



جمهورية العراق
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة بابل

استخدام المواد الأولية السيراميكية لإنتاج المرشحات

مقدمة إلى كلية الهندسة في جامعه بابل وهي جزء من متطلبات نيل درجة
ماجستير علوم في هندسة المواد

أعدت من قبل

شيماء جابر كريم المعموري

بكالوريوس هندسة مواد

م.د. ماجد محي شكر

أ.م.د. فاضل محمد حسون

م ٢٠٠٦

٥ ١٤٢٦

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

وَإِذْ نَادَى مُنْقَارٌ الْغَيْثَ لَا يُعَالِمُنَا إِلَّا هُوَ وَيُعَالِمُنَا فِي السَّمَاءِ وَالْبَحْرِ

وَأَمَّا فَتَقَطُّ مِنَ وَرَاقَةٍ لَا يُعَالِمُنَا إِلَّا هُوَ فِي ظِلِّهَا وَالْأَرْضُ وَاللَّهُ

رَاطِبٌ وَاللَّيْلُ نَبَسٌ لَا فِي بَيْتِهَا مَبْسُورٌ

صَدْرُ اللَّهِ الْعَظِيمِ

سُوْرَةُ الْاِنْعَامِ آيَةٌ (٥٩)

اللهم فداي
عاشرا ع

.....
عاشرا ع

اللهم فداي
عاشرا ع

.....
عاشرا ع

شكراً وتقديراً

احمد الله الباري جل في علاه وأشكره على نعمه عليّ؟ وشمولي برحمته والصلاة والسلام على اشرف الأنبياء والمرسلين المصطفى الأمين أبي القاسم محمد واله الطيبين الطاهرين . وعظيم الشكر والتقدير لأساتذتي الأفاضل الدكتور فاضل محمد حسون والدكتور ماجد محيي شكر لما قدماه لي من جهد ثمين ومرعاية علمية قيمة طيلة مدة البحث .

وأتوجه بشكري إلى عمادة كلية الهندسة وقسم هندسة المواد على منحي فرصة إكمال الدراسة ولا يفوتني إن أقدم بالشكر إلى منتسبي مختبر السيراميك ومختبر المقاومة في قسم المواد ومختبر التربة في قسم المدني والمكتبة المركزية في جامعة بابل والجامعة التكنولوجية لتقديم التسهيلات لإنهاء هذا البحث . وأشكر كل من دعمني وساهم في إظهار هذه الدراسة من المنتسبين من المهندسين والفنيين بالإضافة إلى الأهل والأصدقاء وكل من دعاني بإتمام البحث ونجاحه ومن الله التوفيق .

شيماء

٢٠٠٦

المحتويات

الصفحة	الموضوع	ت
١	الخلاصة	
ج	قائمة الرموز	
	الفصل الأول- المقدمة	
٢-١	المقدمة	١-١
٣	المواد الأولية	٢-١
٥-٤	رمل السيليكا	١-٢-١
٦-٥	الكاؤولين	٢-٢-١
٨-٧	كاربونات الكالسيوم	٣-٢-١
٩	تصنيع السيراميك المسامي	٣-١
١٠	الكبس	٤-١
١١-١٠	الكبس الجاف وشبه الجاف	١-٤-١
١١	الكبس الساخن	٢-٤-١
١٥-١٢	أنواع الترشيح	٥-١
١٦-١٥	المرشحات السيراميكية	٦-١
١٩-١٧	الدراسات السابقة	٧-١
١٩	الهدف من الدراسة	٨-١
	الفصل الثاني- الجزء النظري	
٢٠	المقدمة	١-٢
٢١-٢٠	البنية المسامية	٢-٢
٢١	المسامية	١-٢-٢
٢٢	النفاذية	٢-٢-٢
٢٣	المساحة السطحية النوعية	٣-٢-٢
٢٣	قطر المسامة	٤-٢-٢
٢٤	الترشيح	٣-٢
٢٦-٢٤	آلية الترشيح	١-٣-٢
٢٨-٢٦	تلييد السيراميك	٤-٢
٣٠-٢٨	آلية التلييد	١-٤-٢
	الفصل الثالث- الجزء العملي	
٣١	المقدمة	١-٣
٣٢	المواد الأولية	٢-٣
٣٣	مرحلة تهيئة المواد الأولية	٣-٣
٣٣	غسل المساحيق	١-٣-٣

٣٤-٣٣	الغربة أو فصل المسحوق	٢-٣-٣
٣٤	مرحلة تهيئة وتشكيل النماذج	٤-٣
٣٥-٣٤	خلط المساحيق	١-٤-٣
٣٧-٣٥	كبس النماذج	٢-٤-٣
٣٥	التجفيف	٣-٤-٣
٣٨	الحرق	٥-٣
٣٨	مرحلة الفحوصات	٦-٣
٣٨	الفحوصات الفيزيائية	١-٦-٣
٣٩-٣٨	التمدد الطولي	١-١-٦-
٤٠-٣٩	المسامية الظاهرية وامتصاصية الماء	٢-١-٦-٣
٤٠	الكثافة	٣-١-٦-٣
٤١	النفاذية	٤-١-٦-٣
٤٢-٤١	اكبر قطر للمسامة	٥-١-٦-٣
٤٣	الفحوصات الميكانيكية	٢-٦-٣
٤٤-٤٣	مقاومة الانحناء ومعامل الكسر	١-٢-٦-٣
٤٥-٤٤	مقاومة الانضغاط	٢-٢-٦-٣
٤٦	فحص العكرة	٣-٦-٣
٤٦	فحص الحيود الأشعة السينية	٤-٦-٣
	الفصل الرابع- النتائج و المناقشة	
٤٧	المقدمة	١-٤
٤٧	الخواص الفيزيائية	٢-٤
٥٠-٤٧	التمدد الطولي	١-٢-٤
٥٥-٥١	المسامية الظاهرية وامتصاصية الماء	٢-٢-٤
٥٨-٥٦	الكثافة	٣-٢-٤
٦١-٥٩	اكبر قطر للمسامة	٤-٢-٤
٦٤-٦٢	النفاذية	٥-٢-٤
٦٦-٦٥	فحص العكرة	٣-٤
٦٧	الخواص الميكانيكية	٤-٤
٧١-٦٧	مقاومة الانحناء ومقاومة الانضغاط	١-٤-٤
	الفصل الخامس- الاستنتاجات والتوصيات	
٧٢	الاستنتاجات	١-٥
٧٢	التوصيات	٢-٥
٧٦-٧٣	المصادر	
	الملحق الاول	
	الملحق الثاني	

الرموز الإنكليزية

الرمز	المعنى	الوحدة
A	مساحة مقطع النموذج	cm ²
A _f	مساحة مقطع المرشح	mm ²
CP	وحدة قياس اللزوجة centipoises	
D	الوزن الجاف	g
d	قطر النموذج	mm
d _a	المسافة بين المستويات الذرية	°A
D _d	القطر قبل الحرق	mm
D _f	القطر بعد الحرق	mm
D _o	قطر القالب الخارجي	mm
D _{in}	قطر القالب الداخلي	mm
H	ارتفاع القالب	mm
h	ارتفاع نموذج الانضغاط	mm
k	ثابت	
L	طول قالب الانحناء	mm
l	طول نموذج الانحناء	mm
L _c	سمك المرشح الترسيبي	mm
L _m	سمك وسط الترشيح	mm
M	الوزن المشيع	g
n	عدد صحيح	
NTU	وحدة قياس العكرة Nephelometric Turbidity Unit	

N	حمل الانضغاط المسلط حتى الكسر	P_c
N	الحمل الانحناء المسلط حتى الكسر	P_f
mmHg	ضغط فقاعة الهواء	P_m
cmH ₂ O	ضغط عمود الماء	P_w
atm	فرق الضغط على المرشح الترسيبي	$P_c \Delta$
atm	فرق الضغط على وسط الترشيح	$P_m \Delta$
	بولي فنيل الكحولي	P.V.A
cm ³ /sec	معدل الجريان الحجمي	Q
g	الوزن المعلق	S
mm	سمك النموذج	t
mm	سمك قالب الانحناء	T
sec	زمن الجريان	T_e
cm ³	حجم الهواء المار بالمرشح	V
mm	عرض قالب الانحناء	W
mm	عرض نموذج الانحناء	w

الرموز اللاتينية

الوحدة	المعنى	الرمز
dyn/cm	الشدة السطحي للماء	γ
°A	الطول الموجي	λ
°	زاوية السقوط	θ
CP	لزوجة المائع	μ
g/cm ³	كثافة الماء	ρ_w

الخلاصة

تتناول هذه الدراسة, استخدام مواد أولية سيراميكية محلية لأنتاج المرشحات, وهذه المواد متوفرة في غرب العراق وهي رمل أم أرضمة وكاؤولين الدويخلة وكاربونات الكالسيوم. تم استخدام الرمل كمادة أساسية إضافة إلى المادة الرابطة Binder المكونة (الكاؤولين ٧٠% + كاربونات الكالسيوم ٣٠%) وبنسب مختلفة (Sand ٣٥% + Binder ٦٥%) و (Sand ٥٠% + Binder ٥٠%) و (Sand ١٥٠ μm, ١٢٥ μm, ١٠٠ μm, ٧٥ μm, ٥٠ μm) إلى عدة حجوم لجسيمات لرمل السيليكا الداخلة في تصنيع المرشح السيراميكي وذلك بعد فصلها واستخدمت طريقة الكبس شبه الجاف في تشكيل نماذج مختبرية.

جففت نماذج المرشحات في درجة حرارة (١١٠ °C) ولمدة (٢٤ ساعة) ومن ثم لبدت أو حرقت بدرجات حرارية مختلفة (١٢٥٠ °C, ١٢٠٠ °C, ١١٥٠ °C) وفترة مكوث (١ ساعة). من ثم تم إجراء العديد من الفحوصات الفيزيائية (المسامية الظاهرية, امتصاصية الماء, الكثافة الكتلية, التمدد الطولي, قياس اكبر قطر للمسامة, والنفاذية), الفحوصات الميكانيكية (مقاومة الانحناء, ومقاومة الانضغاط), فحص العكورة, و التحليل بالأشعة السينية.

وبالاعتماد على النتائج العملية تم التوصل إلى علاقات رياضية عديدة بين المتغيرات الثلاثة (نسبة رمل السيليكا, درجة حرارة الحرق, حجم جسيمات الرمل) والخواص الفيزيائية والميكانيكية. بالنسبة لتأثير نسبة رمل السيليكا فتكون علاقتها طردية مع المسامية الظاهرية وامتصاصية الماء, حيث تزدادان هاتان الصفتان بزيادة نسبة الرمل, بينما تكون علاقتها عكسية مع بقية الخواص الفيزيائية والميكانيكية. اما عند زيادة درجة حرارة الحرق فتزداد الكثافة وتحسن الخواص الميكانيكية, بينما تقلل كل من المسامية الظاهرية وامتصاصية الماء والتمدد الطولي و قطر المسامة والنفاذية. يؤثر الحجم الحبيبي على الخواص الفيزيائية والميكانيكية للنموذج, حيث عند زيادة حجم الجسيمات يقلل من المسامية الظاهرية وامتصاصية الماء, بينما يزداد التمدد الطولي و الكثافة والنفاذية ويكبر قطر المسامة وتحسن الخواص الميكانيكية. حيث اظهرت النتائج ان أعلى مسامية ظاهرية (٥٥.٦٧٤%) وامتصاصية الماء (٢٧.٢٠٥%) وذلك عند أعلى نسبة لرمل السيليكا (٦٥%), وأوطأ درجة حرارة للحرق (١١٥٠°C), واصغر حجم لجسيمات الرمل (٥٠ μm). وأعلى كثافة (٢.٨٥٢ g/cm^٣) وذلك عند أقل نسبة لرمل السيليكا (٣٥%), وأعلى درجة حرارة للحرق (١٢٥٠°C), وأكبر حجم الجسيمات (١٥٠ μm). بينما أكبر قطر المسامة (٢٧٣.٧ μm) وأعلى نفاذية (٥.٩٠٩ * ١٠^{-٤} mmdarcy) عند أقل نسبة لرمل السيليكا (٣٥%), وأقل درجة حرارة للحرق (١١٥٠°C), وأكبر حجم لجسيمات الرمل (١٥٠ μm). اما الخواص الميكانيكية (مقاومة الانضغاط ومقاومة الانحناء) فتعتمد على الكثافة فتزداد بزيادتها حيث أعلى مقاومة انضغاط (١٥.٨٥٢ MPa) ومقاومة انحناء (٥.٠٢٢ MPa) وذلك عند أقل نسبة لرمل السيليكا (٣٥%), وأعلى درجة حرارة للحرق (١٢٥٠°C), وأكبر حجم لجسيمات الرمل (١٥٠ μm).

ولقد أثبتت النتائج يمكن الحصول على المرشحات السيراميكية من المواد وطريقة التشكيل والخواص المذكورة أعلاه من خلال اجراء فحص العكورة Turbidity الذي يبين كفاءة المرشح على فصل وترشيح الجسيمات العالقة في المائع.

Abstract

In this research, using ceramic raw materials to produce the filters. Filters made from the raw materials (Sand, Kaolin, and Calcium Carbonate), which obtained from Um Urdhuma and Al- Deuechla in the west of Iraq. Sand was the basic material used to make filters. In addition to the binder material that consisted (70% Kaolin + 30% Calcium Carbonate), in different weight percentage (60% Binder + 40% Sand, 50% Binder + 50% Sand, 40% Binder + 60% Sand). Selective some of sand particle size (100 μ m, 120 μ m, 140 μ m, 160 μ m, 180 μ m), and used the semidry compaction to forming the laboratory samples.

The samples dried in (110 °C) for (24 hours), and fired or sintered by using different temperatures (1100 °C, 1200 °C, 1300 °C) for soaking time (1 hour), then doing many of physical tests (Apparent porosity, Water absorption, Linear expansion, Bulk density, Max Pore Diameter, and Permeability), mechanical tests (Bending strength and Compressive strength), turbidity test, and x- ray diffraction.

The experimental result led to many of mathematical relationships between those three variables (rate of sand, firing temperature, and particle size of sand) and physical and mechanical properties. Increased the rate of sand increased apparent porosity and water absorption, but it decreased other physical and mechanical properties, while increased firing temperature increased the bulk density and improved other mechanical properties, but it decreased others physical properties (apparent porosity, water absorption, linear expansion, max. pore diameter, and permeability). Increased particle size of sand decreased apparent porosity and water absorption, but it

increased other physical and mechanical properties. The results show the maximum apparent porosity (50.67%) and water absorption (27.2%) at the maximum weight percentage of sand (60%), lowest firing temperature (1100 °C), and minimum particle size of sand (0 μm). The highest bulk density (2.802 g/cm³) obtained at lowest weight percentage of sand (30%), highest firing temperature (1200 °C), and maximum particle size of sand (100 μm). The maximum pore diameter (273.7 μm) and permeability (0.99*10⁻² mmdarcy) obtained at lowest weight percentage of sand (30%), lowest firing temperature (1100 °C), and maximum particle size of sand (100 μm). The highest mechanical properties (compressive strength (10.802 MPa) and bending strength (0.22 MPa) at lowest weight percentage of sand (30%), highest firing temperature (1200 °C), and maximum particle size of sand (100 μm).

That results proved that ceramic filters can be produced from that raw materials and that method of forming with the properties above by doing the turbidity test which show that ceramic filter could be filtrate and separate the particles from the fluid.

Republic of Iraq

Ministry of Higher Education

And Scientific Research

University of Babylon



*THE USE OF CERAMIC RAW MATERIALS
TO PRODUCE FILTERS*

A Thesis

*Submitted to the College of Engineering of
University of Babylon in Partial Fulfillment of the
Requirements for the Degree of Master of Science in Material
Engineering*

By

Shaimaa ' J. Kareem Al - Moamoori

(B.Sc.)

Asst. Prof.

Dr. Fadhil M. Hassoun

Lecturer

Dr. Majid M. Shukur

٢٠٠٦ A.M

١٤٢٦ A.H

١-١ المقدمة Introduction :

تدخل المرشحات Filters في مجالات الحياة المختلفة سواء أكانت مما يمس الحياة مباشرة كما في مرشحات تنقية مياه الشرب أو المرشحات التي تمنع تلوث الماء أو الهواء أو تلك المستعملة لرفع كفاءة الآلات والمكائن الصناعية لذا اخذت المرشحات أشكالاً مختلفة (صفائح دائرية Circular Plates, قنوات Candles, أنابيب Tubes, أقراص Disks,.....) وأنواع مختلفة بالاعتماد على نوع المائع المراد ترشيحه (غاز, سائل) أو حسب المادة التي تدخل في تصنيعه كالمرشحات النسيجية (ألياف القطن, ألياف النايلون, القماش,...) و المرشحات الورقية, و المرشحات السيراميكية (مرشحات البورسلين Porcelain, الالومينا Alumina, السيليكا Silica, كربيد السليكون Silicon Carbide, والكربون Carbon,.....) وغيرها من المواد المختلفة.

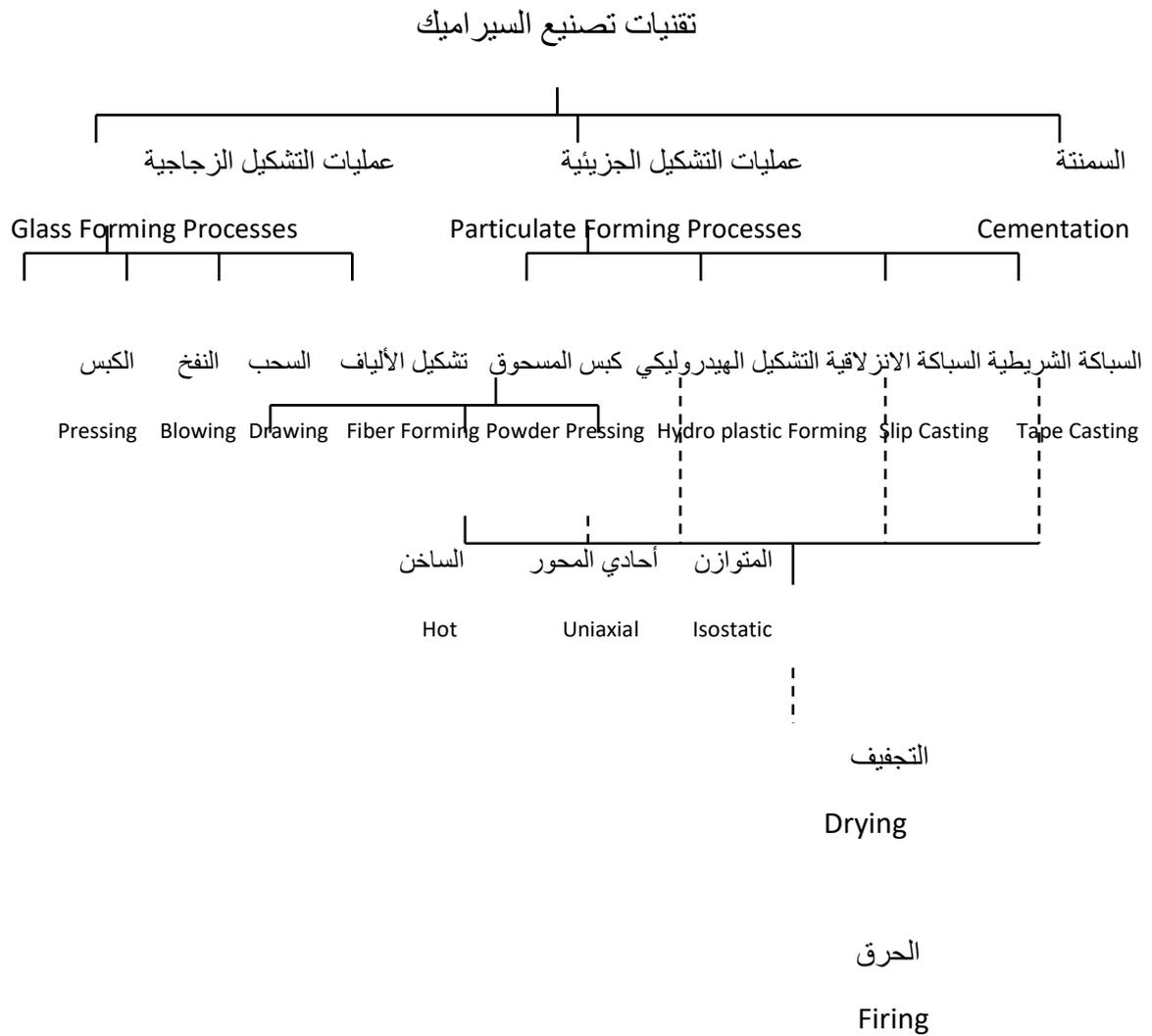
تتناول الدراسة الحالية المرشحات السيراميكية Ceramic Filters, وكما هو معلوم في الأدبيات العلمية ان المواد السيراميكية هي عبارة عن مركبات بين العناصر المعدنية و اللامعدنية, معظمها من الأكاسيد Oxides, و النتريدات Nitrides, و الكاربيدات Carbides, لها بنية بلورية معقدة تربطها أواصر أيونية أو تساهمية أو مشتركة بينهما. هناك تصانيف عدة للمواد السيراميكية, معظمها متفق على ان السيراميك يكون على نوعين هما: [٢]

١- السيراميك التقليدي Traditional Ceramic.

٢- السيراميك المتقدم Advanced Ceramic.

السيراميك التقليدي عادة يتضمن التقنيات القديمة في صناعة السيراميك ومنها الطابوق, الصيني, الكونكريت, والمنتجات البيضاء. أما السيراميك المتقدم أو يطلق عليه أحيانا السيراميك الدقيق ويشمل كافة المنتجات السيراميكية التي استخدمت في تصنيعها تقنيات حديثة تؤدي إلى تحسين خاصية أو مجموعة من الخواص منها الحرارية أو الكهربائية أو المغناطيسية. [٢, ١]

ان المحددات الرئيسية بالنسبة للسيراميك هي ما يتعلق بطريقة تصنيعها, فبسبب درجة انصهارها العالية جعلت طريقة السباكة غير عملية, كما ان هشاشيتها العالية التي تمنع حصول التشوه اللدن الذي حدد من طرق التصنيع مما يتطلب اللجوء لطرق أخرى كطريقة ميثالورجيا المساحيق Powder Metallurgy وتستخدم بعد تحويل المادة إلى مسحوق ثم تشكل وتجفف وتحرق, الشكل (١-١) يبين بعض تقنيات تشكيل السيراميك. [٣]



شكل (١-١) مخطط تقنيات تشكيل المواد السيراميكية. [٣]

ان للمواد السيراميكية تطبيقات واسعة في الصناعات الهندسية المتنوعة ولها تأريخ بارز في الصناعات الكهربائية لما تملكه من خواص مميزة شاملة كمقاومتها العالية للكهربائية وقدرتها على الصمود في درجات الحرارة العالية والمقاومة العالية للبلل. وعموما السيراميك صلب، هش، ذو درجة انصهار عالية، وذات تمدد حراري منخفض، واستقرارية كيميائية وحرارية عاليتين، ومقاومة زحف جيد ومعامل مرونة عالي و أخيرا مقاومة احتكاك عالية. [٤]

مما تبين أعلاه ان المواد السيراميكية متنوعة الصفات وذات استخدامات واسعة والمرشحات السيراميكية تعتبر إحدى المنتجات السيراميكية وتنتج باستخدام مواد أولية مناسبة لتعطي مرشحات ذات مواصفات قياسية محددة.

٢-١ المواد الأولية Raw Materials:

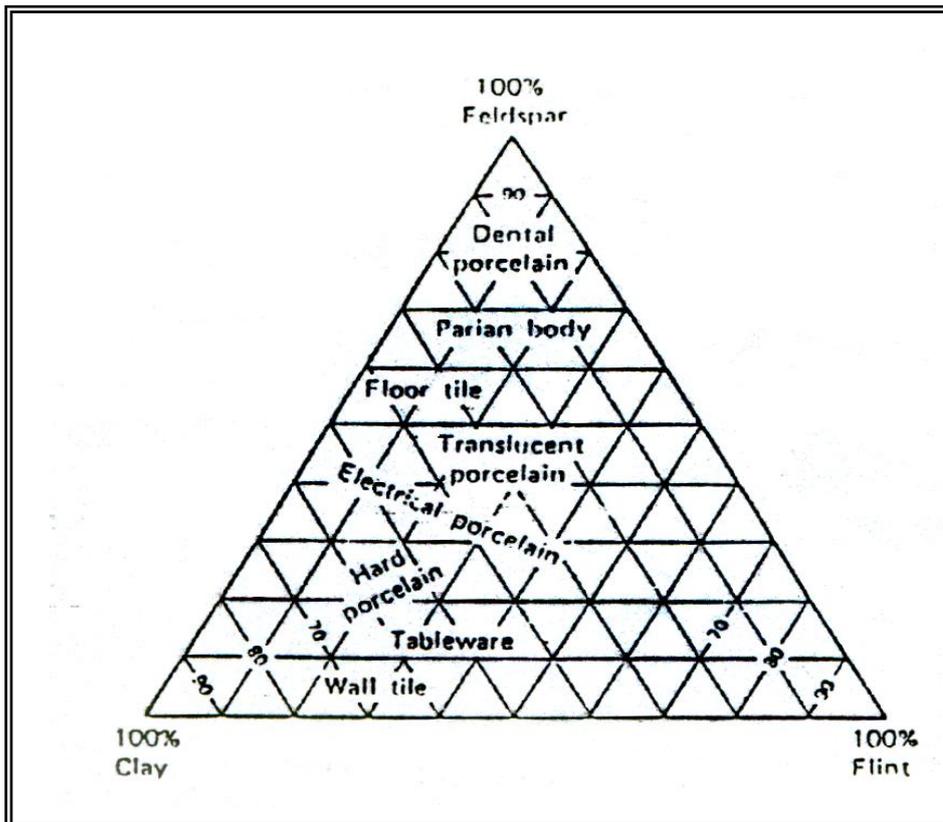
يستخدم عادة ثلاث مواد خام محلية أساسية في تحضير وإنتاج المرشح السيراميكي وهي كالاتي :

١- رمل السيليكا Sand.

٢- طين الكاولين Kaolin.

٣- كربونات الكالسيوم Calcium Carbonate.

تعتبر هذه المواد المكونات الثلاثة مع اعتبار كربونات الكالسيوم بديل الفلدسبار كمادة مساعدة على الصهر) الأساس الذي ينتج منه مواد سيراميكية متنوعة فيما لو خلطت وعملت وفق برامج حرق مناسبة لتلك النسب. الشكل (٢-١) يبين العلاقة هذه المكونات الأساسية والأنواع المختلفة من المواد السيراميكية المنتجة بفعل خلط نسب مختلفة. [٥]



شكل (١-٢) المخطط الثلاثي المكونات الذي يشير إلى مساحات المنتجات التجارية. [٥]

١-٢-١ رمل السيليكا SiO_2 :

تشكل السيليكا الأساس لمدى واسع ومختلف من المنتجات السيراميكية. وتوجد أما بشكل أكاسيد حرة أو تشترك في الأكاسيد المعدنية كما في السيليكات Silicates. كيميائياً أبسط أشكال السيليكا هي أكسيد السليكون (SiO_2) Silicon Dioxide . أما بنويها فان السيليكا عبارة عن شبكة مترابطة ثلاثية الأبعاد Three Dimensional Net Work وتتكون الوحدة البنائية من أربعة ذرات أو كسجين تستقر عند أركان رباعي الأوجه Tetrahedron وهي تنتشارك مع رباعيات الأوجه المتجاورة لتكوين بنية السيليكا. ولذلك فان السيليكا تكون متعادلة كهربائياً ولذراتها تركيب إلكتروني مستقر، وذو نسبة ذرة السيليكون (Si) إلى ذرة الأوكسجين (O) هي (٢:١) لذا فان الرمز الكيميائي للسيليكا (SiO_2). [٦, ٧, ٨, ٣]

أما بلوريا فان رباعيات الأوجه للسيليكا تعطي ترتيباً منظماً ومنسقاً مكوناً بذلك الشكل البلوري الذي يمتلك ثلاثة أشكال بلورية رئيسية وهي الكوارتز Quartz, التريديمايت Tridmite, و الكريستوبلايت Cristobalite. الجدول (١-١) يوضح الانقلابات الطورية Inversions والتحويلات Conversion في أشكال السيليكا البلورية الثلاثة وفق درجة حرارية معينة، مقروناً بمواصفات كل طور من ناحية الكثافة النوعية والتغير الحجمي الحاصل نتيجة هذا الانقلاب أو التحول. [٩, ١٠]

بالنسبة لخواص السيليكا المتبلورة (SiO_2) فهي مادة صلبة برقم صلادة (٧) على مقياس موز للصلادة ووزن نوعي (٢.٦٥). أما تركيبها البلوري متبلور وفق النظام البلوري السداسي ($\text{P}3_12_1$ or $\text{P}3_22_1$) وتتحول إلى الأطوار الأخرى بعملية إزاحة في مواقع رباعيات الأوجه، درجة انصهارها ($1715 \text{ }^\circ\text{C}$). المصدر الرئيسي لها الرمل Sand, حجر الصوان Flint, الفلدسبار Feldspar, و الكاولين Kaolin. عند زيادة نسبة السيليكا في المادة يؤدي إلى رفع درجة حرارة الانصهار، زيادة مقاومتها للأحماض، وزيادة الصلادة واللمعة والبريق وانخفاض التمدد للمادة، أما عند انخفاض نسبتها يؤدي زيادة السيولة عند الانصهار Melt Fluidity. [١١]

للسيليكا استخدامات واسعة فهي تستخدم في صناعة الزجاج، العوازل الحرارية Thermal Insulation, الحرارية Refractories, المواد الحاكة abrasives, وفي صناعة الأدوات الزجاجية المختبرية Laboratory Glass Ware و ألياف تقوية المواد المركبة Fiber-Reinforced Composites, وفي صناعة الألياف البصرية، وغيرها من التطبيقات الأخرى. [١٢]

جدول (١-١) أشكال السيليكا باختلاف درجات الحرارة. [٩]

شكل السيليكا	الكثافة النوعية	درجة الحرارة (°C)	يتحول إلى	الكثافة النوعية	التغير الحجمي (%)
α -كوارتز	٢.٦٥	٥٧٣	β -كوارتز	٢.٦٠	٢
α -ترديمايت	٢.٣٢	١١٧	β_1 -ترديمايت	٢.٣٢	٠
β_1 -ترديمايت	٢.٣٢	١٦٣	β_2 -ترديمايت	٢.٣٢	٠
α -كرستوبلايت	٢.٣٢	٢٢٠-٢٧٥	β -كرستوبلايت	٢.٢١	٥.٦
β -كوارتز	٢.٦٠	٨٧٠	β_2 -ترديمايت	٢.٣٢	١٢.٧
β_2 -ترديمايت	٢.٣٢	١٤٧٠	β -كرستوبلايت	٢.٢١	٥
β -كرستوبلايت	٢.٢١	١١٢٨	سيليكازاجي	٢.٢١	٠
α -كوارتز	٢.٦٥	غير مباشر	سيليكازاجي	٢.٢١	٢٠
β -كوارتز	٢.٦٠	غير مباشر	سيليكازاجي	٢.٢١	١٧.٦
β -ترديمايت	٢.٣٢	غير مباشر	سيليكازاجي	٢.٢١	٥
كوارتز		< 1470	سيليكاسائلة		
ترديمايت		١٦٧٠	سيليكاسائلة		
كرستوبلايت		١٧١٠	سيليكاسائلة		
α -كوارتز	٢.٦٥		α -ترديمايت	٢.٣٢	١٤.٢
α -كوارتز	٢.٦٥		α -كرستوبلايت	٢.٣٢	١٤.٢

٢-٢-١ الكاؤولين Kaolin:

الكاؤولين هو من أنقى الأطنان الطبيعية، حيث يتكون بصورة أساسية من الكاؤولينيت بالإضافة إلى كميات قليلة من الفلدسبار، والكوارتز، وأوكسيد الحديد، وأوكسيد التيتانيوم مع كميات أقل من أكاسيد الفلزات القلوية. ويتركب الكاؤولينيت من الألومينا و السيليكا وذو صيغة كيميائية $(Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O)$. يعتمد التركيب الكيميائي للكاؤولين على طبيعة الصخور التي اشتق منها

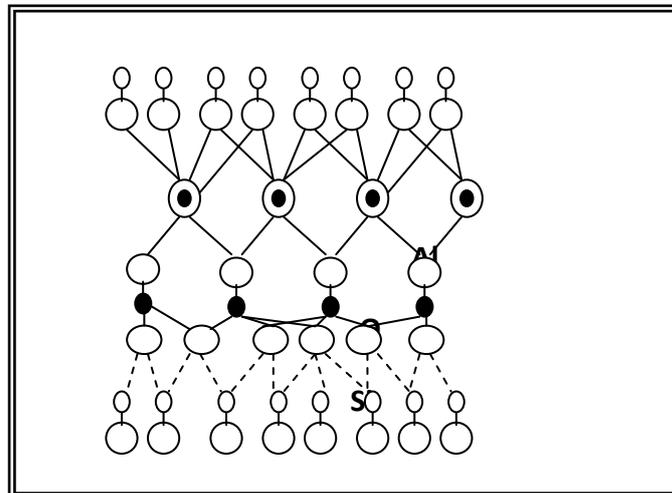
وظروف التكوين وظروف عملية الترسيب والجدول (٢-١) يوضح التركيب الكيميائي النموذجي له. [١٣]

جدول (١-٢) التركيب الكيميائي النموذجي للكاؤولين. [١٤, ١٣]

المجموع	L.O.I	K ₂ O	NaO ₂	CaO	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	الأوكسيد
١٠٠	١٣	٠.٧	٠.٣	٠.٣	٠.٤	٠.١	٠.٣	٣٨.٣	٤٦.٦	%

التركيب البنيوي لبلورة الكاؤولينيت تتألف من طبقتين هما طبقة السيليكا Silica الرباعية Tetrahedron وطبقة الجبسايت Gibbsite الثمانية Octahedron. وحدة السيليكا عبارة عن ذرة سيليكون تحيط بها أربعة ذرات أوكسجين بشكل هرم ولتكوين طبقة السيليكا فان ذرة أوكسجين من ذرات القاعدة الهرمية لوحدة السيليكا تكون عنصرا مشتركا بين وحدتين لتشكل حلقة سداسية عندما تتراص في بعدين. أما طبقة الجبسايت فهي عبارة عن ذرة الألمنيوم تحيط بها ست مجموعات من الأوكسجين أو الهيدروكسيد (OH) على شكل ثماني الأوجه حيث تستقر ذرة الألمنيوم في المركز وتحمل مجموعة الهيدروكسيد أركانه الستة. وعند اتحاد كل من طبقة السيليكا والجبسايت نتيجة التقارب بالحجم نحصل على الصيغة النهائية للكاؤولين (Al₂(OH)₂Si₂O₅) كما هو موضح بالشكل (١-٣). [١٥, ١٣]

بما ان الكاؤولين يحتوي على كميات قليلة من اوكسيد الحديد فمن الممكن اعتباره من المواد الحرارية ذوات درجة انصهار فوق (١٧٧٠°C), ومحتواه من الومينا و السيليكا يعطيه السطح الصقيل اللامع. ويعمل على خفض المسامية وذو نفاذية قليلة للغازات والأبخرة والسوائل وذو خواص ميكانيكية جيدة وخواص عزل كهربائي جيدة ويدخل في العديد من الصناعات, من أهم استعمالاته كأوراق ترشيح Paper Filter وفي صناعة الأصباغ وغيره من التطبيقات الأخرى. [١٣]



شكل (١-٣) التركيب البنيوي للكاؤولين. [١٣]

٣-٢-١ كاربونات الكالسيوم Calcium Carbonate :

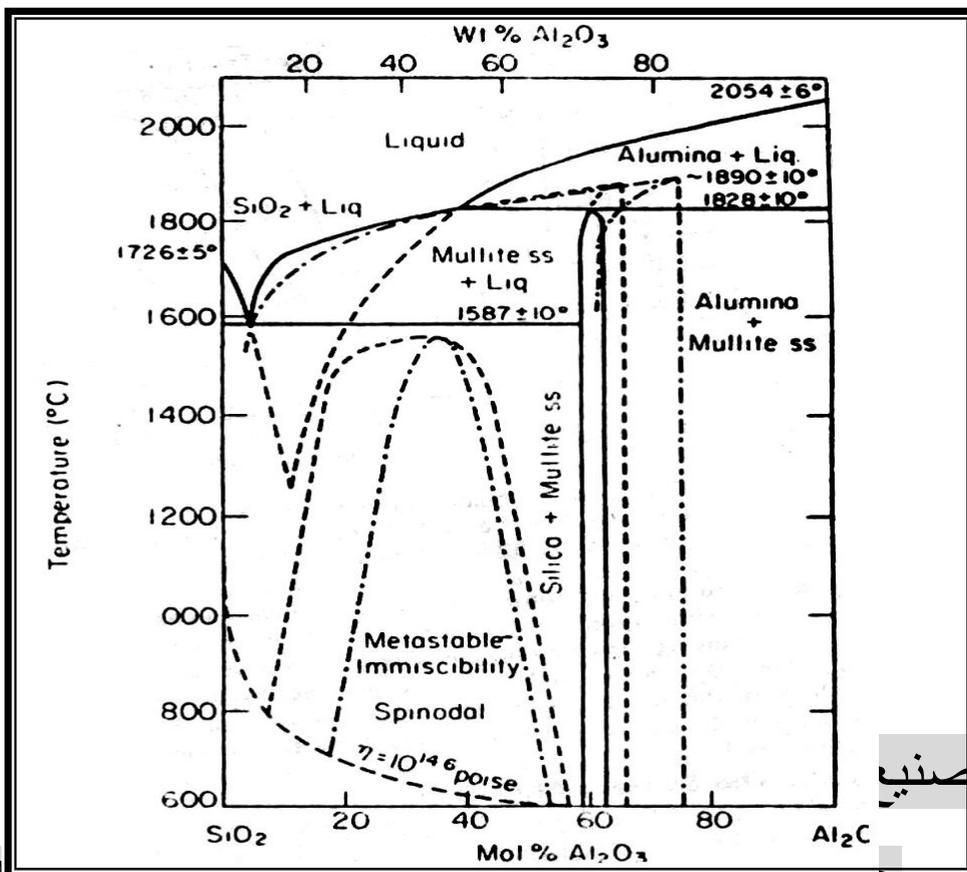
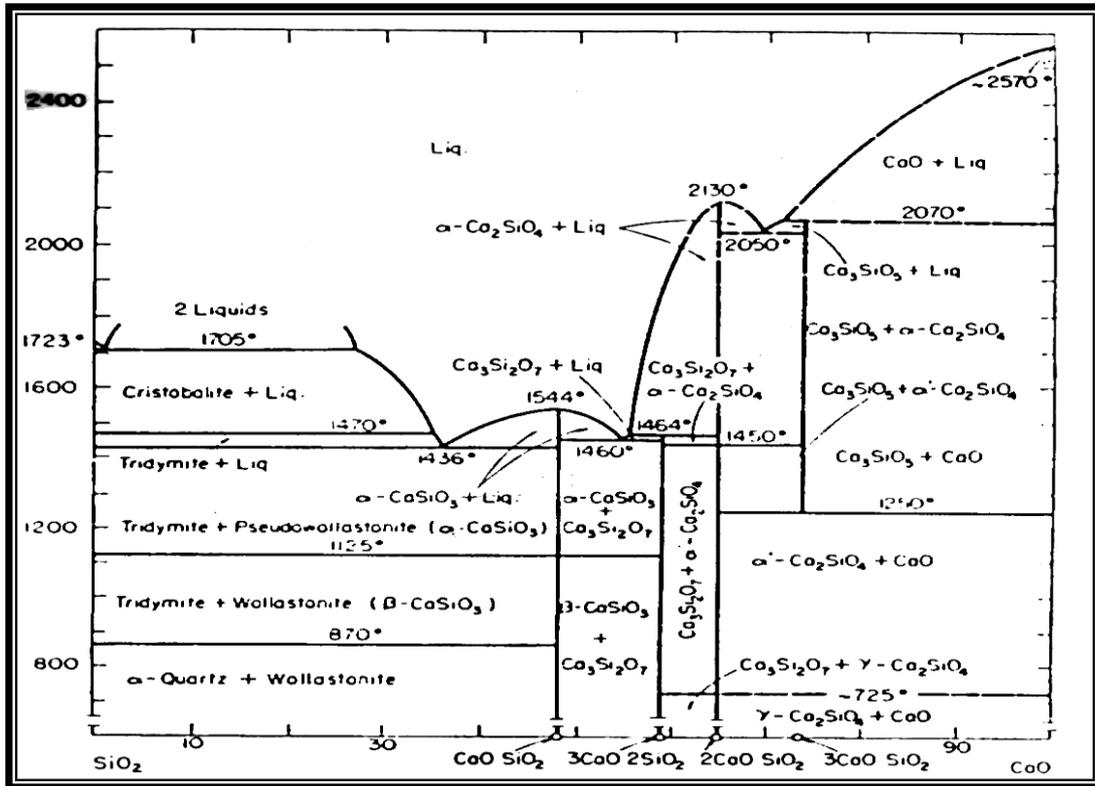
توجد كاربونات الكالسيوم بصورة كبيرة في حجر الكلس Limestone, وكمادة رابطة في الصخور الرملية Sandstone, الصيغة الكيميائية لكاربونات الكالسيوم $CaCO_3$ وتمتاز بكثافة منخفضة, ومقاومة مقبولة في درجات الحرارة العالية, وهي ذات مسامية منخفضة و قابلية للذوبان في المحاليل الحامضية المخففة. [١٦]

ان توافر $CaCO_3$ بنقاوة عالية أمكن استعماله في مواد التزجيج Glazes, والزجاج البصري Optical Glass, إذ ان كاربونات الكالسيوم النقية يمكن أن تنتج بواسطة وسائل كيميائية مختلفة ويستدل عليها من خلال لونها الأبيض. ويمكن عن طريق أحجار الكلس الغنية بكاربونات الكالسيوم إنتاج أو أكسيد الكالسيوم (CaO)Quick Lime بواسطة التفتيت الحراري لتلك الأحجار. [١٧]

أوكسيد الكالسيوم (CaO) يسمى Alkaline Oxide, يمكن استخدامه كمواد تساعد على انصهار الزجاج, و تكون فعالة جدا بدرجات الحرارة التي تفوق ($1100^{\circ}C$) وعند اقل من هذه الدرجة فان لها تأثيرا معاكسا في منع الانصهار. كما ان زيادة كميتها مع السيليكا سوف يؤثر على إنتاج البلورات. [١٤]

وكما بينا سابقا بنظرة مفصلة على المواد التي تدخل في صناعة المرشحات السيراميكية فان خلط المواد الأولية أعلاه سيؤدي إلى إنتاج الأطوار بنيوية بين المواد الاساسية CaO - Al_2O_3 - SiO_2 . في درجات الحرارة المستخدمة والتي لا تتجاوز ($1250^{\circ}C$) تظهر اطوار بين CaO و SiO_2 والتي هي الولستنايت ($CaSiO_3$) وورمل السيليكا الذي يكون على شكل الترديمات, وهذه الأطوار تسببان تمدد بالحجم في البنية. الشكل (١-٤) يبين مخطط الاطوار الذي يعطي تفاصيل شاملة عن المركبات الناتجة. [١٨]

كذلك ان تفاعل SiO_2 و Al_2O_3 ينتجان أطوارا مختلفة عند درجة الحرارة العالية, فعند درجة حرارة الحرق ($1250^{\circ}C$) نلاحظ وجود المولايت والتريديمايت, الشكل (١-٥) يبين مخطط الاطوار SiO_2 - Al_2O_3 . [١٨]



۳-۱ تصنیف

هنالك عدة تقنيات تستخدم في تصنيع المواد السيراميكية سواءا كانت تقنيات تقليدية أم كيميائية أو ميكانيكية, كما ان الخواص المطلوب توفرها في المنتج تحدد نوعا ما طريقة التصنيع.

ومن هذه الطرق السباكة الانزلاقية Slip Casting, السباكة الشريطية Tape Casting, البثق Extrusion, الحقن Injection, الكبس Compaction ولكن ليست كل هذه التقنيات تصلح لإنتاج أجسام سيراميكية مسامية, حيث ان العديد من المشاكل تظهر عند إنتاج السيراميك المسامي ولكن المشكلة الأساسية هي في الحصول على جسم ذي مقاومة شد عالية وكثافة منخفضة, فمقاومة المادة المسامية تعتمد بصورة أساسية على حجم المسامات والتوزيع الحجمي لها في البنية المسامية. [٨]

كما هو معروف ان كثافة المادة تعتمد على تركيبها الكيميائي, شكل وحجم الجزيئات, التوزيع الحجمي للجزيئات, طريقة التصنيع, وظروف الحرق. [١٩]

توجد عدة طرق لإنتاج الجسم السيراميكي المسامي منها السباكة الانزلاقية والتي تعتبر من الطرق المتقدمة في الإنتاج حيث تتم بتحويل المسحوق أو خليط المساحيق إلى طين سائل Slurry ثم يصب المزيج في قالب من البولييمر باستخدام خلية البولييمر الإسفنجي المفتوحة Open- Cell Polymeric Sponge فيعد ان يجف ويترسب المزيج على جدران القالب يجف ويلبد عند درجات الحرارة العالية بجو من الأوكسجين فيحترق البولييمر تاركا الجسم السيراميكي ذا بنية مجهرية مسامية مشابهة لبنية البولييمر المستخدم. وهناك أسلوب آخر وذلك بخلط المكونات أو المتفاعلات السيراميكية فينتج عنها رغوة أثناء انبعاث الغازات خلال عملية الحرق فينتج الجسم المسامي بعد ان يحترق الحامل البولييمري وهذه طريقة مباشرة للحصول على رغوة بواسطة الخلية المفتوحة (الشبكية) Open- Cell Reticulate أو الخلية المغلقة (الرغوية) Closed- Cell Foam. [٢٠]

يعتبر البثق من الطرق المفيدة والناجحة في إنتاج الأجسام السيراميكية المسامية وذلك باستخدام البثق بالرغوة Extrusion Method of Foaming فبعد تحضير العجينة المناسبة من مزيج المواد السيراميكية والتي يجب تكون ذات تماسك جيد يتم قولبتها بالبثق وتلبد عند درجات حرارة عالية والتي عندها تتكون الرغوة المطلوبة من الغازات المنبعثة. [٢١]

تعتبر طرق إنتاج الأجسام السيراميكية المسامية بتكوين الرغوة أحد طرق تصنيع المرشحات السيراميكية الرغوية أو الخلوية. لكن من اكثر الطرق شيوعا في إنتاج الجسم السيراميكي المسامي هي طريقة الكبس Compaction والمتبعة في إنتاج المرشحات السيراميكية بصورة عامة.

٤-١ الكبس Compaction:

تعد هذه الطريقة من اكثر الطرق استخداما في تشكيل المنتجات السيراميكية وذلك بسبب توفر التقنيات اللازمة لها, وقبل الكبس هناك عدة خطوات تحضيرية تجرى على المسحوق المراد كبسه منها نوع المسحوق المراد كبسه سواءا كان من مادة واحدة أم عدة مواد, الحجم الحبيبي, تجانس المسحوق, كما يجب مراعاة ظروف العمل الملائمة لمنع الأكسدة Oxidation, والعيوب Defects الأخرى التي يمكن ان تظهر في المنتج.

ومن اجل تسهيل عملية الكبس يفضل استخدام المزيينات وذلك لتقليل الاحتكاك مع جدران القالب وبالتالي تسهل إخراج المكبوس من القالب, والزيوت أنواع منها الزيوت العادية, حامض الستريك Stearic Acid, أملاح الليثيوم Lithium Stearate, ومسحوق الجرافيت Powdered Graphite. [٢٢]

ويوجد عدة أنواع من الكبس فيما يلي أهمها:

١-٤-١ الكبس الجاف و شبه الجاف Dry & Semi-dry Pressing:

تستخدم هذه الطريقة في تصنيع المواد الحرارية Refractories, والقطع السيراميكية ذات التقنيات الإلكترونية Electronic Technical Ceramic Components, والمواد المقاومة للحرارة الداخلة في تصنيع ذاكرة الكمبيوتر Computer Memory Cores Structural Refractories. يمكن تعريف الكبس بأنه عملية تشكيل لحبيبات المسحوق مع كميات قليلة من الماء مع وجود المادة الرابطة العضوية أو عدم وجودها. ويستخدم الكبس الجاف بشكل واسع بسبب قابليته على تشكيل عدد كبير من الأشكال المختلفة مع سماحات قليلة. [٢٣]

يوجد نوعان من القوالب يستخدمان في كبس المساحيق الجافة التي تحتوي على (٢٪) من الماء, والمساحيق الشبه جافة الحاوية (٢٠-٥٠٪) من الماء. قالب الكبس الأحادي المحور Uniaxial Pressing Die, وقالب الكبس المتوازن (من جميع الجهات) Isostatic Pressing Die.

● قالب الكبس الأحادي المحور Uniaxial Pressing Die واحد من أكثر العمليات المستخدمة في صناعة السيراميك, إذ أن هذا النوع يقود إلى تنوع الكثافة المكتظة Packing Density للجسم الأخضر Green Body. ولتقليل الاختلاف في الكثافة فإن هذه الطريقة تستخدم لإنتاج الأشكال البسيطة نسبيا مثل الأقراص Disks ويشترط في تلك الأشكال أن تكون النسبة في طولها إلى قطرها أقل من (١.٠ - ٠.٥). هنالك ثلاثة أساليب رئيسية في عملية الكبس بالاعتماد على حركة القالب و الدواسات Punches. أسلوب التأثير المنفرد Single action حيث المتحرك هو الدواسة العلوية Top Punch بينما الدواسة السفلية والقالب يكونان ثابتين, و أسلوب التأثير المزدوج Double - Action الذي تتحرك فيه الدواستان Punches العلوية والسفلية بينما القالب هو الثابت, وعندما تكون الحركة للدواسة العلوية Top Punch والقالب بينما الدواسة السفلية تكون ثابتة فيسمى أسلوب القالب العائم Floating Die.

● الكبس المتوازن (من جميع الجهات) Isostatic Pressing Die هذه الطريقة تنتج كثافة مكتظة منتظمة ويمكن استخدامها لإنتاج الأجسام الخضراء بأشكال معقدة نسبيا مع نسب عالية بين الطول إلى القطر. وتتم هذه الطريقة بوضع المساحيق داخل حاوية من المطاط المرن Flexible Rubber ثم توضع بالجهاز ويسلط عليها الضغط من جميع الاتجاهات. [٢٤]

١-٤-٢ الكبس الساخن Hot Pressing:

يمكن تعريف الكبس الساخن بأنه الضغط الخارجي المسلط مع ارتفاع درجة الحرارة هذا النوع يسمح بزيادة معدل التكثيف (الرص) $Densification Rate$ الذي يسمح بتلييد الجزيئات بدرجات حرارة أقل بكثير من درجة الحرارة الحرق الاعتيادية. والكبس الساخن ينجز بواسطة وضع المسحوق داخل حجرة الكبس ثم يسلب الضغط أما باتجاه واحد أو عدة اتجاهات بينما المنظومة كلها موضوعة في درجة حرارة مرتفعة وأثناء الكبس يتم حدوث الرص, ثم يترك ليبرد وبعدها يرفع الضغط المسلط. ومن أهم الميزات التي يوفرها الكبس الساخن هي السيطرة الكبيرة على الحجم الحبيبي من خلال الحد من النمو الحبيبي الذي يحصل أثناء تلييد السيراميك بالطرق الاعتيادية الذي يظهر تدرج للحجم الحبيبي أعلى من $(20\ \mu m)$, بينما في الكبس الساخن يمكن إنتاج أجسام بحجم أقل من $(10\ \mu m)$ وذات كثافة عالية. [٢٣]

بالكبس الساخن يمكن الحصول على منتجات متكاملة دون الحاجة إلى عمليات التشغيل النهائية, مع تحسن كبير في صلابتها ومقاومتها, مع الكثافة العالية, والدقة العالية بالأبعاد مقارنة مع المنتجات المشكلة بالعمليات السابقة. ولكن من العوامل التي تحد من استخدام هذه الطريقة الكلفة العالية للقوالب والصعوبات في التسخين و السيطرة على الضغط الجوي الخارجي والزمن الطويل اللازم للدورة الواحدة. [٢٢]

١-٥ أنواع الترشيح : Kinds of Filtration

يعتمد تصنيف المرشحات بصورة أساسية على نوع المائع المراد ترشيحه فلذلك يظهر لنا نوعان من المرشحات هما:

١- ترشيح الغاز Gas Filtration.

٢- ترشيح السوائل Liquids Filtration.

١-٥-١ ترشيح الغاز : Gas Filtration

هي من العمليات الضرورية لإزالة الجسيمات الصلبة (التي تدعى الغبار) من الغاز وخاصة في التطبيقات الصناعية وذلك لان الغبار مادة ملوثة وتقلل من كفاءة الغاز المستخدم, كما إن جسيمات الغبار هي جزء من مادة المنتج الصناعي وتختلط مع الغاز وبذلك ستقل أداء وكفاءة ذلك المنتج. ويمكن استخدام مرشحات الغاز لإزالة جسيمات بحجم يتراوح بين $(1\ mm - 1\ nm)$. [٢٥]

هنالك ثلاثة أنواع من مرشحات الغاز Gas Filters تعتمد في تصنيفها على طبيعة الوسط المرشح:

١- فواصل طبقية – حبيبية Granular-Bed Separators هذا النوع يتكون من طبقات من الرمل والكاربون وجزيئات من مواد أخرى تعمل على صد الجسيمات العالقة في الغاز الذي بدوره سيمر خلال تلك الطبقات.

٢- مرشحات حقائبية Bag Filters وهي عبارة عن أكياس مصنوعة من قماش منسوج Woven Fabric أو لباد Felt, وورق Paper حيث يسלט الغاز المراد ترشيحه في تلك الأكياس ثم بعدها سنترسب الجسيمات على جدران الكيس.

٣- مرشحات الهواء Air Filters هذه المرشحات تتكون من نسيج خفيف من الألياف عادة تغطي بسائل لزج وتستخدم في حالة الهواء الحاوي على تركيز منخفض من الجسيمات العالقة في الغاز.

٢-٥-١ ترشيح السوائل Liquids Filtration:

إن عملية فصل الجسيمات عن السوائل الحاوية لها عملية مهمة جدا وخاصة في المصانع الكيماوية, مصانع المنتجات البوليمرية, المصانع الطبية, مصانع التغذية, مصانع العمليات المعدنية, تنقية المياه, المختبرات الكيميائية, وفي بعض المكائن مثل مكائن الاحتراق الداخلي. [٢٥]

يمكن تصنيف مرشحات السوائل Liquids Filtration إلى نوعين رئيسيين بالاعتماد على نسبة الجسيمات في السائل المراد ترشيحه أو تصفيته:

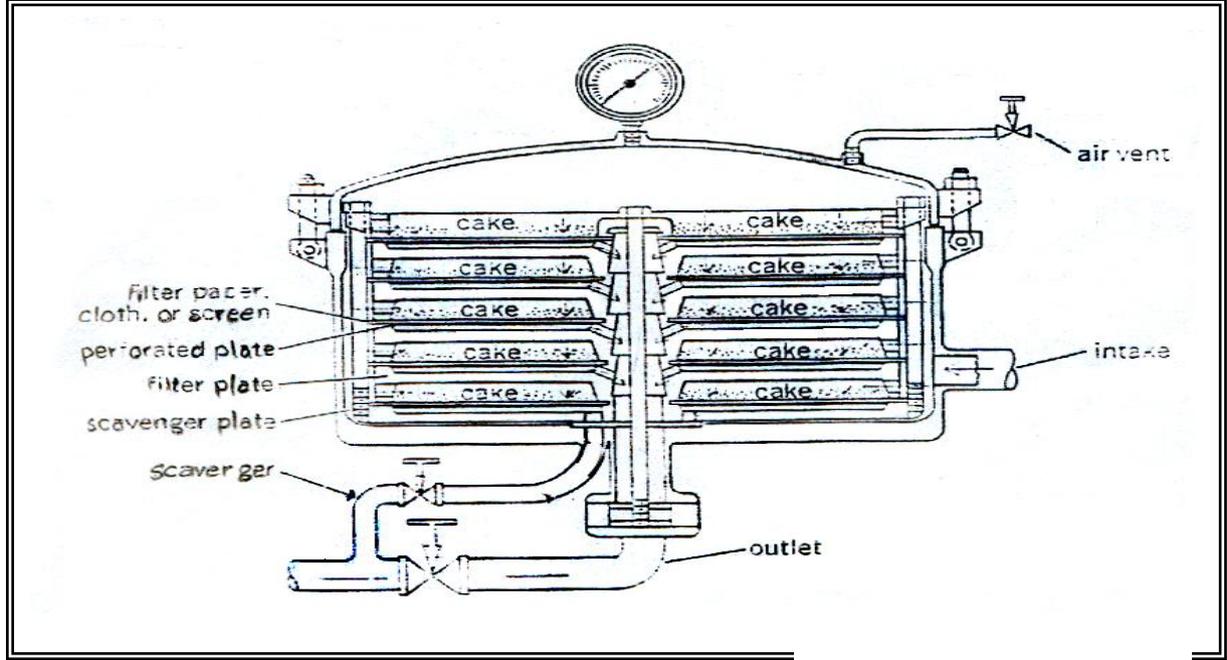
١-٢-٥-١ مرشحات ترسبية Cake Filters:

هذا النوع من المرشحات يستخدم لفصل السوائل الحاوية على كميات كبيرة من الجسيمات العالقة حيث يحصل الترشيح عند ترسب الجسيمات العالقة على سطح المرشح وتكوين طبقة رقيقة تمثل وسط الترشيح. ويستعمل هذا النوع للسوائل الحاوية على كميات كبيرة من الجسيمات العالقة بنسبة (١٪) كحد أدنى لها. وبالاعتماد على القوة الدافعة اللازمة لفصل الجسيمات يظهر ثلاثة أنواع أساسية من هذه المرشحات. [٢٥]

١. **مرشحات الضغط Pressure Filters:** وتسمى أيضا المرشحات المتقطعة Intermittent Filters وهذا النوع يستخدم ضغطا عاليا بواسطة مضخة أو غاز محصور يسלט على الفتحة المجهزة بالمحلول السائل المراد ترشيحه, و بعد إتمام عملية الترشيح فان الضغط سيتغير أما يقل أو يرتفع. ويمكن تمييز ثلاثة أنواع من هذه المرشحات: [٢٦]

أ. مرشحات الكبس Filter Presses وتصنع بصورة رئيسية من ثلاثة مواد مختلفة هي الخشب المحرز Grooved Wooden, الصفائح المعدنية Metal Plates, والأحواض المستوية Trays التي ترتبط معا لتكون حجيرات دائرية أو مستطيلة الشكل وكما هو مبين بالشكل (١-٦). حيث ان كل حجرة

ترتبط بمرشح مصنوع من قماش أو نسيج كما يمكن ان تكون جانبي الحجرة وسطحها الداخلي مساحات للترشيح عندما تستخدم من مواد نسيجية, وعملية الترشيح تتم عند تجمع المواد العالقة على سطوح المرشح بينما يتم تجميع السائل عبر قنوات بعد تصفيته.



شكل (١-٦) المنظومة التي تستخدم مرشحات الكبس. [٢٦]

ب. مرشحات الصفائح الأفقية Horizontal Plates Filters وتوجد بشكل صفائح دائرية أفقية مستوية والمرشح مصنوع من القماش أو من الورق يوضع فوق كل صفيحة, أما الجسيمات العالقة فإنها تترسب على المرشح ويتم التخلص منها في ما بعد حيث تصبح عديمة الجدوى بسبب التصاق الجسيمات عليها.

ج. مرشحات الضغط الورقية Leaf Pressure Filters هذا النوع عبارة عن شبكة من الأنابيب الخاصة بالتصريف المرتبط بمجموعة من المرشحات مصنوعة من القماش على شكل حقيبة أو قماش شبكي. كما يمكن صناعتها من المعادن أو من البورسلين على شكل أنابيب مسامية اسطوانية الشكل.

٢. مرشحات التفريغ Vacuum Filters والتي تسمى أيضا مرشحات التفريغ المستمر Continuous-Vacuum Filters القوة الدافعة في هذه المرشحات هي الضغط الجوي والتفريغ يحصل حين يتم استخدام التفريغ في حجرة تجميع الجسيمات التي تنفصل عن السائل. ويوجد عدة أشكال من هذه المرشحات: [٢٦]

أ. البراميل الدوارة Rotary Drum أو مرشح البرميل الأفقي Horizontal Drum Filter والذي يغطي بقماش على شكل اسطوانة أفقية التي تغمر جزئياً بالسائل المراد ترشيحه ونتيجة استخدام آلية التفريغ سوف تعبر الجسيمات الحرة العالقة في السائل عبر فتحات المرشح.

ب. الأقراص الدوارة Rotary Disk وهنا يتم استبدال البرميل Drum المستخدم في النوع الأول بأقرص متوازية مرتبة. وجوه أو سطوح هذه الأقراص مغطاة بقماش الترشيح.

ج. المرشحات الأفقية Horizontal Filters يستعمل هذا النوع عندما تكون الجسيمات العالقة بالسائل كبيرة جدا ويوجد بشكلين الحزام أفقي Horizontal Belt, والمنضدة أو الكفة الأفقية Horizontal Pan or Table Filter وفي كلاهما يغطي وسط الترشيح الذي تتم عليه عملية الفصل سطح الحزام أو المنضدة.

٣. **مرشحات الطرد المركزي Centrifugal Filters:** تعمل هذه المرشحات على مبدأ القوة الدافعة و هي قوة الطرد المركزي التي تسبب الترشيح عن طريق مرور الجسيمات خلال المرشحات التي على شكل أقراص Cake Filers ثم تترسب على وسط الترشيح. [٢٦]

١-٢-٥-٢ مرشحات التنقية Clarifying Filters:

يستخدم لترشيح الخليط أو المزيج المخفف. ويكون الخليط الممكن ترشيحه ذا تركيز من الجسيمات يبلغ (٠.١%) كحد أدنى في السائل ويتم إزالتها من الخليط بواسطة اصطيادها على وسط الترشيح أو بداخله لذا فإن المرشح يتم التخلص منه بعد إتمام عملية الترشيح ولا يمكن استخدامه مرة أخرى. ويمكن اعتبار مرشحات التنقية مرشحات ضغط Pressure Filters ولكنها ذات وسط ترشيح صغير جدا والمسامات تكون صغيرة بصورة كافية لمنع مرور الجسيمات العالقة ذات الحجم المفروض إزالته. وتوجد عدة أشكال من هذه المرشحات: [٢٥]

أ. المرشحات المستوية Plate Filters والتي تشبه مرشحات الكبس ولكن ذات نطاق محدود جدا.

ب. المرشحات القرصية Disk Filters التي تمثل مرشحات الضغط الأفقية.

ج. الخرطيش Cartridges وتعتبر مرشحات الطبقة الرقيقة.

د. المرشحات طبقية - حبيبية Granular-Bed Filters والتي تعد ذات استعمال خاص في تصفية المياه عن طريق نفاذه عبر طبقات من الرمل أو الفحم الحجري. وتعتمد هذه المرشحات على الجاذبية الأرضية كقوة دافعة بدلا من الضغط.

١-٦ المرشحات السيراميكية Ceramic Filters:

أول استخدام للمرشحات السيراميكية كان من اجل ترشيح الغازات كما في غرفة الاحتراق المعروفة (PFBC) Pressurized Fluidized Bed Combustion وغرفة الاحتراق في عملية تحول

الغاز Gasification المنبعثة من الفحم الحجري والتي يجب ترشيحها أولاً قبل مرورها بالتوربين فكانت معظم المنشآت تستخدم الفرازة المخروطية لتنقية الهواء من الغبار Cyclone على مرحلتين ثم تتبع بثلاثة أشكال من التنقية والضغط المستخدم (27 bar) وعند درجة حرارة تصل تقريباً (827°C) في PFBC و(977 °C) في غرفة تحول الغاز. وعادة هذه الظروف تتطلب استهلاك طاقة بشكل كبير وعلية فإنها غير اقتصادية. لكن عند استخدام وسط ترشيح سيراميكي مشكل من الروابط الحبيبية Bonded Granules أو من الألياف Fibers حيث يتم تحديد نوع السيراميك المستخدم بالاعتماد على التركيب الكيميائي للغاز المنبعث والتي توفر ظروف عمل عالية كإمكانية استعمالها عند درجات الحرارة العالية التي تفوق (1000°C) وبذلك تعطي مدى واسعاً من التطبيقات المختلفة في العمليات الصناعية. وفي ما بعد ظهر نوعان متميزان للوسط الصلب المستخدم للترشيح: الوسط الكثيف Dense Media والذي يصنع عادة من السيراميك الحبيبي Ceramic Granules حيث يعطي كسراً حبيبياً للفراغات التي ما بين الحبيبات يصل إلى (40%). أما الثاني فهو الوسط المنخفض الكثافة Low Density Media الذي يصنع من الألياف مع كسر حجمي ما بين (90% - 80%). ومن الاستعمالات الأخرى للمرشحات السيراميكية هي إزالة السخام Soot المنبعث من غرفة الاحتراق وخاصة أثناء الاحتراق المتقطع والذي ينتج تراكمات من السخام. [27]

إن اختيار السيراميك المناسب يعتمد على الخواص المطلوب توفرها في المنتج النهائي وعلى مجال التطبيق الصناعي، فمثلاً مرشح المعدن المنصهر Molten- Metal Filter يجب أن يكون قادراً على مواجهة الهجوم الكيميائي للمعدن وله مقاومة عالية في درجات حرارة عالية. أكثر المرشحات كفاءة لإزالة الشوائب الدخيلة من المواد اللامعدنية والأغشية الأوكسيدية من المنصهر المعدني هي المرشحات السيراميكية الرغوية Ceramic Foam Filters المتكونة من شبكة من الفراغات المترابطة التي تعطي نسبة عالية من المساحة السطحية إلى الحجم حيث إن وجود المساحة السطحية الكبيرة يوفر مساحة أكبر ليكون السيراميك المصدات الكافية لمسك الشوائب وإزالتها. وتستعمل لإزالة الشوائب غير المعدنية والخبث العالي الفعالية بحجم أصغر من (10 µm). [28]

كما يمكن تصنيف المرشحات السيراميكية على أساس حجم المسامات المتكونة داخل المرشح بحيث يحدد مجال التطبيق المناسب كما هو مبين بالجدول (1-3) أدناه. [29]

جدول (١-٣): مجالات الاستخدام الرئيسية للمرشحات ذات أقطار مسامية مختلفة. [٢٩]

رقم المرشح	أكبر قطر للمسامة (µm)	مجال الاستخدام
٠	١٦٠-٢٥٠	ترشيح الغاز • ترشيح الغاز من السائل تحت ضغط غاز منخفض • ترشيح المواد المترسبة الخشنة جدا
١	١٠٠-١٦٠	الترشيح الخشن • ترشيح المواد الخشنة • الترشيح في معدات الاستخلاص للمواد الحبيبية الخشنة • ترشح الغاز في السوائل • مرشحات الغاز الخشن • طبقات للمرشحات الحرة ضد المواد المترسبة المتجمدة الغر وانية
٢	٤٠-١٠٠	الترشيح الناعم • ترشيح مواد المترسبة البلورية • الترشيح الزئبقي
٣	١٦-٤٠	الترشيح التحليلي • الترشيح التحليلي للمواد المترسبة المتوسطة النعومة • مرشحات الغاز الناعم • الترشيح الكيميائي في لب الخشب • ترشيح في معدات الاستخلاص لمادة حبيبية ناعمة
٤	١٠-١٦	الترشيح الناعم التحليلي • الترشيح التحليلي للمواد المترسبة الناعمة • ترشيح للمواد المترسبة الناعمة مثل • في صمامات الفحص والصمامات الارجعية للزئبق (BaSO ₄ , Cu ₂ O)
٥	١.٠-١.٦	ترشيح البكتريا • الترشيح البكتيري

٧-١ الدراسات السابقة Literature Review:

يعود استخدام المرشحات إلى القرن التاسع عشر (١٨٧٠-١٨٦٠) وذلك باستعمال مرشحات ضغط بسيطة في عمليات إنتاج حديد الزهر, حيث كانت على شكل مرشحات نسيجية من ألياف القطن ثم استبدلت بألياف النايلون التي تكون أكثر قوة ومتانة, وفترة استخدامها أطول والنتائج من الترشيح أكثر نقاوة. واستمر تطور هذه المرشحات إلى ان تم صنعها عام ١٩٥٦ من P.V.C (بولي فينيل كلورايد) و التريالين Terylene. [٩]

وفيما يلي مراجعة لبعض الدراسات السابقة التي تناولت المرشحات سواء أكانت سيراميكية أم من مواد أخرى:

الباحث *Hempaman*, عام ١٩٧٨, استخدم مرشحات من مادة سيراميكية مسامية ذات حجم حبيبي كبير نسبياً لترشيح الغازات الساخنة المنبعثة من المنشآت الصناعية التي كانت تعمل منذ عام ١٩٧١ وذلك من أجل تحسين اداءها, حيث إنتاج مرشحات من كاربيد السيليكون ذي تدرج (٢٠ grade) أي (SiC-٢٠) على شكل قنوات مسامية ذات قطر مسامية (٤٠ μm) و سمك جدران (١٠ mm). [٣٠]

مجموعة من الباحثين, عام ١٩٨٦, وجدوا ان استخدام الأغشية السيراميكية المسامية Ceramic Porous Membranes تعطي كفاءة أعلى عند فصل الهيدروجين من خليط الغازات في درجات الحرارة العالية. فعند استخدام أغشية الزركونيا Zerconia المثبتة بـ Yttria والمشبعة بأكسيد السيريوم Cerium Oxide فانها تفصل الهيدروجين افضل من الأغشية المعدنية المصنعة من (Pt, Pd, Ni) والتي على الرغم من نفاذيتها الممتازة للهيدروجين ولكنها تمتاز باستعدادها الدائم للتفاعل مع H_2 و O_2 وبذا تصبح عملية فصل الهيدروجين صعبة وغير كفوءة. [٣١]

مركز *Hoogovens Industrial Ceramics*, عام ١٩٩٠, طور صناعة المرشحات السيراميكية والأغشية السيراميكية من خلال الدراسة التي قام بها مجموعة من الباحثين من أجل حل بعض المشاكل المتعلقة بعملية الترشيح في درجات الحرارة العالية التي تتطلب توفر خواص معينة في المرشحات عند استعمالها بدرجات الحرارة العالية كالبلى Wear, والتآكل Corrosion, والتعرية Erosion بالاعتماد على المواد الداخلة بصناعتها. [٣٢]

الباحثون *J.Liu, W.Rieß, Ch.Münch, G.Ziegler*, عام ١٩٩٦, في الدراسة التي تناولت تطوير تقنية إنتاج الأغشية السيراميكية تم إنتاج أغشية سيراميكية عالية الكفاءة في الترشيح Ceramic Ultrafiltration Membranes ذات قطر مسامية (٦٠ nm) ومكونة من خليط الألومينا Al_2O_3 و الزركونيا ZrO_2 مضاف إليها مواد رابطة جديدة وتصنع باستخدام تقنية تقليل خطوات التلييد باستخدام طريقة Co-Firing حيث أثبتت الدراسة عند استخدام بعض الإضافات العضوية يمكن لها ان تعطي تأثيراً إيجابياً على خواص المرونة واللدونة واللزوجة, بالإضافة إلى زيادة قابلية الابتلال بين طبقات الأغشية. وللمواد الرابطة تأثير كبير على سمك طبقات الأغشية والذي بدوره يؤثر تغييره على تغير التوزيع الحجمي للمسامية وبذلك يتحتمان بنفاذية الطبقات المتكونة. [٣٣]

S.G. Baray قام مع مجموعة من الباحثين في المعهد البحثي لمتالورجيا المساحيق Powder Metallurgy Research Institute, عام ١٩٩٨, بدراسة المرشحات السيراميكية وتقنية إنتاجها وذلك من خلال تطوير الخلايا السيراميكية الخلوية Ceramic Open-Cell Foams فتم الحصول على زيادة عالية بالمسامية, والنفاذية, وسيطرة كبيرة على قطر المسامية مع صلابة كبيرة وانخفاض في الكثافة. الجدول (١-٤) يوضح المواصفات التي تمتاز بها تلك المنتجات: [٣٤]

المجدول (١-٤) مواصفات المخلايا السيراميكية. [٣٤]

Property	Porosity (%)	Operating temp.(°C)	Pore Size (mm)	Permeability coef.(m ^٢)	Thickness (mm)
	٧٥-٩٠	Up to ١٥٥٠	٢٥٥-٧٦٥	١٠ ^{-٧} - ١٠ ^{-٩}	١٠-٢٥

شركة اكواسانا *aquasana*, في أيلول عام ٢٠٠٥, والتي تختص بتنقية مياه الشرب, ففي الدراسة الحديثة التي قامت بها عملت على تطوير بعض أنواع المرشحات السيراميكية التي لها القدرة على ترشيح البكتريا والأغشية الرقيقة والعوالق الدقيقة الموجودة في مياه الشرب. [٣٥]

بالإضافة إلى ما ورد أعلاه حول المرشحات السيراميكية فان هنالك أنواعا عديدة من المرشحات لا تعتمد على المواد السيراميكية في صناعتها, ففي ملتقى الجمعية الاوربية البلغارية للتقييس *Bulgarian and European Community Standards*, عام ١٩٩٦, قدمت دراسات اختصت بتنقية مياه الشرب, فقد قام عدد من الباحثين بدراسة جودة مياه الشرب والعمل على إنتاج مرشحات تعمل على تصفية مياه الشرب كما ويمكن استخدامها في الطب, و الصناعات الغذائية, والصناعات الدوائية, والصناعات الكيماوية, وهي على عدة أنواع منها: [٣٦]

١- Fibro Cartridge Filters: هذه المرشحات تصنع من ألياف البولستر Polyester مسندة إلى البولي بروبلين Polypropylene, أعطت نتائج جيدة في تنقية المياه في درجة حرارة أعلى من (٦٠ °C).

٢- Bacteriostatic Filters: تم تطوير هذا النوع من المرشحات من خلال الاحتفاظ بالخواص الميكانيكية للجزيئات, وتصحيح لقيم معامل التأكسد وتعمل على تقليل محتوى الحديد والمنغنيز, وتصنع مادة الترشيح من البوليمر والكاربون الفعال Activated Carbon معزز بالفضة Silver حيث توفر ظروف تشغيل عند درجة حرارة أعلى من (٦٠ °C).

٣- المرشحات الحقائبية Bag Filters: تصنع هذه المرشحات من ألياف البولستر Polyester بنسبة ١٠٠% وتكون على شكل شبكة مقاومة للصدمة الميكانيكية, وترتبط بحلقة من الفولاذ المقاوم للصدأ. لها قابلية ترشيح (١٠٠-١٠ μm).

٤- المرشحات الغشائية "NOVIS" Membrane Filters: تستعمل هذه المرشحات لتنقية وتعقيم الغازات والسوائل وخصوصا المياه. وتتميز بمقاومة حرارية وكيماوية عالية و المواد التي تدخل في صناعتها هي البولي أميد Polyamide و البولي سيلفون Polysulfon أما ظروف تشغيلها فتعمل بأقصى ضغط (٩ bars), وكما لها قابلية ترشيح (١-٠.٢٢ μm).

وبعد بيان بعض الدراسات التي تناولت دراسة وإنتاج المرشحات على اختلاف مواد تصنيعها، واختلاف الخواص التي توفرها، واختلاف تطبيقاتها فان هذه الدراسة تتناول إمكانية إنتاج مرشحات سيراميكية من مواد أولية محلية توفر بعض الخواص الفيزيائية والميكانيكية التي تثبتتها الاختبارات التي تم إجراؤها التي تجعل إمكانية استخدامها لترشيح الغازات أو السوائل بظروف محددة.

١-٨ الهدف من الدراسة :

ان هدف الدراسة هو إنتاج المرشحات السيراميكية من مواد متوفرة محليا هي (رمل سيليكيا و الكاؤولين و كاربونات الكالسيوم) لكي تعطي مجالا لاستخدامها كبداية للمرشحات الأخرى وذلك بعد توفر مجموعة من الخواص الفيزيائية والميكانيكية، والتي تبين صلاحيتها للغرض الذي أنتجت من اجله بكفاءة جيدة.

١-٢ المقدمة Introduction:

ان كفاءة المرشح السيراميكي Ceramic Filter تعتمد على جملة من العوامل أهمها: طبيعة الوسط المراد ترشيحه وفق مبدأ عملية الترشيح، إضافة إلى كيفية حصول التوافق ما بين حجم الفراغات المتولدة في المرشح ومقدار التليد الذي يصله المرشح السيراميكي. ان العوامل السابقة تعتمد بدورها على آلية تشكيل النموذج السيراميكي من حيث طريقة الكبس والضغط المسلط، بالإضافة إلى برنامج الحرق المتبع في عملية إنتاج المرشح السيراميكي. في ما يأتي سنتناول بشيء من الإيجاز بعض الأسس النظرية التي يعتمد عليها المرشح السيراميكي.

٢-٢ البنية المسامية Pore Structure:

المسامات Pores عبارة عن فراغات تكون موزعة داخل المادة بتجانس كبير أو قليل أو بالتناوب وعندئذ ستعرف المادة بالمادة المسامية Porous Material. هذه الفراغات قد تكون صغيرة جدا عند ذلك تدعى الفراغات الجزيئية Molecular Interstices أو تكون هذه الفراغات كبيرة جدا وبذلك تسمى التجاويف Cavities. والمسامات هي فراغات ذات حجم متوسط بين الاثنين ولا يمكن التوصل لتحديد حجمها. [٣٧]

توجد المسامات على نوعين: المسامات المفتوحة التي تكون مترابطة مع بعضها بواسطة قنوات أو شعيرات دقيقة، والمسامات المغلقة التي تكون عبارة عن فراغات معزولة داخل المادة. [٣٨]

أن الأجسام الصلدة ظاهريا تحوي على شقوق، فجوات، ثقوب، وصدوع خلال البنية وخاصة في الأجسام المشكلة بالكبس والحرق، بينما المسامات تنفذ باستقامة في المادة ويمكن أن تبدأ من أحد الجوانب

وتظهر في الجانب نفسه أو في الجانب الآخر أو ربما لا تظهر أبداً. ولكي نصف المسامية داخل الجسم ونعطيها الوصف أو النمط الهندسي المطلوب يمكن اعتبارها على شكل اسطوانة أي إنها فتحات اسطوانية ذات قطر محدد وطول متغير أو غير محدد. [٣٩]

للمسامات تأثير كبير على المواد السيراميكية وخاصة المواد المتعددة البلورات Polycrystals فهي تؤثر على الخواص الميكانيكية للجسم السيراميكي، ولذلك فإن توزيع المسامات في المادة وحجومها ومدى تغيرها سوف يغير من تلك الخواص ولكن وجودها يحسن بعض الخواص الأخرى للمادة كزيادة مقاومتها للصدمة الحرارية. [١٢]

الجسم المسامي يتكون بصورة منفصلة من حبيبات ناعمة أو خشنة أو على شكل خليط منهما والتي يمكن ان تكون غير متماسكة كما في الرمل أو مترابطة بواسطة الكبس أو عمليات السمنتة كالصخور الرملية. وتعتمد نسبة المسامات الموجودة على درجة الترابط أو الاندماج بين الحبيبات كما ان لشكل الحبيبات وترتيبها وتوزيعها الحجمي لها تأثير كبير على المسامية والمسامات.

اما الوسط المسامي فيتكون اثناء العمليات التجريبية على الاجسام المسامية ففي عمليات الترشيح يكون الوسط المسامي هو وسط الترشيح. ويعتمد الوسط المسامي بالدرجة الاولى على المسامات المفتوحة المتصلة والتي تمتد من جانب لآخر وبذلك يوفر المسارات المطلوبة لحصول الجريان، ويتأثر الوسط المسامي بخواص الجسم المسامي كما يعتمد على الخواص الفيزيائية التالية: [٤٠]

- ١- المسامية Porosity.
- ٢- النفاذية Permeability.
- ٣- المساحة السطحية النوعية Specific Surface Area.
- ٤- قطر المسامة Pore Size.

١-٢-٢ المسامية Porosity :

يمكن تعريف المسامية بانها الكسر الحجمي الظاهري من الجسم المسامي والتي من الممكن ان تكون قيمتها من الصفر كما في الصخور البركانية، او تصل الى ان تشغل معظم الجسم كما في العوازل والمرشحات. وتؤثر عليها العديد من المتغيرات كشكل وحجم الحبيبات، التوزيع الحجمي للحبيبات، ودرجة الترابط بين الحبيبات. فزيادة الحبيبات الناعمة نسبة الى الحبيبات الكبيرة تقلل المسامية وذلك لانها تحتل الفراغات بين الحبيبات الخشنة وبالتالي ستقلل من المواد المترشحة. زيادة درجة الاندماج او الارتباط بين الحبيبات يقلل من الفراغات و المسامات، واذ ما فرض ان هذه المتغيرات ثابتة فان شكل الحبيبة الكروي سواء كان منتظم ام غير منتظم هو الذي سيؤثر على المسامية وليس نصف قطر الكرة (الحبيبة).

هناك العديد من طرق قياس المسامية منها طرق مباشرة تعتمد على حساب الحجم واخرى غير مباشرة تعتمد على قياس بعض الخواص البصرية للفراغات. ومن احدى طرق قياس المسامية المباشرة هي طريقة الامتصاص التي تعتمد على قاعدة ارخميدس والتي احيانا تسمى باسمه، حيث بعد غمر

النموذج بسائل مبلل يترك لفترة ليتمص من قبل النموذج و بحساب وزنه قبل وبعد الامتصاص وحساب كمية السائل المزاح الذي يمثل الحجم الظاهري للنموذج يمكن معرفة مقدار المسامية. [٤٠, ٤١]

٢-٢-٢ النفاذية Permeability :

تدل النفاذية على موصلية الوسط المسامي بدلالة الاختراق (التغلغل) للمائع خلال الجسم المسامي وتكون النفاذية مفيدة ضمن حدود معينة لذلك الجسم, و النفاذية لاتعتمد على خواص المائع النافذ او آلية النفوذ بالجسم بل تعتمد اساسا على خواص البنية المسامية. والنفاذية هي قيمة كمية تخضع لقانون Darcy: [٤٠]

$$Q = - (KA/\mu) (P \Delta/L) \dots\dots (٢-١)$$

حيث ان:

Q: معدل الجريان الحجمي (cm^٣/sec).

K: ثابت.

A: مساحة المقطع للنموذج (cm^٢).

L: طول النموذج باتجاه الجريان (cm).

ΔP: الضغط المولد للجريان (atm).

μ: لزوجة المائع (CP).

ووحدة قياسها هي الوحدة الجزيئية darcy والتي هي نفاذية المادة المسامية المساوية الى (١ darcy) عندما الضغط الثابت (١ atm) مما ينتج معدل جريان المائع (١ cm^٣/sec) الذي لزوجته (١ CP) خلال مكعب طول احد اضلاعه (١ cm), حيث ينتج:

$$١ \text{ darcy} = (١ \text{ cm}^٣/\text{sec}) * ١ \text{ (CP)} / (١ \text{ cm}^٢) * ١ \text{ (atm/cm)} \dots\dots (٢-٢)$$

تعتمد طرق قياس النفاذية عادة على الضغط المسلط, فمنها يعتمد على الضغط الثابت الذي يسלט على وجه واحد من النموذج, واخرى تعتمد على الضغط المتغير المسلط على وجهي النموذج مما يؤدي الى انخفاض تدريجي بمعدل الجريان خلال النموذج, وهذه الطرق تفترض ان الوسط موحد الخواص والنماذج اسطوانية الشكل وسواء كان الجريان افقيا ام عموديا خلال النموذج.

ويجب الاخذ بنظر الاعتبار السوائل والغازات النافذة التي يمكن ان تغير من بنية المسامية والتي تؤثر على الخواص الفيزيائية الاخرى كقطر المسامية حيث بعض المترسبات من الموائع النافذة قد تلتصق بجدران المسامية وبالتالي تقلل القطر او قد تسد القنوات المفتوحة بين المسامات وذلك سيقلل من المسامية , او ربما حصول اعادة ترتيب لبعض الجزيئات, او قد يحصل انتفاخ للمسامات كما في الاطيان, او حصول التفاعلات الكيميائية بين المائع والوسط المسامي جميعها ستؤثر على خواص الوسط المسامي. [٤٠]

٣-٢-٢ المساحة السطحية النوعية Specific Surface Area :

المساحة السطحية النوعية للمادة المسامية يمكن تعريفها بانها المساحة المخترقة بالفجوات والمسامات في وحدة الكتلة او في وحدة الحجم الظاهري, والمساحة السطحية النوعية تشمل الجزء الصلب من الجسم المسامي. المساحة السطحية الفعالة لها اساس في العديد من التطبيقات المختلفة التي تعتمد على الوسط المسامي فهي تعتبر مقياسا لقدرة الامتصاصية في صناعات الامتزاز المختلفة Various Industrial Adsorbents , المرشحات Filters, وهي تشير ايضا لموصلية المائع او النفاذية بالوسط المسامي. الطرق الاساسية لايجادها تكون بواسطة الامتصاص او الطرق البصرية كما ان حساب المسامية و النفاذية تعطي تصورا عن المساحة النوعية للنموذج. [٤٠]

٤-٢-٢ حجم المسامية Pore Size :

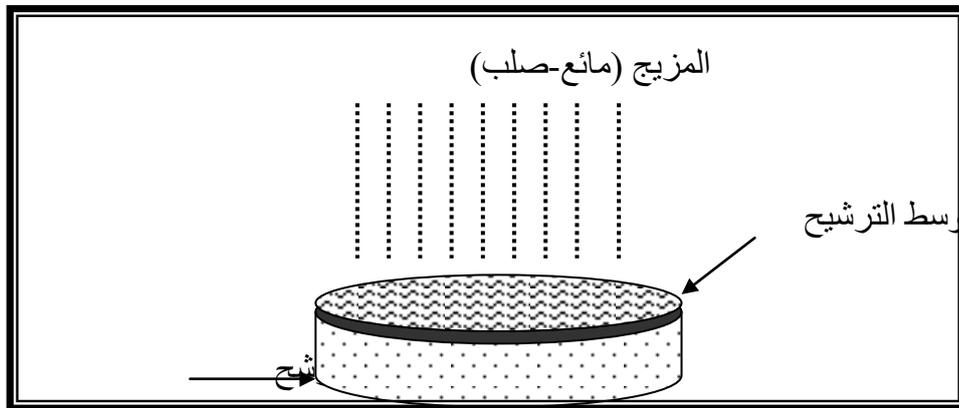
لا يوجد تعريف او وصف شامل لحجم او قطر المسامية فكل طرق ايجاده تعتمد على شكل المسامية والذي يكون اكثر ملائمة من طرق القياس الكمية التجريبية. وبعد التوزيع الحجمي للمسامات دالة للكثافة المتوقعة حسب حجم المسامية المتكونة, ويتأثر التوزيع الحجمي المسامي بالتوزيع الحجمي الجزيئي (التوزيع الحجمي للجسيمات) الذي يكون عادة مشابها له, ونوعية المسامات فقطر المسامية بحسب للمسامات المفتوحة المتصلة, وبمقدار موصلية او نفاذية الوسط المسامي. [٤٠]

قطر المسامية يحدد حجم الجسيمات التي يمكن فصلها بواسطة الوسط المسامي, والذي يمكن ان يتغير اثناء عملية الفصل للجسيمات نتيجة ترسب الجسيمات الناعمة الموجودة بالمزيج (مائع-جسيمات) اما تعيين قطر المسامية للجسم المسامي فيكون باشكل متعددة فاما يكون متوسطا لاقطار المسامات, او يأخذ اكبر قطر للمسامة ويعتبر دالة لبقية اقطار المسامات الموجودة في الوسط المسامي نفسه.

طرق قياس قطر او حجم المسامة عديدة منها: كمية واخرى طرق بصرية, فالطرق الحسابية او الكمية عادة تستخدم في حساب الاقطار الكبيرة نسبيا اما الاقطار الصغيرة جدا فيفضل استخدام الطرق البصرية. ومن الطرق الكمية استخدام المقياس الزئبقي التداخلي, استخدام طريقة الامتزاز, وطريقة قياس الضغط اللازم لتوليد اول فقاعة هواء على سطح الوسط المسامي نتيجة تسليط ضغط هواء من الوجه الاخر للوسط. [٤٠]

٣-٢ الترشيح Filtration :

إن مرور المائع خلال نموذج مسامي هو ما يحدث أثناء عملية ترشيح الموائع. إذ إن عملية الترشيح هي فصل الجزيئات الصلبة من المزيج (مائع - جسيمات) المار خلال الغشاء الفاصل (الغشاء المنفذ) والذي يعمل على فصل معظم الجزيئات الصلبة عن المائع عندئذ يحصل الترشيح. الغشاء الفاصل يدعى وسط الترشيح Filter Media, وان الجسم المجهز بالفراغات المطلوبة لفصل تراكمات الجسيمات الصلبة يدعى المرشح (الفلتر Filter) كما هو موضح بالشكل (١-٢). إن عملية الترشيح أو الفلترة يمكن إجراؤها لمائع سواء كان غازا أم سائلا وسواء كانت الجزيئات الصلبة خشنة أم ناعمة جدا أو إن تركيزها في ذلك المائع واطئ أو عالي قد يصل إلى أكثر من (٥٠٪). كما يمكن التعبير عن الترشيح بأنه عملية تصفية أو تنقية أو إعادة تنظيف للمائع من الجزيئات الحرة. ومن الضروري معرفة إن عملية الترشيح لا يمكن أن تتم بصورة كاملة أي لا يحصل فصل للجزيئات عن المائع بنسبة (١٠٠٪) بل إن هناك جزيئات تبقى في المائع. [٢٥]



شكل (٢-١) بالمرشح ووسط الترشيح

١-٣-٢ آلية الترشيح Mechanism Of Filtration:

هناك آليتان توضحان عملية الترشيح:

١- آلية تراكم الجسيمات الصلبة امام وسط الترشيح.

٢- آلية الاحتجاز للجسيمات داخل الوسائد المسامية العميقة.

الالية الاولى تبدأ بعد تكون المرشح الترسيبي Cake Filter والتي فتعتمد التحليل الكمي, وتزداد سمك طبقة الترشيح الترسيبي Cake Filtration بمرور الزمن نتيجة التراكم الطبقي للجسيمات الصلبة الى ان تصل الى سمك معين وعند ذلك سيتوقف نمو السمك. اما آلية الترشيح الثانية تعتمد على انسياب المزيج (السائل- الجسيمات) خلال الوسط المسامي.

هناك نوعان من وسائط الترشيح: الترشيح الميكانيكي Mechanical Filtration ويستخدم لفصل الجسيمات اكبر من ($30\ \mu\text{m}$), والترشيح الفيزيوكيميائي Physicochemical Filtration تستخدم لفصل الجسيمات التي تصل الى ($1\ \mu\text{m}$), اما الجسيمات التي تقع بين هذه الحدود فيمكن استخدام كلا الوسيطين.

عندما يمر المزيج (المائع- جسيمات) خلال الوسط المسامي (وسط الترشيح) سوف تنفصل الجسيمات عن المائع وتترسب وتحتجز على السطح وتتجمع لتكون Cake Filter, اما الجسيمات الناعمة الاخرى فأنها ستمر عبر المجرى المتكون من القنوات المسامية المتصلة الى الخارج, كما ان بعض الجسيمات المترسبة او المحتجزة يمكن ان تتكسر وتنفذ عبر المجرى. [٤٠]

هناك عدة نظريات تفسر آلية الترشيح ولكن من اكثر النظريات التي يمكن ان توضح آلية الترشيح هي النظرية التي تفترض: [٤٢]

١- ان المقاومة للجسيمات الصلبة لا تأتي فقط من وسط الترشيح بل من التجاذب بين وسط الترشيح والمرشح الترسيبي Cake Filter والذي يحدث في بداية عملية الترشيح.

٢- الجسيمات الصلبة الناعمة سوف تمر وتتغلغل عبر المرشح الترسيبي Cake Filter .

يختلف بداية الترشيح الترسيبي Cake Filtration عن بقية عملية الترشيح وذلك لانه يعتمد على التجاذب بين الجسيمات الصلبة في المزيج ووسط الترشيح. وتفترض هذه النظرية ان وسط الترشيح يكون متجانسا وبالتالي يكون معدل الجريان منتظما. اما اذا فرض ان وسط الترشيح غير متجانس فسيكون هناك سد للمسامات بواسطة الجسيمات الكبيرة وبالتدرج فان معدل الجريان سيكون متغير وبذلك سيكون هناك اختلاف كبير على سطح المرشح وهذا سيؤثر في انتظامية المرشح الترسيبي Cake Filter .

خلال عملية الترشيح لا تكون نفاذية وسط الترشيح ثابتة, لان بعض الجسيمات ستنفذ خلال المسامة وبعض الجسيمات الكبيرة نسبيا ستغطي المسامة المفتوحة, كما ان الجسيمات الناعمة التي ستنفذ سوف تلتصق بجدران المسامة وبالتالي تقلل من قطر المسامة.

هناك نظرية اخرى تعتمد على تغير الضغط المسلط على وسط الترشيح والمرشح الترسيبي Cake Filter, فحدوث عملية الترشيح تتطلب قوة دافعة لحصول الترشيح في كلا وسطي الترشيح. في المرشح الضغطي, والضغط الخارج المسلط يسبب حصول الجريان خلال وسط الترشيح, وجزء من الضغط يسبب تكون طبقات مترسبة من الجسيمات خلال مرور المزيج فتكون المرشح الترسيبي Cake Filter. وبذلك الضغط الخارجي سيهبط خارج وسطي الترشيح مما يسبب انسياب السائل خلال مسامات هذين الواسطين. والانخفاض الكلي في الضغط (P) يمثل مجموع انخفاض الضغط في المرشح الترسيبي (ΔP_c) ووسط الترشيح (ΔP_m) كما في المعادلة التالية: [٤١]

$$P = \Delta P_m + \Delta P_c \quad \dots\dots (٢-٣)$$

الجريان خلال وسطي الترشيح يمكن وصفه بقانون Darcy الذي يمكن ان يكتب بالصيغة التالية:

$$dP/dX = \mu q/k \quad \dots\dots (٢-٤)$$

حيث ان:

dP/dX : تغير الضغط.

k : عامل التناسب (في حالة ان النفاذية تعتمد على بنية الوسط المسامي).

وبعد تكامل المعادلة (٢-٤) ينتج:

$$P = \frac{\Delta P_c}{c} + \frac{\Delta P_m}{m} \mu (L_m/k_m + L_c/k_c) q \quad \dots\dots (٢-٥)$$

حيث ان:

L_m : سمك وسط الترشيح (mm).

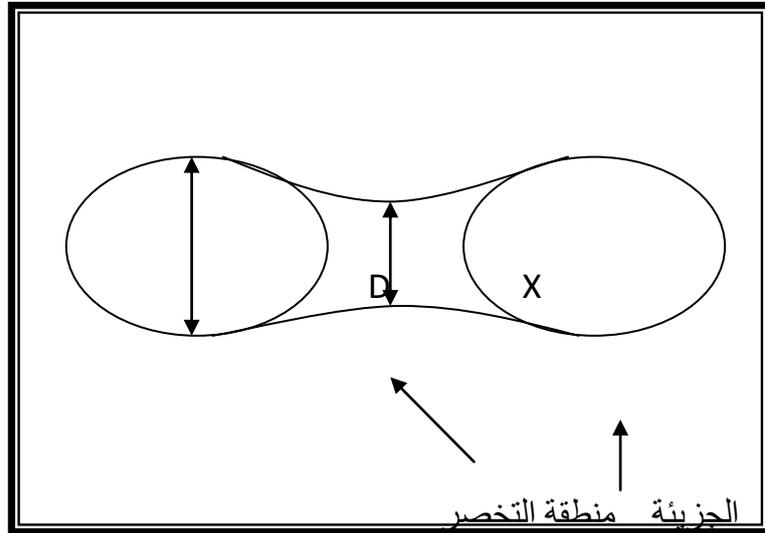
L_c : سمك المرشح الترسيبي (mm).

٥-٢ تلييد السيراميك Sintering of Ceramics:

تعد عملية التلييد من العمليات الواسعة الاستخدام في تصنيع المنتجات الصناعية وخاصة عند إنتاج المنتجات السيراميكية. بعد إعداد المكبوس السيراميكي يتم حرقه بدرجات الحرارة المختلفة وبظروف حرق محددة تعطي الخواص المطلوب توفرها في البنية المجهرية. فبعد التخلص من السوائل المتبقية يحرق المكبوس في درجة حرارة بين (٠.٧ - ٠.٥) من درجة حرارة انصهار المادة التي تحدد درجة حرارة تلييدها. [٢٤, ٤٣]

تتدرج عملية تلييد الجسم السيراميكي من خلال ارتفاع درجات حرارة الحرق ولذا تم تقسيم عملية التلييد لثلاثة مراحل رئيسية: المرحلة الابتدائية Initial Stage, المرحلة الوسطية Intermediate Stage, و المرحلة النهائية Finial Stage. [٤٤]

المرحلة الابتدائية Initial Stage الموضحة في الشكل (٢-٣-ب) تزداد فيها مساحة الاتصال بين جزيئات المسحوق الداخلية مما يؤدي إلى زيادة الارتباط الجزيئي الذي يقود إلى حدوث نمو منطقة التخصر Neck Growth وعندئذ يبدأ تشكيل الجزيئات في منطقة التخصر ويستمر النمو حتى تصل نسبة حجم التخصر (X/D) إلى (٠.٣) حيث X هو قطر الجزيئة الداخلية عند منطقة التخصر أما D فيمثل قطر جزيئة المادة. كما موضح في الشكل (٢-٢). أما الحدود الحبيبية فإنها تتشكل عندما تقل المساحة السطحية وبالتالي ستقل طاقة الحبيبات السطحية. هذه المرحلة يستدل عليها من خلال وجود المسامات المفتوحة المتصلة بقنوات من دون التغيير في عدد المسامات ويجب الإشارة إلى انه في هذه المرحلة لا يحدث نمو للحبيبات.

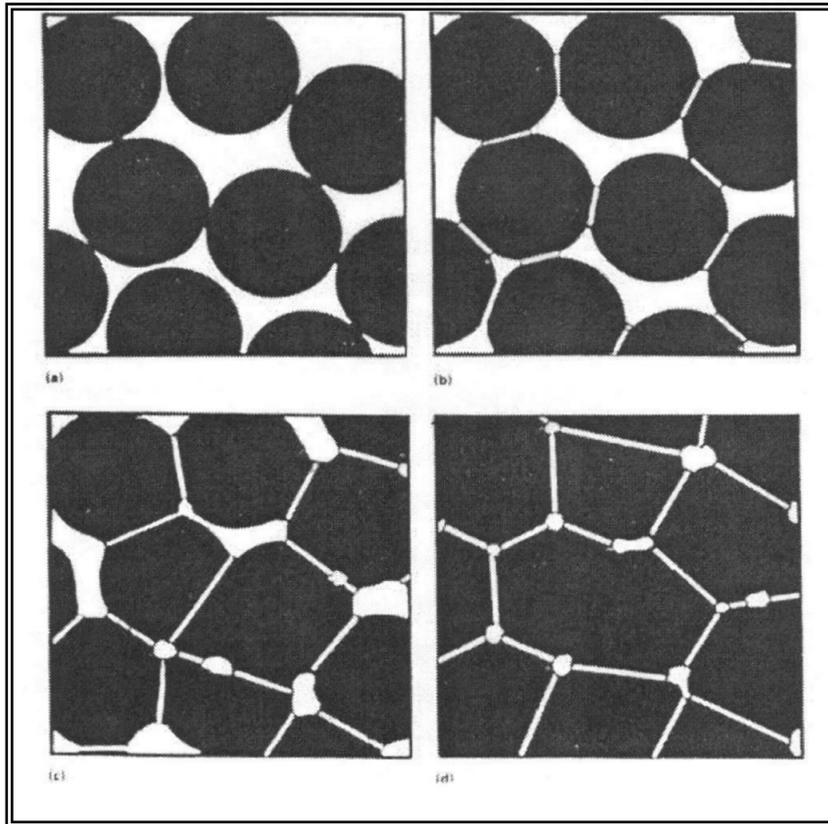


شكل (٢-٢) يبين النسبة بين أبعاد الجزيئة.

أما في المرحلة الوسطية Intermediate Stage الموضحة في الشكل (٢-٣-ج) تظهر في البنية المجهرية مسامات ذات قنوات متصلة خارج حدود (حبيبية-مسامة), وفي هذه المرحلة يبدأ النمو للحبيبي, الذي يستمر مع انخفاض عدد المسامات في وحدة الحجم بسبب الانكماش الكبير للمسامات المفتوحة. أما معدل التكتيف Densification Rate فيكون عاليا وذلك بسبب آلية التكتيف Densification

Mechanism التي تكون هي الآلية السائدة في هذه المرحلة. أما المرحلة النهائية Finial Stage الموضحة في الشكل (٢-٣-d) فتبدأ عندما يحصل كسر في شبكة المسامات مما ينتج مسامات معزولة منفردة ونتيجة ذلك يتحول شكل المسامة من اسطوانة إلى كرة. وتتماز هذه المرحلة باستمرار التكتيف بواسطة آلية انتشار الفراغات أو انسياب الفراغ Vacancy Flow نتيجة نمو الحبيبات المتصلة وزيادة انكماش المسامة, وكما ان زيادة النمو الحبيبي يقلل معدل التليد, ويسمح للحدود الحبيبية بالتحرك باتجاه مركز تقوسها مما يؤدي إلى اختلاف الطاقة الحرة للمادة على جانبي الحدود الحبيبية. الشكل (٢-٣) يبين المراحل الثلاثة للتليد. [٤٣]

ان معدل الانكماش Shrinkage Rate للجزيئات الداخلية يكون بطيئا جدا مقارنة مع انكماش المسامة التي تقع على حدودها, وكما ان وجود الجزيئات الكبيرة يقلل من معدل التكتيف. [٤٥]



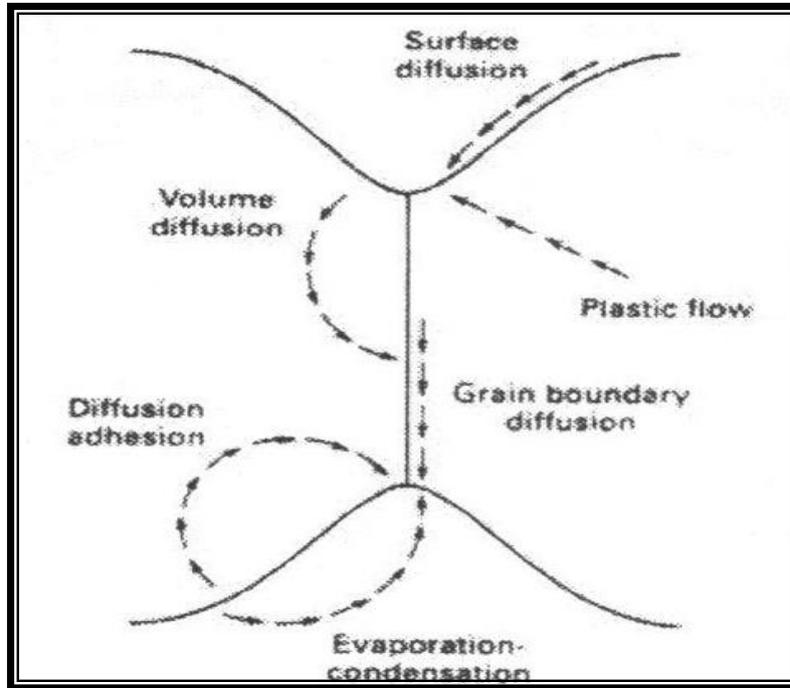
شكل (٢-٣) مراحل التلبيد الثلاثة (a- الجزيئات قبل بدء المرحلة الأولى, b- المرحلة الابتدائية, c- المرحلة الوسطية, d- المرحلة النهائية). [٤٣]

١-٤-٢ آلية التلبيد Mechanism of Sintering

القوة الدافعة الرئيسية في التلبيد هي من خلال تقليل المساحة السطحية و الطاقة السطحية وذلك بواسطة الطاقة المتولدة بين الجسيمات الصلبة التي تدعى طاقة (صلب - صلب) المنخفضة مقارنة بالطاقة المعروفة بطاقة (صلب - بخار) العالية نسبيا. [٤٦]

ان الذرات أو الأطوار الموجودة في البنية المجهرية تكون صغيرة وغير منتظمة وذات تذبذب عال حول موقع اتزانها و ذات سعة اهتزازية صغيرة, ولكن بعض الذرات يمكن ان تكتسب طاقة كامنة بحيث تصبح سعة تذبذبها اكبر وبذا ستتمكن الذرة من تغيير موقع اتزانها المعتاد مما يمكن الذرة من القفز من موقع لأخر مولدة آلية ذرية أساسية للانتشار. أما انتقال الكتلة فيحدث في درجات الحرارة المرتفعة والتي تكون اقل من درجة حرارة الانصهار. [٤٩]

الشكل (٢-٤) يظهر آلية انتقال الكتلة خلال مراحل التلبيد, موضحا ان مساحة التقوس الكبيرة في نقطة الاتصال بين الجزيئين تبدو مستوية من الخارج وذلك بسبب انتقال الكتلة خلال المساحة والتي تجعل الجزيئات تقترب اكثر من بعضها البعض وذلك بانتقال الكتلة لمنطقة التخصر بين الجزيئات. [٤٣]



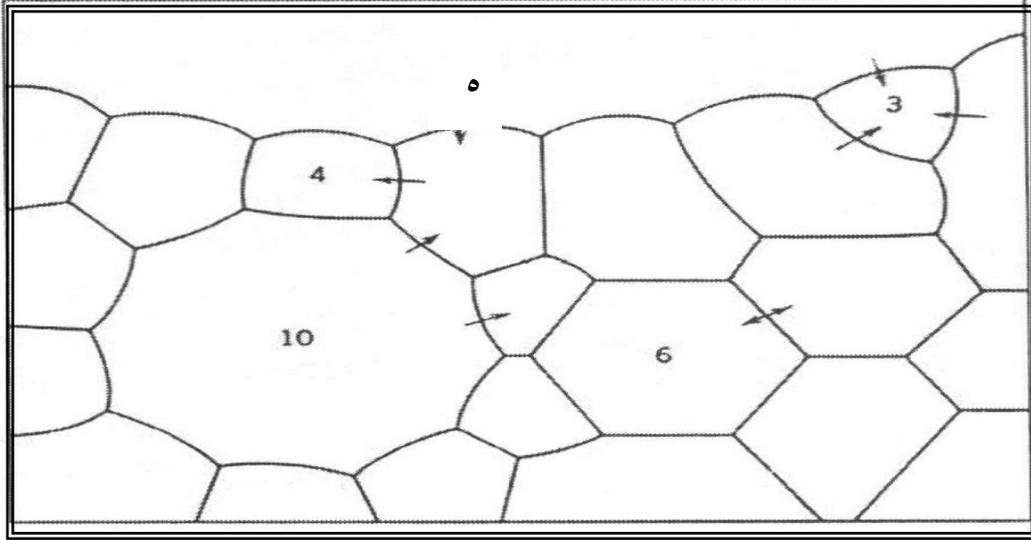
شكل (٢-٤) مساهمات انسياب الكتلة في منطقة التخصر لجزيئين خلال التلييد. [٤٣]

هنالك العديد من آليات الانتشار التي تقود إلى حدوث التكتيف للجسم وهذه الآليات هي الانتشار الحجمي (الشبكي) Volume (Lattice) Diffusion وهو حركة الذرات خلال وحدة الحجم الكتلي Bulk Volume, انتشار الحدود الحبيبية Grain Boundaries Diffusion فهو حركة الذرات خلال الحدود الحبيبية, الانتشار السطحي Surfaced Diffusion فهو حركة الذرات على سطح الحبيبة, أما انسياب اللزوجة Viscous flow فيحدث فيه الانتشار خلال الطور السائل, والية التبخير- التكتيف Evaporation-Condensation فهو انتشار البخار الذي يحدث في الطور الغازي. ان انتشار السطح, و التبخير – التكتيف آليتان لا تقود لحدوث التكتيف لكنها تساهمان فقط في انكماش المسامة وزيادة التماسك بين الحبيبات بواسطة زيادة الارتباط بينها. الجدول (٢-١) يوضح الآليات التي تقود إلى التكتيف. [٤٣, ٤٧]

ان نمو الحبيبات أو انكماشها يتحدد بعدد السطوح البينية لتلك الحبيبة مع الحبيبات الأخرى فإذا فرض ان كل الحدود الحبيبية متساوية في الطاقة فإنها تلتقي عند الزاوية (١٢٠°) ولذا فان اتجاها الحبيبة تحتاجان ستة جوانب أو ستة وجوه من الحبيبات المجاورة لها والتي تكون عادة منحنية وبسبب اختلاف الجهد الموقعي Local Potential الناتج من الانحناء فان الحدود الحبيبية تتحرك باتجاه مركز التقوس كما مبين في الشكل (٢-٥). [٤٣]

جدول (٢-١) يشير إلى آليات انتقال الكتلة أثناء التلييد. [٤٣]

آليات الانتشار	
لا تحدث	انتشار السطح
لا تحدث	التبخير – التكتيف
تحدث	انتشار الحد الحبيبي
تحدث	الانتشار الحجمي (الشبكي)
تحدث	انسياب اللزوجة



شكل (٢-٥) تحريك الجزيئة والمحدود المحيية

٣-١ المقدمة Introduction :

لإنتاج المرشحات السيراميكية Ceramic Filters من مواد أولية محلية تم اتباع اربعة مراحل عمل رئيسية :

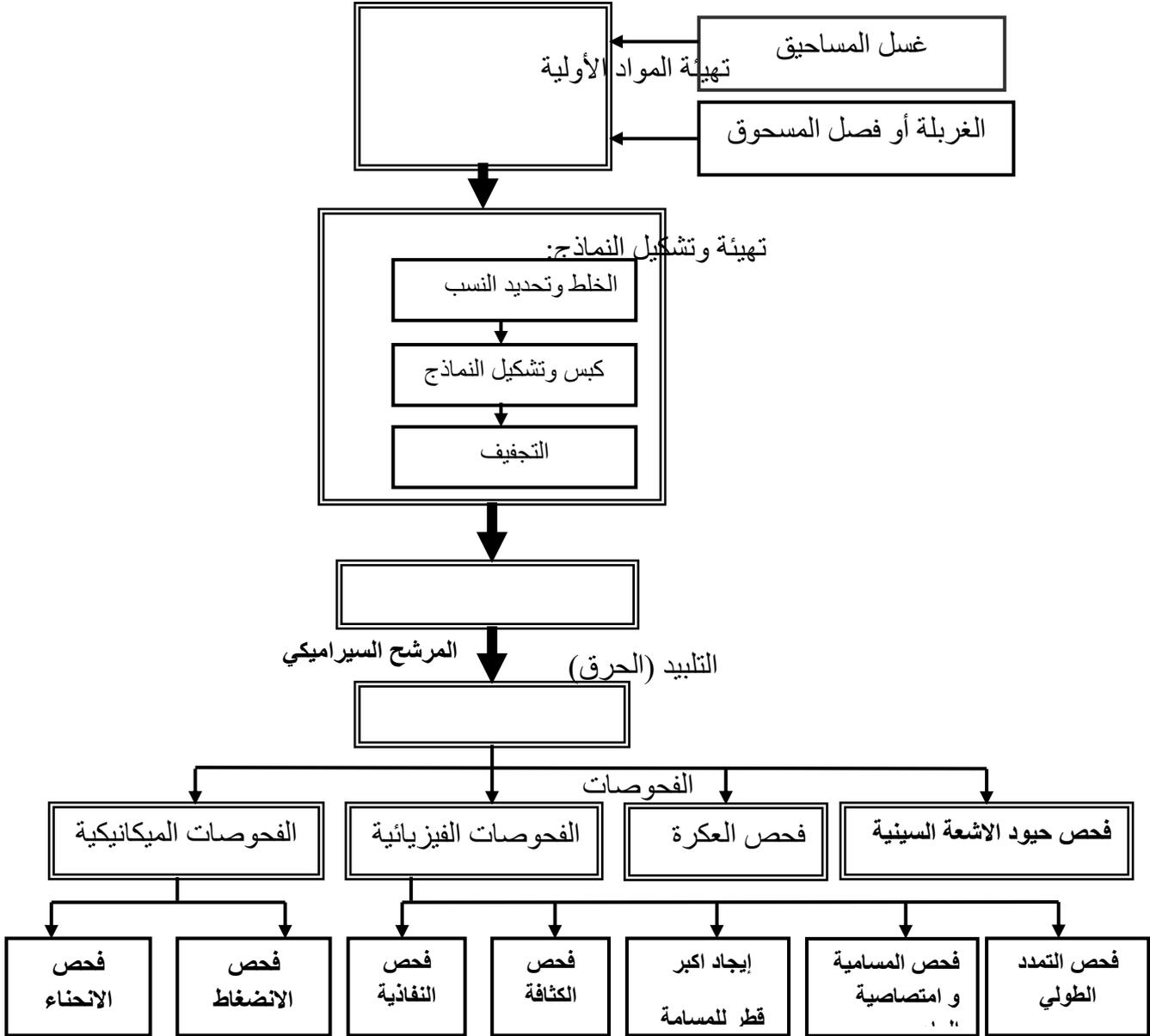
أولاً:- تهيئة المواد الأولية.

ثانياً:- تهيئة و تشكيل النماذج.

ثالثا:- برنامج الحرق.

رابعا:- إجراء الفحوصات والاختبارات اللازمة.

وهذه المراحل موضحة بالمخطط المبين بالشكل (٣-١).



شكل (٣-١) يوضح مراحل العمل

٣-٢ المواد الأولية Raw Materials :

تم استخدام ثلاث مواد أولية في هذه الدراسة لإنتاج مرشح سيراميكي وهي كالاتي:

٣-٢-١ السيليكا (SiO₂):

استخدمت رمال السيليكا المنتشرة في منطقة الصحراء الغربية وبالتحديد من مقلع ام أرضمة Um Urdhuma. وأجريت عليها تحليلا كيميائيا لمعرفة نسبة السيليكا والشوائب الموجودة فيه بواسطة التحليل الكيميائي Chemical Analysis بطريقة Volumetric Method حيث تم إجراء هذا الفحص في مختبرات الشركة العامة للمسح الجيولوجي والتعدين من اجل معرفة نسب المكونات الرئيسية والشوائب المتبقية كما مبين بالجدول (١-٣).

جدول (١-٣) نتائج التحليل الكيميائي للسيليكا

Total	L.O.I	K ₂ O	Al ₂ O ₃	SiO ₂	ألا وكسيد
١٠٠	١.١٨	٠.١٧	٠.٣١	٩٨.٣٤	%

٣-٢-٢ الكاؤولين (Al₂Si₂O₇(OH)₄):

مادة متوفرة بشكل شاسع في العراق وخاصة في الصحراء الغربية. ان الكاؤولين المستخدم هو من دويخلة والجدول (٢-٣) يبين التحليل الكيميائي للكاؤولين والذي اجري بطريقة Volumetric method في مختبرات الشركة العامة للمسح الجيولوجي والتعدين من اجل معرفة نسب المكونات الرئيسية والشوائب المتبقية.

جدول (٢-٣) نتائج التحليل الكيميائي للكاؤولين

Total	L.O.I	K ₂ O	Na ₂ O	MgO	CaO	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	SiO ₂	ألاوكسيد
١٠٠	١٢.٩٤	٠.٣٤	٠.٣	٠.٣٤	٠.٩٦	١.٢	٠.٨٣	٣٤.٤١	٤٦.٦٦	%

٣-٢-٣ كاربونات الكالسيوم (CaCO₃):

مادة كاربونات الكالسيوم المستخدمة في البحث هي مادة مختبرية نقية بلغت نقاوتها (٩٩.٦ %) حسب مواصفات شركة (Art ٢٠٦٩ / USA).

٣-٣ مرحلة تهيئة المواد الأولية:

تتضمن هذه المرحلة تهيئة المواد الأولية الداخلة في تركيب المرشح السيراميكي (السيليكات, الكاؤولين, كاربونات الكالسيوم) وفي ما يلي توضيح لكيفية تحضير تلك المواد وتهيئتها:

١- غسل المساحيق.

٢- الغربلة أو فصل المسحوق.

١-٣-٣ غسل المساحيق : Washing the Powders

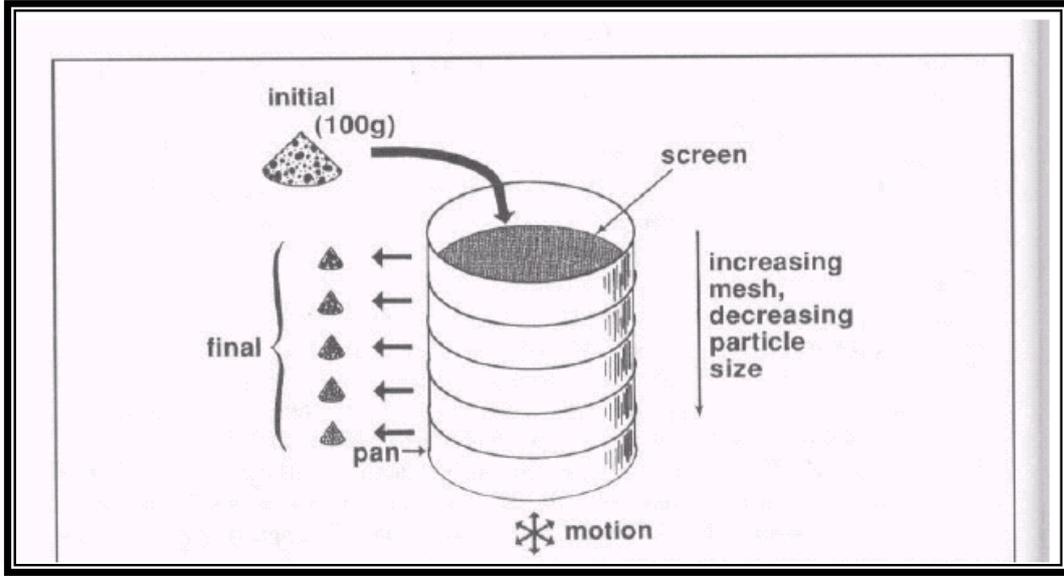
من اجل ضمان خلو السيليكات و الكاؤولين من الأملاح والعوالق الأخرى تم غسلهما وذلك بوضعها في حوض مناسب مع كمية كافية من الماء مع تحريك المزيج جيدا ثم يترك لفترة كافية لتترسب المساحيق في أسفل الحوض وبعدها يزال الماء مع الرغوة المتكونة (الحاوية على العوالق) وتكرر العملية عدة مرات ثم غسلت للمرة الأخيرة باستخدام الماء المقطر ثم جففت بفرن التجفيف عند درجة (110°C) ولمدة (٢٤ ساعة) بعدها تم طحنها باستخدام الطاحونة الدوارة ذات الكرات السيراميكية Ball Mill.

٢-٣-٣ الغربلة أو فصل المسحوق : Sieving

ان عملية تحديد حجم الجسيمات تمت لمادة السيليكات المستخدمة في البحث حيث تم اختيار عدة حجوم حبيبية مختلفة وذلك باستخدام طريقة الغربلة Sieving باستخدام مناخل (غرابيل) مختلفة الفتحات كما هي موضحة بالشكل (٢-٣), أما حجم الجسيمات فتم اختيارها بعد اجراء تجارب اولية عديدة والحجوم المختارة في هذه الدراسة مبينة في الجدول (٣-٣).

جدول (٣-٣) حجم الجسيمات المختارة

Mesh	Size opening (μm)
١٠٠	١٥٠
١٢٠	١٢٥
١٤٠	١٠٠
٢٠٠	٧٥
٢٧٠	٥٠



شكل (٣-٢) عملية فصل المسحوق

٣-٤ مرحلة تهيئة وتشكيل النماذج:

في هذه المرحلة هنالك ثلاث خطوات يجب اتباعها من اجل إعطاء النموذج الشكل النهائي:

١- خلط المساحيق.

٢- كبس أو تشكيل النماذج .

٣- التجفيف.

٣-٤-١ خلط المساحيق Mixing the Powders:

عملية خلط المساحيق تقسم إلى قسمين:

١- تحضير و خلط المادة الرابطة Binder.

٢- خلط المادة الرابطة مع السيليكات.

٣-٤-١-١ تحضير و خلط المادة الرابطة:

تم تحضير المادة الرابطة من خلط الكاؤولين مع كاربونات الكالسيوم حسب النسب المبينة أدناه وذلك باستخدام الخلاط الكهربائي ولمدة خمس ساعات.



٣-٤-١-٢ خلط المادة الرابطة مع السيليكا:

بعد إعداد المادة الرابطة حضرت الخلطات المستخدمة في البحث حيث تم اختيار ثلاث نسب مئوية من السيليكا لتخلط مع المادة الرابطة للحصول على الخلطة النهائية التي تكون المادة التي سينتج منها المرشح السيراميكي والجدول (٣-٤) يشير إلى نسب الخلط المستخدمة. إن جميع النسب المقترحة تمت على الحجم الجسيمات الخمسة المختارة مسبقا كما إن عملية الخلط حصلت بواسطة الخلاط الكهربائي ولمدة خمس ساعات.

جدول (٣-٤) نسب الخلطات الداخلة في تشكيل المرشح السيراميكي

ت	السيليكا (%)	المادة الرابطة (%)	حجم الجسيمات SiO_2 (μm)	عدد الخلطات	مجموع النماذج
a	٣٥	٦٥	١٥٠, ١٢٥, ١٠٠, ٧٥, ٥٠	٥	٢٥
b	٥٠	٥٠	١٥٠, ١٢٥, ١٠٠, ٧٥, ٥٠	٥	٢٥
c	٦٥	٣٥	١٥٠, ١٢٥, ١٠٠, ٧٥, ٥٠	٥	٢٥

٣-٤-٢ كبس النماذج Compacting the Samples:

فقد تم استخدام طريقة الكبس شبه الجاف باتجاه واحد من الأعلى وذلك باستخدام المكبس اليدوي المبين بالشكل (٣-٣) قبل الكبس يضاف مادة البولي فينيل الكحولي (P.V.A) {بنسبة ٢% من P.V.A} , أما وزن العينة و شكل القالب و أبعاده و مقدار الحمل المستخدم فيعتمد على الخاصية المراد دراستها كما موضح في الجدول (٣-٥) و تم استعمال ثلاثة أشكال من القوالب الفولاذية كما تظهر في الشكل (٣-٤).

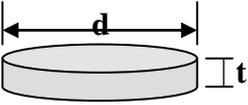
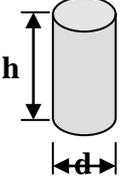
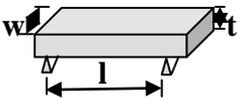
٣-٤-٣ التجفيف Drying :

بعد ان تأخذ النماذج الشكل النهائي تكون الخطوة التالية هي التجفيف للعينات من اجل إزالة الماء والرطوبة لكي تكتسب النماذج بعض الصلابة وتم التجفيف بفرن التجفيف بدرجة حرارة (C ١١٠ °) ولمدة ٢٤ ساعة.

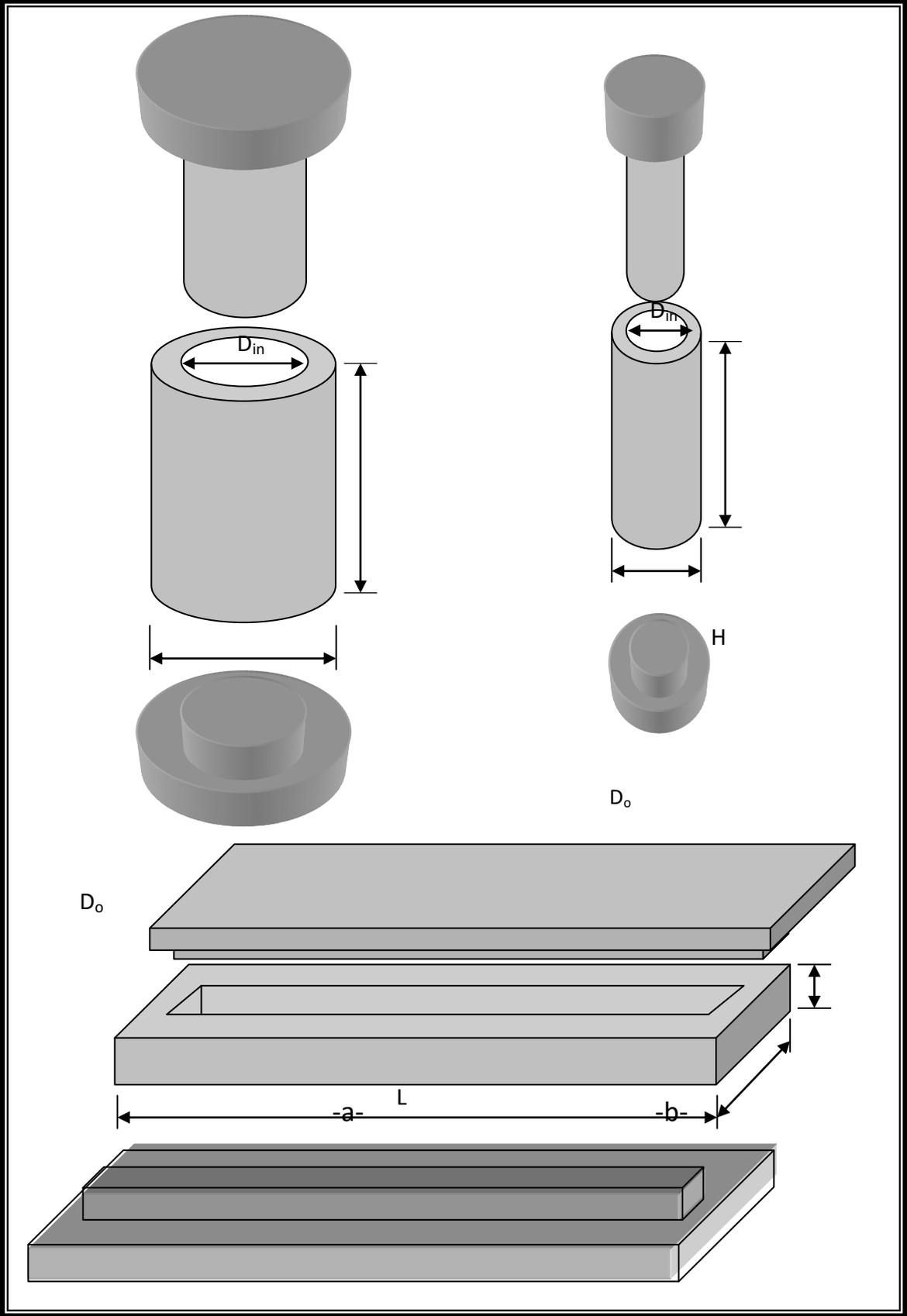


شكل (٣-٣) المكبس اليدوي

جدول (٣-٥) القوالب الفولاذية وأوزان العينات والضغط المستخدمة

الحمل المستخدم (ton)	وزن العينة (g)	شكل النموذج	أبعاد النموذج (mm)	أبعاد القالب (mm)	الخاصية	ت
٢	٦		$d = 30$ $t = 2$	$D_o = 50$ $D_{in} = 30$ $H = 70$	الخواص الفيزيائية (المسامية, الكثافة, النفاذية, ..)	a
٠.٢٢٥	٣		$d = 10$ $h = 20$	$D_o = 20$ $D_{in} = 10$ $H = 50$	خاصية الانضغاط	b
٨.١٢٥	٦٠		$l = 115$ $w = 25$ $t = 12.5$	$L = 130$ $W = 50$ $T = 25$	خاصية الانحناء	c

التسلسل (a,b,c) الموجود في الجدول يشير إلى الشكل (٤-٣).



T

W

- C -

شكل (٣-٤) أشكال القوالب الفولاذية

٣-٥ الحرق Firing :

الخطوة الأخيرة لإنتاج المرشح السيراميكي هي الحرق أو التليد حيث تمت عملية التليد للنماذج المعدة سابقا بثلاث درجات حرارية مختلفة لجميع نسب الخلط المذكورة أعلاه ولجميع الحجوم الحبيبية المختارة وكانت درجات الحرارة المختارة هي (١١٥٠ °C, ١٢٠٠ °C, ١٢٥٠ °C) وذلك باستخدام فرن الحرق الكهربائي, وكان معدل التسخين (٢ درجة لكل دقيقة) و فترة مكوث عند تلك درجة الحرارة (ساعة واحدة) ثم تركت العينات إلى ان تبرد داخل الفرن وتصل إلى درجة حرارة الغرفة بنفس معدل التسخين.

٣-٦ مرحلة الفحوصات Tests :

أجريت العديد من الفحوصات للنماذج المنتجة من اجل دراسة الخواص الممكن توفرها في المرشحات السيراميكية, ويمكن تقسيم الفحوصات التي أجريت إلى:

١- الفحوصات الفيزيائية.

٢- الفحوصات الميكانيكية.

٣- فحص العكرة.

٣-٦-١ : Physical Tests الفحوصات الفيزيائية

لقد أجريت عدة فحوصات فيزيائية على المنتج وهي كما يلي:

٣-٦-١-١ : Linear Expansion التمدد الطولي

معظم المواد السيراميكية تميل إلى تغيير أبعادها (انكماش, تمدد) أثناء ارتفاع درجات حرارة الحرق, وتعتمد هذه الخاصية على المادة الأولية, التدرج الحبيبي, درجة حرارة الحرق, زمن النضوج (فترة المكوث), طريقة التشكيل, ومقدار الضغط المستخدم.

يتم حساب التمدد الطولي الذي يمكن ان يسمى التقلص الطولي العكسي بسبب حدوث تمدد في الأبعاد للنماذج المحروقة عند درجات حرارية مختلفة بعد قياس أبعاد النموذج قبل وبعد الحرق (القطر, الارتفاع) باستخدام قدمة قياس (Vernia) حيث ان كل نتيجة او قيمة هي معدل لثلاث نماذج, ثم يتم حساب التقلص الطولي العكسي من المعادلة التالية: [٩]

$$\text{Negative Shrinkage \%} = ((D_f - D_d) / D_d) * 100 \dots (٣-٥)$$

حيث ان:

D_f : القطر بعد الحرق (mm).

D_d : القطر قبل الحرق (mm).

٣-٦-١-٢ : Apparent Porosity & المسامية الظاهرية وامتصاصية الماء

:Absorption of Water

المنتج السيراميكي الملبد يظهر مسامية متغيرة الدرجة, حيث ان المسامية هي قياس لكل المسامات الموجودة بالمادة سواء كانت مفتوحة أو مغلقة وطبقا لذلك تظهر نوعان من المسامية الحقيقية والظاهرية. المسامية الظاهرية يمكن التعبير عنها بأنها نسبة حجم المسامات المفتوحة إلى الحجم الكلي للجسم. [٢٢]

أما كمية الماء الممتصة في الجسم فهي دالة على المسامية الكلية، وامتصاصية الماء هي العلاقة بين كتلة الماء الممتص في المسامات إلى كتلة الجزء الصلب من الجسم. [٤٨]

في حساب كل من المسامية الظاهرية وامتصاصية الماء تم الاستناد إلى ASTM standard (C٣٧٣- ٨٨) كما ان كل نتيجة او قيمة هي معدل لثلاث نماذج وحسب الخطوات التالية: [٤٩]

١- تجفيف النماذج في فرن التجفيف عند درجة حرارة (١٥٠ °C) ولمدة (٢٤ ساعة) ثم تترك لتبرد إلى ان تصل لدرجة حرارة الغرفة, بعدها يثبت الوزن الجاف للنماذج.

٢- وضعت النماذج في دورق زجاجي مقاوم وغمرت بالماء المقطر و غليت لمدة (٥ ساعة) مع ضمان كونها دائما مغمورة بالماء وتعويض الماء المتبخر, بعدها تركت النماذج مغمورة بالماء لمدة (٢٤ ساعة). ثبت الوزن المعلق بالماء للنماذج باستخدام شبكة مرتبطة بالميزان.

٣- مباشرة بعد تثبيت الأوزان المعلقة تجفف سطوح النماذج من قطرات الماء العالقة بها بواسطة قطعة قماش من القطن ثم يحسب الوزن المشبع بالماء.

٤- بعد إجراء جميع الخطوات أعلاه حسبت النسبة المئوية للمسامية والامتصاصية من المعادلات التالية:

● حساب المسامية الظاهرية :

$$\text{Porosity \%} = ((M-D) / (M-S)) * 100 \quad \dots\dots (٣-١)$$

حيث ان :

M: الوزن المشبع (g).

D: الوزن الجاف (g).

S: الوزن المعلق (g).

● حساب امتصاصية الماء:

$$\text{Water Absorption \%} = ((M-D) / D) * 100 \quad \dots\dots (٣-٢)$$

٣-١-٦-٣ الكثافة Density :

تعتبر الكثافة من ابسط الطرق في تخمين الكتلة التي تعتبر دليل لجودة المنتجات السيراميكية. كثافة المادة يمكن إيجادها من العلاقة المباشرة الناتجة بين الكتلة إلى حجم الجسم الصلب ووحدتها (g/cm³), وهذا في حالة وجود وزن واحد وحجم واحد بينما للجسم المسامي طرق عديدة للتعبير عن كثافته: [٥٠]

١- الكثافة الحقيقية True Density وتشير فقط للمادة الصلبة في الجسم دون وجود أية مسامية حيث هي نسبة الكتلة إلى حجم المادة الحقيقي والمتضمن حجم الجسم الصلب فقط.

٢- الكثافة الظاهرية Apparent Density هي نسبة الكتلة إلى حجم الجسم الظاهري للمادة (الذي يمثل الجزء الصلب + المسامات المغلقة).

٣- الكثافة الكلية تعبر عن نسبة الكتلة إلى الحجم الكلي (والذي يمثل الجزء الصلب + المسامات المفتوحة + المسامات المغلقة).

ولذا تم حساب الكثافة الظاهرية حسب ASTM standard (C٣٧٣-٨٨) وذلك بعد حساب الحجم الظاهري Exterior Volume كما ان كل نتيجة او قيمة هي معدل لثلاث نماذج: [٤٩]

$$\text{Exterior Volume} = (M-S) / \rho_w \quad \dots\dots (٣-٣)$$

حيث ان :

Exterior Volume (Ve): الحجم الظاهري (cm³).

P_w: كثافة الماء (g/cm³).

أما الكثافة الظاهرية التي هي نسبة الوزن الجاف إلى الحجم الظاهري وبذا تعتبر إشارة إلى الكثافة الظاهرية للجسم فتحسب من:

$$\text{Bulk Density} = D / V_e \quad \dots\dots (٣-٤)$$

حيث ان, Bulk Density: الكثافة الظاهرية (g/cm³).

٤-١-٦-٣ النفاذية Permeability :

النفاذية هي إحدى الخواص الفيزيائية حيث تعبر عن قابلية المادة لتصريف الموائع (غاز, زيت, ماء), وعمليا تستخدم النفاذية لقياس معدل جريان أو انسياب الهواء أو النتروجين خلال الجسم المسامي (المقاوم للحرارة refractory, الطابوق, المرشحات,....). [٥١]

نفاذية المرشحات يجب حسابها تحت ظروف اقرب ما يمكن لظروف الاستخدام فتحسب من معدل جريان مائع نظيف سواء كان غاز أو سائل خلال المرشح. [٥٢]

حساب النفاذية تم بالاعتماد على قانون Darcy, بعد مرور الهواء خلال المرشح تحت ضغط ثابت تبعا للخطوات التالية: [٩]

- ١- اخذ حجم معلوم من الماء المقطر بواسطة الدورق الزجاجي المدرج.
- ٢- سكب الماء على الوجه العلوي للنموذج و ارتفاع عمود الماء سيمثل الضغط الثابت.
- ٣- حساب الوقت الذي يحتاجه الماء لينفذ خلال مساحة المقطع للمرشح بواسطة ساعة التوقيت.
- ٤- بعد انتهاء الوقت المثبت لعملية مرور الماء يتم حساب حجم الماء النافذ وذلك باستعمال أنبوبة زجاجية مدرجة.
- ٥- حساب الفرق بين حجمي الماء قبل وبعد نفاذه عبر المرشح والذي سيمثل حجم الماء المار بالنموذج.
- ٦- تعاد الخطوات السابقة لثلاث مرات حيث ان كل نتيجة او قيمة هي معدل لثلاث نماذج.
- ٧- أخيرا تم حساب النفاذية للمرشح من المعادلة التالية:

$$\text{Permeability} = (V * t) / (T * A_f * p_w) \quad \dots (٣-٦)$$

حيث ان :

Permeability: النفاذية (millidarcy).

V: حجم الماء المار عبر المرشح (ml).

t: سمك المرشح (cm).

T_e: زمن الجريان (الانسياب) (sec).

A_f: مساحة المقطع للمرشح (cm^٢).

p_w: ضغط عمود الماء (cmH_٢O).

٣-٦-١-٥ أكبر قطر للمسامة Maximum Pore Diameter:

تم إيجاد أكبر قطر للمسامة المتكونة في البنية المجهرية باستخدام الجهاز المبين في الشكل (٦-٣), والذي يعتمد عمله على حساب فرق الضغط الذي يولد فقاعة الهواء فوق سطح المرشح أي ضغط الفقاعة المتولدة نتيجة مرور الهواء من السطح السفلي للمرشح. وقد اتبعت الخطوات التالية في حساب قطر المسامة: [٥٢]

١- غسل المرشح جيدا لإزالة المواد الدخيلة:

٢- تجفيف المرشح بفرن التجفيف بدرجة حرارة (١١٠ ° C) ولمدة (٢٤ ساعة).

٣- بعد وضع المرشح بالقمع الملحق بالجهاز يشبع المرشح بالسائل (الماء) وذلك بعد ملء القمع بالماء ثم يسحب من اسفل المرشح وذلك بواسطة استخدام جهاز التفريغ.

٤- بعد إعادة ملء القمع بالماء تم تسليط ضغط هواء من اسفل المرشح مع استمرار زيادة ضغط الهواء إلى ان نحصل على أول فقاعة تتولد على السطح العلوي للمرشح.

٥- قراءة الضغط الناتج من تولد الفقاعة بواسطة المانوميتر Manometer.

٦- تعاد الخطوات السابقة لثلاث مرات حيث ان كل نتيجة او قيمة هي معدل لثلاث نماذج.

٧- تم حساب اكبر قطر للمسامة من المعادلة التالية:

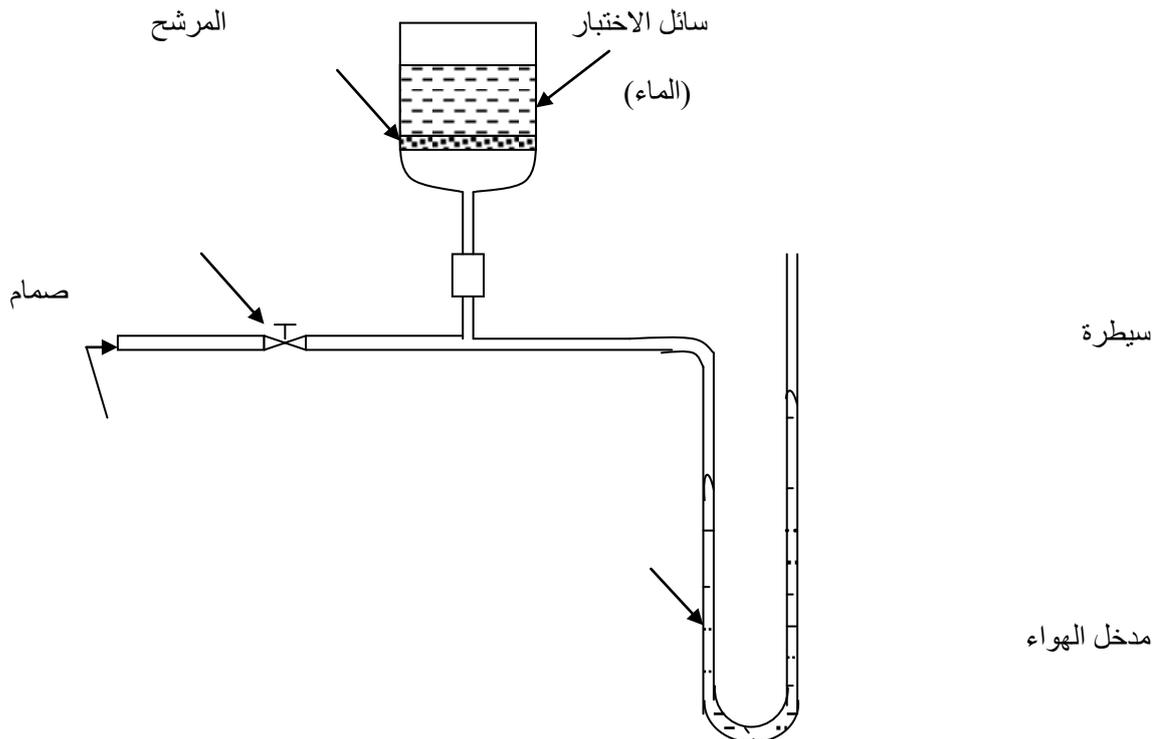
$$\text{Max. Pore Diameter} = (30 * \gamma) / p_m \quad \dots\dots (3-7)$$

حيث ان :

Pore Diameter: اكبر قطر للمسامة (μm).

γ: الشد السطحي للماء (٧٣ dyn / cm).

p_m: ضغط فقاعة الهواء (mmHg).



شكل (٣-٥) جهاز قياس اكبر قطر المسامة

٢-٦-٣ الفحوصات الميكانيكية Mechanical Tests :

ان مقاومة المادة هي قابلية المادة لاستعادة شكلها تحت الأحمال, ويمكن الإشارة الى مقاومة المادة عند حساب المقاومات التالية: [٩]

١- مقاومة الانضغاط Compressive Strength.

٢- مقاومة الشد Tensile Strength.

٣- مقاومة الانحناء و معامل الكسر Bending & Rupture Strength.

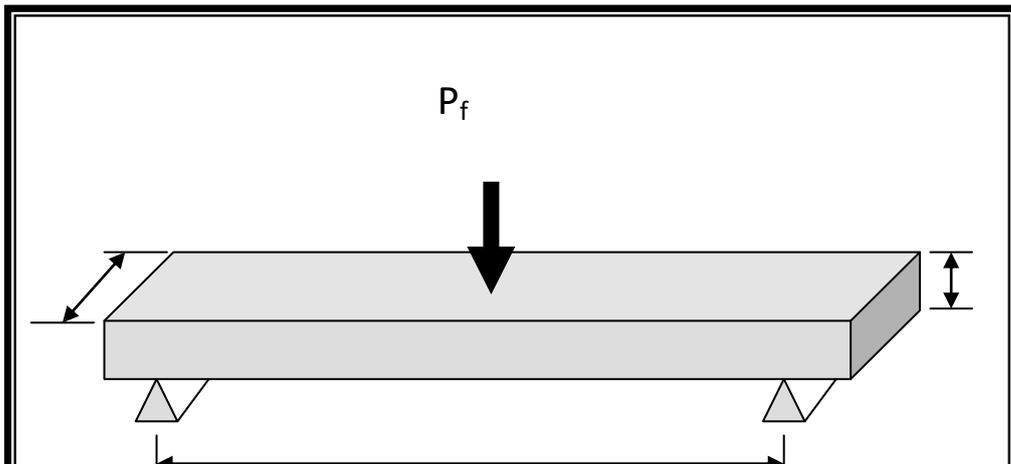
٤- مقاومة البلى Wear Strength.

٥- مقاومة القص Shear Strength.

٦- مقاومة الصدمة Impact Strength.

١-٢-٦-٣ مقاومة الانحناء و معامل الكسر Bending & Rupture Strength :

ان فحص الانحناء يستخدم لإيجاد المقاومة و بيان خواص التشوه للجسم تحت تأثير الحمل المسلط في مركز الجسم المسند عند حافتيه كما في الشكل (٣-٧), وتحسب مقاومة الانحناء عند إجهاد الانحناء ذي الحمل الأعلى وبمعدل تحميل منتظم حتى حصول الكسر. [٥٣]



t

W

I

شكل (٣-٦) النموذج المستعمل في اختبار الانحناء

بعد إعداد النموذج كما في الشكل أعلاه تم تسليط الحمل على النماذج باستخدام ماكينة الاختبارات العامة الموضحة بالشكل (٣-٨). وبعد قراءة أعلى حمل يفشل فيه النموذج, كما ان كل نتيجة او قيمة هي معدل لثلاث نماذج, حسب مقاومة الانحناء بالاستناد (ASTM standard (C٦٧٤-٨٨) من المعادلة التالية.
[٥٤]

$$\text{Bending Strength} = (3P_f * L) / (2W * t^2) \quad \dots\dots (٣-٨)$$

حيث ان :

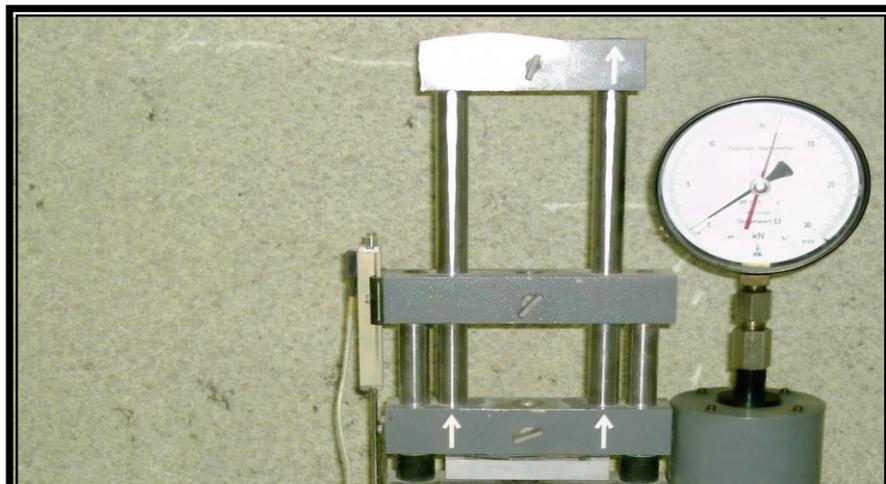
Bending Strength: معامل الكسر أو مقاومة الانحناء (MPa).

P_f : الحمل المسلط حتى الكسر (N).

l: المسافة بين المساند (mm).

W: عرض النموذج (mm).

t: سمك النموذج (mm).



شكل (٣-٧) ماكينة الاختبارات العامة

٢-٢-٦-٣ مقاومة الانضغاط Compressive Strength :

تكون مقاومة الانضغاط عالية لمعظم المواد السيراميكية لذا فهي تتطلب آلات ميكانيكية أو هيدروليكية لإجراء الفحص اللازم بحيث يكون الحمل المسلط حملا محوريا على النموذج. وقد تكون النماذج المستخدمة مستطيلة أو مكعبة أو اسطوانية الشكل، عند إجراء هذا الفحص للأجسام السيراميكية يشترط ان يكون طول النموذج ضعف قطره أي ان $(h = 2d)$ وذلك حسب المواصفات المثبتة في ASTM standard (C٧٧٣-٨)، في العادة يكون سطحا المكبس في الماكينة متوازيين ورغم ذلك توضع لوحتان صقيلتان من الخشب فوق النموذج وتحتة لاجل ضمان سطوح متوازية عند الاختبار.

عند تهيئة النماذج كما مبين بالشكل (٣-٩) حسبت مقاومة الانضغاط للمادة باستعمال ماكينة الاختبارات العام المبينة سابقا، ويكرر الفحص لثلاث نماذج حيث ان كل نتيجة او قيمة هي معدل لثلاث نماذج وذلك بالاستناد إلى ASTM standard (C٧٧٣-٨٨) كما في المعادلة التالية: [٥٥]

$$\text{Compressive Strength} = P_c / A$$

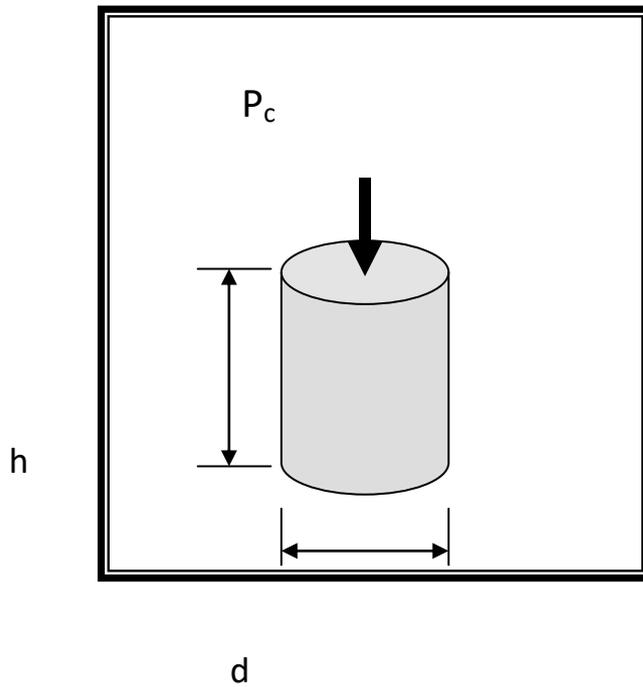
..... (٣-٩)

حيث ان :

Compressive Strength : مقاومة الانضغاط (MPa).

P_c : الحمل المسلط حتى الكسر (N).

A : مساحة مقطع النموذج (mm).



شكل (٣-١٠) النموذج المستعمل في اختبار الانضغاط

٣-٦-٣ فحص العكرة (الكدرة) Turbidity Test :

العكرة هي حالة الماء الناجمة عن وجود مواد صلبة عالقة فيه مثل دقائق التربة والرمل والمواد العضوية واللاعضوية العالقة. ويؤثر كل من تركيز وحجم حبيبات المواد العالقة على مقدار العكرة، وتعتمد طريقة قياس العكرة على انتشار الضوء وامتصاصه من قبل المواد العالقة بدلا من انتقاله بشكل خط مستقيم. تم قياس درجة الكدرة باستخدام جهاز Nephelometer والذي يعتمد على الضوء المنعكس بزاوية قائمة عن اتجاه الضوء النافذ خلال النموذج (الماء العكر). وتكون هذه الطريقة ذات حساسية عالية لقياس الكدرة الى حد (٠.٠٢) وحدة كدرة (NTU) او اقل. [٥٦]

٤-٦-٣ فحص حيود الأشعة السينية X-Ray Diffraction Test :

من أجل معرفة بنية المرشح السيراميكي والتغيرات الطورية في درجات حرارة الحرق المرتفعة تم اجراء التحليل بالأشعة السينية لنموذج بالمواصفات (٦٥% Sand + ٣٥% Binder) درجة حرارة الحرق (١١٥٠°C). تم اجراء هذا التحليل في مختبرات الشركة العامة للمسح الجيولوجي والتعدين باستخدام طريقة الحيود الأشعة السينية X-Ray Diffraction, حيث استخدم النحاس CuK_{α} هدفا لتوليد الأشعة مع مرشح من النيكل للحصول على أشعة أحادية الموجة ذات طول موجي يساوي $\lambda = 1.54 \text{ \AA}$ وكانت القدرة المجهزة تساوي (٢٠ mA * ٤٠ KV) وسرعة مسح النموذج (٣ deg/min).
يتم الفحص بواسطة تعريض النموذج للأشعة السينية بمدى معين من زوايا السقوط وبالوقت نفسه يقوم مسجل الحيود (Diffractometer) بتسجيل الأشعة الحائدة من النموذج على شكل بياني يبين العلاقة بين مقدار ضعف زاوية السقوط (2θ) وشدة الحيود (Intensity). وترصد التغيرات من خلال تطبيق قانون Bragg لحيود الأشعة والذي ينص على:

$$n\lambda = 2d_a \sin\theta \quad \dots\dots (3-10)$$

حيث أن:

n : عدد صحيح.

λ : الطول الموجي.

d_a : المسافة بين المستويات الذرية والتي تحسب من خلال القانون السابق وتقرن فيه قيمة

(d_a) مع بطاقات حيود الأشعة السينية الصادرة من قبل الجمعية الأمريكية للفحص و

المواد (ASTM) لمعرفة المادة قيد الفحص.

θ : زاوية السقوط.

٤-١ المقدمة Introduction :

ان هذه الدراسة تتناول تصنيع المرشحات السيراميكية من المواد الأولية (الرمل, الكاؤولين, كاربونات الكالسيوم) وبطريقة الكبس شبه الجاف الأحادي المحور ثم الحرق بالإضافة إلى الفحوصات التي تم إجراؤها على تلك المرشحات التي تبين تأثير تغير نسبة الرمل و تغير حجمها الحبيبي و تغير درجات حرارة الحرق.

هذا الفصل يعرض النتائج التي تم التوصل إليها بعد إجراء الفحوصات اللازمة والتي تعطي صورة عن خواص المرشح المنتج بالإضافة إلى مناقشة تلك النتائج والعوامل المتغيرة التي تؤثر فيه وذلك لمعرفة أفضل المواصفات التي تم التوصل إليها في هذه الدراسة, حيث يعرض هذا الفصل نتائج:

أولاً: الخواص الفيزيائية.

ثانياً: الخواص الميكانيكية.

٤-٢ الخواص الفيزيائية Physical Properties :

٤-٢-١ التمدد الطولي *Linear Expansion* :

تتملك المواد السيراميكية بعد الحرق في العادة تقلصاً في ابعادها بسبب عمليات التليد وتتكون الاطوار السائلة وتتقارب الجزيئات من بعضها البعض. [٥٧]

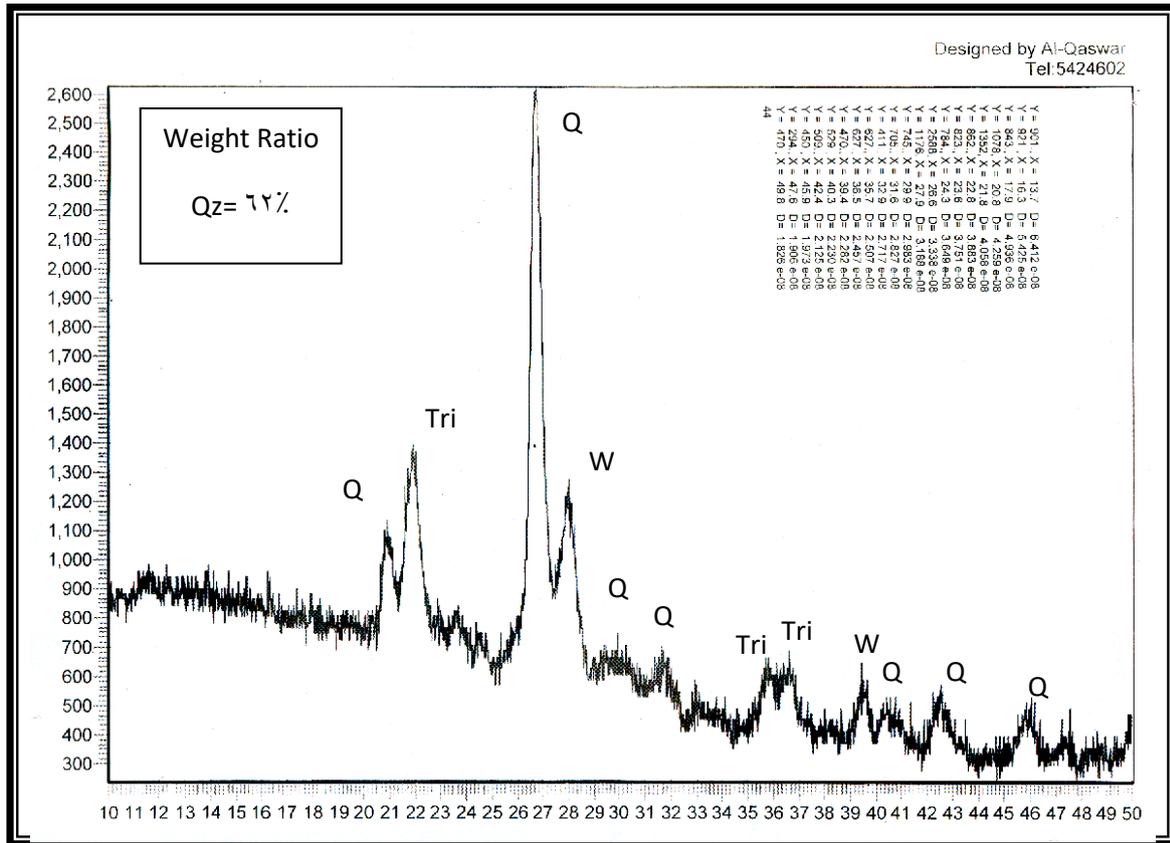
اما في المواد السيراميكية التي تحتوي على نسب عالية من كاربونات الكالسيوم فإن هذه المواد سوف تمتلك تمداً في بنيتها خاصة في درجات حرارة التليد المنخفضة لسببين: اولهما خروج غاز ثاني اوكسيد الكربون بعدد تحلل الكاربونات مما يسبب تمداً في البنية. [٤٣] وثانيهما ان اوكسيد الكالسيوم المتحلل من كاربونات الكالسيوم سوف يدخل في تفاعل كيميائي مع السيليكا معطياً مركب الولستنايت $CaSiO_3$ Wollastonite والذي يرافق تكونه زيادة في الحجم. كما ان تحول السيليكا الى التريديمايت يرافقه زيادة في الحجم. الشكل (٤-١) يمثل نتيجة فحص الاشعة السينية لاحد النماذج المحروقة. يتبين من الشكل (٤-١) بوضوح وجود مركب الولستنايت, والتريديمايت اللذان يعطيان البنية هذا التمدد نطلق عليه تقلصاً عكسياً.

الاشكال (٤-٢) تمثل تأثير نسبة رمل السيليكا على مقدار التمدد في البنية, نلاحظ من هذه الاشكال ان الزيادة في نسبة رمل السيليكا سوف تقلل من هذا التقلص العكسي لسبب بسيط ان نسبة المادة التي تؤدي الى هذا الحدث تقل نسبتها وبالتالي فإن التقلص العكسي يقل بصورة عامة عند زيادة نسبة رمل السيليكا. اما عند ارتفاع درجة الحرق فأننا نجد أن مقدار التقلص العكسي يقل ويبدو هذا منطقياً حينما نعلم ان

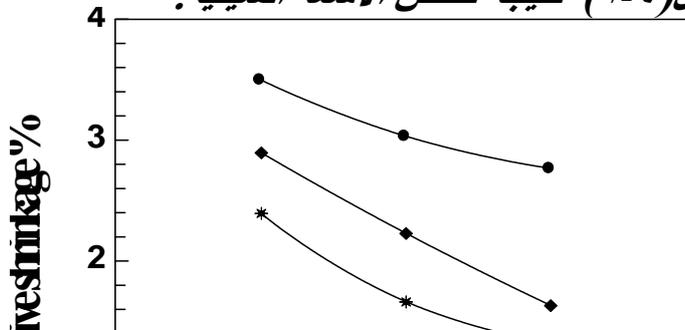
ارتفاع درجة حرارة التلييد تعطي كمية أكبر من الطور الزجاجي الذي بدوره يقلص البنية وهذا يتفق مع ما توصل اليه باحثون آخرون. [٥٨]

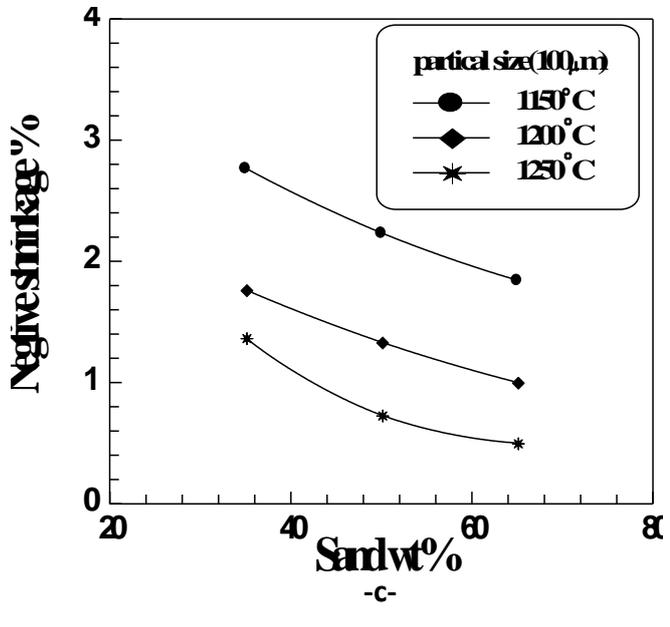
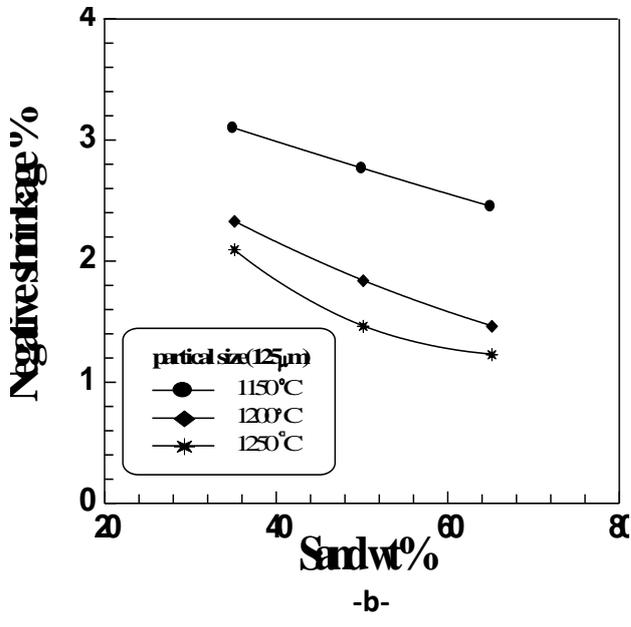
الشكل (٣-٤) تبين تأثير حجم جسيمات الرمل على التقلص الطولي العكسي للنماذج بنسب مختلفة لرمل السيليكا، اما الشكل (٤-٣) يمثل مجموع الاشكال (a,b,c). ويتضح من الاشكال أن زيادة حجم الجسيمات سوف يزيد من التقلص العكسي أي ان البنية تمتد وهذا التوجه يعتبر منطقيا اذا علمنا ان التفاعلات الكيميائية في المادة السيراميكية تحدث في الحالة الصلبة خلال عمليات التلييد وان هذه التفاعلات سوف تكون اسرع كلما كانت مكونات الجسم السيراميكي تمتلك مساحة سطحية كبيرة، والمساحة السطحية الكبيرة تأتي مع نقصان في حجم الجسيمات والذي يتفق مع ما توصل اليه باحثون آخرون [١٠]. لهذا السبب فإن حجم الجسيمات كلما قل زادت احتمالية وجود هذه النفاذات وزاد معها تكون الطور الزجاجي المسؤول عن انكماش البنية. فأذا اخذنا حجم جسيمات أكبر فإن البنية سوف تبقى ممتدة ويقبل فيها تكون الطور الزجاجي والذي يتفق مع ما توصل اليه باحثون آخرون. [٥٨]

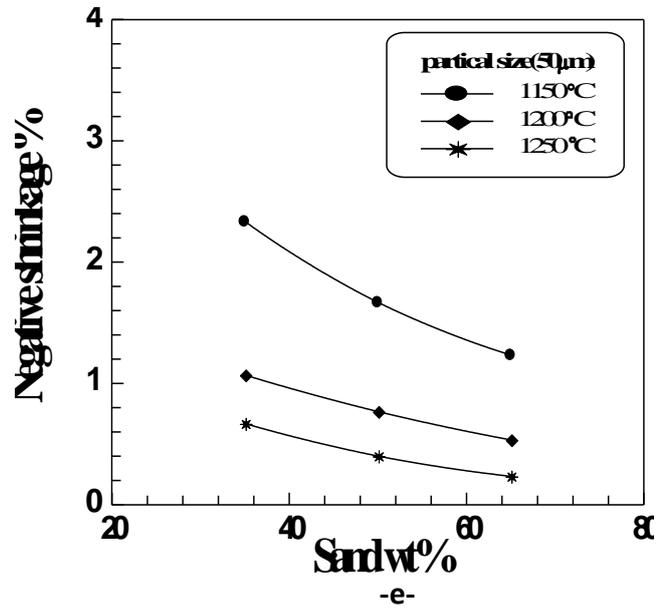
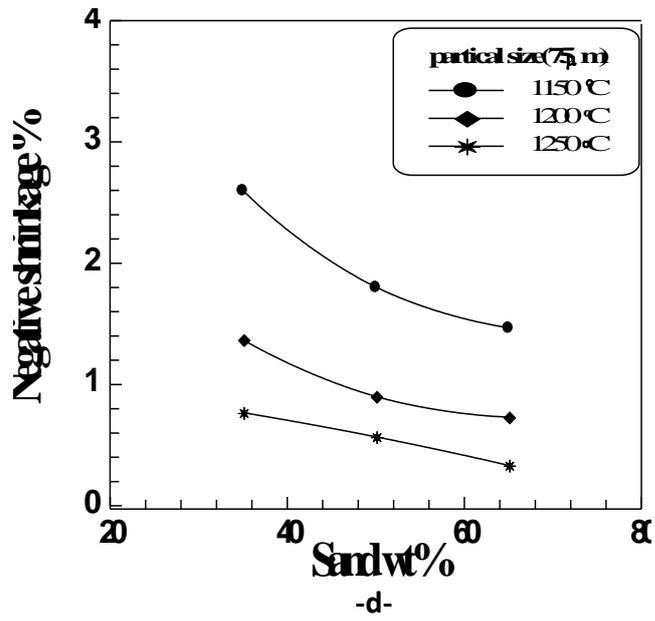
ويبين الشكل (٤-٣) بوضوح ما ذهبنا اليه في الاشكال (٤-٢) من ان الزيادة في نسبة رمل السيليكا سوف تقلل من تمدد البنية لان المسؤول عن هذا التمدد هو كمية الكربونات في النماذج.



شكل (٤-١) نتيجة فحص الاشعة السينية.



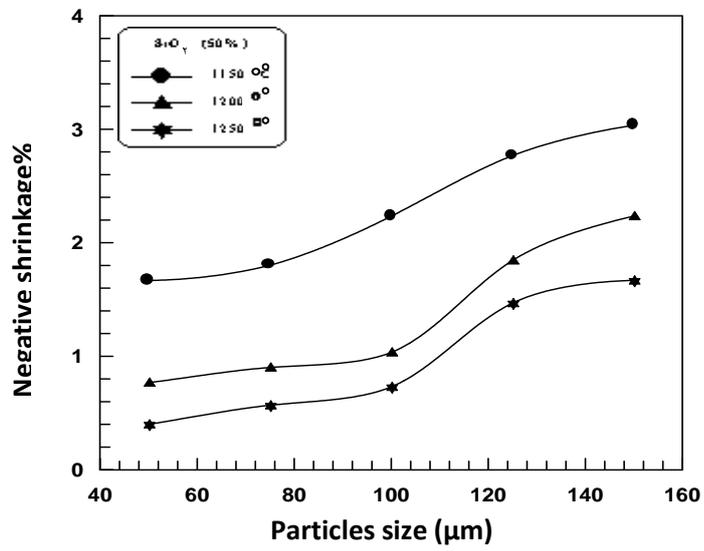
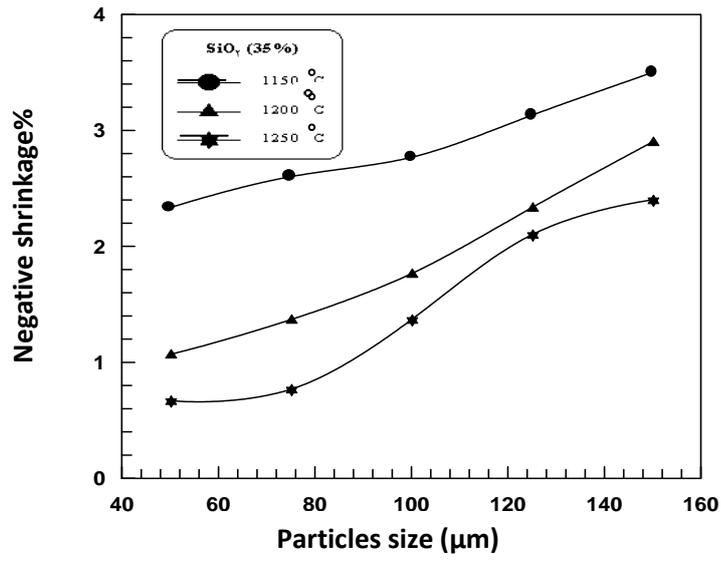


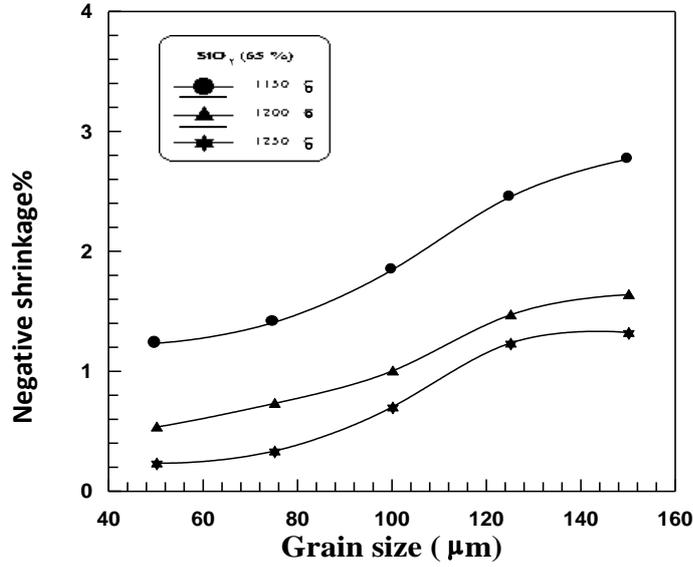


شكل (٤-٢) تأثير نسبة الرمل على التقلص الطولي العكسي.

-a) عند حجم الجسيمات (150 μm), -b) حجم الجسيمات (125 μm), -c) عند حجم الجسيمات (100 μm),

-d) عند حجم الجسيمات (75 μm), -e) عند حجم الجسيمات (50 μm)





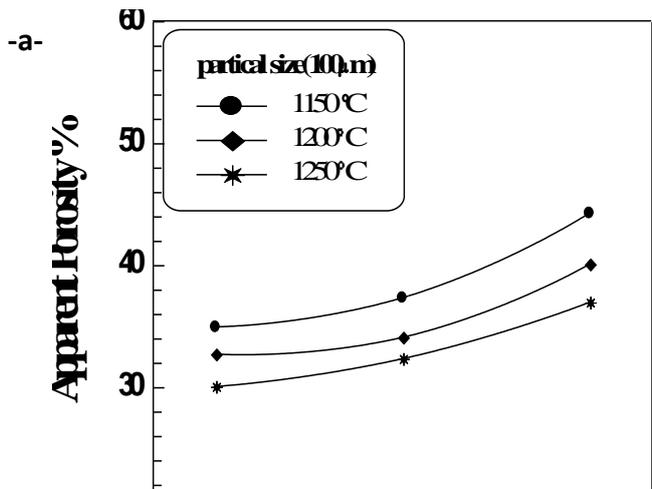
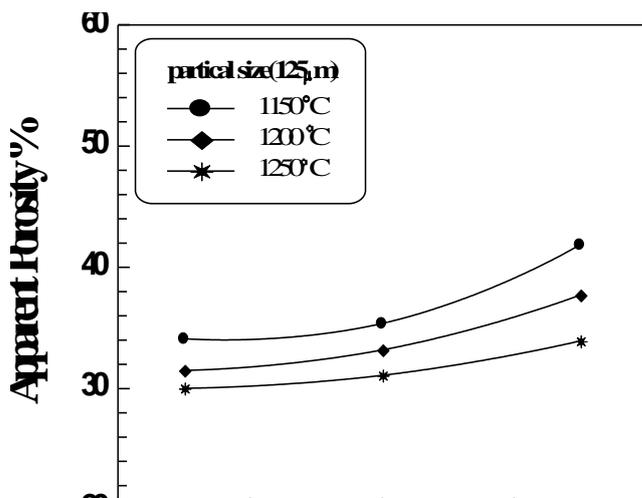
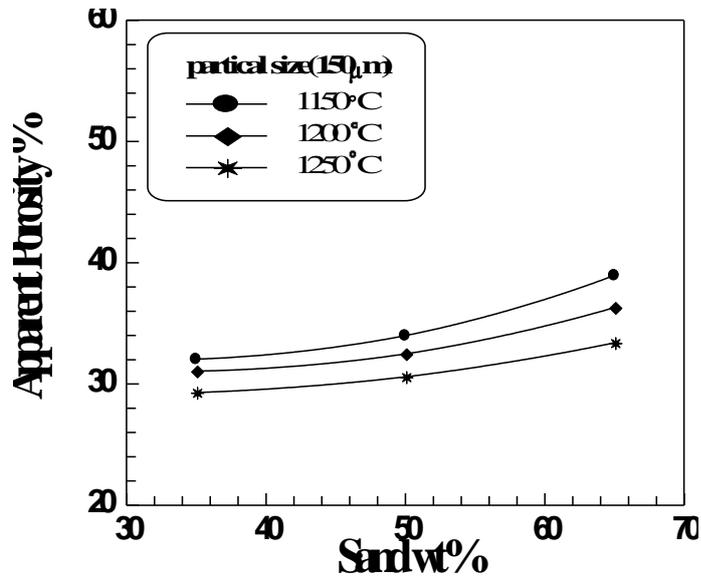
Particles size (μm)

٢-٢-٤ المسامية الظاهرية وامتصاص الماء ~~شكل (٣-٤) تأثير حجم حبيبات الرمل على التقلص الحطي العكسي~~ Absorption of Water

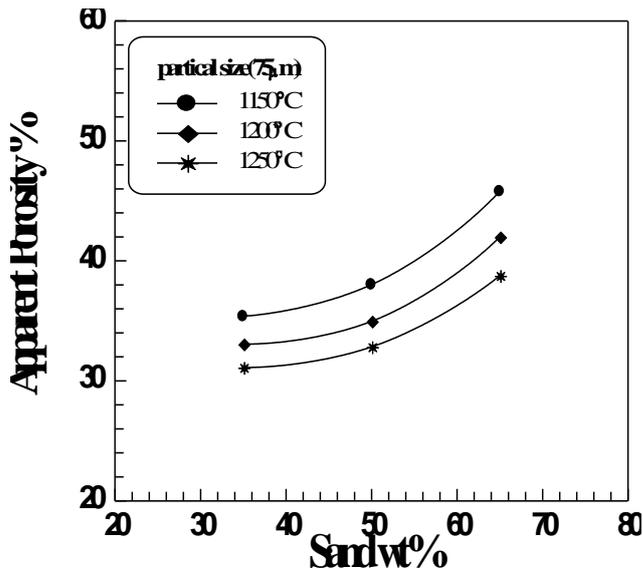
(a) عند نسبة رمل (٣٥%)، (b) عند نسبة رمل (٥٠%)، (c) عند نسبة رمل (٦٥%)
تعتبر خاصيتا المسامية الظاهرية وامتصاصية الماء خاصيتان مترافقتان وتتأثران بعاملين مهمين هما عملية التليد والفجوات والقنوات المتكونة داخل الجسم السيراميكي. تبين الأشكال (٤-٤)، (٤-٤) تأثير نسبة الرمل المتغيرة على هاتين الخاصيتين. إذ نلاحظ أن الخاصيتين تزدادان بزيادة نسبة الرمل وتنخفضان مع ارتفاع درجة حرارة الحرق. إن زيادة نسبة الرمل تعطي فجوات أكثر لأنها تعطي تركيباً هيكلياً يمتلك فراغات بين الحبيبات. وهذا ما يفسر زيادة النسبة المئوية للمسامية والامتصاصية بزيادة النسبة المئوية للرمل عموماً. كما إن وجود كاربونات الكالسيوم يزيد المسامية وذلك بسبب تفككه إلى أكسيد الكالسيوم عند (٩٠٠°C) محرراً غاز (CO₂) الذي يزيد من نسبة المسامات بالجسم والذي يتفق مع ما توصل إليه باحثون آخرون. [٨، ١٠، ٤٣]

تنخفض كلا من المسامية والامتصاصية بارتفاع درجة حرارة الحرق نتيجة لتكون الطور الزجاجي السائل الذي يملأ المسامات والقنوات التي تصل ما بين المسامات. كذلك فإن عملية التليد تساعد على انخفاض المسامية بسبب النمو الحبيبي الذي يؤدي إلى انكماش المسامية والذي يتفق مع ما توصل إليه باحثون آخرون. [٥٧]

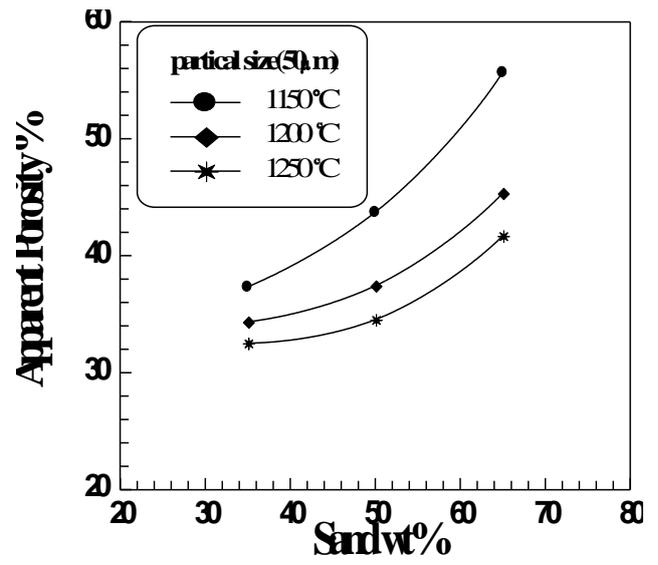
أما الأشكال (٤ - ٥), (٤ - ٧), فتظهر تأثير تغير حجم جسيمات الرمل على المسامية الظاهرية والامتصاصية, ويتبين فيهما أن أعلى قيمة للمسامية الظاهرية والامتصاصية عند أقل حجم لجسيمات الرمل أي أن عند زيادة الحجم الحبيبي تقل كل من المسامية الظاهرية والامتصاصية. أن الزيادة في حجوم حبيبات الرمل وبأوزان واحدة سوف تعطي عدد من الحبيبات أقل في وحدة الحجم (حجم النماذج) من الحبيبات الناعمة. كذلك أن الفجوات المتكونة بين الحبيبات يقل عددها ويكبر حجمها كلما كبر حجم الحبيبات. ويبدو هنا أن الزيادة في عدد الفجوات المتكونة بسبب صغر الحبيبات قد أعطى كمية من الفجوات أكبر من تلك الفجوات بوجود حبيبات خشنة بهذا زادت المسامية بوجود حبيبات الرمل الناعمة وتقل كلما كبرت هذه الحبيبات. هذا التصور يتعزز من خلال الأشكال (٤-٦) والتي تثبت أن حجم الفجوات الكلية والتي تمتص الماء سوف تقل بزيادة حبيبات الرمل.



-b-



-c-

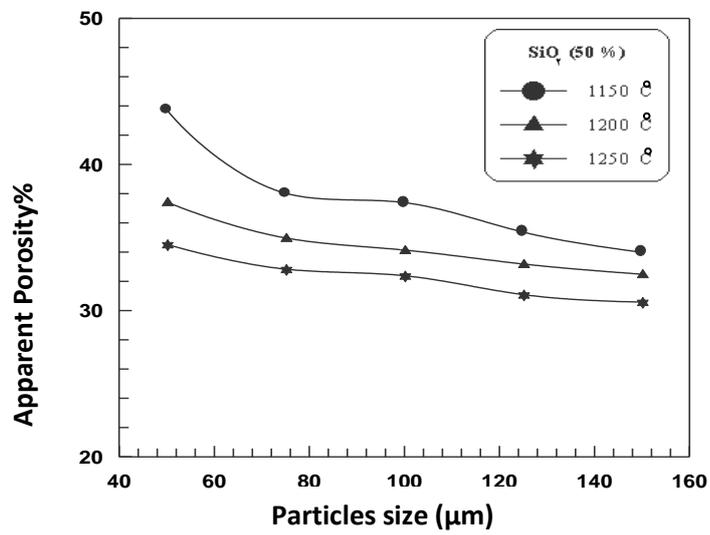
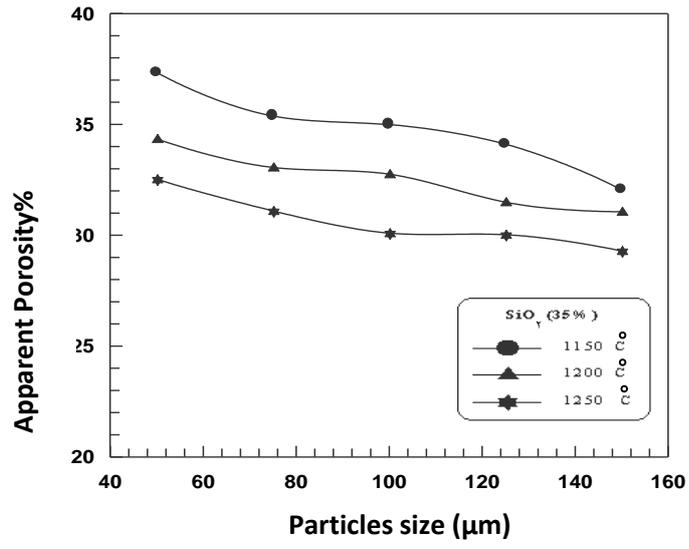


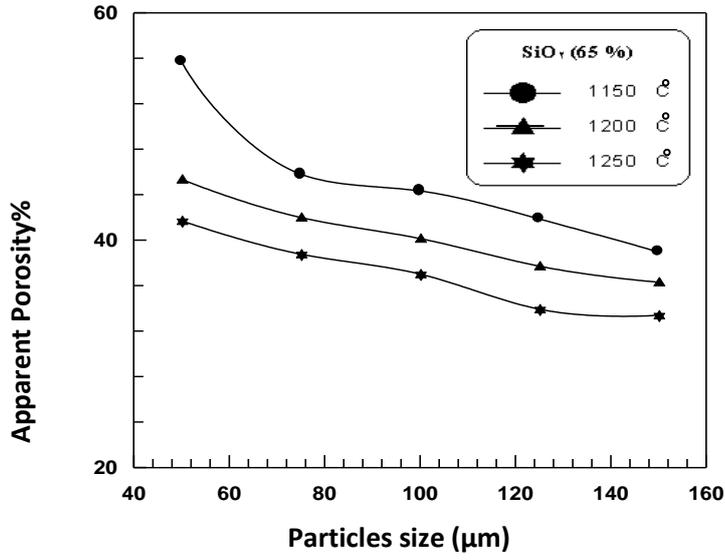
-d-

-e-

شكل (٤-٤) تأثير نسبة الرمل على المسامية الظاهرية

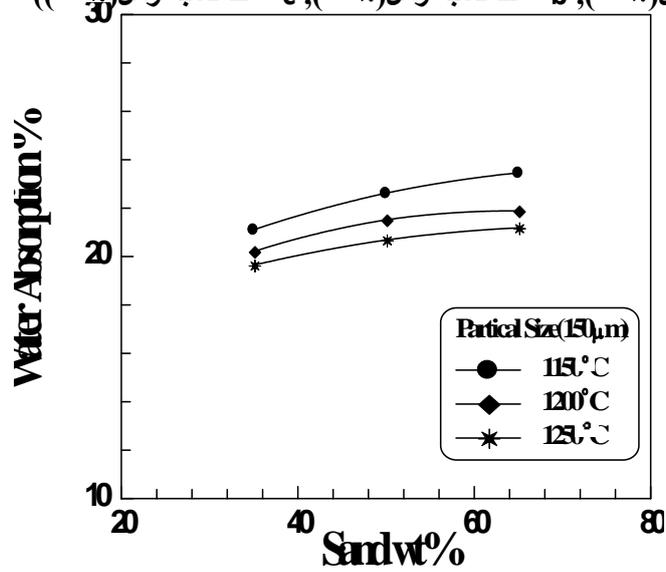
(a) عند حجم الجسيمات (100 μm) , (b) عند حجم الجسيمات (125 μm) , (c) عند حجم الجسيمات (100 μm)

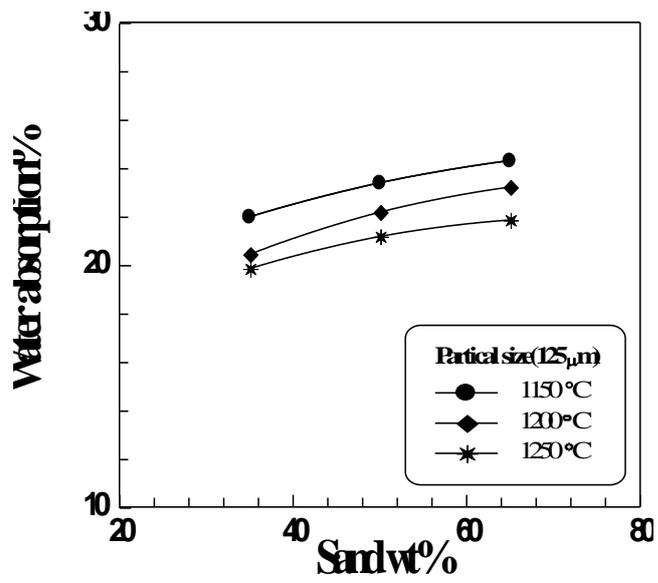




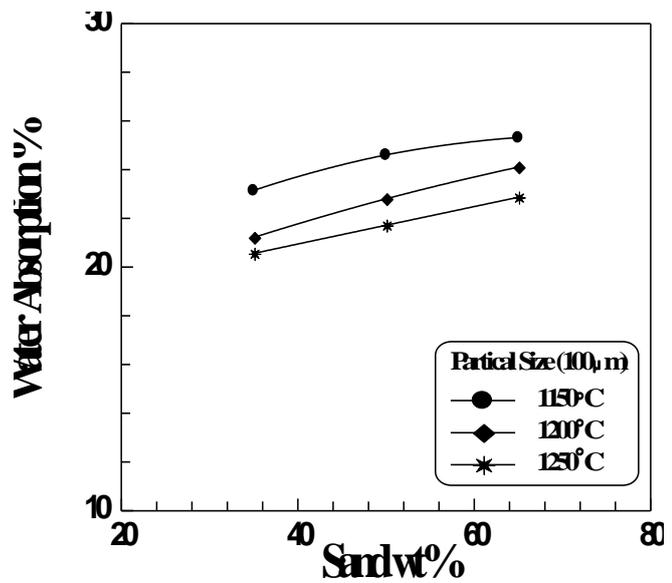
شكل (٤-٥) تأثير حجم جسيمات الرمل على المسامية الظاهرية

a- عند نسبة رمل (٣٥%)، b- عند نسبة رمل (٥٠%)، c- عند نسبة رمل (٦٥%)

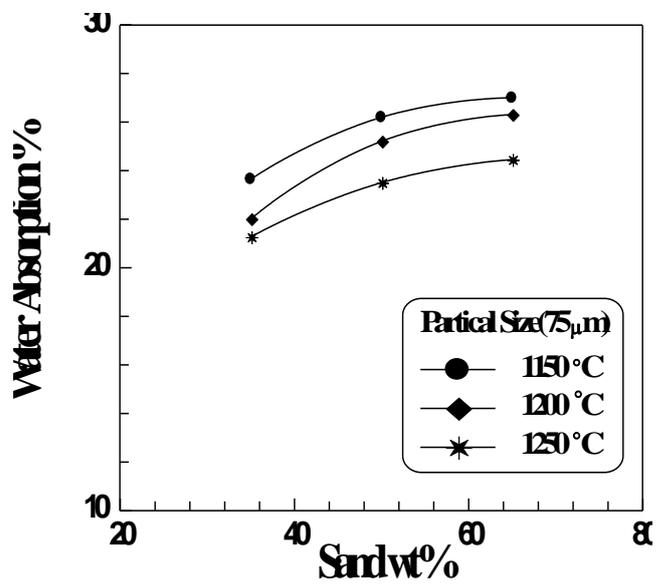




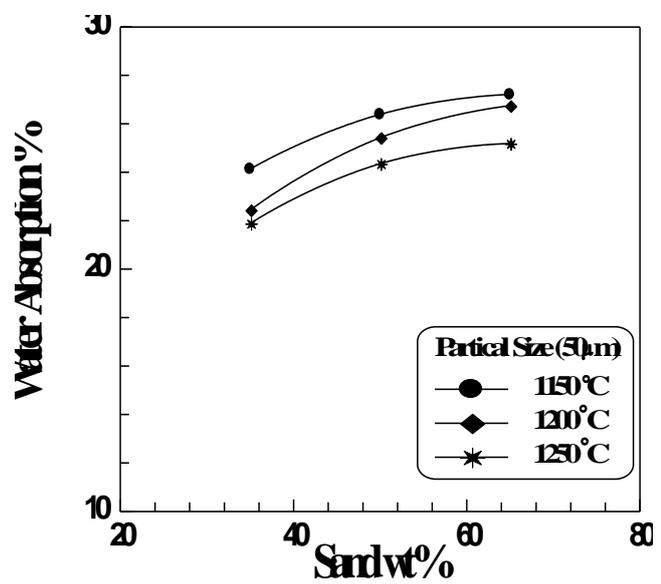
-a-



-b-

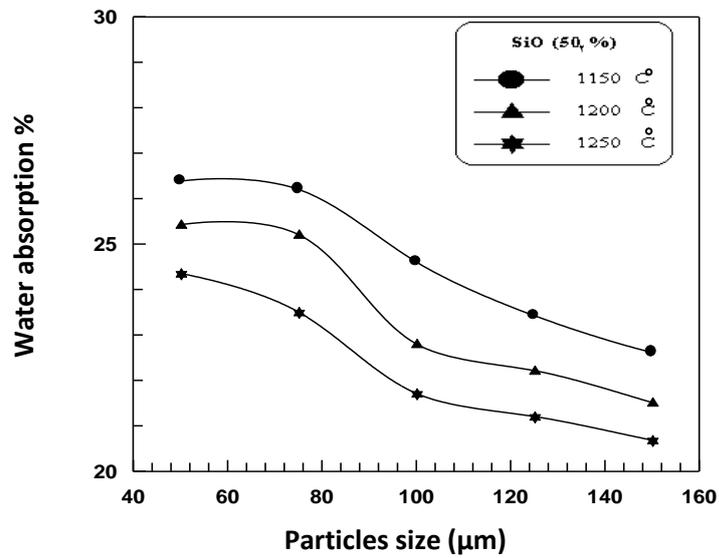
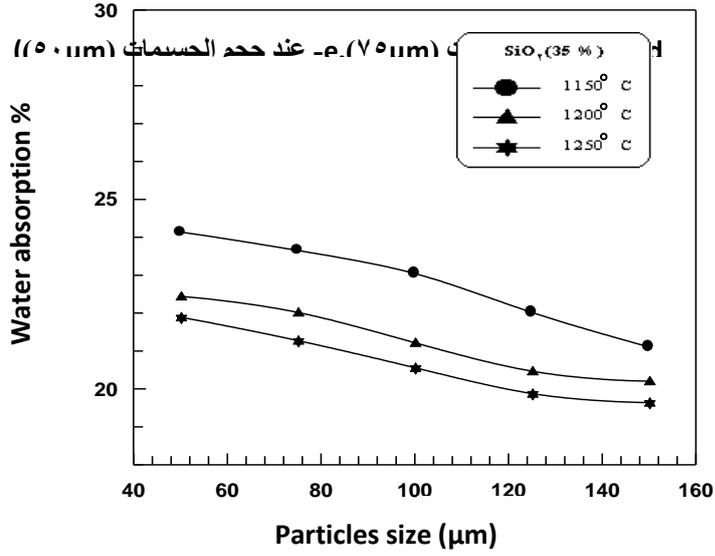


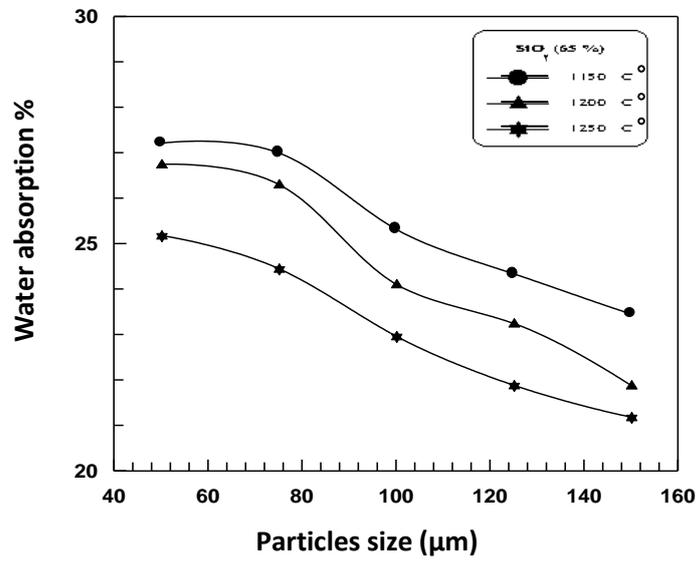
-c-



-d-
 شكل (٦-٤) تأثير نسبة الرمل على امتصاصية الماء
 -e-

-a) عند حجم الجسيمات (١٥٠ μm), -b) عند حجم الجسيمات (١٢٥ μm), -c) عند حجم الجسيمات (١٠٠ μm)





شكل (٤-٧) تأثير حجم جسيمات الرمل على امتصاصية الماء

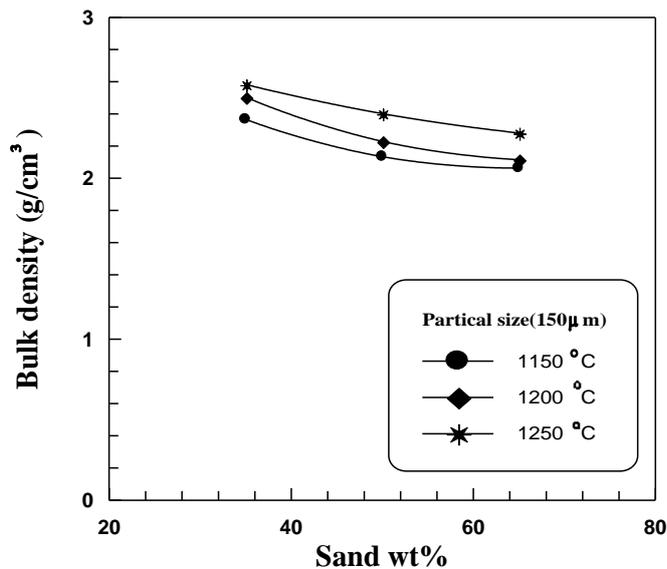
(a) عند نسبة رمل (٣٥%)، (b) عند نسبة رمل (٥٠%)، (c) عند نسبة رمل (٦٥%)

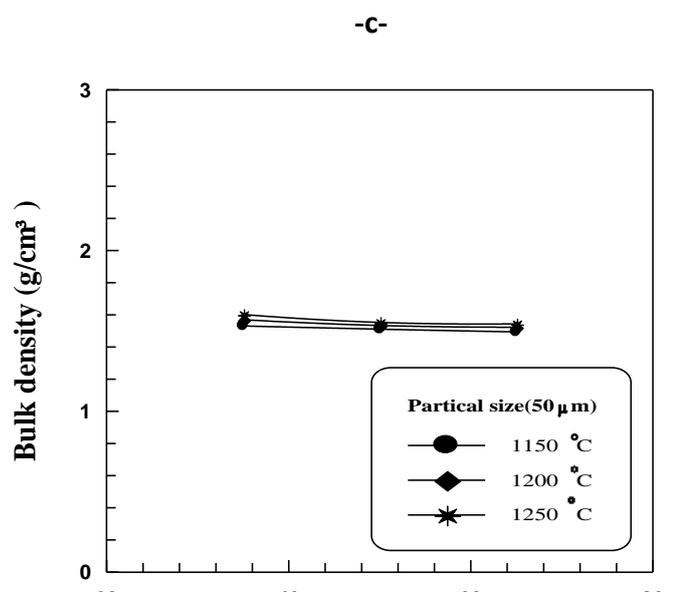
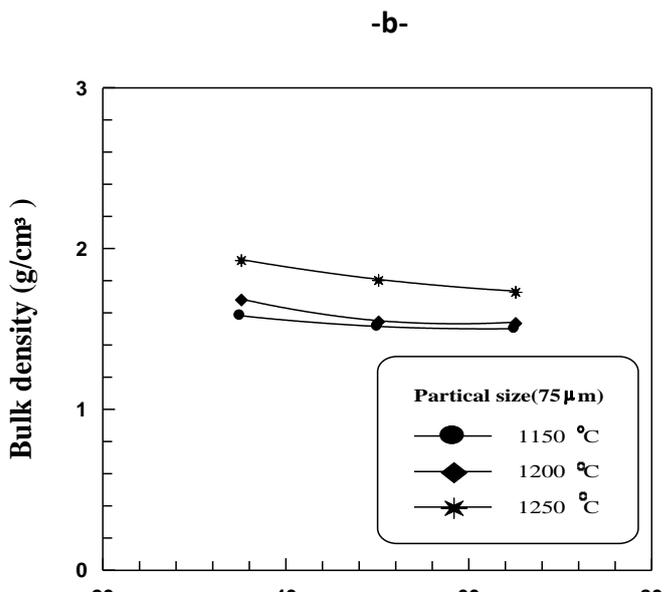
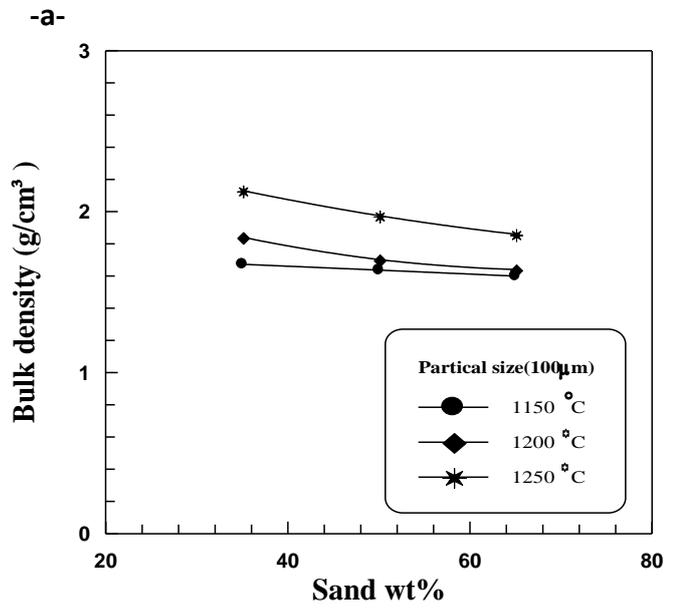
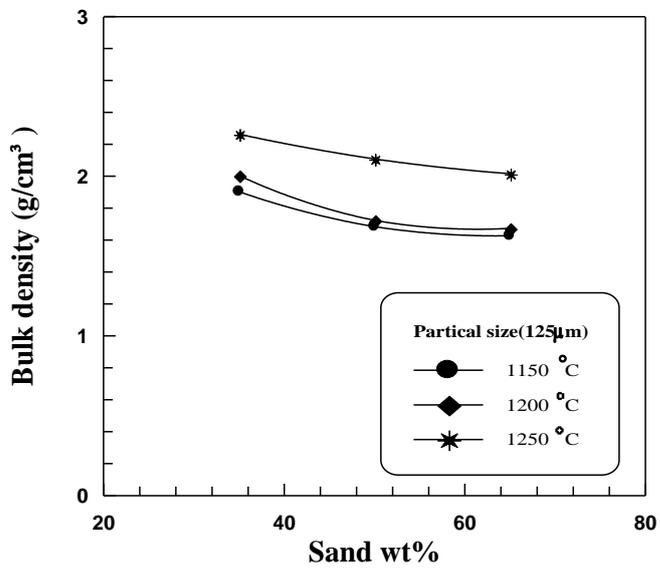
٣-٢-٤ الكثافة Density :

الاشكال (٨-٤) تبين تأثير زيادة نسبة رمل السيليكا على الكثافة الكتلية بدرجات حرارة الحرق المختلفة, ونلاحظ من هذه الاشكال الكثافة تنخفض عند زيادة نسبة رمل السيليكا في النماذج, ان هذا الانخفاض يتماشى مع صفات المسامية, اذ ان كثرة المسامات تؤدي الى انخفاض الكثافة.

تظهر المخططات ان الكثافة تزداد بزيادة درجة حرارة الحرق. اذ ان الزيادة في الكثافة بارتفاع درجة حرارة الحرق يكون سببه نقصان في حجم المسامات الكلية. كذلك فان التفاعلات الكيميائية بين المكونات الموجودة على شكل شوائب في التركيب الكيميائي للرمل والكاؤولين (MgO, Fe_2O_3, CaO, K_2O) بالإضافة إلى (Al_2O_3 و SiO_2) تكون مركبات ذات درجات انصهار واطئة تؤدي إلى زيادة الطور السائل الذي يملئ المسامات والذي يتصلب عند التبريد فتتخفف المسامية وتزداد الكثافة, كما ان الشد السطحي للسائل يعمل على تقارب الجزيئات من بعضها البعض فينتج انكماش في أبعاد الجسم يؤدي الى زيادة الكثافة وهذا يتفق مع ما توصل اليه باحثون آخرون. [٥٨]

أما الاشكال (٩-٤), فتظهر تأثير تغير حجم جسيمات رمل السيليكا على الكثافة الكتلية وباختلاف درجات حرارة الحرق, والتي تعطي أعلى قيمة للكثافة عند أعلى حجم للجسيمات. يتضح من جميع المنحنيات ان الكثافة تزداد بصورة عامة بازدياد حجم جسيمات الرمل وهذا يأتي متطابقا مع نتائج المسامية التي نوقشت في الاشكال (٥-٤), اذ ان البنية حينما تقل فيها المسامية سوف تصبح كثافتها اكبر.





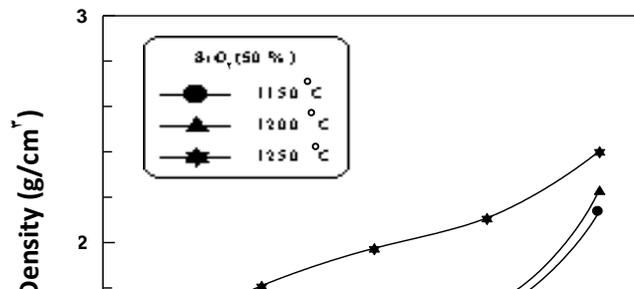
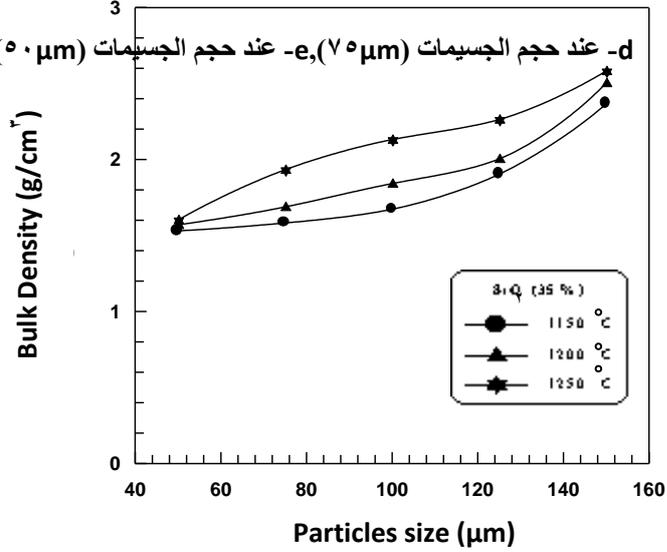
-d-

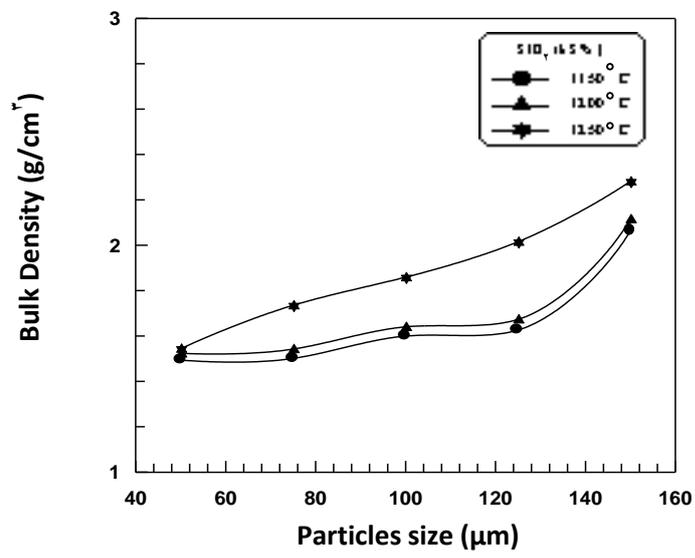
-e-

شكل (٤-٨) تأثير نسبة الرمل على الكثافة

a) عند حجم الجسيمات (١٥٠ μm), b) عند حجم الجسيمات (١٢٥ μm), c) عند حجم الجسيمات (١٠٠ μm),

d) عند حجم الجسيمات (٧٥ μm), e) عند حجم الجسيمات (٥٠ μm)





شكل (٤-٩) تأثير حجم جسيمات الرمل على الكثافة

a- عند نسبة رمل (٣٥%) , b- عند نسبة رمل (٥٠%) , c- عند نسبة رمل (٦٥%)

٤-٢-٤ أكبر قطر للمسامة *Maximum Pore Diameter*:

من البديهي ان قطر المسامة المتكونة داخل الجسم المسامي يشير الى حجم الجزيئات الصلبة التي يمكن فصلها عن المائع المراد ترشيحه عند استخدام هذه المرشحات. ان قطر المسامة المتكون داخل الجسم السيراميكي يتأثر بعدة عوامل منها عملية التلييد ونسبة رمل السيليكا إلى المادة الرابطة وحجمها الحبيبي.

الاشكال (٤-١٠), تبين تأثير نسبة الرمل على اكبر قطر للمسامة والذي يمثل قطر المسامة الفعال في الترشيح, حيث نلاحظ ان زيادة نسبة رمل السيليكا يقلل من قطر المسامة. ان هذا التوجه يمكن ان يبرر لو علمنا:

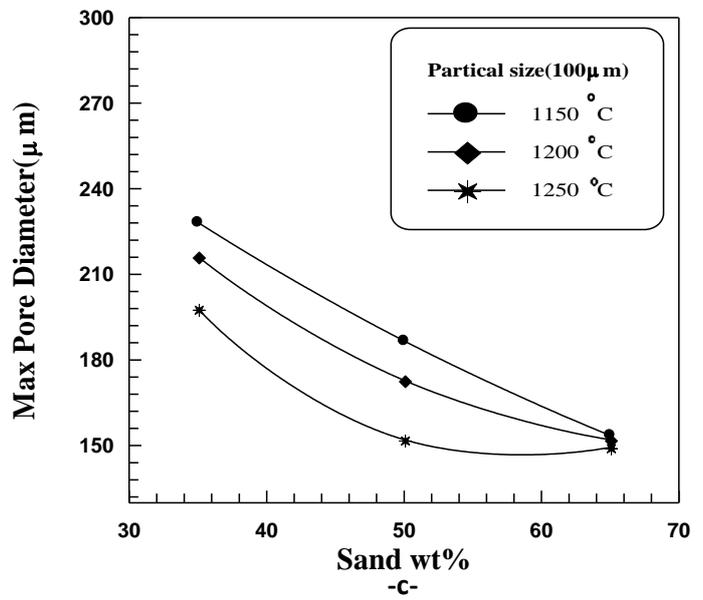
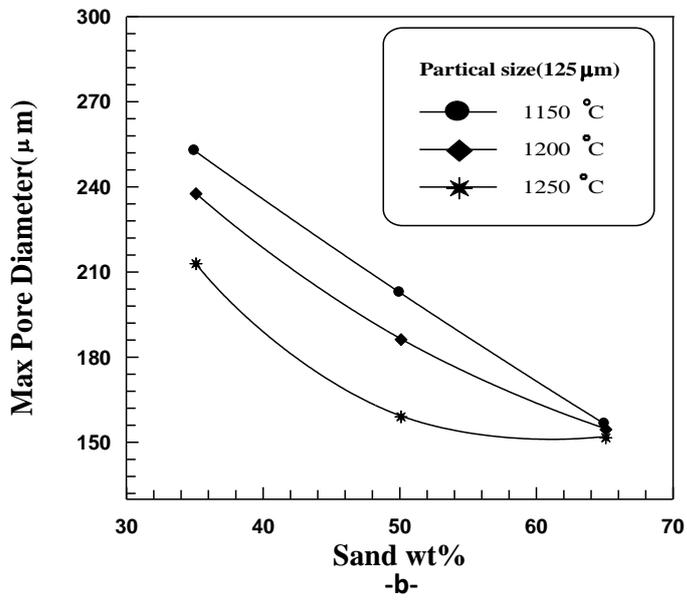
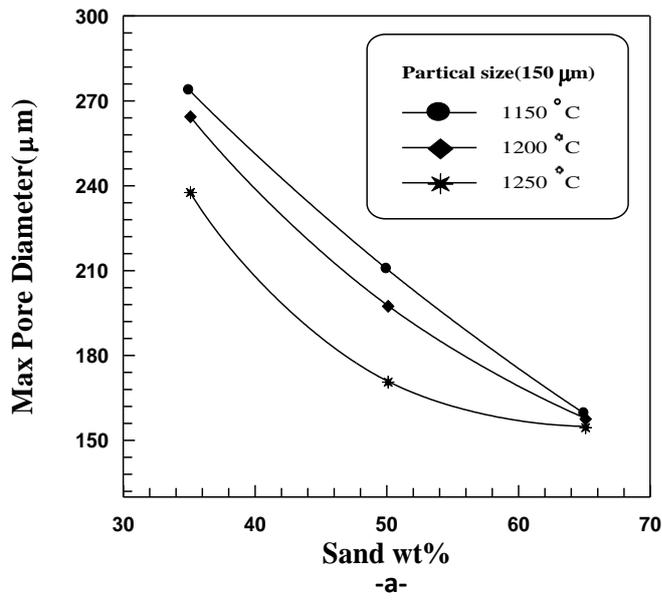
اولا: ان المادة الرابطة خلال عمليات الخلط الاولى تحاول ان تتجمع حول حبيبات الرمل أي تشكل اغلفة حول هذه الحبيبات وعندما تكون نسبة المادة الرابطة كبيرة فأن الحبيبة مع المادة الرابطة سوف تشكل اشكال كروية أو شبه كروية أكبر من لو كانت نسبة المادة الرابطة قليلة. الكرات الكبيرة تترك فجوات أكبر بينها من الكرات الصغيرة حينما تصطف ولأن الزيادة في نسبة رمل السيليكا سوف تقلل من نسبة المادة الرابطة لذا يمكن التوقع بأن المسامات سوف تكون اصغر.

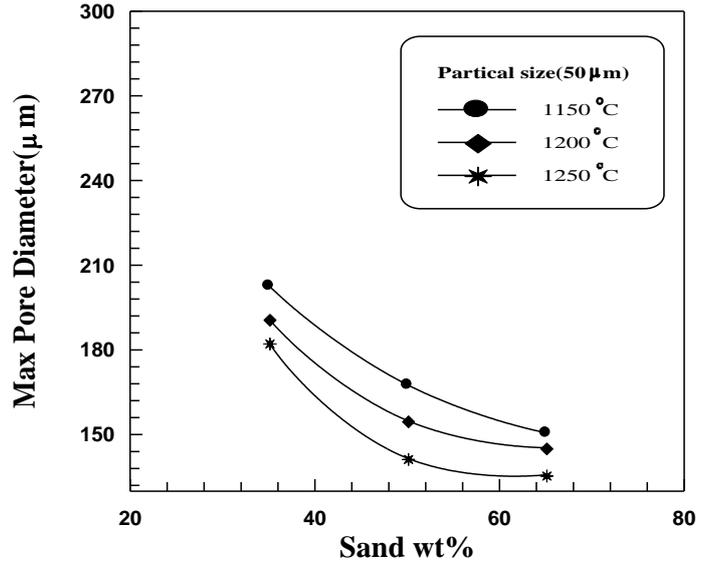
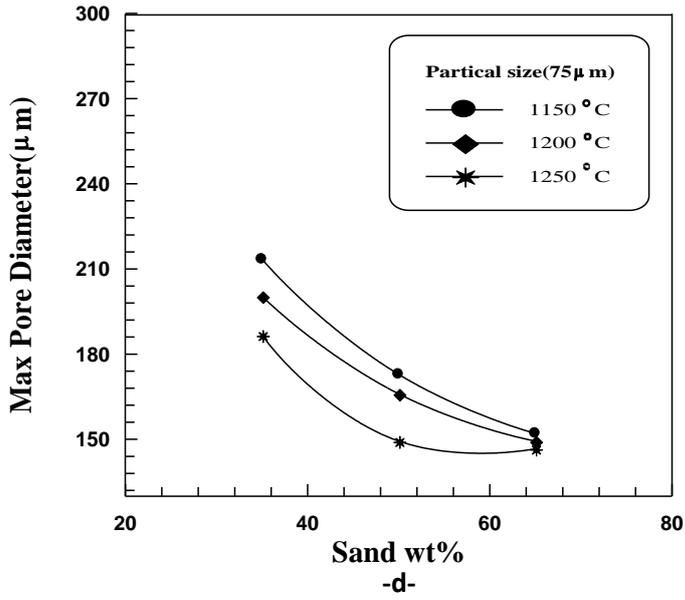
ثانيا: أن عمليات التلييد تتم عادة في المديات التي تكون حول الجدران الخارجية لحبيبات الرمل مع المادة الرابطة. عمليات التلييد تؤدي الى نمو بلوري وتكون منصهر زجاجي, وهذه العمليات تزداد كلما زادت نسبة المادة الرابطة "لأن المادة الرابطة تحتوي على كاربونات الكالسيوم" يصاحب ذلك انكماش للمادة الرابطة حول حبيبات الرمل مما يتيح للفجوة أن تتوسع معطية قطر اكبر للفجوة. هذه الحالة تكون أقل شدة اذا كانت نسبة المادة الرابطة قليلة ونسبة رمل السيليكا كبيرة.

تبين الاشكال (٤-١٠) ايضاً أن قطر المسامة يصغر حينما ترتفع درجة حرارة الحرق في جميع الحالات, ان هذا التوجه سبق وأن ذكر بأن ارتفاع درجة حرارة التلييد سوف يزيد من تكون الطور الزجاجي وهذا الطور سوف يؤدي الى تقليص الجسم عموماً مما يؤدي الى انكماش في حجم الفجوات والذي يتفق مع ما توصل اليه باحثون آخرون. [٥٨]

ولحجم جسيمات الرمل تأثير واضح على قطر للمسامة حيث تظهر الاشكال (٤-١١), ان بزيادة حجم الجسيمات يزداد قطر المسامة بسبب زيادة حجم حبيبات رمل السيليكا فتزداد الفجوات المتكونة ولكن بعدد أقل أي الحبيبات الناعمة تعطي قطراً اصغر.

وعند مقارنة هذه النتائج مع نتائج المسامية الظاهرية يتم الحصول على نتائج متناغمة حيث نلاحظ ان بارتفاع درجات حرارة الحرق يقل قطر المسامة مع انخفاض المسامية وانخفاض نسبة التمدد للأسباب التي ذكرت أعلاه.

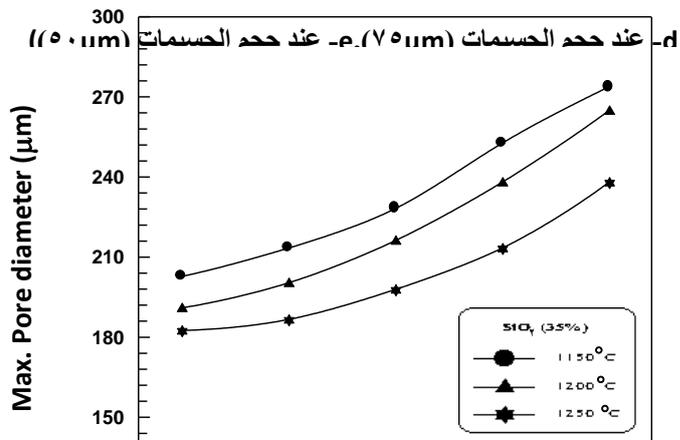


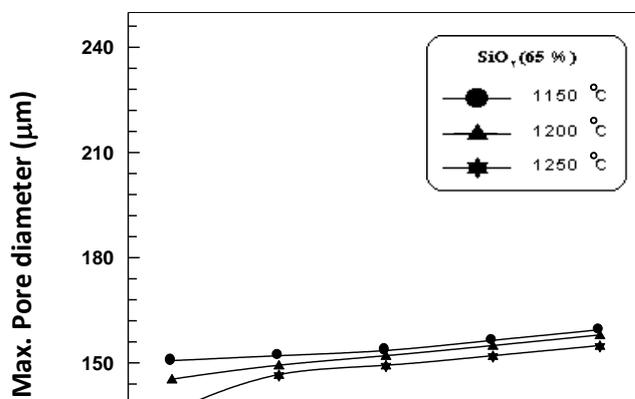
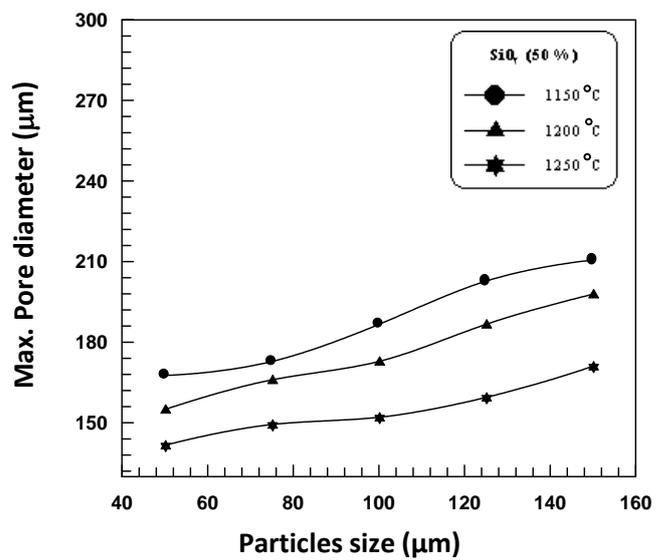


-e-

شكل (٤-١٠) تأثير نسبة الرمل على اكبر قطر للمسامة.

a- عند حجم الجسيمات (١٥٠ μm), b- عند حجم الجسيمات (١٢٥ μm), c- عند حجم الجسيمات (١٠٠ μm),





شكل (٤- ١) تأثير حجم جسيمات الرمل على اكبر قطر للمسامة.

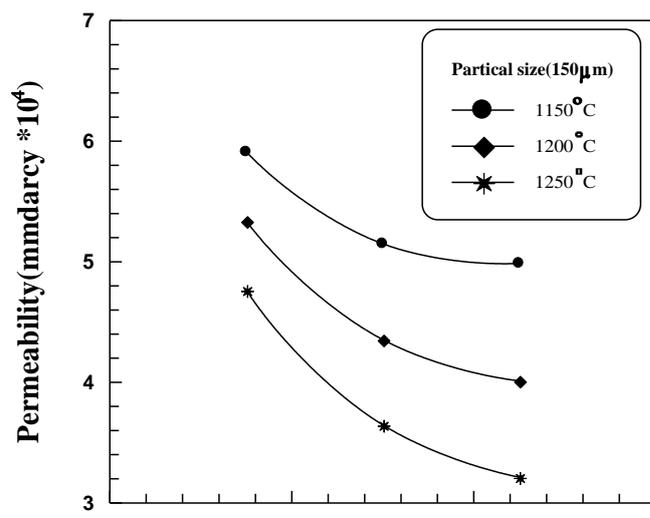
a- عند نسبة رمل (٣٥%) , b- عند نسبة رمل (٥٠%) , c- عند نسبة رمل (٦٥%)

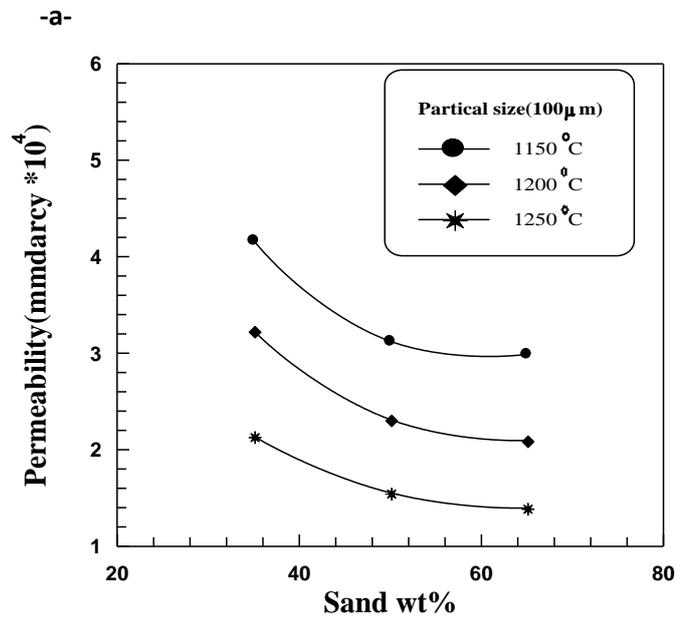
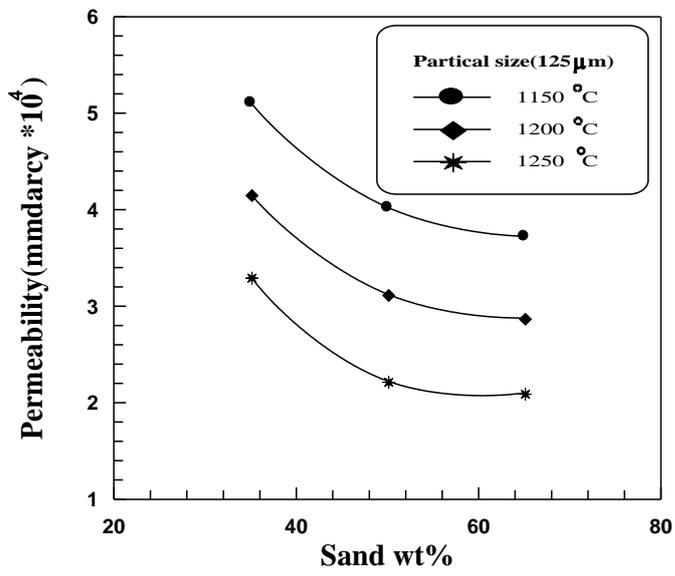
٤-٢-٥ النفاذية Permeability :

تتعلق نفاذية الجسم بدرجة أساسية بنسبة القنوات المفتوحة المتصلة بين المسامات والجدار الخارجي للجسم السيراميكي [٤١]. وتتأثر بصورة كبيرة بقطر المسامات اذ وحسب قانون Darcy تتناسب النفاذية طرديا مع قطر القنوات المفتوحة والذي يتفق مع ما توصل اليه باحثون آخرون. [٤٠]

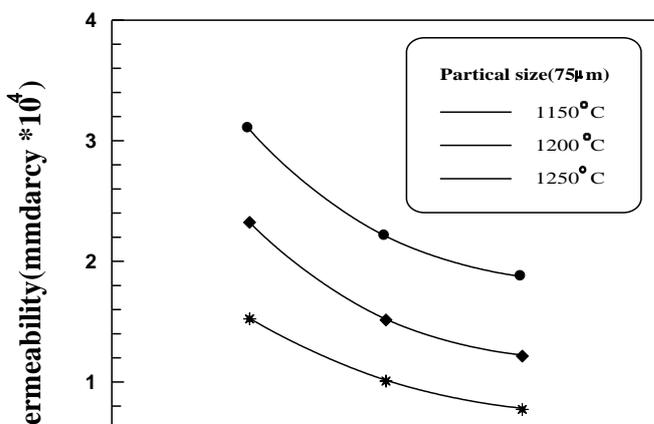
الاشكال (٤- ١٢), تبين تأثير زيادة نسبة رمل السيليكا على النفاذية باختلاف درجات حرارة الحرق, حيث إنها تنخفض بزيادة نسبة رمل السيليكا . النفاذية تعتمد على قطر المسامات والذي يقل بزيادة نسبة رمل السيليكا كما تم توضيحه سابقا. أما انخفاض النفاذية بزيادة درجة حرارة الحرق فذلك يعزى الى تكون الطور الزجاجي السائل الذي يزداد مع ارتفاع درجة الحرارة وتغلغله جزئيا داخل الفجوات مما يؤدي الى تصغير قطر المسامات.

أما تأثير اختلاف حجم جسيمات الرمل على النفاذية فتبينه الاشكال (٤- ١٣), والتي توضح بان النفاذية تزداد بزيادة حجم الجسيمات. السبب يعود في ذلك الى زيادة قطر المسامات الذي يزداد مع زيادة حجم الجسيمات كما تبين سابقا والذي يعتمد على حجم الفجوة المتكونة بين الحبيبات.

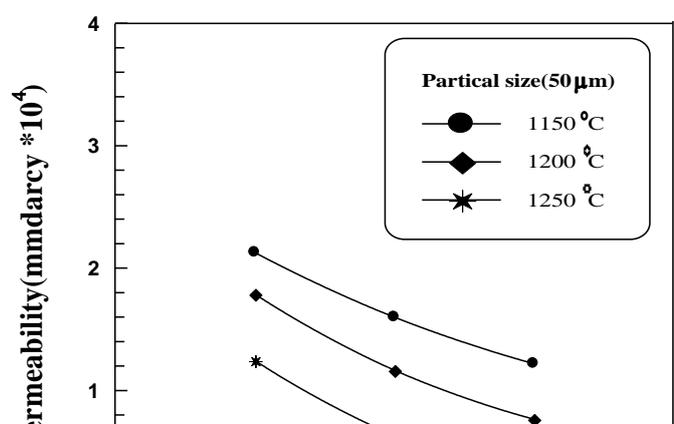




-b-



-c-

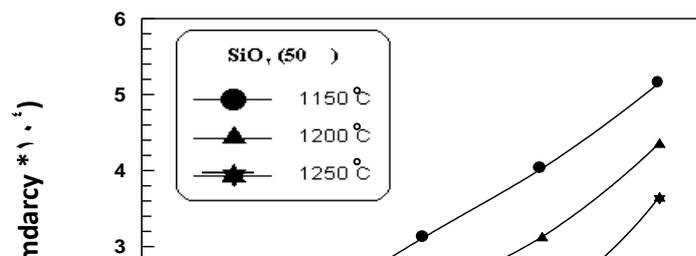
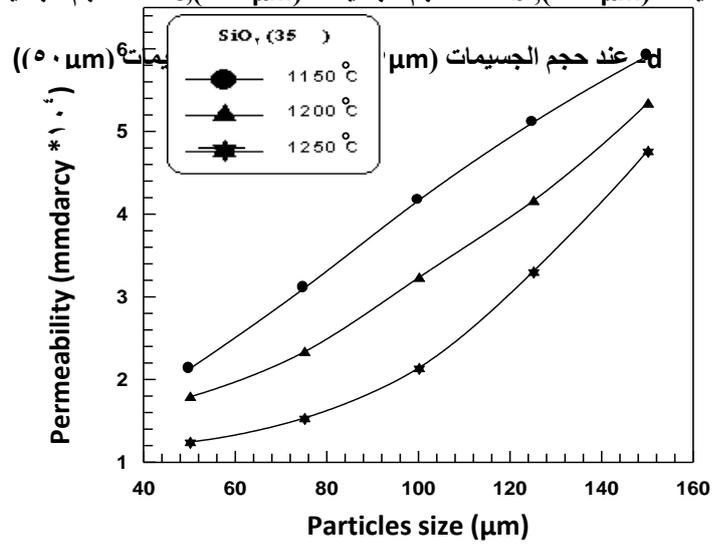


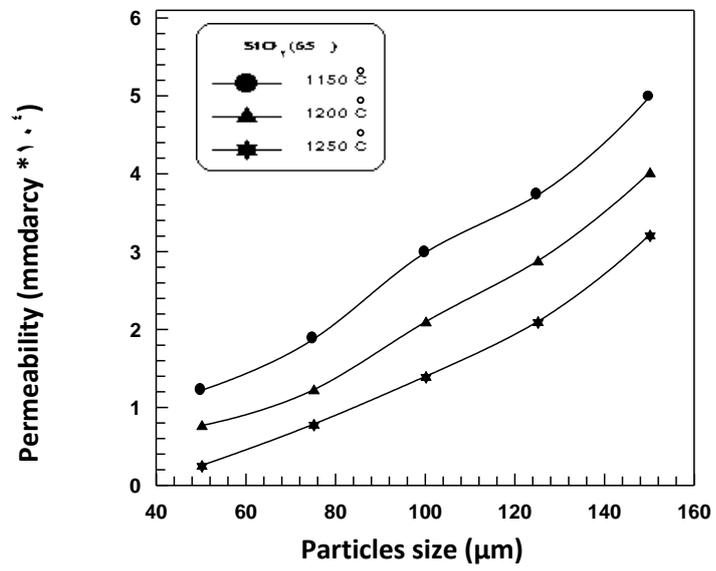
-d-

-e-

شكل (٤-١٢) تأثير نسبة الرمل على النفاذية.

-a) عند حجم الجسيمات (١٥٠ μm)، -b) عند حجم الجسيمات (١٢٥ μm)، -c) عند حجم الجسيمات (١٠٠ μm)،





شكل (٤-١٣) تأثير حجم جسيمات الرمل على النفاذية.

a- عند نسبة رمل (٣٥%) , b- عند نسبة رمل (٥٠%) , c- عند نسبة رمل (٦٥%)

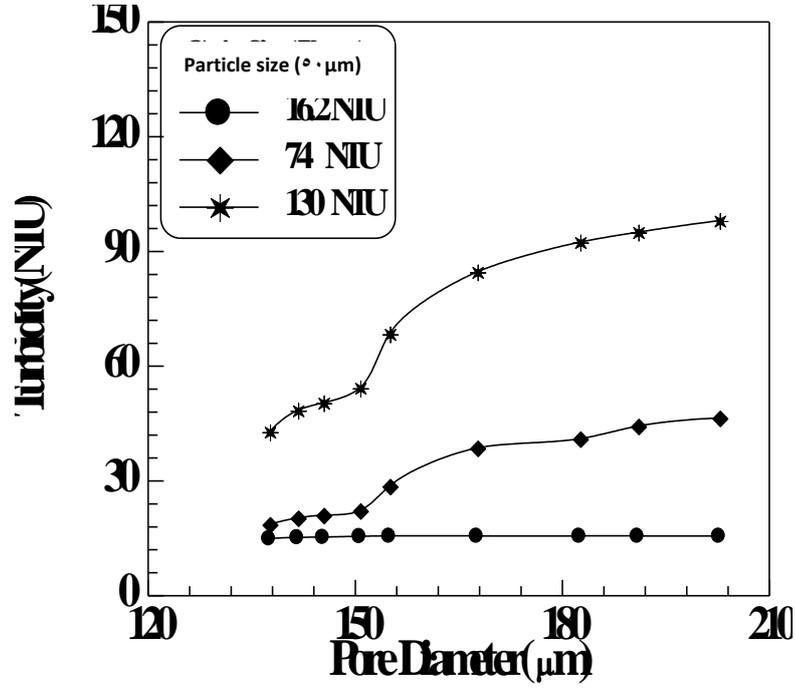
٣-٤ فحص العكرة Turbidity Test:

من اجل معرفة كفاءة المرشح المنتج في هذه الدراسة, تم اجراء اختبار العكرة على بعض النماذج من المرشحات المنتجة والتي تمتاز بالصفات التالية:

المجموعة	حجم جسيمات الرمل	المسامية	قطر المسامة	النفاذية
١.	٥٠µm	أعلى مسامية	أصغر قطر	أقل نفاذية
٢.	١٥٠µm	أوطأ مسامية	أكبر قطر	أعلى نفاذية

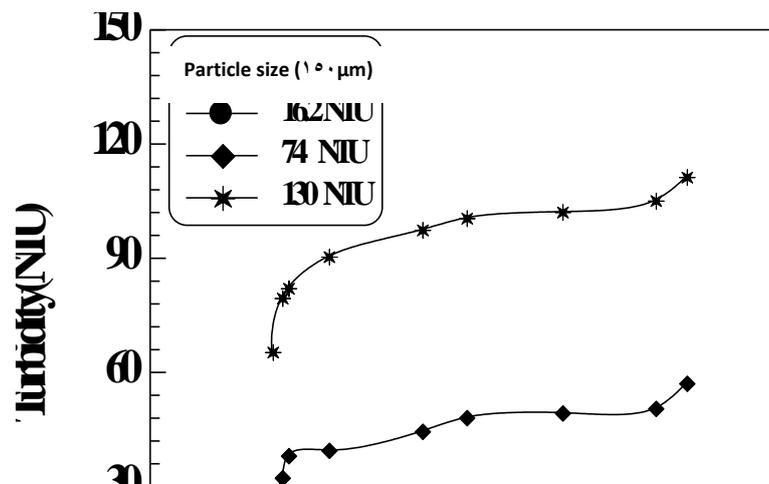
لقد تم اختيار مائع(الماء) ذو ثلاث تراكيز عكرة (١٣٠NTU, ٧٤NTU, ١٦.٢NTU). ولان كفاءة المرشح يحددها بالدرجة الاساس قطر المسامة بالإضافة للقنوات المفتوحة المتصلة ولذا سيتم دراسة تأثير قطر المسامة على عكرة الماء.

الشكل (٤-١٤), يبين تأثير تغير قطر المسامة على عكورة الماء بعد الترشيح للمجموعة الأولى (٥٠µm) باختلاف درجة حرارة الحرق وبأختلاف نسب الرمل. اما الشكل (٤-١٥) فيبين تأثير تغير قطر المسامة على عكورة الماء للمجموعة الثانية (١٥٠µm) باختلاف درجة حرارة الحرق وبأختلاف نسب الرمل. ان هذه الاشكال تظهر ان عكرة الماء المترشح تزداد بزيادة قطر المسامة. نلاحظ أيضا أن عكرة الماء المترشح تكون أعلى في نماذج المجموعة الثانية المبينة في الشكل (٤-١٥) من نماذج المجموعة الأولى المبينة في الشكل (٤-١٤) وذلك بسبب ان المجموعة الثانية تمتلك نماذج ذات قطر مسامة أكبر مما يسهل عبور الجزيئات عبر المرشح والتي تزيد من كمية الجزيئات النافذة في السائل المترشح. مما ورد اعلاه نلاحظ ان عكرة الماء تزداد مع زيادة اكبر قطر للمسامة البنية وليس على عددها, فكلما كبر قطر المسامة زادت كمية الجزيئات المارة عبر المرشح.



شكل (٤-١٤) تأثير قطر المسام على عكورة الماء.

للنماذج ذات حجم جسيمات للرمل ($50 \mu\text{m}$).



شكل(٤-١٥) تأثير قطر المسامة على عكرة الماء.

للنماذج ذات حجم جسيمات للرمل ($100 \mu m$).

٤-٤ الخواص الميكانيكية Mechanical Properties :

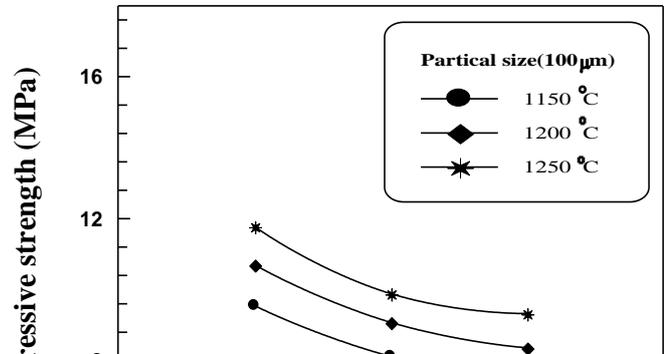
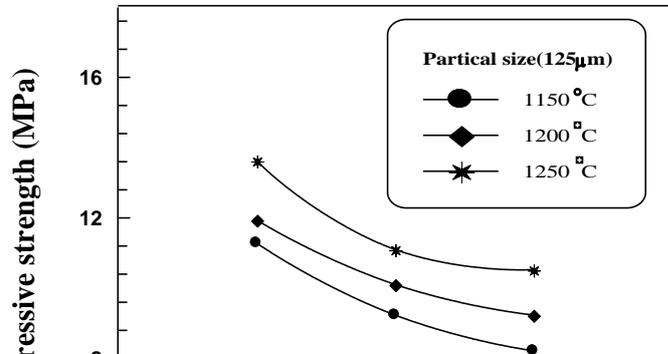
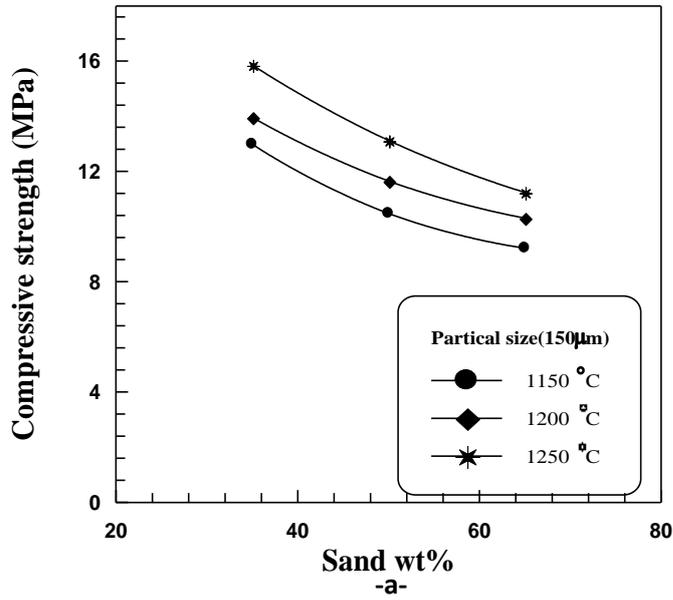
٤-٤-١ مقاومة الانضغاط ومقاومة الانحناء & Compressive Strength & Bending Strength :

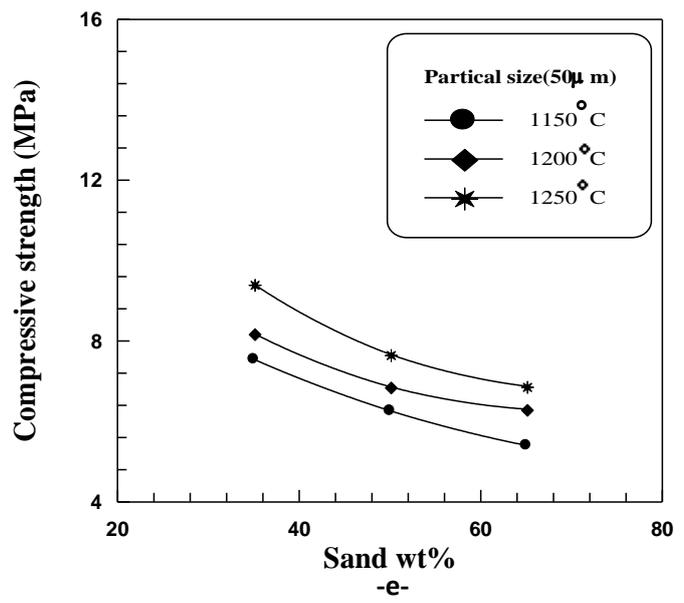
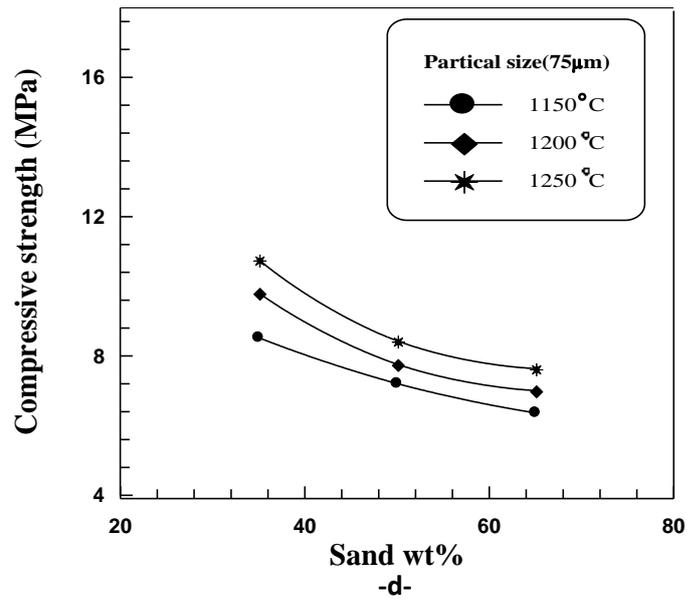
ان دراسة مقاومة الانحناء ومقاومة الانضغاط تعطي تصور عن مقاومة المادة والظروف التي يمكن ان تستخدم فيها, فمقاومة المادة تحددها العديد من العوامل مثل كثافة المادة, ودرجة حرارة الحرق, والتفاعلات الكيميائية التي تحصل بين المكونات. كذلك الاجهادات التي تظهر في الجسم اثناء التبريد وما يصاحب ذلك من زيادة في الحجم.

الاشكال (٤-١٨) تبين نتائج مقاومة الانضغاط بدرجات الحرارة المختلفة. وتظهر النتائج أن الزيادة في نسبة رمل السيليكا في النماذج تقلل من المقاومة . أن هذا التوجه يرتبط بشكل اساسي مع توجه المسامية اذ تزداد المسامية مع زيادة نسبة رمل السيليكا. اما زيادة مقاومة الانضغاط بارتفاع درجة حرارة الحرق فهي تأتي ضمن سياق زيادة تلييد الجسم السيراميكي مما يكسبه ارتباطا أعلى بين مكوناته والذي يتفق مع ما توصل اليه باحثون آخرون.[٥٧]

اما تأثير حجم جسيمات الرمل فتبينه الاشكال(٤-١٩), حيث انه يشير الى زيادة المقاومة كلما زاد حجم الجسيمات من نتائج المسامية التي ذكرت سابقا نستشف ان المسامية تقل بزيادة حجم الجسيمات ولذلك نجد ان المقاومة تزداد تبعا لذلك.

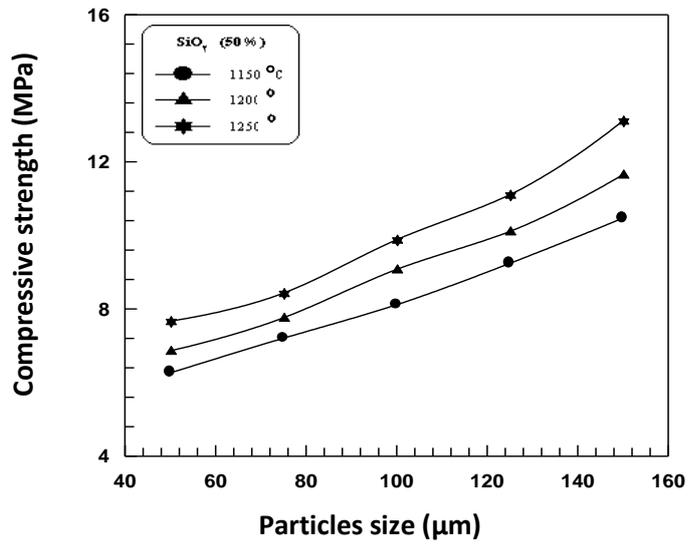
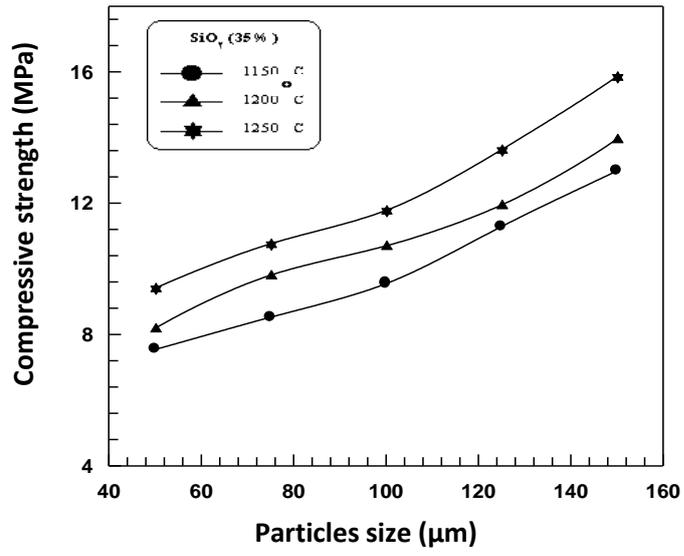
الاشكال (٤-٢٠) تمثل مقاومة الانحناء مع زيادة نسبة رمل السيليكا. والاشكال (٤-٢١) تمثل تعلق مقاومة الانحناء من زيادة حجم الجسيمات لرمل السيليكا. ان توجهات المنحنيات المذكورة أعلاه تشير الى نفس التوجهات التي تمت مناقشتها فيما يخص مقاومة الانضغاط. في الحقيقة أن هاتان الصفتان متشابهتين في التوجه والمسببات.

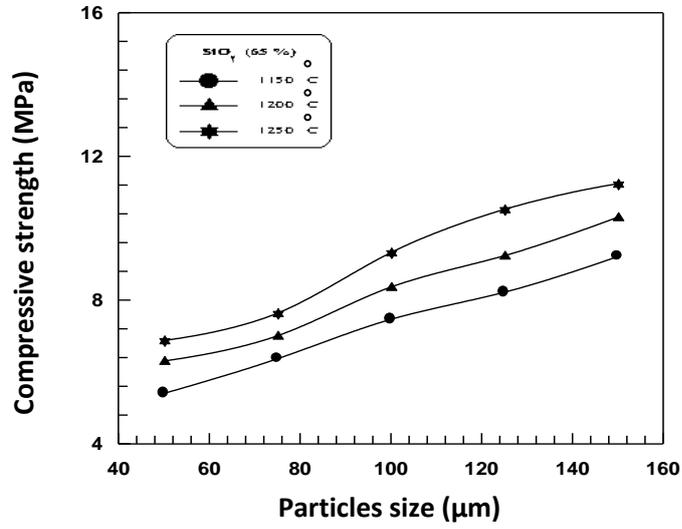




شكل (٤- ١٨) تأثير نسبة الرمل على مقاومة الانضغاط.

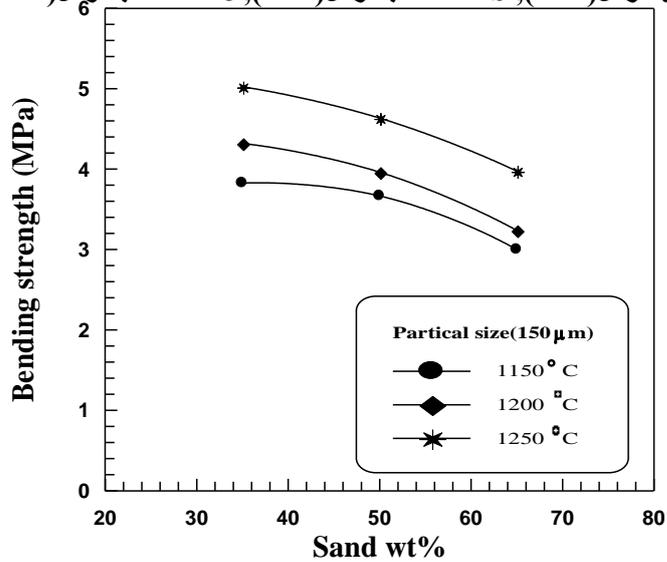
(a) عند حجم الجسيمات (1٥٠µm), (b) عند حجم الجسيمات (١٢٥µm), (c) عند حجم الجسيمات (١٠٠µm),

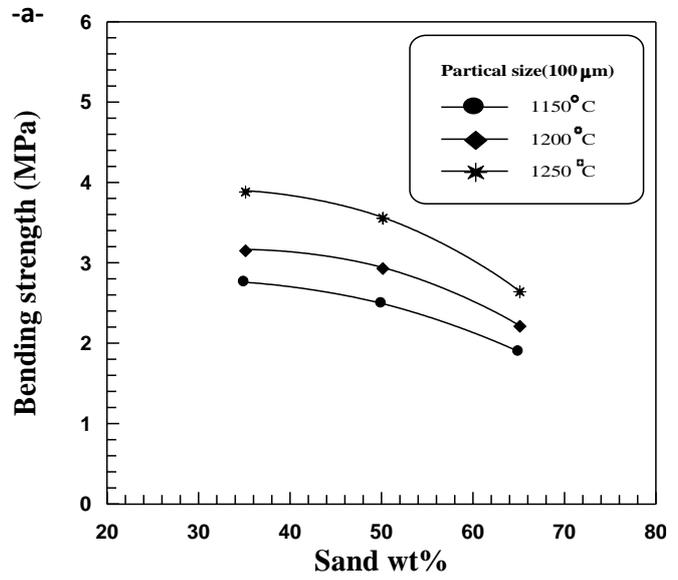
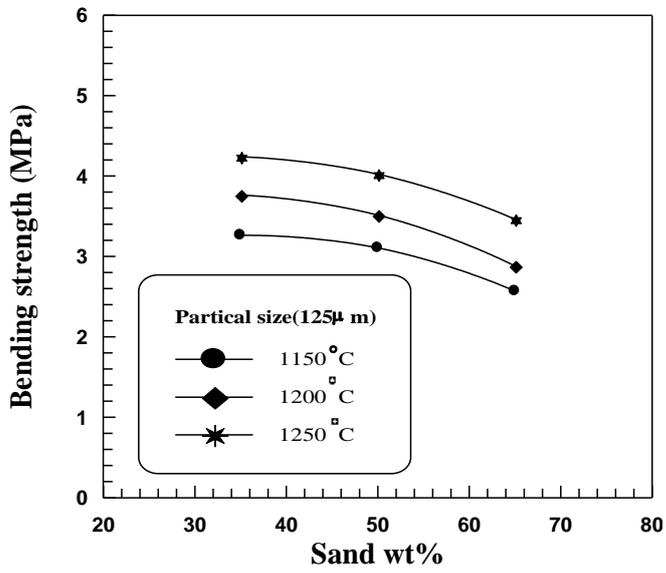




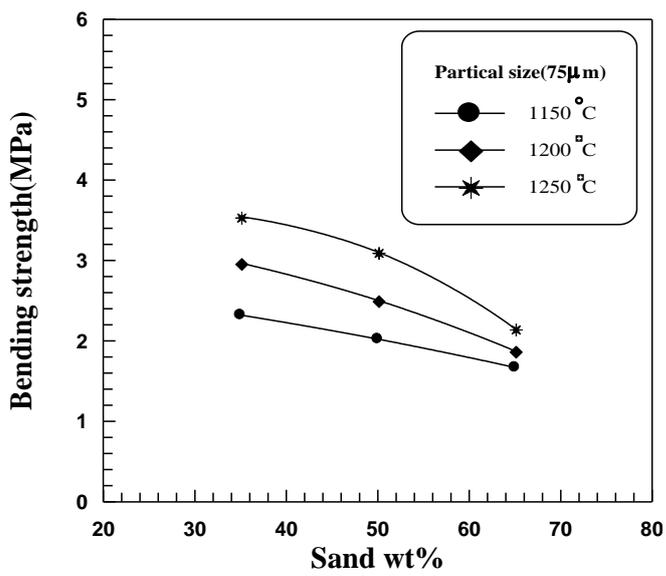
شكل (٤-١٩) تأثير حجم جسيمات الرمل على مقاومة الانضغاط.

a- عند نسبة رمل (٣٥%)، b- عند نسبة رمل (٥٠%)، c- عند نسبة رمل (٦٥%)

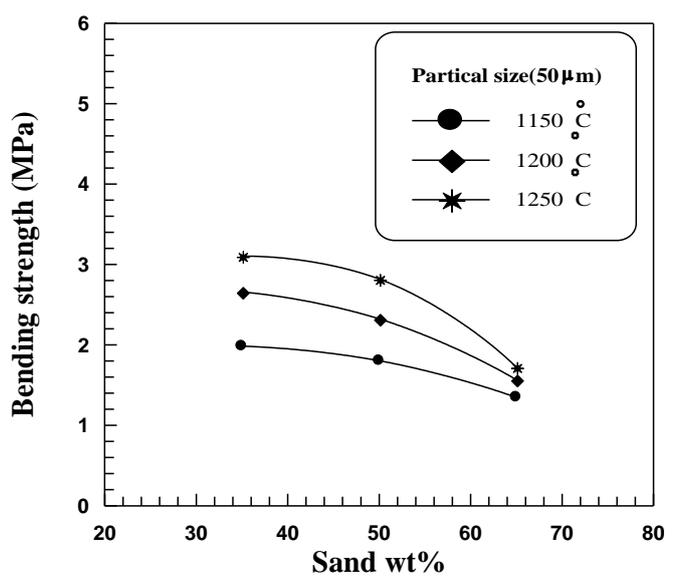




-b-



-c-

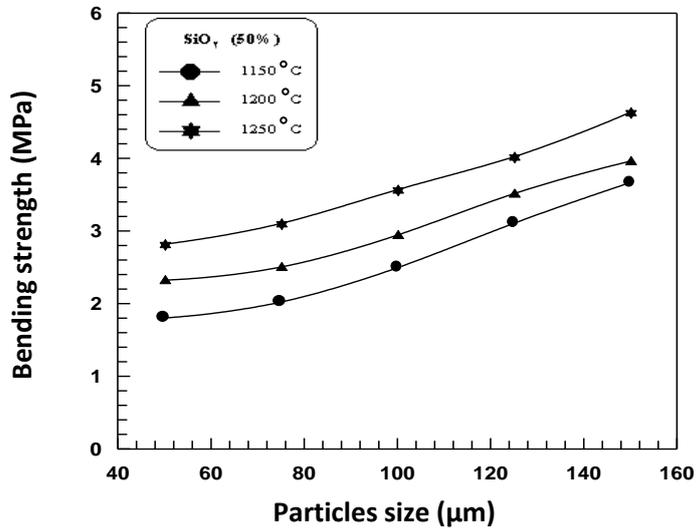
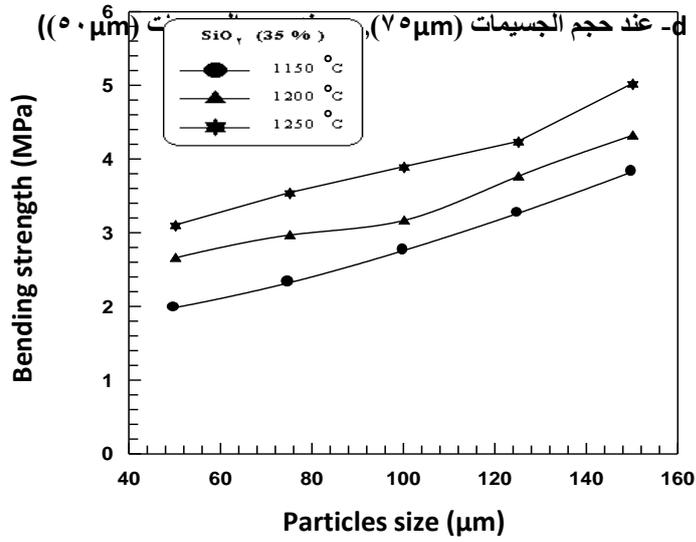


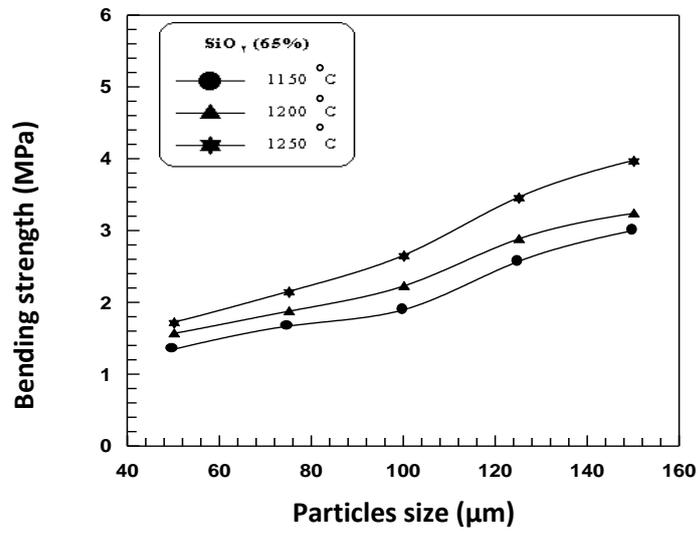
-d-

-e-

شكل (٤-٢٠) تأثير نسبة الرمل على مقاومة الانحناء.

a) عند حجم الجسيمات (١٥٠ μm), b) عند حجم الجسيمات (١٢٥ μm), c) عند حجم الجسيمات (١٠٠ μm),





شكل (٤-٢١) تأثير حجم جسيمات الرمل على مقاومة الانحناء.

a- عند نسبة رمل (٣٥%)، b- عند نسبة رمل (٥٠%)، c- عند نسبة رمل (٦٥%)

٥-١ الاستنتاجات Conclusions :

تم التوصل في هذه الدراسة لإنتاج المرشحات من مواد سيراميكية محلية (رمل السيليكا, الكاؤولين, كاربونات الكالسيوم) بالمواصفات التالية:

- 1- أعلى مسامية ظاهرية (55.67%) وامتصاصية الماء (27.20%) وذلك عند أعلى نسبة لرمل السيليكا (65%), وأوطأ درجة حرارة للحرق (1150°C), وأصغر حجم لجسيمات الرمل (50µm).
- 2- أعلى كثافة (2.852 g/cm³) وذلك عند أقل نسبة لرمل السيليكا (35%), وأعلى درجة حرارة للحرق (1250°C), وأكبر حجم الجسيمات (150µm).
- 3- أكبر قطر المسامية (273.7 µm) وأعلى نفاذية (5.909*10⁻⁴ mmdarcy) وذلك عند أقل نسبة لرمل السيليكا (35%), وأقل درجة حرارة للحرق (1150°C), وأكبر حجم لجسيمات الرمل (150µm).
- 4- أقل عكرة للماء (18.6 NTU) بالنسبة للماء ذو عكرة (74 NTU) و(42.8 NTU) بالنسبة للماء ذو عكرة (130 NTU) وذلك عند أصغر قطر مسامية (135.7µm). بينما أعلى عكرة للماء (52.6 NTU) بالنسبة للماء ذو عكرة (74 NTU) و(111.4 NTU) بالنسبة للماء ذو عكرة (130 NTU) وذلك عند أكبر قطر مسامية (273.7 µm).
- 5- الخواص الميكانيكية (مقاومة الانضغاط ومقاومة الانحناء) تعتمد على الكثافة فتزداد بزيادتها حيث أعلى مقاومة انضغاط (15.852 MPa) ومقاومة انحناء (5.022 MPa) وذلك عند أقل نسبة لرمل السيليكا (35%), وأعلى درجة حرارة للحرق (1250°C), وأكبر حجم لجسيمات الرمل (150µm).

٢-٥ التوصيات Recommendations :

- 1- دراسة إنتاج المرشحات السيراميكية من المواد الأولية (رمل السيليكا, الكاؤولين, كاربونات الكالسيوم) ولكن باستخدام درجات حرارية أعلى للحرق تصل إلى (1400 °C).
- 2- دراسة إنتاج المرشحات السيراميكية باستخدام مواد رابطة أخرى بدلاً من (الكاؤولين و كاربونات الكالسيوم) كالزجاج أو مواد بوليميرية.
- 3- دراسة إنتاج المرشحات السيراميكية من مواد أولية أخرى بدلاً من السيليكا ككاربيد السيليكون أو الزجاج.
- 4- دراسة إنتاج المرشحات السيراميكية باستخدام مواد ذات حجم جسيمات أقل ودراسة تأثيرها على الخواص الفيزيائية والميكانيكية.

References

- 1- Harper A. Ch., *Hand book of Ceramics, Glasses, and Diamonds, Mc Graw-Hill publidiun*, pp. 216, 2001.

- 2- Meyers A. M., Chawla K. K., ***Mechanical Behavior of Materials, Prentice Hall, New Jersey, pp 20-30, 1998.***
- 3- William D., Callister Jr., ***Materials Science and Engineering an Introduction, 1999.***
- 4- Astbury.N.F, ***Metals and Materials, p. 299, 1978.***
- 5- Othmer Kirk., ***Encyclopedia of Chemical Technology; 3rd edition; Vol. 9, USA., 1979.***
- 6- Bolton W., ***Engineering Materials Technology, 3rd edition, pp 114-117, 1998.***
- 7- Barsoum W. Miche., ***Fundamentals of Ceramic, The McGraw- Hill Companies, Inc., p 179, 1997.***
- 8- Van Vlack H. L., ***Elements of Materials Science and Engineering, 4th edition, 1980.***
- 9- Singer F., Singer S. S., ***Industrial Ceramics, Chapman and Hall Ltd. Published, p 1400, 1973.***
- 10- Kingery W.D., Bowen H.K., Uhlmann D.R., ***Introduction to Ceramics, 3rd edition, New York, p 1032, 1976.***

11- www.ext.vt.edu/pub/mines/470-124/htm.

Ceramic Materials. Info, Ceramic Oxides.

- 12- Askeland R.D., Phule P.P., ***The Science and Engineering of Materials, 4th edition, 2003.***
- 13- Hamer F., ***The Potter's Dictionary of Materials and Techniques, 1st edition, Pitman Publishing, London, p 338, 1970.***
- 14- Ryan W., Radford C., ***White wares: Production, Testing and Quality Control, Pergamon Press, UK, 1987.***
- 15- Worrall W.E, ***Ceramic Raw Materials, 3rd edition, Pergamon Press, UK, 1982.***
- 16- Pollack W. H., ***Materials Science and Metallurgy, 3rd edition, Reston Publishing Company, Inc., New York, pp 412-415, 1981.***
- 17- Norton F.H, ***Elements of Ceramic, 3rd edition, Addeson, Wesley pub. Comp., Inc., Philippines, 1974.***
- 18- Bergeron G. C., Rishud H. S., ***Introduction to Phase Equilibria in Ceramics, American Ceramic Society. Ohio, 1984.***
- 19- Sinha A.K., ***Powder Metallurgy, 3rd edition, 1990.***
- 20- Jeannine S.W., Seoh C.E., ***Amer. Ceram. Soc. Bull., Vol. 71, No. 11, pp. 1774-1782, 1992.***

- ٢١- Pordant, Comanesu F.I., Popescu N., *Inter Ceram*, Vol. ١٣٦, No. ٢, pp. ٣٨-٤٢, ١٩٨٧.
- ٢٢- Amstead B.H., Ostwald F. P., Begman L. M., *Manufacturing Processes*, ٧th edition, New York, pp ٢٧٣-٢٤٦, ١٩٧٩.
- ٢٣- Wang F.Y. F., *Treatise on Materials Science Volume ٩- Cerami Fabrication Processes*, Academic Press, Inc., Ltd., p ٣٧٩, ١٩٧٦.
- ٢٤- Rahuman M.N., *Ceramic Processing and Sintering*, 1st edition, ١٩٩٠.
- ٢٥- Perry R.H., Chilton. C.H.eds, *Chemical Engineers, Hand Book*, ٥th edition, Mc. Graw- Hill, ١٩٧٣.
- ٢٦- McCabe W.L., Smith J.C., *Operation of Chemical Engineers*, ٣rd edition; Mc. Graw- Hill, ١٩٦٧.
- ٢٧- Herz.R.K, Sinkevits R.M., Carbon, Vol. ٢٤, No. ٤, pp. ٤٠٧-٤٦٢, ١٩٨٦.
- ٢٨- Sibley.S., Simmons W., *Wire Industry*, pp. ١٧٥-١٧٧, ١٩٨٧.
- ٢٩- Karl.K.g., Co.K.G, *Scientific Supplies Catalogue for Research Industry Education*, ٧th edition, West Germany, ١٩٨٧.
- ٣٠- James. Z, P. Eggerstedt, *Ceram. Bull.*, Vol. ٧٠, No. ١, ١٩٩١.
- ٣١- Lede.J., *Intern.Chem. Eng*, Vol. ٢٦, No. ٤, ١٩٨٦.
- ٣٢- Hoogovens Industrial Ceramics, *World Ceramic and Refractories, Incorporating Euroclay and Refractories*, Vol. ١, No. ١, ١٩٩٠.
- ٣٣- www.freepatentsonline.com.
- Liu J., Rieß W., Münch Ch., Ziegler G., *Development of a Co- Firing Technique for the Production Processes of Ceramic*, ١٩٩٦.
- ٣٤- www.mi.infn.it/~landnet/Doc/chemical-mod.
- Baray S.G., *Development of High Ceramic in PMRI PP*, ١٩٩٨.
- ٣٥- www.waterwaterweb.com/waterfilters.htm/.
- Aquasana, *Water Filter Guide Line*, ٢٠٠٥.
- ٣٦- www.library.uaeu.ac.ae.

Bulgarian and European Community Standard, *Kinds Filters and Filtrate Systems*, 1996.

37- Scheldegger E. A., *The Physics of Flow through Porous Media*, 3rd edition, 1972.

38- Bigniew Z., Jastrzebski D., *The Nature and Properties of Engineering Materials; 3rd edition, SI Version, New York, pp 432-435*, 1977.

39- George.Y., Onoda.Jr., Hench L. L., *Ceramic Processing Before Firing, Wiley- Interscience Publication, New York, pp 52-56*, 1978.

40- Dvllien E.A.L., *Porous Media Fluid Transport and Pore Structure*, p 390, 1979.

41- Jacob B., *Dynamics of Fluids in Porous Media, American Elsevier, Publishing Company, Inc., Canada, pp 13-19*, 1972.

42- Hampton D., Savage B. S., *American Ceramic Society, Vol. 70, No. 10*, 1992.

43- www.freepatentsonline.com

Solid State Sintering Kinetics, 2002.

44- Wong.B., Pask.J.A, *American Ceramic Society, Vol. 72, No. 138*, 1979.

45- Brook. R.J., *Controlled Grain Growth, pp. 331 in Treatise on Treatise on Materials Science Volume 9- Ceramic Fabrication Processes. Edited by Wang, F.F.Y., Academic Press, New York, 1976*.

46- Cobel.R.L., *Ceramic and Metal Sintering, Mechanism of Material Transport and Density-Limiting Characteristics. pp 11-23 in Proceeding of the First Symposium on Fundamental Phenamenain Material Science, V.1 Sintering and Plastic Deformation, edited by Bonis, L.J.Hansner, H.H, the Plenunpress, 1974*.

47- Pamapush.R., *Ceramic Material an Introduction to Their Properties, PWN, Polish scientific puplisher, Warszawa, p. 119*, 1976.

48- Viane.W., *Clay- Based Material for Ceramic Industry, edited by Nosbusch H., Elseaer Applied Science London, 1988*.

49- ASTM Annual Book of Standards, C 373- 1988, pp. 104-110.

50- Brownell W.E, *Structural Clay Products, New York, 1979*.

51- ASTM Annual Book of Standards, Vol. 10, No. 1, 1988.

٥٢- British Standards Institution, *Specification for Laboratory Sintered or Ritted Filters*, B.S. ١٧٥.٢, ١٩٦٣.

٥٣- Japanese. Industrial Standard, *Testing of Flexural Strength (Modulus of Rupture) of High Performance Ceramic*, JISR ١٦٠١, ١٩٨١.

٥٤- ASTM Annual Book of Standards, C ٦٧٤- ١٩٨٨, pp. ٢٠٠-٢٠٣.

٥٥- ASTM Annual Book of Standards, C ٧٧٣- ١٩٨٨, pp. ٢٤٥-٢٤٧.

سعاد عبد عباوي, محمد سليمان حسن, الهندسة العملية للبيئة "فحوصات الماء", دار الحكمة-٥٦- للطباعة والنشر, الموصل, صفحة (٥٣-٥٠), ١٩٩٠.

٥٧- Mangonon Patl., Ph.D., P.E., Fasm, *The Principles of Materials Selection for Engineering Design*, New Jersey, ١٩٩٩.

٥٨- Feleck D., Atkins G. A., *Strength and Fracture of Engineering Solids*, ٣rd edition, Prentice-Hall, Inc., New Jersey, p ٥٣٥, ١٩٩٦.

الأدوات والأجهزة المستخدمة: Apparatus

الأدوات والأجهزة التي تم استعمالها في هذه الدراسة موضحة بالجدول أدناه مع بيان لمواصفاتها:

الأدوات والأجهزة المستخدمة

المواصفات	الأدوات والأجهزة	ت
ألماني الصنع وبدقة (±٠.٠٠١)	ميزان حساس Startorius	١
	جهاز الخلط الكهربائي	٢
WYKEHAM FARRANCE ENGINEERING LTD SLOUGH.ENGLAND	جهاز الفصل (الهزاز) Sieve	٣
PRODIT S.a. ٥٩-١٠٠٢٦ Santena (Torino)(Italy)	فرن التجفيف الكهربائي Oven	٤
١٩٧٧-N٢S٩١(U.S.S.R)	المكبس اليدوي	٥
من الفولاذ المتوسط الكربون	القوالب	٦

0.	2.333	1.067	0.667	1.667	0.767	0.4	1.233	0.033	0.233
70	2.6	1.367	0.767	1.802	0.9	0.067	1.407	0.73	0.333
100	2.767	1.763	1.367	2.233	1.033	0.73	1.843	1	0.7
120	3.13	2.333	2.1	2.767	1.843	1.467	2.402	1.467	1.233
150	3.0	2.9	2.4	3.033	2.233	1.667	2.767	1.637	1.322

2- Porosity%:

Temp.(°C) Grain Size(μm)	30% Sand			50% Sand			70% Sand		
	110.	120.	120.	110.	120.	120.	110.	120.	120.
0.	37.33	34.332	32.02	43.721	37.417	34.021	50.674	40.328	41.684
70	30.37	33.003	31.09	38.014	34.900	32.826	40.789	41.977	38.706
100	34.981	32.740	30.087	37.376	34.133	32.374	44.319	40.124	37.000
120	34.103	31.481	30.014	30.36	33.178	31.087	41.847	37.692	33.91
150	32.042	31.000	29.280	33.982	32.479	30.077	38.947	36.293	33.383

3- Water Absorption:

Temp.(°C) Grain Size(μm)	30% Sand			50% Sand			70% Sand		
	110.	120.	120.	110.	120.	120.	110.	120.	120.
0.	24.133	22.430	21.887	26.384	20.423	24.301	27.200	26.742	20.178
70	23.648	22.013	21.271	26.198	20.204	23.001	26.994	26.302	24.448
100	23.039	21.213	20.006	24.603	22.8	21.71	20.313	24.103	22.961
120	22.014	20.474	19.874	23.421	22.21	21.201	24.332	23.239	21.881
150	21.103	20.201	19.636	22.612	21.011	20.68	23.401	21.878	21.178

ξ- Density (g/cm³):

	30% Sand			50% Sand			70% Sand		
Temp.(°C)	110.	120.	125.	110.	120.	125.	110.	120.	125.
Grain Size(μm)									
50.	1.03	1.069	1.702	1.01	1.033	1.002	1.493	1.023	1.044
75.	1.082	1.687	1.932	1.010	1.001	1.808	1.001	1.042	1.730
100.	1.672	1.841	2.13	1.636	1.702	1.974	1.099	1.64	1.809
125.	1.903	2.004	2.263	1.684	1.724	2.107	1.626	1.673	2.010
150.	2.360	2.003	2.082	2.133	2.228	2.401	2.063	2.110	2.281

ο- Permeability (mm.darcy*10⁻⁴):

	30% Sand			50% Sand			70% Sand		
Temp.(°C)	110.	120.	125.	110.	120.	125.	110.	120.	125.
Grain Size(μm)									
50.	2.127	1.788	1.243	1.098	1.160	0.63	1.218	0.760	0.203
75.	3.102	2.332	1.032	2.21	1.023	1.016	1.874	1.224	0.782
100.	4.164	3.229	2.138	3.121	2.311	1.001	2.986	2.090	1.390
125.	0.107	4.108	3.302	4.023	3.124	2.223	3.723	2.877	2.099
150.	0.909	0.336	4.762	0.147	4.302	3.640	4.980	4.011	3.212

τ- Max.Pore Diameter (μm):

	٣٥% Sand			٥٠% Sand			٦٥% Sand		
Temp.(°C)	١١٥.	١٢٠.	١٢٥.	١١٥.	١٢٠.	١٢٥.	١١٥.	١٢٠.	١٢٥.
Grain Size(μm)									
٥٠	٢٠٢.٧	١٩٠.٩	١٨٢.٥	١٦٧.٦	١٥٤.٩	١٤١.٦	١٥٠.٦	١٤٥.٣	١٣٥.٧
٧٥	٢١٣.٣	٢٠٠.٣	١٨٦.٦	١٧٢.٨	١٦٥.٩	١٤٩.٣	١٥٢	١٤٩.٣	١٤٦.٦
١٠٠	٢٢٨.١	٢١٦.١	١٩٧.٨	١٨٦.٦	١٧٢.٨	١٥٢	١٥٣.٥	١٥٢	١٤٩.٣
١٢٥	٢٥٢.٦	٢٣٨	٢١٣.٣	٢٠٢.٧	١٨٦.٦	١٥٩.٤	١٥٦.٤	١٥٤.٩	١٥٢
١٥٠	٢٧٣.٧	٢٦٤.٨	٢٣٨	٢١٠.٥	١٩٧.٨	١٧١	١٥٩.٤	١٥٧.٩	١٥٤.٩

٢- الخواص الميكانيكية:

١- Compressive Strength (MPa):

	٣٥% Sand			٥٠% Sand			٦٥% Sand		
Temp.(°C)	١١٥.	١٢٠.	١٢٥.	١١٥.	١٢٠.	١٢٥.	١١٥.	١٢٠.	١٢٥.
Grain Size(μm)									
٥٠	٧.٥٤١	٨.١٨٥	٩.٤١٣	٦.٢٦	٦.٨٥٨	٧.٦٦٧	٥.٤٠١	٦.٣٠٢	٦.٨٧٣
٧٥	٨.٥٢١	٩.٨٠٤	١٠.٧٥٩	٧.٢٠٣	٧.٧٥٨	٨.٤٣١	٦.٣٦٦	٧.٠٠٣	٧.٦٣٤
١٠٠	٩.٥٤٦	١٠.٦٩٦	١١.٧٧٧	٨.١١٤	٩.٠٧٣	٩.٨٨٢	٧.٤٦١	٨.٣٥٩	٩.٣٢١
١٢٥	١١.٢٨٣	١١.٩٤٢	١٣.٦٢٤	٩.٢٣٦	١٠.١٠٤	١١.١٠٢	٨.٢١٧	٩.٢٣٣	١٠.٥٢١
١٥٠	١٢.٩٧٦	١٣.٩٥٢	١٥.٨٥٢	١٠.٤٦٨	١١.٦٤٧	١٣.١١٥	٩.٢١١	١٠.٣٠٤	١١.٢٣٤

γ- Bending Strength (MPa):

	۳۰% Sand			۵۰% Sand			۶۰% Sand		
Temp.(°C)	۱۱۵.	۱۲۰.	۱۲۵.	۱۱۵.	۱۲۰.	۱۲۵.	۱۱۵.	۱۲۰.	۱۲۵.
Grain Size(μm)									
۵۰	۱.۹۸۳	۲.۶۵۷	۳.۱۰۲	۱.۸۰۲	۲.۳۲۱	۲.۸۱۷	۱.۳۴۶	۱.۵۶۵	۱.۷۲۱
۷۵	۲.۳۲	۲.۹۶۶	۳.۵۴۲	۲.۰۲۱	۲.۵۰۲	۳.۱۰۲	۱.۶۶۷	۱.۸۷۳	۲.۱۵
۱۰۰	۲.۷۵۶	۳.۱۶۳	۳.۸۹۵	۲.۴۹۳	۲.۹۴۳	۳.۵۶۷	۱.۸۹۴	۲.۲۲۴	۲.۶۵۳
۱۲۵	۳.۲۶۱	۳.۷۶۱	۴.۲۳۸	۳.۱۰۴	۳.۵۱۲	۴.۰۲	۲.۵۶۷	۲.۸۷۹	۳.۴۶۱
۱۵۰	۳.۸۲۵	۴.۳۱۷	۵.۰۲۲	۳.۶۶۴	۳.۹۶	۴.۶۳۲	۲.۹۹۷	۳.۲۳۶	۳.۹۷۲