

تأثير بعض الخواص الجيوتكنيكية للغضار على الخواص التقنية للمواد السيراميكية

م. مياسة ملحم *

د. ابراهيم حمود ***

أ.د. عبد المنير نجم **

الملخص

إن الاختيار الأمثل للمواد الأولية في أي عملية تصنيعية هي مرحلة رئيسية في تطوير تلك العملية التصنيعية وتحسين منتجاتها. من هنا توجه هذا العمل إلى إيجاد معايير تساعد في اتخاذ القرار الأولي في إمكانية استخدام الغضار وكيفيته أيضاً كان موقعه في تصنيع المواد السيراميكية من خلال خواصه الفيزيائية (حدود أتريرغ). وقد اعتمد البحث على الطرائق التجريبية والتحليلية لنتائج الاختبارات المخبرية المنفذة على العينات الغضارية من جهة وعلى العينات الممثلة للمادة المصنعة من جهة أخرى. واستنتجت معايير أولية تحدد قيم المواصفات التقنية للمادة السيراميكية المصنعة، وعلاقات رياضية تربط بين خواص المادة الغضارية والمواصفات التقنية للمادة المصنعة منها التي تساعدنا في تحديد الاستثمار الأمثل لمكامن الغضار سواء كمادة أولية أو الاستدلال لضرورة استخدام الإضافات اللازمة لتحقيق خاصية مهمة جداً، وهي خاصية امتصاص الماء، ومن ثم تحديد نوع المنتج المحقق للمواصفات العالمية.

الكلمات المفتاحية: المواد السيراميكية - الغضار

أعدّ البحث في سياق رسالة الدكتوراه للمهندسة مياسة ملحم بإشراف الأستاذ الدكتور عبد المنير نجم والدكتور المشرف المشارك إبراهيم حمود
* طالبة دكتوراه في قسم الهندسة الجيوتكنيكية - كلية الهندسة المدنية - جامعة دمشق.
** مدرس في قسم الهندسة الجيوتكنيكية - كلية الهندسة المدنية - جامعة دمشق.
*** أستاذ في قسم الهندسة الجيوتكنيكية - كلية الهندسة المدنية - جامعة دمشق.

1 - مقدمة البحث:

من أهم أسس تطوير عملية تصنيع المادة السيراميكية هو اختيار المواد الأولية التي تؤدي دوراً رئيساً في مواصفاتها النهائية، إذ تشكل **الغضاريات** المادة الأكثر تأثيراً بين تلك المواد لتمييزها بلدونها وقدرتها على القولية ومن ثم تحولها إلى جسم صلب مقاوم بتأثير الحرارة. إن المواصفات التي تميز بين أنواع الغضار كثيرة أهمها: **المنشأ الجيولوجي**: إذ إن بعض أنواع الغضار تكون ذات لدونة أعلى من غيرها بسبب بعض المواد المحفوظة ضمنها والناجئة من الحت^[2] ^[1]. كذلك الأمر بالنسبة إلى الغضاريات الترسيبية التي تتقل من مكان تشكلها، فخلال انتقالها تتعرض لعملية طحن وسحق وتتلوث ببعض المنتجات التي تحولها إلى مواد أكثر لدونة عندما تقارن بالغضاريات التي لم تتعرض لتحولات في أثناء انتقالها، كما أن بعض الغضاريات المتبقية تحتوي على صخور غير متحولة مما يجعلها تبدي لدونة منخفضة^[4] ^[3] **التركيب المنزالي**: أي جزيئات المنرال الغضاري وكمياته بشكل عام، فإن اللدونة تتأثر بالفراغ بين الوحدات المكونة للغضاريات، فالمنرالات ذات الفراغات الكبرى بين الوحدات تكون ذات قدرة أكبر على ادمصاص الماء^[7] ^[6] ^[5]، **التركيب الكيميائي**، **الترج الحبي**، **السطح النوعي للحبيبات**، **النشاط السطحي للحبيبات**، فالعلاقة بين التدرج الحبي ولدونة المنرال الغضاري علاقة عكسية، لأن السطح النوعي الأصغر للجزيئات الكبرى تقلل كمية الماء المدمص^[3] ^[1] ^[4]. وعند التأثير في اللدونة هذا يعني التأثير بشكل مباشر في خواص المنتج السيراميكي المحضر منه. إن تحديد مواصفات الغضار تلك عند الرغبة باستخدامه في الصناعة، تحتاج وقتاً طويلاً وكلفة عالية، ولهذا اتجه البحث إلى إيجاد معايير أولية تساعد في تحديد مدى

ملاءمة الغضار (لصناعة السيراميك) من خلال إيجاد علاقات تربط بين حدود أتربرغ (سهلة الإجراء وسريعة النتائج) وبين الخواص التقنية للمنتجات السيراميكية، علماً أن القياس والتحكم في لدونة المواد الغضارية هي المعيار الأساسي لتوصيف نظام التصنيع وتحديد شروطه الأمثلية^[8].

2 - هدف البحث:

هدف البحث في إيجاد معايير تساعد في أخذ القرار الأولي في إمكانية استخدام الغضاريات وكيفيةها أيًا كان موقعها وزمنها بوصفها مادة أولية في تصنيع المواد السيراميكية. تستمد هذه المعايير من العلاقات الرياضية التجريبية بين الخواص الجيوتكنيكية (سنتناول حدود أتربرغ في بحثنا) للغضاريات المدروسة وبين المواصفات التقنية للعينات السيراميكية المحضرة من تلك الغضاريات.

3 - العمل التجريبي:

قسّم العمل التجريبي إلى جزأين: في الجزء الأول أجريت التجارب على الغضاريات وحُدّد تركيبها المنزالي وخواص لدونها (تجارب حدود أتربرغ)، أمّا في الجزء الثاني فقد أجريت التجارب على العينات السيراميكية المحضرة من الغضاريات منفردة وحُدّدت خواصها التقنية (مقاومة الشد على الانعطاف للعينات الجافة، ومقاومة الشد على الانعطاف للعينات المشوية، ونسبة النقص الخطي، ونسبة امتصاص الماء).

3-1 - الجزء الأول من العمل التجريبي - التجارب على الترب المدروسة:

إن العوامل الرئيسية التي تؤثر في لدونة الغضار مرتبطة بالخواص الفيزيائية للجزء الصلب^[10] ^[9]، وهناك عوامل مرتبطة بالتصنيع تؤثر في لدونة الغضاريات المستخدمة بوصفها مواد أولية لصناعة السيراميك منها: (الضغط

تصنيفها بوصفها غضاراً كاولينياً يحتوي على نسب مختلفة من الأيليت والكالسيت والكوارتز.

الجدول 1: التركيب المنرالي للتراب المدروسة

أنواع الغضاريات	نسبة الكوارتز %	نسبة الأيليت %	نسبة الكاولينيت %	نسبة الكالسيت %
B1	89	0	3	8
RY	50.1	9.4	32.5	8
GD	65.3	12	22.7	0
MKH	32.8	11.1	42.1	14
M4	51	4	38	7
F	58.71	6.09	35.2	0

3-1-3 نتائج تجارب حدود أتبرغ:

أجريت تجربة حدود أتبرغ وفق ASTM D 4318-00 [15]، وبيّن في الجدول 2 كلاً من حد السيولة، وحد اللدونة وقرينة اللدونة للغضاريات. وبالاعتماد على تلك الحدود يمكننا أن نصنف الغضار المدروس وفق التصنيف الموحد USCS.

الجدول 2: وسطي نتائج حدود أتبرغ للغضاريات المدروسة

حد السيولة	MKH	RY	M4	F	GD	B1
0.495	0.3475	0.2339	0.27	0.2058	0.348	
0.212	0.188	0.1127	0.22	0.179	0.246	
0.283	0.1595	0.1212	0.05	0.0268	0.102	
CH	CL	CL	CL-ML	ML	ML	

3-2 الجزء الثاني من العمل التجريبي - التجارب على العينات السيراميكية:

3-2-1 منهجية التجارب:

إن المواد الأولية التي تدخل في تصنيع المواد السيراميكية تنقسم إلى: مواد لدنة، ومواد غير لدنة. من أهم المواد اللدنة الغضاريات ومن أكثر المنرالات الغضارية استخداماً في صناعة السيراميك: الكاولينيت، الأيليت، المونتموريلونيت [19] [18] [17] [16].

المطبق لتشكيل الجسم السيراميكي، ودرجة حرارة الجسم السيراميكي، وخواص الماء المستخدم في الخلطة والإضافات المستعملة لخلطة الجسم السيراميكي [11].

أخذ العمل التجريبي المراحل الآتية:

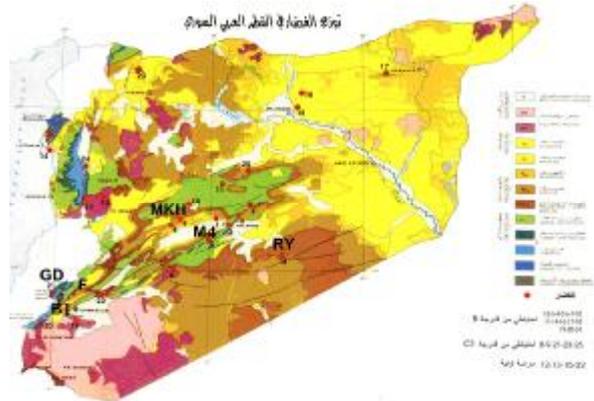
• إحضار غضاريات من ستة مواقع للمواد الأولية (RY-M4-MKH-F-B1-GD) التي تستخدم في تصنيع المواد السيراميكية - بلاط سيراميك الأرضيات والجدران [12] [13].

• إجراء التحليل المنرالي بطريقة XRD (X-ray diffraction) [14] للغضاريات المدروسة.

• تحديد حدود أتبرغ لكل نوع من الغضاريات المدروسة.

3-1-1 مواقع الغضاريات المدروسة:

اختيرت الغضاريات المدروسة من المواقع الأكثر استخداماً في المعامل السورية لصناعة السيراميك بناء على تحريات المؤسسة العامة للجيولوجيا والثروة المعدنية ودراساتها، وهي مبينة في الشكل 1.

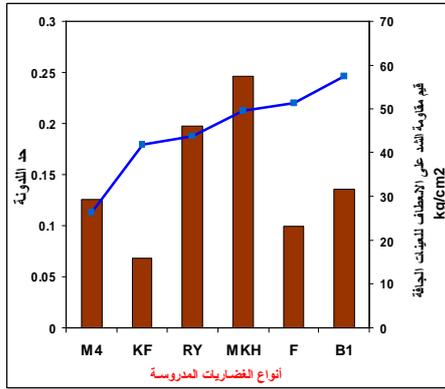


الشكل 1: موقع الغضاريات المدروسة على الخريطة الجيولوجية لسورية

مواقع الغضاريات المدروسة:

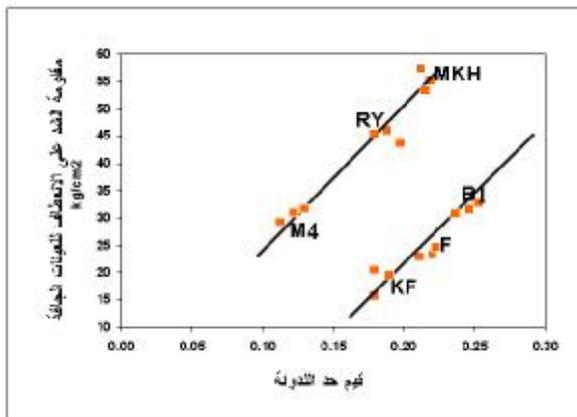
بيّن الجدول 1 التركيب المنرالي الذي أجري بطريقة XRD (X-ray diffraction) للغضاريات المدروسة. من خلال الجدول نجد أن عينات الغضار جميعها يمكن

- تستخدم 18 عينة (3 عينات من كل نوع من الغضاريات) لتحديد مقاومة الشد على الانعطاف للعينات الجافة بجهاز M.O.R نوع Ceramic instruments S.R.L. بمقياس 0-200 kg وفق المعايير (ASTM, C 674-88) [24].
- شوي 36 عينة بفرن لدرجة حرارة 1185°C بدورة 45 (دقيقة)، منها 18 عينة (3 عينات من كل نوع من الغضاريات) لتحديد مقاومة الشد على الانعطاف لها وفق (ASTM, C 674-88)، و 18 عينة تُحدّد نسبة التقلص الخطي وفق (ASTM C326-03) [25] لها، ومن ثم تُحدّد نسبة امتصاصية الماء للعينات المشوية وفق (ASTM C373-99) [26].
- وُضّحت نتائج الاختبارات على العينات السيراميكية من خلال رسم العلاقات بينها وبين نتائج الاختبارات على الغضاريات (الفقرة 1-3)، وذلك ليتم التوصل إلى العلاقات الرياضية التي تربط بين خواص الغضار المستخدم في العينات السيراميكية وبين الخواص التقنية للعينات السيراميكية.
- **3-2-2 نتائج التجارب:**
 - **3-2-2-1 مقاومة الشد على الانعطاف للعينات الجافة:**
 - رُبطت نتائج مقاومة الشد على الانعطاف للعينات السيراميكية الجافة مع كل من: قيم حد السيولة، وحد اللدونة، وقرينة اللدونة. كما اقترحت الحدود الدنيا لكل من حد السيولة، وحد اللدونة وقرينة اللدونة التي تحقق الحد الأدنى من مقاومة الشد على الانعطاف للعينات الجافة وهو 20kg/cm^2 وفق المواصفة 4-ISO10545 [27].
 - **مقاومة الشد على الانعطاف مع حد السيولة:**
 - يبيّن الشكل 2، وسطي قيم حد السيولة للغضاريات المدروسة وقيم مقاومة الشد على الانعطاف للعينات السيراميكية المحضرة من العينات السيراميكية
- تملك خواص غير لدنة فنذكر منها: منرالات الحديد وبشكل رئيسي Fe_2O_3 ، وأكسيد الألمنيوم Al_2O_3 ، والفلدسبار الصودي، والبوتاسي، والأملاح المنحلة وكمثال عنها (K_2SO_4 , NaCl , Na_2CO_3 ,...)، السيليكا، منرالات الكالسيوم وأهمها الكالسيت، [21] [20]. ولكي ندرس تأثير خواص الغضاريات فقط في مواصفات المواد السيراميكية فقد حضرت العينات السيراميكية من غضار وماء فقط.
- حُضرت 54 عينة بمعدل 9 عينات سيراميكية من كل نوع من الغضاريات الستة المدروسة باتتباع الخطوات الآتية [23] [22]:
 - طحن 500gr من الغضار مع ماء بنسبة 40% (وزناً) في مطحنة مخبرية ويستمر الطحن حتى لا يزيد المتبقي على المنخل ($75\mu\text{m}$) عن 4% (وزناً).
 - تجفيف المزيج (Slurry) في فرن بدرجة حرارة 300°C مدة تراوح من 4 إلى 6 ساعات.
 - طحن الناتج وسحقه وتمريه من مناخل التحليل الحبي المنخلي ويؤخذ المار من المنخل رقم 40 ($75\mu\text{m}$)، وبذلك نحصل على البودرة السيراميكية.
 - بعد الحصول على البودرة ترطب بالماء بنسبة تراوح بين 5-6%. من ثم تعبأ في أكياس وتترك مدة ساعتين حتى تتجانس الرطوبة.
 - تطبيق ضغط 300kg/cm^2 في المكبس المخبري الهيدروليكي على البودرة المرطبة لتحضير عينات مستطيلة $10.3*21.6\text{cm}$ وبسماكة تراوح بين (0.9-1) cm.
 - تجفيف العينات مدة لا تقل عن ساعتين في فرن بدرجة حرارة $105-110^\circ\text{C}$ للحصول على عينات برطوبة أقل من 1%.



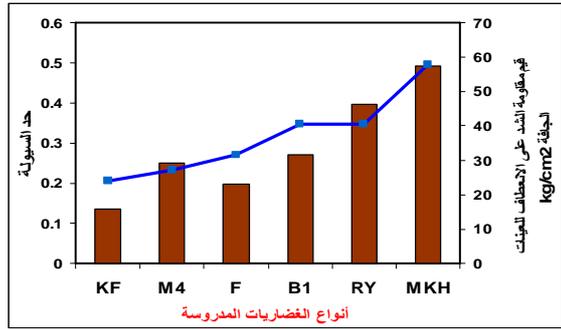
الشكل 4: وسطي قيم حد اللدونة للغضاريات المدروسة وقيم مقاومة الشد على الانعطاف للعينات السيراميكية الجافة المحضرة من الغضاريات المدروسة

ولتوضيح العلاقة بين قيم حد اللدونة للغضاريات المدروسة مع قيم مقاومة الشد على الانعطاف للعينات السيراميكية وُضِعَ الشكل 5. من خلال هذا الشكل نلاحظ عدم وجود علاقة واحدة تربط بين كل القيم، إذ هناك خطان متوازيان، ومن ثمَّ هناك مجالان من القيم محدد بين قيم حد اللدونة ومقاومة الشد على الانعطاف.

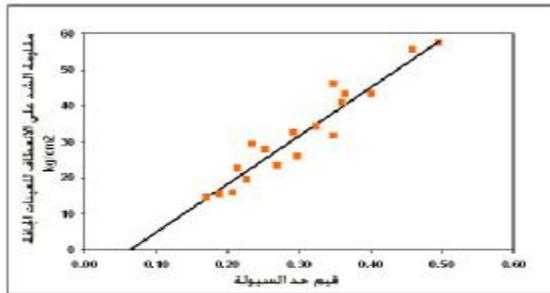


الشكل 5: حد اللدونة للغضاريات مع مقاومة الشد على الانعطاف للعينات السيراميكية الجافة

وبالعودة إلى نتائج التحليل المنرالي لا نجد عوامل مشتركة بين عناصر كل مجموعة على حدة، أمَّا بالعودة إلى تصنيف الغضاريات فنلاحظ أن المجموعة الأولى (GD, F, B1) صُنِّفَتْ ML (سليبت منخفض اللدونة) أمَّا المجموعة الثانية (M4, RY, MKH) فصُنِّفَتْ CL-



الشكل 2: وسطي قيم حد السيولة للغضاريات المدروسة مع قيم مقاومة الشد على الانعطاف للعينات السيراميكية الجافة المحضرة من الغضاريات المدروسة
كما بيّن الشكل 3، علاقة حد السيولة للغضاريات مع قيم مقاومة الشد على الانعطاف للعينات الجافة.



الشكل 3: حد السيولة للغضاريات مع مقاومة الشد على الانعطاف للعينات السيراميكية الجافة

نلاحظ من الشكل 3، علاقة خطية طردية بين المقاومة وحد السيولة ولتحقيق الحد الأدنى من المقاومة يجب أن لا تقل قيمة حد السيولة عن 22%. وتكون العلاقة بين هذين المعيارين هي:

$$M.O.R.d = 134.26(LL) - 8.6495$$

إذ نحصل على مقاومة الشد على الانعطاف بـ kg/cm^2 .

• مقاومة الشد على الانعطاف مع حد اللدونة:

يوضّح الشكل 4، قيم حد اللدونة للغضاريات المدروسة وقيم مقاومة الشد على الانعطاف للعينات السيراميكية المحضرة من الغضاريات المدروسة.

نجد أنه لأي نوع من الفضار يستخدم في الخلطة السيراميكية يجب أن لا تقل قرينة اللدونة عن 0.05 كي تحقق الحد الأدنى المطلوب للمقاومة. وتكون العلاقة بين هذين المعيارين هي:

$$M.O.R.d = 161.7(PI) + 13.873$$

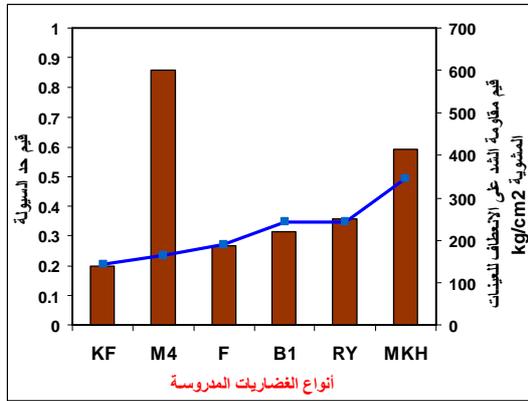
إذ نحصل على مقاومة الشد على الانعطاف بـ kg/cm^2 .

2-2-3 مقاومة الشد على الانعطاف للعينات المشوية:

رُبطت نتائج مقاومة الشد على الانعطاف للعينات السيراميكية المشوية مع كل من: حد السيولة، وحد اللدونة، وقرينة اللدونة. كما اقترحت الحدود الدنيا لكل من حد السيولة، وحد اللدونة وقرينة اللدونة التي تحقق الحد الأدنى من مقاومة الشد على الانعطاف للعينات المشوية وهو $180kg/cm^2$ وفق المواصفة ISO10545-4.

• مقاومة الشد على الانعطاف مع حد السيولة:

يوضح الشكل 8، وسطي قيم حد السيولة للفضاريات المدروسة وقيم مقاومة الشد على الانعطاف للعينات المشوية.



الشكل 8: وسطي قيم حد السيولة للفضاريات المدروسة وقيم

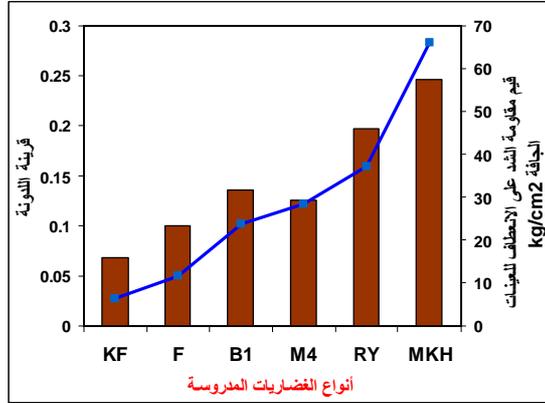
مقاومة الشد على الانعطاف للعينات السيراميكية المشوية المحضرة من الفضاريات المدروسة

يبين الشكل 9، العلاقة الأسية المتزايدة بين قيم حد السيولة وقيم مقاومة الشد على الانعطاف للعينات المشوية، ولتحقيق الحد الأدنى للمقاومة يجب أن لا يقل حد السيولة عن 0.24. وتكون العلاقة بين قيم حد

CH (فضار منخفض اللدونة-فضار عالي اللدونة) وهذا هو سبب الاختلاف في سلوك تلك المجموعتين. وكي يتحقق الحد الأدنى من المقاومة يجب أن لا يقل حد اللدونة عن 0.19 للمجموعة الأولى وعن 0.085 للمجموعة الثانية.

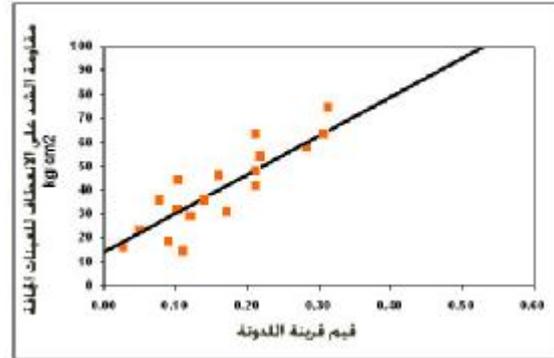
• مقاومة الشد على الانعطاف مع قرينة اللدونة:

يبين الشكل 6، وسطي قيم قرينة اللدونة للفضاريات المدروسة وقيم مقاومة الشد على الانعطاف للعينات السيراميكية المحضرة من الفضاريات المدروسة.



الشكل 6: وسطي قيم قرينة اللدونة للفضاريات المدروسة وقيم مقاومة الشد على الانعطاف للعينات السيراميكية الجافة المحضرة من الفضاريات المدروسة

كما يبين الشكل 7، العلاقة بين قرينة اللدونة وقيم المقاومة.

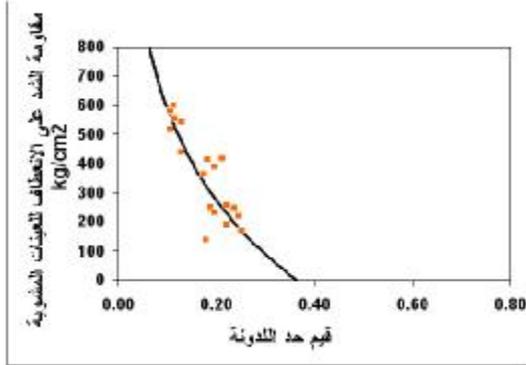


الشكل 7: قرينة اللدونة للفضاريات مع مقاومة الشد على الانعطاف للعينات السيراميكية الجافة

قيم المقاومة، ولتحقيق الحد الأدنى للمقاومة يجب أن لا يقل حد اللدونة عن 24%. تكون العلاقة بين هذين المعيارين:

$$M.O.R.f = - 454.99Ln(PL) - 459.53$$

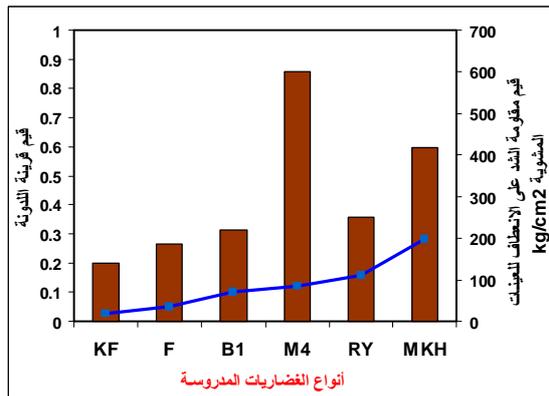
إذ نحصل على مقاومة الشد على الانعطاف بـ kg/cm^2 .



الشكل 11: حد اللدونة للغضاريات مع مقاومة الشد على الانعطاف للعينات السيراميكية المشوية

• مقاومة الشد على الانعطاف مع قرينة اللدونة:

يوضح الشكل 12، وسطي قيم قرينة اللدونة للغضاريات المدروسة وقيم مقاومة الشد على الانعطاف للعينات المشوية.



الشكل 12: وسطي قيم قرينة اللدونة للغضاريات

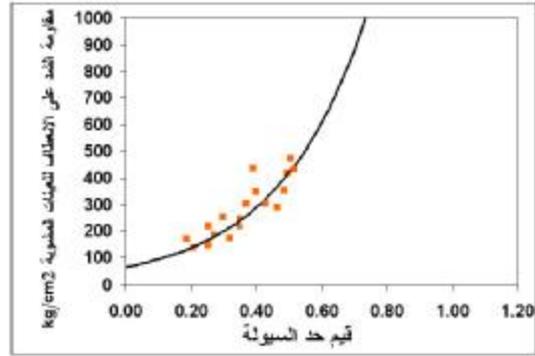
المدروسة وقيم مقاومة الشد على الانعطاف للعينات السيراميكية المشوية المحضرة من الغضاريات المدروسة

كما يبيّن الشكل 13، العلاقة الخطية المتزايدة بين قيم قرينة اللدونة وقيم مقاومة الشد على الانعطاف للعينات

السيولة وقيم مقاومة الشد على انعطاف للعينات المشوية هي:

$$M.O.R.f = 65.761 e^{3.7085(LL)}$$

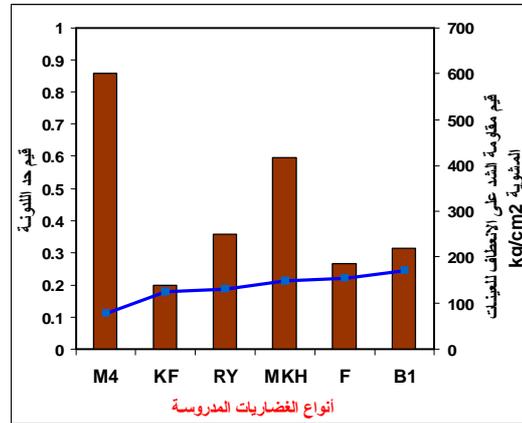
إذ نحصل على مقاومة الشد على الانعطاف بـ kg/cm^2 .



الشكل 9: حد السيولة للغضاريات مع مقاومة الشد على الانعطاف للعينات السيراميكية المشوية

• مقاومة الشد على الانعطاف مع حد اللدونة:

يوضح الشكل 10، وسطي قيم حد اللدونة للغضاريات المدروسة وقيم مقاومة الشد على الانعطاف للعينات المشوية.

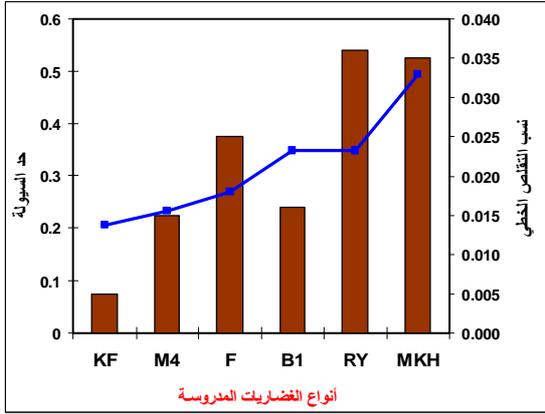


الشكل 10: وسطي قيم حد اللدونة للغضاريات المدروسة وقيم

مقاومة الشد على الانعطاف للعينات السيراميكية المشوية المحضرة من الغضاريات المدروسة

أما بالنسبة إلى علاقة حد اللدونة مع مقاومة الشد على الانعطاف للعينات المشوية كما يبيّن الشكل 11، فهي علاقة لوغارتمية متناقصة إذ بزيادة حد اللدونة تتناقص

تأثير بعض الخواص الجيوتكنيكية للخصار على الخواص التقنية للمواد السيراميكية

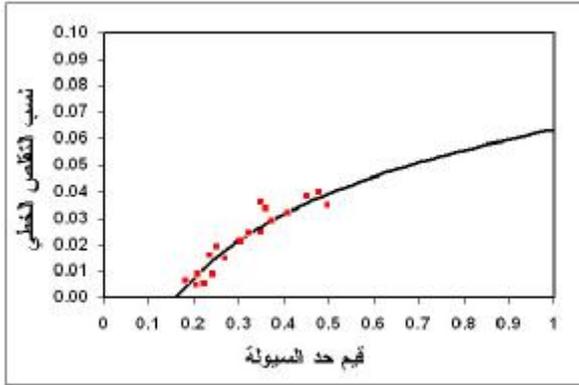


الشكل 14: وسطي قيم حد السيولة للغضاريات مع التقلص الخطي للعينات السيراميكية

برسم العلاقة بين قيم حد السيولة والتقلص الخطي يبين الشكل 15، أنها علاقة لوغاريتمية متزايدة. لتحقيق الحدود المسموح بها يجب أن لا يزيد حد السيولة للغضاريات على 0.29، وتكون العلاقة الرياضية التجريبية بين هذين المعيارين:

$$SH = 0.0347 \ln(LL) + 0.0634$$

ويتم الحصول على قيمة التقلص الخطي ويمكن تحويله إلى نسبة مئوية بضربه بـ 100.



الشكل 15: قيم حد السيولة للغضاريات المدروسة مع التقلص الخطي للعينات السيراميكية

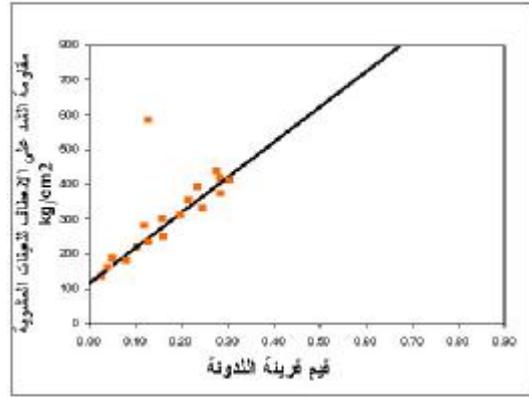
• التقلص الخطي مع حد اللدونة:

يوضح الشكل 16، وسطي قيم حد اللدونة للغضاريات المدروسة ونسب التقلص الخطي للعينات السيراميكية المحضرة من تلك الغضاريات.

المشوية. ولكي يحقق الحد الأدنى المطلوب للمقاومة يجب أن لا تقل قيمة قرينة اللدونة عن 0.05، وهذا يتوافق مع ما توصلنا إليه بالنسبة إلى قيمة قرينة اللدونة الحدية المحققة لمقاومة العينات الجافة. وتكون العلاقة هي:

$$M.O.R._f = 1013.5(PI) + 116.46$$

حيث نحصل على مقاومة الشد على الانعطاف بـ kg/cm^2 .



الشكل 13: قيم قرينة اللدونة للغضاريات مع مقاومة الشد على الانعطاف للعينات السيراميكية المشوية

3-2-2-3 التقلص الخطي:

قيس التقلص الخطي الكلي من الفرق بين طول العينة الخضراء وطول العينة بعد الشوي وفق العلاقة الآتية:

$$SH = \frac{Lg - Lf}{Lg} * 100$$

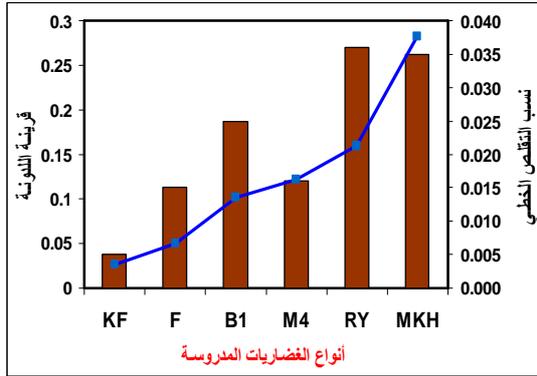
إذ Lg هو طول العينة الخضراء بعد تشكيلها مباشرة.

Lf هو طول العينة المشوية.

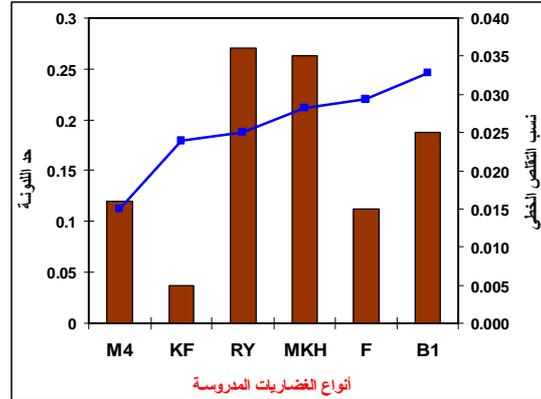
رُبطت نتائج التقلص الخطي للعينات السيراميكية المشوية مع كل من: حد السيولة، وحد اللدونة، وقرينة اللدونة. كما اقترح الحدود الدنيا لكل من حد السيولة، وحد اللدونة وقرينة اللدونة التي تبقى ضمن الحدود المسموح بها لنسب التقلص، وهي $\pm 2\%$ وفق ISO10545-2 [28].

• التقلص الخطي مع حد السيولة:

يوضح الشكل 14، وسطي قيم حد السيولة للغضاريات المدروسة ونسب التقلص الخطي للعينات السيراميكية المحضرة من تلك الغضاريات.



الشكل 18: وسطي قيم قرينة اللدونة للغضاربات المدروسة مع نسب التقلص الخطي للعينات السيراميكية

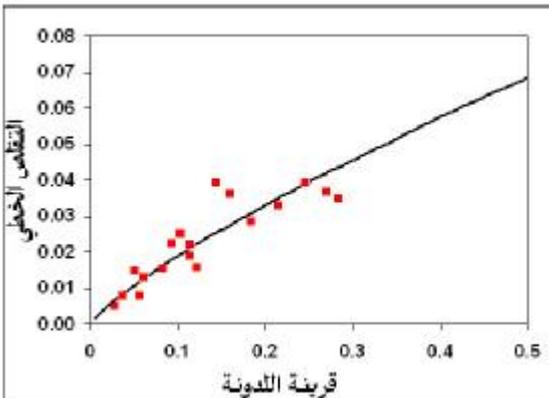


الشكل 16: وسطي قيم حد اللدونة للغضاربات المدروسة مع نسب التقلص الخطي للعينات السيراميكية

يوضح الشكل 19، العلاقة المتزايدة بين قيم قرينة اللدونة وقيم التقلص الخطي، إذ كلما ازدادت قيمة قرينة اللدونة ازدادت قيمة التقلص الخطي، ولكي نبقي ضمن الحدود المسموح بها لنسب التقلص يجب أن لا تزيد قرينة اللدونة على 11%. ومن الشكل 19 نجد العلاقة الرياضية التجريبية بين هذين المعيارين:

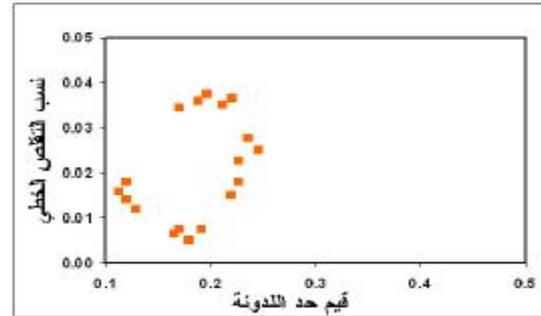
$$SH = 0.1191 PI^{0.7964}$$

ويتم الحصول على قيمة التقلص الخطي ويمكن تحويله إلى نسبة مئوية بضربه بـ 100.



الشكل 19: وسطي قيم قرينة اللدونة للغضاربات مع نسب التقلص الخطي للعينات السيراميكية

وبيّن الشكل 17، علاقة غير واضحة ومحددة بين حد اللدونة ونسب التقلص الخطي ولا يمكن التوصل إلى علاقة رياضية تربط هذين المعيارين.



الشكل 17: قيم حد اللدونة للغضاربات مع التقلص الخطي للعينات السيراميكية

• التقلص الخطي مع قرينة اللدونة:

يبين الشكل 18، وسطي قيم قرينة اللدونة للغضاربات المدروسة ونسب التقلص الخطي للعينات السيراميكية المحضرة من تلك الغضاربات.

3-2-2-4 امتصاص الماء:

توضع العينات المشوية ضمن الماء وتُغلى مدة ساعتين ومن ثم تترك ضمن الماء 24 ساعة، تخرج العينات ويحدد وزنها فيكون W_s وتحسب نسبة امتصاص الماء من العلاقة:

$$W.A. = \frac{W_s - W_d}{W_d} * 100$$

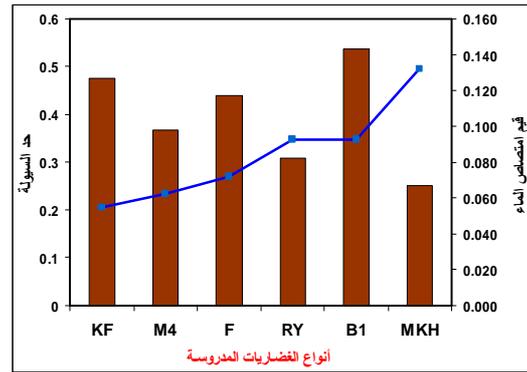
إذ - W_s وزن العينة المشبعة بالماء gr.

W_d وزن العينة الجافة gr.

تحدد الحدود المسموحة لنسب امتصاص الماء للمنتج السيراميكي حسب اشتراطات ISO 10545-3 [29].

• نسب امتصاص الماء مع حد السيولة:

عند دراسة نسبة امتصاص الماء مع كل من حدود أتربرخ لم نجد علاقة واضحة بين حد اللدونة وبين نسب امتصاص الماء للعينات السيراميكية، ومن ثم لم يكن من الممكن تحديد علاقة رياضية بين ذلك المعيارين. يبيّن الشكل 20، وسطي قيم حد السيولة للغضاريات المدروسة ونسب الماء الممتص للعينات السيراميكية المحضرة من تلك العينات.



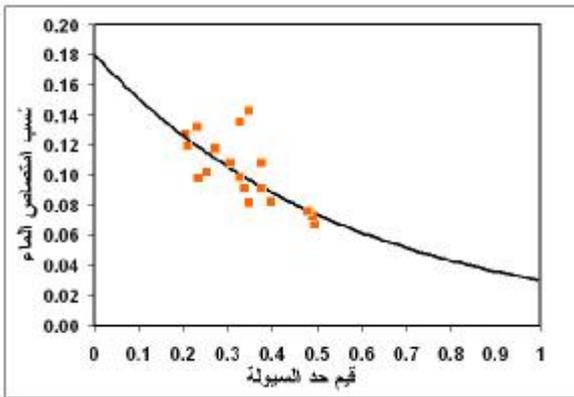
الشكل 20: وسطي قيم حد السيولة للغضاريات مع نسب امتصاص الماء للعينات السيراميكية

أما الشكل 21، فيوضّح العلاقة بين قيم حد السيولة للغضاريات ونسب امتصاص الماء للعينات السيراميكية، ونلاحظ أنها علاقة أسية متناقصة إذ كلما ازدادت قيمة

حد السيولة قلت نسبة امتصاص الماء للعينات، وتحدد قيم حد السيولة المطلوبة حسب نسب امتصاص الماء المطلوب تحقيقها في المنتج السيراميكي وذلك حسب ؟ ونجد العلاقة الرياضية التجريبية بين هذين المعيارين كما يأتي:

$$W.A. = 0.1803e^{-1.7899(LL)}$$

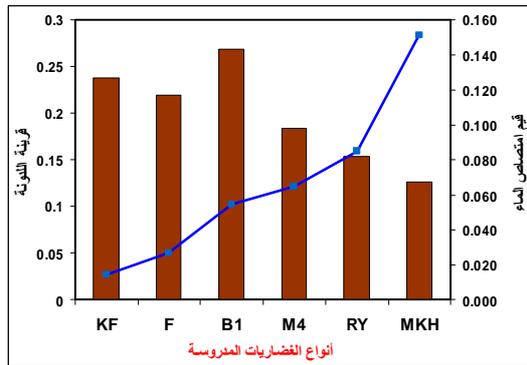
ويتم الحصول على قيمة امتصاص الماء ويمكن تحويلها إلى نسبة مئوية بضربها بـ 100.



الشكل 21: قيم حد السيولة للغضاريات مع نسب امتصاص الماء للعينات السيراميكية

• نسب امتصاص الماء مع قرينة اللدونة:

يبيّن الشكل 22، وسطي قيم قرينة اللدونة للغضاريات المدروسة ونسب الماء الممتص للعينات السيراميكية المحضرة من تلك الغضاريات.



الشكل 22: وسطي قيم قرينة اللدونة للغضاريات المدروسة مع نسب امتصاص الماء للعينات السيراميكية

التقلص الخطي كي لا يتجاوز الحد الأعلى المسموح به من التقلص فيجب أن لا يزيد كل من حد السيولة على 29% وقرينة اللدونة على 11%. وفيما يتعلق بنسب امتصاص الماء فتكون قيمه أكبر من 10% في حال كان حد السيولة أصغر من 30% وكلما قل حد السيولة ازدادت نسبة امتصاص الماء، وللحصول على نسب امتصاص للماء بين 6%-3% يجب أن تكون قيم حد السيولة بين 60%-30%، أما نسب امتصاص للماء بين 6%-3% فتكون قيم حد السيولة بين 90% - 60%. وبالنسبة إلى قيم قرينة اللدونة فعندما تكون قرينة اللدونة أقل من 12% تكون نسب امتصاص الماء أكبر من 10%، وتصبح نسب امتصاص الماء بين 10%-6% عندما تكون قيم قرينة اللدونة بين 30%-12%، أما عندما تكون قرينة اللدونة بين 55%-30% فتصبح نسب امتصاص الماء بين 6%-3%.

5 - الاستنتاجات النهائية للبحث والتوصيات:

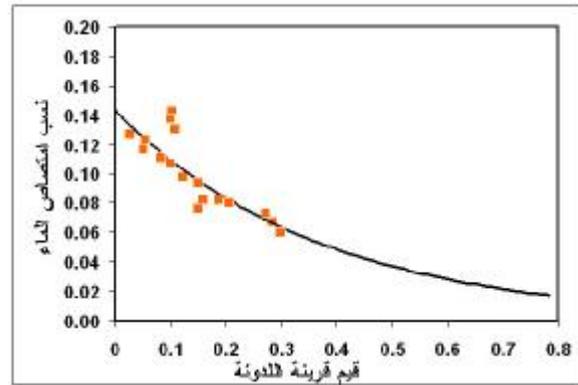
من الدراسة السابقة يمكن التوصل إلى النتائج الآتية:

1. يمكن التنبؤ بقيم تقريبية لكل من مقاومة الشد على الانعطاف للعينات الجافة و المشوية، ونسب التقلص الخطي، ونسب امتصاص الماء للعينات السيراميكية المكونة من الغضاربات بشكل كلي عند معرفة قيم حدود أتربرغ لتلك الغضاربات المستخدمة، وذلك باستخدام العلاقات الرياضية المستخرجة في هذا البحث.
2. ينصح لتحضير أي عينة سيراميكية من استخدام نوعين من الغضاربات أو أكثر، لأنه لا يمكن أن يوجد نوع غضار وحيد يحقق شروط أمثلية وقيماً مسموحة للخواص التقنية للعينات السيراميكية في آن واحد، إذ يمكن أن يحقق مقاومة عالية ونسب تقلص مقبولة في حين تكون نسب الامتصاص عالية، والعكس بالعكس.

أما الشكل 23، فيوضح العلاقة بين قيم قرينة اللدونة للغضاربات ونسب امتصاص الماء وهي علاقة أسية متناقصة إذ بزيادة قرينة اللدونة تتناقص قيم امتصاص الماء، وتحدد قيم قرينة اللدونة المطلوبة حسب نسب امتصاص الماء المطلوب تحقيقها في المنتج السيراميكي، وذلك حسب اشتراطات ISO10545-3. وتكون العلاقة الرياضية التجريبية بين قيم قرينة اللدونة للغضاربات ونسب امتصاص الماء للعينات السيراميكية المحضرة منها هي:

$$W.A. = 0.1429 e^{-2.7016(PI)}$$

ويتم الحصول على قيمة امتصاص الماء ويمكن تحويلها إلى نسبة مئوية بضربها بـ 100.



الشكل 23: قيم قرينة اللدونة للغضاربات مع نسب امتصاص الماء للعينات السيراميكية

4 - تحليل النتائج:

من خلال دراسة المعطيات التجريبية للعينات الغضارية وتحليلها نجد أن الخواص الفيزيائية للغضار (حدود أتربرغ) كان لها أثر واضح في المادة المصنعة وذلك وفق التحليل الآتي: فيما يتعلق بمقاومة الشد على الانعطاف للعينات السيراميكية الجافة نجد أن حد السيولة يجب أن لا يقل عن 22%، وقرينة اللدونة عن 5%. أما لتحقيق الحد الأدنى من مقاومة الشد على الانعطاف للعينات المشوية فيجب أن لا يقل كل من حد السيولة عن 24%، وقرينة اللدونة عن 5%. في حين أنه بالنسبة إلى

3. إن المجال الأفضل لقيم حد السيولة للغضار يعطي عينات سيراميكية ذات مقاومة شد على الانعطاف محققة، ونسباً تقلص ضمن الحدود المسموحة، هو من 24% إلى 29%.
4. إن المجال الأفضل لقيم قرينة اللدونة للغضار يعطي عينات سيراميكية ذات مقاومة شد على الانعطاف محققة، ونسب تقلص ضمن الحدود المسموحة، هو من 5% إلى 11%.
5. إن المجالات المبيّنة في الفقرتين السابقتين 4 و 5 لقيم كل من حد السيولة وقرينة اللدونة تعطينا عينات سيراميكية بنسب امتصاص ماء أعلى من 10%. وعندما نريد الحصول على عينات سيراميكية بنسب امتصاص أقل من 10% يجب الاعتماد على إضافات مناسبة تدخل مع الغضاريات ضمن خلطة المنتج السيراميكي.

suportes de baldosas cerámicas. 2. ed. Castellón: ITC, 2002.

11. I. Jefferson and C.D.F. Rogers, "Liquid limit and the temperature sensitivity of clays," *Engineering Geology*, vol. 49, pp. 95-109, 1998.
12. فيصل نايفة، عبد الرحمن ياسين، 1995. حول أعمال التتقيب الجيولوجي الأولي لتوضعات الغضار الكاوليني في منطقة المحطة الرابعة (موقع المكيمن)، المؤسسة العامة للجيولوجيا والثروة المعدنية - مديرية التتقيب.
13. عادل الزعبي، 1994. حول أعمال التتقيب الجيولوجي الأولي لتوضعات الغضار الكاوليني في منطقة المخرم (موقع منطار العبل)، المؤسسة العامة للجيولوجيا والثروة المعدنية - مديرية التتقيب.
14. المؤسسة العامة للجيولوجيا والثروة المعدنية - قسم المخابر 2010.
15. ASTM D 4318-00 Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils.
16. Atterberg, A., 1975. Plasticity of clays: US ARMY C.R.R.E.L. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Science & Geomechanics Abstracts* 12 (7), 91.
17. Burst, J.F., 1991. The application of clay minerals in ceramics. *Applied Clay Science* 5 (5-6), 421-443.
18. Murray, H.H., 1991. Overview: clay mineral applications. *Applied Clay Science* 5 (5-6), 379-395.
19. Schmitz, R.M., Schroeder, C., Charlier, R., 2004. Chemo-mechanical interactions in clay: a correlation between clay mineralogy and Atterberg limits. *Applied Clay Science* 26 (1-4), 351-358.

المراجع:

1. Peters, J.F., 1991. Determination of undrained shear strength of low plasticity clays. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Science & Geomechanics Abstracts* 28 (1), 13.
2. Kolmayer, P., Fernandes, R., Chavant, C., 2004. Numerical implementation of a new rheological law for argillites. *Applied Clay Science* 26 (1-4), 499-510.
3. Basma, A.A., Al-Homoud, A.S., Malkawi, A.I.H., Al-Bashabsheh, M.A., 1996. Swelling-shrinkage behavior of natural expansive clays. *Applied Clay Science* 11 (2-4), 211-227.
4. Malkawi, A.I.H., Alawneh, A.S., Abu-Safaqah, O.T., 1999. Effects of organic matter on the physical and the physicochemical properties of an illitic soil. *Applied Clay Science* 14 (5-6), 257-278.
5. Al-Shayea, N.A., 2001. The combined effect of clay and moisture content on the behavior of remolded unsaturated soils. *Engineering Geology* 62 (4), 319-342.
6. Basma, A.A., Al-Homoud, A.S., Al-Tabari, E.Y., 1994. Effects of methods of drying on the engineering behavior of clays. *Applied Clay Science* 9 (3), 151-164.
7. Sánchez-Girón, V., Andreu, E., Hernanz, J.L., 2001. Stress relaxation of five different soil samples when uniaxially compacted at different water contents. *Soil and Tillage Research* 62 (3-4), 85-99.
8. M.J. Ribeiro, J.M. Ferreira, and J.A. Labrincha, "Plastic behavior of different ceramic pastes processed by extrusion," *Ceramics International*, vol. 31, pp. 515-519, 2005.
9. F. Haendle (Ed.), *Extrusion in ceramics*. New York: Springer, 2007.
10. A. Barba, V. Beltrán, C. Felú, J. Garcia, F. Ginés, E. Sánchez, and V. Sanz, *Materias primas para la fabricación de*

20. Ancey, C., 2007. Plasticity and geophysical flows: a review. Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics 142 (1–3), 4–35.
21. Syamal Ghosh, Mihir Das, S. Chakrabarti, S. Ghatak," Development of ceramic tiles from common clay and blast furnace slag", Ceramics International 28(2002) 393–400.
22. الشركة السورية للسيراميك SYCECO –
مخبر الكيمياء لتحضير الخلطات
السيراميكية.
23. EN 14411:2004. 2004. Ceramic tiles. Definitions, classification, characteristics and making.
24. ASTM, 1997. C 674-77. Flexural Properties of Ceramic Whiteware Materials.
25. ASTM C0326-03 Test Method for Drying and Firing Shrinkages of Ceramic Whiteware Clays.
26. ASTM C0373-99 Test Method for Water Absorption, Bulk Density, Apparent Porosity, and Apparent Specific Gravity of Fired Whiteware Products.
27. ISO 10545-4, Ceramic tiles - Part 4: Determination of modulus of rupture and breaking strength.
28. ISO 10545-2, Ceramic tiles - Part 2: Determination of dimensions and surface quality.
29. ISO 10545-3, Ceramic tiles - Part 3: Determination of water absorption, apparent porosity, apparent relative density and bulk density.