

## Identification of molecular composition of chromatic varieties of sand dunes of Ouargla region, by using absorption infrared spectroscopy (FTIR)

Naouia MAHDADI\* and Smail CHIHI

Univ Ouargla, Fac. des Mathématiques et des Sciences de la Matière,  
Lab. Rayonnement et Plasmas et Physique des Surfaces, Ouargla 30 000 (Algérie)

\*Email: [mahdadina@gmail.com](mailto:mahdadina@gmail.com)

### تحديد التركيب الجزيئي للأصناف اللونية الموجودة في رمل كثبان منطقة ورقلة باستخدام مطيافية الامتصاص ما تحت الأحمر (FTIR)

نوية محمادي و إسماعيل شيحي

مخبر فيزياء الإشعاع و البلازما و فيزياء السطوح (LRPPS)، قسم الفيزياء، جامعة ورقلة، الجزائر

**مختصر:** تعرفنا في هذا العمل على التوزيع اللوني لرمل كثبان منطقة ورقلة، و ذلك باستخدام الفرز اللوني اليدوي، إذ حصلنا على ست (6) عينات ذات ألوان مختلفة هي: الأبيض، و ما بين الرمادي و الأسود، و ما بين البني و الأحمر، و الأبيض الشفاف، و الأصفر الشفاف، و المتبقي من الفرز اللوني. حُدِّدَت مكونات كل عينة باستخدام مطيافية امتصاص الأشعة تحت الحمراء بتحويل فورييه (FTIR). أوضحت نتائج التحليل أن لاختلاف الألوان علاقة مباشرة بالتركيب الكيميائي للعينات و كذا للشوائب التي تحملها. لقد تبيّن أن العينة البيضاء و العينة الرمادية تحويان نسباً معتبرةً من كربونات الكالسيوم ( $\text{CaCO}_3$ )، في حين تحوي العينة البيضاء الشفافة و العينة الصفراء الشفافة نسباً معتبرةً من الكوارتز ( $\text{SiO}_2$ ).

**كلمات دلالية:** رمل الكثبان، امتصاص الأشعة تحت الحمراء (FTIR)، الفرز اللوني، الكوارتز، كربونات الكالسيوم

**Abstract:** In this work we knew the color distribution of the sand dunes of Ouargla region. By using manual chromatic separation, we have obtained six (6) different colors. They are: white, gray-black, brown-red, transparent white, transparent yellow and the remainder of separation process. The components of each samples have been identified, by using infrared absorption spectroscopy (FTIR). Analysis of experimental results showed that the difference of colors relates directly to the chemical composition and the contained impurities. It have been found that the white and gray samples contain an important concentrations of calcium carbonate ( $\text{CaCO}_3$ ), whereas the transparent white and yellow ones contain quartz ( $\text{SiO}_2$ ).

**Key words:** sand dunes, absorption IR (FTIR), chromatic separation, quartz, calcium carbonate

#### 1. مقدمة:

إن استغلال الدول لثرواتها المحلية و استثمارها لمواردها الطبيعية في مشاريعها التنموية يعطيان دفعة قوية لنموها الاقتصادي و ازدهاره. تُعدُّ رمال الكثبان من بين هذه الموارد، و التي هي من المواد الأولية المهمة في العديد من الصناعات، سواءً باستعمالها بشكلها الطبيعي أو بعد إجراء بعض المعالجات عليها، بغية تهيئتها لاستعمالات أخرى.

تحوي الصحراء الجزائرية مخزوناً ضخماً من الكثبان الرملية، و هو مصدر طبيعي و مجاني للكوارتز، و الذي يمثل أكثر من 70

% من هذه الرمال [1].

يمكن استخدام الرمل - كما هو معلوم - في تصفية المياه [2] و تشييد المباني، كما يُستخدم الكوارتز المستخلص منه في صناعات مختلفة، كالزجاجيات و البصريات [3,4]، كما أن للكوارتز فجوة طاقة كبيرة جدا تفوق 8 eV [5]، مما يعطيه خصائص عزل

كهربائي جيد، بالإضافة إلى إمكانية استخلاص عنصر السيليوم منه، و الذي يدخل بدوره في الصناعات النانومترية و أشباه الموصلات [6].

إن الاحتياطي الكبير من الرمل المتوفر في مناطق الجنوب الجزائري جدير بالفحص و الدراسة، و ذلك بغرض استغلاله و الاستفادة منه في عديد المجالات.

لعلّ أبرز ملاحظة مرئية يمكن تسجيلها فيما يخص الرمل هي الألوان المختلفة لحبيباته، و التي تدل على أن لهذه الحبيبات تراكيب مختلفة، لذا فإننا سنسلط الضوء في هذه الدراسة على تحديد المركبات الداخلة في تكوين الحبيبات ذات الألوان المختلفة الموجودة برمل كثبان منطقة ورقلة، و ذلك باستخدام مطيافية الامتصاص ما تحت الأحمر بتحويل فورييه (FTIR).

## 2. الرمل و خصائصه:

نشأ الكثبان الرملية نتيجة تفاعل الصخور مع العوامل الطبيعية المختلفة، و هي ذات منشأ صحراوي. تتكون هذه الكثبان من حبيبات مختلفة الأحجام و الأشكال و الألوان.

تختلف أنواع الرمال باختلاف مصادرها التي نشأت منها، نتيجة تفاعلها مع العوامل الطبيعية، كالحرارة و الرياح و الرطوبة . يتكون الرمل من خليط رسوبي ذي حبيبات تتدرج أحجامها ما بين 0.02 و 2 mm [7]. تتكون معظم الرمال و الحجارة الرملية من الكوارتز ( $SiO_2$ ) و الفلدسبار ( $AlSi_3O_8$ )، فهما الأكثر وفرة في القشرة الأرضية [8]، كما تحتوي على نسب معتبرة من أكسيد الألمنيوم ( $Al_2O_3$ ) و كربونات الكالسيوم ( $CaCO_3$ ) و أكسيد الحديد الثلاثي ( $Fe_2O_3$ )، بالإضافة إلى كميات قليلة من الشوائب و المعادن الثقيلة [9].

لحبيبات الرمل ألوان عديدة، يرجع ذلك إلى كمية المواد اللاصقة و لونها، و كذا المعادن المكونة لها أو الشوائب الموجودة فيها [10]، فالكوارتز مثلا يكون في الأصل عديم اللون، إلا أنه قد يتلون بالأخضر عند احتوائه على آثار من النيكل، كما قد يتلون بالأحمر بوجود شوائب من الحديد فيه [11].

توجد عدة تصنيفات للرمال تبعا لأحجام حبيباتها. من بين هذه التصنيفات تصنيف يقسم الرمل إلى خمسة أصناف، الجدول

1.

الجدول (1): تصنيف حبيبات الرمل وفقا لأقطار حبيباتها [7]

أقطار الحبيبات ( $\phi$ ) (mm)	التصنيف
$0.05 < \phi < 0.10$	رمل ناعم جدا (VFS)
$0.10 < \phi < 0.25$	رمل ناعم (FS)
$0.25 < \phi < 0.50$	رمل متوسط (MS)
$0.50 < \phi < 1.00$	رمل خشن (CS)
$1.00 < \phi < 2.00$	رمل خشن جدا (VCS)

## 3. الوسائل و الطرق التحريية:

### 1.3. تحضير العينات:

إستنادا إلى دراسات سابقة حول الرمل [12] أخذنا ثمانين عينة من مواقع مختلفة من كثيب يقع بالجهة الجنوبية الغربية لمدينة ورقلة، ثم مزجناها للحصول على عينة واحدة متجانسة، يمكن اعتبارها ممثلة للكثيب كلة. غرَبلنا يدويا هذه العينة بغريال ذي فتحات بقطر 0.315 mm، و ذلك لتسهيل عملية الفرز اللوني. فرزنا العينات حسب ألوانها البارزة باستخدام عدسة مكبرة و ملقط يدوي،

فحصلنا على سِتِّ عينات: بيضاء شفافة، بيضاء معتمة، رمادية سوداء، بُنية حمراء، صفراء شفافة، بالإضافة إلى المتبقي من عملية الفرز اللوني، و هي تتكون من حبيبات ذات ألوان أخرى مختلفة عن الألوان المذكورة آنفاً، كاللون الأخضر واللون البرتقالي و اللون الأزرق، . . كما وجدنا حبيبات غير متجانسة اللون، لكن عددها قليل جداً، لا يمكن الحصول على عينات منه، بحيث يمكن إجراء قياسات عليها. الشكل 1.



قبل الفرز (العامة) البيضاء المعتمة الرمادية السوداء البنية الحمراء البيضاء الشفافة الصفراء الشفافة ما تبقى من الفرز

### الشكل 1: التصنيف اللوني لرمال كثبان منطقة ورقلة

### 2.3. مطيافية الامتصاص ما تحت الأحمر (FTIR):

تعتبر تقنية مطيافية امتصاص الأشعة تحت الحمراء من أسهل طرق التحليل المتبعة في المخابر، و هذا في ما يتعلق بالتحليل الفيزيوكيميائي للمواد. تسمح هذه التقنية بمعرفة الطبيعة الكيميائية للمواد، و ذلك بواسطة ممانلة بعض أشرطة الامتصاص الموجودة في طيف المادة المدروسة بأشرطة امتصاص معروفة سابقا من خلال المراجع، أو بمقارنتها بطيف المادة النقية، حيث يمثل كل شريط نمط الاهتزاز لرابطة كيميائية معينة بين ذرتين. ترتكز تقنية FTIR على امتصاص المادة المدروسة لبعض مناطق الأشعة تحت الحمراء، و التي يمتد عددها الموجي من 400 إلى  $4000 \text{ cm}^{-1}$ ، و هو المجال الموافق لطاقات اهتزاز الجزيئات داخل المادة.

في دراستنا هذه استخدمنا مطيافا من نوع Thermo Scientific Nicolet 380، يرسل حزمة من الأشعة تحت الحمراء على العينة المدروسة، فتمتص انتقائيا بعض أطوالها الموجية، و ينفذ الآخر إلى الكاشف، فيحوّله إلى إشارة كهربائية. بواسطة عملية تحويل رياضية تسمى تحويل فورييه للإشارة الملتقطة، يُحصَلُ على طيف نفاذية بدلالة العدد الموجي.

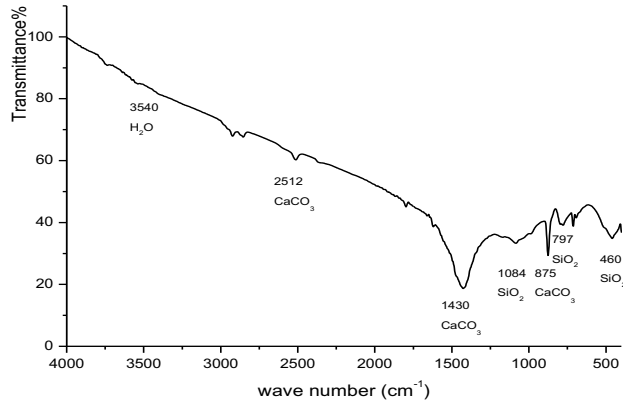
من أجل تحليل كيميائي للمادة المدروسة يكفي تحديد أطوال الموجات الممتصة الموافقة للمجموعات الكيميائية الموجودة في المادة. حُضِرَت العينات المعدة للقياس بخلط 1 mg من عينات الرمل المفروزة خلطا متأثيا و متجانسا مع 100 mg من بروميد البوتاسيوم (KBr) الجاف داخل هاون، ثم ضَغَطَ الخليط تحت ضغط مرتفع لمدة 5 دقائق، فيتكوّن من ذلك قرص قابل للقياس.

### 4. النتائج و المناقشة:

تُستخدم تقنية المطيافية تحت الحمراء غالبا في تحديد التراكيب الجزيئية للمادة، فهي مكوّنة من جزيئات، تتشكل بدورها من ذرات، ترتبط فيما بينها بروابط كيميائية ذات اهتزازات مركزية، لذا يمكن تشبيه الجزيء بمجموعة هزازات توافقية، تمتلك ريننا ناتجا عن الإضطراب بجوار حالة الإستقرار. تقع ترددات هذا الرنين في المنطقة ما تحت الحمراء من الطيف الكهرومغناطيسي، لذا فإن مطيافية امتصاص الأشعة تحت الحمراء (FTIR) تسمح بمعرفة هذا النوع من الاهتزازات و دراسته.

لقد أجرينا قياسات مطيافية FTIR على عينة من رملنا، فكان الطيف الظاهر في الشكل 2. إن مقارنة قمم الامتصاص في طيف عينتنا مع ما هو منشور في المراجع المختلفة [13 – 15] تشير إلى أن أغلب الروابط الموجودة في رملنا تعود إلى الكوارتز و

الكالسيت، كما توجد روابط أخرى تعود إلى مركبات أخرى كأكاسيد بعض المعادن، و إلى بعض الشوائب العضوية، إلا أننا سوف لن نهتم إلا بالمركبين الغالبين، الكالسيت و الكوارتز.



الشكل 2: طيف امتصاص الأشعة تحت الحمراء لعينة غير مفروزة من رمل كثبان منطقة ورقلة

#### 1.4 الكالسيت $\text{CaCO}_3$ :

الكالسيت هو أحد الأشكال المتبلورة لكاربونات الكالسيوم، و له الصيغة الكيميائية  $\text{CaCO}_3$ ، و يتواجد في الطبيعة على شكل صخور. لكاربونات الكالسيوم لون أبيض عندما تكون نقية [16].

أشرطة الامتصاص التي تظهر عند  $1795$ ،  $1430$ ،  $875$ ،  $712$ ،  $2512 \text{ cm}^{-1}$  مؤشر على وجود الكالسيت [13، 15]. لقد بدت هذه القمم شديدة في كل من العينة البيضاء المعتمة و العينة الرمادية السوداء، و متوسطة في العينة البنية الحمراء و العينة المتبقية من فرز الألوان، بينما كادت تضمحل في العينة البيضاء الشفافة و العينة الصفراء الشفافة.

يُسند شريط الامتصاص عند  $1430 \text{ cm}^{-1}$  إلى اهتزاز التمدد غير المتناظر لأيون الكاربونات  $\text{CO}_3^{2-}$ ، و الشريط  $\text{cm}^{-1}$   $875$  لانحناء هذا الأيون خارج مستوي اتزان، و الشريط  $712 \text{ cm}^{-1}$  لانحناءه في مستوي اتزانه [13]. يشير الامتصاص الأقل حدة عند  $1795 \text{ cm}^{-1}$  إلى الجمع بين الانحناء في مستوي الاتزان و التمدد المتناظر، كما يُنسب الامتصاص المشابه عند  $2512 \text{ cm}^{-1}$  إلى الجمع بين التمدد غير المتناظر و التمدد المتناظر لهذه الأيونات [15].

#### 2.4 الكوارتز $\text{SiO}_2$ :

يُعتبر الكوارتز أحد الأشكال المتبلورة للسيليكا، و هو من أكثر الخامات تواجدا في الطبيعة، حيث يشكل % 12 من تركيبة الطبقة السطحية للأرض، و هو مكوّن أساسي في الصخور البركانية و الرسوبية [17]. صيغته الكيميائية  $\text{SiO}_2$ .

تحدث معظم أشرطة امتصاص الأشعة تحت الحمراء التابعة للكوارتز في المجالين  $400-700$  و  $800-1200 \text{ cm}^{-1}$  [18]، لذا فإن الامتصاصات البارزة في أطراف عيناتنا، الشكل 3، عند  $1045$ ،  $1031$ ،  $985$ ،  $798$ ،  $778$ ،  $695$ ،  $513$ ،  $460$ ،  $1085$ ،  $1170 \text{ cm}^{-1}$  يمكننا نسبتها إلى الكوارتز [13، 18-20]. إن شدة هذه الامتصاصات تختلف من عينة لأخرى، حيث كانت شديدة و حادة في العينتين الصفراء الشفافة و البيضاء الشفافة، في حين كانت عريضة و أقل شدة في العينة الحمراء و العينة المتبقية، بينما اضمحلت بعض هذه القمم، و بدا بعضها الآخر ضئيلا في العينة البيضاء و العينة الرمادية.

لقد أشار G. Anbalagan [19] إلى أن الامتصاص المزدوج عند  $1172$  و  $1080$  يدل على وجود الكوارتز، كما أشار B.

J. Saikia [18] إلى أنه يكون عند  $1170$  و  $1165$ ، في حين قال Ali Sdiri [13] إنه عند  $1064$  و  $1187$ ، لذا فإننا نرجح أن

تكون الأشربة التي ظهرت في أطيف عيناتنا عند 1170 و 1085 راجعةً إلى الكوارتز. هذا الامتصاص المزوج يُنسبُ بالضبط إلى اهتزاز التمدد اللامتناظر للرابطة Si-O-Si للكوارتز [19].

يمكننا أيضا ملاحظة عدة أشربة ضعيفة الشدة في أطيف العينات: البيضاء المعتمة و الرمادية السوداء و الحمراء و العينة المتبقية، و هي موجودة عند حوالي 1033 و 1045 و  $985\text{ cm}^{-1}$ . كل هذه الامتصاصات تشير إلى وجود الكوارتز، و هي تمثل اهتزاز التمدد اللامتناظر للرابطة Si-O [18].

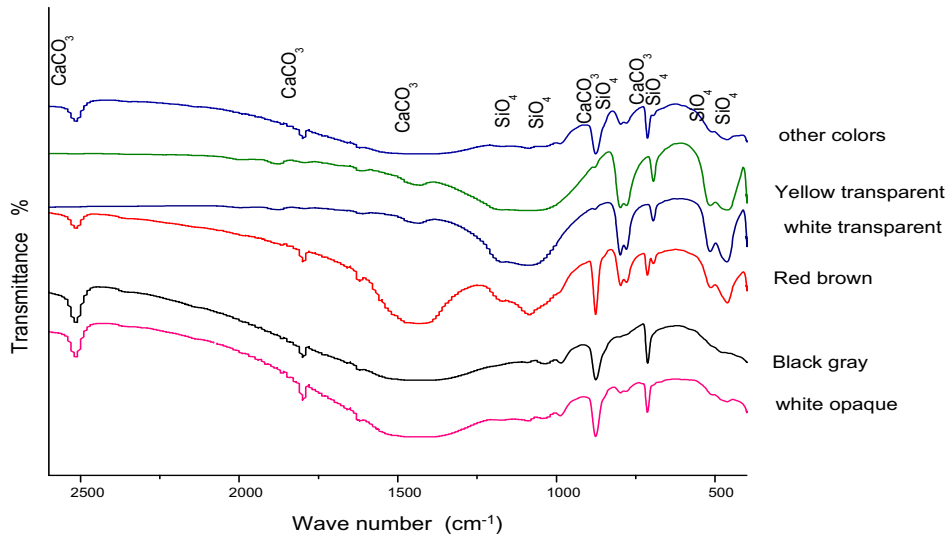
يوجد امتصاص مزوج آخر عند حوالي 797 و  $778\text{ cm}^{-1}$ ، يُنسب إلى التمدد المتناظر للرابطة Si-O-Si [19]، و هو يُستعمل لتحديد مختلف أنواع السيليكات [19]، و هو في حالتنا هذه يدل على وجود السيليكات من صنف الكوارتز  $\alpha$  [19، 20]، الأكثر استقرارا من غيره من الأصناف.

تشير القمة عند  $695\text{ cm}^{-1}$  إلى وجود الكوارتز في شكل متبلور [19]، كما يمكن حساب درجة تبلوره من حساب النسبة بين شدتي الامتصاص عند 695 و  $778\text{ cm}^{-1}$ . شريط الامتصاص عند  $695\text{ cm}^{-1}$  هو بسبب الاهتزازات عند حالة التناظر ثنائي السطح، بينما الاهتزاز عند  $780\text{ cm}^{-1}$  يرجع إلى الاهتزازات عند حالة التناظر رباعي السطح [18].

لوحظت شريطا امتصاص عند 460 و  $513\text{ cm}^{-1}$ ، يعودان إلى اهتزاز الانحناء اللامتناظر للرابطين Si-O-Si و Si-O-Al على الترتيب [19].

### 3.4. مقارنة أطيف العينات ذات الألوان:

لقد أجرينا قياسات مطيافية FTIR على عيناتنا الملونة الموصوفة سابقا، فكانت الأطيف الظاهرة في الشكل 3.



الشكل 3: طيف امتصاص الأشربة تحت الحمراء للعينات الملونة لرمل كنبان منطقة ورقلة

لقد أبدت هذه الأطيف اختلافات واضحةً في العديد من مناطق الطيف؛ فبعض قمم الامتصاص برزت في بعض العينات، ثم نقصت شدتها أو اختفت في بعضها الآخر، فمثلا الامتصاصات عند 460 و 695 و  $800\text{ cm}^{-1}$  تظهر بشكل قمم حادة و شديدة في العينة البيضاء الشفافة و العينة الصفراء الشفافة، بينما تقل شدتها في العينة البنية الحمراء و العينة المتبقية، في حين تضمحل بعض هذه القمم و يظهر بعضها الآخر بشكل ضعيف في العينة البيضاء المعتمة و العينة الرمادية السوداء، على عكس الامتصاصات عند 2512 و

$875\text{ cm}^{-1}$ ، حيث بدت هذه القمم شديدة في العينة البيضاء المعتمة و العينة الرمادية السوداء، و ضعيفة في العينة البيضاء الشفافة و العينة الصفراء الشفافة. الجدول 1 يلخص كل هذه الاختلافات و المقارنات.

الجدول 1: نتائج المقارنة بين أطياف (FTIR) للعينات ذات الألوان من رمل كثبان منطقة ورقلة

شادات قمم الامتصاص: o ضعيف، oo متوسط، ooo شديد، - عديم

العدد الموجي ( $\text{cm}^{-1}$ )	الرابطة و نمط الاهتزاز	المرجع	عينات الرمل الملونة					
			البيضاء	الرمادية	الحمراء	الشفافة	الصفراء	المتبقية
3737	تمدد الرابطة O-H	[21]	o	o	O	-	-	O
3544	تمدد على مستوى مجموعة الهيدروكسيل Si-Si-OH	[13]	o	o	O	-	-	O
3436	إمتصاص الماء	[13,19]	-	-	-	o	o	-
3400	تمدد الرابطة O-H	[21]	o	o	O	-	-	O
2980	تمدد الرابطة C-H (شوائب عضوية)	[22]	o	o	O	-	-	O
2925			-	o	-	o	o	O
2512	الجمع بين التمدد المتناظر و التمدد غير المتناظر لـ $\text{CO}_3^{-2}$	[13]	ooo	ooo	Ooo	-	-	Ooo
1795	الجمع بين التمدد المتناظر و الإنحناء إنحناء في مستوي الاتزان لـ $\text{CO}_3^{-2}$	[13]	ooo	ooo	Ooo	o	o	Oo
1430	تمدد غير متناظر للرابطة $\text{CO}_3^{-2}$	[18]	ooo	ooo	Ooo	oo	oo	Ooo
1170	تمدد غير متناظر لـ Si-O	[22]	o	-	O	ooo	ooo	O
1085			o	o	Ooo	ooo	ooo	O
1045	تمدد الرابطة Si-O	[18]	o	-	O	-	-	O
985			o	o	-	-	-	O
875	إنحناء خارج مستوي الاتزان لـ $\text{CO}_3^{-2}$	[13]	ooo	ooo	Ooo	o	o	Ooo
797	إنحناء متناظر للرابطة Si-O	[19]	o	o	Oo	ooo	ooo	Oo
778			o	-	Ooo	ooo	ooo	Oo
712	إنحناء في مستوي الاتزان لـ $\text{CO}_3^{-2}$	[13]	ooo	ooo	Ooo	-	-	Ooo
695	إنحناء متناظر للرابطة Si-O	[19]	-	-	Oo	ooo	ooo	-
512	إنحناء متناظر للرابطة Si-O في $\text{SiO}_4$	[19]	-	o	-	-	-	-
460	إنحناء غير متناظر للرابطة Si-O	[19]	-	-	O	ooo	ooo	O

#### الخلاصة:

أظهرت الدراسة باستخدام المطيافية تحت الحمراء أن رمل كثبان منطقة ورقلة الذي تتجاوز أقطار حبيباته  $0.315\text{ mm}$  يتكون في أغلبه من الكوارتز  $\text{SiO}_2$  و الكالسيت  $\text{CaCO}_3$ . لقد تبيّن لنا أيضا من خلال هذه الدراسة أن للون حبيبات الرمل علاقة مباشرة بالشوائب الكيميائية التي تحويها؛ فالحبيبات ذات اللون الأصفر و العديمة اللون تحوي نسبة كبيرة من الكوارتز، في حين تحوي الحبيبات البيضاء المعتمة و الحبيبات الرمادية نسبة كبيرة من الكالسيت، أما الحبيبات الحمراء و الحبيبات المتبقية فحوّت الكوارتز و الكالسيت معا.

## المراجع:

1. محمد العيد مشري وإسماعيل شبيحي؛ دراسة التركيب الذري لرمل كثبان منطقة ورقلة باستخدام مطيافيات XRF و MEB و EDX و AAN، حوليات العلوم و التكنولوجيا، المجلد 4 العدد 2، (2012)، الصفحات: 69-79.
2. Sarah Haig, Christopher Quince, Robert L. Davies, Caetano C. Dorea and Gavin Collins; Replicating the microbial community and water quality performance of full-scale slow sand filters in laboratory-scale filters, water research **61**, pp 141-151 (2014).
3. T. Aboud; Libyan Desert Glass: has the enigma of its origin been resolved? Physics Procedia Vol. **2** pp 1425–1432 (2009).
4. S. Platias, K. I. Vatalis and G. Charalampides; Suitability of quartz sands for different industrial applications, Procedia Economics and Finance, Vol. **14** pp 491 – 498 (2014).
5. Sławomir Maj; Optical properties of geomaterials: specific refraction of low-density silica polymorphs, polish academy of sciences Vol. **52**, N° 1 pp 77 - 81 (2004).
6. Eric , Williams; Global production chains and sustain ability : the case of high-purity silicon and its applications in IT and renewable energy , the united nations University Institute of Advanced Studies, UNU / IAS (2000).
7. Marc Pansu, Jacques Gautheyrou ; Handbook of Soil Analysis Mineralogical, Organic and Inorganic Methods, Springer, pp 16, Springer-Verlag Berlin Heidelberg (2006).
8. S. Sivakumar, R.Ravisankar, Y. Raghu, A. Chandrasekaran and J. Chandramohan; FTIR Spectroscopic Studies on Coastal Sediment Samples from Cuddalore District, Tamilnadu, India, Indian Journal of Advances in Chemical Science **1**, 40-46 (2012).
9. S. Guettala, B. Mezghiche and M. Mellas; Adding finely crushed dune sand to cement on the evolution of hydration of pasta rtland cement, asian journal of civil engineering (building and housing) Vol. **11**, N° 2 pp 241-251 (2010).
10. Mukuna P. Mubiayi. Member and Iaeng; Characterisation of Sandstones: Mineralogy and Physical properties, Proceedings of the World Congress on Engineering, July 3-5, 2013, London.
11. Petre Makreski, Gligor Jovanovski, Traje Stafilov and Blao Boev; The dependence of quartz and opal color on trace element composition – aas, ft ir and micro-raman spectroscopy study, Bulletin of the Chemists and Technologists of Macedonia, Vol. **23**, N° 2 pp171-184 (2004).
12. Karim N. Jallad and Cyntia Espada-Jallad; Spectroscopic characterization of geological materials from the United Arab Emirates, Arab J Geosci **1** pp 119–127 (2008).
13. Ali Sdiri, Teruo Higashi, Tamao Hatta, Fakher Jamoussi and Norio Tase; Mineralogical and spectroscopic characterization, and potential environmental use of limestone from the Abiod formation, Tunisia, Environ Earth Sci., **61** pp 1275–1287 (2010)
14. S. Gnanasarayanan and P. Rajkumar; Characterization of minerals in natural and manufactured sand in Cauvery River belt, Tamilnadu, India, Infrared Physics and Technology, **58** pp 21-31 (2013).
15. Flemming A, Andersen, Ljerka Brečević; Infrared spectra of amorphous and crystalline Calcium Carbonate, Acta Chem, Scand, **45**, pp1018-102 (1991).
16. زينخري فهيمه ؛ تحضير ودراسة مرشحات وحواملها انطلاقا من مواد أولية محلية، مذكرة ماجستير جامعة باتنة، (2008).
17. سميحة بضياف و إسماعيل شبيحي، دراسة بعض الخصائص البنيوية للكوارتز الموجود برمل كثبان منطقة ورقلة، حوليات العلوم و التكنولوجيا المجلد 6 العدد 1 ، (2014).
18. B J Saikia, G Parthasarathy, N C Sarmah and G D Baruah; Fourier–transform infrared spectroscopic characterization of naturally occurring glassy fulgurites, Indian Academy of Sciences Vol. **31**, N° 2 pp 155-158 (2008).

19. G. Anbalagana, A. Prabaharam and S. Gunasekaram; Spectroscopic characterization of Indian standard sand, *Journal of applied spectroscopy*, Vol **77** PP 86-94, (2010).
20. Dave K. Verma, Diane M. Johnson and Karen Tombe; A Method for Determining Crystalline Silica in Bulk Samples by Fourier Transform Infrared Spectrophotometry, *Ann. occup. Hyg.*, Vol. **46**, No. 7 pp. 609–615 (2002).
21. Abigail Matteson and Michael M. Herron; Quantitative mineral analysis by Fourier Transform infrared spectroscopy, Conference Paper Number 9308, (1993).
22. Rami Al-Oweini, Houssam El-Rassy; Synthesis and characterization by FTIR spectroscopy of silica aerogels prepared using several  $\text{Si(OR)}_4$  and  $\text{RSi(OR)}_3$  precursors, *Journal of Molecular Structure*, Vol. **919** pp 140–145 (2009).