



رقم الترتيب:

رقم التسلسل:

جامعة قاصدي مرياح ورقلة

كلية الرياضيات و علوم المادة

قسم الفيزياء

أطروحة دكتوراه

في الطور الثالث ل م د

مجال: علوم المادة

تخصص: مطيافية المواد

من إعداد: محادي نوية

الموضوع

تحديد تركيب الأصناف اللونية الرئيسة لرمل كثبان منطقة ورقلة،
و تحديد سبب تلونها باستخدام الطرق الطيفية

نوقشت بتاريخ 01 مارس 2017

أمام لجنة المناقشة المؤلفة من:

رئيساً	جامعة ورقلة	أستاذ تعليم عالٍ	خلفاوي فتحي
ممتحناً	جامعة الأغواط	أستاذ تعليم عالٍ	لفقير بن خلدون
ممتحناً	جامعة الوادي	أستاذ محاضر أ	محبوب محمد الصادق
ممتحناً	جامعة ورقلة	أستاذ تعليم عالٍ	حسيني مسعود
ممتحنةً	جامعة ورقلة	أستاذ محاضر أ	قريشة سليمة
مقرراً	جامعة ورقلة	أستاذ تعليم عالٍ	شبحي إسماعيل

2017 \ 2016

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

الْمُتَرَّانَ اللَّهُ أَنْزَلَ مِنَ السَّمَاءِ مَاءً فَأَخْرَجْنَا بِهِ ثَمَرَاتٍ مُخْتَلِفًا أَلْوَانُهَا
وَمِنَ الْجِبَالِ جُدَدٌ بَيْضٌ وَحُمْرٌ مُخْتَلِفٌ أَلْوَانُهَا وَغَرَابِيبُ

سُودٌ ﴿٢٧﴾

سورة فاطر

الإهداء:

إلى ملائكتي في الحياة... إلى معنى الحب و النان... إلى بسمه الحياة و سر الوجوه، إلى من كان
صاعقها سر نجاتي و حنانها بلسماً لجراتي، إلى أغلى الحباب

أمي الحبيبة

إلى من كَلَّم الله بالهيبه و الوفاق .. إلى من علمني العطاء بدون انتظار .. إلى من أحمل اسمه بكل
افتخار .. أرجو و الله أن يمك في عمره ليرني ثماراً قد حان قطافها بعد طول انتظار
و الصافي العزيز

إلى رفيق صديقي، إلى من كان يضيء لي الطريق و يسانيني و يتنازل عن حقوقه لإرضائي
و العيش في هناء

زوجتي الغالية

إلى الروح التي سكنت روحي ... إلى فاضة كصديقي

ابنتي

إلى من أرى التفاؤل بأعينهم ... و السعادة في ضحكهم، إلى الوجوه المفعمة و الحبتهم أزهرت أيامي و

تفتحت براعم الغد

عائتي الكبيرة

إلى الأخوات اللاتي نرى تلميح أمي ... إلى من تملوا بالإيحاء و تميزوا بالوفاء و العطاء، إلى بناتي
الصديق الصافي .. إلى من معهن سعادت، و يرفقن في ظروف الحياة الحلوة و الحزينة سرت،

إلى من كانوا معي على طريق النجاح و الخير،

إلى من عرفت كيف أحصلهم و علموني أن لا أضيعهم

صديقاتي

أهديه في هذه الرسالة

شكر و تقدير

إن الحمد لله نحمده و نستعينه و نستغفره، و نعوذ بالله من شرور أنفسنا و سيئات أعمالنا، و أشهد أن لا إله إلا الله وحده لا شريك له و أشهد أن محمدا عبده و رسوله.

الشكر أولاً لله سبحانه و تعالى أن منّ علي بإنجاز هذا العمل المتواضع، و الشكرُ و العرفان لجامعة قاصدي مرياح ورقلة - كلية الرياضيات و علوم المادة - مُمثلةً بعمدائها و أساتذتها الأفاضل على جهودهم الجبارة و أيديهم البيضاء في مساعدتي و مساعدة كل طلاب العلم، و جزاهم الله عنا كل الخير. يسعدني أن أقدم أسمى آيات الشكر و العرفان للأستاذ شيحي إسماعيل على اقتراحه و إشرافه على هذا البحث، إذ لم يبخل علي بنصائحه و إرشاداته القيمة، و على كل ما منحه لنا من جهد و وقت في إنجاز هذا العمل، فقد كان له كل الفضل في وصولي إلى هذه المرحلة.

أتقدم بالشكر و الامتنان إلى الأستاذ فتحي خلفاوي على تقبله ترؤس لجنة المناقشة، و كذا للأساتذة: لفقيه بن خلدون، محبوب الصادق، حسيني مسعود، قريشة سليمة، على تشريفهم لي بقبول المشاركة في لجنة مناقشتي.

أنجز هذا البحث بمخبر فيزياء الإشعاع و البلازما و فيزياء السطوح (LRPPS) بجامعة قاصدي مرياح ورقلة، حيث كان لي عظيم شرف الانضمام إليه طيلة مدة إنجاز هذا البحث، لذا أتوجه بشكري العميق ثانيةً إلى الأستاذ فتحي خلفاوي، الذي يتولى إدارة هذا المخبر، و كذا كل القائمين عليه لما بذلوه من جهود على مساعدتي في إنجاز هذه العمل.

لا أنسى أيضا أن أشكر مجموعة البحث التي عملت ضمنها بإشراف الأستاذ شيحي إسماعيل و أعضاء مجموعة البحث، خاصة الزميل مشري محمد العيد و الزميلة بضياف سميحة على ما قدماه لي من عون.

أتوجه أيضا بالامتنان إلى كل عمال مركز البحث النووي بالجزائر (CRNA)، و كذا إلى كل عمال مصنع الإسمنت بعين التوتة (باتنة) على ما قدموه لنا من مساعدات أثناء إجراء بعض القياسات الطيفية. أشكر أيضا رئيس و أعضاء مخبر الموارد الصحراوية و تميمها و تكنولوجياتها (VTRS) بجامعة الوادي، و كذا مخبر علم البلورات بقسنطينة، على القياسات التي أجرؤها لنا أثناء إنجاز هذا العمل.

الفهرس:

I	الإهداء.....
II	شكر و تقدير.....
III	الفهرس.....
VII	قائمة الأشكال.....
IX	قائمة الجداول.....
01	مقدمة عامة.....

الفصل الأول

مفاهيم عامة حول الرمل

07	1.I الكثنان الرملية.....
07	2.I كيفية تكوّن الكثنان الرملية.....
08	3.I العوامل المؤثرة في تكوّن الكثنان الرملية.....
08	أ) الرياح
09	ب) توفر مصادر الرمل
09	ج) التضاريس
09	د) حجم الحبيبات الرسوبية.....
10	4. I الأشكال المورفولوجية للتجمعات الرملية.....
10	أ) الأشكال الرملية الصغيرة
10	أ-1) الغطاءات الرملية.....
10	أ-2) التموجات الرملية.....
10	أ-3) النّبّاك
10	ب) الأشكال الرملية الكبيرة
11	ب-1) الكثنان الهلالية
11	ب-2) الكثنان الطولية.....
12	ب-3) الكثنان العرضية.....

13	..... ب-4) الكثبان النجمية
13	..... 5.I. توزع الكثبان الرملية في العالم و الجزائر
13	..... 1.5.I. توزع الكثبان الرملية في العالم
14	..... 2.5.I. توزع الكثبان الرملية الجزائر
15	..... 6.I. الخصائص الطبيعية لحبيبات الرمل
15	..... أ) أشكال الحبات
16	..... ب) قياس الحبات
17	..... ب-1) التدرج الحبيبي
17	..... ب-2) التصنيف الحبيبي
18	..... ج) ألوان حبيبات الرمل
19	..... ج-1) علاقة الضوء بالألوان
19	..... ج-2) رؤية العين للألوان
20	..... 7.I. الخصائص الكيميائية للرمل
21	..... 8.I. الكوارتز SiO_2
21	..... 1.8.I. البنية البلورية
22	..... 2.8.I. الخواص الفيزيائية
23	..... 9.I. إستخلاص الكوارتز من الرمل
24	..... 10.I. إستخلاص السيليسيوم من الكوارتز
26	..... 11.I. إستعمالات الرمل

الفصل الثاني

الطرق التجريبية المستخدمة

28	..... 1.II. الموقع الجغرافي و وصف الكثيب
29	..... 2.II. جمع العينات
29	..... 3.II. تحضير العينات
29	..... أ) الفحص البصري
29	..... ب) الفرز اللوني
30	..... 4.II. طرق التحليل الطيفي المستخدمة

30	..... 1.4.II مطيافية انعراج الأشعة السينية
31	..... أ) مبدأ حيود الأشعة السينية
31	..... ب) قانون براغ
33	..... ج) الجهاز و مبدأ القياس
34	..... د) تحليل مخططات انعراج الأشعة السينية
34	..... هـ) الجهاز المستعمل في انعراج الأشعة السينية (XRD)
35	..... و) تحضير العينات لإجراء التحليل بواسطة (XRD)
35	..... ز) برنامج X'pert
36	..... 2.4.II مطيافية امتصاص الأشعة تحت الحمراء
36	..... أ) مبدأ مطيافية الأشعة تحت الحمراء
36	..... ب) أنواع الاهتزازات الجزيئية
38	..... ج) النموذج الميكانيكي لعملية التمدد الاهتزازي
39	..... د) تحليل أطيف امتصاص الأشعة تحت الحمراء
39	..... هـ) جهاز طيف الأشعة تحت الحمراء
40	..... و) الجهاز المستعمل في مطيافية الأشعة تحت الحمراء (FTIR)
40	..... ز) تحضير العينات
41	..... 3.4.II مطيافية تفلور الأشعة السينية
41	..... أ) المبدأ الأساسي لظاهرة فلورة الأشعة السينية
42	..... ب) جهاز الفلورة
42	..... 1. مصادر الأشعة السينية الأولية
43	..... 2. الكاشف
43	..... ج) التحليل الكيفي و الكمي
43	..... 1. التحليل الكيفي
44	..... 2. التحليل الكمي
44	..... د) أجهزة فلورة الأشعة السينية (XRF) المستعملة للقياس
45	..... هـ) تحضير العينات

الفصل الثالث

تحليل و مناقشة نتائج القياسات التجريبية

48	..... 1.III الدراسة العيانية (الفحص البصري)
49	..... 2.III نتائج التحليل بواسطة انعراج الأشعة السينية (XRD)
49	..... 1.2.III تحديد التراكيب البلورية للرمل
53	..... 2.2.III تفسير انزياح القمم في مخططات الانعراج
57	..... 3.2.III مقاس البُليّرات
60	..... 3.III مطيافية امتصاص الأشعة تحت الحمراء
60	..... 1.3.III التركيب الجزيئي للأصناف اللّونية لرمل كثنان ورقلة
68	..... 2.3.III دليل تبلور الكوارتز
70	..... 3.3.III معامل الخمود (التوهين) الكتلي
72	..... 4.III نتائج التحليل بواسطة تفلور الأشعة السينية (XRF)
78	..... خلاصة عامة
83	..... الملحقات
87	..... المراجع

قائمة الأشكال:

قائمة الأشكال

- 08 الشكل (1-I): مراحل تكوّن الكثيب
- 09 الشكل (2-I): طرق حركة حبيبات الرمال
- 11 الشكل (3-I): كثنان هلالية
- 12 الشكل (4-I): كثنان طولية
- 12 الشكل (5-I): كثنان عرّضية
- 13 الشكل (6-I): كثنان نجمية
- 14 الشكل (7-I): توزّع الكثنان الرملية في العالم
- 15 الشكل (8-I): توزّع الكثنان الرملية في الجزائر
- 16 الشكل (9-I): مقياس استدارة و تكور حبيبات الرمل
- 16 الشكل (10-I): أقسام حبيبات التربة وفقا لأحجامها حسب نظم التقسيم المختلفة
- 18 الشكل (11-I): التصنيف الحبيبي
- 21 الشكل (12-I): البنية البلورية لجزيء (SiO_4)
- 21 الشكل (13-I): البنية البلورية للكوارتز
- 25 الشكل (14-I): وحدة إنتاج السيليكون و خطوات التصنيع
- 28 الشكل (1-II): صورة فوتوغرافية لكثيب توارق، (ب) صورة فضائية لكثيب توارق
- 30 الشكل (2-II): التصنيف اللوني لرمال كثنان منطقة ورقلة
- 31 الشكل (3-II): رسم تخطيطي يوضح مستويات الشبكة
- 32 الشكل (4-II): رسم توضيحي يمثل الأشعة السينية الواردة و المنعكسة وفقا لنظرية الحيود لبراغ
- 33 الشكل (5-II): رسم توضيحي لجهاز انعراج الأشعة السينية
- 34 الشكل (6-II): أجهزة انعراج الأشعة السينية المستعملة في الدراسة
- 35 الشكل (7-II): صورة فوتوغرافية لحامل العينات في جهاز انعراج الأشعة السينية
- 35 الشكل (8-II): واجهة برنامج X'pert المستخدم في معالجة بيانات انعراج الأشعة السينية
- 37 الشكل (9-II): رسم تخطيطي يوضح أنماط اهتزازات التمدد
- 38 الشكل (10-II): رسم تخطيطي يوضح أشكال اهتزازات الانحناء
- 38 الشكل (11-II): رسم تخطيطي للهزاز التوافقي

- 39 الشكل (II-12): مخطط جهاز مطيافية الأشعة تحت الحمراء
- 40 الشكل (II-13): جهاز مطيافية الأشعة تحت الحمراء المستعمل في الدراسة.
- 40 الشكل (II-14): الأدوات المستخدمة في تحضير عينات التحليل بمطيافية الأشعة تحت الحمراء...
- 41 الشكل (II-15): الانتقالات الإلكترونية المسببة لظاهرة الفلورة
- 42 الشكل (II-16): الخطوط الطيفية و الانتقالات التابعة لها في الذرة
- 44 عمله
- 44 الشكل (II-17): (أ) جهاز DW- XRF المستعمل في الدراسة، (ب) المخطط الذي يوضح مبدأ عمله
- 45 عمله
- 45 الشكل (II-18): (أ) جهاز ED-XRF المستعمل في الدراسة، (ب) المخطط الذي يوضح مبدأ عمله
- 45 الشكل (II-19): جهاز ضغط العينات و نموذج لإحدى العينات في تقنية DW- XRF
- 46 الشكل (II-20): تجهيزات الطحن الخاصة بتقنية ED-XRF
- 46 الشكل (II-21): جهاز ضغط العينات و نموذج لإحدى العينات في تقنية ED-XRF
- 49 الشكل (III-1): مخطط انعراج الأشعة السينية للعينات العامة
- 50 الشكل (III-2): مخططات انعراج الأشعة السينية للعينات الشفافة
- 51 الشكل (III-3): مخططات انعراج الأشعة السينية للعينات المعتمة: الحليبية و الرمادية و السوداء..
- 51 الشكل (III-4): مخططات انعراج الأشعة السينية للعينات المعتمة: البيضاء و الحمراء و المتبقية من عملية الفرز اللوني
- 52 الشكل (III-5): بنية المواد البلورية: (أ) بلورة أحادية (ب) بلورة متعددة
- 57 الشكل (III-6): متوسط مقاس بُليرات الكوارتز و الكالسيت في عينات الرمل المفروزة وفقا لألوان حبيباتها من رمل كثبان منطقة ورقلة
- 59 الشكل (III-7): طيف امتصاص الأشعة تحت الحمراء للعينات العامة
- 60 الشكل (III-8): أطيف امتصاص الأشعة تحت الحمراء للعينات الشفافة
- 61 الشكل (III-9): طيف امتصاص الأشعة تحت الحمراء للعينات المعتمة الحليبية و الرمادية و السوداء...
- 62 الشكل (III-10): طيف امتصاص الأشعة تحت الحمراء للعينات المعتمة البيضاء و الحمراء
- 63 الشكل (III-11): طريقة تحديد قيم الامتصاص انطلاقا من خط الأساس
- 69 الشكل (III-12): معامل التوهين الكتلي للكوارتز و للكالسيت لمختلف الأصناف اللونية لرمال كثبان منطقة ورقلة
- 71

- 74 الشكل (III-13): العلاقة بين نسبة الكوارتز و نسبة أكسيد الحديد في العينات المدروسة
- 75 الشكل (III-14): العلاقة بين نسبة الكوارتز و أكسيد الكالسيوم
- 75 الشكل (III-15): الكوارتز و الكالسيت (نقصان أحدهما على حساب الآخر)

قائمة الجداول:

قائمة الجداول

- 20 الجدول (I-1): التحاليل الكيميائية لرمال الكتبان لمناطق مختلفة من العالم
- 22 الجدول (I-2): أهم خواص الكوارتز الفيزيائية
- الجدول (I-3): المواصفات الكيميائية و الحبيبية لرمال السيليكات المستخدمة في الصناعات الزجاجية المختلفة
- 23 الجدول (III-1): التوزع اللوني لحبيبات الرمال المدروسة، و تواجدتها في الرمل
- 48 الجدول (III-2): تحليل نتائج انعراج الأشعة السينية للعينات المفروزة وفقا لألوان حبيباتها من رمل كتبان منطقة ورقلة
- 54 الجدول (III-3): مقاس بليرات الكوارتز و الكالسيت في عينات الرمل المفروزة وفقا لألوان حبيباتها من رمل كتبان منطقة ورقلة
- 58 الجدول (III-4): المقارنة بين أطياف FTIR للعينات المفروزة وفقاً لألوان حبيباتها من رمل كتبان منطقة ورقلة
- 65 الجدول (III-5): دليل تبلور الكوارتز في عينات الرمل المدروسة
- 69 الجدول (III-6): معامل التوهين الكتلي للكوارتز و للكالسيت لمختلف الأصناف اللونية لرمال كتبان منطقة ورقلة
- 70 الجدول (III-7): تراكيز الأكاسيد الملاحظة في العينات المفروزة حسب ألوانها من رمل كتبان منطقة ورقلة (%)
- 72 الجدول (III-8): تراكيز العناصر الكيميائية الموجودة في العينات المفروزة حسب ألوانها من رمل كتبان منطقة ورقلة (mg/kg)
- 73 الجدول (III-9): تراكيز العناصر الكيميائية الملاحظة كآثار في العينات المفروزة حسب ألوانها من رمل كتبان منطقة ورقلة (mg/kg)
- 77

مقدمة عامة

مقدمة عامة:

تُغطي الكثبان الرملية مساحاتٍ شاسعةً من العالم، فهي أحدُ مظاهر سطح الأرض الرئيسة، و يبرزُ وجودُها في البيئات الجافة و شبه الجافة في مناطقٍ مختلفةٍ من العالم. حركة هذه الكثبان ظاهرةً من شأنها أن تشكلَ خطراً كبيراً على هذه المناطق، رُغمَ أن هذه الرمالَ تُعدُّ من بين الثروات الطبيعية التي يمكنها دفع عجلة التنمية الصناعية و الاقتصادية خطواتٍ إلى الأمام.

تُعدّ رمال الكثبان من بين أهمِّ الموارد الطبيعية التي يمكن استغلالها و الاستفادة منها في العديد من المجالات؛ فالرمل مادة أولية تعتمد عليها عدَّة صناعات [1-3]، سواءً باستعمالها بشكلها الطبيعي أو بعد إجراء بعض المعالجات عليها [3،4]، بغية تهيئتها لاستعمالاتٍ أخرى. يمكن استخدام الرمل أيضاً في تصفية المياه [5] و البناء [6]، كما يُستخدم الكوارتز المستخلص منه في الصناعات الزجاجيات و البصريات [1،2]، بالإضافة إلى إمكانية استخلاص السيلسيوم منه [3]، و الذي يدخل بدوره في الصناعات النانومترية و أشباه الموصلات.

تنشأ الكثبان الرملية نتيجة تفاعل الصخور مع العوامل الطبيعية المختلفة، كالحرارة و الرياح و الرطوبة، و هي تتكون من حبيبات مختلفة الأحجام و الأشكال و الألوان، و تختلف أنواعها باختلاف مصادرها التي نشأت منها.

تتكون معظم الرمال و الحجارة الرملية من الكوارتز (SiO_2) و الفلدسبار (AlSi_3O_8)، فهما الأكثر وفرةً في القشرة الأرضية [7،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].

تتوجَّه الجزائر لفتح مجال الاستثمار و إطلاق مشاريع ضخمة لاستغلال الطاقة الشمسية بشقيها، الحراري و الكهروضوئي. في هذا الأخير تُستخدم الخلايا الضوئية، و هي مصنوعة أساساً من مادة السيلكون. يندُر وجود السيلكون خاماً في الطبيعة [10-12]، كما يمكن استخلاصه من الكوارتز الموجود بوفرة في الكثبان الرملية.

تتوفر الجزائر على كميات كبيرة من رمل الكثبان، فهو يغطي أكثر من نصف مليون كيلومتر مربع [13]؛ أي حوالي رُبع مساحتها. تتوزع هذه الكثبان في الجزء الجنوبي من البلاد، و تنتشر فيها على هيئة عروق في أجزاء متفرقة منها. أهمُّ هذه العروق العرق الشرقي الكبير، و الذي يقع أغلبه في ولاية ورقلة (منطقة الدراسة)، حيث يمثل مصدرا طبيعيا للكوارتز.

نظرا لتنوع مجال استخدامات الرمال كانت الكثبان الرملية محلَّ اهتمام كثير من الباحثين؛ فلقد أُجريت العديد من الدراسات حولها على المستوى العربي و العالمي، إلا أن أغلب هذه الدراسات تنطرق إليها من ناحية استخدامه في مجالات الزراعة و البناء [6،14]، و التنقية [15]، و في المجالات البيئية [16]، و البترولية [17،18].... الخ.

تُرَكِّزُ الدراسات الفيزيائية حول الرمل على رمال السيلكا، و ذلك لأهميتها المعروفة في صناعة الزجاج و استخراج السيلسيوم للصناعات النانومترية. لقد بدأ الاهتمام بالدراسات التشخيصية لرمل الكثبان حديثاً، يمكن أن نذكر من بينها:

- الدراسة المقدمة من طرف (Jallad K N and Espada J C (2008) [19]، و لقد أشارت إلى أن سبب اختلاف ألوان الكثبان الرملية الساحلية يرجع إلى الاختلاف في التركيب الكيميائي لهذه الرمال، كما من الممكن أن يكون للاختلاف اللوني علاقةً مباشرةً بتنوع مصادر الصخور التي نشأت منها.
- الدراسة المقدمة من طرف (Padmakumar G P et al (2012) [20]، و لقد أظهرت الخصائص الفيزيائية و الكيميائية و الكهربائية و الحرارية و الجيولوجية و الجيوتقنية للرمال الريحية المنتمية لصحراء Thar بالهند، و بيَّنت أن هذه الرمالَ تحمل خصائصَ مشابهةً لرمال شبه الجزيرة العربية و أستراليا و الصين و الرمال الكوارتزيتية بالهند. يمكن الاستفادة منها في البناء و الملاط و دفن الأسلاك الكهربائية.... الخ.
- الدراسات المقدمة من طرف كل من (Maazouzi A et al (2014) [21]، (Tafraoui A et al (2006) [22]، (Benaafi M and Abdullatif O (2015) [23]، (AL Sanad H A et al (1993) [24]، و لقد اهتمت بدراسة الخصائص المعدنية و الفيزيوكيميائية و الجيوكيميائية و الجيومورفولوجية لرمال الكثبان.
- في حين لم تحضَ رمالُ العرق الشرقي الكبير (منطقة الدراسة) بحظ كافٍ من الدراسة؛ إذ لم يُجرَ عليها سوى عددٍ قليلٍ جدا من الدراسات التشخيصية (Beddiaz S et al (2015) [25]، (Beddiaz S et al (2015) [26]، و التي ركزت على الخصائص البلورية و البنيوية للكوارتز و نسبهِ الموجودة في الأصناف الحجمية لرمال كثبان منطقة ورقلة، كما عالجت الدراسة المقدمة من طرف (Mechri M L et al (2016) [27]، محمد العيد مشري و إسماعيل شحي (2012) [28] هذه الرمال حراريا، و اهتمت بتأثير الحرارة على

الأطوار البلورية الموجودة في هذا الرمل، و كذا على ناقلته الكهربائية. بينما اهتمت الدراسات المقدمة من طرف نوية و إسماعيل شحي (2014) [29]، [30]Mahdadi N et al (2016)، [30]Mahdadi N and (2016) Chihhi S [31] بتشخيص الأصناف اللونية المكونة لهذه الرمال وتحديد سبب تلونها

إن الاحتياطي الكبير من الرمل المتوفر في مناطق الجنوب الجزائري جدير بالفحص و الدراسة بغرض استغلاله و الاستفادة منه في عديد المجالات، و نظرا لقلة الدراسات التشخيصية – كما ذكرنا- التي أُجريت على هذه الكثبان الرملية، فإنها تحتاج إلى مزيد من الأبحاث و الدراسة. من هنا كان تفكيرنا في إعداد هذه الدراسة، و التي تهدف إلى:

- التعرف على طرق التحليل الطيفي الأنسب لدراسة الرمل.
 - تحديد مكونات رمال كثبان منطقة ورقلة.
 - محاولة تحديد مكونات الرمل انطلاقا من الخصائص البصرية لحبيباته.
 - إيجاد بعض الطرق التي يمكن من خلالها استخلاص الكوارتز من الرمل.
 - تبيين رمال الكثبان كمورد محلي طبيعي للكوارتز.
- لعلّ أبرز ملاحظة مرئية يمكن تسجيلها فيما يخص الرمل هي الألوان المختلفة لحبيباته، و التي تُوجي بأن لهذه الحبيبات تراكيب مختلفة، لذا فإننا نسعى في هذه الدراسة إلى تحديد المركبات الداخلة في تكوين رمال كثبان منطقة ورقلة و الحبيبات ذات الألوان المختلفة الموجودة بهذا الرمل، و ذلك باستخدام بعض الطرق الطيفية، متمثلة في تقنية انعراج الأشعة السينية (XRD) و تقنية تفلور الأشعة السينية (XRF) و مطيافية الامتصاص ما تحت الأحمر بتحويل فورييه (FTIR)، و في سبيل ذلك سنقوم بما يلي:
- تحديد التوزع اللوني لرمال كثبان منطقة ورقلة، و ذلك بعملية الفرز اليدوي باستخدام عدسة مكبرة و ملقط.
 - تحديد المكونات الذرية و الجزئية لعينات الرمل الطبيعية و المفروزة من رمال الكثبان، و ذلك بالاستعانة بمخططات انعراجها و أطيفها المختلفة، و تحديد التراكيب الرئيسة لكل صنف من الأصناف اللونية.
 - ربط ألوان حبيبات الرمل بمركباتها الأساسية و تركيز الشوائب بها، و محاولة تفسير تلون حبيبات الرمل المدروسة.

فُسِّمَت هذه الأطروحة إلى ثلاثة فصول و خاتمة، مبدوءة بمقدمة عامة، تتضمن مبرزات اختيار الموضوع و الهدف من دراسته، و عرضاً لأهمية الدراسة و دوافعها و أهم الدراسات السابقة.

الفصل الأول "مفاهيم عامة حول رمال الكثبان"، تناولنا فيه دراسةً نظريّةً لرمال الكثبان، تتضمن أصل الكثبان الرملية و كيفية تشكيلها و أنواعها و تواجدها و توزيعها في العالم و الجزائر و أهم مكوناتها و خصائصها و استعمالاتها.

أما الفصل الثاني "الطرق التجريبية المستخدمة"، فتعرضنا فيه إلى تحديد منطقة الدراسة (كثيب توارق- العرق الشرقي الكبير)، و كيفية أخذ العينات و تحضيرها من خلال الفرز اليدوي، كما تطرقنا إلى الطرق الطيفية المستعملة في الدراسة و المتمثلة في: انعراج الأشعة السينية (XRD) و مطيافية الأشعة تحت الحمراء (FTIR) و فلورة الأشعة السينية (XRF) ، حيث نشرح مبدأ عملها و طرق تحضير العينات المعدّة للقياس و البرامج المساعدة على تحليل البيانات التجريبية.

في الفصل الثالث " تحليل و مناقشة نتائج القياسات التجريبية " ، و الذي يمثل الجزء العملي من هذه الدراسة، سنقوم بعرض نتائج القياسات الطيفية المستخدمة و تحليلها، و محاولة الربط بينها، مدعمةً بجوانب الاتفاق من القياسات الثلاثة. كما سنتناول تغيرات التركيب الكيميائي و الشوائب التي تحملها الحبيبات ذات الألوان المختلفة، و محاولة تفسير سبب هذه الألوان.

و في الأخير أُختتمت الأطروحة بخلاصة عامة، تم فيها سرد أهم النتائج المتحصل عليها، و كيفية استغلالها، مع تقديم بعض التوصيات و الآفاق المستقبلية التي قد تساهم في مواصلة البحث في هذا المضمار.

الفصل الأول

مفاهيم عامّة حول الرمل

1.1. الكثبان الرملية:

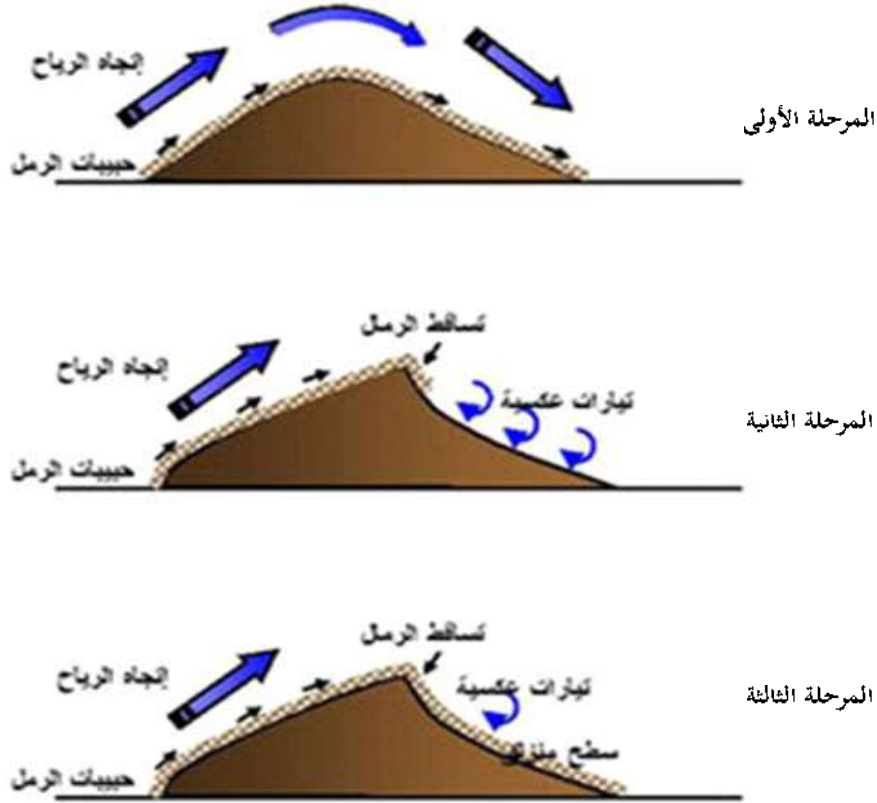
يطلق لفظ الكثبان على التلال أو السلاسل الرملية التي يتراوح ارتفاعها من بضعة أقدام إلى عشرات الأمتار، و هي أشكال أرضية نتجت عن تجمع أو تراكم حبيبات الرمال غير المتماسكة التي تنتقل بواسطة الرياح، و التي تتراوح أقطار حبيباتها ما بين 0.0625 و 2 mm [32].

تنشأ حبيبات الرمل نتيجةً للحتّ و التعرية التي تتعرض لها الصخور عند تفاعلها مع العوامل الطبيعية كالحرارة و الرياح و الرطوبة، مما يؤدي إلى تفكك الصخور و تفتتها إلى حبيبات مختلفة الأحجام و الأشكال [16]. تختلف أنواع الرمال باختلاف مصادرها التي نشأت منها، و أماكن ترسبها، فهي إما أن تكون ذات منشأ صحراوي أو ذات منشأ ساحلي. تتكون الرمال ذات المنشأ الصحراوي من حبيبات صغيرة الحجم، سهلة النقل و الحركة بفعل الرياح.

2.1. كيفية تكوّن الكثبان الرملية:

يوضح الشكل (1-I) مراحل تكوّن الكثيب، و فيما يلي تفصيلها:

1. عندما تزداد سرعة الرياح تحمل حبيبات الرمال و تنقلها إلى مكان آخر، فإذا قلّت سرعتها تساقطت حملتها من الرمال، متجمعةً فوق بعضها البعض، و تتراكم عادةً على الجانب المواجه لاتجاه الرياح، و قد يتبقى بعضها في أعالي الكثيب، و يتدحرج بعضها الآخر على الجانب المُظاهر للرياح.
2. تنحدر الرمال من أعالي الكثيب بفعل الجاذبية الأرضية للجانب المُظاهر لاتجاه الرياح، فتكوّن انحداراً شديداً بفعل التيارات العكسية.
3. خلال هذه المرحلة يظهر الاختلاف واضحاً بين كل من الانحدار البسيط المواجه للرياح و الانحدار الشديد المظاهر لها؛ إذ تتجمع الرمال و تنحدر تدريجياً بفعل الجاذبية على الجانب المظاهر للرياح، الذي يتميز بتأثره بفعل الدوامات الهوائية (التيارات العكسية)، التي تُسهم بدورها في ارتكاز بعض حبيبات الرمال فوق قمة الكثيب، و تحوّل دون هبوطها إلى الانحدار المظاهر لاتجاه الرياح.



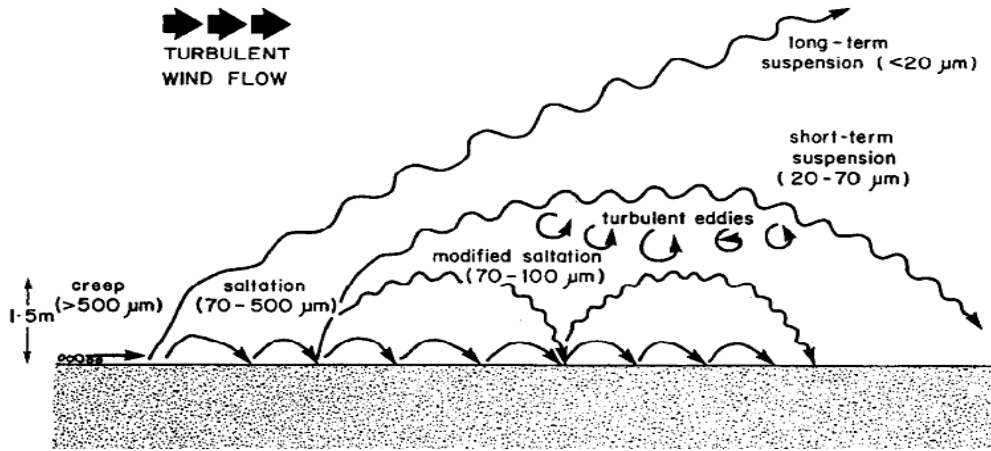
الشكل (1-I) مراحل تكوّن الكثيب [33]

3.I. العوامل المؤثرة في تكوّن الكثبان الرملية:

يرجع تكوّن الكثبان الرملية إلى تضافر عدة عوامل، أهمها:

(أ) الرياح [34]:

تعتبر الرياح العامل الرئيس المسؤول عن تكوين الأشكال الرملية كافةً، و أهم العناصر المؤثرة باتجاه الرياح و سرعتها؛ حيث تُنقلُ حبيباتُ الرمل في الهواء بالاعتماد على كتلتها و القوة الديناميكية الهوائية للرياح التي تؤثر عليها، كما يوضحه الشكل (1-2). نادراً ما ترتفع حبيبات الرمل الكبيرة (ذات القطر الأكبر من 500 μm) فوق سطح الأرض، فهي تنتقل على سطح الأرض نتيجة دفع الرياح لها أو تصادم الحبيبات مع بعضها البعض، و توصف حركتها بالزحف أو التدحرج، أما الحبيبات التي تتراوح أقطارها بين 125 و 250 μm فتنتقل بحركة القفز مع الارتطام المتكرر بسطح الأرض، و نادراً ما تصل لارتفاع متر واحد. أما حبيبات الرمال الناعمة التي يقلُّ قطرها عن 100 μm فتعلقُ في الهواء لفترات مختلفة من الوقت بالاعتماد على كتلتها و خواص الهواء، لذا فإن الحبيبات الناعمة تنتقل بهذه الطريقة إلى مسافات بعيدة جداً.



الشكل (I-2): طرق حركة حبيبات الرمال [34]

(ب) توفر مصادر الرمل:

تتضمن مصادرُ الرملِ الرواسبَ الشاطئيةَ و الرواسبَ الصحراويةَ. يمكن أن تستمد الكثبان رمالها من مصادرَ مختلفة، بعضها محلي و بعضها إقليمي بعيد عن أماكن ترسبها، و التي تناقلتها الرياح خلال فترات زمنية طويلة، فمصادر الإمداد الرملي و مقدارها من شأنها أن تساهم في تحديد توزّع كثافة الكثبان الرملية.

(ج) التضاريس:

تُعَدُّ التضاريس من بين الظروف المؤثرة في تكوّن الكثبان الرملية، حيث تتشكّل هذه الكثبان عادةً في أماكن ذات طبيعة خاصة من القشرة الأرضية مهيأة لحركة الرمال و استقرارها فيها؛ فاستواء السطح قد يُهيئ المسرح لتجمع الرمال و تراكمها في المناطق المنخفضة لتكون بمثابة مصائد لها، كما أن انخفاض السطح يعني قرب المياه الجوفية، و هو الأمر الذي يترتب عليه ظهور بعض النباتات التي تكون عقبات في مسار الرياح، فتضعف قدرتها على النقل، و تُجْبَرُ على ترسيب حمولتها من الرمال فتتكوّن الأشكال الرملية المختلفة.

(د) حجم الحبيبات الرسوبية:

تتكوّن رواسب الكثبان الرملية من حبيبات ذات مواد مختلفة مثل حبيبات الرمل و الطمي و الطين، و التي تتفاوت أحجامها. تختلف حركة هذه الرواسب باختلاف أحجامها؛ إذ أن سرعة الرياح اللازمة لحركة الحبيبات الناعمة أقل من سرعتها اللازمة لحركة الحبيبات الخشنة، و عليه فإن حركة الكثبان الرملية تتوقف على حجم الرواسب التي تتكون منها الكثبان الرملية، و التي تتأثر بسرعة الرياح اللازمة لحركتها.

4.I. الأشكال المورفولوجية للتجمعات الرملية:

تنشأ التجمعات الرملية عندما تقل سرعة الرياح بحيث تصبح غير قادرة على الاستمرار في حمل حبيبات الرمل، فتترسب هذه الحبيبات مُشكِّلةً تجمعاتٍ رملية ذات مساحات و أشكال مختلفة، يتميز كل شكل منها عن الآخر من حيث تباين انحدارها و أبعادها و أحجامها و مظاهر أسطحها، كما تختلف أنواع التجمعات الرملية في طريقة تكوُّنِها؛ فالبعض يتكون بسبب وجود النباتات الصحراوية، و بعضها يرتبط تكوُّنُه بالأجزاء المنخفضة نسبياً مقارنةً بما حولها [35]، و بناءً على هذا يمكن تصنيف الكُثبان الرملية إلى الأشكال الآتية:

أ- الأشكال الرملية الصغيرة:

و تشمل الغطاءات الرملية و التموجات الرملية و النباك (أَرْضٌ نَبَكَةٌ: مُلْتَوِيَةٌ ، فِي صُعُودٍ وَ هُبُوطٍ).

1-1) الغطاءات الرملية:

و هي عبارة عن رواسب هوائية النشأة، توجد على هيئة سهول رملية واسعة شبه مستوية، تتخللها بعض الكُثبان الصغيرة و القمم الرملية المتنوعة، كما تنمو بعض النباتات الصحراوية على سطح الغطاءات الرملية عند سقوط الأمطار، و تُعدُّ هذه الغطاءات مصدراً أساسياً للأشكال الرملية كافةً [35].

2-2) التموجات الرملية:

تنتشر التموجات الرملية فوق معظم الأشكال الرملية، كالكُثبان الطولية و العرضية و الهلالية و الغطاءات الرملية، و تكون محاور هذه التموجات متعامدةً مع اتجاه الرياح السائدة.

3-3) النَّبَاك:

و هي تجمعات رملية تتكون نتيجة وجود عائق ثابت في مسار الرياح المحمَّلة بحبيبات الرمال. قد يكون العائق كتلةً صخرية أو نباتاتٍ صحراويةً [35]، فتترسب حبيبات الرمل نتيجة تشتُّب اتجاهها.

ب- الأشكال الرملية الكبيرة:

تُعدُّ الكُثبان الرملية من أكثر مظاهر سطح الأرض تعقيداً، غير أن الخرائط الدقيقة و الصور الجوية تدل على أن الكُثبان الرملية تنتظم عادةً بشكل موازٍ أو متعامدٍ مع اتجاه الرياح التي نشأت عنها [16]. تتخذ الكُثبان الرملية أشكالاً متعددة تبعاً لمصادر الرمال و كميتها و سرعة الرياح و ثبات اتجاهها، إضافةً إلى حجم حبيبات الرمل، و نوعية التضاريس و الأمطار الموجودة في المنطقة. يمكن تحديد الأشكال الرئيسة للرمل كما يلي:

ب-1) الكثبان الهلالية:

يتميز هذا النوع من الكثبان بشكله الهلالي و انحداره البسيط المواجه لاتجاه الرياح، الشكل (I-3)، و الذي يُعرف بالكساح، بينما يمتاز الانحدار المظاهر للرياح بشدته، و يُطلق عليه اسم الصباب، و له ذراعان جانبيان أقل ارتفاعا من قمة الكثيب، يشيران إلى جهة انصراف الرياح، كما يشيران إلى اتجاه حركة الكثيب و اتجاه الرياح السائدة [16]. تعمل الرياح على زحزحة جانبي الكثيب أسرع من الجزء الأوسط منه، لأن جانبي الكثيب أقل مقاومة للرياح من وسطه، و بذلك يمتد جانبا الكثيب مع اتجاه الرياح على هيئة جناحين، يتعلق طولهما و جِدَّةُ تقوُّسهما بشدة الرياح و حجم الكثيب. يتكوّن هذا النوع من الكثبان الرملية في المناطق التي تتميز بهبوب الرياح في اتجاهات ثابتة.



الشكل (I-3): كثبان هلالية [36]

ب-2) الكثبان الطولية:

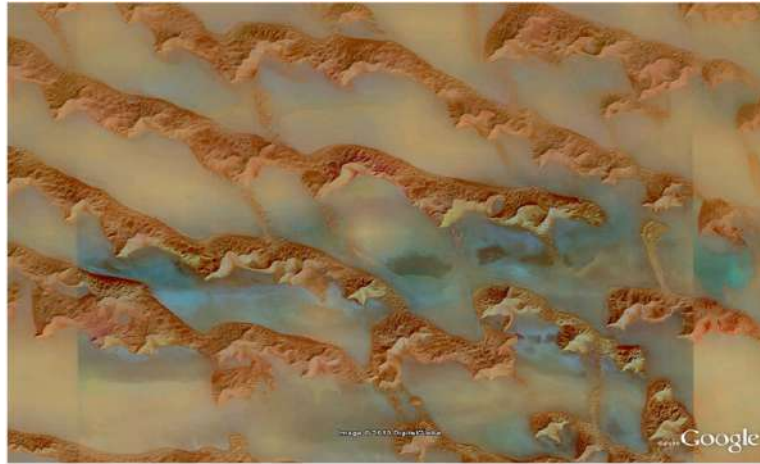
هي تراكمات رملية ذات أنماط منتظمة مستطيلة، تمتد و تتطور في الاتجاه الموازي لحركة الرياح السائدة، الشكل (I-4). ينشأ هذا النوع من الكثبان نتيجة التيارات الهوائية اللولبية المقترنة بالرياح القوية التي تهب بصورة دائمة في اتجاه محدد [35]. يمكن أيضا أن تُحوّل الرياح الجانبيّة الشكل الهلاليّ من الكثبان إلى طولي، و ذلك بإطالة أحد قَرْنَي الكثيب [32].



الشكل (I-4): كثبان طولية [36]

ب-3) الكثبان العرضية:

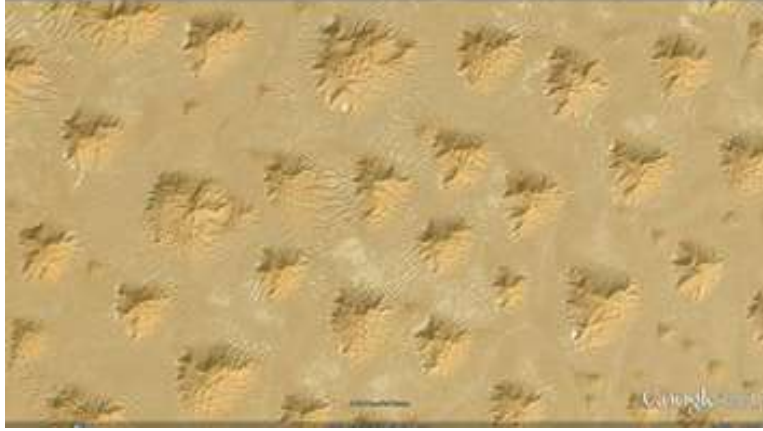
تبدو الكثبان العرضية على شكل موجات رملية متتالية بعضها أمام بعض، الشكل (I-5)، معترضةً حركة الرياح السائدة، لأنها تكون عمودية عليها [32]. من هنا جاءت تسميتها باسم الكثبان العرضية، فهي تتكوّن من جانبيين ينحدران في اتجاهين متضادين، الأول انحداره ضعيف و يتخذ شكلا مقعرا، و الثاني انحداره شديد.



الشكل (I-5): كثبان عرضية [36]

ب-4) الكثبان النجمية:

ينشأ هذا النوع من الكثبان بفعل الرياح متعددة الاتجاهات [32]، و هي تلالٌ رملية معزولة، تظهر بشكل معقد، الشكل (I-6)، و سُمِّيت بهذا الاسم لأن قواعدها تشبه النجوم المتعددة الأطراف، و كثيراً ما تكون بشكل هرمي، تتفرع عنه عدة أطراف تمتد في اتجاهات مختلفة، مكوّنة شكلاً يشبه شكل النجمة.



الشكل (I-6): كثبان نجمية [36]

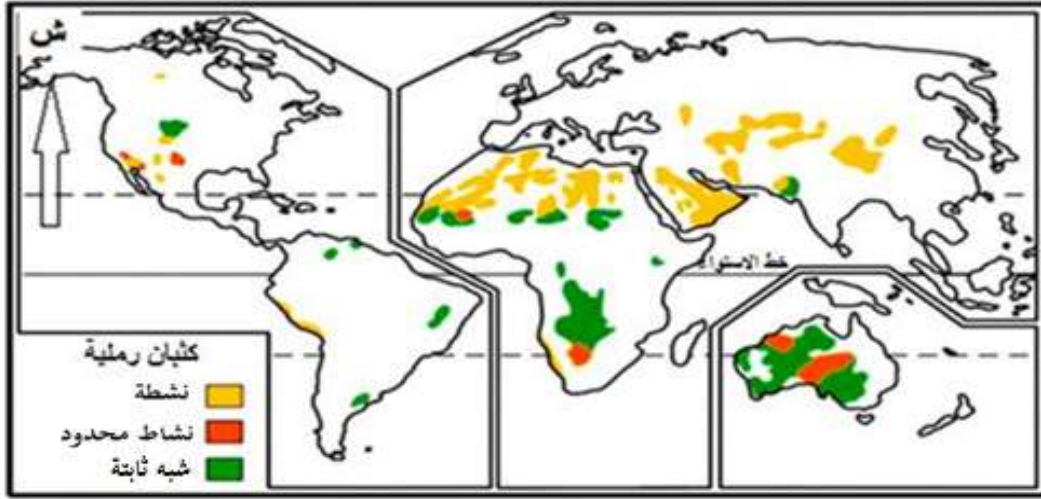
5.I. توزع الكثبان الرملية في العالم و الجزائر:

1.5.I. توزع الكثبان الرملية في العالم [37]:

تغطّي التجمعات الرملية المتراكمة بفعل الرياح مساحاتٍ شاسعةً من العالم، فهي تشغل حوالي 6 % من المساحة الإجمالية للأرض، تقع أغلب المساحات الرملية (97 %) في المناطق الجافة من العالم، في حين تمثل هذه الكثبان ما يُقارب 20 % من المناطق الجافة.

يتباين توزع المساحات الرملية من قارة إلى أخرى، حيث تتراوح نسبتها بين أقل من 2 % في أمريكا الشمالية إلى أكثر من 30 % في أستراليا، و أكثر من 45 % في آسيا الوسطى.

غالباً ما يُطلق على المناطق الشاسعة من الكثبان المنتشرة في الصحارى الواسعة اسم بحار الرمال أو العروق، و تُعرف المساحات الصغيرة باسم حقول الكثبان أو البقع الرملية. يوضح الشكل (I-7) توزع الكثبان الرملية الكبيرة في العالم.



الشكل (I-7): توزع الكثبان الرملية في العالم [38]

(نشطة: دائمة الحركة نشاط محدود: محدودة الحركة شبه ثابتة: لا تتحرك)

تتمركز معظم التجمعات الرملية في النصف الشمالي للكرة الأرضية، في المناطق الموجودة شمال أفريقيا و في شبه الجزيرة العربية و إيران و باكستان، و في الأحواض الصحراوية في آسيا الوسطى، كما تظهر بعض حقول الكثبان في الجنوب الغربي و الجنوب الغربي الأوسط للولايات المتحدة الأمريكية. أما في النصف الجنوبي للكرة الأرضية فتغطي التجمعات الرملية جزء من استراليا و جنوب غرب أفريقيا. إضافة إلى بعض التجمعات الرملية الصغيرة (حقول الرمال) الموجودة بالقرب من خط الاستواء في البيرو والأرجنتين.

2.5.I. توزع الكثبان الرملية الجزائرية:

تمثل الكثبان الرملية إحدى الأشكال الجيومورفولوجية المميزة لسطح الصحراء الجزائرية، ينحصر توزع هذه الكثبان على الجزء الجنوبي من البلاد، و تنتشر فيها على هيئة عروق في أجزاء متفرقة، الشكل (I-8)، و أهمها العرق الشرقي الكبير في الجهة الشرقية، و الذي يمتد من الحدود الجزائرية التونسية إلى المنخفض الفاصل بين هضبة تادمايت و المنيعه، بمساحة تقدر بحوالي مائة و اثنين و تسعين ألف كيلومتر مربع (192000 Km^2) [37]، و يليه العرق الغربي الكبير، الذي يمتد من بني عباس غربا حتى هضبة المنيعه شرقا، ثم يواصل امتداده إلى غاية هضبة ميزاب شمالا و كتلة تادمايت جنوبا، بينما تبلغ مساحته ثمانين ألف كيلومتر مربع (80000 Km^2) [39]. وعرق الشاش و عرق إقيدي بالحدود الجزائرية الموريتانية.



الشكل (I-8): توزع الكثبان الرملية في الجزائر [40]

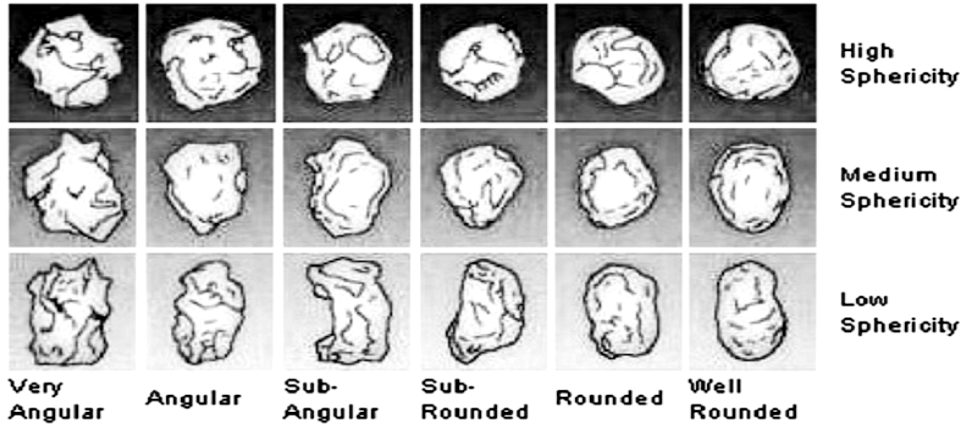
6.I. الخصائص الطبيعية لحبيبات الرمل:

تتصف حبيبات الرمال بخصائص طبيعية، نتجت عن ظروف تكوّنها، فحبيبات الرمل تتمايز عادةً في أشكالها و أحجامها و ألوانها، و كذا في تركيبها الكيميائي. يعود ذلك إلى اختلاف طبيعة الصخور التي نشأت منها، و عوامل التجوية و النقل و الترسيب.

يمكن وصف حبيبات الرمل بحسب مظهرها العام وفقاً لـ:

أ) أشكال الحبات:

يُعتبر شكل حبيبة الرمل أحد الخصائص الطبيعية لها. يتحدّد شكل الحبيبة بعوامل الحثّ و النقل و الترسيب، و تأخذ حبيبات الرمل أشكالاً مختلفة، تتحدد بمعرفة درجة تكوّن الحبيبات وتدوّرها. يعبّر التكوّن عن درجة اقتراب الحبيبة من الشكل الكروي، تبعاً للنسبة بين المحاور الثلاثة الرئيسة للحبيبة، فهناك الحبيبات الكروية و الحبيبات القُرصية و الحبيبات الورقية و الحبيبات النصلية و الحبيبات القضيبية، أمّا التدوّر فيعبّر عن درجة انحناء أركان الحبيبة. بحسب مقياس التدور المعتمد عالمياً تُقسّم الحبيبات إلى: مُزوّاة جداً، مزوّاة، تحت مزوّاة، تحت مستديرة، مستديرة، مستديرة جداً، الشكل (I-9).



الشكل (I-9): مقياس استدارة و تكور حبيبات الرمل [32]

(ب) قياس الحبات:

تصنف الترب حسب التقاسيم المختلفة لحبيبات التربة تبعاً لأبعادها إلى عدة مجموعات، الشكل (I-10). يعتمد التصنيف عادة على الغرض من استخدام التربة، فقد يكون التصنيف لأغراض زراعية أو هندسية أو جيولوجية أو غيرها. بمعرفة نوع التربة يمكن التعامل معها.

0.1 μm		1 2 μm		10	20	50	100	200 μm		500	1 mm		2 mm	20 mm	75 mm	250 mm	
طين ناعم	طين خشن	طمي ناعم	طمي خشن	طمي ناعم جداً	رمل ناعم جداً	رمل ناعم	رمل متوسط	رمل خشن	رمل خشن جداً	حصى	حجر	CSSC					
طين		طمي		رمل ناعم جداً	رمل ناعم	رمل متوسط	رمل خشن	رمل خشن جداً	حصى ناعم	حصى خشن	حجر	USDA					
طين (I)		طمي (II)		رمل ناعم (III) رمل ناعم خشن	رمل ناعم 1	رمل ناعم 2	رمل ناعم 1	رمل ناعم 2	رمل ناعم 3	حصى		ISSS					
طين و طمي				رمل ناعم			رمل متوسط		رمل خشن	حصى ناعم	حصى خشن	حجر	ASTM				

الشكل (I-10): أقسام حبيبات التربة وفقاً لأحجامها حسب نظم التقسيم المختلفة [41]

ASTM: الجمعية الأمريكية لاختبار المواد ISSS: الجمعية الدولية لعلوم التربة

USDA: وزارة الزراعة الأمريكية CSSC: النظام الكندي لتصنيف التربة

تتكون رواسب الكثبان الرملية من حبيبات ذات أحجام مختلفة، يطلق على الحبيبات التي يزيد قطرها عن 2 mm حصى أما الحبيبات التي يقل قطرها 0.002 mm فتدعى بالطين بينما تتراوح أقطار حبيبات الغرين ما بين 0.002 mm – 0.06 mm، أما أقطار حجم حبيبات الرمل فيتراوح ما بين 0.06 mm – 2 . وتقسم التربة الرملية تبعاً لأبعادها إلى خمس مجموعات حَبَّية و هي:

1. رمل خشن جداً 1 – 2 مم
2. رمل خشن 1/2 – 1 مم
3. رمل متوسط 1/4 - 1/2 مم
4. رمل ناعم 1/8 - 1/4 مم
5. رمل ناعم جداً 1/16 - 1/8 مم

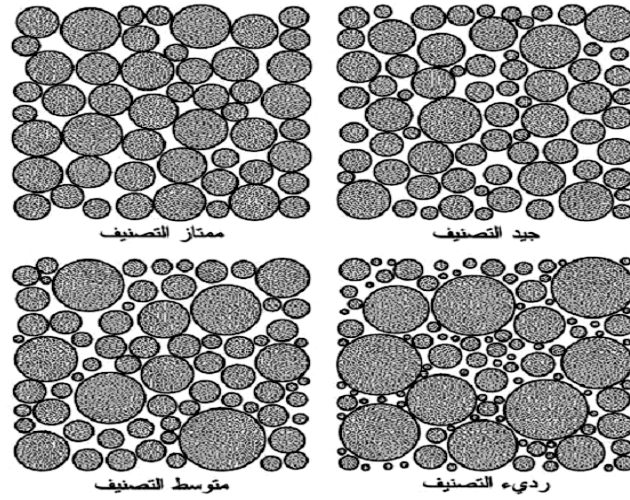
ب-1) التدرج الحبيبي:

التدرج الحبيبي هو فرز الحبيبات ذات المقاسات المتقاربة في العينة، و إيجاد نسبة كل منها إلى الوزن الكلي للعينة. يُحدَّد التدرج الحبيبي بطريقة النَّخْلِ (الغربلة)، و ذلك بتمرير عينة من الرمل عبر سلسلة من المناخل (الغرايل) القياسية ذات المقاسات المتدرّجة، فتوضع المناخل فوق بعضها البعض، مرتبةً من الأكبر إلى الأصغر، بحيث يكون المنخل ذو الفتحات الأكبر في الأعلى. تُوضَع عينة الرمل في المنخل الأكبر، ثم تُنخل بواسطة هزاز ميكانيكي، أو يدويا لمدة زمنية كافية لفرز الحبيبات المختلفة الأحجام عن بعضها البعض. بعد تمام النخل يوزن الجزء المتبقي في كل منخل، و تُجرى الحسابات لتحديد نسبة الرمل المتبقي و الرمل المارّ من كل منخل إلى الوزن الأصلي للعينة.

ب-2) التصنيف الحبيبي:

يُقصد به هيمنة مقياس حبيبي واحد عن بقية المقاييس. تبدي التجمّعات الرملية درجاتٍ مختلفةً من التصنيف الحبيبي؛ إذ يمكن أن تكون رديئةً أو متوسطةً أو جيدةً التصنيف، الشكل (I-11). تتحدّد هذه الخاصية بتداخل عوامل النقل و الترسيب.

عامةً تكون الرمال المتشكلة في المناطق المضطربة جيدةً التآكل و التكوُّر و التصنيف الحبيبي، بينما تكون الرمال النهرية أسوأ تصنيفاً، نتيجة السرعات المتفاوتة للتيارات المائية. أمّا الأسوأ من ذلك فهي الرمال السَّيْلِيَّة، ثم رمال سفوح الجبال. أمّا الرمال البحرية العميقة فتُبدي درجةً تآكل و درجةً تَكوُّرٍ عاليتين و درجةً تصنيف متوسطة [33].



الشكل (I-11): التصنيف الحبيبي [33]

ج) ألوان حبيبات الرمل:

لحبيبات الرمل ألوان عديدة، يرجع ذلك إلى كمية المواد اللاصقة و لونها، وكذا المعادن المكوّنة لها، و يتوقف لون المعدن على التركيب الكيميائي له و ظروف البيئة التي يتكوّن فيها. يُعدُّ اللون من الصفات الطبيعية التي قد تساعد في التعرّف على المعادن، و اللّون لَوْنَان: ثابتٌ و دخيلٌ، أمّا اللون الثابت فهو الذي يعتمد على التركيب العام للمعدن؛ فمثلاً اللون الأحمر للنحاس، و الأخضر للملاكييت (Malachite)، و الأصفر للذهب. أمّا اللون الدخيل فهو الذي يعتمد على وجود و انتشار بعض المواد الملوّنة الدخيلة (الشوائب)، خاصة المواد المحتوية على فلزّات انتقالية، مثل الحديد و الكروم و المنغنيز؛ إذ أن للشوائب دورًا في إكساب بعض المعادن لونها، و من الأمثلة المعروفة ألوان الكوارتز المختلفة، فهو في الأصل عديم اللون، إلا أنه قد يتلون بالأخضر عند احتوائه على آثار من النيكل، كما قد يتلون بالأحمر بوجود شوائب من الحديد فيه [42].

أكثر ألوان الرمل شيوعاً اللون البني و اللون الأحمر و اللون الوردى، و تنتج عن وجود الحجر الجيري و أكسيد الحديد. تنتج الألوان الفاتحة عن غياب المواد اللاصقة.

يُعدُّ اللون من الخصائص البصرية التي تعتمد أساساً على انعكاس أو امتصاص أو تشتت الضوء على سطح المادة و كذا على الإدراك البصري، و هي عملية فيسيولوجية عصبية معقّدة، حيث تعتمد رؤيتنا للألوان على طول الموجة المنعكسة التي تجمّعها عدسة العين، ثم تقوم الأعصاب البصرية بإرسال هذه المعلومات إلى الدماغ ليترجمها، فتُدرك الألوان، إلا أن اللون في الحقيقة لا يُعدُّ صفةً أساسية ثابتة، فقد تؤثر طبيعة الضوء على الألوان [43].

ج-1) علاقة الضوء بالألوان:

تعتمد عملية الرؤية أساساً على أشعة الطيف المرئي، و هو الجزء الذي تتحسس به العين البشرية من الطيف الكهرومغناطيسي، و تتراوح أطواله الموجية تقريباً من 380 إلى 740 نانومتر. توجد عدة احتمالات قد تحدث نتيجة تفاعل الضوء مع المادة، إما أن يحدث امتصاص للضوء أو تشتت أو نفاذ، و ما يحدث غالباً هو مزيج من هذه العمليات.

عندما يتوافق تردد الضوء الوارد مع التردد الطبيعي للإلكترونات يحدث ما يُعرف بالرنين، و تمتص الذرة هذا الضوء و ترتفع درجة حرارتها، و في هذه الحالة تبدو الأجسام معتمّة. أمّا الترددات الأعلى من التردد الطبيعي للإلكترونات فإنها تستثير الإلكترونات و تنقلها إلى مستويات طاقة أعلى، و عند عودتها إلى مستوياتها الطبيعي تبعث فوتونات ضوء بترددات معينة (ضمن مجال الطيف المرئي)، و من هنا تكتسب الأشياء ألوانها [43].

إن رؤيتنا للأشياء - كما نراها بالألوان التي تظهر عليها- ما هو إلا أمر نسبي، فما يبدو شفافاً بالنسبة لشعاع مُعَيَّن قد يبدو معتمّاً بالنسبة لطيف أشعةٍ أخرى، وما يبدو بلوناً ما تحت ضوء مُعَيَّن قد يظهر بلون آخر تحت ضوء مختلف، فكل ذلك يعتمد بصورة أساسية على طبيعة الذرات المكوّنة للمادة و تردد الأشعة الواردة إليها [43].

ج-2) رؤية العين للألوان:

الرؤية هي قدرة العين على تمييز الأجسام اعتماداً على أطوال موجات (أو ترددات) الضوء المنعكس عليها أو الصادر عنها. يُميّز الجهاز العصبي اللونَ بمقارنة استجابات الأنواع المختلفة من الخلايا المخروطية في العين للضوء، و هي خلايا حساسة للأجزاء المختلفة من الطيف المرئي. تحصل الرؤية عندما يصل الضوء إلى شبكية العين، فيثير مستقبلاتٍ موجودةٍ بالشبكية، و تُرسل السيالة العصبية إلى الدماغ، و هو بدوره يترجمها إلى رؤية، أي إحساس بالألوان الأشياء و أشكالها.

إن من بين ما يؤلف شبكية العين الخلايا المخروطية، و هي خلايا خاصة لها القدرة على تحسس ألوان خاصة، و هي ثلاثة أنواع: مستقبلات الضوء الأحمر، و مستقبلات اللون الأخضر، و مستقبلات اللون الأزرق، و يثار كل مستقبل حسب اللون الذي يتحسس به. عندما تصل إلى العين و تدخل إليها عدة أضواء ملونة، فإن العين تستجيب إلى مجموع الألوان بما يكافئ تركيبها أو جمعها [44].

7.I. الخصائص الكيميائية للرمل:

يُوصف الرمل بأنه تراكمات عشوائية لقطع صغيرة من الصخور التي تتكون عادة من معدن أو خليط من المعادن المكوّنة للقشرة الأرضية. تُعرّف المعادن على أنها مركبات تكوّنت في الطبيعة، و تتميز بترتيب كيميائي و ذري محدّد [45].

توجد معظم الفلزات في الطبيعة على هيئة مركبات كيميائية من أكاسيد و كبريتيدات و كربونات و سيليكات... الخ. من المعروف أن القشرة الأرضية تتكون من حوالي 92 عنصراً، تدخل في كثير من المركبات الكيميائية و المعادن، إلا أن عددا قليلا فقط من هذه العناصر يمثل الجزء الأكبر من القشرة الأرضية. أهم هذه العناصر الأكسجين (46,6%)، السيليسيوم (27,7%)، الألمنيوم (8,1%)، الحديد (5%)، الكالسيوم (3,6%)، الصوديوم (2,8%)، البوتاسيوم (2,6%)، المغنيزيوم (2,1%) [46].

يُشكّل السيليسيوم العنصرَ الرئيسَ الثاني بعد الأكسجين من حيث الأهمية في تشكيل التركيب الكيميائي لصخور القشرة الأرضية، لذا فإن أكسيد السيليسيوم (السيلكا) يحتل المرتبة الأولى في تكوين مادة القشرة الأرضية.

يبين الجدول (1-I) التحاليل الكيميائية باستخدام تقنية فلورة الأشعة السينية لرمال الكثبان لمناطق مختلفة من العالم.

الجدول (1-I): التحاليل الكيميائية لرمال الكثبان لمناطق مختلفة من العالم

النسبة الوزنية (%)					الأكاسيد
المنطقة	الصحراء الكبرى الإفريقية بسكرة (الجزائر) [6]	رمال صحراء تار (الهند) [20]	شبه الجزيرة العربية [20]	أستراليا [20]	صحراء (Vizcaíno) شبه جزيرة كاليفورنيا المكسيك [47]
SiO ₂	74.61	80.37	83.42	88.37	71.38
Al ₂ O ₃	1.35	5.53	5.12	6.46	14.24
Fe ₂ O ₃	0.86	2.10	0.64	3.09	1.92
CaO	17.3	4.60	4.06	0.15	4.74
Na ₂ O	/	1.20	/	0.11	3.52
MgO	0.29	0.97	2.4	0.22	0.94

تبين هذه النتائج أن رمال الكثبان تتكوّن أساساً من السيليس (الكوارتز) (SiO₂)، حيث تتعدى نسبته 70 %، كما تحتوي على نسب معتبرة من أكسيد الكالسيوم (CaO) و أكسيد الألمنيوم (Al₂O₃) و نسب أقل من أكسيد الحديد الثلاثي (Fe₂O₃).

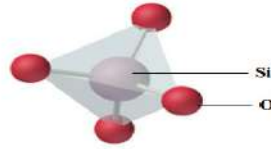
8.I الكوارتز SiO_2 :

ينتمي الكوارتز نتيجةً لتركيبه الكيميائي للأكاسيد، حيث يُدرج هناك كمجموعة خاصة تُدعى مجموعة الكوارتز، و هو من المعادن الأكثر انتشاراً في الطبيعة. يُعتبر الكوارتز من المعادن المشكّلة للصخور ذات الانتشار الواسع، فهو مُكوّن أساسي في الصخور النارية الحامضية، مثل الجرانيت و البيجماتيت ، كما يوجد في كثير من الصخور المتحولة مثل الكوارتزيت و الشست و النيس، و هو أيضاً المعدن الأساسي في الصخور الرسوبية الرملية، كما يوجد على هيئة عروق حاملة لكثير من الخامات المعدنية [48].

1.8.I. البنية البلورية [9]:

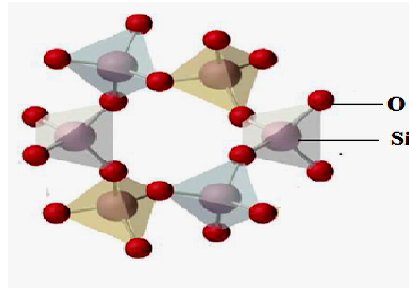
يُعتبر الكوارتز أحد الأشكال المتبلورة للسيليكا، و هو يتشكل اعتيادياً بالطور البلوري α ، و هو الطور المستقر للكوارتز عند الضغط العادي و درجات الحرارة الأقل من 573°C ، أما عند درجات الحرارة المرتفعة فإن الطور المستقر له هو الطور β .

تتشكل بنية الكوارتز α من رباعيات أوجه من أكسيد السيليسيوم SiO_4 ، تتصل فيما بينها بحيث تمتلك كل ذرة سيليكون (Silicon) أربع ذرات أكسجين (Oxygen)، و كل ذرة أكسجين ترتبط بذرتي سيليكون، الشكل (12-I).



الشكل (12-I): البنية البلورية لجزء SiO_4

تتكون الوحدة البنوية للخلية المتبلورة من ثلاث مجموعات SiO_2 ، كلٌّ منها في خلية بنوية واحدة مع ثلاث من السيليكون للخلية المجاورة، فيتشكل سداسي أضلاع غير منتظم، كما هو موضح في الشكل (13-I).



الشكل (13-I): البنية البلورية للكوارتز

ليس للروابط داخل الكوارتز الطول نفسه؛ فكل ذرة سيليسيوم محاطة بأربع ذرات أكسجين، إثنان منها تقعان على مسافة 1.603 Å من ذرة السيليسيوم، و الاثنان الأخریان تقعان على مسافة 1.163 Å منها.

2.8.I. الخواص الفيزيائية:

يتمتع الكوارتز بدرجة قساوة عالية تبلغ 7 وفقاً لسلم قياس قساوة الفلزات، كما يتميز بدرجة انصهار عالية جداً، وهذا راجع إلى الرابطة التساهمية القوية الموجودة بين السيلكون و الأكسجين (Si-O)، و التي لا يمكن كسرها إلا عند درجة حرارة عالية، في حدود 1700°C. الكوارتز شفافٌ عديم اللون، له بريق زجاجي في حالته النقية، و بسبب غياب الإلكترونات الحرة في تركيبته الكيميائية فإن الكوارتز يمتاز بموصلية كهربائية رديئة و يسلك سلوك المواد العازلة. الجدول (2-I) يبين بعض الخصائص الفيزيائية للكوارتز.

الجدول (2-I): أهم خواص الكوارتز الفيزيائية [49]

الخاصية	الوحدة	القيمة
الصيغة الكيميائية	/	SiO ₂
الكتلة المولية	g/mol	60.085
الحجم المولي	cm ³	22.688
درجة حرارة الإنصهار	°C	1713
درجة حرارة الغليان	°C	2230
الكثافة	g/cm ³	2.648
الموصلية الحرارية	W/cm k	0.01
الانتشارية الحرارية	m ² /s	0.009
النسبة الوزنية لـ Si	%	46.75
النسبة الوزنية لـ O	%	53.25
الصلادة	/	7
قرينة الإنكسار	/	1554-1.543
البنية البلورية	/	مكعي

9.I. إستخلاص الكوارتز من الرمل:

يُستخلص الكوارتز عادةً من رمال السيليكا (رمال الكوارتز)، و هي حبيبات رملية بيضاء نقية، تحتوي على نسبة عالية من ثاني أكسيد السيليكون (السيليكا) (SiO_2)، إضافة إلى كميات قليلة من الشوائب و المعادن الثقيلة. تقاس درجة جودة هذه الرمال بالمعايير التي تتضمنها المواصفات و المقاييس العالمية وفقاً لنوع الصناعات الموجهة لها، كدرجة تركيز أكسيد السيليكون و أكسيد الحديد و التدرج الحبيبي في صناعة الزجاج. الجدول (3-I) يوضح المواصفات الكيميائية و الحبيبية لرمال السيليكا المستخدمة في الصناعات الزجاجية المختلفة. تزداد قيمة هذه الرمال كلما انخفضت نسبة الشوائب التي تحتوي عليها.

الجدول (3-I): المواصفات الكيميائية و الحبيبية لرمال السيليكا المستخدمة في الصناعات الزجاجية

المختلفة [50،1]

النسبة الوزنية للأكاسيد في الرمل الزجاجي (%)				التدرج الحبيبي (mm)	نوع المنتج الزجاجي
Cr_2O_3	Al_2O_3	Fe_2O_3	SiO_2		
0.00015	0.2	لا تزيد عن 0.013	لا تقل عن 99.7	0.35 – 0.125	زجاج البصريات
0.0002	0.2	لا تزيد عن 0.01	99.6	1.0 – 0.5	الزجاج البلوري و أواني المائدة
0.0002	0.2	0.01	99.6	1.0 – 0.5	زجاج البوروسيليكات
-	0.5	0.01	99.0	1.0 – 0.5	زجاج العبوات الشفافة
0.0005	0.1	0.03	98.8	1.0 – 0.5	الزجاج المسطح
-	0.1	0.25	97.0	1.0 – 0.5	زجاج العبوات الملونة
-	3.0	0.03	94.5	0.5 – 0.25	ألياف العوازل الزجاجية

تحتاج خامات الرمال عادة إلى عمليات تنقية و تجهيز قبل استخدامها. تعتمد عملية التنقية على نسبة و نوع الشوائب الموجود في الرمل و الصناعات الموجهة لها، و تتم التنقية عادة بفصل الشوائب و المواد اللاصقة بعدة طرق، و غالباً ما تتضمن هذه العمليات الغسل و الرّجّ و الاحتكاك الميكانيكي الجافّ أو الرطب و التصنيف الحجمي (الغربلة) و الإذابة الحامضية و التعويم الرغوي، بالإضافة إلى الفصل المغناطيسي [50-52].

يمكن تلخيص أهم عمليات التنقية في ما يلي [50]:

- يُبيّخ الغسلُ بالماء ثم الرج و الاحتكاكُ فصلَ المواد اللاصقة و التخلصَ من المواد الناعمة و العوالق المصاحبة للرمل، و المتمثلة في الأتيطان.

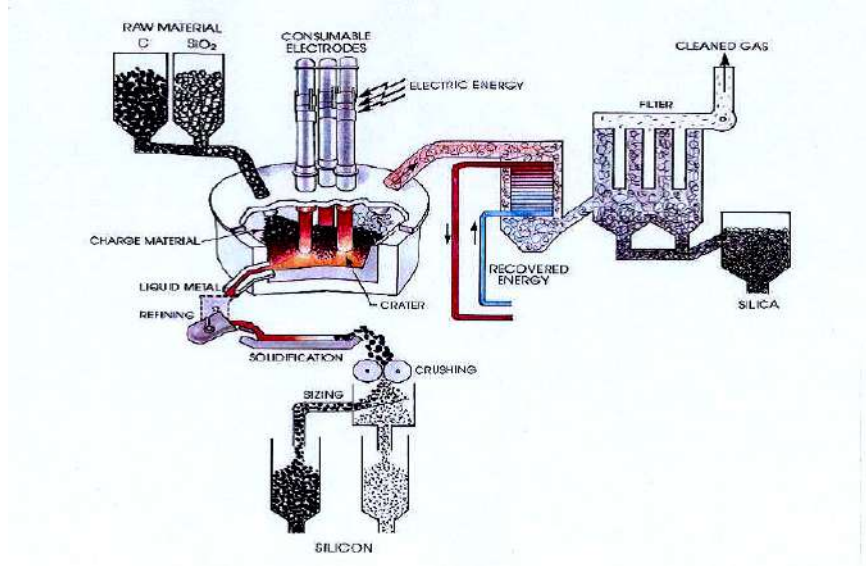
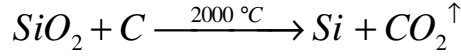
- يتم التصنيف الحجمي للرمل الخام باستخدام مناخل ذات فتحات متناقصة القطر، موضوعة تحت بعضها البعض، و من ثمَّ فحص هذه الأصناف الحبيبية لمعرفة نسبة الشوائب فيها، و التي -عادةً- ما تكون مرتفعةً في الحبيبات ذات الحجم الكبيرة.
- تُستخدم عملية الفصل المغناطيسي بغرض فصل حبيبات الرمل الحاملة للحديد؛ حيث يتم الفصل المغناطيسي للخام المغسول باستخدام جهاز فصل يعمل على إمرار رمال الزجاج (مواد صلبة 20%) بحيث يعمل على جذب جزيئات الحديد إليه بعد حثها كهربائياً باستخدام حقل مغناطيسي.
- تُعتبر عملية التعويم الرغوي من أكثر الطرق أهمية و انتشاراً في تكنولوجيا معاملة الخامات. هذه العملية انتقائية، و تتركز على الفرق في الخصائص الفيزيوكيميائية السطحية للحبيبات المعدنية المختلفة، حيث يصبح الاختلاف في هذه الخصائص السطحية ظاهراً بعد معالجتها بالمحاليل. يتحول المعدن الخام عادة إلى سائل رغوي أو حبيبات طافية، تاركا الشوائب في المعلق.
- كما تتم تنقية الرمل باستخدام تقنية الغسل بالأحماض، حيث تتم معالجة الخام باستخدام حمض الهيدروكلوريك و حمض الكبريتيك بتركيز و نسب مختلفة ثم يغسل بالماء جيداً.
- قد تُستخدم هذه العمليات كل على انفراد، أو على التوالي الواحدة تلو الأخرى، و ذلك بهدف الوصول إلى رمال مطابقة لمواصفات المواد الأولية (الكوارتز) الداخلة في نوع الصناعة المطلوبة.

10.I. إستخلاص السيليسيوم من الكوارتز:

يُعتبر السيليكون العنصر الأكثر انتشاراً في القشرة الأرضية بعد الأوكسجين، حيث يشكل أكثر من رُبُع القشرة الأرضية، بنسبة تصل إلى (27,7%)، و غالباً ما يكون متحداً مع الأوكسجين في التربة الرملية أو الصخور الكوارتزية على هيئة ثاني أكسيد السيليسيوم (SiO_2)، و نادراً ما يوجد السيليكون بصورة حرة في الطبيعة. يتميز السيليكون في صورته البلورية بلونه الرمادي و بريقه المعدني.

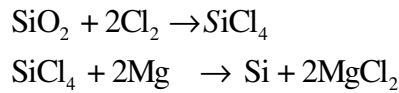
يُعدُّ السيليكون و مركباته من الخامات الأساسية المستخدمة في تصنيع العديد من المنتجات، كالسيراميك و الزجاج ... الخ، كما يُعدُّ عمادَ الصناعات الحديثة ذات التكنولوجيا العالية، سواءً في الأجهزة الكهربائية أو الإلكترونية أو السبائك المعدنية.

يُحصَرُ السيليكون صناعياً باستخلاصه من ثاني أكسيد السيليسيوم الموجود في رمال السيليكات النقية بواسطة الكربون كعامل مُحفِّز في أفران القوس الكهربائي، عند درجات حرارة عالية جداً قد تصل إلى $2000\text{ }^{\circ}\text{C}$ ، الشكل (I-14)، كما في المعادلة التالية:



الشكل (I-14): وحدة إنتاج السيليكون و خطوات التصنيع [53]

إن السيليكون الناتج بهذه الطريقة يحتوي على بعض الشوائب، بحيث تتراوح نسبة السيليكون فيه من 90 إلى 95 % ، و يسمى بالسيليكون الصناعي. يُستخدم هذا النوع من السيليكون في صناعة سبائك البرونز و الحديد و في تحضير المواد السيليكونية. و حيث أن هذا السيليكون يمتاز بنقاوة لا تكفي للاستخدام في أشباه الموصلات أو الرقائق الدقيقة أو الخلايا الشمسية فإنه تتم تنقيته بتحويله إلى رباعي كلوريد السيليكون أولاً، ثم يختزل مرة ثانية إلى السيليكون بأحد العوامل المختزلة مثل المغنيزيوم كما يلي [53]:



لإزالة MgCl_2 من السيليكون يتم غسله بالماء الساخن، حيث يذوب MgCl_2 و لا يذوب السيليكون. للحصول على سيليكون أعلى نقاوة تُستخدم عملية أخرى تُسمى طريقة منطقة التكرير، حيث يوضع السيليكون على شكل قالب اسطواني يُسخن في إحدى طرفيه بواسطة مصدر حراري حلقي متحرك، مما يؤدي إلى تكوين طبقة رقيقة من السيليكون المنصهر، و عند سحب المصدر الحراري إلى الخلف

تدرجياً يؤدي إلى تحريك المنصهر إلى الخلف، فتتفصل الشوائب عن المنصهر السيليكوني و تبقى في الطرف البعيد عن المصدر الحراري، مما يؤدي في النهاية إلى تركيز الشوائب في النهاية الأخرى من قالب الاسطواني، و من ثم قطعها و التخلص منها، بينما تكون النهاية الأمامية نقيّة جداً، و يُوصفُ السيليكون المحضّر بهذه الطريقة بالسيليكون عالي النقاوة.

11.I. إستعمالات الرمل:

تُعدُّ الرمال من أهم الموارد الطبيعية التي يمكن الاستفادة منها في عديد المجالات، حيث تستخدم الرمال - كما هو معلوم- في تنقية المياه و تحسين الترب الزراعية و الخلطات الإسفلتية، إضافة إلى استخدامها في عمليات الصقل و الشحذ و الملاط، كما تُستخدم الرمال الكوارتزيتية الإسفلتية في الحصول على الإسفلت لتعبيد الطرقات.

يُستخدم الرمل أيضا منفردا كَرَدْمٍ في خنادق تمديد الخطوط الهاتفية و الطرق و السدود و المباني السكنية و غيرها، كونه رخيص الثمن إذا ما قورن بسعر بالإسمنت مثلا، و له قوة تحمّل جيدة، كما أنه يعطي توزيعا جيدا للأحمال عند استعماله في عمليات الردم في أحاديذ خطوط الكهرباء و الهاتف، و مواسير المياه و المجاري.

تُعدُّ رمال السيليكا من الخامات الأولية في دعم التطور الصناعي على مستوى العالم، حيث يُستخدم الكوارتز المستخلص منه في صناعات مختلفة، كالزجاجيات و البصرييات و الخزف و المطاط و اللدائن، بالإضافة إلى إمكانية استخلاص عنصر السيليسيوم منه، و الذي يدخل في الصناعات النانومترية و أشباه الموصلات.

الفصل الثاني

الطرق التجريبية المستخدمة

سنتناول في هذا الفصل الخطوات المتبَّعة لتحضير العينات، بدايةً بتحديد منطقة الدراسة (كثيب توارق- العرق الشرقي الكبير) و كيفية أخذ العينات، وُصُولاً إلى عملية الفرز اللوني. سنتطرق أيضاً إلى مجموعة القياسات الطيفية المستعملة في هذه الدراسة، و المتمثلة في انعراج الأشعة السينية (XRD) و مطيافية الأشعة تحت الحمراء (FTIR) و فلورة الأشعة السينية (XRF)، و كذا الأجهزة المستعملة في ذلك، من حيث مبدأ عملها و طرق تحضير العينات المعبَّدة للقياس و البرامج المساعدة على تحليل البيانات التجريبية.

1.II. الموقع الجغرافي و وصف الكثيب:

أجرينا دراستنا على رمل كثبان منطقة ورقلة، و بالتحديد على رمل كثيب يُدعى "توارق" الشكل (1-II)، و هو واحد من بين آلاف كثبان العرق الشرقي الكبير. يقع هذا الكثيب في الجهة الجنوبية الغربية لمدينة ورقلة، و له الإحداثيات الجغرافية $31^{\circ}48'53''N$ و $5^{\circ}14'06''E$ ، و هو كثيب ذو شكل نُجْمِيّ، يمتاز بعلو ارتفاعه، مشكلاً قمةً ينفصل عنها ثلاثة أوجه في اتجاهات مختلفة، مشكلاً ما يشبه الهرم.



الشكل (1-II): (أ) صورة فوتوغرافية لكثيب توارق، (ب) صورة فضائية لكثيب توارق

2.II. جمع العينات:

لإجراء الدراسة التجريبية أُخِذَتْ ثمانون عينةً من الأوجه الثلاثة للكثيب، من الأسفل نحو الأعلى، و على أعماق مختلفة. مُزِجَتْ كميات متساوية من كل العينات معا للحصول على عينة واحدة متجانسة، يمكن اعتبارها ممثلةً للكثيب ككله.

3.II. تحضير العينات:

مَرَّتْ عملية تحضير العينات بمرحلتين متتاليتين هما:

أ) الفحص البصري:

بغرض تحديد التوزع اللوني لعينات الرمال المدروسة، و إجراء الدراسة التجريبية فُئِنَّا أولاً بعملية الفحص البصري؛ حيث تمت مُعَايِنَة عينات من الرمل بواسطة العين المجردة أو باستعمال عدسة مكبّرة، و ذلك لتحديد بعض الصفات الظاهرة كاللون و البريق و الشفافية... الخ، و بذلك تمَّ تحديد التوزع اللوني و الألوان الغالبة في هذا الرمل.

ب) الفرز اللوني:

تَمَّتْ عملية الفرز اللوني يدويًا لعينة من الرمل بعد غربلتها بغربال ذي مقاس 0.315 mm، و ذلك بغرض تسهيل عملية الفرز. باستخدام عدسة مكبّرة و ملقط يدوي فُرِزَت العينة المغرّبة وفقًا لألوانها البارزة إلى صنفين مُمَيَّزَيْن: صنف شفاف يضمُّ الألوان: الأحمر و البرتقالي و الأصفر، و صنف معتمٌ يضمُّ الألوان: الأبيض و الأبيض الحليبي و الرمادي و الأسود و الأحمر، فكان مجموع العينات ثمانيةً، الشكل (II-2)، إضافةً إلى المتبقي من عملية الفرز اللوني، و هي حبيبات ذات ألوان أخرى مختلفة عن الألوان المذكورة آنفاً، كالأخضر و الأزرق و . . . كما وجدنا حبيباتٍ غير متجانسة اللون، لكنَّ عددها قليل جداً مقارنةً ببقية الألوان.



الشكل (II-2): التصنيف اللوني لرمال كثبان منطقة ورقلة

4.II. طرق التحليل الطيفي المستخدمة:

لقد ساهمت طرق التحليل الطيفي في دفع عجلة العلوم خطواتٍ إلى الأمام، حيث منحتنا -منذ اكتشافها- فرصة جمع معلومات هامة و دقيقة حول بنية المواد و تركيبها، مما جعلها تُستخدم بكثرة في تحليل المواد و دراستها. تعتمد الطرق الطيفية في تحليل المواد على استجابة المواد بعد إثارتها بواسطة منبع إثارة، قد تكون جزئاً من جسيمات مشحونة مثل الإلكترونات أو الأيونات، أو أشعةً كهرومغناطيسية كالأشعة السينية و أشعة غاما و الأشعة ما تحت الحمراء و الأشعة فوق البنفسجية و المرئية.

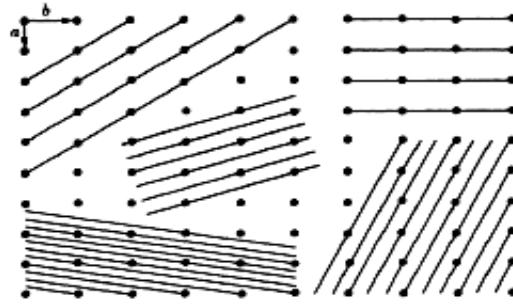
لقد استخدمنا خلال دراستنا هذه بعض التقنيات الطيفية، نُفَصِّلها فيما يلي:

1.4.II. مطيافية انعراج الأشعة السينية (XRD):

تحتلُّ الأشعةُ السينية المنطقة التي تقع بين أشعة جاما و الأشعة فوق البنفسجية من الطيف الكهرومغناطيسي، فأطوالها الموجية تمتدُّ بين 0.01 و 100 Å. لهذه الأشعة استخدامات واسعة في العديد من المجالات، لاسيما في الفيزياء و الطب و الصناعة.

أ) مبدأ حيود الأشعة السينية:

تتكون البلورات من ذرات أو جزيئات أو شوارد مُرتَّبة بشكل منتظم، و موزعة على مستويات متوازية تُدعى المستويات البلورية، و هي مستويات افتراضية تُمرُّ بالذرات في خلية الوحدة عبر شبكة بلورية ثلاثية الأبعاد [54]، لذا يوجد العديد من هذه المستويات في الشبكة الواحدة، تختلف في عدد الذرات التي تمر بها، و المسافة بين الذرات المتتالية و كذلك المسافة العمودية بين كل مستويين متوازيين، أو ما يُعرفُ بمسافات شبكية [55] كما هو مُوضَّح بالشكل (II-3). عند ورود الأشعة السينية على بلورة فإن مستويات الذرات تعمل كمرآيا صغيرة، تُحيدُ الأشعة على نمط منتظم، و كل نوع من البلورات له مخطط حيود مختلف.

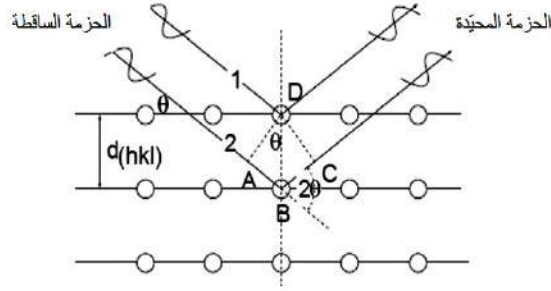


الشكل (II-3): رسم تخطيطي يوضح مستويات الشبكة [55]

تُعتبر الأشعة السينية الطريقة الرئيسة للتعرف على التركيب البلوري للمادة و دراسة الترتيب الذري في الشبكة البلورية، فهي تتمتع بأطوال موجية مميزة عديدة، تتناسب مع الأبعاد الذرية في المواد الصلبة. يمكن اعتبار البلورات الحقيقية كشبكات حيود فراغية للأشعة السينية، حيث تتعلق زاوية الحيود بشكل رئيس بتغير البنية البلورية و بطول موجة الأشعة السينية الواردة على البلورة.

ب) قانون براغ [56،57]:

أول من أسس فكرة وجوب توفر ظروف التوزيع الهندسي لحصول الحيود في البلورة هو العالم Bragg. قام العالم براغ بإسقاط حزمة أشعة سينية أحادية الطول الموجي و مُتطابقة الطور الموجي على بلورة، كما وضع نموذجًا بسيطًا للتركيب البلوري، يمكن بواسطته معرفة اتجاه حيود الأشعة السينية في البلورة بعد سقوطها عليها. في هذا النموذج افترض براغ أن المستويات المختلفة التي تتكون من ذرات البلورة يمكن أن تعرج الأشعة السينية، الشكل (II-4) يبيّن الطريقة التي استنتج بها براغ قانونه.



الشكل (4-II): رسم توضيحي يمثل الأشعة السينية الواردة و المنعكسة وفقا لنظرية الحيود لبراغ

من الشكل (4-II) يُلاحظ أن جزءاً من الشعاع الساقط ينعكس على مستوي براغ الأول، حيث يشكل الشعاع الأول (1) زاويةً مقدارها θ مع المستوي، بينما ينفذ الجزء الآخر من الشعاع الثاني (2) من المستوي الأول، و ينعكس جزءاً منه على المستوي الثاني بزاوية θ كذلك. إذا ما قمنا بتحديد جبهة الموجة CD العمودية على الشعاعين المنعكسين، فإن التداخل بين هذين الشعاعين يكون بُنَاءً إذا كان لهما الطور نفسه عند النقطتين C و D. يكون للنقطتين C و D الطور نفسه إذا كان فرق المسير بينهما يساوي عدداً صحيحاً من الطول الموجي λ . من خلال الشكل (4-II) يُلاحظُ أن فرق المسير يساوي:

$$\overline{AB} + \overline{BC} = 2d \sin \theta$$

حيث d هي المسافة بين المستويات البلورية. عندما يكون $\overline{AB} + \overline{BC}$ مُضاعفاً صحيحاً للطول الموجي λ للشعاع الساقط فإن المعادلة تصبح من الشكل:

$$n \lambda = 2d \sin \theta$$

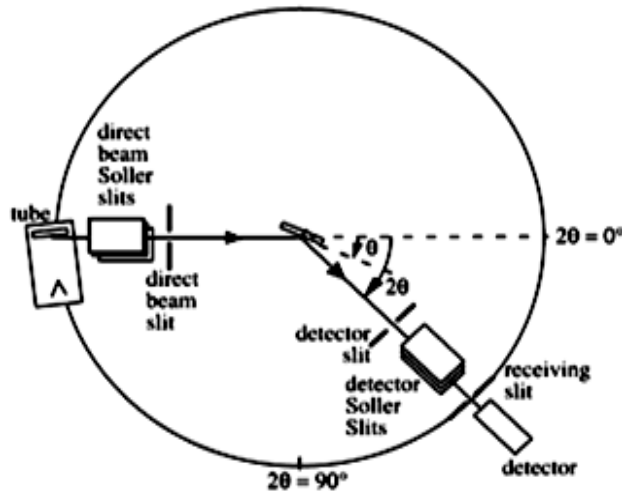
تُعرفُ هذه المعادلة باسم قانون براغ (Bragg's law) لحيود الأشعة السينية، حيث تُعبّر n عن رتبة الحيود. في معظم الحالات يُعامل مع الحيود من الرتبة الأولى ($n=1$)، و هكذا يصبح قانون براغ على النحو التالي:

$$\lambda = 2d \sin \theta$$

ج) الجهاز و مبدأ القياس:

إن جميع تطبيقات (XRD) مبنية على الزاوية θ ، و تسمى الأجهزة المستخدمة في ذلك بجهاز انعراج الأشعة السينية، و هو يتكوّن من مصدر للأشعة السينية، يرسل أشعةً تقع على العينة ثم تنعرج وفقاً لشروط الانعراج السالفة الذكر، فيتلقاها في الطرف الآخر للجهاز كاشفٌ مثبتٌ على ساعد يدور حول العينة، و يسجل شدة الأشعة المنعرجة في مختلف الاتجاهات. تُدار العينة و الكاشف بحيث تكون سرعة دوران العينة مساويةً نصفَ سرعة دوران الكاشف [58]، فيتلقى الكاشف دوماً الأشعة المنعرجة عن المستويات البلورية الموازية لسطح العينة، الشكل (II-5).

يتم تسجيل مخطط الانعراج باستعمال عداد يُوصَل بِرَاسِمٍ يَرَسُم مخططاً يربط كمية الإشعاع (شدة الخط I) بزاوية براغ 2θ . تسمح هذه التقنية بتأشير خطوط الانعراج الحادثة، و معرفة الفاصل d_{hkl} الموافق للشدة I، حيث تُحسب d_{hkl} انطلاقاً من قانون براغ، فتتشكّل قائمة ثنائيات (d_{hkl} , I) مميزة لكل طور بلوري. تُقارَن هذه القوائم بقوائم تم إعدادها مسبقاً بشكل قواعد بيانات في نظام بطاقات تعرف ببطاقات ASTM (American Society for Testing and Materials) [59]، و حديثاً أصبحت هذه البطاقات مسجّلةً و مبرمجةً على أقراص مضغوطة لتسهيل استعمالها مباشرة من خلال الحاسوب، كما أن هذه البطاقات مرتبة وفقاً لقيم d_{hkl} للخطوط الثلاثة الأكثر شدة لكل عنصر أو طور، و هي تُعْتَبَرُ كافيةً لتحديد ماهية مادة ما.



الشكل (II-5): رسم توضيحي لجهاز انعراج الأشعة السينية [55]

(د) تحليل مخططات انعراج الأشعة السينية:

إن التحليل الكيفي لمادة مجهولة يعتمد على تأشير خطوط الانعراج و ترتيبها حسب تزايد شداتها، ثم العودة إلى بطاقات ASTM للكشف عن هذا العنصر أو الطور. تزداد هذه العملية تعقيدا عند احتواء المادة على أكثر من طور واحد، لكن الطريقة تبقى دوما نفسها، حيث تُحسب d_{hkl} لخطوط الانعراج و ترتيبها حسب شدتها، ثم البحث في بطاقات ASTM بالاعتماد على الخطوط الثلاثة الأكثر شدة، و هكذا لبقية الأطوار.

(هـ) الجهاز المستعمل في انعراج الأشعة السينية (XRD):

أُستخدم في هذه الدراسة جهازان لانعراج الأشعة السينية، فلقد سُجّلت مخططات الانعراج للعينات: العامة و العينات الشفافة و العينات المعتممة ذات الألوان الحليبي و الرمادي و الأحمر و المتبقي من الفرز، باستخدام الجهاز المبين في الشكل (II-6 أ) و الموجود في مخبر علم البلورات بجامعة قسنطينة، بينما سُجّلت مخططات انعراج العينتين البيضاء و السوداء المعتمتين باستخدام الجهاز الموضح في الشكل (II-6 ب) الموجود بمركز البحث النووي بالجزائر العاصمة. الجهازان من نوع Philips X'Pert PWR.



الشكل (II-6): أجهزة انعراج الأشعة السينية المستعملة في الدراسة

(و) تحضير العينات لإجراء التحليل بواسطة XRD:

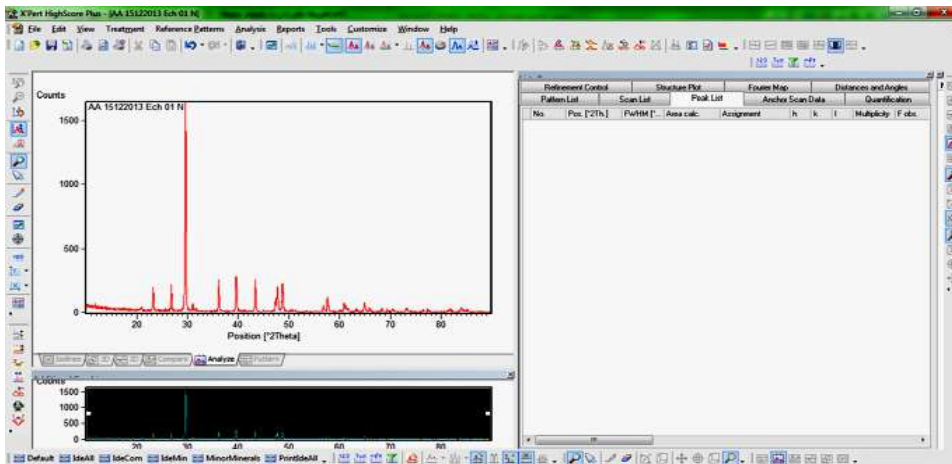
بغرض إجراء التحليل الطيفي بواسطة XRD و تحديد التركيب البلوري لعينات الرمل المدروسة سُحقت العينات جيدا داخل هاون من الزجاج. وُزِعَ مسحوق العينات على الحامل ثم ضُغِطَ يدويا بواسطة اسطوانة معدنية للحصول على سطح مستوٍ. تُعْتَبَر هذه الخطوة مهمّةً لتجنّب حدوث انزياحات في طيف الانعراج. الشكل (7-II) يبين الأدوات المستعملة في عملية القياس بواسطة (XRD).



الشكل (7-II): صورة فوتوغرافية لحامل العينات في جهاز انعراج الأشعة السينية

(ز) برنامج X'pert:

لقد استعملنا برنامج X'pert لمعالجة بيانات انعراج الأشعة السينية الخاصة بالعينات المدروسة، و هو واحدٌ من بين العديد من البرامج الحاسوبية التي تعالج هذه البيانات اعتمادا على قواعد بيانات تحوي معلوماتٍ عديدةً عن مختلف التركيب البلورية. بإمكان برنامج X'pert المطابقة بين المعطيات المقدّمة له من مخطط انعراج الأشعة السينية للعينات المدروسة و تلك التي لديه من قواعد البيانات، مُعْطِيًا التركيب البلوري الأكثر تطابقًا بالشكل (8-II) يظهر واجهة برنامج X'pert.



الشكل (8-II): واجهة برنامج X'pert المستخدم في معالجة بيانات انعراج الأشعة السينية

II.4.2. مطيافية امتصاص الأشعة تحت الحمراء بتحويل فورييه (FTIR):

تُعتبر مطيافية الأشعة تحت الحمراء من أبسط أساليب التحليل الطيفي و أقلّها تكلفةً في دراسة المواد. تسمح هذه التقنية بتحديد الروابط الكيميائية الداخلة في التركيب الجزيئية للمواد العضوية و اللاعضوية، البلورية و غير البلورية [60]، دون التأثير على خصائصها. لا تتطلب هذه التقنية كميات كبيرةً من العينات لتحضير النماذج المعدّة للقياس، كما أن إعداد العينات مناسبٌ للحالات الصلبة و السائلة و الغازية [61].

أ) مبدأ مطيافية الأشعة تحت الحمراء:

يعتمد مبدأ مطيافية الأشعة تحت الحمراء على التداخل بين طيف هذه الأشعة و الروابط الكيميائية للمواد. يؤدي امتصاص الأشعة تحت الحمراء إلى تداخل بين المجال الكهربائي لتردد مناسب من الأشعة المارة مع المجال الكهربائي المتولد عن عزم ثنائي القطب الكهربائي للرابطة الكيميائية لجزيئات المواد. في حالة التوافق بين ترددي هذين المجالين يحصل امتصاصٌ ينقلُ الرابطة الكيميائية من مستوٍ اهتزازي منخفض إلى مستوٍ اهتزازي أعلى، ثم تعود إلى المستويات الأكثر استقرارًا، و تُشعُّ الطاقة الممتصة. ينجم عن هذا الامتصاص، زيادة في الحركة الاهتزازية أو الدورانية للجزيئات [62].

يستند هذا التحليل الطيفي أساسًا على الأشعة تحت الحمراء الممتصة، و التي يتم من خلالها الكشف عن هويّة المادة المدروسة انطلاقًا من الخصائص الاهتزازية لروابطها الكيميائية، حيث توفر هذه الأشعة كمية الطاقة التي يمكنها أن تسبب انتقالات بين المستويات الاهتزازية و الدورانية للروابط الكيميائية [63]، إلا أنّها غير قادرة على إحداث انتقالات بين المستويات الإلكترونية.

ب) أنواع الاهتزازات الجزيئية:

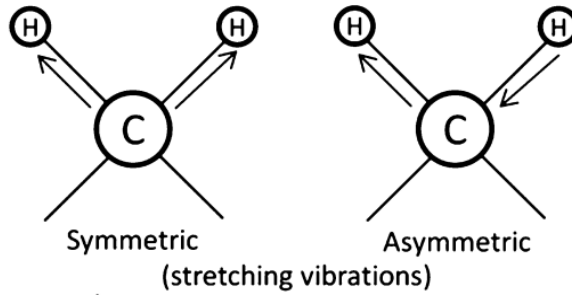
يؤدي امتصاص الأشعة تحت الحمراء إلى حركة اهتزازية للذرات المكوّنة للجزيء، ينشأ عنها تعيُّرٌ دوري في أطوال الروابط الكيميائية بالنسبة لبعضها البعض في الجزيء، أو تعيُّرٌ في الزوايا بين الروابط الكيميائية، كما قد تُنتج كل حركة اهتزازية من حركة ذرتين، أو قد تشمل مجموعةً من الذرات. تتوقف طاقة الأشعة تحت الحمراء الممتصة على كتلة الذرة و قوة الروابط المكوّنة للجزيء و الشكل الهندسي للذرات داخل الجزيء. يمكن تقسيم الاهتزازات إلى نوعين [63،64] هما:

◀ اهتزاز التمدد (stretching vibrations):

ينشأ اهتزاز التمدد عن تغيُّر المسافة بين الذرات في اتجاه محور الرابطة دون تغيير المحاور أو الزوايا بين الروابط. الشكل (9-II) يوضِّح أنماط اهتزازات التمدد، هي نوعان:

1. تمدُّ بسيط: يشمل تمدد رابطة واحدة فقط.
2. تمدُّ مزدوج: يشمل تمدد رابطتين أو أكثر في آنٍ واحدٍ، و هنا يحدث نوعان من التمدد الاهتزازي المزدوج.

- تمدد مزدوج متماثل: و فيه يحدث تمدُّ للرابطين معًا أو تقلصهما معًا.
- تمدد مزدوج غير متماثل: و فيه تتمدد إحدى الروابط، بينما تنكمش الأخرى بالتزامن مع الأولى.

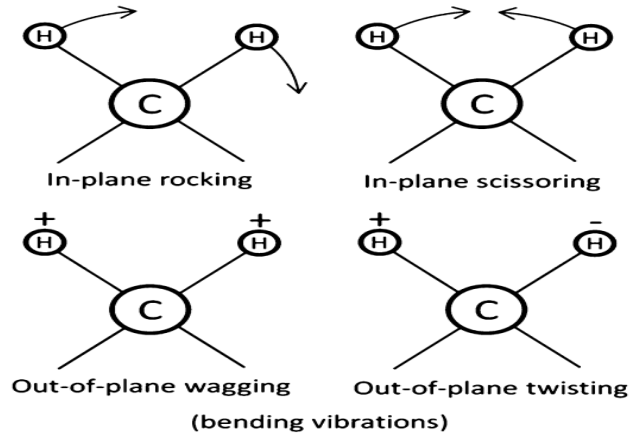


الشكل (9-II): رسم تخطيطي يوضح أنماط اهتزازات التمدد [63]

◀ إهتزاز الانحناء:

ينشأ اهتزاز الانحناء عن تغيُّر الزاوية بين الرابطتين، مما يؤدي إلى تغيُّر اتجاه محور الرابطة، و قد تكون حركة الذرات في مستوي الرابطتين أو خارجةً. يوضح الشكل (10-II) أنماط اهتزازات الانحناء، و يمكن تقسيمها إلى أربعة أنواع:

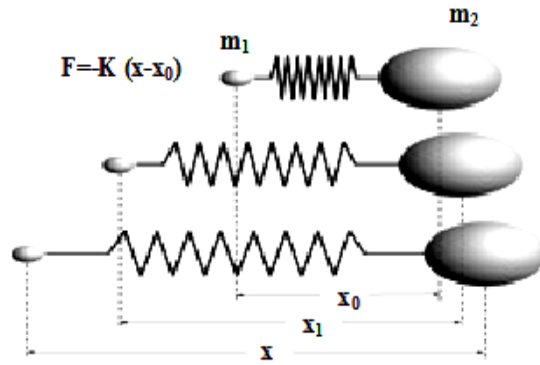
1. إنحناء التآرجح (rocking): تتأرجح الوحدة التركيبية يمينا و شمالا في مستوي اتزانها.
2. إنحناء مَقْصِّي (scissoring): تتقارب الرابطتان و تتباعدان بالنسبة لبعضهما البعض بحركة تشبه حركة المقص في مستوي الاتزان نفسه.
3. إنحناء ارتجاجي (wagging): تتأرجح الوحدة التركيبية إلى الخلف و إلى الأمام خارج مستوي اتزانها.
4. إنحناء التوائي (twisting): تَلْفُ الذرات حول الرابطة بينها و بين باقي الجزيء خارج مستوي اتزانها.



الشكل (10-II): رسم تخطيطي يوضح أشكال اهتزازات الانحناء [63]

ج) النموذج الميكانيكي لعملية التمدد الاهتزازي:

يُعدُّ نموذج الهزاز التوافقي من أبسط النماذج التي يمكنها توضيح خصائص التمدد الاهتزازي للرابطة الكيميائية، و هو عبارة عن كتلتين m_1 و m_2 متصلان ببعضهما بواسطة نابض، الشكل (11-II). التغيير الدوري للمسافة بين الكتلتين ينتج عنه اهتزاز يُطلقُ عليه الحركة التوافقية البسيطة. ككل النماذج الكلاسيكية للظواهر على السلم الذري هي تقريب للحقيقة، و مع ذلك فهي تعطي نتائج مقبولة، و تزودنا بألية مقبولة للحركة الاهتزازية للجزيء ثنائي الذرة.



الشكل (11-II): رسم تخطيطي للهزاز التوافقي

لتبسيط الحل الرياضي يمكننا اعتبار إحدى الكتلتين تتحرك، بينما تبقى الكتلة الأخرى ثابتة، فإذا أزيحت الكتلة مسافة مقدارها ΔX عن موضع الاتزان، و ذلك بواسطة قوة تأثيرها على محور النابض، فإن قوة الإرجاع -بناءً على قانون هوك (Hooke) [63] تتناسب مع الإزاحة، و هي:

$$\Delta F = -K\Delta X$$

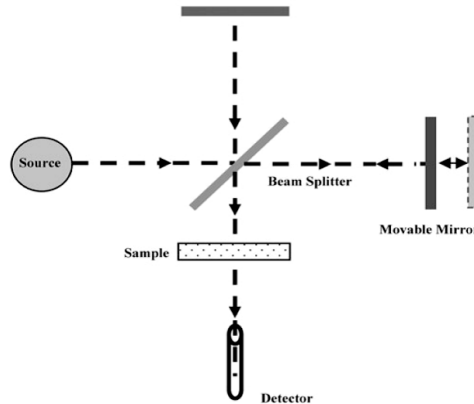
حيث F قوة الإرجاع، K ثابت القوة بين الكتلتين m_1 و m_2 .

د) تحليل أطيف امتصاص الأشعة تحت الحمراء:

من خلال الطيف يمكن تحديد قمم الامتصاص عند الأطوال الموجية المميزة. لإجراء التحليل الكيفي بمطيافية FTIR يكفي نسبة الأطوال الموجية الممتصة للمجموعات الوظيفية الموجودة في المادة استعانةً بالمراجع أو أطيف امتصاص مواد معلومة نقية. تُمكن أطيف امتصاص الأشعة تحت الحمراء من معرفة طاقة الامتصاص، حيث تمتص المركبات الكيميائية الأشعة تحت الحمراء عندما يكون تردد اهتزازات روابط جزيئاتها مساوياً لتردد الأشعة الواردة، و بالتالي يمكننا معرفة نوع الذرات و الروابط الموجودة في الجزيء (المجموعات الوظيفية).

هـ) جهاز طيف الأشعة تحت الحمراء:

يتكوّن جهاز مطيافية الأشعة تحت الحمراء من ثلاث وحدات رئيسية، هي: مصدر الأشعة تحت الحمراء، وحدة وضع العينات، الكاشف، كما يحتوي مجزئاً للضوء، يقوم بتقسيم الحزمة الضوئية القادمة من المصدر إلى حزمتين. تتجه إحدى الحزمتين إلى مرآة ثابتة، و الأخرى إلى مرآة متحركة. يَسمح ذلك بالتحكم بطريق الشعاع الضوئي لإحداث فرق في المسير بين الحزمتين و الحصول على أهداب التداخل. تنعكس الحزمتان من جديد و تتجهان نحو العينّة، و من ثمّ إلى الكاشف. يُحوّل الكاشف الإشارة الضوئية الواردة إليه إلى إشارة كهربائية، و بعملية تحويلٍ رياضيةٍ تُسمّى تحويل فورييه تُحوّل الإشارة الملتقطة إلى طيف للأشعة تحت الحمراء. الشكل (12-II) مخططٌ توضيحي لجهاز مطيافية الأشعة تحت الحمراء.



الشكل (12-II): مخطط جهاز مطيافية الأشعة تحت الحمراء [56]

(و) الجهاز المستعمل في مطيافية الأشعة تحت الحمراء (FTIR):

إستخدمنا في هذه الدراسة مطيافَ أشعة تحت حمراء مزودًا بتحويل فورييه من نوع IR Affinity-1، مُصنَّعٍ من طرف شركة Shimadzu اليابانية، الموجود بمخبر الموارد الصحراوية و تسمينها و تكنولوجياها (VTRS) بجامعة الوادي، و هو يغطي المجال الطيفي للأشعة تحت الحمراء المتوسطة $400-4000\text{ cm}^{-1}$ ، كما هو بالشكل (13-II).



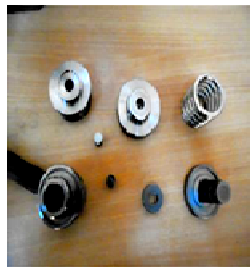
الشكل (13-II): جهاز مطيافية الأشعة تحت الحمراء المستعمل في الدراسة

(ز) تحضير العينات:

سُحقت العينات المُعدَّة للقياس داخل هاون إلى أن أصبحت ناعمةً، ثم مُزج مقدار 2 mg من العينة المراد قياس طيفها مزجاً متأنياً و متجانساً مع 198 mg من بروميد البوتاسيوم (KBr) الجاف، ثم ضُغِطَ المزيج بواسطة مكبس، ليكون قرصاً قطره 13 mm و سمكه 1mm. يبين الشكل (14-II) الأدوات المستخدمة في تحضير عينات التحليل بمطيافية الأشعة تحت الحمراء



جهاز الضغط



المكبس



هاون

الشكل (14-II): الأدوات المستخدمة في تحضير عينات التحليل بمطيافية الأشعة تحت الحمراء

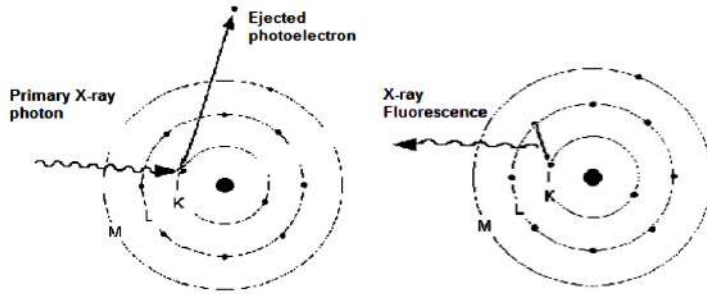
3.4.II. مطيافية تفلور الأشعة السينية (XRF):

الفلورة هي إحدى ظواهر التآلق، و تحصل في موادَّ معيَّنة عند تعرضها للأشعة السينية، حيث تمتص الذرات (أو الجزيئات) طاقة الأشعة الواردة فتتأثر إلى سوَّيات طاقة عالية أو تتأين إذا كانت طاقة هذه الأشعة كافيةً لحصول ذلك. بما أن الذرات (أو الجزيئات) المثارة غير مستقرة فإنها تعود إلى حالتها الأساسية و تُصدِرُ بذلك إشعاعاً مميَّزاً للعنصر المكوّن للمادة.

تُعَدُّ تقنية فلورة الأشعة السينية من أهم التقنيات المعتمدة في المخابر لغرض التحليل الكيفي و الكمي للمواد، فهي من أبسط أساليب التحليل الطيفي و أكثرها دقةً في تحديد التركيب الكيميائي لأنواع مختلفة من المواد، كما يمكنها بلوغ حدِّة قياس لمعظم العناصر تقارب جزءاً من المليون، كما أنها تقنية تحليل غير هدامة للنماذج، و يمكنها الكشف عن معظم عناصر الجدول الدوري.

أ) المبدأ الأساسي لظاهرة فلورة الأشعة السينية [65، 66]:

تتطلب ظاهرة الفلورة مصادرَ إشعاع ذات طاقات عالية، و تُدعى بالأشعة السينية الأولية. تعمل هذه الإشعاعات على اقتلاع أحد إلكترونات الطبقات الداخلية للذرة، مُخلِّفةً وراءها فجوةً إلكترونية، الشكل (II-15).



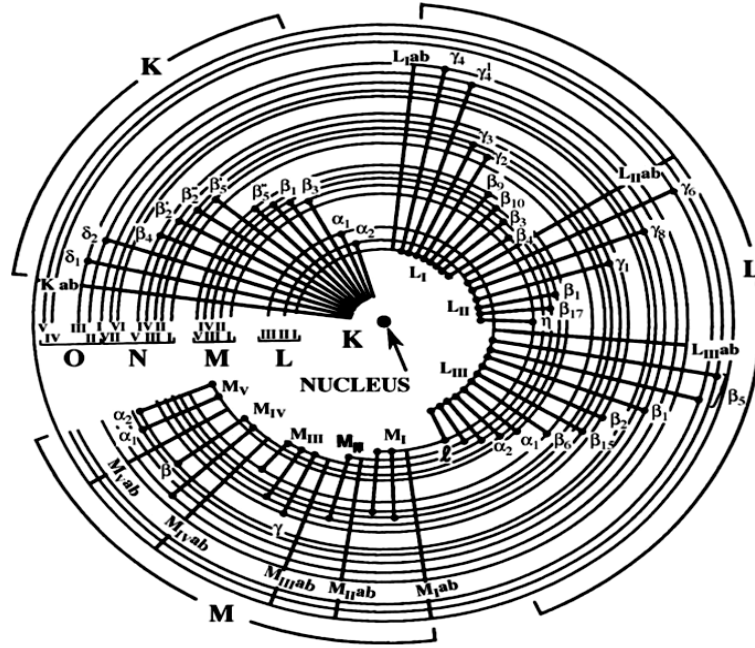
الشكل (II-15): الإنتقالات الإلكترونية المسببة لظاهرة الفلورة

نتيجةً لذلك تصبح التشكيلة الإلكترونية لذرات المادة غير مستقرة، و لكي تعود الذرات إلى حالتها الأساسية المستقرة يقوم أحد إلكترونات الطبقات الخارجية بملء المكان الشاغر، و يكون ذلك مصحوباً بإصدار إشعاعٍ سيني مميَّز.

إن طول موجة الأشعة السينية المميزة المنبعثة بهذه الطريقة يتعلق بالفرق بين طاقتي المستويين الأساسي و النهائي للإلكترون، فإذا كانت طاقة المستوي الأساسي E_1 و طاقة المستوي النهائي E_2 ، فإن طاقة الأشعة المميزة تُكتَبُ كما يلي:

$$E = E_2 - E_1$$

تُحدَّد الأشعة السينية الصادرة انطلاقاً من الطبقة التي قُذِف منها الإلكترون بواسطة الأشعة السينية الأولية و الطبقة التي حدثت منها الانتقالات الإلكترونية بعد ذلك، فإذا انتقل الإلكترون من السوية L إلى السوية K يبعث أشعة ذات تردد يُدعى تردد الخط K_{α} ، و عندما ينتقل الإلكترون من السوية M أو N إلى السوية K يبعث أشعة ذات تردد يُدعى تردد الخط K_{β} . الشكل (II-16) يوضح الخطوط الطيفية و الانتقالات التابعة لها.



الشكل (II-16): الخطوط الطيفية و الانتقالات التابعة لها في الذرة [66]

تجدر الإشارة إلى أن مقدار الطاقة الناتجة عن هذه الانتقالات يختلف بين ذرة عنصر و عنصر آخر؛ إذ يتعلق ذلك بالعدد الذري للعنصر، و بالتالي يمكن استغلال هذه الخاصية للتمييز بين العناصر الكيميائية المختلفة، أو الاسترشاد لطبيعة العناصر المكوّنة لمادة مجهولة.

ب) جهاز الفلورة:

رغم التصميمات العديدة لأجهزة الفلورة بالأشعة السينية، إلا أنها تشترك جميعها في ثلاثة أجزاء رئيسية هي: مصادر الإمداد بالأشعة السينية الأولية، وحدة وضع العينة، الكاشف، و يمكن تفصيلها في ما يلي:

1. مصادر الأشعة السينية الأولية [67]:

تُوجد مجموعة متنوعة من وحدات الإمداد بالأشعة الأولية التي تمنحنا طاقات كافية للكشف عن جميع العناصر الموجودة في المادة المدروسة، و نذكر منها:

- **أنبوبة الأشعة السينية:** تُعدُّ أنبوبة الأشعة السينية من المصادر الأكثر شيوعاً، التي يمكنها أن تبعث توزيعاً واسعاً لطاقات الأشعة السينية بشدات عالية. تتنوع المواد المستعملة كمرشحات و أهداف معدنية (المصعد) لإنتاج و تعديل الأشعة السينية الأولية المنبعثة من الأنبوبة قبل تفاعلها مع المادة.
- **الأهداف الثانوية:** هي مدمجة مع أنبوبة الأشعة السينية بحيث تُنتج أشعةً سينيةً أحادية اللون، و التي يمكنها التفاعل مع العينة. من الممكن أن تُختار مادةً مُعينة كهدف لتعطي خصائصَ نموذجيةً للأشعة السينية لإثارة أي عنصر أو عناصر متوقع وجودها في العينة.
- **المصادر المشعة:** توجد مصادر مُشعةً على شكل كبسولة صغيرة محكمة تحتوي على كمية مناسبة من النظير المشع. يبعث هذا النوع من المصادر إشعاعاً بطاقات متقطعة للتفاعل مع العينة. تُستخدم مصادرٌ مشعة متنوعة لإعطاء طاقات مختلفةً لأشعة سينية مناسبة لإثارة العناصر المتوقع وجودها في العينة.

2. الكاشف:

يعتمد مبدأ عمل الكواشف على كيفية تفاعل الإشعاع مع المادة المستخدمة في الكاشف. تعمل الإشعاعات في معظم الكواشف على تأيين أو إثارة ذرات أو جزيئات مادة الكاشف عند مرورها فيها. عند التأين يتم إنتاج الأزواج الإلكترونية الأيونية في الكواشف الغازية أو الإلكترونية التحوييفية في أشباه الموصلات. يُعتَبَرُ التأينُ أكثرَ تفاعلاتِ الإشعاعِ حدوثاً، و يعتمد قياس الإشعاع على التيار الكهربائي الناتج عن التأين الذي يسببه مرور الإشعاع في مادة الكاشف، حيث تحتوي أكثرُ الكواشف على دائرة كهربائية لقياس هذا التيار، و الذي يكون على شكل نبضات أو تيار مستمر. توجد مجموعةٌ واسعة من أجهزة الكشف التي صُمِّمت بحيث تتعامل مع مختلف أنواع العينات.

ج) التحليل الكيفي و الكمي:

❖ التحليل الكيفي:

يتم فيه الكشف عن العناصر الداخلة في تركيب المادة أو خليط المواد المكوّنة للعينات المراد دراستها، دون التعرّض إلى كمية أو نسبة هذه المكوّنات. هذه العملية بسيطة من حيث المبدأ، حيث تعتمد على قياس طاقة الأشعة السينية المميّزة المنبعثة من ذرات العينة بعد عملية الفلورة، و يتم التحليل النوعي من خلال تحديد طاقات الخطوط المميزة انطلاقاً من مخطط طيف العينة المدروسة و مقارنتها بطاقات الخطوط المميزة لكل عنصر، و التي تم تحديدها و جدولتها مسبقاً لتسهيل استعمالها مباشرة.

❖ التحليل الكمي:

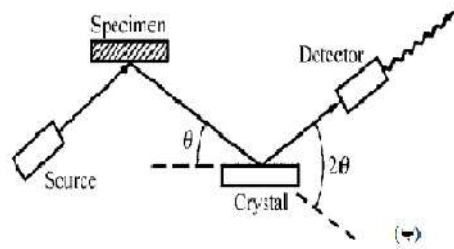
يساعدنا هذا النوع من التحليل على تحديد كمية كل عنصر من العناصر الداخلة في تركيب المادة المدروسة. يُعطي هذا التحليل بياناتٍ أكثر دقةً عن العناصر التي تدخل في تكوين العينة و مقاديرها، لأن كثافة كل انبعاث مميز ترتبط مباشرة بكمية كل عنصر من عناصر المادة. يعتمد التحليل الكمي على وجود عينة مرجعية ذات شدة إصدار و تركيز عنصري معلومين [66]، و يمكننا حساب التركيز انطلاقاً من العلاقة $\frac{C_{st}}{C_{ech}} = \frac{I_{st}}{I_{ech}}$ ، و هي تربط بين شدتيّ الإصدار و التركيزين لكلّ من العينة و المرجع، و من خلالها نستنتج تركيز العينة المدروسة.

$$C_{ech} = C_{st} \cdot \frac{I_{ech}}{I_{st}}$$

(د) أجهزة فلورة الأشعة السينية (XRF) المستعملة للقياس:

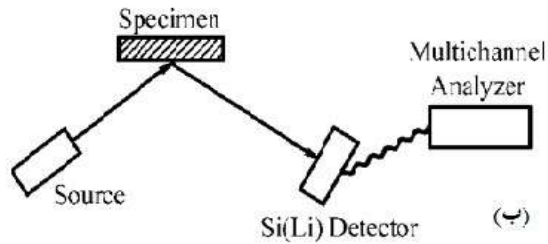
أستخدم في هذه الدراسة جهازان لتفلور الأشعة السينية هما:

1. الجهاز الأول يعمل وفقاً لمطيافية التشتت المتعلق بطول الموجة من نوع (Philips Magix DW-XRF)، و هو موجود بمركز البحث النووي بالجزائر العاصمة، الشكل (II-17 أ). يقوم هذا الجهاز بتسليط ومضات من الأشعة السينية الأولية على العينة، فيعمل على تهيج ذرات العناصر الرئيسة و النادرة الموجودة في العينة، و حثّها على بَعثِ أشعةٍ سينية مميزة. تتشتت هذه الأشعة باستخدام بلورة (معلومة الخصائص) وفق قانون براغ [67]، بعد ذلك يقوم الكشاف بتجميع الأشعة و تحليلها حسب نوع كل عنصر الشكل (II-17 ب)، و يُستفاد من مواقع القمم و شداتها في الطيف في تحليل العينة نوعياً للتعرف على العناصر المكوّنة لها، و كميّاً لإيجاد تراكيز تلك العناصر. يتميز هذا الجهاز بقدرته على تحليل العناصر ذات التراكيز الضئيلة في العينة، كما يحتاج لوقت طويل نسبياً، يمتد من عدة دقائق إلى حوالي نصف ساعة لتحليل عينة واحدة.



الشكل (II-17): (أ) جهاز DW-XRF المستعمل في الدراسة (ب) المخطط الذي يوضح مبدأ عمله [66]

2. أما الجهاز الثاني لفلورة الأشعة السينية فيعمل وفقا لمطيافية التشتت المتعلق بالطاقة، و هو من نوع (Philips Cubix ED-XRF)، الشكل (II-18 أ)، و هو موجود بمخبر مصنع الإسمنت بعين التوتة بولاية باتنة. يقوم هذا الجهاز بتشعيع العينات بتسليط حزمة من الأشعة السينية الأولية، ممَّا يؤدي إلى تأيين ذرات العناصر الموجودة في العينة، و حثُّها على بَعثِ أشعة سينية مميزة خاصة بكل عنصر فيها تتوجه هذه الأشعة مباشرة إلى الكاشف الشكل (II-18 ب)، الذي يقوم بتجميعها و تحليلها و تحديد العناصر الموجود في العينة. يتميز هذا الجهاز بقدرته على تحليل عدد كبير من العناصر في آنٍ واحد.



الشكل (II-18): (أ) جهاز ED-XRF المستعمل في الدراسة (ب) المخطط الذي يوضح مبدأ عمله [66]

هـ) تحضير العينات:

حُضِرَت العينات المَعْدَّة للقياس بواسطة الجهاز الأول (Philips Magix DW- XRF) بالطحن اليدوي الجيد، و تمَّ كَبْسُها بضغط مرتفع لَشَكْلٍ قَالْبًا دائريًّا قطره 2.7 cm. الشكل (II-19) يَعرِضُ جهاز ضغط العينات و نموذجًا لإحدى العينات في تقنية DW- XRF.



الشكل (II-19): جهاز ضغط العينات و نموذج لإحدى العينات في تقنية DW- XRF

أما العينات المعدة للقياس بواسطة الجهاز الثاني (Philips Cubix ED-XRF)، الشكل (20-II)، فقد طُحنت آلياً لمدة أربع دقائق مع مادة لاحمة، هي بضْع قطراتٍ من Triethanolamine ($C_6H_{15}NO_3$). هذه المادة لا تؤثر على نتائج القياس، فهي تُستعمل عادةً لتبريد الجهاز أثناء عملية الطحن، كما تساعد على تماسك العينة أثناء الضغط. بعد ذلك تُضَعَط العينة لمدة خمس دقائق، فتشكل قرصاً قطره 3.5 cm، الشكل (21-II).



الشكل (20-II): تجهيزات الطحن الخاصة بتقنية ED-XRF



الشكل (21-II): جهاز ضغط العينات و نموذج إحدى العينات في تقنية ED-XRF

الفصل الثالث

نتائج القياسات الطيفية و مناقشتها

بعد تحديد التوزع اللوني لرمل كثبان منطقة ورقلة، و عرض التقنيات الطيفية المستعملة في هذه الدراسة، سنتطرق في هذا الفصل إلى تحديد تركيب الأصناف اللونية الرئيسة و سبب تلونها، مستخدمين في ذلك تقنيات انعراج الأشعة السينية (XRD) و مطيافية الأشعة تحت الحمراء بتحويل فورييه (FTIR) و فلورة الأشعة السينية (XRF).

1.III. الدراسة العيانية (الفحص البصري):

أظهرت النتائج الأولية لعمليات الفرز اللوني اختلافاً في نسب تواجد هذه الألوان في الرمل، و كذا اختلافاً في علاقة ألوان الحبيبات بحجومها؛ فالحبيبات المعتمة مثلاً تتميز بكبرها مقارنةً بالشفافة، في حين كانت معظم الحبيبات الشفافة متوسطة الحجم. الجدول (1-III) يبين الألوان المشكّلة للرمل المفروز الذي تفوق أقطار حبيباته 0.315 mm، و تواجدها في الرمل و كذا بعض الملاحظات المسجلة أثناء عملية الفرز.

الجدول (1-III): التوزع اللوني للحبيبات المدروسة، و تواجدها في الرمل

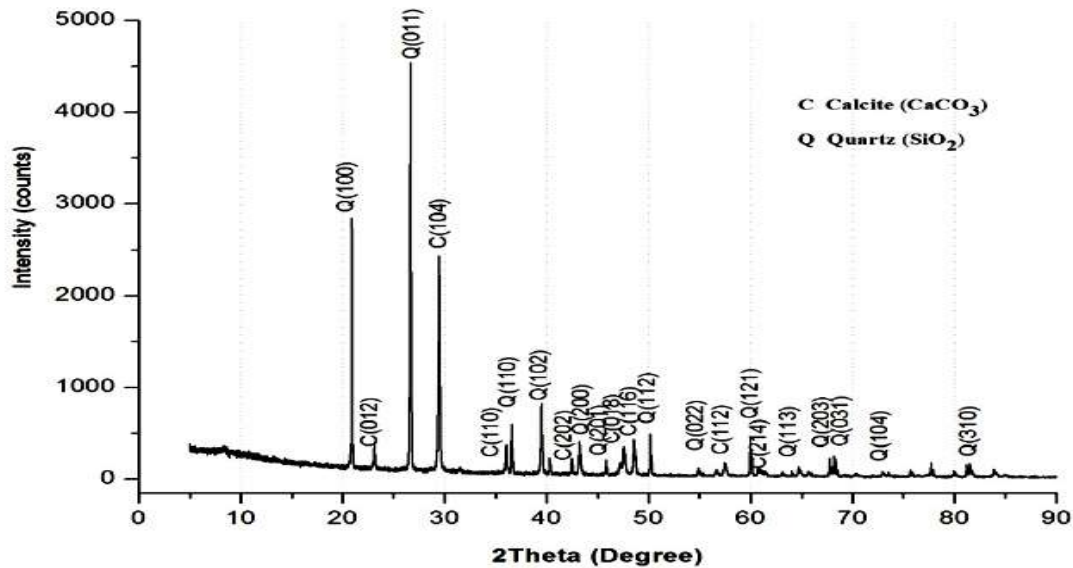
العينات	لونها	تواجدها في الرمل	ملاحظات عيانية
الشفافة	أصفر	غالب	أغلب حبيباتها متوسطة الحجم و ذات شكل كروي تقريبا، و ذات أسطح ملساء.
	برتقالي		
	أحمر		
المعتمة	أحمر	معتبر	أغلب حبيباتها كبيرة الحجم و ذات أسطح خشنة.
	أبيض	قليل جدا	
	حليبي رمادي	معتبر	
المتبقي من الفرز	مزيج ألوان	قليل جدا	حبيباتها متفاوتة الأحجام و مختلفة الألوان و الملامس. بعض حبيباتها ذات مزيج من لونين أو أكثر.
	أسود	قليل	

2.III. نتائج التحليل بواسطة انعراج الأشعة السينية (XRD):

1.2.III. تحديد التراكيب البلورية للرمال:

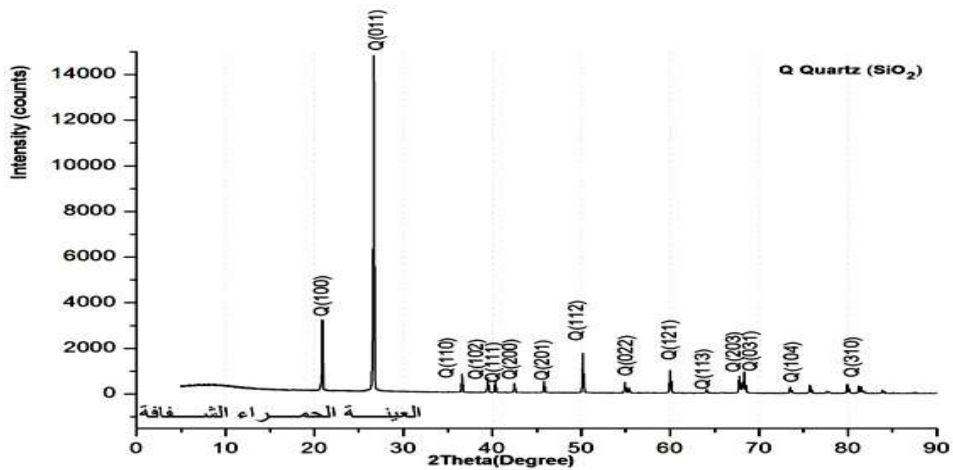
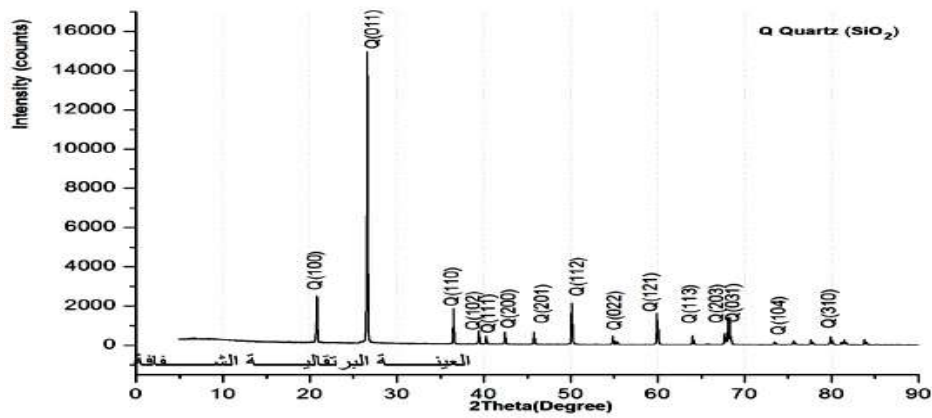
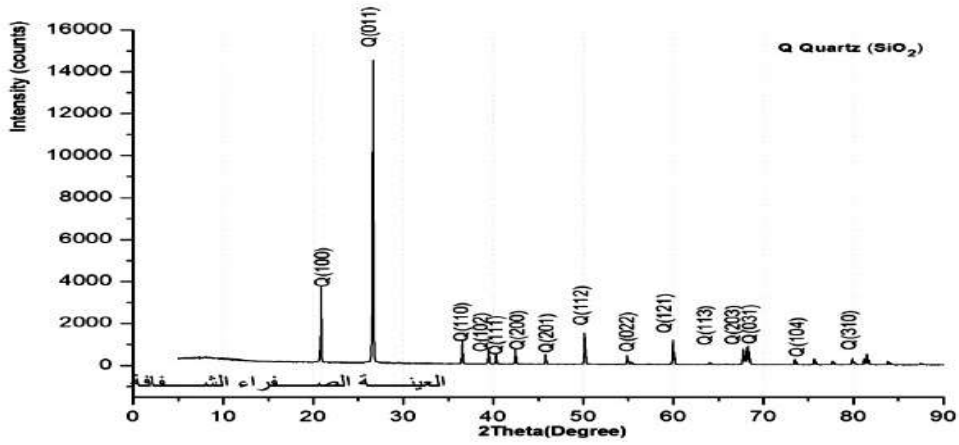
لقد بينت نتائج انعراج الأشعة السينية أن رمل كثبان منطقة ورقلة الذي يفوق حجم حبيباته 0.315 mm ، الشكل (1-III)، يتكوّن أساسًا من طورين بلوريّين هما الكوارتز و الكالسيت؛ إذ يُلاحظ أن معظم خطوط الانعراج تابعة للكوارتز (SiO_2) أو الكالسيت (CaCO_3).

تنبغي الإشارة إلى أن ارتفاع خط انعراج الأشعة السينية في العينة الواحدة لا يدل على كمية الطور فحسب، بل يدلُّ كذلك على شدة تبلوره [68]، كما أن تكوين البنية الأساسية للبلورة من الذرات هو المسؤول عن تحديد شدة الحزمة المنعرجة عن المستويات البلورية المتوازية؛ فكلما كانت المستويات غنية بالذرات كانت شدة الحزمة المنعكسة عاليةً، و بالتالي فإنه في كثير من الأحيان توجد أطوارًا ثانوية لا يمكن ملاحظتها في مخططات انعراج الأشعة السينية نظرًا لضعف تبلورها أو ضآلة نسبتها في العينة.

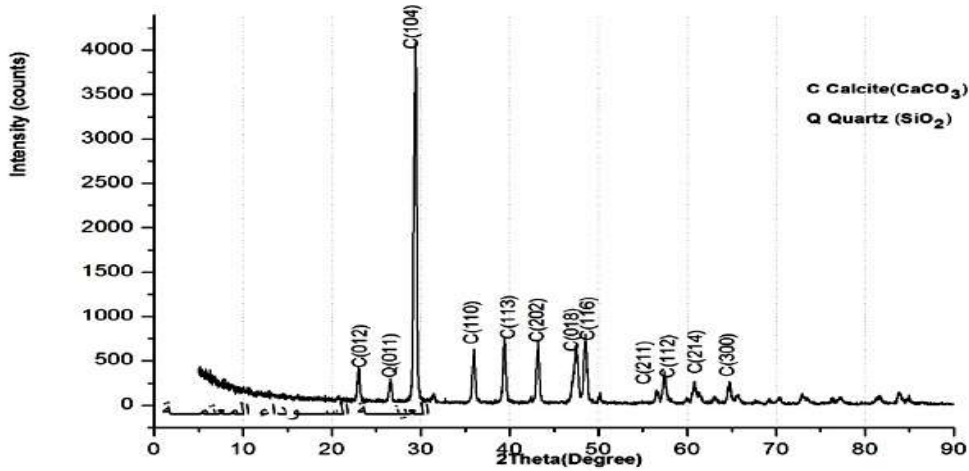
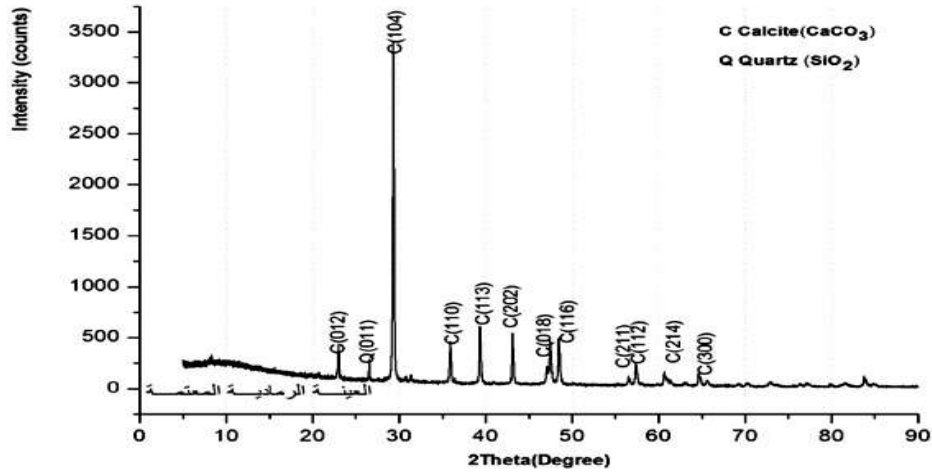
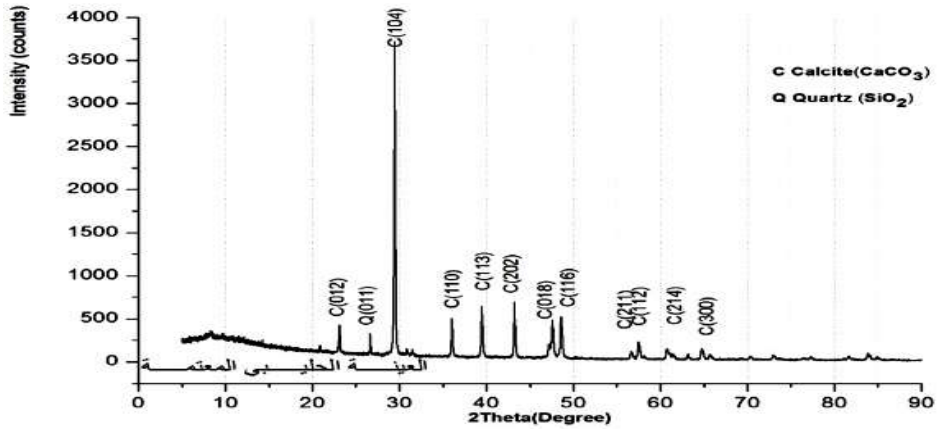


الشكل (1-III): مخطط انعراج الأشعة السينية للعينة العامة

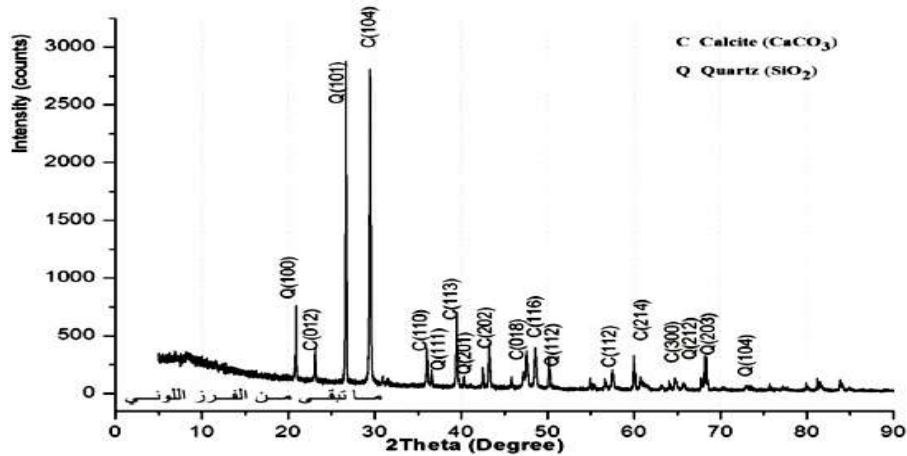
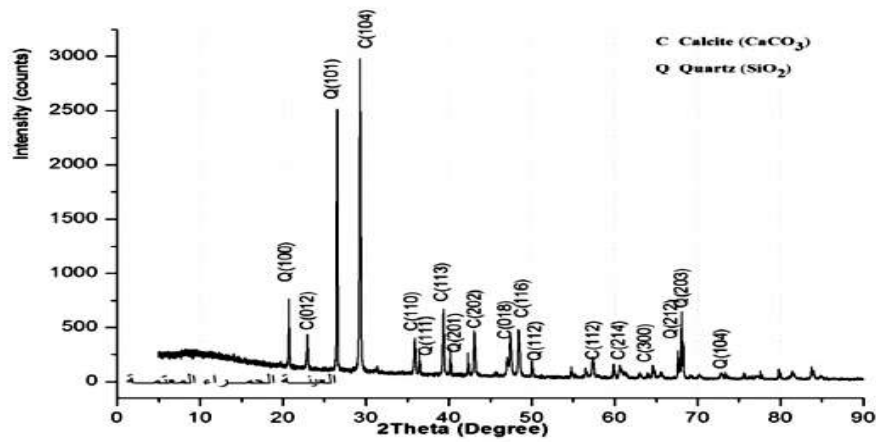
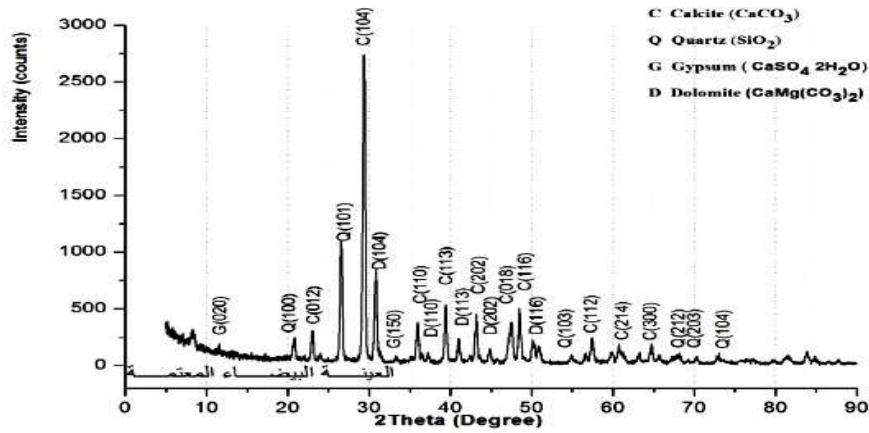
لقد بينت نتائج (XRD) أنه على الرغم من الاختلافات المرئية و الواضحة في العينات الملونة إلا أنه لا يمكن تصنيفها - كمرحلة أولى - إلا إلى ثلاث مجموعات، الأشكال (2-III)، (3-III)، (4-III)، هي العينات الشفافة و العينات المعتمة ذات الحبيبات الحليبية و الرمادية و السوداء و العينتين المعتمتين ذاتي الحبيبات البيضاء و الحمراء، مع ما تبقى من الفرز.



الشكل (III-2): مخططات انعراج الأشعة السينية للعينات الشفافة



الشكل (III-3): مخططات انعراج الأشعة السينية للعينات المعتمة: الحليبية و الرمادية و السوداء



الشكل (III-4): مخططات انعراج الأشعة السينية للعينات: المعتمة البيضاء و المعتمة الحمراء و المتبقية من

عملية الفرز اللوني

تُظهر مخططات انعراج الأشعة السينية أن جميع العينات ذات الحبيبات الشفافة، الشكل (III-2)، تتكوّن أساساً من الكوارتز (SiO_2)، و هو الذي مُيِّز من خلال انعراجه الرئيس البارز و الشديد عند الزاوية $2\theta = 26.662^\circ$ ، و انعراجه الظاهرة الأخرى عند الزوايا 2θ : 20.874° ، 36.573° ، 39.504° ، 40.324° ، 42.484° ، 50.185° و 60.009° [69،8].

أما العينات المعتمة ذات الحبيبات الحليبية و الرمادية و السوداء، الشكل (III-3)، فقد تميّزت بانعراجات شديدة عند الزوايا 2θ : 23.050° ، 29.400° ، 35.969° ، 39.409° ، 43.125° ، 47.114° ، 47.506° ، 48.505° ، 57.398° و 60.667° ، و كلّها تدل على أن هذه العينات تتكوّن أساساً من الكالسييت (CaCO_3) [69]. لقد لوحظ أيضاً في مخططات هذه العينات انعراجاً طفيفاً جداً عند 26.662° ، و هو يعود للانعراج الرئيس للكوارتز، مما يشير إلى وجود نسبة ضئيلة جداً من الكوارتز في هذه العينات، يمكن تبريرها بعدم دقة الفرز اليدوي.

لقد تبيّن أيضاً أن العينتين المعتمتين البيضاء و الحمراء و العينة المتبقية من الفرز جميعها تتكوّن من الكالسييت (CaCO_3) و الكوارتز (SiO_2)؛ حيث تُظهر مخططات انعراج هذه العينات الثلاث وجود الطورين معاً، الشكل (III-4).

تميّزت العينة المعتمة البيضاء بانعراجات أقلّ شدةً عند 30.815° ، 33.297° ، 37.311° ، 41.035° و 50.862° ، و هي تشير إلى وجود الدوليت ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) [70]، كما حوّت هذه العينة نسبةً ضئيلةً من الجبس ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)، دلّ عليها الانعراج عند 11.633° [71]، كما لوحظ بها أيضاً انعراجٌ ضعيف عند 8.34° ، الشكل (III-4)، يشير إلى وجود نسبة ضئيلةٍ من المزيج (illite/smectite mixed minerals) [69].

2.2.III. تفسير انزياح القمم في مخططات الانعراج:

تُظهر المقارنة بين نتائجنا التجريبية و بطاقات تعريف الأطوار البلورية (ASTM)، الجدول (III-2)، انزياحاتٍ طفيفةً للمسافات البينية التابعة لقمم الانعراج، يرجع ذلك إلى العيوب البلورية (فجوات، شقوق،...) الناتجة عن تكوينها الأولي، و التي قد تؤدي إلى اتساع الخطوط، ممّا قد يؤثر في دقة تحديد قمم الانعراج [58]. زيادةً على ذلك فإن وجود الشوائب في البنية البلورية يوّلّد عيوباً إضافيةً تتعلق بنوع الشوائب و نِسبها و مواقعها داخل البنية البلورية، ممّا يؤثر -على الأقل- في حجم البلورة، و بالتالي على المسافة بين السطوح البلورية نتيجة احتلال ذرات الشوائب مواقع بعض ذرات المادة الأصلية (المضيفة)، ممّا

يتسبب بدوره بإزاحة مواقع القمم 2θ ضمن مخططات انعراج الأشعة السينية إلى قيم أكبر أو أقل، تبعاً للقطر الأيوني للذرات الشائبة مقارنةً بالمادة المضيفة [72،73].

تُحدّر الإشارة إلى أن كيفية توزيع العينة في الحامل قد يُسهم في انزياح للمسافات البينية. عند اجتماع كل هذه الأسباب المؤثرة في خط الانعراج يصعب تحديد السبب الأصلي للانزياح.

الجدول (III-2): تحليل نتائج انعراج الأشعة السينية للعينات المفروزة وفقاً لألوان حبيباتها من رمل كئبان منطقة ورقلة

(أ) العينة العامة

زوايا الانعراج (2θ _{cal} °)	المسافة البينية المحسوبة (d _{cal} Å)	الأطوار البلورية	مؤشرات ميلر (miller) (hkl)	المسافة البينية الملاحظة (d _{obs} Å)	Δd (Å)
20.8740	4.2522	الكوارتز	1 0 0	4.2420	0.0102
23.0540	3.8548	الكالسيت	0 1 2	3.8412	0.0136
26.6620	3.3408	الكوارتز	0 1 1	3.3366	0.0042
29.4000	3.0356	الكالسيت	1 0 4	3.0288	0.0068
35.9690	2.4948		1 1 0	2.4899	0.0049
36.5730	2.4550	الكوارتز	1 1 0	2.4520	0.0030
39.4090	2.2846	الكالسيت	1 1 3	2.2781	0.0065
40.3240	2.2349	الكوارتز	1 1 1	2.2352	-0.0003
42.4840	2.1261	الكوارتز	2 0 0	2.1248	0.0013
43.1580	2.0944	الكالسيت	2 0 2	2.0909	0.0035
47.1140	1.9274		0 2 4	1.9245	0.0029
47.5060	1.9124		0 1 8	1.9106	0.0018
48.5050	1.8753		1 1 6	1.8723	0.0030
50.1850	1.8164	الكوارتز	1 1 2	1.8161	0.0003
54.9230	1.6704		0 2 2	1.6704	0.0000
56.5620	1.6258	الكالسيت	2 1 1	1.6236	0.0022
57.3980	1.6041		1 2 2	1.6021	0.0020
60.0090	1.5404	الكوارتز	1 2 1	1.5408	-0.0004
60.6670	1.5252	الكالسيت	2 1 4	1.5231	0.0021
64.6600	1.4404		3 0 0	1.4385	0.0019

(ب) العينات الشفافة

زوايا الانعراج (2θ _{cal} °)	المسافة البينية (d _{cal} Å)	الأطوار البلورية	مؤشرات ميلر (miller) (hkl)	الحمراء		البرتقالية		الصفراء	
				المسافة البينية (d _{obs} Å)	Δd (Å)	المسافة البينية (d _{obs} Å)	Δd (Å)	المسافة البينية (d _{obs} Å)	Δd (Å)
20.874	4.2522	الكوارتز	1 0 0	4.2442	0.0080	4.2580	-0.0058	4.2461	0.0061
26.662	3.3408		0 1 1	3.3586	-0.0178	3.3435	-0.0027	3.3377	0.0032
36.573	2.4550		1 1 0	2.4521	0.0029	2.4576	-0.0026	2.4537	0.0013

39.504	2.2793		1 0 2	2.2768	0.0025	2.2810	-0.0017	2.2788	0.0005
40.324	2.2349		1 1 1	2.2331	0.0018	2.2364	-0.0015	2.2341	0.0008
42.484	2.1261		2 0 0	2.1252	0.0009	2.1277	-0.0016	2.1262	-0.0001
45.832	1.9783		2 0 1	1.9767	0.0016	1.9801	-0.0018	1.9781	0.0002
50.185	1.8164		1 1 2	1.8150	0.0014	1.8178	-0.0014	1.8167	-0.0003
54.923	1.6704		0 2 2	1.6690	0.0014	1.6718	-0.0014	1.6711	-0.0007
55.383	1.6576		0 1 3	1.6571	0.0005	1.6599	-0.0023	1.6585	-0.0009
60.009	1.5404		1 2 1	1.5399	0.0005	1.5419	-0.0014	1.5408	-0.0004
64.099	1.4516		1 1 3	1.4515	0.0001	1.4530	-0.0014	1.4520	-0.0004
67.804	1.3810		1 2 2	1.3805	0.0005	1.3819	-0.0009	1.3819	-0.0009
68.211	1.3738		2 0 3	1.3735	0.0003	1.3751	-0.0013	1.3744	-0.0006
68.371	1.3710		0 3 1	1.3705	0.0005	1.3719	-0.0009	1.3710	0.0000

(ج) العينات المعتمدة الحليبية و الرمادية و السوداء

زوايا الإنعراج ($2\theta_{cal}$ °)	المسافة البينية (d_{cal} Å)	الأطوار البلورية	مؤشرات ميلر (miller) (hkl)	الحليبية		الرمادية		السوداء	
				المسافة البينية (d_{obs} Å)	Δd (Å)	المسافة البينية (d_{obs} Å)	Δd (Å)	المسافة البينية (d_{obs} Å)	Δd (Å)
23.054	3.8548	الكالسيت	0 1 2	3.8431	0.0117	3.8637	-0.0089	3.8406	0.0142
26.662	3.3408	الكوارتز	1 1 0	3.3426	-0.0018	3.353	-0.0122	3.3484	-0.0076
29.400	3.0356	الكالسيت	1 0 4	3.0287	0.0068	3.0374	-0.0018	3.0246	0.0110
31.435	2.8435		0 0 6	2.8380	0.0055	2.8473	-0.0038	2.8441	-0.0006
35.969	2.4948		1 1 0	2.4905	0.0043	2.4984	-0.0036	2.4911	0.0037
39.409	2.2846		1 1 3	2.2810	0.0037	2.2870	-0.0024	2.2875	-0.0028
43.158	2.0944		2 0 2	2.0906	0.0038	2.0968	-0.0023	2.0893	0.0052
47.114	1.9274		0 2 4	1.9249	0.0025	1.9291	-0.0017	1.9107	0.0167
47.506	1.9124		0 1 8	1.9097	0.0027	1.9140	-0.0016	1.9107	0.0017
48.505	1.8753		1 1 6	1.8734	0.0019	1.8770	-0.0017	1.8796	-0.0043
56.562	1.6258		2 1 1	1.6240	0.0018	1.6259	-0.0001	1.6229	0.0029
57.398	1.6041		1 2 2	1.6024	0.0017	1.6052	-0.0011	1.6048	-0.0007
60.667	1.5252		2 1 4	1.5230	0.0022	1.5259	-0.0007	1.5219	0.0033
64.660	1.4404		3 0 0	1.4390	0.0013	1.4406	-0.0002	1.4369	0.0034
65.612	1.4218		0 0 12	1.4202	0.0016	1.4210	0.0008	1.4219	-0.0001

(د) العينات: المعتمة البيضاء و المعتمة الحمراء و المتبقية من عملية الفرز اللوني

زوايا الإنعراج ($2\theta_{cal}$ °)	المسافة البيئية (d_{cal} Å)	الأطوار البلورية	مؤشرات ميلر (miller) (hkl)	البيضاء		الحمراء		المتبقية من الفرز	
				المسافة البيئية (d_{obs} Å)	Δd (Å)	المسافة البيئية (d_{obs} Å)	Δd (Å)	المسافة البيئية (d_{obs} Å)	Δd (Å)
11.6330	7.6010	الجبس	0 2 0	7.5977	0.0033	لم يُلاحظ	/	7.5789	0.0221
20.8740	4.2522	الكوارتز	1 0 0	4.2571	-0.0049	4.2663	-0.0141	4.2408	0.0114
23.0540	3.8548	الكالسيت	0 1 2	3.8482	0.0066	3.8651	-0.0103	3.8434	0.0114
26.6620	3.3408	الكوارتز	0 1 1	3.3330	0.0078	3.3507	-0.0099	3.3347	0.0061
29.4000	3.0356	الكالسيت	1 0 4	3.0407	-0.0051	3.0434	-0.0078	3.0260	0.0096
30.8150	2.8993	الدوليت	1 0 4	2.8938	0.0055	لم يُلاحظ	/	2.8881	0.0112
33.2970	2.6887	الدوليت	0 0 6	2.6878	0.0009	لم يُلاحظ	/	لم يُلاحظ	/
35.9690	2.4948	الكالسيت	1 1 0	2.4910	0.0038	2.4986	-0.0037	2.4881	0.0067
36.5730	2.4550	الكوارتز	1 1 0	2.4594	-0.0044	2.4610	-0.0060	2.4536	0.0014
37.3110	2.4081	الدوليت	1 1 0	2.4115	-0.0034	لم يُلاحظ	/	لم يُلاحظ	/
39.4090	2.2846	الكالسيت	1 1 3	2.2803	0.0043	2.2866	-0.0020	2.2778	0.0068
40.3240	2.2349	الكوارتز	1 1 1	2.2361	-0.0012	2.2406	-0.0057	2.2346	0.0004
41.0350	2.1978	الدوليت	1 1 -3	2.2025	-0.0047	لم يُلاحظ	/	لم يُلاحظ	/
42.4840	2.1261	الكوارتز	2 0 0	2.1242	0.0019	2.1336	-0.0075	2.1245	0.0016
43.1580	2.0944	الكالسيت	2 0 2	2.0921	0.0023	2.0973	-0.0029	2.0906	0.0038
44.8550	2.0191	الدوليت	2 0 2	2.0208	-0.0017	لم يُلاحظ	/	1.9769	0.0422
47.1140	1.9274	الكالسيت	0 2 4	1.9243	0.0031	1.9290	-0.0016	1.9245	0.0029
47.5060	1.9124		0 1 8	1.9081	0.0043	1.9145	-0.0021	1.9097	0.0027
48.5050	1.8753		1 1 6	1.8744	0.0010	1.8778	-0.0025	1.8733	0.0020
50.1850	1.8164	الكوارتز	1 1 2	1.8170	-0.0006	1.8210	-0.0046	1.8166	-0.0002
50.8620	1.7938	الدوليت	1 1 -6	1.7917	0.0021	لم يُلاحظ	/	لم يُلاحظ	/
54.9230	1.6704	الكوارتز	0 2 2	1.6712	-0.0008	1.6738	-0.0033	1.6701	0.0003
56.5620	1.6258	الكالسيت	2 1 1	1.6255	0.0003	1.6264	-0.0006	1.6232	0.0026
57.3980	1.6041		1 2 2	1.6067	-0.0026	1.6052	-0.0011	1.6017	0.0025
60.0090	1.5404	الكوارتز	1 2 1	1.5422	-0.0018	1.5431	-0.0027	1.5401	0.0003
60.6670	1.5252	الكالسيت	2 1 4	1.5237	0.0015	1.5262	-0.0010	1.5228	0.0024
64.6600	1.4404		3 0 0	1.4367	0.0037	1.4415	-0.0011	1.4709	-0.0305

d_{cal} : المسافة البيئية المأخوذة من بطاقات (ASTM). $2\theta_{cal}$: زوايا الإنعراج المأخوذة من بطاقات (ASTM). d_{obs} : المسافة البيئية المأخوذة من مخطط الإنعراج.

$\Delta d = d_{cal} - d_{obs}$. أخذت قيم $2\theta_{cal}$ و d_{cal} من بطاقات (ASTM) التالية: البطاقة رقم PDF#01-083-1762 بالنسبة للكالسيت و PDF#01-085-0794

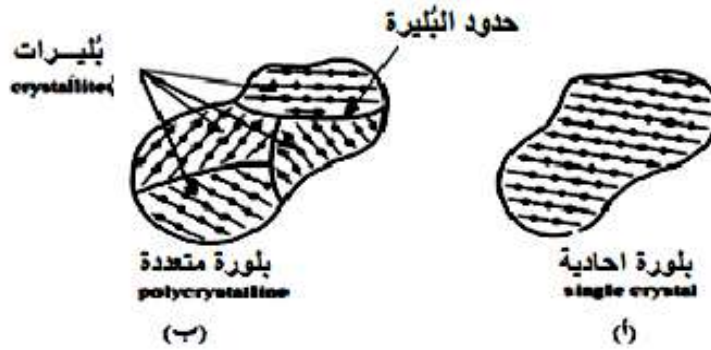
بالنسبة للكوارتز، و البطاقة PDF#01-074-1433 بالنسبة للجبس، و PDF#01-073-2409 بالنسبة للدولوميت.

III.2.3. مقاس البلّيرات (crystallite size):

تتميز المواد الصلبة البلورية عن المواد الصلبة اللابلورية بانتظام بنيتها الداخلية. يتجلى هذا الانتظام في الوحدات البنائية (الخلايا الأساسية) للمواد البلورية (ذرات، جزيئات، شوارد) في أماكن محددة من الشبكة الفراغية. تتكرر هذه الوحدات في الفراغ بانزياحها دوريا نحو الأبعاد الثلاثة. يمكن تمييز نوعين من أشكال المواد البلورية:

أ) البلورات الأحادية (single crystal): و هي الشكل البلوري الأقل انتشارا في الطبيعة، حيث تتعرض عملية تشكل البلورات في الطبيعة إلى شوائب كثيرة، مما يسبب عيوباً و خللاً في البنية البلورية، يحول دون تشكل البلورات الأحادية. تتمتع البلورة الأحادية ببنية داخلية متميزة من حيث التجانس الناتج عن التكرار الدوري للخلية الأساسية، و ذلك بانزياحها بشكل متوازٍ في جميع الاتجاهات، و بذلك تتشارك كل خليتين متجاورتين بالسطح نفسه لتُشكّل شبكة فراغية مستمرة بدون فواصل، مكونةً بلورةً كبيرةً منتظمةً، الشكل (III-5 أ).

ب) البلورات المتعددة، أو التجمع البلوري (polycrystalline): و هو الشكل البلوري الأكثر انتشارا في الطبيعة. تتألف البلورات المتعددة من تجمعات لبلورات أحادية دقيقة تدعى البلّيرات (crystallites) مختلفة التوجّه، يفصل في ما بين هذه التجمعات سطوح فصل لابلورية تعيق حرية حركة الوحدات البنائية في سعيها للتوضع في أماكن أكثر استقراراً في الشبكة البلورية، الشكل (III-5 ب).



الشكل (III-5): بنية المواد البلورية: (أ) بلورة أحادية (ب) بلورة متعددة

تمّ حساب مقاس بلّيرات الكوارتز و الكالسيت في العينات باستخدام معادلة شيرر (Scherer) [72,71] اعتماداً على زاوية الانعراج و عرض الخط لإحدى قمم مخطط الانعراج، و يُعطى بالعلاقة التالية:

$$D = \frac{k\lambda}{\beta_{size} \cos \theta}$$

حيث:

D: مقياس البليرة (crystallite size)

λ : الطول الموجي للأشعة السينية المستخدمة

θ : زاوية ورود الأشعة السينية

k: عامل الشكل، و هو مقدار ثابت يعتمد على شكل الحبيبات النانوية، و مقداره محدود بحدود 0.89

β : عرض خط الانعراج عند منتصف الشدة العظمى (FWHM)، و قد حدّدناه باستعمال برنامج

X'pert، حيث تُدخّل في هذا البرنامج قيم 2θ المتحصل عليها من مخطط الانعراج على مسحوق

الرمل مع قيم شدة الانعراج، فيقوم البرنامج برسم المخطط و تحديد زوايا الانعراج و حساب قيم

العرض عند منتصف ارتفاع الذروة.

لقد حُسِبَ المقياس المتوسط للبليرات لكل عينة من خلال قمم الانعراج الأشد. النتائج مبينة في

الجدول (III-3).

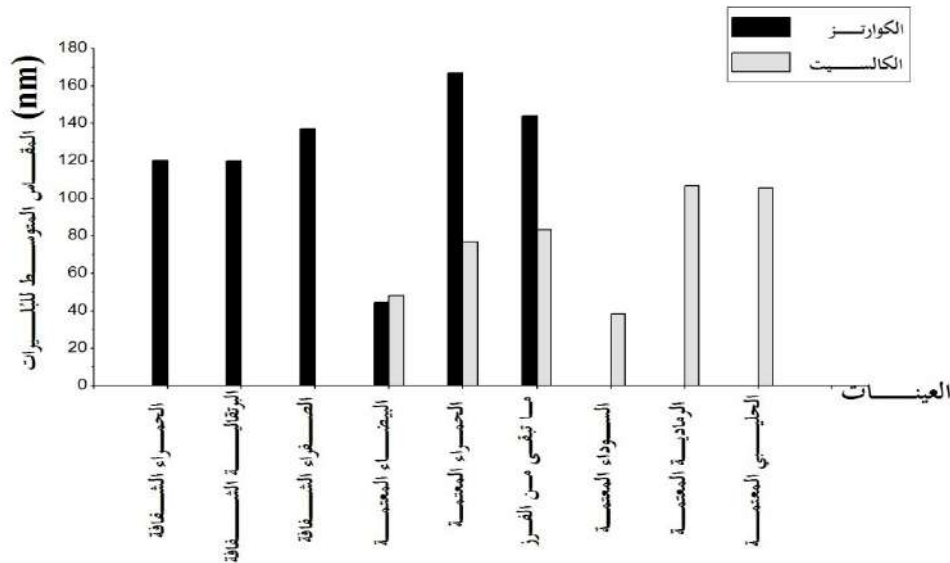
الجدول (III-3): مقياس بليرات الكوارتز و الكالسيت في عينات الرمل المفروزة وفقا لألوان حبيباتها من

رمل كثبان منطقة ورقلة

العينات	مقياس بليرات الكوارتز				مقياس بليرات الكالسيت			
	زوايا الإنعراج ($2\theta^\circ$)	FWHM ($^\circ$)	D (nm)	D _{ave} (nm)	زوايا الإنعراج ($2\theta^\circ$)	FWHM ($^\circ$)	D (nm)	D _{ave} (nm)
الحمراء الشفافة	20.914	0.050	160.287	120.269	/	/	/	/
	26.737	0.101	81.008		/	/	/	
	50.225	0.067	130.560		/	/	/	
	60.029	0.084	109.222		/	/	/	
البرتقالية الشفافة	20.845	0.067	120.202	119.752	/	/	/	/
	26.640	0.067	121.487		/	/	/	
	50.143	0.076	116.014		/	/	/	
	59.946	0.076	121.307		/	/	/	
الصفراء الشفافة	20.874	0.050	160.277	136.895	/	/	/	/
	26.662	0.059	138.848		/	/	/	
	50.175	0.059	149.181		/	/	/	
	59.992	0.092	99.274		/	/	/	
البيضاء المتعمة	20.794	0.384	21.034	44.149	29.349	0.192	42.772	47.879
	26.725	0.072	113.408		36.027	0.240	34.807	
	50.168	0.480	18.274		43.209	0.120	71.205	
	59.931	0.384	23.880		47.618	0.192	45.225	
	/	/	/		48.531	0.192	45.386	
الحمراء المتعمة	20.766	0.025	320.497	166.842	29.323	0.084	97.758	76.685
	26.582	0.042	194.355		35.913	0.134	62.136	
	50.049	0.118	74.552		43.096	0.118	72.629	
	59.894	0.118	77.962		47.451	0.101	86.088	
	/	/	/		48.436	0.134	64.813	

المتبقية من الفرز	20.931	0.059	137.392	143.867	29.495	0.092	88.906	83.734
	26.711	0.076	108.004		36.070	0.092	90.420	
	50.179	0.050	174.047		39.532	0.109	77.304	
	60.020	0.059	156.023		43.242	0.101	84.777	
	/	/	/		47.578	0.084	103.356	
	/	/	/		48.560	0.151	57.640	
السوداء المعتمة	/	/	/	/	29.284	0.144	57.020	38.015
	/	/	/		36.025	0.384	21.754	
	/	/	/		39.357	0.288	29.295	
	/	/	/		43.029	0.192	44.475	
	/	/	/		47.551	0.288	30.142	
	/	/	/		48.611	0.192	45.401	
الرمادية المعتمة	/	/	/	/	29.326	0.084	97.759	106.405
	/	/	/		35.916	0.134	62.136	
	/	/	/		39.366	0.076	111.604	
	/	/	/		43.108	0.059	145.265	
	/	/	/		47.463	0.059	147.587	
	/	/	/		29.468	0.076	108.656	
الحليبية المعتمة	/	/	/	/	36.034	0.101	82.876	105.515
	/	/	/		39.475	0.101	83.732	
	/	/	/		43.242	0.059	145.332	
	/	/	/		47.578	0.059	147.652	
	/	/	/		48.558	0.134	64.845	
	/	/	/					

يمكن تلخيص نتائج الجدول (III-3) في المخطط البياني الموضح في الشكل (III-6).



الشكل (III-6): متوسط مقاس بُليرات الكوارتز و الكالسيت في عينات الرمل المفروزة وفقا لألوان حبيباتها من رمل كثبان منطقة ورقلة

نلاحظ من خلال عرضنا للنتائج أن القيم المتوسطة لمقاسات بُليرات الكوارتز في العينات المدروسة تتراوح ما بين 44 و 166 nm. يبدو من خلال هذه النتائج أن مقدار المقاس المتوسط لبُليرات الكوارتز في العينات الشفافة متقاربة و تتراوح بين 119 و 136 nm، بينما قُدِّر متوسط مقاس بُليرات الكوارتز في العينة الحمراء المعتمة و العينة المتبقية من الفرز بـ 143.867 nm و 166.842 nm على الترتيب، أما العينة

البيضاء المعتمة فقدت بـ 44.149 nm . يمكن إرجاع هذا الاختلاف الكبير لقطر بُليرات الكوارتز في هذه العينة إلى الجهاز المستعمل في تحليل هذه العينة، لأن عرض القمم بالإضافة إلى أبعاد الحبيبات يعزى إلى مجموعة من التأثيرات، يُعدُّ تأثير الجهاز من بينها.

تتراوح القيم المتوسطة لمقاسات بُليرات الكالسيت في العينات المدروسة بين 38 و 111 nm.

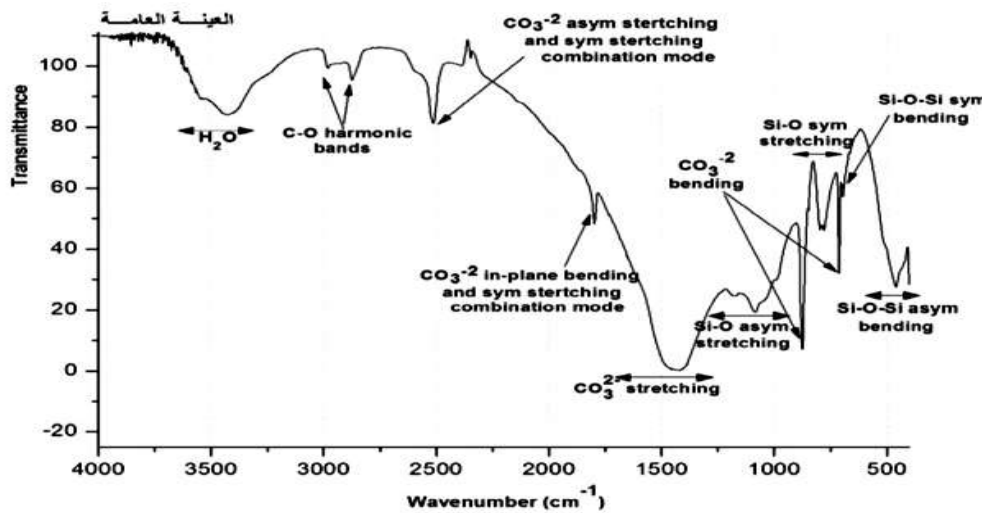
3.III. مطيافية امتصاص الأشعة تحت الحمراء (FTIR):

1.3.III. التركيب الجزيئي للأصناف اللونية لرمل كثنان ورقلة:

تُستخدم تقنية مطيافية الأشعة تحت الحمراء غالباً في تحديد التراكيب الجزيئية للمادة. تتكون المادة من جزيئات، هي بدورها تتشكّل من ذرات ترتبط فيما بينها بروابط كيميائية ذات اهتزازات مركزية، لذا يمكن تشبيه الجزيء بمجموعة هزازات توافقية. هذه الهزازات تمتلك رنيناً ناتجاً عن الاضطراب بجوار حالة الاستقرار. تسمح مطيافية الأشعة تحت الحمراء بمعرفة و دراسة هذا النوع من الاهتزازات.

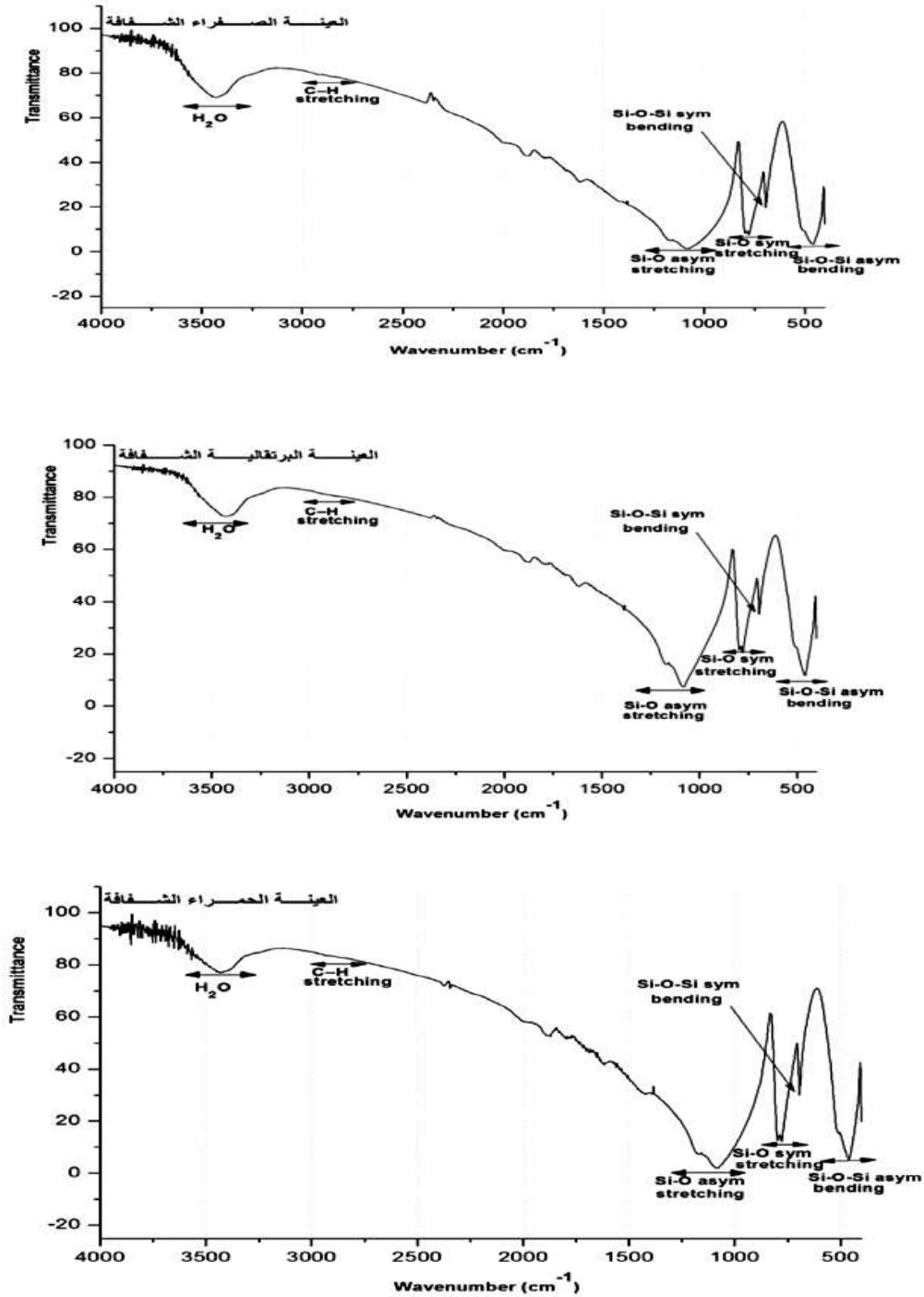
لإجراء تحليل كيميائي للمواد المدروسة يكفي أن تُنسب الأطوال الموجية الممتصة إلى المجموعات الوظيفية الموجودة في المادة استعانةً بالمراجع المتاحة.

يُظهر الشكل (III-7) طيف امتصاص الأشعة تحت الحمراء للعينة العامة التي أُخذت قبل عملية الفرز اللوني. إن مقارنة أشرطة الامتصاص في طيف عيناتنا مع ما هو منشور في المراجع المختلفة [7,8,42,60,76-82] يشير إلى أن أغلب الروابط الموجودة في رملنا تعود إلى الكوارتز و الكالسيت، و هو ما يتوافق تماماً مع نتائج مطيافية XRD السابقة. كما توجد روابط أخرى تعود إلى الماء و الجبس و الدوليت و بعض الشوائب العضوية [83-86].

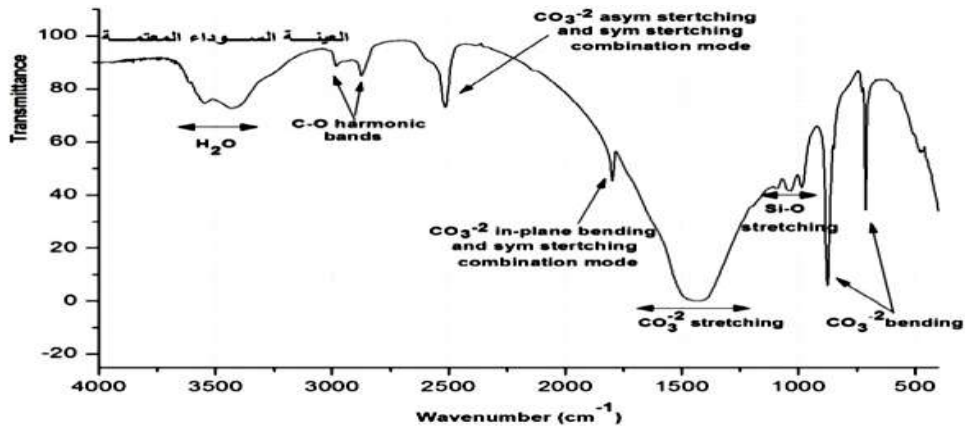
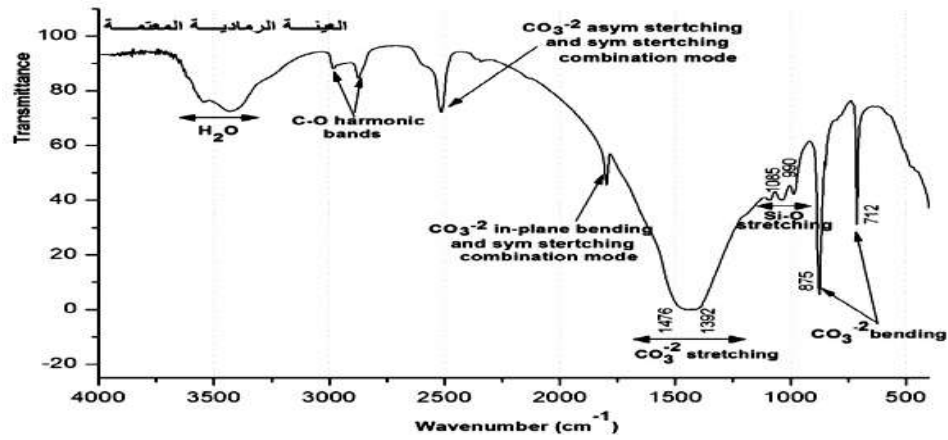
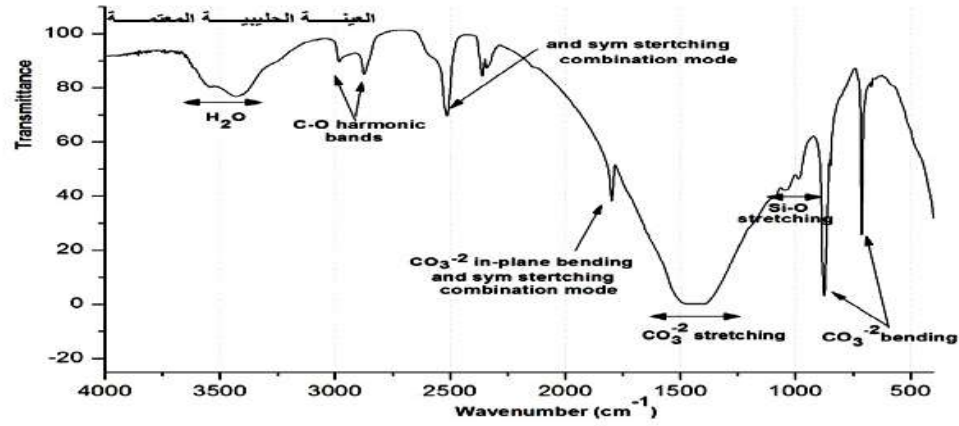


الشكل (III-7): طيف امتصاص الأشعة تحت الحمراء للعينة العامة

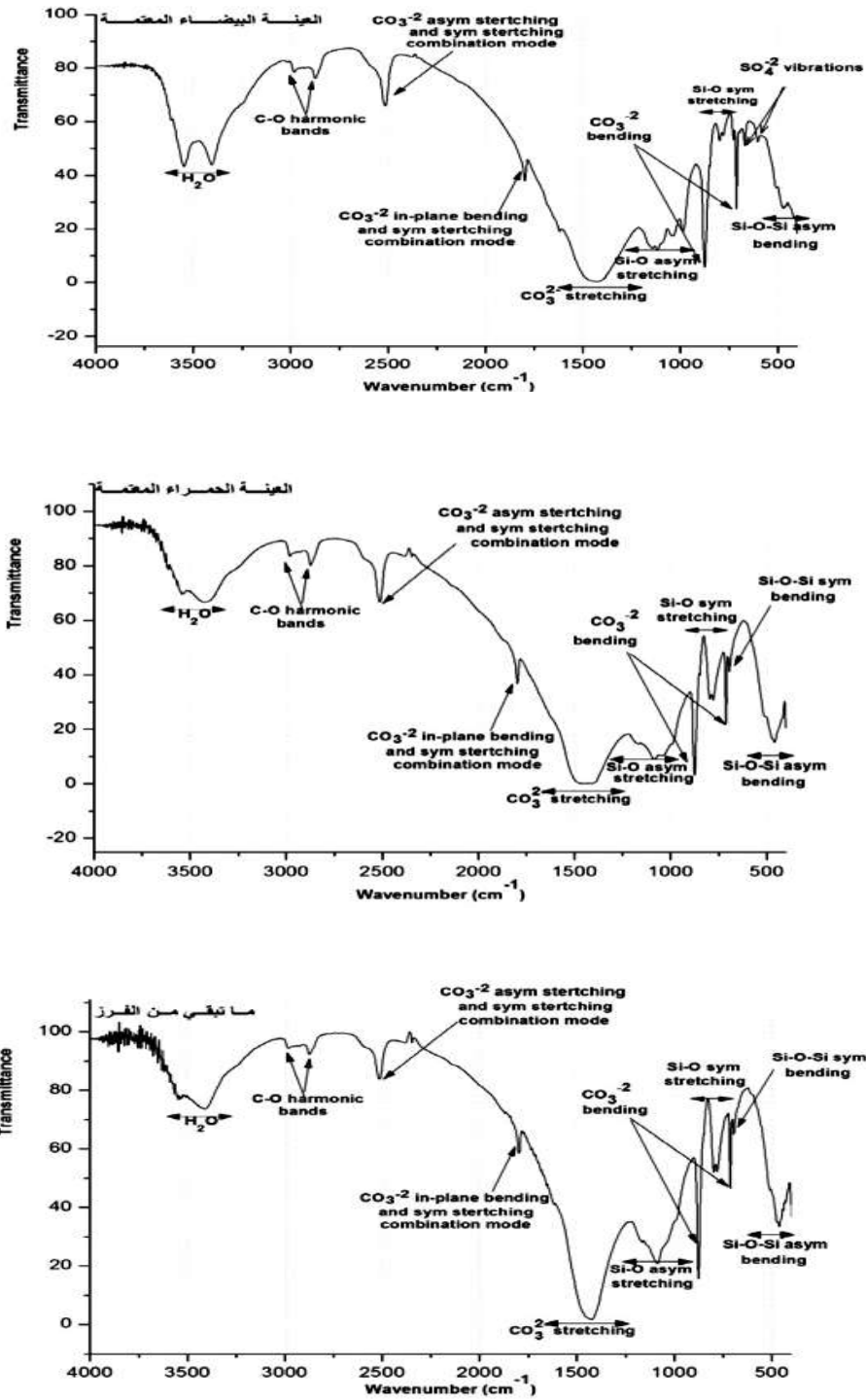
لقد أجرينا قياسات مطيافية (FTIR) على عينات رملنا المفروزة، فكانت الأطياف الظاهرة في الأشكال (8-III)، (9-III)، (10-III).



الشكل (8-III): أطياف امتصاص الأشعة تحت الحمراء تحت الحمراء للعينات الشفافة



الشكل (III-9): طيف امتصاص الأشعة تحت الحمراء للعينات المعتمة الحليبية و الرمادية و السوداء



الشكل (III-10): طيف امتصاص الأشعة تحت الحمراء للحمراء للعينات المعتمة البيضاء و الحمراء و المتبقية من الفرز

لقد أبدت أطيف عيناتنا اختلافات واضحةً في العديد من مناطق الطيف؛ فبعض أشرطة الامتصاص برزت في بعض العينات، ثم نقصت شدتها أو اختفت في بعضها الآخر. يرجع ذلك إلى الاختلاف في تراكيبها. الجدول (4-III) يلخص أهم هذه الاختلافات.

الجدول (4-III): المقارنة بين أطيف FTIR للعينات المفروزة وفقاً لألوان حبيباتها من رمل كثبان منطقة ورقلة

نمط الاهتزاز	المركب	المتبقية من الفرز	العينات الشفافة			العينات المعتمة					العينات العامة	العدد الموجي (cm ⁻¹)	
			الحمراء	البرتقالية	الصفراء	الحمراء	الحلبيبة	السوداء	الرمادية	البيضاء			
اهتزاز التمدد لرابطة O-H (stretch vibrations)	ماء ممتص	x					x	x	x	x	x	3737	3800-3200
		XX				XX	XX	XX	XX	XXX	XX	3544	
		XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XXX	XX	3400	
		x				x	x	x	x	x	x	3246	
تمدد غير متناظر للرابطة C-H	الكالسييت	x				x	x	x	x	x	x	2980	
إضطراب الرابطة C-O (harmonic bands)	شوائب عضوية	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	2925	
تمدد غير متناظر للرابطة C-H	الكالسييت	XX				XX	XX	XX	XX	XX	XX	2875	
اضطراب لرابطة C-O (harmonic bands)	شوائب عضوية		x	x	x							2854	
الجمع بين التمدد غير المتناظر و التمدد المتناظر ل CO ₃ ⁻² asymmetrical stretch and symmetrical stretching combination mode	الكالسييت	XXX				XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	2512	
الجمع بين التمدد المتناظر و الانحناء في مستوي الاتزان ل CO ₃ ⁻² plane bending and symmetrical stretching combination mode		XX				XX	XX	XX	XX	XX	XX	1795	
تمدد غير متناظر ل CO ₃ ⁻² asymmetrical stretching vibration	الكالسييت	XXX	x	x	x	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	1392-1476	

إهتزاز تمدد غير متناظر Si-O Si - O asymmetrical stretching vibration	الكوارتز	x	xxx	xxx	xxx	x	x		x	x	x	1170
إهتزاز تمدد غير متناظر SO_4^{-2} SO_4^{-2} asymmetrical stretching vibration	الجبس									x		1116
إهتزاز تمدد غير متناظر Si-O Si - O asymmetrical stretching vibration	الكوارتز	x	xxx	xxx	xxx	xx	x	x	x	x	xx	1085
						x				x	x	1045
		x					x	x	x			1033
		x				x	x	x	x	xx	x	985
إحناء خارج مستوي الإتران CO_3^{-2} CO_3^{-2} out of plane bending	الكالسيت	xxx				xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	875
إهتزاز تمدد متناظر Si-O Si - O symmetrical stretching vibration	الكوارتز	xx	xxx	xxx	xxx	xx		x	x	xx	xxx	797
		xxx	xxx	xxx	xxx	xx					xx	xxx	778
إهتزاز انحناء في مستوي الإتران CO_3^{-2} CO_3^{-2} in-plane bending	الدولوميت									xx		729
	الكالسيت	xxx				xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	712
إهتزاز انحناء متناظر Si-O-Si Si - O- Si symmetrical bending vibration	الكوارتز	xx	xxx	xxx	xxx	xx				xx	x	695
إهتزاز انحناء غير متناظر SO_4^{-2} SO_4^{-2} asymmetrical bending vibration	الجبس									xx		670
										xx		603
إهتزاز انحناء غير متناظر Si-O Si - O asymmetrical bending vibration	الكوارتز											513
		x	xxx	xxx	xxx	x		x	x	x	xx	460

تشير أشربة الامتصاص عند 460، 513، 695، 778، 797، 985، 1033، 1045، 1085، 1170 cm^{-1} إلى وجود الكوارتز في عينات رملنا [8،60،69،79-82]. تختلف شدات هذه الامتصاصات من عينة إلى أخرى؛ فقد كانت شديدة و حادة في جميع العينات الشفافة، في حين كانت عريضة و أقل شدة في العينات البيضاء و الحمراء و المتبقية من الفرز، و بدا بعضها الآخر ضعيفا في العينات ذات الحبيبات السوداء و الرمادية و الحليبية، و هو ما أكدته نتائج تقنية (XRD).

يُنسب الامتصاص المزدوج الذي يظهر عند حوالي 1170 cm^{-1} و 1085 cm^{-1} إلى اهتزاز التممد اللامتناظر للرابطة Si-O للكوارتز [8].

لوحظت أشربة امتصاص ضعيفة الشدة في العينات المعتمة و العينة المتبقية من الفرز عند حوالي 1045 cm^{-1} ، 1033، 985، و هي تشير إلى وجود الكوارتز، حيث تعود إلى اهتزاز التممد اللامتناظر للرابطة Si-O [8].

يُستعمل الامتصاص عند حوالي 800 cm^{-1} لتحديد مختلف أنواع السيليكا [8،79]، ففي حالتنا هذه يدل الامتصاص المزدوج عند حوالي 797 و 778 cm^{-1} على وجود السيليكا من الصنف α [79]، و يُنسب إلى التممد المتناظر للرابطة Si-O [7].

يشير شريط الامتصاص عند 695 cm^{-1} إلى وجود الكوارتز في شكل متبلور [77،8]، و ينسب إلى اهتزاز الانحناء المتناظر Si-O-Si. لوحظ شريط امتصاص عند 460، 513 cm^{-1} يعود إلى اهتزاز الانحناء اللامتناظر للرابطة Si-O-Si.

جملة أخرى من أشربة الامتصاص ظهرت عند 712، 875، 1392-1476، 2512، 1795، 2875 و 2980 cm^{-1} ، و هي مؤشر على وجود الكالسيت [60،69،80،82]. لقد بدت هذه الأشربة بارزة في العينات المعتمة؛ إذ كانت شديدة في كل من العينة السوداء و العينة الرمادية و العينة الحليبية، و متوسطة في العينة الحمراء و العينة البيضاء و العينة المتبقية من الفرز، بينما اضمحلت في جميع العينات الشفافة.

يشير شريط الامتصاص الذي يظهر عند حوالي 1430 cm^{-1} إلى اهتزاز التممد غير المتناظر لأيون الكربونات CO_3^{2-} [69]، أما الشريط 875 cm^{-1} فيدل على انحناء هذا الأيون خارج مستوى اتزان (out-of-plane bending)، في حين يدل الشريط 712 cm^{-1} على انحنائه في مستوى اتزان (in-plane bending) [79]. يُشير الامتصاص الأقل جِدَّةً عند 1795 cm^{-1} إلى الجمع بين الانحناء في مستوى الاتزان و التممد المتناظر، كما يُنسب الامتصاص المشابه عند 2512 cm^{-1} إلى الجمع بين التممد غير المتناظر و التممد المتناظر لهذه الأيونات [69،79].

لوحظت أيضا عدة أشربة ضعيفة الشدة في طيف العينة البيضاء المعتمة عند حوالي 603 و 669 و 3404 و 3547cm^{-1} ، كلها تشير إلى وجود الجبس [85،83]. شريط امتصاص آخر عند حوالي 729cm^{-1} يشير إلى وجود الدوليت، و هو بسبب انحناء CO_3^{-2} في مستوي اتزان [84]. لوحظت أيضا أشربة امتصاص ذات شدات ضعيفة جدا عند حوالي 2855 و 2925cm^{-1} في أطراف بعض العينات، الأشكال (8-III)، (9-III)، (10-III) و الجدول (4-III)، يمكن نسبتها إلى وجود شوائب عضوية [86،76]، و هي تعبر عن اهتزاز الرابطة C-H. تُظهر بعض أطراف امتصاص الأشربة تحت الحمراء وجود الماء عند حوالي 3400، 3436، 3544، 3737cm^{-1} ، و هي تُنسب إلى اهتزاز التمديد لمجموعة الهيدروكسيل OH - [84،69].

2.3.III. دليل تبلور الكوارتز:

يُطلق اسم التبلور على العملية التي تتشكل خلالها بلورات المادة. يعتمد تبلور المواد على عدة عوامل؛ فالتبريد السريع جدا مثلا عاملٌ مهمٌ في تكوّن الزجاج البركاني، بينما يؤدي التبريد البطيء إلى تكوّن البلورات و نموها. من جهةٍ أخرى فإن الزوجة العالية للصحارة الغنية بالسيليكا تعيق تحرك الأيونات إلى مواقع التبلور، و بذلك تُحد من تكوّن البلورات.

يُحدّد التبلور عادة من خلال دليل التبلور (درجة التبلور)، و هو يُعبّر عن النسبة بين كمية المواد المتبلورة و الكمية الكلية للمادة (المتبلورة و غير المتبلورة) [77]. كلما زاد تبلور المادة نقصت قيمة دليل التبلور.

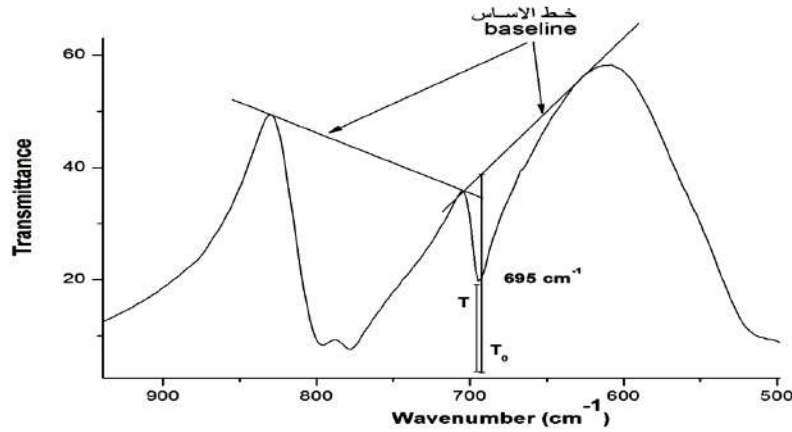
يمكن استنباط دليل تبلور الكوارتز بحساب النسبة بين شدتي الامتصاص عند 695cm^{-1} و 797cm^{-1} [77]. شريط الامتصاص عند 695cm^{-1} هو بسبب الاهتزازات عند حالة التناظر ثنائي السطوح، بينما الاهتزاز عند 797cm^{-1} يرجع إلى الاهتزازات عند حالة التناظر رباعي السطوح [8]. تُحدّد قيمة الامتصاصية انطلاقا من خط الأساس [88،87،64] كما هو موضح في الشكل (11-III)، وفعًا للعلاقة:

$$A = \log_{10} \frac{T_0}{T}$$

حيث:

T_0 : النفاذية عند خط الأساس.

T: النفاذية عند قمة الامتصاص.



الشكل (III-11): طريقة تحديد قيم الامتصاص انطلاقاً من خط الأساس

يبين الجدول (III-5) نتائج حساب دليل التبلور للعينة العامة و العينات التي فرزت وفقاً لألوان حبيباتها.

الجدول (III-5): دليل تبلور الكوارتز في عينات الرمل المدروسة

درجة التبلور $A_{(797)} / A_{(695)}$	695 cm^{-1}			797 cm^{-1}			قيم الامتصاص	
	$A = \log_{10}(T_0/T)$	T_0	T	$A = \log_{10}(T_0/T)$	T_0	T	العينات	
3.327	0.117	64.30	57.22	0.388	67.92	46.07	العامة	
5.862	0.024	57.27	55.92	0.140	60.69	52.77	العينات المعتمة	
\	\	\	\	0.0384	72.01	69.3		البيضاء
\	\	\	\	0.0239	81.4	79.48		الرمادية
\	\	\	\	\	\	\		السوداء
\	\	\	\	\	\	\		الخليبية
3.028	0.176	49.06	41.15	0.532	52.88	31.05	الحمراء	
2.518	0.681	38.88	19.68	1.715	45.93	8.27	العينات الشفافة	
2.012	0.963	51.56	19.68	1.939	57.47	8.27		الصفراء
2.692	0.572	53.12	29.98	1.540	58.38	12.52		البرتقالية
2.692	0.572	53.12	29.98	1.540	58.38	12.52		الحمراء
3.885	0.097	71.49	64.86	0.378	75.78	51.92	العينة المتبقية من الفرز	

تُبيّن هذه النتائج أن الكوارتز يبدي تبلوراً جيداً؛ إذ يتبلور في العينات الشفافة أفضل ممّا في العينات الأخرى، كما يظهر جلياً أن دليل تبلوره في العينة العامة هي القيمة المتوسطة لدلائل التبلور في العينات المفروزة، و هو ما يؤكده الحساب التالي:

$$\frac{5.862+3.028+2.518+2.012+2.692+3.885}{6} = 3.332 \approx 3.327$$

3.3.III. معامل الخمود (التوهين) الكتلي:

يُعرّف معامل الخمود على أنه مقدار التوهين الحاصل في شدة الأشعة الكهرومغناطيسية نتيجة تفاعلها مع المادة [89]. أثناء مرور حزمة من الأشعة الكهرومغناطيسية خلال وسط معترض (المادة) فإن كل فوتون من هذه الحزمة قد ينعكس أو يُمتص أو ينفذ [90].

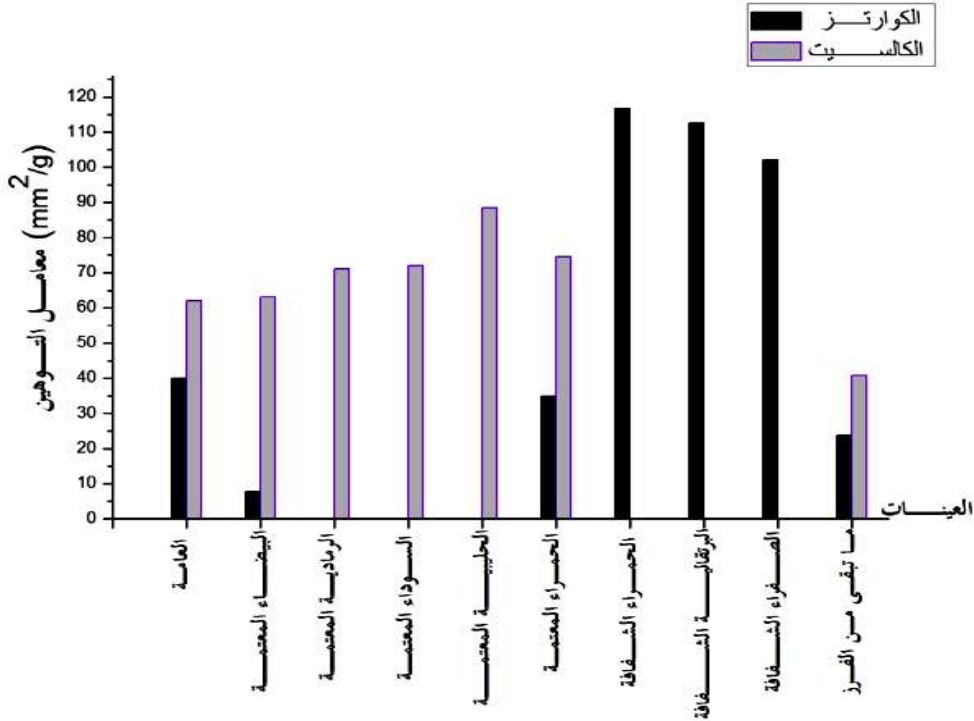
يُعتبر معامل الخمود مقياساً لشدة امتصاص المادة للضوء عند طول موجي معين، و هو متعلق بالمركبات الكيميائية الموجودة في المادة و كميتها. يمكن حساب معامل الخمود الكتلي باستخدام العلاقة التالية [91] $k = \frac{AS}{m}$ ، حيث: m: كتلة العينة. S: مساحة قرص العينة. A: الامتصاصية، و تُحدّد قيمتها بإيجاد اللوغاريتم العشري للنسبة بين النفاذية عند خط الأساس و عند قمة الامتصاص المعني، كما هي موضحة في الشكل (III-11).

بيّنت نتائج التقنيات السابقة أن عينات الرمل المدروسة تتكوّن في أغلبها من الكوارتز أو الكالسيت أو هُما معا، و بالتالي فقد حسبنا معامل التوهين الكتلي لكل من الكوارتز و الكالسيت في مختلف الأصناف اللونية الموجودة في رمال منطقة ورقلة، و ذلك بالاعتماد على شدة الامتصاص المميز عند حوالي 777 cm^{-1} للكوارتز [92] و 875 cm^{-1} للكالسيت [60]. الجدول (III-6) يبيّن النتائج المحسوبة لمعامل التوهين الكتلي للكوارتز و الكالسيت للعينات المدروسة.

الجدول (III-6): معامل التوهين الكتلي للكوارتز و للكالسيت لمختلف الأصناف اللّونية لرمال كنهان منطقة ورقلة

الكالسيت		الكوارتز		العينات
معامل الخمود (mm ² /g)	الامتصاصية عند 875 cm ⁻¹	معامل الخمود (mm ² /g)	الامتصاصية عند 778 cm ⁻¹	
62,089	0,936	39,997	0,603	العامة
63,016	0,950	7,694	0,116	البيضاء
71,093	1,072	\	\	الرمادية
72,002	1,085	\	\	السوداء
88,376	1,332	\	\	الحليبية
74,554	1,124	34,823	0,525	الحمراء
\	\	116,608	1,758	الصفراء
\	\	112,628	1,698	البرتقالية
\	\	102,148	1,540	الحمراء
40,760	0,614	23,680	0,357	المتبقي من الفرز

يمكن تلخيص نتائج الجدول (III-6) في المخطط البياني الموضح في الشكل (III-12).



الشكل (III-12): معامل التوهين الكتلي للكوارتز و للكالسيوم لمختلف الأصناف اللونية لرمال كسبان منطقة ورقلة

يبين الجدول (III-6) و الشكل (III-12) نتائج معامل التوهين الكتلي للكوارتز و الكالسيوم للعينات المدروسة.

يتراوح مقدار معامل التوهين للكوارتز في العينات الشفافة و العينات الحمراء المعتمة و البيضاء المعتمة و العينة المتبقية من الفرز بين 7,694 و 116,608 mm²/g. يبدو من خلال هذه النتائج ارتفاع مقدار معامل التوهين للكوارتز في العينات الشفافة مقارنةً بالعينات الحمراء المعتمة و البيضاء المعتمة و المتبقية من الفرز.

نشير إلى أننا لم نتمكن من حساب معامل التوهين للعينات المعتمة الحليبية و الرمادية و السوداء، و ذلك بسبب غياب شريط الامتصاص المميز للكوارتز عند 777 cm⁻¹ في هذه العينات.

تَراوح مقدار معامل التوهين للكالسيوم في العينات المعتمة بين 40,76 و 88,376 mm²/g، بينما لم يكن حساب هذا المعامل ممكنًا للعينات الشفافة، و ذلك بسبب غياب شريط الامتصاص الخاص بالكالسيوم في العينات الشفافة.

4.III. نتائج التحليل بواسطة تفلور الأشعة السينية (XRF):

يبين الجدول (7-III) التركيب الكيميائي للعينة العامة و العينات المفروزة حسب ألوانها من رمل كثبان منطقة ورقلة. لقد استخدمنا لذلك جهازاً تحليلٍ موجودٍ بمصنع الإسمنت بعين التوتة (باتنة)، و هو يعمل وفق تقنية الفلورة المعتمِدة على تشتت طاقة الأشعة السينية المتبعثرة (ED-XRF)، كما أنه مبرمج للكشف عن تراكيز بعض الأكاسيد المعدنية الداخلة في صناعة الإسمنت، إذ يقوم الجهاز أولاً بتحديد تراكيز العناصر الكيميائية الموجودة في العينات، ثم الاستعانة ببعض البرامج المساعدة. تسعى هذه البرامج إلى الربط بين تراكيز العناصر و نسبها المولية ضمن الأكاسيد التي تحتويها، و بالتالي فإنها تعطي تراكيز أكاسيد العناصر لا تركزيز العناصر ذاتها.

الجدول (7-III): تراكيز الأكاسيد الملاحظة في العينات المفروزة حسب ألوانها من رمل كثبان منطقة ورقلة (%)

الأكاسيد	العينة العامة	العينات المعتمنة					العينات الشفافة			المتبقية من الفرز
		السوداء	الرمادية	الحلبيية	البيضاء	الحمراء	الصفراء	البرتقالية	الحمراء	
SiO ₂	44.63	5.91	4.53	3.83	19.41	34.38	93.49	92.07	92.12	37.71
CaO	25.98	55.52	56.21	56.98	38.55	32.82	4.06	3.22	3.88	29.45
Fe ₂ O ₃	1.44	0.33	0.09	Nd	0.57	1.06	4.96	5.20	5.34	1.49
Al ₂ O ₃	Nd	nd	nd	Nd	0.03	0.24	nd	nd	Nd	Nd
SO ₃	0.35	0.58	0.65	0.50	1.65	0.38	nd	nd	Nd	0.55
Na ₂ O	0.65	1.15	1.15	1.17	0.89	0.77	0.32	0.31	0.33	0.71
MgO	0.17	1.26	1.57	1.55	5.91	0.36	nd	nd	Nd	0.85
المجموع	73.22	64.75	64.2	64.03	67.01	70.01	102.83	100.8	101.67	70.76

nd تعني أن المركب لم يظهر في العينة.

نشير إلى أن بعض المجاميع في الجدول (7- III) تَقَلُّ عن 100% أو تفوقها. يمكن تبرير ذلك بأن تقنية XRF لا يمكنها الكشف عن كل العناصر في العينات المدروسة، لذا فإن مجموع النسب سيبدو أقل من 100%. أما للحالات التي تفوق 100% فإنه يمكن تبريرها بكون تقنية XRF طريقة تحليل عنصري، فهي تعطي تراكيز العناصر لا المركبات، ثم تستخدم برامج حسابية لتحويلها إلى تراكيز مركبات، مما قد يجعلها تأخذ في الحسبان بعض العناصر مرتين أو أكثر، فمثلا الجهاز الذي استخدمناه (مصنع الإسمنت - عين التوتة - باتنة) يحول التراكيز العنصرية إلى الأكاسيد الغالب تواجدها في الإسمنت أو في المواد الخام التي يُستخرج منها، لذا فإن الأكسجين قد يتكرر مع أكثر من أكسيد، كما أن المعادن قد تكون مؤكسدة بأشكال مختلفة، مثال ذلك (FeO, Fe₂O₃, Fe₃O₄) و هكذا.

يمكن تحويل نسب الأكاسيد الواردة في الجدول (III-7) إلى نسب العناصر التي تتضمنها، و ذلك بالاستناد إلى الكتل المولية للأكاسيد الموجودة ضمنها؛ فمثلا لحساب نسبة السيليسيوم تجري ما يلي:
الكتلة المولية لأكسيد السيليسيوم هي:

$$M_{SiO_2} = M_{Si} + 2M_O = 28.0855 + 2 \times 15.9994 = 60.0843 \text{ g}$$

و بالتالي فإن النسبة المحسوبة لعنصر السيليسيوم فيه هي:

$$P_{Si} (\text{calculé}) \equiv \frac{M_{Si}}{M_{SiO_2}} = \frac{28.0855}{60.0843} = 46.74$$

و عليه إذا كانت النسبة المقيسة لأكسيد السيليسيوم في العينة هي $P_{SiO_2} (\text{experimental})$ فإن النسبة المقيسة لعنصر السيليسيوم في العينة ستكون:

$$P_{Si} (\text{experimental}) = P_{SiO_2} (\text{experimental}) \times P_{Si} (\text{calculé})$$

الجدول (III-8) يلخّص نتائج حسابات تراكيز العناصر المختلفة في عينات الرمل المدروسة.

الجدول (III-8): تراكيز العناصر الكيميائية الموجودة في العينات المفروزة حسب ألوانها من رمل كتيان منطقة ورقلة (mg/kg)

العناصر	العينة العامة	العينات المعتمة					العينات الشفافة			المستبقية من الفرز
		السوداء	الرمادية	الحليبية	البيضاء	الحمراء	الصفراء	البرتقالية	الحمراء	
Si	208700	27630	21180	17900	90745	160733	437004.9	430367.3	430601	176300
Ca	185600	396830	400780	402620	275540	234580	29016.45	23013.04	27730	210500
Fe	10070	2308	629	nd	3987	7414	34691.51	36370.13	37349.32	10422
Al	nd	nd	nd	nd	160	1270	nd	nd	nd	nd
S	1400	2320	2600	2990	6610	1522	nd	nd	nd	2200
Na	4820	8532	8530	8680	6600	5710	2380.858	2306.456	2455.26	5270
Mg	1030	7570	9460	9350	35640	2170	nd	nd	nd	5120

nd تعني أن المركب لم يظهر في العينة. $ng/kg \equiv 10^{-4}\%$

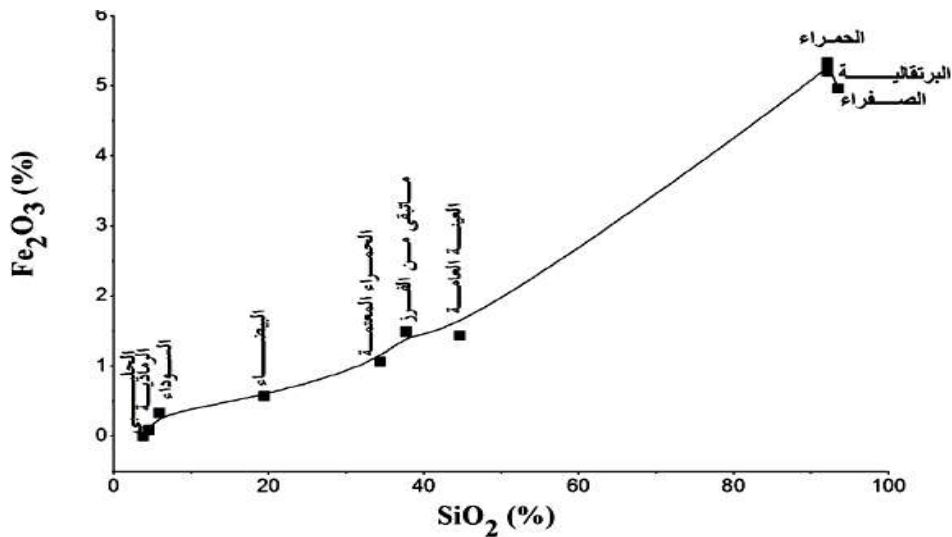
تُظهر نتائج التحليل باستخدام هذه التقنية أن العينة العامة تحوي نسباً معتبرةً من ثاني أكسيد السيليسيوم (SiO_2) 44.63%، و أكسيد الكالسيوم (CaO) 25.98%، في حين لم تتعدّ الأكاسيد الأخرى -مجتمعةً- 3%، و هو ما أكدته نتائج التحليلين السابقين؛ إذ أظهرت حينها مخططات انعراج الأشعة السينية هيمنةً خطوط انعراج الكوارتز و الكالسيت على أغلب المخطط، كما أن أطياف FTIR تُظهر بوضوح أشرطة الامتصاص التي تعود للكوارتز و للكالسيت.

من المهم جدا الإشارة إلى أن الأكاسيد الملاحظة في التحليل بـ ED-XRF قد تكون جزءاً من مركبات أخرى؛ فأكسيد الكالسيوم (CaO) مثلا موجود ضمن الكالسيت (CaCO₃)، و هو ما تؤكدته نتائج التقنيات الطيفية السابقة.

لقد بدا جلياً أن العينات ذات الحبيبات الشفافة تتميز بارتفاع نسبة أكسيد السيليسيوم (SiO₂) فيها إذ تجاوزت 92 %، في حين لم تكدُ تبلغ 6 % في العينات المعتمة: الحليبية و الرمادية و السوداء. من جهة أخرى فإن العينتين المعتمتين: الحمراء و البيضاء، و كذا العينة المتبقية من الفرز بلغت نسبة أكسيد السيليسيوم فيها 34.38 % و 19.41 % و 37.71 % على الترتيب.

تؤكد هذه النتائج أن عينات الرمل ذات الألوان المختلفة لها تراكيب متباينة، على الأقل من حيث تراكيزها.

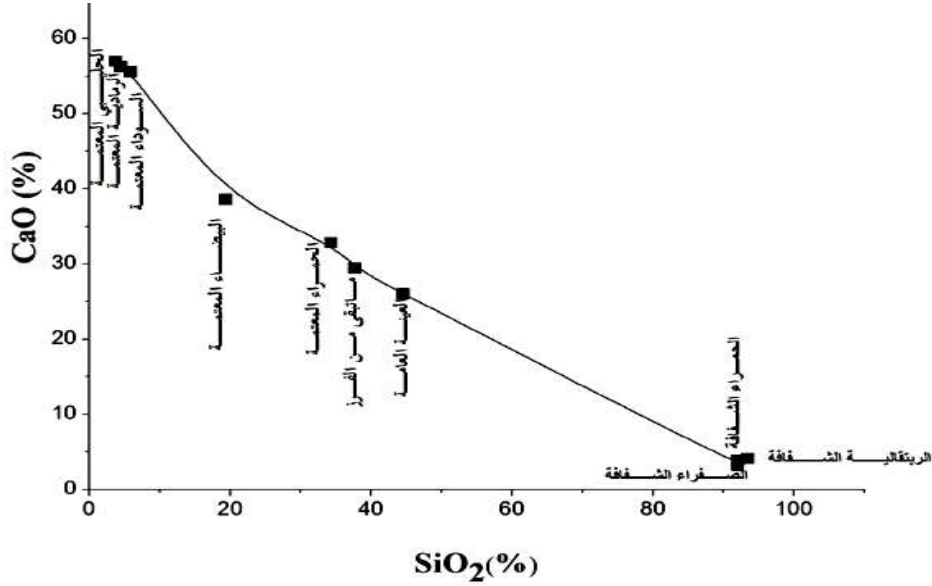
نلاحظ أيضا أن هناك علاقة شبة طردية بين نسبة الكوارتز (SiO₂) و نسبة أكسيد الحديد الثلاثي (Fe₂O₃) في العينات المدروسة؛ فكلما زادت نسبة الكوارتز زادت معها نسبة أكسيد الحديد، الشكل (III-13)، مما قد يدل على أن الحديد يوجد كشائبة داخل تركيبة الكوارتز، و هذا ما قد يفسر اختفاء قمم امتصاص أكسيد الحديد في أطياف FTIR و كذا خطوط انعراجه في مخططات XRD.



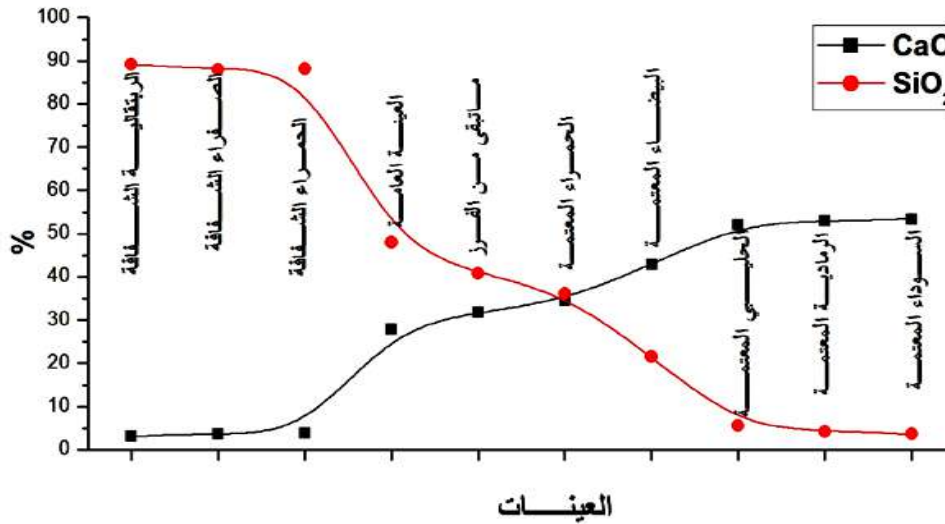
الشكل (III-13): العلاقة بين نسبة الكوارتز و نسبة أكسيد الحديد في العينات المدروسة

لقد تميزت العينات المعتمة بنسب عالية من أكسيد الكالسيوم (CaO)، إذ بلغت نسبته في العينات الحليبية و الرمادية و السوداء حوالي 55 %، في حين لم تكدُ تبلغ هذه النسبة في العينات الشفافة 4 %.

من جهة أخرى فإن ارتفاع نسبة أكسيد الكالسيوم (CaO) يرافقه انخفاض في نسبة الكوارتز (SiO_2)، الشكل (III-14)، و كأن هناك تبادلا بين هذين المركبين في الحبيبات الملونة، فزيادة أحدهما متبوعة بنقصان الآخر، الشكل (III-15).



الشكل (III-14): العلاقة بين نسبة الكوارتز و أكسيد الكالسيوم



الشكل (III-15): الكوارتز و الكالسييت (نقصان أحدهما على حساب الآخر)

تحتوي العينات المعتمة الحمراء و البيضاء و العينة المتبقية من الفرز نسبًا معتبرًا من أكسيد السيليسيوم و أكسيد الكالسيوم؛ فهما في الحمراء 34.38 % و 32.82 %، و في البيضاء 19.41 % و 38.55 % و في الأخيرة 37.71 % و 29.45 % على الترتيب.

لقد تميزت العينة المعتمة البيضاء عن كل العينات باحتوائها نسبةً معتبرًا من أكسيد المغنيزيوم (MgO)، فلقد بلغت نسبته 5.91 %، في حين لم تكد تبلغ 1.57 % في بقية العينات المعتمة، بينما لم يظهر في العينات الشفافة.

لتسهيل التفسير و المقارنة سنصنّف عيناتنا وفقًا لتراكيبها الأساسية إلى ثلاثة أصناف: صنف أول هو العينات الكوارتزيتية، يضم العينات الشفافة (الصفراء و البرتقالية و الحمراء)، و صنف ثانٍ هو العينات الكلسية، و تضم العينات المعتمة (الحليبية و الرمادية و السوداء)، و صنف ثالث هو العينات الكلسية الكوارتزيتية، و تضم العنيتين المعتمتين الحمراء و البيضاء.

تميز العينات الكوارتزيتية بنسبة معتبرًا من الحديد Fe و نسبة ضئيلة جدا من الصوديوم (Na)، في حين لم تظهر أي آثار للمغنيزيوم (Mg) أو الكبريت (S) أو الألمنيوم (Al) فيها.

يبدو جليًا تزايد نسبة الحديد بتزايد احمرار العينات الشفافة، فهو 3.47% في الصفراء، و 3.64% في البرتقالية، و 3.74% في الحمراء، لذا فإننا نرجّح أن يكون تزايد اللون الأحمر في حبيبات الرمل الشفافة (الكوارتزيتية) راجعًا إلى تزايد تركيز أكسيد الحديد Fe فيها، و هو ما يتفق مع ما أشار إليه Makreski P (2004) et al [42] من أن وجود أكاسيد الحديد هو المسؤول عن احمرار الكوارتز، كما يُؤكّده مرّة أخرى ارتفاع نسبة الحديد (0.74%) في العينة المعتمة الحمراء مقارنةً بنظيراتها من العينات المعتمة، فهو 0.4% في البيضاء، و 0.063% في الرمادية، و 0.23% في السوداء، و لم يُظهِر له أثر في العينة الحليبية.

واضحٌ جدا تناقصُ نسبة الكبريت (S) كلما مالت العينات المعتمة إلى السواد، فهي في البيضاء 0.66% و في الحليبية 0.30% و في الرمادية 0.26% و في السوداء 0.23%. كذلك الحال بالنسبة للمغنيزيوم، فهو في البيضاء 3.56% و في الحليبية و الرمادية 0.94% و في السوداء 0.23%.

إنفردت العينتان المعتمتان البيضاء و الحمراء -دون غيرهما من كل عينات الرمل- باحتوائهما بعض أثرٍ للألمنيوم (Al)، فهو 0.13% في الحمراء، و 0.016% في البيضاء.

زيادةً على ذلك انفردت العينة المعتمدة البيضاء عن كل العينات -دون استثناء- بنسبةٍ معتبرةٍ جدًا (3.56%) من المغنيزيوم (Mg)، كما أن نسبة الكبريت (S) فيها (0.66%) فاقت بكثير نسبته في باقي العينات الكلسية، فهو 0.3% في الحليبية، و 0.26% في الرمادية، و 0.23% في السوداء. من جهة أخرى فإن نسبة الصوديوم (Na) في العينات الكلسية (الحليبية و الرمادية و السوداء) متقاربة جدا، فهي في حدود 0.85% .

يتناقص تركيز الحديد كلما كانت الحبيبات الكلسية مائلةً إلى اللون الفاتح، فهو 0.23% في السوداء، و 0.063% في الرمادية، و ينعدم تماما في الحليبية. في قياسات منفصلة باستخدام تقنية الفلورة المعتمدة على تشتت الطول الموجي للأشعة السينية المتبعثرة (WD-XRF) على عيناتنا، تبين أنها تحمل آثاراً جَدَّ ضئيلةً لعناصر أخرى، كالباريوم و المنغنيز و السترانشيوم و التيتانيوم و النحاس و الزنك و الزركينيوم ... الخ، الجدول (III-9).

الجدول (III-9): تراكيز العناصر الملاحظة كأثار في العينات المفروزة حسب ألوانها من رمل كتيبان منطقة ورقلة (mg/kg)

العناصر	العينة العامة	العينات المعتمدة					العينات الشفافة			المتبقية من الفرز
		السوداء	الرمادية	الحليبية	البيضاء	الحمراء	الصفراء	البرتقالية	الحمراء	
Ba	553.53	381.94	291.79	224.48	406.02	797.63	1152.85	1227.37	1328.57	1591.38
Zr	25.23	30.99	40.09	10.69	11.66	30.19	29.73	30.08	21.20	23.57
Sr	132.62	166.78	173.90	134.43	138.41	168.72	20.63	20.43	19.83	120.563
Zn	8.38	5.76	nd	nd	5.32	nd	7.23	nd	nd	11.15
Cr	1.44	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	11.45	Nd
P	813.39	751.52	510.20	493.40	822.58	573.37	461.68	506.61	465.55	481.78
Cu	4.26	7.343	nd	nd	nd	nd	6.902	7.711	8.739	Nd
Mn	nd	399.36	103.64	nd	nd	39.79	nd	nd	nd	Nd
Ti	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0.116	nd	nd	Nd

nd تعني أن المركب لم يظهر في العينة. $ng/kg \equiv 10^{-4}\%$

يمكن لهذه العناصر أن تساهم في اختلاف ألوان حبيبات الرمل، فالعينة السوداء -مثلاً- تحوي نسبةً معتبرةً من المنغنيز (Mn)، الجدول (III-9)، و بحساب النسبة بين تركيز المنغنيز و تركيز الكالسيوم $\left(\frac{Mn}{Ca}\right)$ فإنها 0.001 للعينة السوداء، و 0.0002 للعينة الرمادية، و معدومة للعينة الحليبية، مما يجعلنا نرجح أن المنغنيز هو الذي أدى إلى اسوداد الحبيبات الكلسية، و هو ما يتفق مع ما أشار إليه كلٌّ من Stanger G et al (1988) [93] و Basta E Z and Saleeb W S (1971) [94] من أن اللون الأسود الداكن للكالسيت يرجع أساساً إلى وجود شوائب المنغنيز (Mn) فيه. وكذا الحديد (Fe) مقارنةً بالعينتين الرمادية و الحليبية، الجدول (III-7).

خلاصة عامة

خلاصة عامة:

تُعَدُّ رمال الكثبان من بين أهمّ الموارد الطبيعية التي يمكن استغلالها و الاستفادة منها؛ فهي مادة أولية تعتمد عليها عدّة صناعات، سواءً بشكلها الطبيعي أو بعد إجراء بعض المعالجات عليها، بغية تهيئتها لاستعمالات أخرى.

تُرَكِّزُ الدراسات الفيزيائية في هذا الموضوع على الرمال الكوارتزية، و ذلك لأهميتها المعروفة في الصناعة، إذ يُستخدم الكوارتز (و هو أكثر المواد وفرةً على وجه الأرض) المستخلص من الرمل في الصناعات الزجاجيات و البصريات، بالإضافة إلى إمكانية استخلاص السيلسيوم منه (يندُر وجوده خامًا في الطبيعة)، و الذي يدخل بدوره في الصناعات النانومترية و أشباه الموصلات، كالألواح الشمسية. تتوفر الجزائر على كميات كبيرة من رمل الكثبان (و هي مصدرٌ طبيعيٌّ للكوارتز)، فهو يغطي حوالي رُبُع مساحتها.

بغرض المساهمة في تمييز رمال الكثبان بمنطقة ورقلة قمنا في هذا العمل بالتعرّف على منشأ الكثبان، إذ نتيجةً لتفاعل الصخور المتعدّدة المصادر مع العوامل الطبيعية المختلفة، كالحرارة و الرياح و الرطوبة، تتشكّل حبيباتٌ مختلفة الأحجام و الأشكال و الألوان. بعد ذلك تعرّضنا لأنواع الكثبان الرملية و تواجدتها و توزعها في العالم و في الجزائر.

لعلّ أبرز ملاحظة مرئية يمكن تسجيلها فيما يخص الرمل هي الألوان المختلفة لحبيباته، و التي تُوجي بأن لهذه الحبيبات تراكيب مختلفةً.

بهدف تحديد تركيب الأصناف اللّونية الرئيسة لرمل كثبان منطقة ورقلة، و تحديد سبب تلوّنها قمنا أولاً بتحضير العينات، حيث غرّبلنا العينة التي أخذناها من الكثيب بغيرال ذي فتحات بقطر 0.315mm، و ذلك لتسهيل عملية الفرز اللّوني، ثم فرزنا العينات حسب ألوانها البارزة باستخدام عدسة مكبّرة و ملقط يدوي، إلى ثمانية 8 عينات: حبيبات شفافة (حمراء و برتقالية و صفراء)، و أخرى ذات حبيبات معتمة (بيضاء و حلبيية و رمادية و سوداء و حمراء)، بالإضافة إلى المتبقي من عملية الفرز اللّوني. من خلال عملية الفرز الموصوفة سابقًا حدّدنا التوزّع اللّوني لرمال كثبان منطقة ورقلة.

لتشخيص عيناتنا استعملنا عدة تقنيات طيفية تسمح بتحديد التراكيب البلورية و الجزئية و الذرية. هذه التقنيات هي: إنعراج الأشعة السينية (XRD)، و مطيافية الإمتصاص ما تحت الأحمر بتحويل فورييه (FTIR)، و تفلور الأشعة السينية (XRF). فيما يلي تفصيل أهم النتائج:

مكّنت الدراسة باستخدام انعراج الأشعة السينية (XRD) من تحديد التراكيب البلورية الرئيسة للعينات المدروسة، حيث تبين أن رمل كثبان منطقة ورقلة الذي تتجاوز أقطار حبيباته 0.315 mm يتكون في أغلبه من طورين بلوريين هما الكوارتز (SiO_2) و الكالسيت (CaCO_3)، بالإضافة إلى الجبس ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) و الدولوميت ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) بنسب ضعيفة. لقد سمحت هذه التقنية أيضا بحساب مقاس بلّيرات (crystallite size) الكوارتز و الكالسيت.

مُيز الكوارتز و الكالسيت باستخدام انعراج الأشعة السينية من خلال الانعراجات الرئيسة لهما: بالنسبة للكوارتز عند الزوايا 2θ : 20.874° ، 26.662° ، 36.573° ، 39.504° ، 40.324° ، 42.484° ، 50.185° و 60.009° ، و بالنسبة للكالسيت عند الزوايا: 23.05° ، 29.400° ، 35.969° ، 39.409° ، 43.125° ، 47.114° ، 47.506° ، 48.505° ، 57.398° و 60.667° .

أما مطيافية الإمتصاص ما تحت الأحمر بتحويل فورييه (FTIR) فقد أظهرت أن أغلب الروابط الموجودة في رمل كثبان منطقة ورقلة يعود إلى الكوارتز و الكالسيت، و هو ما يتوافق تماما مع النتائج المتحصل عليها باستخدام انعراج الأشعة السينية. فلقد بينت أشرطة الامتصاص عند 695، 513، 460، 778، 798، 985، 1033، 1045، 1170، 1085 cm^{-1} وجود الكوارتز، كما مُيز الكالسيت بالامتصاصات عند 712، 875، 1392-1476، 2512، 1795، 2875 و 2980 cm^{-1} .

بفضل هذه التقنية (FTIR) تمكّنا أيضا من حساب مؤشر التبلور للكوارتز و معامل الخمود (التوهين) الكتلي لكل من الكوارتز و الكالسيت لمختلف العينات، حيث تراوح مقداره للكوارتز في العينات الشفافة و العينات الحمراء المعتمة و البيضاء المعتمة و العينة المتبقية من الفرز بين 7,694 و 116,608 mm^2/g ، في حين لم يتمكن من حسابه للعينات المعتمة الحليبية و الرمادية و السوداء، و ذلك بسبب غياب شريط الامتصاص المميز للكوارتز عند 777 cm^{-1} في هذه العينات.

تَراوح مقدار معامل التوهين للكالسيت في العينات المعتمة بين 40,76 و $88,376 \text{ mm}^2/\text{g}$ ، بينما لم يكن حساب هذا المعامل ممكنا للعينات الشفافة، و ذلك بسبب غياب شريط الامتصاص 875 cm^{-1} الخاص بالكالسيت في العينات الشفافة.

باستعمال تقنيتي (XRD) و (FTIR) تمكّنا من تحديد التراكيب الرئيسة للأصناف اللّونية من رمل كثبان منطقة ورقلة، إذ أمكن تصنيفها إلى ثلاثة أصناف:

1) رمال كوارتزية، و هي العينات الشفافة (الصفراء و البرتقالية و الحمراء)، إذ تحوي نسبًا معتبرةً من الكوارتز.

2) رمال كلسية، و هي العينات المعتمة (الحليبية و الرمادية و السوداء)، إذ تحوي نسبًا كبيرةً من الكالسييت.

3) رمال كلسية كوارتزية، و هي العينات المعتمة (البيضاء و الحمراء) و العينة المتبقية من الفرز، إذ تحوي نسبًا متقاربةً من الكوارتز و الكالسييت.

لتشخيص أدقّ استعملنا تقنيةً ثالثةً هي تفلور الأشعة السينية (XRF). لقد أكّدت هذه التقنية نتائج التقنيتين السابقتين، بل و زادت عنهما بإظهار النتائج الكمية. لقد أظهرت لنا تقنية XRF التراكيب الكيميائية لعينات الرمل المدروسة؛ إذ بيّنت أن لون حبيبات الرمل علاقةً مباشرةً بتراكيبها الكيميائية الرئيسيّة و كذا بالشوائب التي تحويها. يمكن تلخيص هذه النتائج في مايلي:

- يتكون رمل كثبان منطقة ورقلة أساسًا من الكوارتز (SiO_2) و الكالسييت (CaCO_3) و نسب ضئيلة من أكسيد الحديد الثلاثي (Fe_2O_3) و أكسيد الكبريت (SO_3) و أكسيد المغنيزيوم (MgO) و أكسيد الصوديوم (Na_2O) و آثار ضئيلة من الباريوم (Ba) و المنغنيز (Mn) و السترانشيوم (Sr) و التيتانيوم (Ti) و النحاس (Cu) و الزنك (Zn) و الزركينيوم (Zr).

- لألوان حبيبات الرمل علاقةً مباشرةً بتراكيبها الكيميائية الأساسية و كذا بالشوائب التي تحويها.
- تكون حبيبات المجموعة الكوارتزية شفافةً، و نسب الكوارتز فيها تفوق الـ 90%.
- يتغير لون الحبيبات الشفافة (الكوارتزية) من الأصفر إلى البرتقالي ثم إلى الأحمر بتزايد نسبة أكسيد الحديد (Fe_2O_3) فيها.
- تكون حبيبات المجموعة الكلسية الحليبية و الرمادية و السوداء معتمّةً، و نسب الكالسييت فيها حوالي 55%.

- يرجع اللون الأسود إلى زيادة في تركيز المنغنيز (Mn) و الحديد (Fe).
- تحوي الحبيبات المعتمة الحمراء و البيضاء نسبًا متقاربةً من الكوارتز و الكالسييت.
- يرجع اللون الأحمر في العينة الحمراء المعتمة لاحتوائها على نسبة معتبرة من الحديد Fe .

على ضوء ما اتضح لنا خلال إعداد هذا العمل و ما سبق من عرضٍ لمختلف النتائج الكيفية و الكميّة يمكننا تقديم بعض التوصيات، و التي يمكن أن تكون منطلقاتٍ لأعمالٍ بحثيةٍ أخرى:

- إستغلال الرمل كمصدر طبيعي لبعض المواد كالكوارتز و الكالسييت.
- إمكانية تحديد التراكيب الرئيسيّة لرمال الكثبان من خلال الألوان الغالبة لحبيباتها، و ذلك من خلال الملاحظة العينيّة لحبيباته، كشفافية الحبيبات أو عتامتها، و خشونة أسطحها أو نعومتها.

- إنتقاء الرمال ذات النسب العالية من الكوارتز انطلاقا من عملية الفصل اللوني.
- إمكانية إدراج عملية الفصل اللوني كإحدى عمليات تنقية الرمل، على اعتبار أن الحبيبات ذوات الألوان المختلفة تحوي شوائب معينة.
- إستغلال رمال كثبان منطقة ورقلة بما يتوافق مع تراكيبيها.

الملحقات

بطاقات (ASTM) لأهم الأطوار البلورية الموجودة في الرمل:

Name and formula

Reference code: 01-083-1762
 Mineral name: Calcite
 ICSD name: Calcium Carbonate
 Empirical formula: $CCaO_3$
 Chemical formula: $Ca (CO_3)$

Crystallographic parameters

Crystal system: Rhombohedral
 Space group: R-3c
 Space group number: 167
 a (Å): 4.9896
 b (Å): 4.9896
 c (Å): 17.0610
 Alpha (°): 90.0000
 Beta (°): 90.0000
 Gamma (°): 120.0000
 Calculated density (g/cm³): 2.71
 Volume of cell (10⁶ pm³): 367.85
 Z: 6.00
 RIR: 3.25

Subfiles and Quality

Subfiles: Inorganic
 Mineral
 Pharmaceutical
 ICSD Pattern
 Calculated (C)

Quality:

Comments

Sample source: Specimen from Iceland.
 Additional pattern: See PDF 47-1743 and 85-1108.

ICSD collection code: 100676

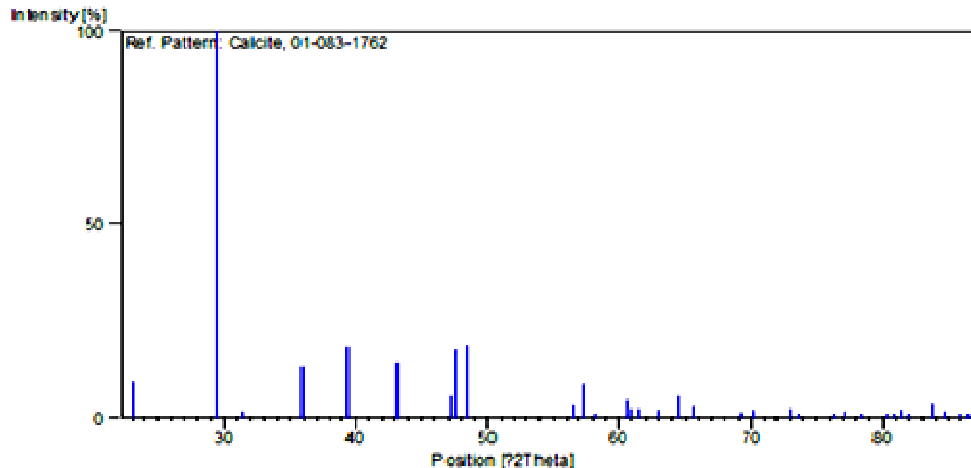
References

Primary reference: Calculated from ICSD using POWD-13(1997). ++
 Effenberger, H., Mereiter, K., Zemann, J. - *Z. Kristallogr.* - (1981) -233 -156

Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta [deg]	I [%]
1	0	1	2	3.85478	23.054	9.6
2	1	0	4	3.03555	29.4	100
3	0	0	6	2.8435	31.435	1.8
4	1	1	0	2.4948	35.969	13.3
5	1	1	3	2.28463	39.409	18.5
6	2	0	2	2.09443	43.158	14.3
7	0	2	4	1.92739	47.114	5.8
8	0	1	8	1.9124	47.506	18
9	1	1	6	1.87532	48.505	19
10	2	1	1	1.8258	50.562	3.5
11	1	2	2	1.60409	57.308	8.8
12	1	0	10	1.58689	58.079	1
13	2	1	4	1.52524	60.667	4.7
14	2	0	8	1.51777	60.908	2.4
15	1	1	9	1.50937	61.374	2.5
16	1	2	5	1.47317	63.052	2
17	3	0	0	1.44037	64.66	5.7
18	0	0	12	1.42175	65.612	3.1
19	2	1	7	1.35677	69.186	1.2
20	0	2	10	1.33897	70.24	2
21	1	2	8	1.29696	72.892	2.3
22	3	0	6	1.28493	73.666	0.5
23	2	2	0	1.2474	76.271	0.9
24	1	1	12	1.23524	77.16	1.8
25	2	2	3	1.21843	78.428	0.1
26	1	3	1	1.19552	80.23	0.1
27	3	1	2	1.18681	80.94	0.4
28	2	1	10	1.17979	81.523	2.1
29	0	1	14	1.17289	82.106	0.3
30	1	3	4	1.15378	83.769	3.8
31	2	2	6	1.14232	84.804	1.8
32	3	1	5	1.13075	85.88	0.1
33	1	2	11	1.12467	86.457	0.4

Stick Pattern



Name and formula

Reference code: 01-085-0794
 Mineral name: Quartz
 ICSD name: Silicon Oxide
 Empirical formula: O₂Si
 Chemical formula: SiO₂

Crystallographic parameters

Crystal system: Hexagonal
 Space group: P3221
 Space group number: 154
 a (?): 4.9100
 b (?): 4.9100
 c (?): 5.4000
 Alpha (?): 90.0000
 Beta (?): 90.0000
 Gamma (?): 120.0000
 Calculated density (g/cm³): 2.65
 Volume of cell (10⁶ pm³): 112.74
 Z: 3.00
 R.I.R: 3.11

Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	1	0	0	4.25218	20.874	17.2
2	0	1	1	3.34077	26.662	100
3	1	1	0	2.455	36.573	6.7
4	1	0	2	2.27933	39.504	6.5
5	1	1	1	2.23488	40.324	2.1
6	2	0	0	2.12608	42.464	3.6
7	2	0	1	1.97828	45.832	2.2
8	1	1	2	1.8164	50.185	11.9
9	0	0	3	1.8	50.674	0.3
10	0	2	2	1.67038	54.923	2.7
11	0	1	3	1.6576	55.383	1.3
12	2	1	0	1.60717	57.278	0.3
13	1	2	1	1.5404	60.009	7.4
14	1	1	3	1.45162	64.099	1.2
15	3	0	0	1.41738	65.839	0.4
16	1	2	2	1.38103	67.804	3.6
17	2	0	3	1.37378	68.211	5.5
18	0	3	1	1.37095	68.371	4.8
19	1	0	4	1.28671	73.548	1.4
20	3	0	2	1.25498	75.729	2.1
21	2	2	0	1.2275	77.737	1.3
22	2	1	3	1.18884	79.903	1.8
23	2	2	1	1.16696	80.114	0.9
24	1	1	4	1.18294	81.26	1.7
25	3	1	0	1.17934	81.561	2.2
26	1	3	1	1.15219	83.911	1.4
27	2	0	4	1.13968	85.040	0.2
28	2	2	2	1.11744	87.156	0.1
29	3	0	3	1.11359	87.534	0.2

Subfiles and Quality

Subfiles:
 Inorganic
 Mineral
 Alloy, metal or intermetallic
 Corrosion
 Pharmaceutical
 ICSD Pattern
 Calculated (C)

Quality:

Comments

Additional pattern: See PDF 78-2315 and PDF 33-1161.

ICSD collection code: 027826

Test from ICSD:

No R value given.
 At least one TF missing.

References

Primary reference:

Calculated from ICSD using POWD. 12++

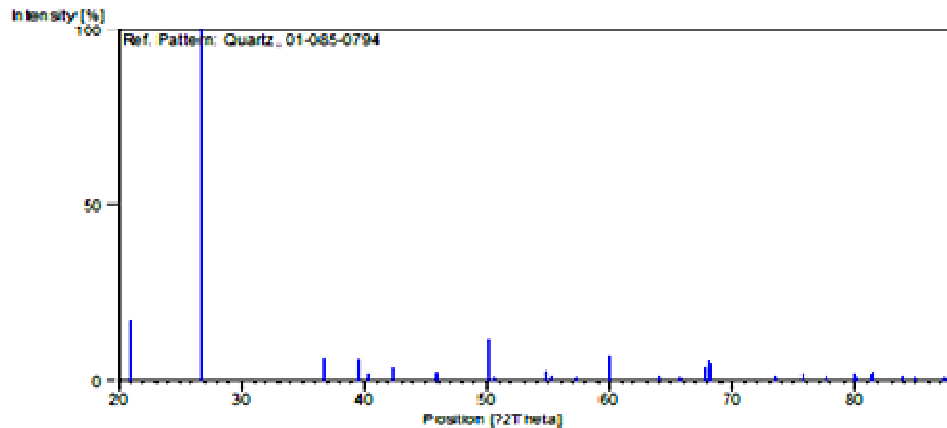
Structure:

Machatschki, F., *Fortschr. Mineral.*, 10, 45, 1936

Structure

No.	Name	Elem.	X	Y	Z	Biso	sof	Wyck.
1	O1	O	0.40300	0.15000	0.12233	0.5000	1.0000	6c
2	Si1	Si	0.53100	0.00000	0.33333	0.5000	1.0000	3a

Stick Pattern



Name and formula

Reference code: 01-073-2409
 Mineral name: Dolomite
 ICSD name: Calcium Magnesium Carbonate
 Empirical formula: C_2CaMgO_6
 Chemical formula: $CaMg(CO_3)_2$

Crystallographic parameters

Crystal system: Rhombohedral
 Space group: R-3
 Space group number: 148
 a (Å): 4.8162
 b (Å): 4.8162
 c (Å): 16.1320
 Alpha (°): 90.0000
 Beta (°): 90.0000
 Gamma (°): 120.0000
 Calculated density (g/cm³): 2.83
 Volume of cell (10⁶ pm³): 326.06
 Z: 3.00
 RIR: 2.42

Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	0	0	3	5.37733	16.472	0.2
2	1	0	1	4.03816	21.994	2.3
3	0	1	2	3.70492	24	5
4	1	0	4	2.8993	30.815	100
5	0	0	6	2.68867	33.297	4.3
6	0	1	5	2.552	35.137	5.5
7	1	1	0	2.4081	37.311	10.4
8	1	1	-3	2.19778	41.035	24.4
9	0	2	1	2.06826	43.732	4.2
10	2	0	2	2.01908	44.855	13.5
11	0	2	4	1.85246	49.143	4.3
12	0	1	8	1.81546	50.213	15.1
13	1	1	-6	1.7938	50.862	18.8
14	2	0	5	1.75145	52.183	0.2
15	1	2	-1	1.569	58.806	3
16	2	1	-2	1.5472	59.718	7
17	1	0	10	1.50458	61.59	0.6
18	1	2	-4	1.46828	63.286	4.9
19	2	0	8	1.44965	64.196	1.9
20	1	1	-9	1.43785	64.787	2.3
21	2	1	-5	1.41643	65.89	2
22	3	0	0	1.39032	67.29	5.6
23	0	0	12	1.34433	69.919	2.4
24	1	2	-7	1.30116	72.6	1.2
25	0	2	10	1.276	74.268	1.7
26	2	1	-8	1.24197	76.665	2.3
27	0	3	6	1.23497	77.18	0.3
28	2	2	0	1.20405	79.547	1.1
29	2	0	11	1.19962	79.9	0.3
30	1	0	13	1.1894	80.727	0.1
31	1	1	-12	1.17381	82.027	1.4
32	1	3	1	1.15385	83.763	0.1
33	1	3	-2	1.1451	84.55	0.5
34	1	2	-10	1.12749	86.188	1.2
35	3	1	-4	1.11197	87.694	3.7
36	2	2	6	1.09889	89.011	1.2

Status, subfiles and quality

Status: Diffraction data collected at non ambient temperature
 Subfiles: Inorganic Mineral
 Quality: ICSD Pattern Calculated (C)

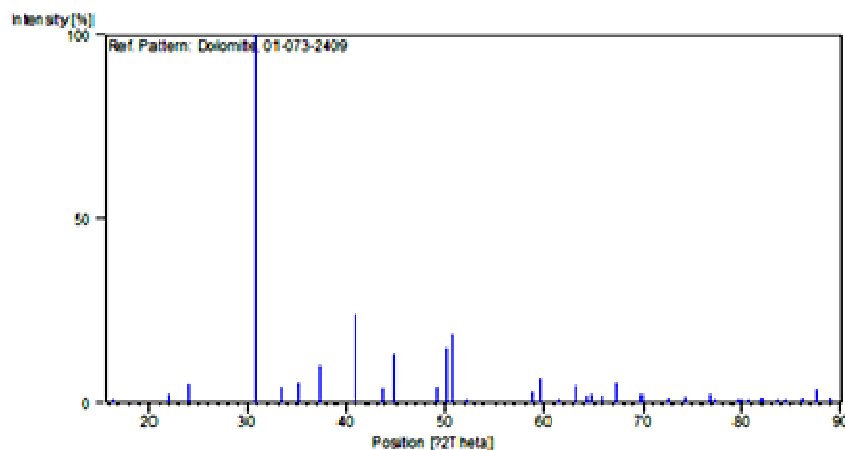
Comments

General comments: This entry was previously $K_2Cr_2O \cdot 13H_2O$ ICSD 024987
 Sample source: Specimen from Eugui, N. Spain.
 ICSD collection code: 040970
 References: Calculated from ICSD using POWD-12 ++
 Primary reference: Reeder, R.J., Markgraf, S.A. - *Am. Mineral*(1986) 71: 795-71.
 Structure:

Structure

No.	Name	Elem.	X	Y	Z	Biso	sof	Wyck.
1O1	O		0.03680	0.28250	0.24416	0.5000	1.0000	18f
2C1	C		0.00000	0.00000	0.24305	0.5000	1.0000	6c
3MG1	Mg		0.00000	0.00000	0.50000	0.5000	1.0000	3b
4CA1	Ca		0.00000	0.00000	0.00000	0.5000	1.0000	3a

Stick Pattern



المراجع

المراجع:

- [1] Platias S., Vatalis K. I. and Charalampides G. (2014); Suitability of quartz sands for different industrial applications; *Procedia Economics and Finance* 14: 491-498
- [2] Hajjaji W., Jeridi K., Seabra P., Rocha F., Labrincha J. A. and Jamoussi F. (2009); Composition and properties of glass obtained from Early Cretaceous Sidi Aich sands (central Tunisia); *Ceramics International* 35: 3229-3234
- [3] Hashim U., Abang A. E. and Ibrahim A. (2007); High purity polycrystalline silicon growth and characterization; *Chiang Mai J. Sci.* 34(1): 47-53
- [4] Demyanova L. P., Rimkevich V. S. and Buynovskiy A. S. (2011); Elaboration of nanometric amorphous silica from quartz-based minerals using the fluorination method; *Journal of Fluorine Chemistry* 132: 1067-1071
- [5] Bendida A., Tidjani A. E., Badri A., Kendouci M. A. and Nabou M. (2013); Treatment of domestic wastewater from the town of Bechar by a sand filter (sand of Beni Abbes Bechar Algeria); *Energy Procedia* 36: 825-833
- [6] Guettala S., Mezghiche B. and Mellas M. (2010); Adding finely crushed dune sand to cement on the Evolution of hydration of pasta portland cement; *Asian J. Civ. Eng. (building and housing)* 11(2): 241-251
- [7] Sivakumar S., Ravisankar R., Raghu Y., Chandrasekaran A. and Chandramohan J. (2012); FTIR Spectroscopic studies on coastal sediment samples from Cuddalore District. Tamilnadu. India; *Indian Journal of Advances in Chemical Science* 1: 40-46
- [8] Anbalagana G., Prabakaramb A. and Gunasebaramb S. (2010); Spectroscopic characterization of Indian stander sand; *Journal of applied spectroscopy* 77 (1): 86-94
- [9] سميحة بضياف (2012)؛ دراسة التركيب الجزيئي لرمال كثبان منطقة ورقلة باستخدام مطيافية امتصاص ما تحت الأحمر و حيود الأشعة السينية؛ مذكرة ماستر كلية العلوم و التكنولوجيا و علوم المادة جامعة قاصدي مرباح ورقلة
- [10] www.growstone.com/wp-content/uploads/2014/05/SILICON-AND-GROWSTONES-AS-A-SOURCE-final.pdf (Accessed 30 august 2015)
- [11] www.kemiwafers.com/about.php (Accessed 30 august 2015)
- [12] <https://en.wikipedia.org/wiki/Silicon> (Accessed 30 august 2015)
- [13] http://enc.tfode.com/Area_of_Algeria (Accessed 30 august 2015)
- [14] Leghrieb Y., Mitiche R., Bentebba M. T., Djouhri M. and Kriker D. (2012); The Manufacture of raw brick from the saharan Sand-Based Mortar of Ouargla (Located in the Septentrional Sahara. Algeria) for use in Arid Regions; *Arab J Sci Eng* 37(21): 2149-2161

- [15] Maazouzi A., Ketteb A. and Badri A. (2007); Etude de procédés de filtration sur sable de la région de Béchar en pré traitement de l'eau potable; Desalination 206: 358-368
- [16] حيدر عبد الرزاق كمنونة (2008)؛ الطرق و الأساليب في تثبيت الكثبان الرملية ومكافحة التصحر؛ مجلة المخطط و التنمية 10: 97-128
- [17] Ram S., Saraswat D. K. and Narayant K. A. (1990); Spectroscopic studies of Athabasca oil sands; Fuel 69: 512-515
- [18] Bukka K. , Miller J. D., Hanson F. V. and Oblad A. G. (1984); Characterization of Circle Cliffs oil sands of Utah; Fuel Processing Technology 38: 111-125
- [19] Jallad K. N. and Espada J. C. (2008); Spectroscopic characterization of geological materials from the United Arab Emirates; Arab. J. Geosci. 1: 119-127
- [20] Padmakumar G. P., Srinivas K., Uday K. V., Iyer K. R., Pathak P., Keshava S. M. and Singh D N (2012); Characterization of aeolian sands from Indian desert; Engineering Geology 139-140: 38-49
- [21] Maazouzi A., Kettab A., Badri A., Zahraoui B. and Khelfaoui R. (2014); Algerian sahara sand dunes characterization; Silicon 1 (2): 149-154
- [22] Tafraoui A., Lebaili S. and Slimani A. (2006); Study physic-chemical of sand of the western erg of the area of Saoura (western south Algeria) ; Res. J. App. Sci. 1: 1-6
- [23] Benaafi M and Abdullatif O (2015);Sedimentological, mineralogical, and geochemical characterization of sand dunes in Saudi Arabia; Arab. J. Geosci. 8:11073-11092
- [24] AL Sanad H. A., Ismael N. F. and Nayfeh A. J. (1993); Geotechnical properties of dune sands in Kuwait; Engineering Geology 34: 45-52
- [25] Beddiaf S., Chihi S., Bouguettaia H., Mechri M. L. and Mahdadi N. (2015); Qualitative and quantitative evaluation of quartz in different granular types of ouargla region sand dunes Algeria; Silicon.doi:10.1007/s12633-015-9324-5
- [26] Beddiaf S., Chihi S. and Leghrieb Y. (2015); The determination of some crystallographic parameters of quartz, in the sand dunes of Ouargla, Algeria; J Afr Earth Sci 106: 129-133
- [27] Mechri M. L., Chihi S., Mahdadi N. and Beddiaf S. (2016); Study of Heat Effect on the Composition of Dunes Sand of Ouargla (Algeria) Using XRD and FTIR; Silicon , DOI 10.1007/s12633-015-9368-6
- [28] محمد العيد مشري و إسماعيل شيحي (2012)؛ تأثير الحرارة على الأطوار البلورية في رمل كثبان منطقة ورقلة؛ حوليات العلوم و التكنولوجيا 6 (2): 69-79
- [29] محادي نوية و شيحي إسماعيل (2014)؛ تحديد التركيب الجزيئي للأصناف اللونية الموجودة في رمل كثبان منطقة ورقلة باستخدام مطيافية الإمتصاص ما تحت الأحمر (FTIR)؛ حوليات كلية العلوم: 6 (2) 178-185

- [30] Mahdadi N., Chihi S., Bouguettaia H., Beddiaf S. and Mechri M. L. (2016); Chromatic Classification of Ouargla (Algeria) Dunes Sand: Determination of Main Compositions and Color Causes, by Using XRD, FTIR and XRF ;Silicon, DOI 10.1007/s12633-016-9432-x
- [31] Mahdadi N. and Chihi S. (2015); pectroscopic study of chromatic types in the of Ouargla (Algeria) dunes sand identification of quartz concentration in each, type 3èmes Journées de Valorisation de la silice et des Sables Siliceux 20 -22 Novembre HôtelMéhari Hammamet – Tunisie
- [32] Lorenz R. D. and Zimbelman J. R. (2014); Dune Worlds How Windblown Sand Shapes Planetary Landscapes; Springer-Verlag Berlin Heidelberg
- [33] محمد العيد مشري (2016)؛ دراسة اثر المعالجة الحرارية على تركيب رمل كئبان منطقة ورقلة، وعلى ناقلته الكهربية باستخدام الطرق الطيفية؛ أطروحة دكتوراه، كلية علوم المادة جامعة قاصدي مرياح ورقلة
- [34] Erell E. and Tsoarf H. (1997); An Experimental Evaluation of Strategiesfor Reducing Airborne Dust in Desert Cities; Building and Environment 32(3): 225-236
- [35] عبير على فرغلي (2007)؛ جيومورفولوجية الكئبان الرملية فيما بين الجزء الجنوبي من الإسماعيلية والحافة الغربية لهضبة التيه سيناء؛ مذكرة ماجستير، كلية الآداب قسم الجغرافيا ونظم المعلومات الجغرافية جامعة الإسكندرية
- [36] Scheffers A. M., May S. M. and Kelletat D. H. (2015); Landforms of the World with Google Earth Understanding our Environment; Springer Science+Business Media Dordrecht
- [37] Pye K. and Tsoar H. (2009); Aeolian Sand and Sand Dunes; Springer-Verlag Berlin Heidelberg
- [38] Parsons A. J. and Abrahams A. D. (2009); Geomorphology of desert environments; Springer Netherlands
- [39] جراية محمد رشدي (2008)؛ الصحراء الجزائرية خلال العصر الحجري الحديث؛ مذكرة ماجستير، كلية العلوم الإنسانية و الاجتماعية جامعة منتوري قسنطينة
- [40] <https://www.google.dz/maps/@28.6520306,6.5739441,2817309m/data=!3m1!1e3?hl=ar> (Accessed 31 october 2016)
- [41] Marc P. and Jacques G. (2006); Handbook of soil analysis: mineralogical, organic and inorganic methods; Springer-Verlag Berlin Heidelberg
- [42] Makreski P., Jovanovski G., Stafilov T. and Boev B. (2004); The dependence of quartz and opal color on trace element composition – AAS. FTIR and micro-raman spectroscopy study; Bulletin of the Chemists and Technologists of Macedonia 23 (2): 171-184
- [43] Orna M. V. (2013); The Chemical History of Color; Springer Heidelberg New York

- [44] Grondin S. (2016); Psychology of Perception; Springer International Publishing Switzerland
- [45] محمد رجائي جودة الطحلاوي (2008)؛ المعادن و الصخور الضارة بالبيئة؛ مجلة أسيوط للدراسات البيئية 31: 101-118
- [46] محمد العيد مشري و إسماعيل شبحي (2012)؛ دراسة التركيب الذري لرمال كثنان منطقة ورقلة باستخدام مطيافيات XRF و MEB و EDX و AAN؛ حوليات العلوم و التكنولوجيا 4 (2): 69-79
- [47] Kasper Z. J. J. and Zolezzi R. H. (2007); Grain size, mineralogical and geochemical studies of coastal and inland dune sands from El Vizcaíno Desert, Baja California Peninsula, Mexico; Revista Mexicana de Ciencias Geológicas 24(3): 423-438
- [48] لمى عبد الاله صكبان العابدي (2009)؛ دراسة الخصائص البصرية و الضوئية لمعدن الكوارتز و الكشف عن تواجدها ضمن مفصولات الرمال في بعض الترب الرسوبية؛ مجلة الفرات للعلوم الزراعية 1(3): 104-115
- [49] Ning H. (2012); Composites and their properties: Manufacturing and Properties of Quartz (SiO₂) Particulate Reinforced Al-11.8% Si Matrix Composites; INTECH, DOI: 10.5772/48095
- [50] بان عبد الله دايع و سالي نعمة مهدي (2007)؛ تنقية رمال السيليكما لصناعة الزجاج العلمي؛ مجلة الجيولوجيا و التعدين العراقية 3(1): 35-44
- [51] Mustafa A. M. K., Fleah I. K. and Kachiek T. V. (2013); Priliminary upgrading of silica sand for silicon and cilicon indusleries from Ardhuma, Iraqi wasterm desert; Iraqi bulletin of geology and mining 9(1): 75-84
- [52] Al Ajeel A. W. A., Hammodi N. A., Abdulla S. Z. and Sabbar B. A. (2010); Evaluation of sands from dibdibba formation in AL najaf plateau, central Iraq, for colored glass manufacturing; Iraqi Bulletin of Geology and Mining 6(1): 139-145
- [53] Xakalashé B. S. and Tangstad M. (2011); Silicon processing: from quartz to crystalline silicon solar cells; Southern African Institute of Mining and Metallurgy Pyrometallurgy International Conference 6-9 March:83-99
- [54] Iadonisi G., Cantele G. and Chiofalo M. L. (2014); Introduction to Solid State Physics and Crystalline Nanostructures; Springer-Verlag Italia
- [55] Cullity B. D. (1956); Elements of x ray Diffraction; Addison-Wesley Publishing Company, Inc
- [56] Kulkarni S. K. (2015); Nanotechnology: Principles and Practices; Capital Publishing Company
- [57] Haschke M. (2014); Laboratory Micro-X-Ray Fluorescence Spectroscopy; Springer International Publishing Switzerland

- [58] Fultz B. and Howe J. (2013); Transmission Electron Microscopy and Diffractometry of Materials; Springer-Verlag Berlin Heidelberg
- [59] Wong-Ng W., McMurdie H. F., Hubbard C. R. and Mighell A. D. (2001); JCPDS-ICDD Research Associateship (Cooperative Program with NBS/NIST); J. Res. Natl. Inst. Stand. Technol. 106: 1013-1028
- [60] Reig F. B., Adelantado J. V. G. and Moreno M. C. M. (2002); FTIR quantitative analysis of calcium carbonate (calcite) and silica (quartz) mixtures using the constant ratio method. Application to geological samples; Talanta 58: 811-821
- [61] Schneller T. , Waser R., Kosec M. and David P. (2013); Chemical Solution Deposition of Functional Oxide Thin Films; Springer-Verlag Wien
- [62] Derrick M. R., Stulik D. and Landry J. M. (1999); Infrared Spectroscopy in Conservation Science; the J. Paul Getty Trust, The Getty Conservation Institute
- [63] Polfer N. C. and Dugourd P. (2013); Laser Photodissociation and Spectroscopy of Mass-separated Biomolecular Ions, Lecture Notes in Chemistry 83; Springer International Publishing Switzerland
- [64] Stuart B. (2004); Infrared Spectroscopy: Fundamentals and Applications; John Wiley & Sons
- [65] Shackley M. S. (2011); X-Ray Fluorescence Spectrometry (XRF) in Geoarchaeology; Springer Science+Business Media, LLC
- [66] Leng Y. (2008); Materials characterization Introduction to Microscopic and Spectroscopic Methods; John Wiley & Sons (Asia) Pte Ltd
- [67] Meyers R. A. (2010); Encyclopedia of Analytical Chemistry; Copyright John Wiley & Sons Ltd
- [68] ميساء قنهور (2012)؛ دراسة العلاقة الكمية بين بعض الغازات الرسوبية الرئيسية المشكلة للتربة السورية و الممزوجة بنسب متساوية و دراسة تأثير إضافة مادة لابلورية بجهاز الأشعة السينية المنعرجة؛ هيئة الطاقة الذرية السورية
- [69] Sdiri A., Higashi T., Hatta T., Jamoussi F. and Norio T. (2010); Mineralogical and spectroscopic characterization. and potential environmental use of limestone from the Abiod formation. Tunisia; Environ Earth Sci 61: 1275-1287
- [70] Osacky M., Geramian M. and Douglas G. (2013); Mineralogical and chemical composition of petrologic end members of Alberta oil sands; Fuel 113: 148-157
- [71] Saleh H. M. and Eskander S. B. (2012); Characterizations of mortar-degraded spinney waste composite nominated as solidifying agent for radwastes due to immersion processes; Journal of Nuclear Materials 430: 106-113
- [72] ردينة صديق عبد الستار الديلمي (2013)؛ دراسة الخصائص التركيبية و البصرية لأغشية $Zn_x Ni O_{(x-1)}$ المحضرة بطريقة التحليل الكيميائي الحراري؛ مذكرة ماجستير، جامعة ديالى العراق

- [73] ميخائيل عيسى منصور (2012)؛ دراسة الخواص و البصرية لأغشية (CuOZn): المحاضرة بطريقة APCVD؛ المجلة الأردنية للفيزياء 5(2): 103-89
- [74] Langford J. I. and Wilson A. J. C. (1978); Scherrer after Sixty Years: A Survey and Some New Results in the Determination of Crystallite Size; *J Appl Cryst* 11: 102-113
- [75] Alexander L. and Klug H. P. (1950); Determination of Crystallite Size with the X-Ray Spectrometer; *J. Appl. Phys.* 21: 137-142
- [76] Saikia B. J., Parthasarathy G., Sarmah N. C. and Baruah G. D. (2008); Fourier–transform infrared spectroscopic characterization of naturally occurring glassy fulgurites; *Bull Mater Sci* 31(2): 155-158
- [77] Gnanasaravanan S. and Rajkumar P. (2013); Characterization of minerals in natural and manufactured sand in Cauvery River belt. Tamilnadu. India; *Infrared Physics and Technology* 58: 21-31
- [78] Bhaskar J. S., Parthasarathy G. and Sarmah N. C. (2008); Fourier transform infrared spectroscopic estimation of crystallinity in SiO₂ based rocks Indian; *Academy of Sciences* 31(5): 775-779
- [79] Verma D., Johnson D. M. and Des T. K. (2002); A Method for determining crystalline silica in bulk samples by fourier transform infrared spectrophotometry; *Ann. Occup. Hyg.* 46(7): 609-615
- [80] Flemming A. A. and Ljerka B. (1991); infrared spectra of amorphous and crystalline Calcium Carbonate; *Acta Chem. Scand* 45: 1018-1024
- [81] Ramasamy V., Suresh G., Meenakshisundaram V. and Ponnusamy V. (2011); Horizontal and vertical characterization of radionuclides and minerals in river sediments; *Applied Radiation and Isotopes* 69: 184-195
- [82] Vagenas N. V., Gatsouli A. and Kontoyannis C. G. (2003); Quantitative analysis of synthetic calcium carbonate polymorphs using FT-IR spectroscopy; *Talanta* 59: 831-836
- [83] Satish C. B. M., Samuel J. T., Glenn A. W. and Terry J. L. (1998); Vibrational spectroscopy of functional group chemistry and arsenate coordination in ettringite; *Geochimica et Cosmochimica Acta* 62: 3499-3514
- [84] Junfeng J., Yun G., William B., John E. D. and Jun C. (2009); Rapid identification of dolomite using a Fourier Transform Infrared Spectrophotometer (FTIR): A fast method for identifying Heinrich events in IODP Site U1308; *Marine Geology* 258: 60-68
- [85] Alemayehu K., Gholap A. V. and Giovanni E. G. (2013); Fourier transform infrared spectroscopic characterization of clay minerals from rocks of Lalibela churches. Ethiopia; *International Journal of Physical Sciences* 8(3): 109-119
- [86] Senthil K. R. and Rajkumar P. (2014); Characterization of minerals in air dust particles in the state of Tamilnadu, India through FTIR, XRD and SEM analyses; *Infrared Physics & Technology* 67: 30-41

- [87] Razva O., Anufrienkova A., Korovkin M., Ananieva L. and Abramova R. (2014); Calculation of quartzite crystallinity index by infrared absorption spectrum; Earth and Environmental Science 21:12006-12009
- [88] Hlavay J., Jonas K., Elek S. and Inczedy J. (1977); Characterization of the particle size and the crystallinity of certain minerals by infrared spectrophotometry and other instrumental methods. investigations on clay minerals; clays and clay minerals 25: 451- 456
- [89] علاء الدين عبد الله النعيمي و مسلم فاضل جواد الزبيدي (2009)؛ دراسة الخواص البصرية لأغشية ستانيت كادميوم Cd_2SnO_4 الرقيقة المحضرة بطريقة الرش الكيميائي الحراري؛ مجلة الهندسة و التكنولوجيا 27 (4): 445-456
- [90] فريد مجيد محمد و عبد الهادي مردان غالب (2008)؛ قياس و حساب معامل التوهين الخطي و الكتلي للاشعة السينية لمادة الخشب؛ مجلة تكريت للعلوم الصرفة 13 (1): 118-128
- [91] Oumabady A. C. N., Rajendran M. and Selvaraju R. (2013); FT-IR spectral studies on polluted soils from industrial area at Karaikal, Puducherry State, South India; Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy 110: 46-54
- [92] Rajesh P., Joseph V. S. and Ramasamy V. (2013); FTIR characterisation of minerals in charnockite rocks of Kalrayan Hills, India; Archives of Physics Research 4 (4): 05-13
- [93] Stanger G., Laver J. and Neal C. (1988); Elba black carbonaceous calcite associated with serpentinite 389 from Oman; Mineralo Magaz 52: 403-408
- [94] Basta E. Z. and Saleeb W. S. (1971); Elba manganese ores and their origin, South-eastern Desert, U 387 A R; Mineralo Magaz 38: 235-244

المختصر

في هذا العمل حُدِّدَ التوزيع اللوني لرمال كثبان منطقة ورقلة باستخدام الفرز اليدوي. لقد أمكن فرز هذا الرمل وفقا لألوانه المرئية إلى ثمانية أصناف لونية، هي: شفافة (أصفر، برتقالي و أحمر)، و معتمة (أبيض، حليبي، رمادي، أسود و أحمر). من خلال مخططات انعراج الأشعة السينية (XRD) و أطيف امتصاص الأشعة ما تحت الحمراء (FTIR) أمكن اختزال تصنيف عينات الرمل المفروزة - وفقا لتراكيبها الكيميائية الرئيسية- إلى ثلاثة أصناف فقط، هي: كوارتزيتية (العينات الشفافة)، كلسية (العينات المعتمة ذات الألوان: الحليبي، الرمادي و الأسود) و كوارتزيتية كلسية (العينات المعتمة البيضاء و الحمراء)، دون أن تسمح هاتان التقنيتان (XRD و FTIR) بتمييز العينات الملونة عن بعضها البعض. أظهرت مطيافية تفلور الأشعة السينية (XRF) أن لاختلاف ألوان حبيبات الرمل علاقةً وطيدةً بتراكيبها الكيميائية الأساسية، و كذا بالشوائب التي تحملها. لقد تبين أن العينات الشفافة تحوي نسبًا تفوق 92% من الكوارتز (SiO_2). يرجع تزايد اللون الأحمر في العينات الشفافة إلى تزايد نسبة الحديد فيها. لقد تبين أيضا أن العينات المعتمة الحليبية و الرمادية و السوداء تحوي نسبًا تفوق 55% من أكسيد الكالسيوم (CaO). يرجع اللون الأسود للعينات المعتمة إلى تزايد تركيز المنغنيز (Mn) و الحديد (Fe) فيها. تتميز العينتان المعتمتان البيضاء و الحمراء باحتوائهما على الكوارتز و الكالسييت معا بنسب متقاربة. يعود اللون الأحمر للحبيبات المعتمة الحمراء إلى احتوائها على نسبة معتبرة من الحديد.

الكلمات المفتاحية: رمال الكثبان، التصنيف اللوني، مخططات انعراج الأشعة السينية، أطيف امتصاص الأشعة ما تحت الحمراء، تفلور الأشعة السينية، الكوارتز، الكالسييت

Abstract: In this work, the chromatic distribution of Ouargla sand dunes has been determined by using manual sorting. This sand has been classified according to its visible colors to eight colors: transparent (yellow, orange and red), opaque (white, milky, gray, black and red). Through XRD patterns and FTIR spectra the samples have been classified, according to their main compositions, only to three varieties: quartzite sand (transparent grains), calcareous sand (opaque grains: milky, gray and black) and quartzite-calcareous (opaque grains: white and red). Both XRD and FTIR did not allow to distinguish between colored grains. X-rays fluorescence (XRF) has shown that an intimate relationship between grains colors and their main chemical compositions, as well as their impurities. It has been seemed that transparent grains contain exceed 92% of quartz (SiO_2). The increasing of red in transparent grains is due to the increasing of iron. The milky, gray and black opaque grains contain more than 55% of calcium oxide (CaO). The black color of opaque grains is due to manganese (Mn) and iron (Fe). Both white and red opaque grains have characterized by containing an approximate concentrations of quartz and calcite. Redness of red opaque grains is due to the important concentration of iron.

Key words: dunes sand, chromatic sorting, XRD patterns, FTIR spectra, XRF, quartz, calcite

Résumé: Dans ce travail, la distribution chromatique des dunes de sable de Ouargla a été déterminée en utilisant le tri manuel. Ce sable a été classé en fonction de ses couleurs visibles en huit couleurs: transparentes (jaune, orange et rouge), opaques (blanc, laiteux, gris, noir et rouge). Les diagrammes de diffraction XRD et les spectres FTIR ont permis la classification des échantillons en fonction de leurs principales compositions en trois variétés. Ces variétés sont : le sable de quartzite (grains transparents), le sable calcaire (grains opaques: laiteux, gris et noir) et le quartzite-calcaires (grains opaques: blanc et rouge). Les deux techniques XRD et FTIR ne permettaient pas de faire la distinction entre les grains colorés. Les rayons X de la fluorescence (XRF) ont montré qu'il existe une relation intime entre les couleurs des grains et de leurs principales compositions chimiques, ainsi que leurs impuretés. Il semblait que les grains transparents contiennent plus de 92% de quartz (SiO_2). L'augmentation de la couleur rouge dans les grains transparents est due à l'augmentation du fer. Le laiteux, les grains opaques grises et noires contiennent plus de 55% d'oxyde de calcium (CaO). La couleur noire des grains opaques est due au manganèse (Mn) et au fer (Fe). Les deux catégories de grains opaques blancs et rouges sont caractérisées par leurs contenances en concentration approximative en quartz et en calcite. La Rougeur des grains opaques rouges est due à la concentration importante du fer.

Mots clés: sable de dunes, tri chromatique, diagrammes de DRX, spectres FTIR, XRF, quartz, calcite