلي (TGA)

يبين الشكل 8-IV منحنى التحليل الحراري التفاضلي (DSC) والكتلي (TGA) لكربونات الكالسيوم المستعملة والذي يؤكد خروج أكسيد الكربون في المجال (700-800°C).

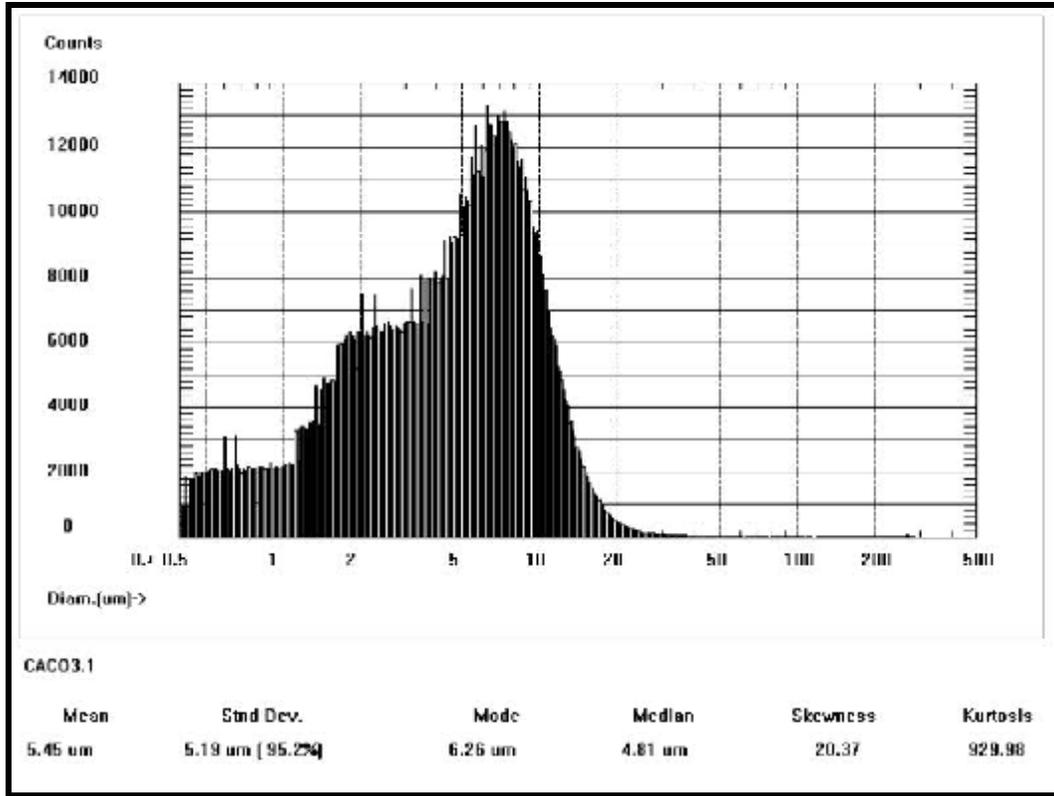


الشكل 8-IV: التحليل الحراري التفاضلي (DSC) والكتلي (TGA) لكربونات الكالسيوم المستعملة (CaCO₃).

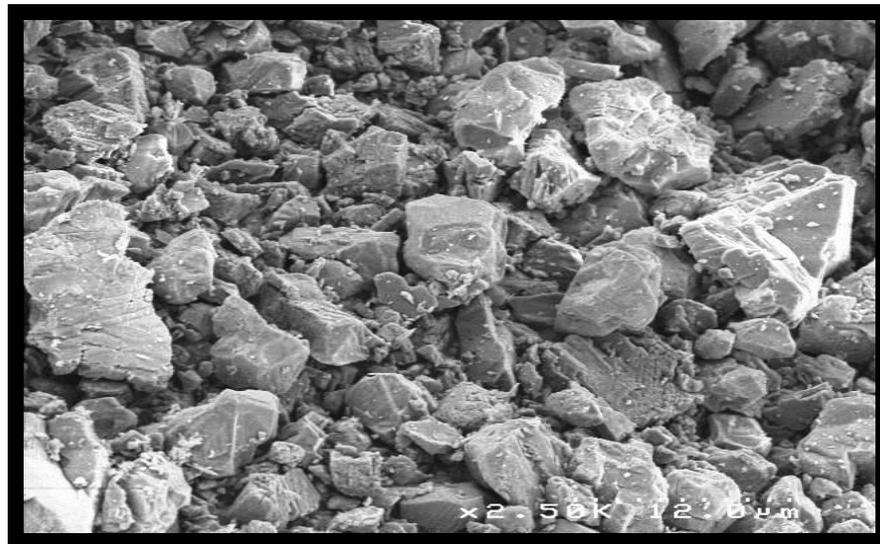
5.2.IV دراسة مسحوق الكالسييت

يمثل الشكل 9.IV نمط توزيع أبعاد حبيبات كربونات الكالسيوم المستعملة لتحضير المساند و التي قدر متوسط قطر حبيباتها بحوالي 4.81 μm وقد تم استخدام الجهاز.

(Particle Sizing System, Inc.Santa Barbara, Cali., USA. Model 770AccuSizer)



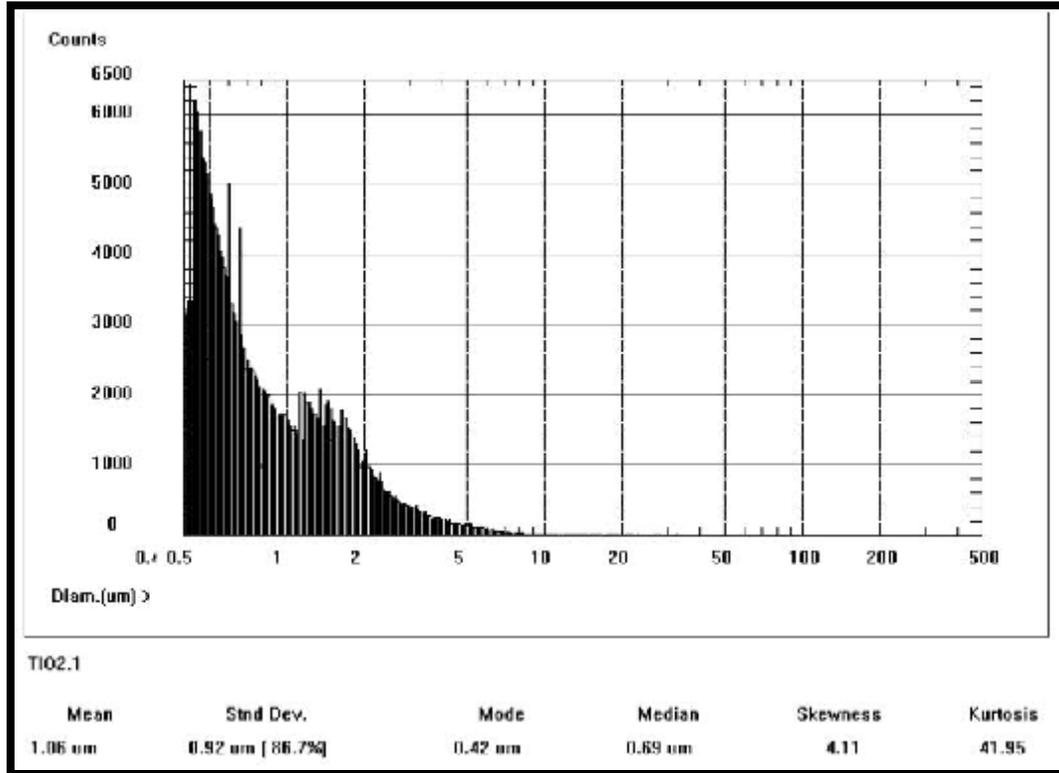
الشكل IV-9: توزيع أبعاد حبيبات CaCO_3 .



الشكل IV-10: صورة بالمجهر الالكتروني توضحان البنية المرفلوجية لحبيبات الكالسيت.

6.2.IV دراسة مسحوق تيتانيوم TiO_2

يمثل الشكل 10.IV نمط توزيع أبعاد حبيبات التيتانيوم TiO_2 المستعملة لتحضير الأغشية الميكرونية و التي قدر متوسط قطر حبيباتها بحوالي $0.69 \mu m$.



الشكل 11-IV: توزيع أبعاد حبيبات TiO_2 .

7.2.IV الإضافات

لغرض تحسين الخواص المرورية وقابلية التشكيل للعجينة الخزفية نقوم بإضافة بعض المواد العضوية وتتمثل في كل من: Améjel و Méthocel.

3.IV الطرق التجريبية المتبعة

1.3.IV تحضير حوامل الكاولان (DD3) + كربونات الكالسيوم (CaCO₃)

يلخص لنا الشكل 12-11-IV أهم الخطوات المتبعة خلال عملية التحضير. يتم سحق مادة الكاولان (DD3) سحقاً جيداً، بعد ذلك نقوم بعملية الكلسنة عند 600°C لمدة نصف ساعة، تليها عملية الغربلة على مستوى 200 µm. بعد ذلك تضاف إليها كمية من كربونات الكالسيوم، ثم نقوم بمزج الخليط جيداً وذلك بوجود كمية من الماء باستعمال جهاز لسحق الرطب لمدة 15 دقيقة بهدف الحصول على مسحوق متجانس ثم التجفيف. بعدما نحصل على المسحوق النهائي نقوم بتشكيل العينات و ذلك بتطبيق ضغط حيث نستعمل جهاز كبس محوري تصل قيمة الضغط القصى فيه إلى حوالي 200GPa، وتكون للعينات على شكل أقراص. وتكمن أهمية طريقة الكبس الحصول على حوامل ذات خصائص جيدة، وبكميات محدودة من المواد الأولية المستخدمة على عكس طريقة الاستخراج، اين يتطلب العمل المنجز كميات أكبر .

لتحضير عينات على شكل أنابيب انطلاقاً من (DD3) و كربونات الكالسيوم و التي تقدر نسبتها 15% وزناً نضيف إليها كمية من المواد العضوية المتمثلة في كل من Améjel و Méthocel و التي تقدر نسبة كل منها ب 3% وزناً وذلك لغرض تحسين خواص العجينة لتسهيل عملية التشكيل. بعدها نقوم بمزج الخليط جيداً و ذلك بوجود كمية من الماء حتى يتم الحصول على عجينة قابلة للتشكيل. توضع هذه الأخيرة داخل كيس بلاستيكي و تغلق جيداً و تترك لمدة 12 ساعة أو أكثر حتى ينتشر الماء بشكل جيد. بعد تحضير العجينة الخزفية تتم عملية الاستخراج [53,60,59] لتحضير عينات على شكل أنابيب و هذا باستخدام جهاز خاص لهذا الغرض. توضع العينات المحضرة بعد ذلك مباشرة على أسطوانات من الألمنيوم، هذه الأخيرة تتحرك بحركة دائرية و هذا حتى تجف الأنابيب بشكل متجانس

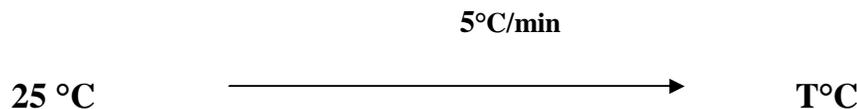
2.3.IV المعالجة الحرارية

بعد تحضير العينات حسب الطرق المشار إليها سابقاً، تمت المعالجة الحرارية عند درجات

الحرارة

(1300°C-1100) حيث تم إتباع البرنامج التالي:

- بنسبة إلى الأقراص



- بنسبة إلى الأنابيب



لقد اخترنا سرعة التسخين الأولى $2^{\circ}\text{C}/\text{min}$ حتى تحترق المواد العضوية المضافة ببطء وتخرج من العينة دون إحداث تشققات في العينة.

3.3.IV تحضير أغشية خاصة بالتنقية المكرونية (MF)

أ- المادة الأولية

استخدمت مادة أكسيد تيتانيوم (TiO_2) والتي تستعمل غالبا لتحضير الأغشية [66,67] وهذا راجع لخصائصها الحرارية والكيميائية الجيدة، حيث أنها تقاوم الأوساط الحمضية والقاعدية. مادة المستعملة هذه لها سطح نوعي يقدر بحوالي $43.5 \text{ m}^2/\text{g}$ ومتوسط قطر حبيباتها يقدر بحوالي μm 0.22.

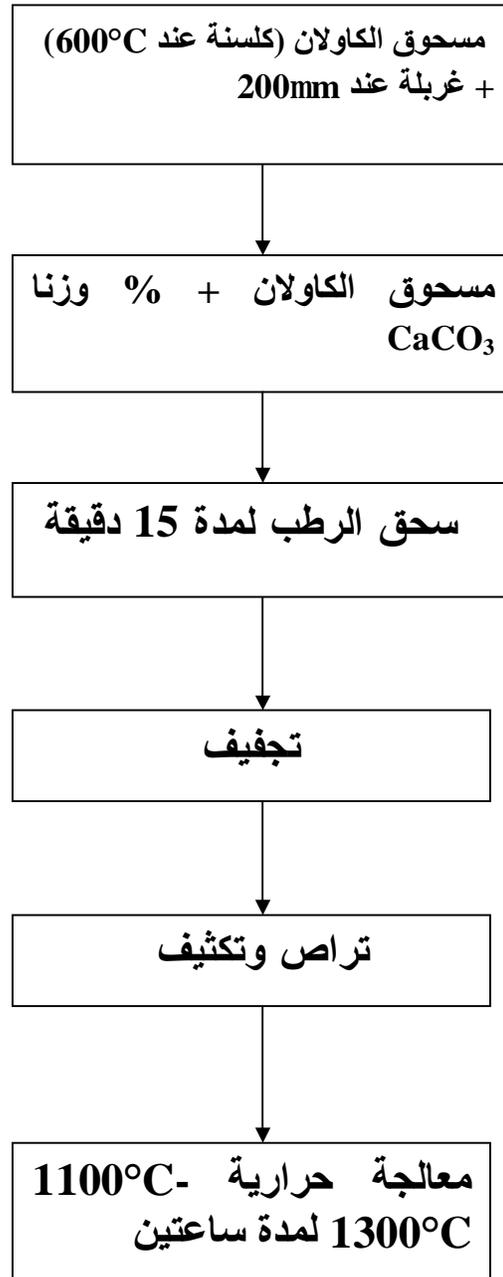
ب- تحضير الأغشية

يلخص لنا الشكل IV-13 أهم الخطوات المتبعة في عملية تحضير الأغشية، حيث نأخذ 60% من الماء المقطر ونضيف له 12% من مسحوق مادة أكسيد التيتانيوم لتتم بعد ذلك عملية خلط المزيج بشكل جيد حتى يتم الحصول على محلول متجانس، بعدها يوضع هذا الخليط في جهاز الترددات فوق الصوتية لمدة 10 دقائق وهذا لغرض تشتيت حبيبات مادة (TiO_2) بشكل جيد وكذا تفكيك الترسبات المتشكلة. بعدها نقوم بإضافة 28% من محلول APV، بعدها تتم عملية الخلط لمدة 12 ساعة و ذلك للحصول على محلول معلق، هذا الأخير يتم صبه داخل الأنبوب (حامل الغشاء) ثم يترك لمدة زمنية تقدر

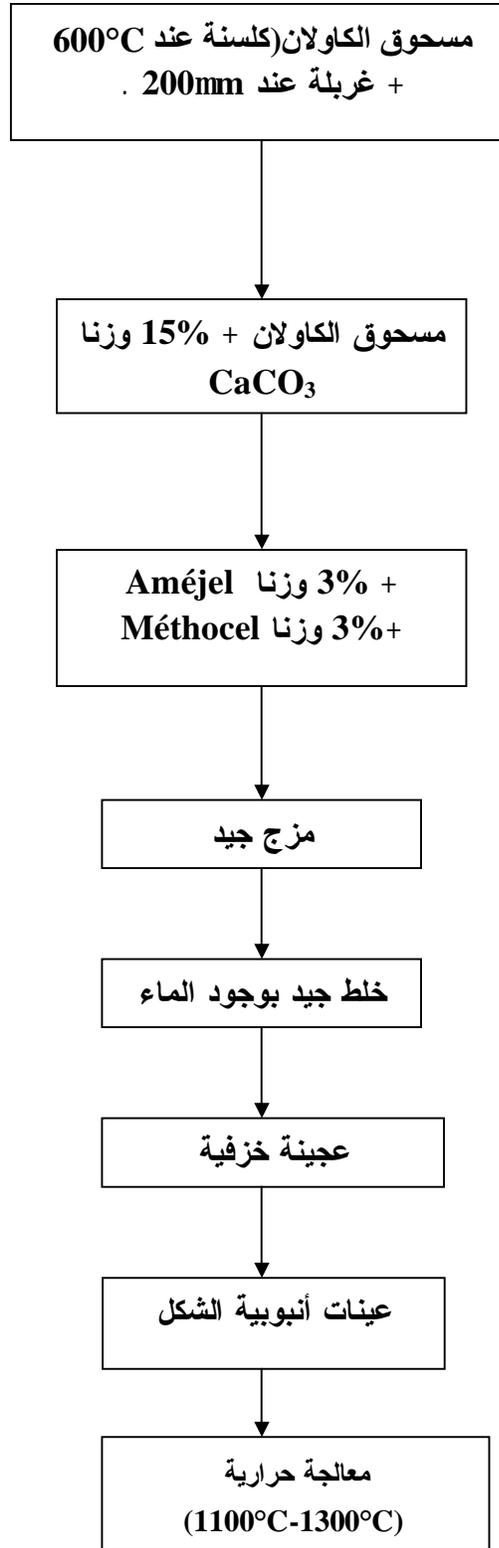
بحوالي 5 دقائق، بعدها يتم إخلاء هذا الأنبوب و يترك حتى يجف لتتم بعد ذلك المعالجة الحرارية عند درجة الحرارة 1100°C .

ج- المعالجة الحرارية

بعد وضع الغشاء على الحامل وتركه حتى يجف تتم المعالجة الحرارية عند درجة حرارة أقل من درجة الحرارة التي تم معالجة الحامل عندها و هذا حتى لا تتأثر خواص هذا الأخير



شكل IV-11 - مخطط يوضح مراحل تحضير العينات على شكل أقراص .



الشكل IV-12: أهم الخطوات التبعة في تحضير الحوامل.

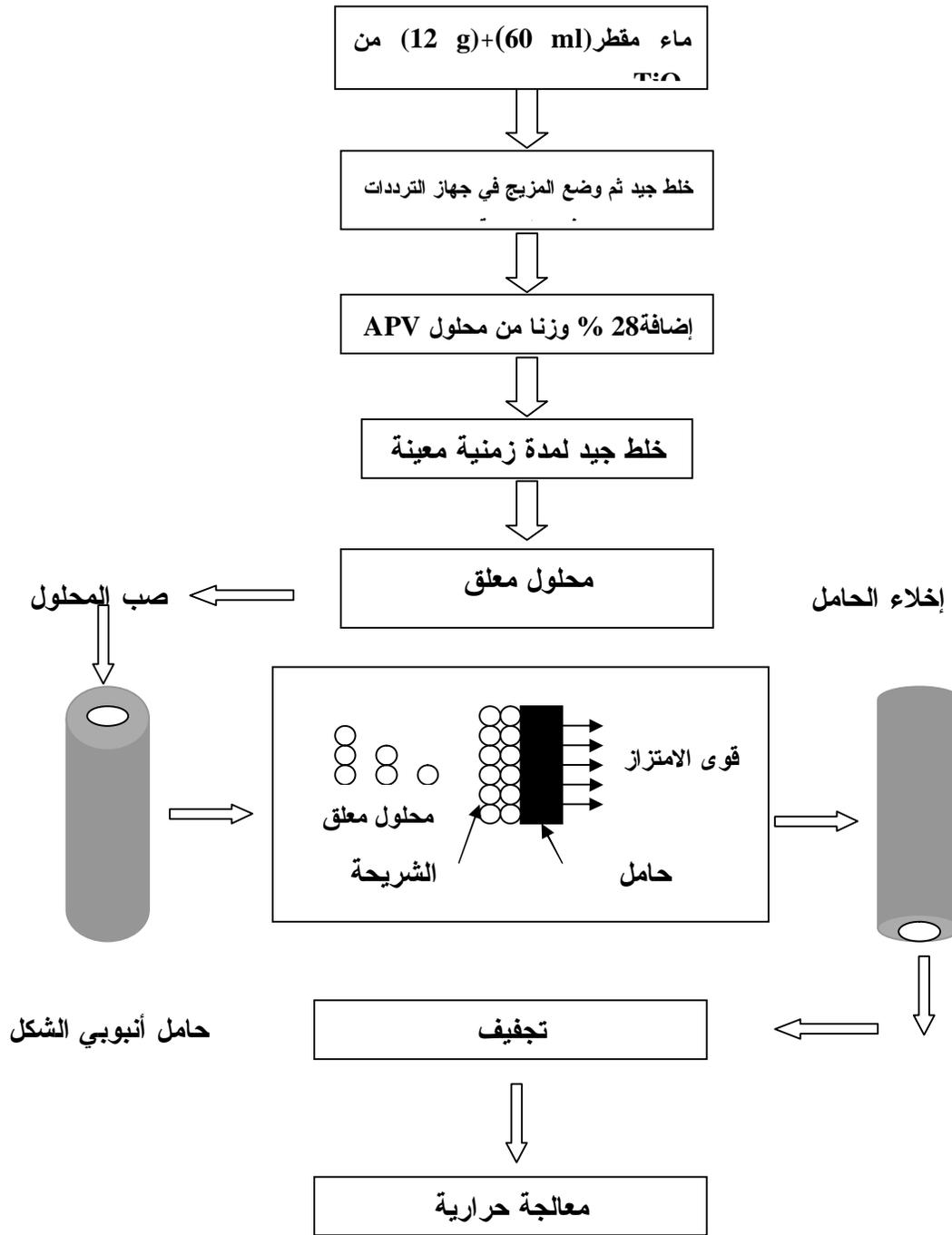
4.IV تقنيات القياس والتحليل

1.4.IV اختبار الثني ذو الثلاثة نقاط

يقوم مبدأ اختبار الثني ذو الثلاثة نقاط على قياس الثنائية قوة/تشوه، حيث يتم تطبيق قوة على العينة وعن طريق كاشف يتم تسجيل قيمة التشوه الناتج. العينات المستخدمة لها شكل متوازي المستطيلات وأبعادها معروفة.

2.4.IV دراسة بنية العينات

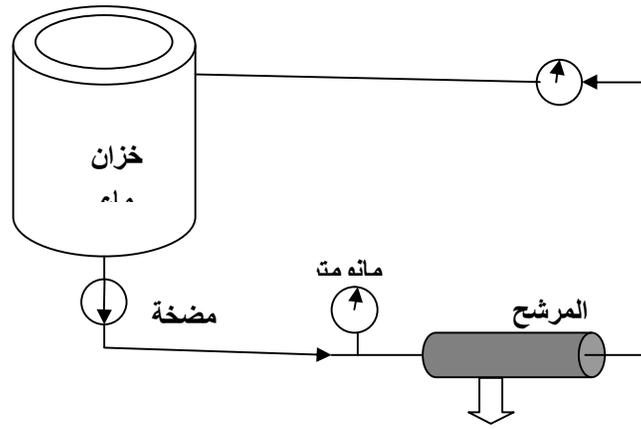
من بين الأجهزة المستخدمة لدراسة بنية العينات نجد جهاز انعراج الأشعة السينية وذلك لغرض معرفة الأطوار المتشكلة في العينات بعد معالجتها، كما نجد المجهر الإلكتروني الماسح بهدف دراسة البنية المجهرية وجهاز التحليل الحراري وذلك لغرض معرفة الضياع الكتلي وكذا التغيرات البنيوية خلال المعالجة الحرارية.



الشكل IV-13: أهم مراحل تحضير شريحة

3.4.IV اختبار النفاذية

يوضح لنا الشكل 14-IV رسم مبسط للتركيب المستخدمة لدراسة اختبار النفاذية.



السائل المرشح



الشكل 14-IV: رسم تخطيطي مبسط للتركيب المستخدمة في اختبار النفاذية

4.4.IV حساب المسامية

لتقدير نسبة المسامية وكذا متوسط قطرها في العينات، استخدام جهاز قياس الفراغات الزئبقي وهو من نوع:

(porosimètre à mercure (Micromeretics Autopore II 9220))

5.IV أهم الأجهزة المستعملة**1.5.IV الفرن**

استخدمنا في دراستنا فرنين كهربائيين احدهما يستعمل للكلسنة، تصل درجة حرارته القصوى إلى 1100°C وهو من نوع **FIMANFREDI**. أما الفرن الثاني استعمل للتليد في درجات حرارة عالية، قابل للبرمجة أيضا وهو من نوع **NABERTHERM**، تصل درجة حرارته القصوى إلى 1400°C .

2.5.IV جهاز السحق

لسحق المواد الأولية تم استخدام جهاز سحق ميكانيكي من نوع **(RETSCH)**.

3.5.IV الميزان الحساس

لقياس كتلة المساحيق تم استخدام ميزان حساس من نوع **(KERN ARS 220-4)**. والذي تصل كل من قيمته القصوى إلى **220 g** ودقته إلى **0.0001 g**.

4.5.IV جهاز حيود الأشعة السينية

تم استخدام جهاز قياس الأشعة السينية من نوع **D8-Advanced** لشركة **Bruker-Siemans** والذي يعمل وفق هندسة براغ ومنبع الأشعة ينتج من ضد المهبط من النحاس $K a Cu$ والمغذى بمنبع توتر مستقر تحت جهد قدره **40 kV** و **10 mA**.

خلاصة العامة

يعتبر تلوث الماء من أوائل الموضوعات التي اهتم بها العلماء والمختصون بمجال التلوث والمقصود بتلوث الماء هو تدهور مجاري الماء والآبار والأنهار والبحار والمياه الجوفية... مما يجعل ماءها غير صالح للإنسان و الحيوان و النباتات وحتى الصناعات، ويتلوث الماء بطرق متعددة من بينها المخلفات الإنسانية والنباتية والحيوانية والصناعية التي تلقي فيه أو تصب في فروعها، ولأهمية هذه الثروة واستغلالها في شتى الميادين الحياة اتجهت الأبحاث في هذا الميدان نحو عملية تطهير المياه باستخدام مرشحات الخزفية التي تضع عليها الشرائح لتستعمل في التنقية الميكرونية وهي أحد الطرق الحديثة



المستعملة حالياً في تنقية المياه لكن ظاهرة انسداد مسامات حد من استعمالها ، وقد تم تحضير في هذا البحث مساند ذات أشكال أنبوبية انطلاقاً خزفية من مواد أولية محلية الكالسييت DD_3 و الكاولان باستخدام تقنية الاستخراج، ووضعنا بداخلها شرائح محضرة من أكسيد التيتانيوم باستخدام طريقة الصب وهي خاصة بالتنقية الميكرونية، وتتميز هذه الشرائح بسمك ومتوسط

قطر الفراغات ودراسة خصائص أساسية لها.

توجد صناعات تستخدم الماء بشكل مباشر ومن بينها الصناعات الصيدلانية و الكيميائية...

لأنها تحتاج إلى ماء معالج ونقي أو



الخلاصة

حتى عالي النقاوة، كذلك تأتي فائدة استعمال ماء النقي في رفع جودة الإنتاج ويزيد من ثقة المستهلك بالمنتج، واستخدام الماء غير النقي يقصر من العمر التشغيلي للتجهيزات التي ستحتاج الى صيانات واستبدال لقطع الغيار بشكل مستمر. نماذج لبعض صناعات تستعمل طريقة الترشيح .



- صناعة الصيدلانية -



Résumé

Elaboration et étude des membranes et leurs supports à partir du kaolin (DD3) et CaCO_3

Dans ce travail, nous avons élaboré et étudié des supports pour membranes à partir des matériaux céramiques locaux tels que le kaolin DD3 et la calcite (CaCO_3). Ces supports ont été réalisés par extrusion, cette technique nous a permis d'obtenir des supports tubulaires qui ont été frittés à différentes températures.

Les supports qui ont été traités à différentes températures sont de bonnes caractéristiques, ou les diamètres de pore sont de l'ordre de avec des porosités de 55%. Les distributions des pores sont de type mono modèle.

Ces supports ont été choisis pour être des substrats des couches membranaires pour la microfiltration.

Les couches membranaires ont été élaborées à partir d'oxyde de titane, en utilisant la technique de coulage. Les échantillons sont traités à une température de 1100°C , nous avons fait une étude microstructurale, la porosité ainsi que la perméabilité. La taille moyenne des pores est de l'ordre de $0.45 \mu\text{m}$ et l'épaisseur de la couche membranaire est environ $22.7 \mu\text{m}$.

A partir de ce travail, on peut inspirer des résultats très importants dans le domaine de traitements des eaux usées.

Mots clés : kaolin DD3, calcite, supports, membranes, microfiltration.

Abstract

Preparation and study of membranes and their supports using kaolin (DD3) and CaCO₃

In this work, both supports for ceramics membranes and membranes have been prepared from local raw materials such as kaolin DD2 and calcium carbonates. These supports were made by extrusion technique in order to obtain tubular supports which were afterwards sintered at different temperatures.

It has been found that supports sintered at different temperatures have interesting characteristics; of porosity ratio around 55%. Moreover, their pore size distributions are almost homogeneous (mono-modal type). These supports were selected to be substrates for the membrane layers used in micro-filtration (MF).

The membrane layers were elaborated from titanium oxide, using slip casting technique. The specimens were subsequently sintered at 1100°C. The microstructure and porosity as well as the permeability have been also studied. It has been found that the average pore size is about 0.45 μm and a layer thickness ≈ 22.7 μm.

A further important application in this work is waste and hard waters purification using membranes technique.

Key Words: kaolin DD3, calcite, supports, membranes, micro-filtration.

ملخص

تحضير ودراسة الأغشية وحواملها انطلاقا من الكاولان (DD₃) والكالسيت (CaCO₃)

– تمكنا من هذا البحث من تحضير مرشحات الخاصة بالتنقية الميكرونية للمياه وهذا انطلاقا من مواد خزفية محلية ذات شكل أنبوبي التي تم تحضيرها من مواد محلية كاولان (DD₃) وكالسيت (CaCO₃) وذلك باستخدام تقنية الاستخراج. ليتم بعد ذلك معالجتها حراريا عند درجات حرارة المختلفة أين تمكنا من الحصول على خصائص جيدة للحوامل وكذا نسبتها المسامية للفراغات تصل إلى 55% ، وتمتاز بنمط توزيع أحادي أي متجانسة في أبعاد الفراغات تقريبا (كل الحوامل التي تم تحضيرها يمكن اختيارها لأن تكون مساند لطبقات أغشية الخاصة بالتنقية الميكرونية)، وضعت عليها شريحة من مادة أكسيد التنتيوم TiO₂ باستخدام طريقة الصب، حيث تتميز هذه الأغشية (الشريحة) بمتوسط القطر فراغاتها 0.45µm وتمت معالجتها حراريا عند 1100°C ولها سمك 22.7 µm.

– كما توصلنا من خلال هذا البحث إلى نتائج هامة تفتح آفاقا جديدة لمعالجة مياه الصرف الصحي وتنقيتها.

الكلمات المفتاحية: كاولان (DD₃) ، كالسيت (CaCO₃)، حوامل، أغشية، تنقية ميكرونية.