



رقم الترتيب:.....

رقم التسلسلي:.....

جامعة قاصدي مرباح ورقلة

كلية الرياضيات وعلوم المادة

قسم الفيزياء

أطروحة دكتوراه في الطور الثالث ل م د

مجال: علوم المادة

فرع: فيزياء

تخصص: فيزياء الإشعاعات

من إعداد الطالبة: طويل مريم

بعنوان:

## تشخيص وتنقية رمال كثبان شمال شرق الصحراء الجزائرية

نوقشت يوم: 15/04/2025

أمام أعضاء لجنة المناقشة المكونة من:

رئيسا	أستاذ تعليم عالي بجامعة ورقلة	أ د/ شيحي إسماعيل
مناقشا	أستاذ تعليم عالي بجامعة ورقلة	أ د/ غرياني رشيد
مناقشا	أستاذ محاضر "أ" بجامعة ورقلة	د/ مشري محمد العيد
مناقشا	أستاذ محاضر "أ" المدرسة العليا للأساتذة بورقلة	د/ بن كريمة يمينة
مشرفا	أستاذ تعليم عالي بجامعة ورقلة	أ د/ عاشوري عبد الرحيم
مشرف مساعد	أستاذ تعليم عالي بجامعة الوادي	أ د/ مفتاح نسيمية
مدعو	أستاذ محاضر "أ" في مركز البحث وتكنولوجيا الطاقة برج الصدرية	د/ خليفة مروان

الموسم الجامعي: 2024/2025

I	الفهرس
IV	قائمة الجداول
V	قائمة الأشكال
XIV	الإهداء
XV	كلمة شكر
1	مقدمة عامة
<b>الفصل الأول: مفاهيم عامة حول رمل الكثبان والكوارتز</b>	
9	تمهيد
9	1.I. الرمل
9	1.1.I. تعريف الرمل
10	2.1.I. المكونات الأساسية للرمل
10	1.2.1.I. معدن الكوارتز
11	1.1.2.1.I. التحولات الطورية لمادة الكوارتز
14	2.1.2.1.I. الخصائص الفيزيائية والكيميائية لمادة الكوارتز
16	3.1.2.1.I. إستخدامات الكوارتز
16	2.2.1.I. معدن الجبس
18	3.2.1.I. الحجر الكلسي أو الكالسيت
20	3.1.I. الخصائص العامة للرمل
21	1.3.1.I. الخصائص الفيزيائية للرمل
23	2.3.1.I. الخصائص الكيميائية للرمل
25	4.1.I. أصناف الدراسات على الرمل
25	5.4.I. توزع الرمال في العالم
26	6.4.I. توزع الرمال في الجزائر
27	7.1.I. إستخدامات الرمل وأهميته
28	2.I. السليكا
28	1.2.I. تعريف السليكا
29	2.1.I. مصادر السليكا
30	3.2.I. التصنيفات الرئيسية لمادة السليكا
31	3.I. الكثبان الرملية
31	1.3.I. تعريف الكثبان الرملية
32	2.3.I. منشأ الكثبان الرملية
32	3.3.I. تصنيف الكثبان الرملية

32	1.3.3.I. الموقع الجغرافي
33	2.3.3.I. التركيب المعدني
33	4.3.I. أشكال الكثبان الرملية
33	4.I. إستخلاص الكوارتز من الرمل
35	5.I. إستخلاص السيليسيوم من الكوارتز
38	المراجع
<b>الفصل الثاني: الأدوات والطرق التجريبية والتقنيات المستعملة في القياس</b>	
41	تمهيد
41	1.II. أخذ وتحضير العينات
41	1.1.II. الموقع الجغرافي للعينات المدروسة
42	2.1.II. عملية جمع العينات
42	3.1.II. تحضير العينات
42	1.3.1.II. تحضير العينات الطبيعية للدراسة
43	2.3.II. عملية معالجة مادة الرمل
45	2.II. طرق التحليل الطيفي
45	1.2.II. تقنية إنعراج الأشعة السينية
46	1.1.2.II. الأساس النظري لانعراج الأشعة السينية
48	2.1.2.II. مبدأ عملها
51	3.1.2.II. تحضير العينة للتشخيص
51	4.1.2.II. برنامج X'pert HighScore
52	2.2.II. مطيافية التحليل بفلورة الأشعة السينية
52	1.2.2.II. أساسياتها ومبدأ عملها
56	2.2.2.II. تحضير العينة للتحليل
57	3.2.II. مطيافية امتصاص الأشعة تحت الحمراء بتحويل فوريه
57	1.3.2.II. أساسيات مطيافية إمتصاص الأشعة تحت الحمراء
60	2.3.2.II. مبدأ عمل مطيافية الأشعة تحت الحمراء
61	3.3.2.II. تحضير العينة للتحليل
61	4.2.II. المجهر الإلكتروني الماسح
62	1.4.2.II. أساسيات المجهر الإلكتروني الماسح
64	2.4.2.II. مبدأ عمل المجهر الإلكتروني الماسح
65	3.4.2.II. مطيافية طاقة التشتت للأشعة السينية
66	1.3.4.2.II. مبدأ عمل مطيافية طاقة التشتت للأشعة السينية

66	4.4.2.II. تحضير العينات للتحليل
67	5.2.II. التصنيف الحبيبي عن طريق حيود الليزر
67	1.5.2.II. أساسيات التصنيف الحبيبي
69	2.5.2.II. مبدأ عمل التصنيف الحبيبي
69	3.5.2.II. تحضير العينة للتحليل
70	6.2.II. التحليل الحراري الكتلي/التفاضلي
70	1.6.2.II. أساسيات تقنية التحليل الحراري
72	2.6.2.II. مبدأ عمل تقنية التحليل الحراري
73	3.6.2.II. تحضير العينة للتحليل
74	المراجع
<b>الفصل الثالث: نتائج القياسات الطيفية تحليلها ومناقشتها</b>	
77	تمهيد
77	1.III. الخصائص الفيزيوكيميائية لعينات الرمل المدروسة في الحالة الطبيعية
78	1.1.III. مناقشة نتائج تقنية إنعراج الأشعة السينية (DRX)
78	1.1.1.III. التعرف على المكونات البلورية للرمال
80	2.1.1.III. تفسير إنزياح القمم في مخططات الإنعراج
81	2.1.III. مناقشة نتائج مطيافية التحليل بالفلورة الأشعة السينية (XRF)
81	1.2.1.III. تحليل ومناقشة التركيب الكيميائي للعينات المدروسة
86	2.2.1.III. الخواص الجيوكيميائية لرمال الكتبان المدروسة
88	3.1.III. مناقشة نتائج تقنية نتائج مطيافية إمتصاص الأشعة تحت الحمراء (FTIR)
88	1.3.1.III. دراسة التركيب الجزيئي لأصناف رمل كتبان عينات منطقتي الطيبات وتندلة
92	2.3.1.III. دليل تبلور الكوارتز
93	4.1.III. مناقشة نتائج تحليل المجهر الإلكتروني الماسح (MEB) التحليل الطيفي للأشعة السينية المشتتة لطاقة (EDX)
94	1.4.1.III. نتائج تحليل صور المجهر الإلكتروني الماسح (MEB)
95	2.4.1.III. التحليل الطيفي للأشعة السينية المشتتة لطاقة (EDX)
97	5.1.III. مناقشة نتائج توزيع حجم الحبيبات بحمود الليزر
102	6.1.III. مناقشة نتائج التحليل الحراري (ATG/ATD)
102	1.6.1.III. التحليل الحراري الكتلي (ATG)
103	2.6.1.III. التحليل الحراري التفاضلي (ATD)
103	2.III. مناقشة نتائج عملية التنقية الحرارية الكيميائية للرمال

104	1.2.III. مناقشة نتائج تقنية إنعراج الأشعة السينية (DRX)
104	1.1.2.III. التعرف على المكونات البلورية للرمال أثناء عملية التنقية
110	2.1.2.III. حساب الحجم البلوري D للكوارتز قبل وبعد وأثناء عملية التنقية
135	2.2.III. مناقشة نتائج مطيافية التحليل بالفلورة الاشعة السينية (XRF)
118	3.2.III. معامل كفاءة التنقية $\eta$
120	4.2.III. مناقشة نتائج تحليل المجهر الإلكتروني الماسح (MEB/EDX)
125	المراجع
129	الخلاصة العامة
<b>قائمة الجداول</b>	
10	الجدول [1-I]: تصنيف الرمال بناء على الحجم واللون والتركيب
14	الجدول [2-I]: الأبعاد الشبكية للأطوار البلورية للكوارتز
19	الجدول [3-I]: أهم الخصائص الفيزيوكيميائية لمكونات الرمل الأساسية
21	الجدول [4-I]: تقسيم الرمال تبعا لأبعادها
34	الجدول [5-I]: المواصفات الكيميائية والحبيبية لرمال السليكا المستخدمة في الصناعات الزجاجية
56	جدول [1-II]: نتيجة مطيافية فلورة الاشعة السينية
80	الجدول [1.III]: تحليل نتائج إنعراج الأشعة السينية لعينة كتبان منطقة الطيبات وكتبان منطقة تندلة
82	الجدول [2.III]: نتائج التحليل الكيميائي لعينات الرمل الأصلية بإستخدام فلورة الأشعة السينية
84	الجدول [3.III]: نتائج حساب تراكيز العناصر المختلفة في العينات الرمال المدروسة
85	الجدول [4.III]: مقارنة بين نتائج عينات الرمل المدروسة وعينات رمل كتبان الوادي
88	الجدول [5.III]: نتائج الكيمياء الجيولوجية لعينة رمل كتبان منطقة الطيبات وتندلة
91	الجدول [6.III]: مضامين أطياف الإمتصاص السابقة للعينتين المدروستين
93	الجدول [7.III]: قيم دليل تبلور الكوارتز لكل من عينتي الدراسة
95	الجدول [8.III]: نتائج التحليل الطيفي للأشعة السينية المشتتة للطاقة لعينة رمال كتبان الطيبات وتندلة
97	الجدول [9.III]: نتائج التحليل الطيفي لعينتي رمال الكتبان المدروسة وعينة رمال كتبان ورقلة
100	الجدول [10.III]: نتائج التصنيف الحجمي الحبيبي للرمال مع نسبها حسب المراجع [32-34]
101	الجدول [11.III]: نتائج تحليل حجم الجسيمات للرمال الكتبان المدروسة
105	الجدول [12.III]: نتائج انعراج الاشعة السينية لجميع مراحل عملية التنقية الحرارية الكيميائية لعينة رمال كتبان الطيبات
106	الجدول [13.III]: نتائج انعراج الاشعة السينية لجميع مراحل عملية التنقية الحرارية الكيميائية لعينة رمال كتبان تندلة
111	الجدول [14.III]: مقياس بليرات الكوارتز في عينة رمال كتبان منطقة الطيبات الطبيعية ومراحل تنقيتها الثلاث
112	الجدول [15.III]: مقياس بليرات الكوارتز في عينة رمال كتبان منطقة تندلة الطبيعية ومراحل تنقيتها الثلاث
115	الجدول [16.III]: نتائج التحليل الكيميائي لعينات رمل كتبان منطقة الطيبات أثناء عملية التنقية الحرارية

	الكيميائية بإستخدام فلورة الأشعة السينية
115	الجدول [17.III]: نتائج التحليل الكيميائي لعينات رمل كثبان منطقة تندلة أثناء عملية التنقية الحرارية الكيميائية بإستخدام فلورة الأشعة السينية
119	الجدول [18.III]: نتائج حساب معامل كفاءة التنقية لعينة رمال كثبان منطقة الطيبات
119	الجدول [19.III]: نتائج حساب معامل كفاءة التنقية لعينة رمال كثبان منطقة تندلة
<b>قائمة الأشكال</b>	
11	الشكل [1-I]: البنية البلورية للكوارتز وصورته
12	الشكل [2-I]: مخطط التحول الطوري لمادة الكوارتز
17	الشكل [2-I]: مخطط التحول الطوري لمادة الكوارتز
18	الشكل [4-I]: التحولات الطورية للجبس
19	الشكل [5-I]: البنية البلورية للكلس وصورته
22	الشكل [6-I]: مقياس إستدارة وتكور حبات الرمل
23	الشكل [7-I]: التصنيف الحبيبي للرمل
26	الشكل [8-I]: خريطة توزيع الرمال في العالم
27	الشكل [9-I]: توزيع الرمال في الجزائر و البلدان المجاورة لها
28	الشكل [10-I]: البنية البلورية و الغير بلورية لمادة السليكا
30	الشكل [11-I]: عينة كوارتز صلب
32	الشكل [12-I]: مراحل تكوين الكتيب
36	الشكل [13-I]: وحدة إنتاج السليسيوم وخطوات التصنيع
42	الشكل [1-II]: الموقع الجغرافي للعينات المدروسة و صورة للكثبان الرملية لمنطقة الطيبات $T_1$ و الكثبان الرملية لمنطقة تندلة $T_2$
43	الشكل [2-II]: صورة فوتوغرافية لجهاز الطحن الكهربائي
43	الشكل [3-II]: صورة للعينات أثناء المعالجة الكيميائية الابتدائية
44	الشكل [4-II]: على اليمين صورة للعينات أثناء غسلها بالماء المقطر بعد المعالجة الكيميائية الابتدائية، و على اليسار صورة للجهاز المستعمل لتجفيف العينات
45	الشكل [5-II]: السلسلة الأولى لعملية التنقية لعينة الرمل
46	الشكل [6-II]: رسم تخطيطي للشبكة البلورية و الخلية الأولية
47	الشكل [7-II]: قرائن ميلر لبعض المستويات البلورية في بلورة مكعبة
48	الشكل [8-II]: رسم توضيحي يمثل إنعراج الأشعة السينية حسب نظرية براغ
49	الشكل [9-II]: مخروط الإنعراج بإستخدام شريط تسجيل حساس (فلم)
49	الشكل [10-II]: طيف الإنعراج بإستخدام العداد أو الكاشف
50	الشكل [11-II]: صورة لجهاز (DRX) المستخدم خلال هذه الدراسة

50	الشكل [12-II]: مخطط إنعراج الأشعة السينية
51	الشكل [13-II]: الأدوات المستخدمة لتحضير العينة للقياس لتقنية (DRX)
52	الشكل [14-II]: واجهة برنامج المستخدم في تحليل نتائج الأشعة السينية
53	الشكل [15-II]: رسم تخطيطي يوضح الفعل الكهروضوئي
53	الشكل [16-II]: رسم تخطيطي يوضح ظاهرة كومبتون
54	الشكل [17-II]: الإلكترونات الكهروضوئية
55	الشكل [18-II]: مبدأ عمل مطيافية التحليل بفلورة الأشعة السينية من نوع (ED-XRF)
55	الشكل [19-II]: صورة توضح جهاز فلورة الأشعة السينية المستعمل في الدراسة
58	الشكل [20-II]: رسم تخطيطي يوضح أنماط إهتزازات التمدد
59	الشكل [21-II]: إهتزازات الإنحناء
59	الشكل [22-II]: جهاز المطيافية تحت الحمراء المستعمل في الدراسة
60	الشكل [23-II]: طيف امتصاص الأشعة ما تحت الحمراء
60	الشكل [24-II]: مخطط مطياف (FTIR)
61	الشكل [25-II]: الأدوات المستخدمة في تحضير العينات للتحليل الطيفي بأشعة تحت الحمراء
63	الشكل [26-II]: صورة للمجهز الإلكتروني الماسح المستعمل في الدراسة
64	الشكل [27-II]: نتيجة المجهز الإلكتروني الماسح
65	الشكل [28-II]: رسم تخطيطي يوضح عناصر المجهز الإلكتروني الماسح (MEB)
67	الشكل [29-II]: صورة توضح تحضير العينات لتشخيص بإستعمال المجهز الإلكتروني الماسح
68	الشكل [30-II]: صورة توضح جهاز التصنيف الحبيبي بإستعمال تقنية حيود الليزر المستعمل في الدراسة
68	الشكل [31-II]: نتيجة التوزيع الحبيبي لحيود الليزر
69	الشكل [32-II]: مخطط عمل جهاز التصنيف الحبيبي
70	الشكل [33-II]: صورة توضح كيفية العينة لتحليل
71	الشكل [34-II]: صورة فوتوغرافية لجهاز التحليل الحراري
72	الشكل [35-II]: مخطط توضيحي لنتيجة تقنية التحليل الحراري الكتلتي /التفاضلي
73	الشكل [36-II]: مخطط يوضح مبدأ عمل جهاز التحليل الحراري
78	الشكل [1.III]: مخططات إنعراج الأشعة السينية لكل من عينات رمال كتبان منطقة الطيبات ( $T_1$ ) وتندلة ( $T_2$ ) الطبيعي
89	الشكل [2.III]: طيف إمتصاص الأشعة تحت الحمراء للعينتين المدروستين
94	الشكل [3.III]: صورة لاسطح حبيبات عينة رمال كتبان منطقة الطيبات ومنطقة تندلة
97	الشكل [4.III]: مقارنة منحنيات توزيع حجم الحبيبات للعينات المدروسة
99	الشكل [5.III]: نتائج تحليل حجم الحبيبات لرمال كتبان منطقة الطيبات $T_1$
100	الشكل [6.III]: نتائج تحليل حجم الحبيبات لرمال كتبان منطقة تندلة $T_2$

102	الشكل [7.III]: منحنيات التحليل الحراري (ATG/ATD) للعينات الأصلية
104	الشكل [8.III]: مخططات إنعراج الأشعة السينية لعينة رمال كثبان الطيبات في مختلف مراحل التنقية
105	الشكل [9.III]: مخططات إنعراج الأشعة السينية لعينة رمال كثبان تندلة في مختلف مراحل التنقية
110	الشكل [10.III]: بنية المواد البلورية : (أ) بلورية أحادية (ب) بلورة متعددة
114	الشكل [11.III]: متوسط مقاس بلورات الكوارتز في عينة رمل كثبان الطيبات وتندلة في كل مرحلة من مراحل التنقية الثلاث
118	الشكل [12.III]: مخطط يوضح مختلف ألوان العينات قبل وبعد واثناء مراحل التنقية
119	الشكل [13.III]: معامل كفاءة التنقية لعينة رمال كثبان الطيبات ورمال كثبان تندلة
121	الشكل [14.III]: نتائج تحليل المجهر الإلكتروني الماسح لعينة رمل كثبان الطيبات في جميع مراحل التنقية
122	الشكل [15.III]: نتائج تحليل المجهر الإلكتروني الماسح لعينة رمل كثبان تندلة في جميع مراحل التنقية

## الإهداء

إلى ملاكي في الحياة إلى معنى الحب والحنان إلى بسملة الحياة وسر الوجود إلى من كان دعاؤها سر نجاحي وحنانها بلسما

لجراحي إلى أعلى الحبايب .....أمي الغالية

إلى من كلله الله بحببة والوقار إلى من علمني العطاء بدون إنتظار إلى من أحمل إسمه بكل إفتخار أسأل الله المولى عزوجل

أن يسكنه فسيح جناته مع النبيين والصدقين والشهداء الصالحين إنه ولي ذلك والقادر عليه في جنة الفردوس .....أبي

الغالي

أه ... كم تمنيت حضورك لتعتز بما أنجبت وتفتخر بما ربيت لكن القادر قدر أن تحضر في القلوب فله الحمد على كل

حال

إلى من بهم أكبر وعليهم أعتمد إلى شعبة متقدمة تنير ظلمة حياتي إلى من بوجودهم أكتسب قوة ومحبة لاحدود لها إلى

من عرفت معهم معنى الحياة .....إخوتي

إلى كل الأهل و الأحباب

إلى الأخوات الاتي لم تلدهن أمي ... إلى من تحلوا بالإنحاء وتميزوا بالوفاء والعطاء ... إلى ينايع الصدق الصافي ...

إلى من معهن سعادت وبرفقتهن في دروب الحياة الحلوة والحزينة سرت ... إلى من كانوا معي على طريق النجاح والخير ... إلى من

عرفت كيف أجدهم وعلموني أن لا أضيعهم ... إلى الذين أعرفهم وسأعرفهم والذين تسعهم ذاكرتي ولا تسعهم أطروحتي ...

صديقاتي الغاليات

إلى حملة راية العلم من عالم ومتعلم ... وإلى كل محب للعلم وأهله

إلى الأرواح التي ضحت من أجل هذا الوطن إلى كل محب لهذا الوطن يأكل من أرضه ويحمي عرضه مخلص في عمله

أهدي عملي هذا

## كلمة شكر

إن الحمد لله نحمده ونستعينه ونستغفره ونعوذ بالله من شرور أنفسنا وسيئات أعمالنا وأشهد أن لا إله إلا الله وحده لا شريك له وأشهد أن محمد عبده ورسوله.

الشكر أولاً لله سبحانه وتعالى أن من علي بإنجاز هذا العمل المتواضع والشكر والعرفان لجامعة قاصدي مرباح ورقلة - كلية الرياضيات وعلوم المادة- ممثلة بعميدها وأساتذتها الأفاضل على جهودهم الجبارة وأيديهم البيضاء في مساعدتي ومساعدة كل طلاب العلم وجزاهم الله عنا كل الخير كما أتقدم بالشكر والتقدير و الإحترام لكل الاساتذة القائمين على قسم الفيزياء على التسهيلات التي لقيناها منهم خلال كل فترات تكويننا.

يسعدني أن أقدم أسمى آيات الشكر والعرفان للأستاذ عاشوري عبد الرحيم على إقتراحه وإشرافه على هذا البحث فقد كان له الفضل في وصولي إلى هذه المرحلة.

أتقدم بالشكر الجزيل والعرفان والإمتنان للأستاذة نسيمة على إقتراحها وإشرافها على هذا البحث إذ لم تبخل علينا بنصائحها وإرشادها القيمة وعلى كل مامنته لنا من جهد ووقت في إنجاز هذا العمل.

أتقدم بالشكر والإمتنان إلى البروفيسور شياحي إسماعيل على تقبله ترؤس لجنة المناقشة وكذا الأساتذة :

البروفيسور غرياني رشيد ، الدكتور مشري محمد العيد أستاذ محاضر " أ " والدكتورة بن كريمة يمينة أستاذ محاضر " أ " ، على تشريفهم لي بقبول المشاركة في لجنة مناقشتي .

لأنسى شكر الدكتور مروان خليفة أستاذ محاضر " أ " على قبول دعوتي لمناقشة هذه الأطروحة الذي تحمل عناء السفر والتنقل من دولة تونس الشقيقة الى مدينة ورقلة لأجل مشاركتنا.

أنجز هذا البحث بمخبر تطوير الطاقات الجديدة والمتجددة في المناطق الجافة و الصحراوية (LENREZA) بجامعة قاصدي مرباح ورقلة حيث كان لي عظيم شرف الإنضمام إليه طيلة مدة إنجاز هذا البحث لذا أتوجه بشكري العميق إلى البروفيسور بوكراع عمر الذي يتولى إدارة هذا المخبر وكذا كل القائمين عليه لما بذلوه من جهود على مساعدتي في إنجاز هذا العمل.

لا أنسى أيضا أن أشكر مركز البحث والمتمثل في الأرضية التقنية للتحليل الفيزيائية والكيميائية بولاية ورقلة وبجاية وخاصة ولاية الأغواط إلى كل عمالها وعلى رأسهم الزميلة بن صفي الدين فراح والأستاذ جيلالي بولربعاء على ماقدماه لنا من مساعدات وتسهيلات أثناء إجراء القياسات الطيفية.

أتوجه بشكري العميق ثانيا إلى رئيس مخبر فيزياء الإشعاع والبلازما وفيزياء السطوح (LRPPS) البروفيسور فتحي خلفاوي وكذا أعضائه لما قدموه لنا من تسهيلات في إستغلال بعض مالدبيهم في تجهيزات مخبرية.

هذا ولا أنسى شكر رئيس مخبر الموارد الصحراوية وتأمينها وتكنولوجياها (VTRS) البروفيسور العازز توهامي وأعضائه بجامعة الوادي على القياسات الطيفية التي أجروها لنا أثناء إنجاز هذا العمل.

خالص شكري للبروفيسور بلفار محمد لخضر رئيس مخبر تميمين وترقية الموارد الصحراوية (VPRS) وأعضائه وكذا رئيس وأعضاء مخبر بيوجيوكيمياء للأوساط الصحراوية على رأسهم البروفيسور حمدي عيسى على ماقدموه لي من مساعدات وتسهيلات في إستغلال بعض مالدبيهم من تجهيزات مخبرية.

كل الشكروالإمتنان إلى أعضاء مركز البحوث وتكنولوجيا الطاقة بدولة تونس الشقيقة على رأسهم الأستاذة سلمى عويدة، مروان خليفة، خديجة حمادي، إقبال حداد على ماقدموه لنا من معلومات وأفكار أثناء إنجازنا لهذا العمل.

أتقدم بالشكر الجزيل لأساتذتي الكرام غرياني رشيد، شيحي إسماعيل، مشري محمد العيد على كل التوجيهات والنصائح والمعلومات والأفكار التي كانت بمثابة مصباح أضاء طريقي لإنجاز هذه الأطروحة.

مريم طويل

# المقدمة العامة

## مقدمة عامة

كميات هائلة من الكوارتز والمعادن الأخرى، مثل الرمال والأحجار الرملية والأحجار النارية والرسوبية، تتوفر في الغالب بكثرة في قشرة الأرض. كانت هذه الموارد الضخمة مصدر إلهام ودافع كبير لدراسة هذه المعادن في العديد من مراكز البحوث والجامعات الدولية. وقد أدى هذا الاهتمام إلى الكشف عن خصائص ومميزات هذه الموارد، بالإضافة إلى اكتشاف مواد خام لم تكن معروفة سابقاً. وبالتالي، استُخدمت هذه الموارد في العديد من المجالات ذات الصلة بنشاطات الإنسان وحياته اليومية.

تعتبر الكنتان الرملية من بين أهم الموارد الطبيعية التي يمكن الاستفادة منها بشكل شامل في عدة مجالات. يعتبر الرمل، مادة أولية حيوية لعدة صناعات [1-3]، سواء باستخدامها بشكلها الطبيعي أو بعد خضوعها لعمليات معالجة [3، 4] لتحسين خواصها وتجهيزها لاستخدامات متعددة. يمكن استخدام الرمل في تصفية المياه وفي الصناعة، [5] البناء [6]، بالإضافة إلى استخدام الكوارتز الذي يمكن استخراجه من الرمل في صناعات الزجاج والبصريات [1، 2].

ويمكن استخلاص السليسيوم من الرمل باستخدام بعض الطرق الكيميائية [3]، هذا الأخير يلعب دوراً هاماً في الصناعات النانوية وصناعة الشبه موصلات.

تظهر الكنتان الرملية نتيجة لتفاعل الصخور مع عوامل طبيعية متنوعة، مثل الحرارة والرياح والرطوبة. تتشكل هذه الكنتان من حبيبات متنوعة الأحجام والأشكال و الألوان. تتنوع أنواع الكنتان بناءً على مصادرها المختلفة التي نشأت منها [7]. الرمل يُعد مصدراً طبيعياً للعديد من المركبات والعناصر الكيميائية، ومن بين أهمها عنصر السليسيوم. يمثل السليسيوم مادة رئيسية للصناعات الإلكترونية والتطبيقات الحديثة [8].

تسعى الجزائر إلى فتح فرص الاستثمار وتنفيذ مشاريع ضخمة في مجال استغلال الطاقة الشمسية، سواء في مجال الطاقة الحرارية أو الكهروضوئية، حيث تستخدم الخلايا الضوئية، المصنوعة أساساً من مادة السليسيوم. يعتبر السليسيوم موجوداً كمادة خامة في الطبيعة [9، 10]، ويمكن استخراجه أيضاً من الكوارتز الموجود بكثرة في الكنتان الرملية.

## مقدمة عامة

تتمتع الجزائر بكميات هائلة من رمال الكثبان، حيث تغطي هذه الرمال أكثر من نصف مليون كيلومتر مربع [11]، ما يعادل حوالي ربع المساحة الإجمالية للبلاد. تتوزع هذه الكثبان بشكل رئيسي في الجزء الجنوبي من البلاد، حيث تظهر على شكل عروق تمتد في أجزاء متفرقة. ومن بين هذه العروق، يبرز العرق الشرقي الكبير، الذي يمتد أساسًا في ولاية ورقلة ومحيطها، والذي يشكل مصدرًا طبيعيًا هامًا للكوارتز.

نظرًا لتعدد استخدامات الرمال، أصبحت الكثبان الرملية محط اهتمام واسع من قبل الباحثين، حيث أُجريت العديد من الدراسات حولها على الصعيدين العربي والعالمي. و رغم أن موضوع هذه الدراسات يغطي تنوع استخدامات الرمال، إلا أن معظمها يركز على فحص استفادتها في مجالات معينة مثل الزراعة والبناء [6، 12] والتنقية [13]، بالإضافة إلى تطبيقاتها في المجالات البيئية [14] والبتروولية [15، 16].

تتركز الدراسات الفيزيائية المتعلقة بالرمل بشكل رئيسي على رمال السيليكات، وذلك نظرًا لأهميتها المعروفة في صناعة الزجاج واستخراج السليسيوم للاستخدام في الصناعات النانومترية. على الرغم من أن الاهتمام بالدراسات التشخيصية لرمال الكثبان قد بدأ حديثًا، إلا أن هناك تطورًا في هذا المجال، ومن بين هذه الدراسات يمكن ذكر:

1. أظهرت الدراسة التي قدمها الباحثة محمادي و زملاؤها [17] أن سبب اختلاف ألوان الكثبان الرملية لمنطقة ورقلة يعود

إلى التباين في التركيب الكيميائي لهذه الرمال. كما أوضحت الدراسة أن اختلاف اللون قد يكون ذا صلة مباشرة بتنوع مصادر الرواسب التي نشأت منها هذه الرمال.

2. قام الباحث بادماكومار و زملاؤه [18] بتقديم دراسة استعرضت الخصائص الفيزيائية والكيميائية والكهربائية والحرارية

والجيولوجية والجيوتقنية للرمال الريحية المتنوعة في صحراء thar بالهند. كشفت الدراسة عن أن هذه الرمال تحمل خصائصًا متشابهة مع رمال شبه الجزيرة العربية وأستراليا والصين، بينما تشترك الرمال الكوارتزيتية في الهند معها في هذه الخصائص. يُمكن الاستفادة من هذه الرمال في مجالات متعددة مثل البناء والملاط ودفن الأسلاك الكهربائية.

3. رمال العرق الشرقي الكبير التي تمثل منطقة الدراسة لم تتلقَ نصيبًا كافيًا من الاهتمام في الأبحاث [19-22]، إذ

خصصت لها عدد قليل جدًا من الدراسات التشخيصية [11، 23]، التي تركزت بشكل رئيسي على الخصائص البلورية والهيكلية للكوارتز، ونسبتها في التصنيفات الحجمية لرمال الكثبان في منطقة ورقلة. أما الدراسات التي قدمها [24]،

## مقدمة عامة

[25] تعنى بشكل خاص بخصائص رمال العرق الشرقي الكبير حراريًا، حيث ركزت على تأثير درجات الحرارة على

التركيب البلوري الموجود في هذه الرمال، وكذلك على قدرتها الكهربائية.

يمكن إدراج دراستنا في عدة محاور وطنية للبحث، فأولاً، تعتبر الرمال مادة خام ذات أهمية في "علم المواد"، وثانياً، تهدف الدراسة إلى معالجة الرمال وتحويلها واستخلاص بعض المواد الأخرى منها، وبالتالي تشمل "المحور الصناعي" أي التصنيع المحلي وتطوير القطاع الصناعي . كما تسعى دراستنا أيضاً إلى استخلاص السليكا، الذي يستخدم في صناعة الخلايا الشمسية، مما يمتلك تطبيقاً في "الميكروالكترونيات والميكروتقنيات والفوتونيات" [25].

توجد طرق تقليدية لتنقية الرمال مثل الغسل الميكانيكي أو الفرز اليدوي، إلا أن هذه الطرق قد تكون غير فعالة في إزالة بعض الشوائب الكيميائية مما يؤدي إلى :

- انخفاض جودة المنتج النهائي
- زيادة تكاليف الإنتاج بسبب الحاجة إلى معالجات متكررة
- محدودية استخدام الرمال في صناعات حساسة مثل السليسيوم عالي النقاء

وبهذا فنحن بحاجة إلى طرق كيميائية متطورة ( الترشيح الكيميائي، التعويم الرغوي، المعالجة بالأحماض) لتحسين كفاءة التنقية.

على الرغم من توفر الرمال بكميات كبيرة في الجزائر ، إلا أن وجود شوائب كيميائية مثل ( الأكاسيد المختلفة، والمواد العضوية) يحد من استخداماتها الصناعية. فكيف يمكن تحسين كفاءة تنقية الرمال باستخدام طرق حرارية و كيميائية متقدمة لإستغلالها صناعياً ؟ ومن هذا الإشكال جاء موضوع دراستنا هذه، حيث إقترحنا هذه الدراسة لأجل إيجاد حل لهذه المعضلة.

سنسعى خلال هذا العمل لرفع من نسبة السليكا (الكوارتز) داخل عينتين من رمال كثبان منطقتين من شمال الشرقي لصحراء الجزائرية وهما منطقتي الطيبات وتندلة ، سنقوم بعمل حلقة معالجة كيميائية حرارية من أجل تحقيق الهدف المرجو عن طريق المعالجة بأحماض تارة وتسليط الحرارة عليها تارة أخرى الى غاية رفع نسبة أكسيد السليسيوم فيها.

## مقدمة عامة

تهدف هذه الدراسة إلى تشخيص وتنقية رمال الكثبان، حيث أن أحد أسباب إقترانها كان الاحتياطي الكبير من الرمل المتاح في مناطق الجنوب الجزائري. نظرًا للنقص الواضح في الدراسات التشخيصية التي أجريت على هذه الكثبان الرملية، يتطلب الأمر مزيدًا من الأبحاث والدراسات. لهذا السبب، تأتي هذه الدراسة تجريبًا لا نظريًا لتكمل النقص الحالي وتهدف إلى:

- التعرف على أنسب تقنيات التحليل الطيفي لدراسة الرمل.
- تحديد المكونات الرئيسية لرمال الكثبان.
- التعرف على أبرز وأكثر الأساليب العملية فعالية، التي يمكن بها استخلاص العناصر أو المركبات الكيميائية المطلوبة.
- تقييم رمال الكثبان كمورد طبيعي محلي للكوارتز من الناحية الاقتصادية واستكشاف إمكانات الاستفادة منها في المستقبل.

كل هذا يهدف لدراسة الرمل و إنتهاز الفرصة للإستفادة من هذه الثروة الموجودة في الجنوب الجزائري.

نظرًا لأن الرمل هو خليط من المركبات، فإنه يتطلب دراسة تجريبية. لذلك سنقوم في بداية هذه الدراسة بتحديد المركبات الأساسية المكونة لرمال الكثبان في منطقتي الطيبات وتندله من جنوب صحراء الجزائر. سنستخدم لذلك بعض الطرق التشخيصية الطيفية، مثل تقنية انعراج الأشعة السينية DRX، وتقنية تفلور الأشعة السينية XRF، ومطيافية الامتصاص ما تحت الأحمر المدعم بتحويل فوري FTIR، والمجهر الإلكتروني الماسح MEB، ومطيافية طاقة التشتت الأشعة السينية EDX، والتحليل الحراري الكتلّي والتفاضل ATG/ATD بالإضافة إلى التصنيف الحجمي للحبيبات عن طريق حيود الليزر. حيث نسعى في هذا السياق إلى:

- تحديد المكونات الذرية والجزئية البلورية وغير البلورية لعينات الطيبات والمعالجة من رمال الكثبان، وذلك باستنباطها من أنماط انعكاسها وأطيافها المتنوعة لرمال كثبان منطقتي الطيبات وتندله.
- استخدام بروتوكول كيميائي لرفع نسبة الكوارتز، أو ما يعرف بالسليكا، في هذه الرمال.

قسمت هذه الأطروحة إلى ثلاثة فصول وخاتمة، بدأت بمقدمة عامة تتضمن أهمية محور البحث، والهدف من دراسته، وعرضًا لأهمية الدراسة ودوافعها، بالإضافة إلى استعراض لأبرز الدراسات السابقة. الفصل الأول " مفاهيم عامة حول الرمال ومادة الكوارتز"، تناولنا دراسة نظرية لخواص رمال الكثبان و الكوارتز عموماً، فتناولنا أهم أنواع الكوارتز وبنياتها البلورية ومختلف

## مقدمة عامة

خصائصها أيضا شملت استعراضًا لأصل الكنثبان الرملية، وكيفية تشكلها، وأنواعها، وتواجدها وتوزيعها في العالم وفي الجزائر. كما تناولنا أيضًا أهم مكوناتها وخصائصها، واستعرضنا استخداماتها، وكيفية استغلالها، مع التركيز على أهمية مادة الكوارتز، التي تُعتبر المادة الأساسية التي تدخل في تركيب رمال الكنثبان.

في الفصل الثاني "الأدوات والطرق التجريبية والتقنيات المستعملة في القياس"، منطقة الدراسة، التي تشمل منطقتي الطيبات وتندله. تطرقنا لكيفية تحضير العينات، وشمل ذلك عملية الطحن والمعالجة الكيميائية والحرارية باستخدام سلاسل متتالية من هذه العمليات. قمنا أيضًا باستعراض مختلف التقنيات الطيفية، مثل انعراج الأشعة السينية **DRX**، وفلورة الأشعة السينية **XRF**، ومطيافية الأشعة تحت الحمراء **FTIR**، والمجهر الإلكتروني الماسح **MEB**، ومطيافية طاقة التشتت للأشعة السينية **EDX**، بالإضافة إلى التصنيف الحجمي للحبيبات باستخدام حيود الليزر والتحليل الحراري الكتلّي **ATG/ATD**. وتناولنا أيضًا عمل مبدأ كل تقنية، وكيفية تحضير العينات المعدة للقياس، وأشرنا إلى البرمجيات الحاسوبية المستخدمة في معالجة نتائج هذه التقنيات.

و تناول الفصل الثالث "نتائج القياسات الطيفية تحليلها ومناقشتها"، حيث سنقوم بعرض وتحليل نتائج القياسات الطيفية التي تم استخدامها؛ وذلك بهدف تشخيص الرمال المدروسة وتحديد خواصها الفيزيوكيميائية قبل وبعد عملية التنقية أي في حالتها الطبيعية (مادة خام) و بعد معالجتها بأحماض (عملية التنقية). سنركز على استكشاف التغيرات في التركيب الكيميائي بعد عملية التنقية، مع محاولة تفسير السبب وراء ارتفاع نسبة الكوارتز. في ختام كل ذلك خلاصة عامة، حيث حوصلنا فيها أهم النتائج التي تم الحصول عليها، وكيفية إستفادة منها، بالإضافة إلى إبراز الأهمية الإقتصادية لرمال الكنثبان في منطقة الطيبات وتندله. سيتم أيضًا تقديم بعض التوصيات والآفاق المستقبلية التي قد تسهم في استمرار البحث في هذا المجال.

1. Platias, S., Vatalis, K. I., & Charalampides, G. (2014). Suitability of quartz sands for different industrial applications. *Procedia Economics and Finance*, 14, 491–498. [https://doi.org/\[add\]](https://doi.org/[add]) DOI if available]
2. Hajjaji, W., Kacim, S., Alami, A., El Bouadili, A., & El Mountassir, M. (2009). Composition and properties of glass obtained from Early Cretaceous Sidi Aich sands (central Tunisia). *Ceramics International*, 35(8), 3229–3234. [https://doi.org/\[add\]](https://doi.org/[add]) DOI if available]
3. Hashim, U., Ehsan, A. A., & Ahmad, I. (2007). High purity polycrystalline silicon growth and characterization. *Chiang Mai Journal of Science*, 34(1), 47–53.
4. Demyanova, L. P., Rimkevich, V. S., & Buynovskiy, A. S. (2011). Elaboration of nanometric amorphous silica from quartz-based minerals using the fluorination method. *Journal of Fluorine Chemistry*, 132(12), 1067–1071. [https://doi.org/\[add\]](https://doi.org/[add]) DOI if available]
5. Bendida, A., Badri, A., & Benmounah, A. (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. [https://doi.org/\[add\]](https://doi.org/[add]) DOI if available]
6. Guettala, S., Mezghiche, B., & Mellas, M. (2010). Adding finely crushed dune sand to cement on the evolution of hydration of pastaportl and cement. *Journal of Construction Materials*, 15(3), 241–251. <https://doi.org/10>
7. Bagnold, R. A. (1941). *The physics of blown sand and desert dunes*. Methuen.
8. Amin, S., & Amin, M. (2011). Thermoplastic elastomeric (TPE) materials and their use in outdoor electrical insulation. *Reviews in Advanced Materials Science*, 29(1), 15–30.
8. Growstone. (2014). *Silicon and Growstones as a source* [White paper]. <https://www.growstone.com/wp-content/uploads/2014/05/SILICON-AND-GROWSTONESAS-A-SOURCE-final.pdf>
9. Kemi Wafers. (2024). *About us*. <https://www.kemiwafers.com/about.php>
10. Beddiaf, S., Chihi, S., & Leghrieb, Y. (2015). The determination of some crystallographic parameters of quartz in the sand dunes of Ouargla, Algeria. *Journal of African Earth Sciences*, 106, 129–133. [https://doi.org/\[add\]](https://doi.org/[add]) DOI if available]
11. Leghrieb, Y., Kriker, A., & Bali, A. (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. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 37(8), 2149–2161. [https://doi.org/\[add\]](https://doi.org/[add]) DOI if available]
12. Maazouzi, A., Ketteb, A., & Badri, A. (2007). Studies of filtration processes on salt from the Bechar region in pre-treatment for drinking water. *Desalination*, 206(1–3), 358–368. [https://doi.org/\[add\]](https://doi.org/[add]) DOI if available]
13. Kammouna, H. A. (2008). الطرق والاساليب في تثبيت الكثبان الرملية ومكافحة التصحر [Methods and techniques for stabilizing sand dunes and combating desertification]. \*Al-Mukhatat Journal, 10\*, 97–128.  
*Note: Translated Arabic title included for clarity; adjust as needed.*
14. Ram, S., Saraswat, D. K., & Narayan, K. A. (1990). Spectroscopic studies of Athabasca oil sands. *Fuel*, 69(4), 512–515. [https://doi.org/\[add\]](https://doi.org/[add]) DOI if available]
15. Bukka, K., Miller, J. D., & Oblad, A. G. (1994). Characterization of Circle Cliffs oil sands of Utah. *Fuel Processing Technology*, 38(2), 111–125. [https://doi.org/\[add\]](https://doi.org/[add]) DOI if available]
16. Mahdadi, N., Chihi, S., Bouguettaia, H., Beddiaf, S., & Mechri, M. L. (2017). Chromatic classification of Ouargla (Algeria) dunes sand: Determination of main compositions and color causes, using XRD, FTIR, and XRF. *Silicon*, 9(2), 211–221. [https://doi.org/\[add\]](https://doi.org/[add]) DOI if available]

17. Padmakumar, G. P., Singh, D. N., & Chattopadhyay, K. (2012). Characterization of aeolian sands from Indian desert. *Engineering Geology*, 139, 38–49. [https://doi.org/\[add\]](https://doi.org/[add]) DOI if available]
18. Abdelhak, M., et al. (2014). Algerian Sahara sand dunes characterization. *Silicon*, 6, 149–154. [https://doi.org/\[add\]](https://doi.org/[add]) DOI if available]
19. Taфраoui, A., Lebaili, S., & Slimani, A. (2006). Physico-chemical study of the sand of the Western Erg of the Saoura region (Southwest Algeria). *Research Journal of Applied Sciences*, 1(1–4), 1–6.
20. Benaafi, M., & Abdullatif, O. (2015). Sedimentological, mineralogical, and geochemical characterization of sand dunes in Saudi Arabia. *Arabian Journal of Geosciences*, 8, 11073–11092. [https://doi.org/\[add\]](https://doi.org/[add]) DOI if available]
21. Al-Sanad, H. A., Ismael, N. F., & Nayfeh, A. J. (1993). Geotechnical properties of dune sands in Kuwait. *Engineering Geology*, 34(1–2), 45–52. [https://doi.org/\[add\]](https://doi.org/[add]) DOI if available]
22. Beddiaf, S., Chihi, S., Bouguettaia, H., & Mechri, M. L. (2017). Qualitative and quantitative evaluation of quartz in different granular types of Ouargla region sand dunes–Algeria. *Silicon*, 9(4), 603–611. [https://doi.org/\[add\]](https://doi.org/[add]) DOI if available]
23. Mechri, M. L., Beddiaf, S., Chihi, S., & Bouguettaia, H. (2017). Study of heat effect on the composition of dunes sand of Ouargla (Algeria) using XRD and FTIR. *Silicon*, 9(6), 933–941. [https://doi.org/\[add\]](https://doi.org/[add]) DOI if available]
24. مشري محمد العيد (2016). *دراسة أثر المعالجة الحرارية على تركيب رمل كثبان ورقلة، وعلى ناقلتيه الكهربائية، [أطروحة دكتوراه، جامعة قاصدي مرباح ورقلة] باستخدام الطرق الطيفية*.

## الفصل الأول:

مفاهيم عامة حول الرمال و مادة

الكوارتز

## تمهيد:

تُعدّ السليكا من أهم المواد الخام الإستراتيجية التي تدخل في عدة صناعات حيوية ، ما يجعل إنتاجها عاملاً أساسياً في دعم النمو الاقتصادي وتعزيز تنافسيته. حيث تلعب هذه المادة ( $\text{SiO}_2$ ) دوراً محورياً في العديد من التطبيقات الصناعية والتكنولوجية بفضل خصائصها الفيزيائية والكيميائية الفريدة. باعتبارها واحدة من أكثر المواد وفرة في قشرة الأرض، تعد السليكا مكوناً أساسياً في صناعات مثل تصنيع الزجاج والسيراميك والبناء [1].

وفي مجال الإلكترونيات، تعتبر السليكا ضرورية لإنتاج أشباه الموصلات، حيث أن إستقرارها الحراري العالي وخصائصها العازلة للكهرباء لا غنى عنها. بالإضافة إلى ذلك، فإن مقاومتها للتفاعلات الكيميائية وقدرتها على نقل الضوء عبر نطاق واسع من الطيف، بدءاً من الأشعة فوق البنفسجية وصولاً إلى الأشعة تحت الحمراء، يجعلها قيمة في الألياف البصرية وتقنيات الألواح الشمسية. علاوة على ذلك، تسهم السليكا بشكل كبير في الاستدامة البيئية، حيث تُستخدم على نطاق واسع في أنظمة تنقية المياه والمواد الإنشائية الصديقة للبيئة [1].

إن تعدد استخدامات السليكا يضمن استمرار أهميتها ، فهي تساهم في تقدم العديد من القطاعات، مما يجعلها حجر الزاوية في الصناعة الحديثة. وفي هذا الفصل سنركز على اهم المفاهيم النظرية لهذه المادة و اشهر أنواعها الذي هو الكوارتز [1].

## 1.1. الرمل:

### 1.1.1. تعريف الرمل:

هو مادة طبيعية تتألف أساساً من خليط من الحبيبات يتفاوت حجم هذه الحبيبات في درجة إستدارتها، وتتراوح أبعادها من 0.063 mm إلى 2 mm من وجهة نظر جيولوجية عموماً [2]. و يعتبر المكون الأكثر شيوعاً للرمل هو السليكا ثاني أكسيد السليسيوم، أو ( $\text{SiO}_2$ ) ، وعادةً ما يكون في شكل مادة الكوارتز. يمكن أن توجد أيضاً معادن أخرى وشظايا صخرية، اعتماداً على الجيولوجيا المحلية. يتميز الرمل بطبيعته الغير المتماسكة، مما يعني أنه لا يلتصق ببعضه البعض عندما يكون مبللاً ويعاد تشكيله. لذا فهو مادة حبيبية تنتج عن تفكك الصخور من خلال عمليات التآكل والعوامل الجوية والجيولوجية.

2.1.1. المكونات الأساسية للرمال:

بالإضافة إلى كربونات الكالسيوم ( $CaCO_3$ ) والجبس ( $2CaSO_4 \cdot 2H_2O$ ) تتألف حبيبات الرمال أساسًا من مادة الكوارتز ( $SiO_2$ ) ونسبة أقل من أكسيد الحديد الثلاثي ( $Fe_2O_3$ ) وكميات قليلة من الشوائب مثل المعادن الثقيلة ونسب صغيرة من أكسيد الألمنيوم ( $Al_2O_3$ ) [4,3]. يمكن تصنيف الرمل بناءً على عوامل مختلفة ، يمثل الجدول [1-1] المقابل تصنيفًا تفصيليًا للرمال بناءً على ثلاث خصائص رئيسية حجم الحبيبات ، اللون ، التركيب المعدني [5]:

الجدول [1-1]: تصنيف الرمال بناءً على الحجم واللون والتركيب.

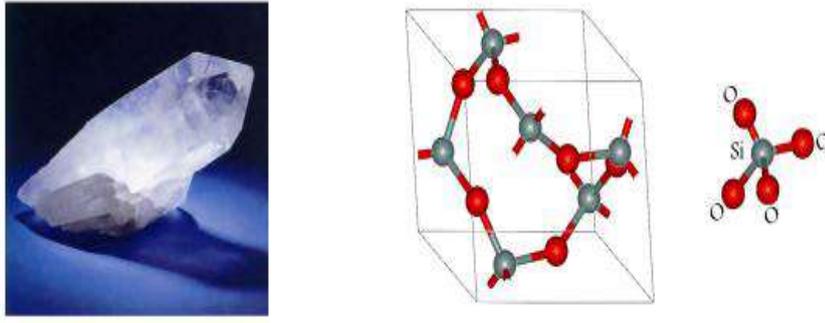
التصنيف	الفئة	الوصف
الحجم (التوزيع الحبيبي)	خشن جدا	1-2 mm
	خشن	0.5-1 mm
	متوسط	0.25-0.5 mm
	ناعم	0.125-0.25 mm
	ناعم جدا	0.0625-0.125 mm
اللون	فاتح	رمل المرجان
	داكن	رمل بركاني
	محمّر	رمل بصبغات الهيماتيت
التركيب	رمل الكوارتز	-
	رمل العقيق	-
	رمل المعادن الثقيلة	-

1.2.1.1. معدن الكوارتز [5] :

الكوارتز هو أحد المواد الأكثر إنتشارا بعد معدن الفلسبار ( $KAlSi_3O_8$ ) [5-7] . ويتكون من ثنائي أكسيد السليسيوم ( $SiO_2$ ) ويتميز بتركيبه البلوري السداسي الشكل المتبلور وفق نظام بلوري ثلاثي الميل (trigonal) [5,7]. يتمتع

الكوارتز بمجموعة متنوعة من الألوان الرائعة مثل الأبيض والأرجواني والأحمر والأسود والشفاف والأزرق، ويرجع ذلك إلى التباين في البنية الشبكية وأنواع ونسب الشوائب. بالإضافة إلى ذلك يتميز الكوارتز بتواجد رقائق زجاجية تضيف لمسة سحرية إلى جماله [8، 5].

الكوارتز يمكن تصنيفه إلى طورين هامين و هما الطور  $\alpha$  والطور  $\beta$ . يتميز الطور  $\alpha$  بأنه الأكثر شيوعاً حيث يكون مستقرًا عند درجات حرارة أقل من  $573^{\circ}\text{C}$ ، و ينتج عن الإتصال المستمر لرباعي الوجوه ( $\text{SiO}_4$ ). حيث تتمركز ذرة سيلسيوم بين أربع ذرات أكسجين كما هو موضح في (الشكل [1-1])، أما الطور  $\beta$  فيكون متعدد الأشكال ويكون مستقر عند درجات حرارة تزيد عن  $573^{\circ}\text{C}$ .

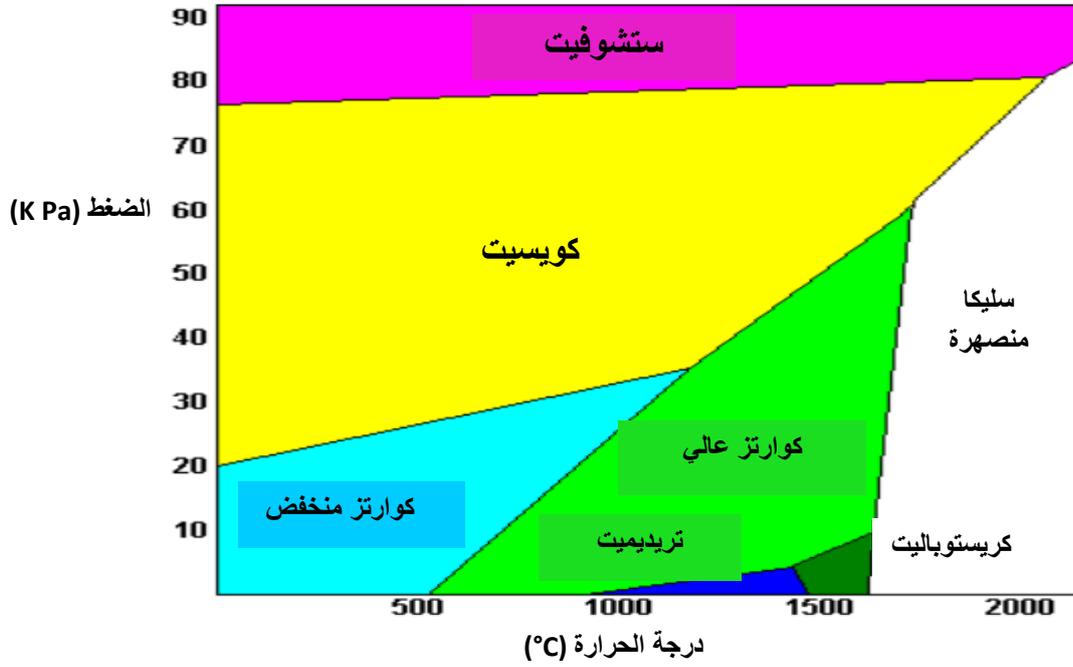


الشكل [1-1]: البنية البلورية للكوارتز وصورته [5-7].

الكوارتز هو مادة منتشرة في جميع أنحاء العالم ويعتبر أحد أهم مكونات الصخور حيث يشكل حوالي 70% من تركيب الرمال [5، 9]. ويمكن العثور على ترسبات نقية من الكوارتز عندما يتعرض لدرجة حرارة مرتفعة في الظروف الطبيعية دون الحاجة إلى إضافة مواد أخرى.

### 1.1.2.1.1 التحولات الطورية لمادة الكوارتز:

الكوارتز، أو ثاني أكسيد السيليوم ( $\text{SiO}_2$ )، يوجد في أشكال بلورية مختلفة [3]، والمعروفة بإسم متعدد الأشكال. تشمل الأشكال البلورية الأكثر شيوعاً للكوارتز الكريستوباليت والتريديميت و الكويسيت و الستشوفيت. كل متعدد أشكال له بنية بلورية فريدة تؤثر على خصائصه الفيزيائية والكيميائية (الشكل [2-1]) يوضح التحولات الطورية لمادة الكوارتز في درجات حرارة مختلفة.



الشكل [1-2]: مخطط التحول الطوري لمادة الكوارتز [10].

### 1) الكريستوباليت :

كريستوباليت (Cristobalite) هو أحد الأشكال البلورية للكوارتز يتشكل في وسط عالي الحرارة، مستقر عند درجات حرارة تتراوح بين 1470°C و 1713°C. يمكن أن يوجد الكريستوباليت في شكلين: الكريستوباليت المنخفض ( $\alpha$ -كريستوباليت) والكريستوباليت العالي ( $\beta$ -كريستوباليت) [10].

- **$\alpha$ -كريستوباليت:** له بنية رباعية الأضلاع (المجموعة الفراغية P4<sub>1</sub>2<sub>1</sub>2 أو P4<sub>3</sub>2<sub>1</sub>2)، مع ترتيب رباعي السطوح (SiO<sub>4</sub>) بطريقة تجعل البنية تشبه ترتيبًا مكعبًا مشوهًا مضغوطًا [10].

- **$\beta$ -كريستوباليت:** عند درجات الحرارة الأعلى، يتبنى بنية مكعبة أكثر تناسقًا (المجموعة الفراغية Fd $\bar{3}$ m)، مع ترتيب أكثر إنتظامًا لرباعي السطوح (SiO<sub>4</sub>) [10].

في كلا الشكلين، تكون أطوال روابط (Si-O) مماثلة لتلك الموجودة في الكوارتز، ولكن زوايا روابط (Si-O-Si) يمكن أن تختلف بشكل أكثر وخاصة في الشكل المنخفض الحرارة [10].

## (2) التريديميت:

التريديميت (Tridymite) هو شكل آخر من أشكال الكوارتز يتشكل في اوساط عالية الحرارة، مستقر عند درجات حرارة تتراوح بين  $870^{\circ}\text{C}$  و  $1470^{\circ}\text{C}$ . يحتوي التريديميت على عدة أشكال متعددة، بما في ذلك الأشكال المعينية القائمة، والأحادية الميل، والسداسية. الشكل الأكثر إستقرارًا في درجة حرارة الغرفة هو الطور المعين القائم (المجموعة الفراغية  $Cmc2_1$ )، على الرغم من أنه يمكن أن يوجد أيضًا في أشكال أحادية الميل ( $C2/c$ ) و سداسية ( $P6_3/mmc$ ) [11].

• **التريديميت المعين القائم:** يتكون الهيكل من طبقات من رباعي السطوح ( $\text{SiO}_4$ ) مرتبة في شبكة تشكل حلقات سداسية. هذه الطبقات مكدسة بطريقة تعطي التناظر المعين القائم [11].

• **التريديميت السداسي:** الشكل السداسي عالي الحرارة له ترتيب أبسط، مع درجة أعلى من التناظر مقارنة بالشكل المعين القائم [11]. أطوال الروابط ( $\text{Si-O}$ ) في التريديميت مماثلة لتلك الموجودة في الكوارتز والكريستوباليت، ولكن زوايا الروابط ( $\text{Si-O-Si}$ ) أكثر تنوعًا، مما يعكس التراص والترتيبات المختلفة للرباعي السطوح.

## (4) الكويسيت:

الكويسيت هو شكل متعدد الأشكال من الكوارتز يتشكل في وسط عالي الضغط و ذو بنية أحادية الميل (المجموعة الفراغية  $C2/c$ ). لديه إطار رباعي السطوح أكثر تعقيدًا لا يمكن تكوينه إلا في ظل ظروف الضغط العالي، مثل تلك الموجودة في مواقع إصطدام النيازك [11].

## (5) الستشوفيت:

الستشوفيت هو شكل متعدد الأشكال، يتشكل في وسط عالي الضغط و ذو بنية رباعية السطوح (المجموعة الفراغية  $P4_2/mnm$ ). حيث يتم تنسيق ذرات السليسيوم ثماني السطوح بواسطة ست ذرات أكسجين. ترتبط هذه المرحلة أيضًا بظروف قاسية ولها خصائص فيزيائية مختلفة جدًا مقارنة بالأشكال الأخرى من الأطوار البلورية للكوارتز [11].

و يمكن تلخيص ثوابت الشبكة البلورية لمادة الكوارتز خلال تحولاتها الطورية في الجدول التالي:

الجدول [1-2]: الأبعاد الشبكية للأطوار البلورية للكوارتز [12].

النوع	البنية البلورية	a (Å)	c (Å)	الحجم (Å <sup>3</sup> )	(g/cm <sup>3</sup> ) الكثافة
كوارتز ألفا	نظام بلوري ثلاثي	4.91	5.40	112.93	2.65
كوارتز بيتا	نظام بلوري سداسي	4.99	5.46	118.11	2.53
كريستوباليت ألفا	نظام بلوري رباعي	4.97	6.92	~170	2.32
كريستوباليت بيتا	نظام بلوري سداسي	7.12	-	~361	2.20
تريديميت معين قائم	نظام بلوري معين قائم	5.05	8.27	182.8	2.18
تريديميت سداسي	نظام بلوري سداسي	5.03	8.26	~180	2.25
كويستيت	نظام بلوري أحادي الميل	7.17	5.08	~185	2.32
سيتشوفيت	نظام بلوري رباعي	4.97	6.92	~170	4.35

### 2.1.2.1.1 الخصائص الفيزيائية والكيميائية لمادة الكوارتز:

#### (1) الخصائص الفيزيائية:

يتميز الكوارتز بخصائص جوهرية ومفيدة بشكل كبير في الصناعة. عندما ترتفع درجة الحرارة أو الضغط، يخضع الكوارتز لمراحل إنتقالية متعددة قبل أن يذوب. تُعرف هذه المراحل التي تشكل ما يُسمى بـ "الأشكال المتعددة"، والتي تتشابه في التركيب الكيميائي، ولكن لكل منها خصائص بلورية فريدة.

يصنف الكوارتز المتبلور ضمن النظام السداسي ذو التناظر الثلاثي، تتفاوت أحجام البلورات بين العينات، حيث قد تتراوح بين حبيبات كبيرة إلى جزيئات صغيرة تتلألأ على سطح الصخور.

صلابة الكوارتز على مقياس موس هي 7 وكثافته 2.65 g/Cm<sup>3</sup>، يكون بريق الكوارتز في بعض الأحيان زجاجيًا، وأحيانًا دهنيًا ولامعًا. بعض العينات شفافة. هذا المعدن عديم اللون، لكنه غالبًا ما يكون ملطخًا بالشوائب. تتمتع بلورات الكوارتز بما يسمى بالخاصية الكهرضغطية، مما يعني أنها تنتج الكهرباء عند ضغطها. تُستخدم هذه الخاصية في صناعة الإلكترونيات للتحكم في ترددات موجات الراديو. يتغير هيكل بلورات الكوارتز مع الحرارة [13]. الكوارتز العادي، أو الكوارتز ألفا ذو الشبكة السداسية عند 573°C يتحول إلى كوارتز عالي أو كوارتز بيتا الذي يختلف في خصائصه الفيزيائية؛ عندما يبرد يعود الكوارتز

العالي إلى الكوارتز العادي؛ بين  $870^{\circ}\text{C}$  و  $1470^{\circ}\text{C}$  ، يصبح هذا المعدن عبارة عن ترايديميت، يذوب الكريستوباليت عند  $1713^{\circ}\text{C}$  [12] . يمكن إيجاز الخصائص الفيزيائية في هذه النقاط [1]:

1. **صلابة عالية:** الكوارتز يتميز بصلابة عالية تتراوح عادة بين 6.5 و 7 على مقياس موس للصلابة، مما يجعلها صعبة ومقاومة للتآكل.
2. **إنكسار ضوء منخفض:** معامل الإنكسار للكوارتز يتراوح عادة بين 1.45 و 1.55، مما يجعلها تظهر كمادة شفافة.
3. **عزل كهربائي جيد:** الكوارتز يعتبر عازلاً جيداً للكهرباء، مما يجعله مادة مثالية للاستخدام في العزل الكهربائي.
4. **إنكماش حراري منخفض:** يمتلك الكوارتز إنكماش حراري منخفض، مما يجعله مادة مستقرة تحت درجات حرارة مختلفة.
5. **نقل جيد للحرارة:** الكوارتز ينقل الحرارة بشكل جيد ، مما يجعله مادة مثالية للاستخدام في تطبيقات نقل الحرارة.
6. **توسع حراري منخفض:** يتمتع الكوارتز بتوسع حراري منخفض، مما يجعله مادة مستقرة تحت التغيرات في درجة الحرارة.
7. **مقاوم للكسر:** الكوارتز يتمتع بمقاومة جيدة للكسر والتشوه، مما يجعله مادة مثالية للاستخدام في تطبيقات تتطلب قوة ميكانيكية.
8. **سطح غير متساوي:** يكون الكوارتز عادةً له بنية سطحية غير متساوية، مما يؤدي إلى خصائص إمتصاص واسترداد مختلفة في التطبيقات المختلفة.

## (2) الخصائص الكيميائية:

تركز هذه النقطة على الكوارتز وتفاعليته مع المواد: الخواص الكيميائية والإنقطاعات الميكانيكية وعيوب الشبكة. الشكل المتبلور لـ  $(\text{SiO}_2)$  في درجة حرارة الغرفة هو ( $\alpha$ -quartz)، وهو أحد أنقى أشكال السليكا. للنظر في كيمياء السليكا، من المهم النظر في نوع الشوائب الكيميائية في البلورة، ويمكن العثور عليها أيضاً في عيوب الشبكة، وعلى الأسطح وبالطبع في الكسور الملتزمة كلياً أو جزئياً. من بين أهم الخصائص الكيميائية للكوارتز [14] نذكر:

1. **ثبات كيميائي عالي:** الكوارتز غير قابل للتفاعل مع معظم المواد الكيميائية، مما يجعله مادة كيميائية مستقرة.
2. **مقاومة للتآكل:** بسبب ثباته الكيميائي، يعتبر الكوارتز مقاوم للتآكل، مما يجعله مادة مثالية للاستخدام في العديد من التطبيقات حيث يكون التآكل غير مرغوب فيه.

3. عدم الذوبان في الماء: الكوارتز يكون غير قابل للذوبان في الماء تمامًا، مما يجعله مادة مقاومة للتفكك في البيئة المائية.
4. قابلية التفاعل مع الأحماض القوية وحمض الهيدروفلوريك (HF): الكوارتز قابل للتفاعل مع الأحماض القوية وحمض الهيدروفلوريك، مما يؤدي في بعض الحالات إلى تكوين غاز سيليكون فلوريد (SiF<sub>4</sub>) والماء.
5. تفاعلية مع القلويات: على الرغم من ثباته الكيميائي العالي، إلا أن الكوارتز يتفاعل مع القلويات بشكل بطيء، خاصة عند درجات حرارة عالية، مما يؤدي إلى تكوين بعض المركبات الجديدة.
6. قابلية للإلحاح في محاليل القلويات الساخنة: على الرغم من مقاومته العالية للتآكل، إلا أن الكوارتز قابل للإلحاح في محاليل القلويات الساخنة المركزة، مثل محلول هيدروكسيد الصوديوم الساخن.
7. تفاعل مع الألمنيوم: الكوارتز يتفاعل مع الألمنيوم عند تسخينها بشكل قوي لإنتاج ألمنيوم السليكات، ويعتبر تفاعل هام في صناعة الزجاج.
8. تفاعل مع الكربون: عند تسخين الكوارتز مع الكربون، يمكن أن ينتج سيليكون وثاني أكسيد الكربون (CO<sub>2</sub>).
9. إستخدامها كعامل محفز: يمكن إستخدام الكوارتز كداعم محفز لتطبيقات الكيمياء، حيث يمكن تغطيتها بالعديد من المواد الفعالة كالبلاتين أو النيكل.
10. تفاعل مع الهيدروكسيدات المعدنية: يتفاعل الكوارتز مع الهيدروكسيدات المعدنية لتكوين مركبات تسمى السليكات.

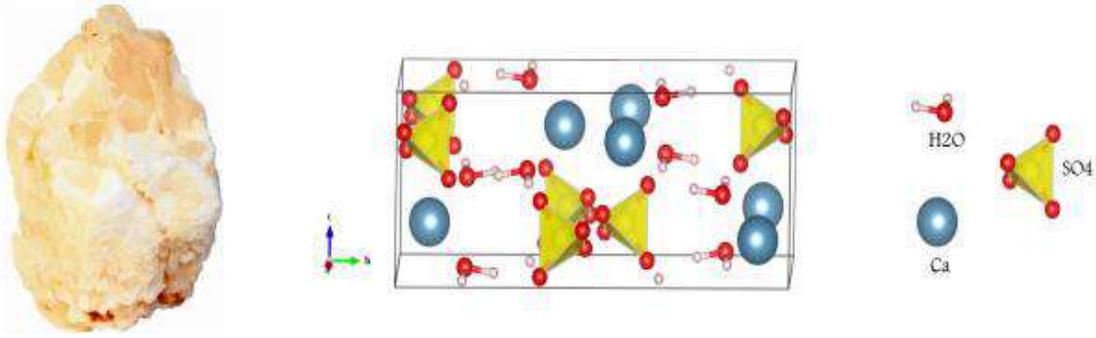
### 3.1.2.1.1. إستخدامات الكوارتز:

يستخدم الكوارتز في صناعة الزجاج البصري، وتدخل أنواعه عالية النقاء أيضا في صناعة الإلكترونيات مثل صناعة السليسيومات المستخدمة في أجهزة الكمبيوتر، ومعظم الأجهزة الإلكترونية. كما تستخدم بلورات الكوارتز في صناعة الأجهزة اللاسلكية وأنظمة الرادار وأجهزة التلفزيون.

### 2.2.1.1. معدن الجبس [5]:

يعتبر الجبس أحد المعادن الكبريتية الهامة والمنتشرة بكثرة في الطبيعة، يكون على شكل كبريتات الكالسيوم المائية (CaSO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O). تتواجد هذه المادة في الصخور الرسوبية حيث تشكل نتيجة ترسب كبريتات الكالسيوم مع مياه البحر وعادة ما يكون مصحوبا بترسبات أخرى مثل الهاليت (halite)، الملح الصخري (NaCl)، الأهميدريت (anhydrite) (CaSO<sub>4</sub>) والحجر الكلسي [5، 7]. بالإضافة إلى ذلك يمكن وجوده أحيانا في باطن الأرض على

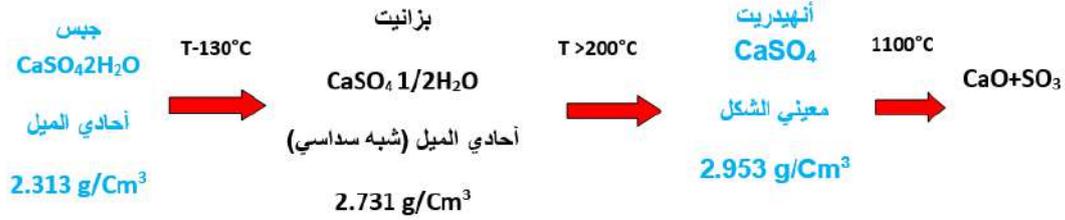
أعماق تصل إلى 350 m [5، 15]. كما يتكون الجبس في المناطق البركانية أيضا [5، 7]. عن طريق تفاعل حمض الكبريتيك مع المعادن التي تحتوي على الكالسيوم. كما يوجد الجبس في معظم أنواع الطين نتيجة لتفاعل حمض الكبريتيك مع الحجر الكلسي. يتشكل الجبس في هذه العملية على شكل بلورات أحادية الميل وفقا لنظام بلوري أحادي الميل (monoclinic) كما هو موضح في (الشكل [3-1]) [5، 16].



**الشكل [3-1]:** البنية البلورية للجبس وصورته [5، 7، 17].

ينتشر الجبس في جميع أنحاء العالم [5، 7]. ، وتعتبر بلدان مثل فرنسا، سويسرا، المكسيك والولايات المتحدة الأمريكية مواقع بارزة لتواجده. يمتاز الجبس بلون أبيض شبه شفاف [5، 18] ، على الرغم من أنه يمكن أن يتواجد بلون أسود أو أصفر أو أخضر بسبب وجود الشوائب.

يتميز الجبس بدرجة صلابة ضعيفة [5، 7] ، حيث يمكن خدشه بسهولة باستخدام الأظافر. وعند تسخينه إلى درجات حرارة تتجاوز  $128^{\circ}\text{C}$  يتفاعل الجبس تدريجيا مع الماء ويمر بمراحل الباسانيت (bassanite) و أنهيدريت (anhydrite). و يمكن أن يحدث تفكك للجبس عند تعرضه لدرجات حرارة عالية جدا كما هو موضح في (الشكل [4-1]).

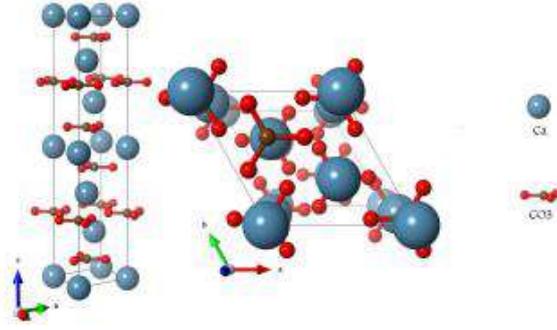


الشكل [I-4]: التحولات الطورية للجبس [5، 16].

يعرف الباسانيت (bassanite) بإسم العجينة الجصية، وهي عجينة تصبح صلبة وقاسية عند خلطها مع الماء وتركها تجف. تستخدم هذه العجينة في صناعة القوالب المستخدمة في النحت والزخرفة والسيراميك وعلاج الأسنان وغيرها من التطبيقات. يستخدم الجبس في أعمال البناء والتشييد ويدخل في صناعة الدهانات والألواح المستخدمة في تلميع وتنعيم الزجاج.

### 3.2.1.1 الحجر الكلسي أو الكالسيت [5]:

هو صخر رسوبي الذي يتكون أساسا من كربونات الكالسيوم ( $\text{CaCO}_3$ ) ويظهر عادة في شكل كالسيت أو الأراجونيت (aragonite). يمكن أن يحتوي هذا الصخر أيضا على كميات كبيرة من كربونات المغنيسيوم (الدولميت)، وأحيانا قد يحتوي على مكونات أخرى بكميات ضئيلة مثل الطين، كربونات الحديد، الفيلدسبار، البيرايث والكوارتز [5، 7]. تتميز معظم أنواع الأحجار الكلسية بتركيب حبيبي يتراوح ما بين  $0.0001 \text{ mm}$  إلى الحبيبات الكبيرة المرئية وعلى الرغم من أنها غالبا ما تكون بيضاء اللون إلا أن الشوائب مثل الطمي والرمل وأكسيد الحديد تعطيها ألوان متنوعة. يستقر الكالسيت تحت نظام بلوري ثلاثي الميل عند درجات حرارة أقل من  $850^\circ\text{C}$  كما هو موضح في (الشكل [I-5]).



الشكل [1-5]: البنية البلورية للكلس وصورته [5، 7، 17].

عند تسخين الكالسيت إلى درجات حرارة تتجاوز  $850^{\circ}\text{C}$  يحدث تفككه إلى ثنائي أكسيد الكربون والكلس (الجير) كما يلي:



يتمتع الكلس أو الجير (CaO) بإستخدامات هامة في صناعات الزجاج والزراعة الكلسية. و يستخدم في الغالب في

مجال البناء [5، 7، 15]. وتحتوي بعض الطبقات الأرضية منها على مخازن للنفط أو الغاز الطبيعي. يستعرض الجدول التالي

أهم الخصائص الفيزيوكيميائية لمكونات الرمل الأساسية.

الجدول [1-3]: يوضح أهم الخصائص الفيزيوكيميائية لمكونات الرمل الأساسية [5، 6، 19-22].

الجبس	الكالسيت	الكوارتز	
CaSO <sub>4</sub> 2H <sub>2</sub> O	CaCO <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	الصيغة الكيميائية
172.173	100.089	60.085	الكتلة المولية (g/mol)
74.440	36.9257	22.688	الحجم المولي (cm <sup>3</sup> )
في حمض HCl مع التسخين	في الاحماض المختلفة	غير قابل	قابلية الذوبان
2-1.5	3	7	صلابة
2.313	2.7106	2.648	الكثافة (g/cm <sup>3</sup> )
أحادي الميل	رباعي السطوح	رباعي السطوح سداسي السطوح	التبلور
5.670	4.9896	4.9134	a(Å)

15.201	-	-	b(Å)
6.533	17.0610	5.4052	c(Å)
118.60	-	-	$\beta(^{\circ})$
12/a	R3c	P3 <sub>1</sub> 21/P3 <sub>2</sub> 21	المجموعة الفضائية
أبيض، شفاف، أسود، أصفر، أخضر	أبيض	شفاف، وردي، أسود	اللون
زجاجي إلى حريري، لؤلؤي، أو شمعي	زجاجي إلى لؤلؤي على سطح الانقسام	زجاجي - شمعي	البريق
شفاف إلى نصف شفاف	شفاف إلى نصف شفاف	شفاف إلى معتم تقريبا	الشفافية
1.519 - 1.530	1.486 - 1.660	1.543 - 1.554	قربنة الإنكسار
1.21.10 <sup>14</sup>	2.10 <sup>12</sup>	2.10 <sup>16</sup> - 4.10 <sup>12</sup>	المقاومية الكهربائية ( $\Omega m$ )
-	-	1713 - 1705	درجة الإنصهار (°C)

### 3.1.1. الخصائص العامة للرمال [5] :

يمكن اعتبار إحدى الخصائص الجوهرية لرمال الكنتان أنها تتكون بشكل رئيسي من حبيبات الكوارتز، مما يمنحها خصائص فريدة تميزها عن أنواع الرمال الأخرى، حيث تصل نسبة الكوارتز بها إلى 70%. وتتميز بتنوع نسيجها وبنيتها التي تحدد خصائصها العامة ويوجد نوعان رئيسيان من هذه الرمال : حبيبات رملية وهي صخور فتاتية غير مترابطة تتكون من حبيبات متناهية الصغر التي لا تجمع بينها مادة لاحمة، أحجار رملية وهي صخور مترابطة تتكون من حبيبات فتاتية تتماسك بواسطة مادة لاحمة. يمكن تلخيص الخصائص العامة للرمال في النقاط الآتية الذكر.

### 1.3.1.1. الخصائص الفيزيائية للرمل [5]:

#### أ) الخصائص الحبيبية [5]:

تختلف الرمال في خصائصها الحبيبية بناء على طبيعة الصخور المصدر وتأثير العوامل الخارجية المختلفة. الرمال تتميز بمجموعة من الخصائص التي تتأثر بعدة عوامل بما في ذلك عوامل التجوية الفيزيائية أو الكيميائية ووسائل النقل الرياحي أو المائي والترسيب القاري أو البحري.

بإختصار فإن الإختلافات الحبيبية للرمل تعزى إلى طبيعة الصخور المصدر وعوامل التجوية ووسائل النقل وعمليات الترسيب المختلفة، وبهذا تكون هذه العوامل تؤثر مجتمعة في تحديد خصائص الرمال في مختلف المناطق حول العالم.

#### • قياس الحبات:

يختلف قطر حبيبات الرمل بين 2-0.0632 mm، وتنقسم هذه الرمال إلى أربعة فئات رئيسية وفقاً إلى أبعادها، يعتمد هذا التصنيف على الغرض من استخدام التربة. يمكن أن يكون التصنيف لأغراض زراعية أو جيولوجية أو هندسية أو غيرها. (الجدول [4-1]) يحدد البعد الحبيبي للرمل المفكك باستخدام مجموعة مناخل، يوضع بعضها فوق بعض متدرجة الفتحات من 2 mm وما دون ذلك. حيث أنه من خلال معرفة نوع التربة يمكن التعامل معها.

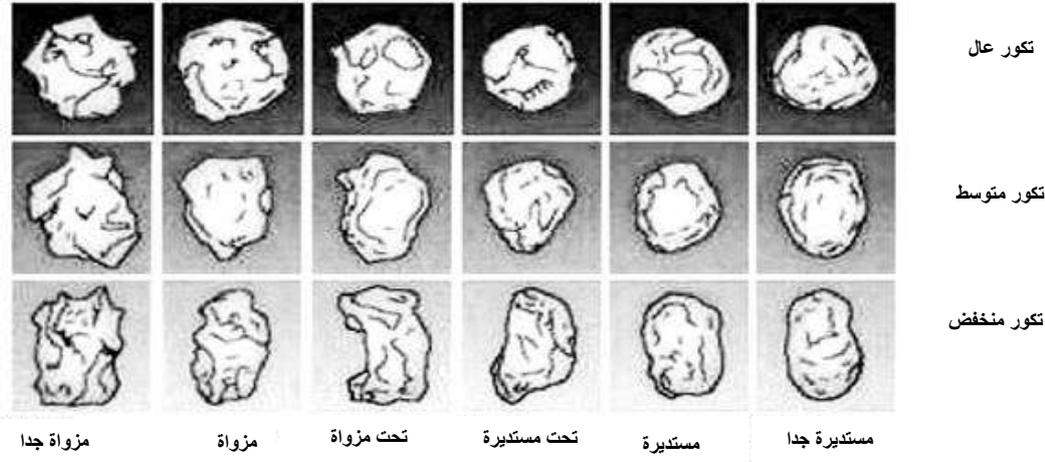
#### الجدول [4-1]: تقسيم الرمال تبعاً لأبعادها [5,23].

التصنيف	الأقطار الحبيبية
ركام	2 mm < Gravel
رمل	0.063mm < Sand < 2.0 mm
طمي	0.002mm < Silt < 0.063 mm
طين	Clay < 0.002mm

#### • أشكال الحبات [5]:

شكل حبيبة الرمل يعتبر أحد الخصائص الطبيعية لها. يحدد شكل الحبيبة عوامل النقل والترسيب، حيث يعبر التكور عن درجة إقتراب الحبيبة من الشكل الكروي، بينما التدور يعبر عن درجة إنحناء أركان الحبيبة. تتباين حبات

الرمل في أشكالها وتكورها حسبما يوضحه (الشكل [1-6]). كما يمكن أن تكون سطوحها ملساء أو خشنة، وتتميز ببريق مختلف فقد تكون معتمة أو شفافة [24].



الشكل [1-6]: مقياس إستدارة وتكور حبات الرمل .

### • التصنيف الحبيبي [5]:

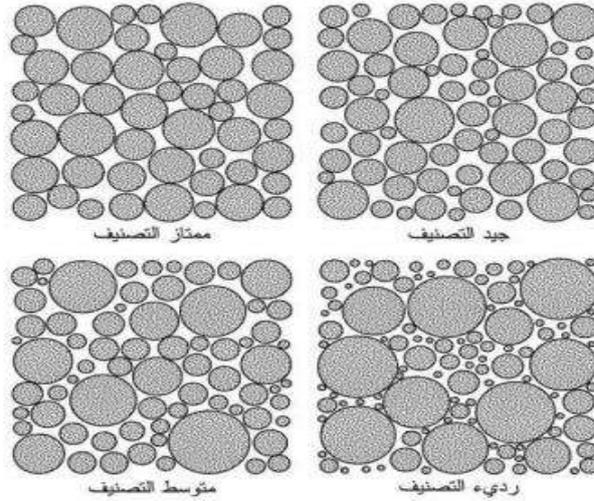
بمعنى سيطرة مقياس حبي واحد عن بقية المقاييس، وتتكون التجمعات الرملية من درجات مختلفة من التصنيف

الحبي، حيث يمكن أن تكون رديئة أو متوسطة أو جيدة التصنيف (الشكل [1-7]). تتميز هذه الخاصية بتداخل عوامل النقل والترسيب.

بصفة عامة تكون الرمال المتشكلة في المناطق المضطربة الأجواء جيدة التآكل والتكور والتصنيف الحبي؛ في

حين تكون الرمال النهريّة أسوء من حيث التآكل والتكور والتصنيف، وهذا بفعل السرعات المختلفة للتيارات المائية.

بينما الأسوء من حيث التصنيف تكون الرمال المحمولة بسيول جارفة، وبعدها رمال سفوح الجبال، أما الرمال البحرية العميقة فتكون بدرجة تآكل وتكور عاليتين ودرجة تصنيف متوسط.



الشكل [1-7]: التصنيف الحبيبي للرمال [5].

## ب) ألوان الرمل [5]:

يكتسب الرمل لونه من مكوناته المختلفة. والألوان الفاتحة هي الأكثر شيوعاً مثل بيضاء، شفافة أو غير شفافة، يمكن أيضاً أن يتلون بالبني والأحمر الناتج عن وجود أكسيد الحديد (hematite). وناذراً ما تكون هذه الألوان قائمة نتيجة وجود أكسيد الحديد ( $Fe_2O_3$ ) أو مواد عضوية. بينت دراسة سابقة [5، 25] على أسطح حبيبات الرمل الملونة، باستخدام مطيافية تشتت الطاقة بالأشعة السينية (EDS)، أن حبيبات الرمل البنية تحتوي على السيليسيوم (Si) والحديد (Fe) بكميات معتبرة، وبالنسبة للبيضاء الشفافة فتحتوي على الكالسيوم (Ca) والكبريت (S) أيضاً، في حين أنها إذا كانت غير شفافة دل ذلك على وجود البوتاسيوم (K) بتركيز أقل. بالنسبة للحبيبات الرمادية والسوداء فهي غنية بكمية كبيرة من السيليسيوم (Si) و الأكسجين (O)، وكذلك البوتاسيوم (K).

### 1.1.3.2. الخصائص الكيميائية للرمال:

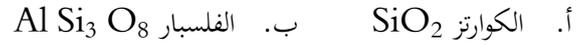
كيميائياً يتكون الرمل من تجمعات تشمل مزيجاً من أكاسيد المعادن المختلفة، وقد تأثرت بالعوامل البيئية بالإضافة إلى وجود بعض المواد العضوية [5، 26].

## أ) المكونات المعدنية:

المعادن في الرمل هي مركبات كيميائية طبيعية تتمتع بخواص فيزيائية وكيميائية و بلورية ثابتة يمكن تقسيم المعادن في الرمل إلى نوعين:

• المعادن الأولية:

وهي المعادن الناتجة عن التحطم الفيزيائي لصخور الأصل وتعتبر موروثه من الصخر الأصلي [5]، يوجد العديد من هذه المعادن ومن بين المعادن الأكثر إنتشارا في الرمال هي معدن:



• المعادن الثانوية:

وهي المعادن الناتجة عن التجوية الكيميائية للمعادن الأولية ، وتلعب دورا مهما في العديد من التفاعلات الكيميائية الغالبة في الرمال، من بين أكثر هذه المعادن إنتشارا في الرمال هي:

أ. السليكات: و يوجد ضمنها العديد من المعادن أهمها معادن الطين.

ب. الكربونات: و من أهمها معدن الكالسيت ( $CaCO_3$ ) و الدولوميت ( $CaMg (CO_3)_2$ )، و توجد بكثرة في الترب الجيرية و تؤثر على خواص الرمال.

ت. الكبريتات: تضم معادن الجبس ( $2CaSO_4 \cdot 2H_2O$ )، و يستخدم لمعالجة وإصلاح التربة القلوية.

ث. الأكاسيد: يدخل فيها أكسيدي الحديد ( $FeO/Fe_2O_3$ ) و الألمنيوم ( $Al_2O_3$ ).

نذكر أن التجوية الكيميائية هي تحويل المعادن الأولية إلى معادن أخرى ثانوية، وهذه العملية تنتج العناصر الضرورية لنمو النبات.

(ب) المكونات العضوية [5]:

تدخل فيها بقايا الكائنات الحية التي تعيش في الرمل، فعندما تتساقط المواد العضوية أو تضاف إلى الرمل تحدث تغيرات كثيرة نتيجة لتحويلها من قبل الكائنات الحية الدقيقة لمواد بسيطة أو مواد أخرى معقدة. وبتكرار هذه العملية تتشكل في النهاية مركبات عضوية نشطة كيميائيا ومقاومة للتحلل وتتميز باللون الداكن وتسمى الدبال (humus)، ويقسم الدبال في الرمل إلى:

أ- حامض الهيوميك

ب- حامض الفولفيك

ج- مادة الهيومين

بالرغم من إنخفاض نسبة المادة العضوية في الرمل إلا أن لها دورا كبيرا وأهمية في تحديد الخواص الفيزيائية والكيميائية للرمل.

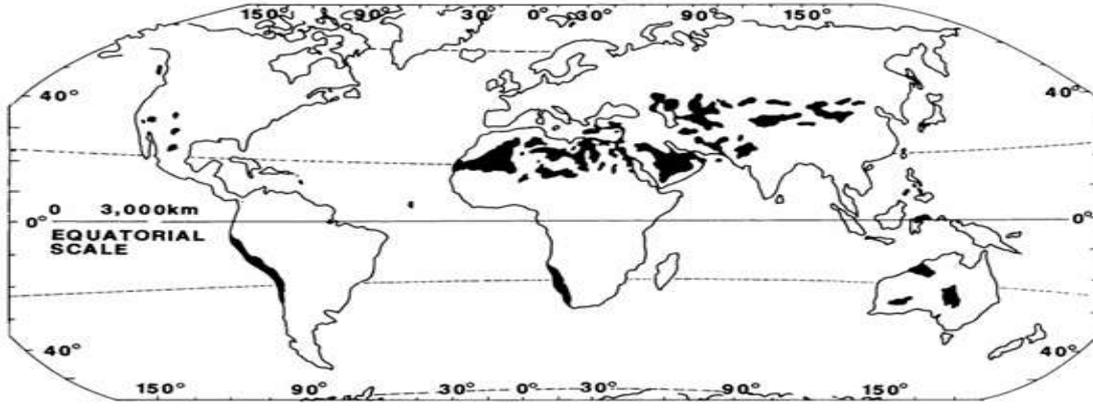
## 4.1.1. أصناف الدراسات على الرمل [5]:

تم إجراء العديد من الدراسات على الرمل ونلخص فيما يلي بعض النقاط:

- دراسات و أبحاث حول إمكانية إستخدام الرمل في الأعمال الإنشائية
- دراسة تحركات الكثبان الرملية: تمت دراسة الحلول المبتكرة لتثبيت الكثبان الرملية من خلال إقتراحات لتقنيات التحكم وتثبيت توازن البيئي.
- إستخدام الرمل كمادة خاصة في الزراعة تمت دراسة إستخدام الرمل كمادة تروية على بعض الأراضي يتم ذلك من خلال تعزيز قدرة التربة على الإحتفاظ بالماء وتحسين تهوية الجذور وتنظيم التغذية النباتية.

## 5.1.1. توزيع الرمال في العالم:

تغطي الرمال ما يقارب مئة مليون كلم مربع من سطح الأرض (الشكل [1-8])، حيث تتواجد بشكل رئيسي في المناطق الصحراوية و على طول الشواطئ [5، 27]. تختلف مساحات الصحاري في القارات حيث تصدرها قارة أستراليا بنسبة تغطية تصل إلى 49% من مساحتها، وأقلها قارة أوروبا بنسبة تغطية حوالي 1% من مساحتها. و تتفاوت نسبها في صحاري بقية أقطار العالم فمثلا تشغل الصحراء نسبة 98% من مساحة ليبيا، و نسبة 96% من مساحة مصر، و نسبة 95% من مساحة شبه الجزيرة العربية، نسبة 88% من مساحة باكستان و بنسبة 11% من مساحة الهند [5، 28].



الشكل [1-8]: خريطة توزيع الرمال في العالم [5،29].

### 6.1.1. توزيع الرمال في الجزائر:

تشكل رمال الصحراء الجزائرية جزءا كبيرا من مساحتها حيث تشغل حوالي 80% من مساحة الجزائر الإجمالية التي تبلغ حوالي  $2.4 \text{ km}^2$  [5، 30]. على الرغم من المساحات الشاسعة التي تغطيها الرمال في الصحراء الجزائرية، إلا أن الأبحاث والدراسات المتعلقة بها لا تزال قليلة. مما يستدعي ضرورة تكثيف الجهود البحثية في هذا المجال، خاصةً بالنظر إلى احتوائها على ثروات طبيعية متعددة. ولتحقيق أقصى استفادة من هذه الموارد، يُعتبر إجراء دراسات جيولوجية و فيزيوكيميائية دقيقة أمراً أساسياً لفهم تركيبها وخصائصها بشكل أعمق.

يتبع معظم جنوب الجزائر إلى الصحراء الكبرى، بالإضافة إلى مساحتها الشاسعة، تتضمن الجزائر تنوعا جغرافيا ومناخيا كبيرا، حيث تتواجد فيها جميع التضاريس المميزة مثل الجبال والصحاري و السهول والوديان والسواحل. على الرغم من هذه التضاريس المتنوعة فإن الصحاري تعتبر المنطقة الأكثر إنتشارا وشهرة، تكون التجمعات الرئيسية للرمال في شكل عروق كبيرة وأهمها:

أ. **العرق الشرقي الكبير:** هو منطقة صحراوية تشمل جنوب شرق الجزائر وتبلغ مساحته حوالي

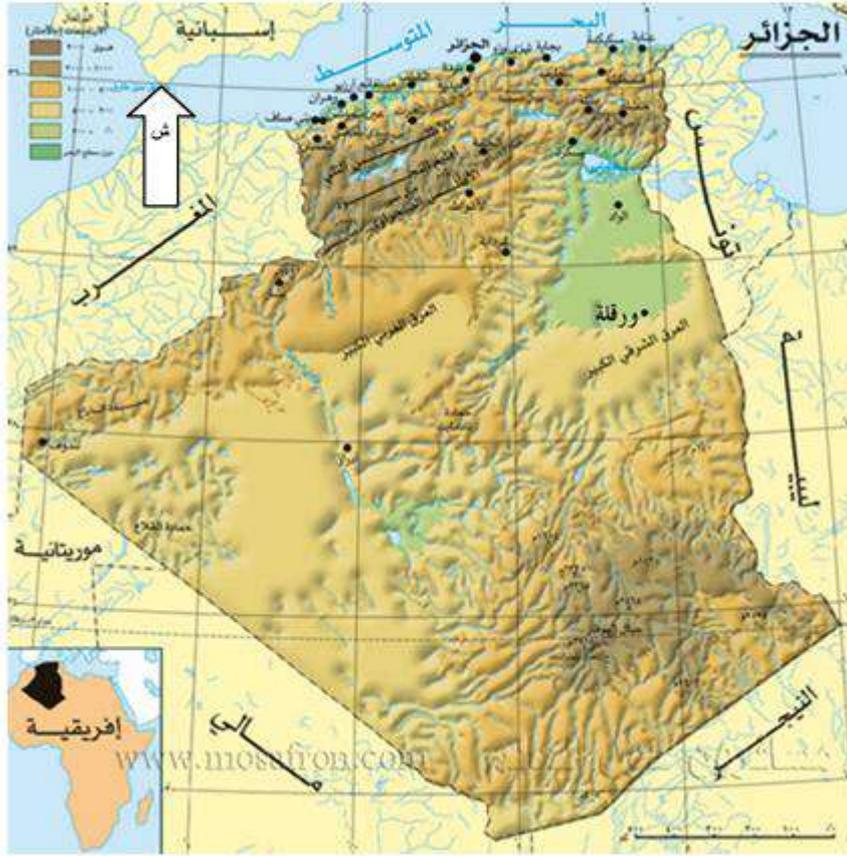
$190.000 \text{ km}^2$  يتميز بشكل رباعي ذو أضلاع بطول 500 km وعرض 300 km ، يتكون أساسا من كتبان

رملية ترتفع حتى 250 m من سطح الأرض [5، 31]. يظهر في (الشكل [1-9]) موقع العرق الشرقي الكبير

من خريطة الجزائر والبلدان المجاورة.

ب. العرق الغربي الكبير:

هو منطقة صحراوية تقع في جنوب غرب الجزائر وتمتد على مساحة تقدر بحوالي  $80.000 \text{ km}^2$ . يتكون أساسا من كتبان رملية ترتفع حتى  $300 \text{ m}$  وهو ثاني أكبر صحراء في الجزائر بعد العرق الشرقي الكبير [5، 31]. تفصل العرقين عن بعضهما البعض هضاب صخرية وسهول حجرية كما يظهر في (الشكل [1-9]).



الشكل [1-9]: توزع الرمال في الجزائر و البلدان المجاورة لها [32].

7.1.1. إستخدامات الرمل وأهميته الإقتصادية:

مادة الرمل بصفة عامة تندرج ضمن قائمة الخامات المفيدة المستخدمة في عدة صناعات، فهي تعتبر المادة الأولية الرئيسية في صناعة الزجاج والإلكترونيات، كما تستخدم بنسب متفاوتة في صناعة الإسمنت والسيراميك ومواد البناء. بالإضافة إلى ذلك توجد إستخدامات أخرى للرمل في عملية الصقل والشحذ وتنقية المياه وأخيرا تستخدم الرمال في عملية تعبيد الطرقات.

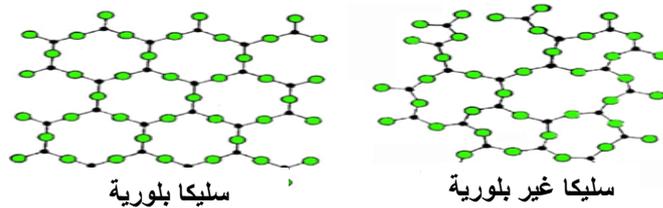
تتميز الرمال والأحجار الرملية الكوارتزية بمساميتها ونفديتها العاليتين، مما يجعلها مثالية كخزانات للنفط فهي تسمح بتراكم المواد الهيدروكربونية تحتها، وتتمتع بقدرة إستيعاب هائلة للنفط الخام والغاز الطبيعي، تبعاً للإحصائيات العالمية فإن الرمال و الأحجار الرملية تحتوي على ثلثي المخزون العالمي من النفط والغاز العالمي. ولذلك تشكل هذه الموارد الرملية خزانات نفطية هامة تسهم في الإحتياجات العالمية من الطاقة [26،5].

تتجاوز أهمية الرمال الكوارتزية مجرد إستخدامها في صناعات الزجاج والإلكترونيات، فحقول الرمال تعتبر مواقع سهلة لإكتشاف الهيدروكربونات (النفط والغاز وغيرها)، بالإضافة إلى ذلك تظهر الرمال الكوارتزية مقاومة للتحويلات الفيزيائية والكيميائية التي تؤدي إلى فقدان المسامية.

## 2.1. السليكا:

### 1.2.1. تعريف السليكا:

السليكا هي مركب كيميائي يتكون أساساً من عنصر السليسيوم (Si) وعنصر الأكسجين (O)، وتعرف صيغته الكيميائية بـ (SiO<sub>2</sub>)، حيث يمكن العثور عليه في الصخور والرمل والتربة والزجاج والمواد الطبيعية الأخرى، تتوفر السليكا بشكل طبيعي على شكل كريستالات صغيرة أو جزيئات متناهية الصغر [33]. توجد السليكا في أشكال بلورية وغير بلورية (الشكل [10-])، حيث أن الشكل البلوري الأكثر شيوعاً هو الكوارتز، تشمل الأنواع البلورية الأخرى التريديميت والكريستوباليت، في حين تشمل الأشكال غير البلورية السليكا المندمجة وهلام السليكا [34].



الشكل [10-]: البنية البلورية و الغير بلورية لمادة السليكا [34].

## 2.2.1. مصادر السليكا:

## (1) رمال سليكية نقية (كوارتزية):

تحتوي رمال السليكا النقية على نسبة عالية جداً من الكوارتز وتكون على شكل حبوب مدورة أو شبه مستديرة. فتصل نسبة  $SiO_2$  إلى 99.5% مع شوائب محدودة جداً. إذ تعتبر مادة خام إستراتيجية تعالج بعمليات دقيقة لتلبية إحتياجات الصناعات الحديثة [35].

## (2) الحجارة الرملية النقية:

هي أحجار تكونت نتيجة التآكل وإنتقال الرواسب عبر زمن بعيد، وهي عبارة عن صخور رسوبية تتكون أساساً من حبيبات الكوارتز بنسبة تزيد عن 90% مع كميات ضئيلة جداً من الشوائب مثل الأكاسيد المختلفة أو الطين [36]، يكون لونها أبيض أو رمادي فاتح تستخدم في صناعة الزجاج على الجودة وكذا مواد البناء الفاخرة، أيضاً أحجار الزينة في البيوت [37].

## (3) الكوارتزيت:

هو عبارة عن صخر متحول ناتج عن تعرض الحجر الرملي لضغط وحرارة عاليتين يتكون بشكل رئيسي من معدن الكوارتز بنسبة 90-99% ، مما يمنحه صلابة عالية ومظهراً بلورياً مميزاً [38].

## (4) الكوارتز الصلب:

وهو من أكثر المعادن وفرة، ويتكون من أكسيد السليسيوم أو السليكا و موجود في جميع أنحاء العالم، إما كمكون للصخور أو في حالته النقية (الشكل [11-1]). الكوارتز الصلب هو شكل متبلور عالي الكثافة من ثنائي أكسيد السليكون يتميز بصلابة إستثنائية ومقاومة فيزيائية وكيميائية فائقة هذا النوع من الكوارتز يتشكل تحت ظروف خاصة تمنحه خصائص فريدة تميزه عن الأنواع الأخرى من الكوارتز [39].



الشكل [11-ا]: عينة كوارتز صلب.

### 3.2.1. التصنيفات الرئيسية لمادة السليكا:

يمكن تصنيف السليكا إلى فئات مختلفة بناءً على خصائصها الفيزيائية والكيميائية، بعض التصنيفات الرئيسية للسليكا

تشمل [34]:

#### (1) السليكا البلورية:

- تشير السليكا البلورية إلى السليكا ذات التركيب البلوري المنتظم.
- تشمل الأمثلة الشائعة الكوارتز، والكريستوبالايت، والتريديميت.
- تشتهر السليكا البلورية بصلابتها العالية ومتانتها.
- يتم استخدامه على نطاق واسع في الصناعات مثل صناعة الزجاج والإلكترونيات والبناء.

#### (2) السليكا غير البلورية :

- تفتقر السليكا غير المتبلورة إلى بنية بلورية منتظمة ويتم ترتيب ذراتها بشكل عشوائي.
- تشمل الأمثلة على رمل السليكا الطبيعي، والرماد البركاني، والسليكا الصناعية غير المتبلورة.
- توجد السليكا غير المتبلورة بشكل شائع في الطبيعة ولها تطبيقات متنوعة في الصناعات مثل البناء والدهانات والطلاءات.

#### (3) السليكا المصنعة:

- تشير السليكا المصنعة إلى السليكا المنتجة صناعيًا باستخدام تقنيات مختلفة مثل التكليس والترسيب.

- يمكن تصميمه لتلبية متطلبات التطبيق المحددة.
- تجد السليكا المصنعة تطبيقات في مجموعة واسعة من الصناعات بما في ذلك صناعة الزجاج والإلكترونيات والسيراميك.

### 3.1. الكثبان الرملية:

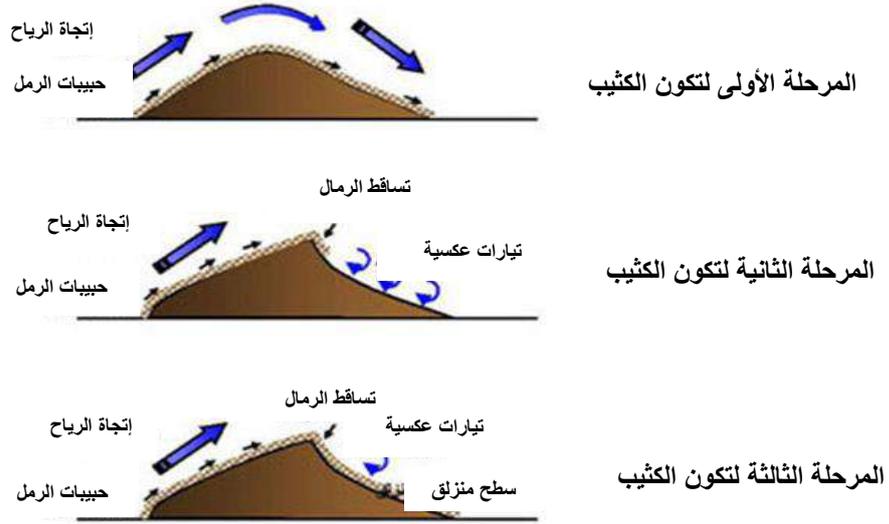
#### 1.3.1. تعريف الكثبان الرملية:

الكثبان الرملية هي تجمعات من الرمال السائبة على سطح الأرض بشكل كومة ذات قمة. تتنوع الكثبان الرملية بين كثبان متجانسة أو كثبان غير متجانسة، وقد يكون لونها أصفر فاتح بسبب وجود الكوارتز أو بني محمر لوجود أكسيد الحديد وقد تتشكل بأشكال متنوعة أخرى [5، 40]. ويمر تكون كثيب الرمال بالمراحل التالية [5، 41]:

أ. عندما تزيد سرعة الرياح تحمل حبيبات الرمل وتنقلها إلى مكان آخر، في حين إذا قلت سرعتها تسقط حملتها من الرمال، و تتجمع فوق بعضها البعض، تتراكم هذه الرمال عادة على الجانب المواجه لإتجاه الرياح، وقد يتبقى بعضها في قمة الكثيب، و يتدحرج بعضها الآخر على الجانب المعرض للرياح. تنتج عن هذه العملية تدحرج حبات الرمل وترحلقها بفعل جاذبية الأرض وبالتالي تعمل الرياح على تسوية الجانب المواجه لها، ويتراوح هذا الجانب بين  $20^\circ$  و  $30^\circ$ ، وكنتيجة لذلك تتجمع الرواسب على الجانب المواجه للرياح أكثر من الجانب المظاهر لها، ويزداد إرتفاع الكثيب تدريجيا كما هو موضع في (الشكل [12-1]).

ب. تتدحرج الرمال من أعالي الكثيب بفعل جاذبية الأرض نحو سفح الجانب المظاهر لإتجاه الرياح، فيتكون إنحدار شديد كنتيجة لتيارات العكسية (الشكل [12-1]).

ت. في هذه المرحلة يتجلى التباين بين الإنحدار البسيط المواجه للرياح و الإنحدار الشديد المظاهر لها، فتتجمع الرمال وتنحدر تدريجيا بفعل جاذبية الأرض على الجانب المظاهر للرياح، يتأثر هذا الجانب الأخير بوجود التيارات العكسية (الدوامات الهوائية)، والتي تساهم بدورها في تثبيت بعض حبيبات الرمل فوق قمة الكثيب، وتمنعها من الإنزلاق أسفل الإنحدار المظاهر لإتجاه الرياح. بالإضافة إلى ذلك تساعد الرياح في تشكيل فجوات عميقة في الجزء الخلفي للإنحدار مما يعطيه شكلتا منحنيا ومقعرا تتشكل له أيضا ذراعين طويلتين تمتدان مع إتجاه الرياح وذلك بفعل التأثيرات المتعددة للرياح على الكثيب (الشكل [12-1]).



الشكل [1-12]: مراحل تكوين الكثيب [5، 9، 41].

### 2.3.1. منشأ الكثبان الرملية:

تتكون الكثبان الرملية بسبب تعرض الصخور الصحراوية لعوامل التعرية ، مثل تأثير درجة الحرارة العالية و تأثير الرياح

المستمرة. كل هذه العوامل تؤدي إلى تفكك الصخور وتحويلها إلى حبيبات رملية متنوعة الحجم والشكل [5، 42]

### 3.3.1. تصنيف الكثبان الرملية:

تصنف الكثبان الرملية تبعاً لموقعها الجغرافي أو تركيبها المعدني:

#### 1.3.3.1. الموقع الجغرافي:

- **كثبان ساحلية:** هي تجمعات من الرمال التي تتشكل على سواحل البحار و المحيطات، وتنشأ من تجمعات الرمال الشاطئية والصخور الساحلية ذات التماسك الضعيف. تتميز هذه الكثبان بتكون غطاء نباتي كثيف يحد من حركتها وتحتوي بشكل كبير على معادن مثل الكوارتز والكالسيوم. تتشكل بسبب الإنجراف الريحي للصخور الرملية والتراب في المناطق التي يسود فيها المناخ الصحراوي وشبه الصحراوي.
- **كثبان صحراوية:** تكون في المناطق الصحراوية التي تغطيها الصخور المختلفة مثل الصخور الرملية والجبس. هذه الكثبان توجد على شكل سلاسل متباعدة أو سلاسل معقدة متلاحمة. تتكون الرمال فيها من حبيبات مختلفة الأحجام والأشكال وهي سهلة النقل والحركة بفعل الرياح [5، 43].

### 2.3.3.1. التركيب المعدني:

يمكن تصنيف الكثبان الرملية على حسب تركيبها المعدني على أساس المكون الغالب فيها:

- كثبان كلسية: تتكون من نسبة عالية من الكلس (CaO).
- كثبان كوارتزية: تحتوي على أكثر من 70% من هذه المادة (SiO<sub>2</sub>).
- كثبان جبسية: تتكون من كمية كبيرة من الجبس (CaSO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O) [42].

### 4.3.1. أشكال الكثبان الرملية:

العوامل البيئية التي تؤثر على ترسيب الرمال هي: سرعة الرياح وإتجاهها، والقرب والبعد من مصدر الرمال، كذلك وضع الغطاء النباتي، أيضا وجود الحواجز الطبيعية مثل الصخور وبقايا النباتات، هذه كلها تحدد الشكل الهندسي العام للكثبان الرملية وأهم أشكالها [5، 43]:

- الكثبان الهلالية (Crescent dunes)
- الكثبان المقوسة (parabolic dunes)
- الكثبان العرضية (Cross dunes)
- الكثبان الطولية (longitudinal dunes)
- الكثبان النجمية (star dunes)

### 4.1. إستخلاص الكوارتز من الرمل:

يتم إستخلاص الكوارتز عادة من رمال السليكا (رمال الكوارتز)، وتتميز هذه الرمال بكونها حبيبات رملية بيضاء نقية، تحتوي على نسبة عالية من ثنائي أكسيد السليسيوم (السليكا)، إضافة إلى كميات قليلة من الشوائب والمعادن الثقيلة. يتم قياس جودة هذه الرمال وفقا للمعايير المشمولة في المواصفات والمقاييس العالمية المعتمدة بناء على نوع الصناعات المستهدفة، فمثلا في صناعة الزجاج تشمل هذه المعايير تركيز أكسيد السليسيوم وأكسيد الحديد والتدرج الحبيبي. يوضح (الجدول [1-5]) المواصفات الكيميائية والحبيبية لرمال السليكا المستخدمة في مختلف صناعات الزجاج.

الجدول [1-5]: المواصفات الكيميائية والحبيبية لرمال السليكا المستخدمة في الصناعات الزجاجية [5، 45، 46].

النسبة الوزنية للأكاسيد في الرمل الزجاجي (%)				الترجح الحبيبي (mm)	نوع المنتج الزجاجي
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>		
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

تتطلب إستعمالات الرمال عادة إجراء عمليات تنقية وتجهيزها قبل إستخدامها. حيث تعتمد عملية التنقية على نسبة ونوع الشوائب الموجودة في الرمل، وتتنوع العمليات المستخدمة للتنقية وفقا للشوائب المستهدفة، وعادة ما تشمل عمليات التنقية فصل الشوائب والمواد اللاحمة بإستخدام طرق مثل الغسل والرج و الإحتكاك الميكانيكي الجاف أو الرطب والتصنيف الحجمي (الغربلة) والإذابة الحامضية والتعويم الرغوي بالإضافة إلى الفصل المغناطيسي [5، 46-48].

تتلخص أهم عمليات التنقية في فيما يلي [46]:

- أ. تسمح عملية الغسل بالماء، تليها عملية الرج و الإحتكاك بفصل المواد اللاحمة والتخلص من الجسيمات الناعمة والعوالق المرتبطة بالرمل والتي تشمل الأطنان.
- ب. يتم تصنيف الرمل الخام حسب الحجم بإستخدام مناخل تحتوي على فتحات ذات قطر تناقصي حيث يتم ترتيبها فوق بعضها البعض، بعد ذلك يتم فحص الأصناف الحبيبية المفصولة لتحديد نسبة الشوائب فيها والتي عادة ما تكون أعلى في الحبيبات ذات الأحجام الكبيرة.
- ت. تستخدم عملية الفصل المغناطيسي لفصل حبيبات الرمل المحملة بالحديد، يتم تنفيذ الفصل المغناطيسي للرمال المغسولة بإستخدام جهاز فصل يعمل على تمرير مزيج الرمال الزجاجي (والتي تحتوي على مواد صلبة تصل نسبتها إلى 20 % عبر مجال مغناطيسي).
- ث. يتم تحفيز جزيئات الحديد كهربائيا مما يؤدي إلى جذبها و الحجز المغناطيسي وفصلها عن باقي حبيبات الرمل.

ج. تعتبر عملية التعويم الرغوي واحدة من أهم وأكثر الطرق إنتشارا في تكنولوجيا معالجة الخامات، تعتمد هذه العملية على الفرق في الخصائص الفيزيوكيميائية السطحية للحبيبات المعدنية المختلفة، يظهر الإختلاف في هذه الخصائص السطحية بعد معالجة المعادن بواسطة المحاليل حيث يتحول المعدن الخام عادة إلى سائل رغوي أو حبيبات طافية في حين تبقى الشوائب في المحلول، تتيح هذه العملية الإنتقائية تفصيل المعادن وفصلها عن الشوائب.

ح. تستخدم أيضا عملية غسل الرمال بالأحماض كطريقة لتنقيته، ويتم معالجة الخام بواسطة حمض الهيدروكلوريك وحمض الكبريتيك بتراكيز ونسب مختلفة، بعد ذلك يتم غسل الرمل جيدا بالماء لإزالة الأحماض والشوائب الأخرى المتبقية. تستخدم هذه العمليات إما بشكل مستقل أو متتالي وذلك لتحقيق الهدف المطلوب، وهو الحصول على رمال تتوافق مع مواصفات المواد الأولية (كوارتز) المستخدمة في نوع الصناعات المطلوبة. و يتم تنفيذ هذه العمليات بهدف تحسين نسبة النقاء وخصائص الرمل وذلك من أجل تلبية متطلبات الصناعة المحددة.

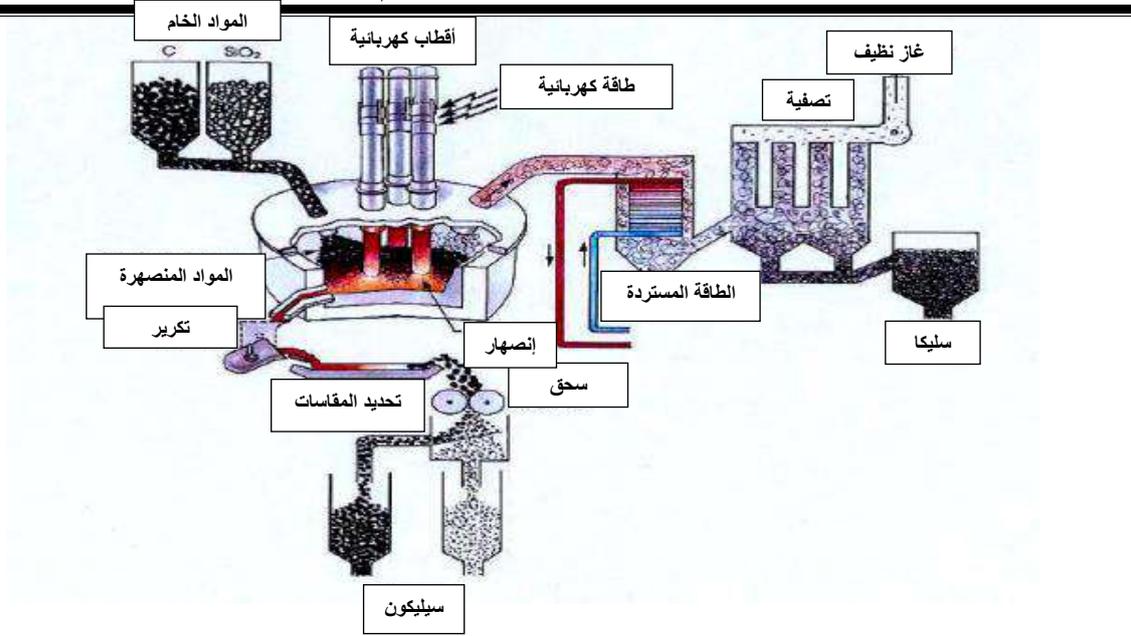
### 5.1. إستخلاص السيليسيوم من الكوارتز:

يعد السيليسيوم العنصر الأكثر إنتشارا في قشرة الأرض بعد الأكسجين، بالنسبة تصل إلى % 27.7، و عادة ما يترافق السيليسيوم مع الأكسجين في الرمال والصخور الكوارتزيتية على شكل ثاني أكسيد السيليسيوم ( $SiO_2$ )، ونادرا ما يوجد السيليسيوم بصورة حرة في الطبيعة. يتميز السيليسيوم في شكله البلوري باللون الرمادي وبريق معدني. يعتبر السيليسيوم ومركباته من الخامات الأساسية المستخدمة في تصنيع مجموعة واسعة من المنتجات مثل السيراميك والزجاج، إضافة إلى ذلك يعد السيليسيوم أساسا حيويا للصناعات الحديثة العالية سواء في مجال الأجهزة الكهربائية والإلكترونية أو في تشكيل السبائك المعدنية.

يتم إنتاج السيليسيوم صناعيا عن طريق إستخلائه من ثاني أكسيد السيليسيوم الموجود في رمال السليكا النقية، و ذلك بإستخدام الكربون كعامل محفز في أفران القوس الكهربائي. تتطلب هذه العملية درجة حرارة مرتفعة جدا قد تصل إلى

$2000^{\circ}C$  كما هو موضح في (الشكل [13-1]) و وفقا للمعادلة التالية :





الشكل [13-1]: وحدة إنتاج السليسيوم وخطوات التصنيع [49].

في حين يكون إنتاج السليسيوم بهذه الطريقة بنسبة نقاوة تتراوح من 90 إلى 95%، ويعرف بإسم السليسيوم الصناعي. يتم إستخدام هذا النوع من السليسيوم في تصنيع سبائك البرونز والحديد وكذلك في تحضير المواد السليسيومية. ومع أن هذا السليسيوم يتميز بنقاوة إلا أنه غير كافي للإستخدام في صناعة أشباه الموصلات أو الشرائح الدقيقة أو خلايا الطاقة الشمسية لذلك يتم تنقيته عن طريق تحويله إلى رباعي كلوريد السليسيوم أولاً ثم يتم إختزاله مره أخرى إلى السليسيوم بإستخدام عوامل مختزلة مثل المغنيسيوم كمايلي [49]:



يتم التخلص من (MgCl<sub>2</sub>) في السليسيوم عن طريق غسله بالماء الساخن حيث يذوب (MgCl<sub>2</sub>) ولا يذوب السليسيوم، وبذلك يتم الحصول على سيليكون عالي النقاوه.

يتم إستخدام عملية أخرى تسمى طريقة منطقة التكرير للحصول على سيليكون بنقاوة أعلى، في هذه العملية يتم وضع السليسيوم في قالب إسطواني ويسخن أحد أطرافه بإستخدام مصدر حراري حلقي متحرك، هذا يؤدي إلى تكوين طبقة رقيقة من السليسيوم المنصهر عند سحب المصدر الحراري ببطء يتحرك المنصهر تدريجياً إلى الخلف، مما يؤدي إلى فصل الشوائب عن

السليسيوم المنصهر بعيدا عن المصدر الحراري وبالتالي يزداد تركيز الشوائب في الجزء الخلفي من القالب الإسطواني. ويتم قطعها والتخلص منها، بينما يكون الجزء الأمامي نقيا جدا ويعرف أن السليسيوم المحضر بهذه الطريقة بأنه سيليكون عالي النقاوه.

1. Fanderlik, I. (Ed.). (2013). *Silica glass and its application*. Elsevier.
2. Bigelow, C. A., Bowman, D. C., & Cassel, D. K. (2004). Physical properties of three sand size classes amended with inorganic materials or sphagnum peat moss for putting green rootzones. *Crop Science*, 44(3), 900–907.
3. Beddiaf, S., Chihi, S., & Leghrieb, Y. (2015). The determination of some crystallographic parameters of quartz, in the sand dunes of Ouargla, Algeria. *Journal of African Earth Sciences*, 106, 129–133.
4. Guettala, S., Mezghiche, B., & Mellas, M. (2010). Adding finely crushed dune sand to cement on the evolution of hydration of pastaportl and cement. (pp. 241–251).
5. Mechri, M. A. (2016). *دراسة أثر المعالجة الحرارية على تركيب رمل كثبان ورقلة، وعلى ناقلتيه الكهربائية، [رسالة دكتوراه، جامعة قاصدي مرباح ورقلة باستخدام الطرق الطيفية]*.
6. Wikipedia. (2023, July). *Silica*. <https://en.wikipedia.org/>
7. Chemistry Sources. (2023, July). <http://www.chemistrysources.com/>
8. Götze, J., & Möckel, R. (Eds.). (2012). *Quartz: Deposits, mineralogy and analytics*. Springer.
9. Saudi Geological Survey. (2023, July). <http://www.sgs.org.sa>
10. Sosman, R. B. (1927). *The properties of silica: An introduction to the properties of substances in the solid non-conducting state* (No. 37). The Chemical Catalog Company.
11. Shi, C.-S. (1972). *Electrical conductivity of silica in the presence of water and methanol vapor* [Doctoral dissertation, Stanford University].
12. Baoqi, S., & Zhengbing, C. (1995). Chemical purification of industrial minerals. *Proceedings of the XIX International Mineral Processing Congress*, 2(39), 39–45.
13. Hand, R. J., Stevens, S. J., & Sharp, J. H. (1998). Characterisation of fired silicas. *Thermochimica Acta*, 318(1–2), 115–123.
14. Holmquist, S. B. (1961). Conversion of quartz to tridymite. *Journal of the American Ceramic Society*, 44(2), 82–86.
15. Mawdoo3. (2023, July). <http://mawdoo3.com/>
16. Stanger, G., Laver, J., & Neal, C. (1988). Black carbonaceous calcite associated with serpentinite from Oman. *Mineralogical Magazine*, 52(366), 403–408.
17. Crystallography365.(2023,July). <https://crystallography365.wordpress.com/structures/>
18. Brantley, S. L., Kubicki, J. D., & White, A. F. (2008). *Kinetics of water-rock interaction*. Springer.  
<https://doi.org/10.1007/978-0-387-73563-4>
19. Smyth, J. R., & Bish, D. L. (1988). *Crystal structures and cation sites of the rock-forming minerals*. Allen & Unwin.
19. Telford, W. M., Geldart, L. P., & Sheriff, R. E. (1990). *Applied geophysics*. Cambridge University Press.
20. Louie, O., et al. (2012). Characterization of the gypsum composite for electrical conductivity. *American Journal of Chemistry*, 2(5), 245–247.
21. Deer, W. A., Howie, R. A., & Zussman, J. (1963). *Rock-forming minerals* (Vol. 1). Longmans.
22. قسم الجيولوجيا الهندسية والبيئة، جامعة الملك عبد العزيز. مقرر المخاطر الجيولوجية. (1997). الحارثي، ع. ب. ع.
23. Mahaney, W. C. (2002). *Atlas of sand grain surface textures and applications*. Oxford University Press.
24. Mechri, M. A., & Chihi, S. (2012). *دراسة التركيب الذري لرمال كثبان منطقة ورقلة باستخدام مطيافية الفلورة 2. والمجهر الإلكتروني الماسح حوليات العلوم والتكنولوجيا جامعة ورقلة، 69–79.*
25. Abdelhak, M., et al. (2014). Algerian Sahara sand dunes characterization. *Silicon*, 6, 149–154.
26. Kavulich Jr, M. J. (2008). *The physics of sand dune formation and migration on Mars* [Doctoral dissertation, Worcester Polytechnic Institute].
27. Petre, M., et al. (2004). The dependence of quartz and opal color on trace element composition–AAS. \*FT IR and micro-Raman spectroscopy study, (pp. 171–184).

28. Pye, K., & Tsoar, H. (2008). *Aeolian sand and sand dunes*. Springer Science & Business Media.
29. Padmakumar, G. P., et al. (2012). Characterization of aeolian sands from Indian desert. *Engineering Geology*, 139, 38–49.
30. Khakha, Y., & Chafou, A. (2014). *Contribution à l'étude minéralogique et géotechnique des sables de l'erg oriental de Ouargla* [Thèse de doctorat, Université de Ouargla].
31. Bullard, J. E., et al. (2011). Preferential dust sources: A geomorphological classification based on laboratory measurements. *Geomorphology*, 132(3-4), 1-13.
32. Bergna, H. E. (1994). Colloid chemistry of silica: An overview. (pp. 1–47).
33. Cerda, R. M. (2014). *Understanding quartz crystals and oscillators*. Artech House.
34. Wenden, H. E. (1957). Ionic diffusion and the properties of quartz I. The direct current resistivity. *American Mineralogist*, 42(11–12), 859–888.
35. Kruhl, J. H., & Nega, M. (1996). The fractal shape of sutured quartz grain boundaries: Application as a geothermometer. *Geologische Rundschau*, 85, 38–43.
36. Keith, M. L., & Tuttle, O. F. (1952). Significance of variation in the high-low inversion of quartz. *American Journal of Science*, 250, 203–280.
37. Jensen, N. C. (1942). *Marketing silica (quartz, tripoli, diatomite, etc.)* (Report No. 7202). US Bureau of Mines.
38. Sakaguchi, Y., et al. (1992). Production of high purity silicon by carbothermic reduction of silica using AC-arc furnace with heated shaft. *ISIJ International*, 32(5), 643–649.
39. Zhang, L., et al. (2018). "Effects of desert sand on the mechanical properties of cement mortar". *Construction and Building Materials*, 177, 148–156.
40. Götze, J. (2019). "Trace element composition and coloration of quartz". *Mineralogical Magazine*, 83(2), 195–210.
41. Belmedrek, S., & Bouzenoune, A. (2001). Granulométrie et minéraux lourds des sables dunaires et de plage des secteurs de OuedZhour et de Beni Belaid (Jijel, Algérie nord orientale).
42. Bagnold, R. A. (2012). *The physics of blown sand and desert dunes*. Courier Corporation.
43. Mangimeli, J. (2007). Geology of sand dunes. *Geology of Sand Dunes*.
44. Platias, S., Vatalis, K. I., & Charalampides, G. (2014). Suitability of quartz sands for different industrial applications. *Procedia Economics and Finance*, 14, 491–498.
45. Froideval, A. (2004). *Uranium (VI) chemistry at the interface solution/minerals (quartz and aluminium hydroxide): Experiments and spectroscopic investigations of the uranyl surface species* (No. FRNC-TH--7886). Université Louis Pasteur.
46. Mustafa, A. M. K., Fleah, I. K., & Khachiek, T. V. (2013). Preliminary upgrading of silica sand for silicon and silicones industries from Ardhuma, Iraqi Western Desert. *Iraqi Bulletin of Geology and Mining*, 9(1), 75–84.
47. Al-Ajeel, A. W., et al. (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.
48. Xakalache, B. S., & Tangstad, M. (2012). Silicon processing: From quartz to crystalline silicon solar cells. *ChemTech*, April, 32–37.
49. Shen, H., & Guo, J. (2022). *High-purity silicon production from quartz sand: Recent advances and challenges*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 168, 112790. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112790>

## الفصل الثاني:

الأدوات والطرق التجريبية والتقنيات

المستعملة في القياس

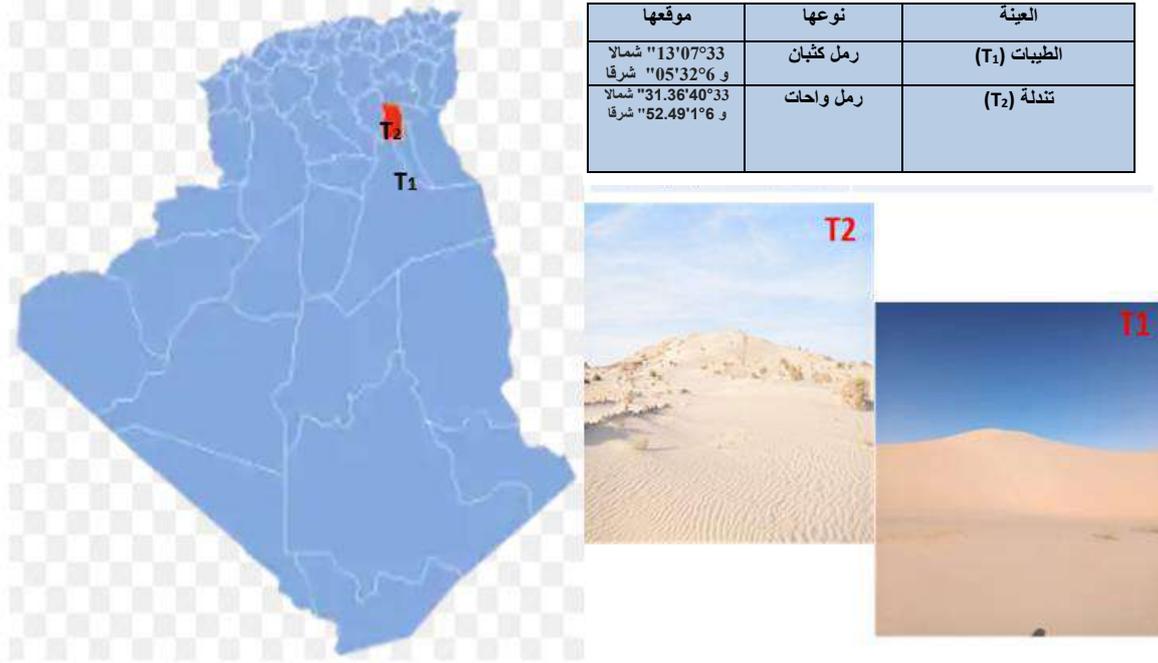
## تمهيد:

في هذا الفصل سنتطرق إلى وصف عملية التنقية لعينتين طبيعيتين من مادة الرمل و التي جمعتا من منطقتين مختلفتين من كئبان منطقة الشمال الشرقي لصحراء الجزائر (منطقة الطيبات و منطقة تندلة)، حيث تم تعريض العينات الرملية إلى حلقات متتالية من سلسلة معالجة حرارية - كيميائية من أجل تحسين نسبة مادة أكسيد السيليسيوم ( $\text{SiO}_2$ ) فيها، و تطلب هذا العمل إستخدام أدوات قياس مناسبة و تبني طرق تجريبية معينة لتحقيق الهدف المرجو، كما سيتطرق هذا الفصل إلى وصف المناطق المدروسة و طرق التشخيص المستخدمة و التي من خلالها تم الوصول لدراسة الخواص الفيزيوكيميائية للعينات الطبيعية و المعالجة.

**1.1. أخذ وتحضير عينات المدروسة:****1.1.1. الموقع الجغرافي للعينات المدروسة:**

لقد إرتكز عملنا هذا على دراسة عينتين طبيعيتين من مادة الرمل ( $T_1$  و  $T_2$ ) و اللتين تم إختيارهما من عدة كئبان من منطقة شمال شرق الصحراء، جنوب الجزائر كما هو موضح في (الشكل [1-1]).

العينه  $T_1$  تم جمعها من منطقة الطيبات التابعة للمنطقة الشرقية لمدينة تقرت، ذات الإحداثيات الجغرافية  $13^{\circ}07'33$ " شمالا و  $05^{\circ}32'06$ " شرقا. أما العينه  $T_2$  تم جمعها من كئبان منطقة تندلة الموجودة في مدينة جامعة التابعه للمنطقة الجنوبية لولاية المغير ذات الموقع الجغرافي  $31.36'40^{\circ}33$ " شمالا و  $52.49'1^{\circ}06$ " شرقا، حيث تتسم كئبان هذه المنطقة باللون الأبيض ويرجع ذلك لإحتوائها على نسبة كبيرة من مادة الكوارتز. كما تصنف كئبان المنطقتين ضمن نوع الكئبان النجمية التي تنشأ عندما تكون الرياح قادمة من عدة إتجاهات.



الشكل [II-1]: الموقع الجغرافي للعينات المدروسة و صورة للكثبان الرملية لمنطقة الطيبات T<sub>1</sub> و الكثبان الرملية لمنطقة تندلة

T<sub>2</sub>

### 2.1.1. عملية جمع العينات:

لأجل إجراء الدراسة و الحصول على عينة رمل متجانسة تم جمع حوالي 60 عينة من كل منطقة، من الأوجه الثلاث لكل كثيب و من الأسفل نحو الأعلى وكذلك تم جمع العينات من أعماق مختلفة من سطح الكثيب، ثم تم مزج كميات متساوية من كل هاته العينات معا للحصول على عينة واحدة متجانسة تمثل الكثيب بأكمله، تم تكرير هذه العملية لكلتا العينتين من المنطقتين المدروستين [1].

### 3.1.1. تحضير العينات:

#### 1.3.1.1. تحضير العينات الطبيعية للدراسة:

لإجراء مختلف تحاليل التشخيص لعينة الرمل الطبيعية، نذكر منها إنعراج الأشعة السينية و فلورة الأشعة السينية، قمنا بطحن العينات الطبيعية وذلك بواسطة إستخدام جهاز الطحن ذي كرات من الكوارتز من نوع

(RETSCH Emax High Energy Ball Mill) والموضح في (الشكل [2-11])، هذا التجهيز متواجد على مستوى الأرضية التقنية لتحاليل الفيزيائية والكيميائية (CRAPC) بولاية ورقلة، نوه إلى أن هذه العملية قد كررت لكل من عينات رمال كثبان منطقة الطيبات وعينات رمال كثبان منطقة تندلة.



الشكل [2-11]: صورة فوتوغرافية لجهاز الطحن الكهربائي.

### 1.3.1.11. عملية معالجة مادة الرمل [2]:

بعد أخذ أوزان متساوية من كلتا العينتين المسحوقتين  $T_1$  و  $T_2$ ، مرت عملية التنقية بالمراحل التالية:

- في البداية تم إخضاع مسحوق الرمل الخام للتنظيف الأولي، وكما هو موضح في (الشكل [3-11])، حيث تم غمس المسحوق في خليط حمضي يتكون من حمض كلور الماء (HCl) وحمض النتريك ( $HNO_3$ ) بنسبة حجمية (1% و 2%) على الترتيب لمدة 24 h. حيث تهدف هذه المعالجة الكيميائية الإبتدائية إلى إزالة الشوائب المعدنية الموجودة على سطح حبيبات الرمل الدقيقة.



الشكل [3-11]: صورة للعينات أثناء المعالجة الكيميائية الإبتدائية.

- بعد ذلك ثم غسل عينات الرمل بالماء المقطر جيدا وتجفيفها عند درجة حرارة  $120^{\circ}\text{C}$  ، كما يوضح (الشكل [II-4]).



**الشكل [II-4]:** على اليمين صورة للعينات أثناء غسلها بالماء المقطر بعد المعالجة الكيميائية الإبتدائية، و على اليسار صورة للفرن المستعمل لتجفيف العينات.

- إعتمدت عملية التقنية على عدة دورات معالجة كيميائية-حرارية متطابقة تتكون كل دورة من خطوتين للمعالجة أولا معالجة حرارية للينة السابقة في الفرن لمدة ساعة تحت درجة حرارة  $900^{\circ}\text{C}$ . ثم نقع كمية 10 g من المسحوق الناتج في مزيج من الأحماض مرة أخرى وهما حمض كلور الماء (HCl) وحمض الهيدروفلوريك (HF) بنسبة حجمية (1% و 7%) على الترتيب لمدة 24 h. بعد ذلك يتم غسل العينات المعالجة بالماء المقطر جيدا مرة أخرى ثم تجفيفها عند درجة حرارة  $120^{\circ}\text{C}$ . ثم تتكرر هذه الدورة عدة مرات إلى غاية الحصول على رمل نقي للغاية (وصول لون الرمل الى الأبيض الناصع) . و غالبا إبتداء من السلسلة الأولى نحصل على تنقية جيدة إلا أن التكرار مفيد للتخلص من الشوائب ذات التراكيز الضعيفة. و تم تلخيص السلسلة الأولى من التنقية في (الشكل [II-5]).



الشكل [II-5]: السلسلة الأولى لعملية التنقية لعينة الرمل.

## 2.11. طرق التحليل الطيفي:

بفضل طرق التحليل الطيفي أحرزت العلوم تقدماً مذهلاً حيث قدمت لنا هذه الطرق معلومات دقيقة وهامة حول بنية المواد وتراكيبها، لذا أصبحت هذه الطرق مرجعاً أساسياً في تحليل المواد ودراساتها وتعتمد هذه الطرق على إستجابة المواد بعد تعرضها لمصدر إثارة، ويكون ذلك بإطلاق حزم من جسيمات مشحونة مثل إلكترونات، أيونات أو أشعة كهرومغناطيسية مثل الأشعة السينية، أشعة غاما، الأشعة فوق البنفسجية والمرئية. خلال دراستنا هذه إستخدمنا بعض التقنيات الطيفية نفصلها فيما يلي:

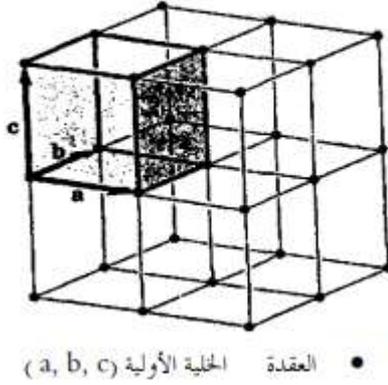
### 1.2.11. تقنية إنعراج الأشعة السينية:

تشغل الأشعة السينية (DRX) المنطقة الواقعة بين الأشعة غاما و الأشعة فوق البنفسجية ضمن الطيف الكهرومغناطيسي، وتمتد أطوال موجاتها بين  $0.01-100 \text{ \AA}$  و تستخدم الأشعة السينية على نطاق واسع في عدة مجالات نذكر منها: الفيزياء، الطب و الصناعة و تحظى بتطبيقات متنوعة وفعالة في هذه المجالات [3].

1.1.2.11. الأساس النظري لانعراج الاشعة السينية:

أ. البنية البلورية [4]:

إن الخواص الفيزيائية أو الكيميائية للأجسام الصلبة المتبلورة لها علاقة وثيقة بترتيب الذرات في البلورة، حيث يمكن تمثيل بنية هذه البلورة على شكل شبكة فراغية منتظمة حيث توضع ذرة أو مجموعة من الذرات في كل عقدة من عقدها بترتيب محدد، و تعاد البلورات تكرارا في جميع الإتجاهات وأصغر حجم يحوي كل خواصها يدعى الخلية الأولية [3] (الشكل [II-6]).

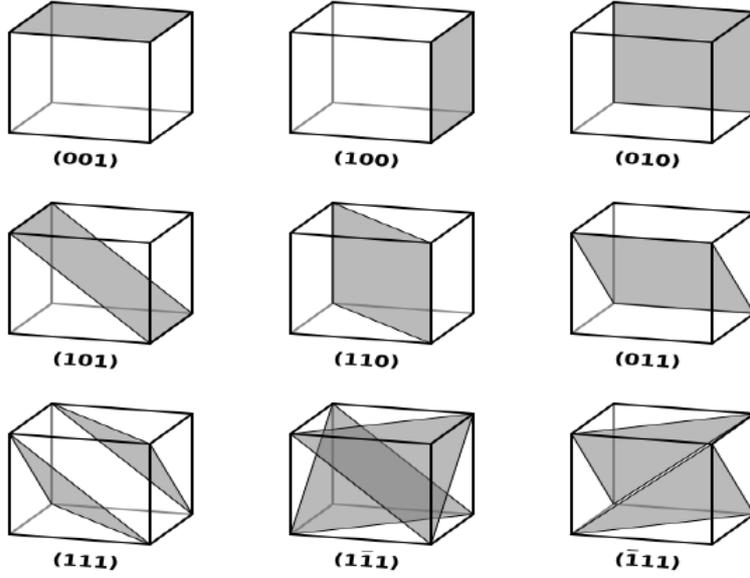


الشكل [II-6]: رسم تخطيطي للشبكة البلورية و الخلية الأولية [5].

توصف البلورات بشكل كاف عند تحديد شكل الخلية الأولية، أبعادها والذرات المكونة لها ومن أهم ما يميز البلورات هو خواصها التناظرية الإنعكاسية والدورانية.

يمكن تصور البلورة على أنها مجموعات مختلفة من المستويات الذرية المتوازية ويشار إلى كل مجموعة منها بثلاث حروف

(hkl) و التي تدعى قرائن ميلر (Miller Index) كما هو موضح في (الشكل [II-7]).



الشكل [II-7]: قرائن ميلر لبعض المستويات البلورية في بلورة مكعبة [5].

ترتبط المسافة البينية  $d$  الفاصلة بين مستويين متتاليين، من مجموعة المستويات المتوازية، بقرائن ميلر لبلورة مكعبة طول

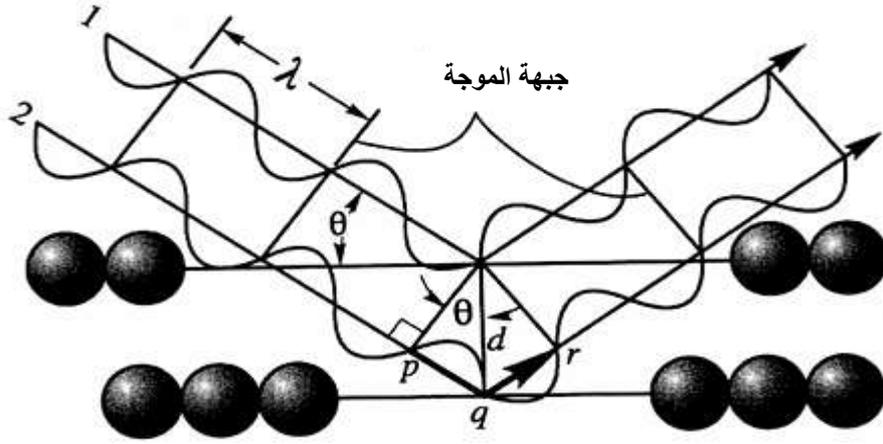
ضلع خليتها  $a$  بالعلاقة التالية:

$$d = \frac{a^2}{\sqrt{h^2 + h^2 + l^2}} \quad (1-II)$$

ب. قانون براغ [4]:

يشير قانون براغ في الفيزياء إلى حيود الأشعة اكس حيث عند سقوط حزمة منها على بلورة تنكسر وتنتشر في شكل

منتظم عند خروجها من البلورة. وتسمى تلك الظاهرة حيود أشعة إكس أو حيود براغ [6].



الشكل [II-8]: رسم توضيحي يمثل إنعراج الأشعة السينية حسب نظرية براغ [4].

ينص قانون براغ على ما يلي: عند سقوط حزمة من الأشعة السينية على سطح بلوري، فإن زاوية سقوط الأشعة على السطح البلوري تساوي زاوية تشتت وانتشار الأشعة من السطح البلوري، وعندما يكون هناك فرق في طول المسار بين الأشعة المنعكسة عن طبقات الذرات المكونة للمادة؛ يساوي تقريباً الطول الموجي للأشعة المنعكسة، فإنه يحدث تداخلاً بناءً للموجات مع بعضها البعض ويُسمى هذا التداخل بـجود براغ.

حيث (d) هي المسافة بين المستويات البلورية، (λ) الطول الموجي للشعاع الساقط، (θ) هي زاوية سقوط الأشعة على السطح البلوري، فتكون المعادلة من الشكل:

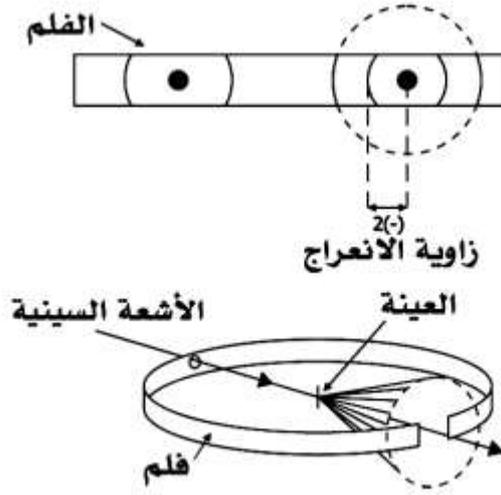
$$2d \sin \theta = n \lambda \quad (2-II)$$

### II.1.2.2. مبدأ عملها [4]:

عندما تسقط حزمة الأشعة السينية وحيدة اللون على العينة المدروسة التي تحتوي على عدد كبير جداً من البلورات الدقيقة يتحقق شرط براغ لكل مجموعة من المستويات المتوازية ذات التوجه المناسب، بناءً على اتجاه هذه البلورات الدقيقة في المسحوق العشوائي، فإن الأشعة المنعكسة عن مختلف المستويات في مختلف البلورات بزوايا براغ (θ) تشكل مع الحزمة الواردة زاوية (2θ) في كل الإتجاهات الممكنة [3].

تؤدي هذه الظروف لظهور حزمة على شكل مخروط دوراني، حيث يكون محوره الحزمة الواردة، ورأسه عند البلورة،

ونصف زاويته ( $2\theta$ ) كما هو موضح في (الشكل [9-III]).



الشكل [9-III]: مخروط الإنعراج باستخدام شريط تسجيل حساس (فلم) [4,3].

يحدث الأمر نفسه لمستويات بلورية أخرى تحقق شرط براغ بزوايا مختلفة، مما يؤدي إلى بروز حزم مخروطية أخرى تتقاطع

مع لوح التصوير (الفلم) المحيط بالعينة، و تشكل سلسلة من الحلقات المتحدة المركز والمنفاوثة في الشدة يمكن من خلالها تحديد قيم

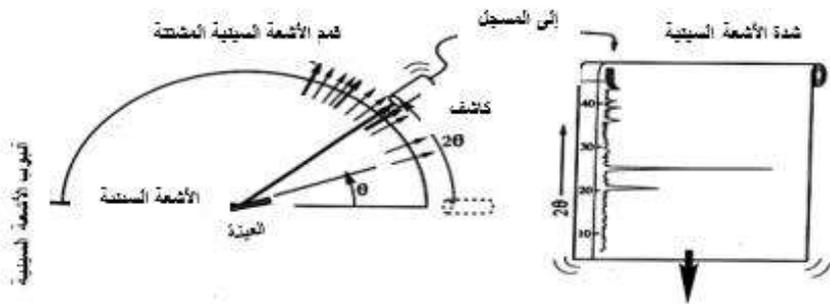
( $\theta$ ) و ( $d$ ) والحصول على معلومات عن الخلية الأولية والبنية البلورية [4].

يمكن إستخدام عداد مثل عداد جيجر بدلا من الأفلام الحساسة حيث يثبت العداد على ساعد يدور حول العينة

ويسجل شدة الأشعة المنعرجة في مختلف الإتجاهات، تدار العينة والعداد بحيث تكون سرعة دوران العينة مساوية لنصف سرعة

دوران العداد مما يجعل العداد يتلقى دائما الأشعة المنعرجة عن المستويات البلورية الموازية لسطح العينة كما هو موضح في (الشكل

[10-III]).



الشكل [10-III]: طيف الإنعراج باستخدام العداد أو الكاشف [7,4].

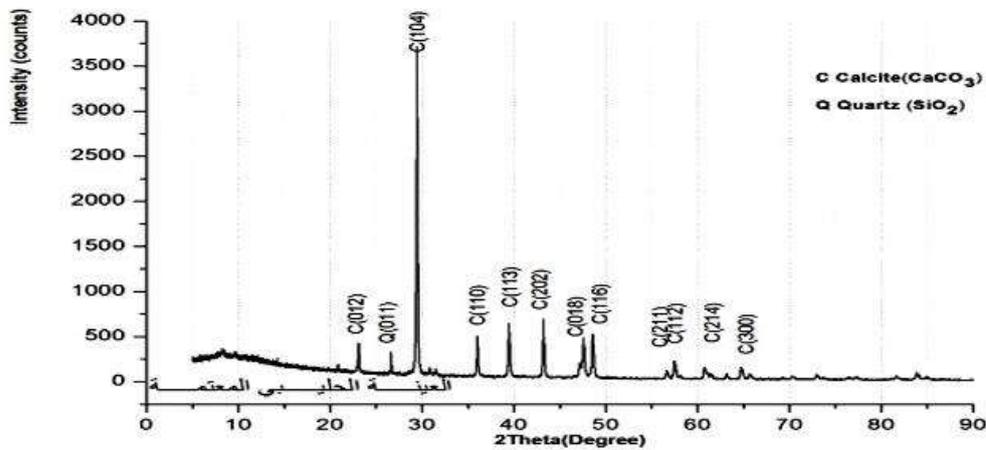
وفيما يلي صورة لجهاز التحليل بإنعراج الأشعة السينية (DRX) المستخدم خلال هذه الدراسة

(الشكل [11-II])، وكان هذا الأخير من نوع (Malvern Panalytical,Empyrean)؛ تم توليد مصدر الأشعة السينية باستخدام إشعاع (CuK $\alpha$ )، الذي يتميز بطول موجي يبلغ  $\lambda=1.5405 \text{ \AA}$ ، وقد تم تحديد جهده بقيمة 30 kV، مع كثافة تيار بلغت 20 mA، تم فحص جميع العينات في نطاق زوايا يتراوح بين  $5^\circ-90^\circ$ ، باستخدام خطوة قدرها  $0.5^\circ$  في الثانية الواحدة، هذا التجهيز موجود على مستوى الأرضية التقنية للتحاليل الفيزيائية والكيميائية (CRAPC) بولاية الأغواط.



الشكل [11-II]: صورة لجهاز (DRX) المستخدم خلال هذه الدراسة.

وتكون نتيجة هذه التقنية على النحو التالي (الشكل [12-II]):



الشكل [12-II]: مخطط إنعراج أشعة سينية [8].

### 3.1.2.ii. تحضير العينة للتشخيص:

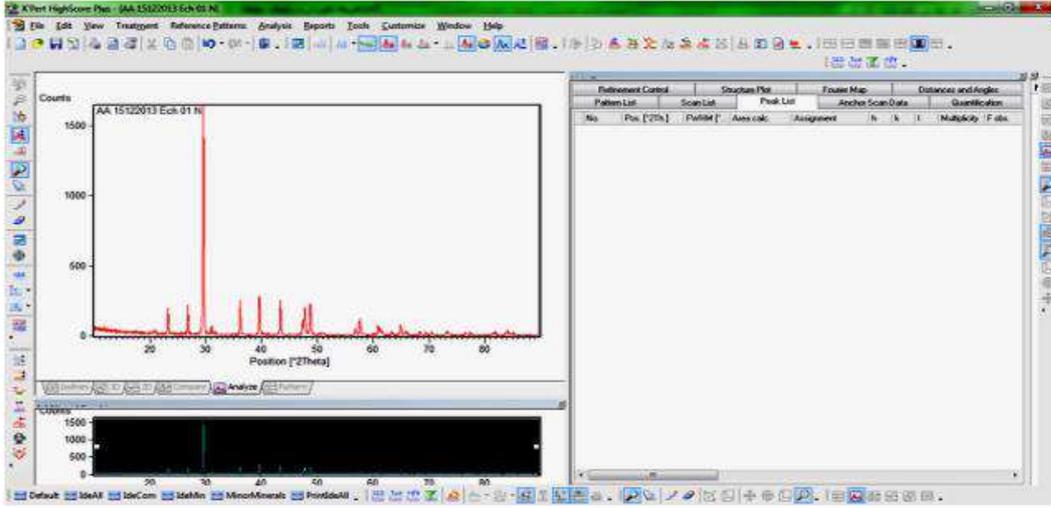
لأجل إجراء التحليل الطيفي لعينات القياس بتقنية إنعراج الأشعة السينية وتحديد التركيب البلوري لها، قمنا بسحق العينة المدروسة وذلك لضمان نتائج جيدة، و بعد ذلك وزع مسحوق العينة في حامل يجعلها على شكل قرص دائري سميك الشكل، ثم ضغطت يدويا بواسطة إسطوانة للحصول على سطح مستو (تعتبر هذه الخطوة مهمة لإجتناح حدوث إنزياحات في مخطط الإنعراج)، ثم نثبتها عن طريق تغطيتها بصفيحة زجاجية حيث أن الزجاج ذو بنية غير بلورية لا يؤثر على مخططات الإنعراج (أنظر الشكل [II-13]).



الشكل [II-13]: الأدوات المستخدمة لتحضير العينة للقياس لتقنية (DRX).

### 4.1.2.ii. برنامج X'pert HighScore:

قمنا باستخدام برنامج (X'pert HighScore) لمعالجة البيانات المتحصل عليها من إنعراج الأشعة السينية للعينات المدروسة، ويعتبر هذا البرنامج من البرامج الحاسوبية التي تستخدم لتشفير أطياف إنعراج الأشعة السينية؛ حيث يعتمد على قواعد بيانات تحتوي على معلومات متنوعة عن مختلف التراكيب البلورية لمختلف المواد. يستطيع برنامج (HighScore X'pert) المطابقة بين المعطيات المقدمة من مخطط إنعراج الأشعة السينية للعينة المدروسة وتلك المتوفرة في قواعد البيانات، مما يسمح له بتحديد تركيب البلورة الأكثر تطابقا، (الشكل [II-14]) يظهر واجهة برنامج (HighScore X'pert).



الشكل [II-14]: واجهة برنامج المستخدم في تحليل نتائج الأشعة السينية.

## 2.2.2. II. مطيافية التحليل بفلورة الأشعة السينية:

تقنية فلورة الأشعة السينية (XRF) هي تقنية تحليلية تُستخدم لتحديد العناصر الكيميائية في العينات، وكذلك قياس تركيزها في مجموعة متنوعة من المواد، تعتمد هذه التقنية على إحداث تأثيرات فلورية باستخدام الأشعة السينية، حيث يسجل التفاعل بين الأشعة السينية والعناصر الكيميائية في العينة [9]، عندما تمتص الذرات والجزيئات طاقة الإشعاع الوارد، يتم إنتقال (إثارة) الذرات إلى مستويات طاقة أعلى، تحدث هذه الإنتقالات بسرعة كبيرة جداً (أقل من  $10^{-15}$  s) [10]، و لكي تعود الذرات أو الجزيئات المثارة لحالة الإستقرار تتحرر بذلك جزءاً من الطاقة على هيئة إشعاعات، هذه الإنتقالات توافق مواد كيميائية معينة تترجم إلى كم ونوع عبر جهازالقياس.

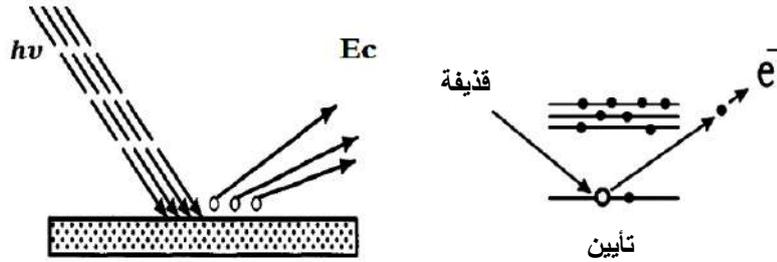
### 1.2.2. II. أساسياتها ومبدأ عملها:

تبدأ العملية بتسليط الأشعة السينية ذات طاقة عالية على العينة، هذه الأشعة والتي تتكون من فوتونات ذات طاقة كافية، تدخل في المادة وتؤثر على الذرات الموجودة فيها. عندما تصطدم الأشعة السينية بالذرات داخل العينة، فإنها تزيل إلكترونات من المدارات الداخلية حول نواة الذرة، هذه العملية تُعرف بإثارة الذرات، حيث تصبح الذرات في حالة مثارة (مستوى طاقة أعلى من الحالة الطبيعية). بعد إثارة الذرات تعود الإلكترونات المفقودة إلى مداراتها الأصلية، وتطلق إشعاعاً ثانوياً، وهو أشعة سينية ذات طاقة منخفضة مقارنةً بالطاقة الأصلية. كل عنصر كيميائي يبعث إشعاعاً مفلوراً له طاقة مميزة تعتمد على بنية الذرة،

يتم جمع الإشعاع الفلوري المنبعث باستخدام كاشف متخصص، والذي يميز بين الأطياف المختلفة للإشعاع بناءً على طاقتها، تُترجم هذه البيانات إلى معلومات حول العناصر الكيميائية الموجودة في العينة وتركيزاتها [11، 12].

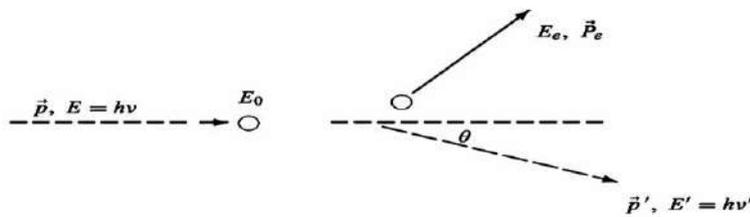
عند تعرض العينة المدروسة للأشعة السينية ذات الطاقة العالية، تتفاعل الأشعة مع العينة وتنتج العديد من الظواهر الفيزيائية أهمها الفعل الكهروضوئي وفعل كومبتون:

الفعل الكهروضوئي [4، 11]: عندما يُسلط ضوء (إشعاع كهرومغناطيسي) على سطح مادة، يقوم هذا الضوء بإمداد الإلكترونات في المادة بطاقة إذا كانت طاقة الفوتونات (الجسيمات الضوئية) كافية يتم إمتصاصها بواسطة الإلكترونات في المادة هذه الطاقة تُستخدم في التغلب على القوة الجاذبة التي تُبقي الإلكترونات مرتبطة بالذرات فعندما يحصل الإلكترون على طاقة كافية يتجاوز طاقته العتبة يتحرر من سطح المادة، مما يؤدي إلى إنبعائه كإلكترون حر (الشكل [II-15]).



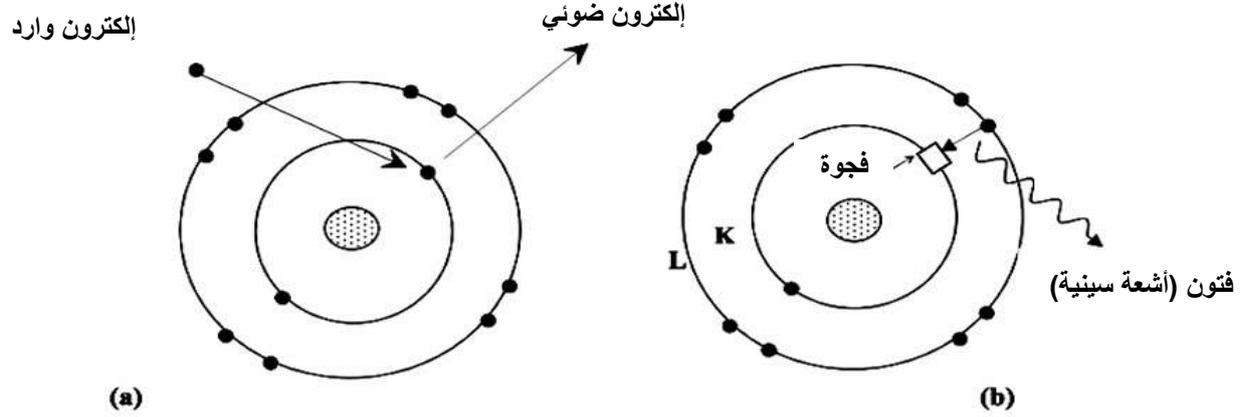
الشكل [II-15]: رسم تخطيطي يوضح الفعل الكهروضوئي [4، 11].

في فعل كومبتون: يحدث تغير في طول الموجة للأشعة السينية الأولية أو المميزة الصادرة من العينة بعد اصطدامها مع أحد الإلكترونات في العينة، هذا التصادم يؤدي إلى تبعثر هذه الأشعة. يعتمد التغير الناتج في الأشعة على مقدار زاوية التبعثر فقط (الشكل [II-16]).



الشكل [II-16]: رسم تخطيطي يوضح ظاهرة كومبتون [4، 11].

ظاهرة التفلور في معظم الأحيان تؤدي إلى إطلاق إلكترونات كهروضوئية عند خروجها من المدار وهذه الإلكترونات تترك وراءها فجوات إلكترونية، و تحفز هذه الفجوات الذرة لإجراء إنتقالات إلكترونية بهدف السعي للحالة الذرية الأكثر إستقراراً، هذه الإنتقالات تؤدي بدورها إلى إصدار أشعة سينية مميزة [4](الشكل [II-17]).



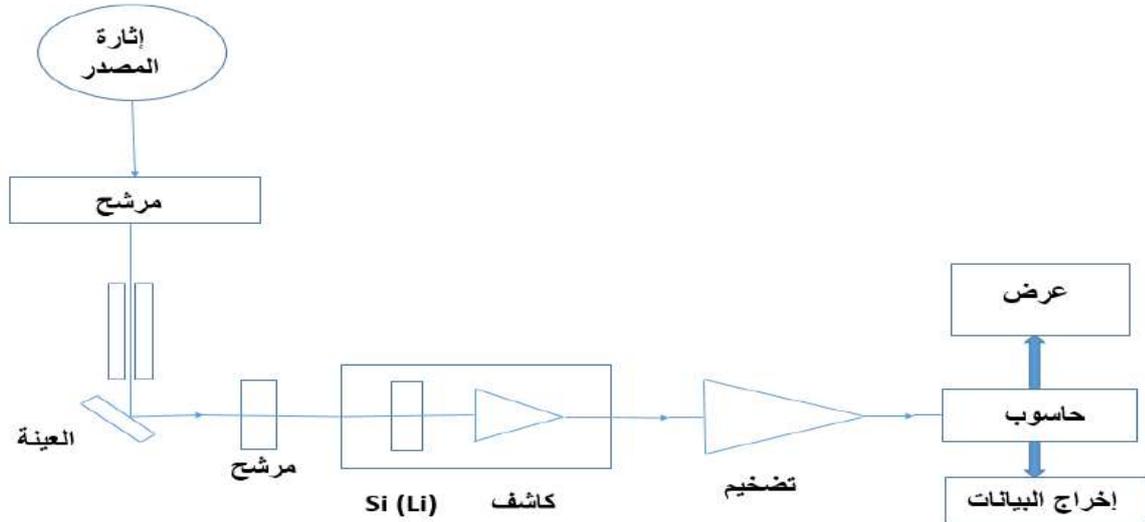
الشكل [II-17]: الإلكترونات الكهروضوئية [4،13].

إذا كانت طاقة الربط الإلكتروني في المدار الأول  $E_1$  و طاقة الربط الإلكتروني في المدار الثاني  $E_2$  اللذين إنتقل بينهما الإلكترون، فإن طاقة الأشعة السينية المميزة التي تنبعث من هذا الإنتقال الطاقوي تكون من الشكل:

$$h\nu = E_2 - E_1 \quad (3-II)$$

حيث  $\nu$  هو تردد الإشعاع السيني المميز.

في مطيافية التحليل بفلورة الأشعة السينية (ED-XRF) تتجه الأشعة السينية المميزة الصادر عن العينة مباشرة للكاشف ومن ثم إلى المضخم، وبالتالي معالج الإشارات يتم تسجيل شداتها. ولا يستغرق الحصول على النتائج سوى بضع دقائق كما هو موضح في (الشكل [II-18]).



الشكل [II-18]: مبدأ عمل مطيافية التحليل بفلورة الأشعة السينية من نوع (ED-XRF) [14].

و في مايلي صورة لجهاز فلورة الأشعة السينية (XRF) المستعمل في هذه الدراسة الذي كان من نوع (S2PUMA-BRUKER). تم تصميم الجهاز بحيث يمنع فقدان الأشعة السينية من الجهاز، يستخدم مصدر (Pd) لتوليد الأشعة السينية، مع فرق جهد مطبق 50 kV. نوه إلى أن هذا التجهيز الموضح في (الشكل [II-19]) موجود على مستوى الأرضية التقنية لتحاليل الفيزيائية والكيميائية لولاية الأغواط.



الشكل [II-19]: صورة توضح جهاز فلورة الأشعة السينية المستعمل في الدراسة.

الجدول [II-1] يمثل نتيجة كيفية لهذه التقنية :

الجدول [II-1]: نتيجة مطيافية فلورة الأشعة السينية [15].

النسبة الوزنية للأكاسيد	العينات		
	رمل كثبان منطقة سيدي سليمان	رمل بناء منطقة سيدي سليمان	رمل كثبان منطقة الزاوية العابدية
SiO <sub>2</sub>	74.56	82.5	67.65
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.32	3.82	1.87
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.11	1.72	1.38
CaO	10.36	5.74	12.94
MgO	1.17	0.29	1.59
K <sub>2</sub> O	0.46	0.68	0.59
Na <sub>2</sub> O	0.99	0.81	0.67
SO <sub>3</sub>	9.91	3.42	13.24
Cl	0.096	0.014	0.060
المجموع	99.98	98.99	99.98

### 2.2.2.ii. تحضير العينة للتحليل:

لإجراء القياس بتقنية فلورة الأشعة السينية (ED-XRF) نقوم بوزن 9 g من العينة ثم نقوم بطحنها مع ثلاثة أقراص من مادة (Mahlhilfe) وهي عبارة عن مادة رابطة ألمانية الصنع، حيث يزن كل قرص 0.3 g. تطحن العينة مع هذه المادة (Mahlhilfe) باستخدام جهاز طحن ميكانيكي ثم توضع في إناء من الألمنيوم ثم تضغط ميكانيكياً لتشكيل قرص قطره 1 Cm. تساعد هذه المادة في تماسك القرص، كما أنها تساعد على تبريد جهاز الطحن ولا تؤثر على نتائج القياس.

في حين آخر نقوم بأخذ كمية من العينة ثم نزلها ثم نضعها في فرن تابع للجهاز لمدة نصف ساعة ثم نقوم بإخراجها ونبردها طبيعياً. ثم نقوم بوزنها بعد الحرق لتحديد نسبة المادة العضوية فيها.

### 3.2.11. مطيافية امتصاص الأشعة تحت الحمراء بتحويل فورييه [4]:

يعتبر التحليل الطيفي باستخدام الأشعة تحت الحمراء (FTIR) أحد أهم فروع علم الطيف الغير الهدام. و الذي يعتبر أحد أنواع تفاعل الإشعاع مع المادة و التي تعتمد على مطيافية الإمتصاص. تستخدم هذه التقنية للكشف عن تركيب الجزيئات في حالاتها الطبيعية وتحديد طبيعة الروابط الكيميائية الداخلة في التراكيب الجزيئية للمواد العضوية ولا عضوية، البلورية والغير البلورية [16]. بالإضافة إلى قدرتها على الكشف عن التغيرات التي تحدث للجزيئات نتيجة تفاعلها وتكوين جزيئات جديدة. تستخدم الأشعة تحت الحمراء في التحليل الكيفي و الكمي للمركبات و الكشف عن الجزيئات المشكلة للمواد.

### 1.3.2.11. أساسيات مطيافية إمتصاص الأشعة تحت الحمراء [4]:

يعتبر طيف إمتصاص الأشعة تحت الحمراء بصمة مميزة لتركيب الجزيء ككل عند إمتصاص جزيئات المادة للأشعة تحت الحمراء، فعند إمتصاص الجزيء لأشعة تحت الحمراء تحدث إهتزازات في ذراته، ثم يحدث إنتقال إهتزازي للذرات بالنسبة لبعضها البعض داخل الجزيء مما يؤدي إلى تغيير دوري في طول الروابط الكيميائية أو تغيير الزوايا بين هذه الروابط [17].

يمكن أن تنتج الحركة الإهتزازية عن حركة ذرتين أو مجموعة من الذرات، ويعتمد طول الموجة الناتجة عن هذا الإمتصاص على كتلة الذرة وقوة الروابط المكونة للجزيء والشكل الهندسي للذرات. و لهذا يمكن القول أن طاقة الأشعة الممتصة التي تسبب أي من الإنتقالات الإهتزازية في الجزيء تعتمد على نوع الذرات وطبيعة الروابط الكيميائية الموجودة في الحركات الإهتزازية [4].

التردد الممتص هو مفتاح لفهم سلوك الجزيئات عند تفاعلها مع الضوء، ويشير إلى الترددات التي تمتصها الجزيئات عندما تتعرض لإشعاع كهرومغناطيسي، يمكن أن يؤدي إمتصاص الطاقة إلى إنتقال الجزيئات من حالة إهتزازية أو دورانية منخفضة الطاقة إلى حالة أعلى طاقة. هذا المفهوم يرتبط بشكل وثيق بالطيف الإهتزازي والطيف الدوراني للجزيئات، من خلال دراسة الترددات الممتصة، يمكن الحصول على معلومات قيمة حول التركيب الجزيئي، طبيعة الروابط الكيميائية، والتغيرات في الطاقة داخل الجزيئات. هذا المفهوم أساسي في العديد من التطبيقات العلمية والصناعية، بما في ذلك الكيمياء، الفيزياء، علم المواد، والصيدلة. يمكن حساب التردد الممتص من طرف الجزيئات [18،4] وفق العلاقة التالية:

$$\nu = \frac{1}{2\pi C} \sqrt{\frac{k}{\mu}} \quad (4-11)$$

C: سرعة الضوء.

k: ثابت يمثل قوة رابطة الجزيء.

$$\mu = \frac{m_A \times m_B}{m_A + m_B} \text{ : التي تعرف بـ } \mu$$

تمثل الإنتقالات الإهتزازية بمستويات طاقة الإهتزازية محددة في كل الجزيء، ويتم قياس هذه الطاقة بوحدة العدد الموجي ( $\text{cm}^{-1}$ )، هذه الطاقة تتناسب طرديا مع طاقة التذبذب، وتختلف من جزيء إلى آخر مما يعطي كل جزيء بصمة مميزة عن غيره.

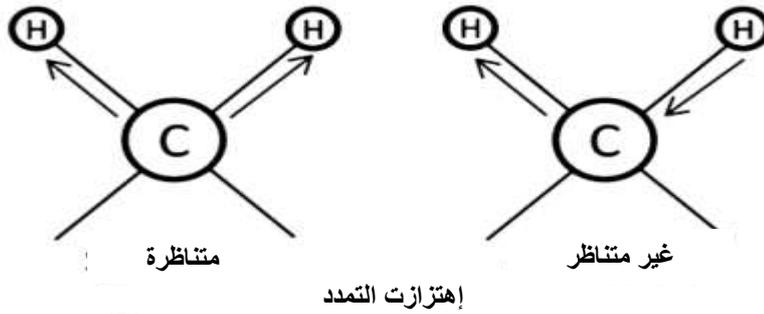
بإمكاننا تقسيم الحركات الإهتزازية التي تحدث في الجزيئات إلى:

### أ) إهتزاز التمدد:

إهتزاز التمدد يحدث نتيجة تغير المسافة بين الذرات في إتجاه محور الرابط دون تغير المحاور أو الزوايا بين الروابط [19، 20]،

(الشكل [20-II]) يوضح أنماط إهتزاز التمدد و التي تقسم إلى:

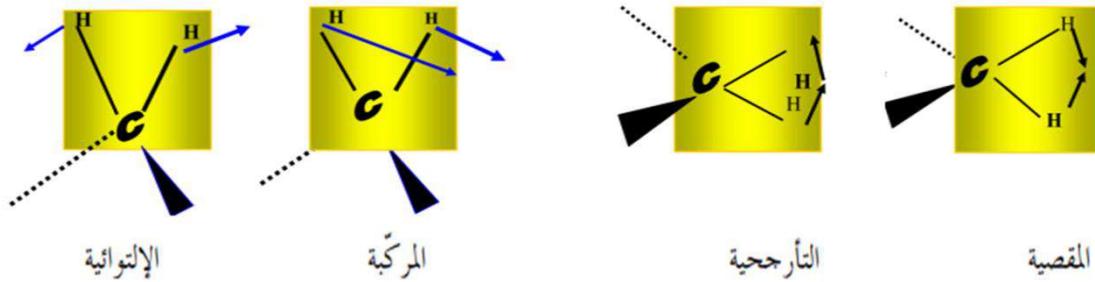
- 1- تمدد بسيط: يشمل تمدد رابطة واحدة فقط.
- 2- تمدد مزدوج: يشمل تمدد رابطتين أو أكثر في آن واحد وهنا يحدث نوعان من التمدد الإهتزاز المزدوج:
  - تمدد مزدوج متماثل: وفيه يحدث تمدد للرابطين معا أو تقلصهما معا.
  - تمدد مزدوج غير متماثل: وفيه تتمدد إحدى الروابط بينما تنكمش الأخرى بالتزامن مع الأولى.



الشكل [20-II]: رسم تخطيطي يوضح أنماط إهتزازات التمدد [19].

(ب) إهتزاز الإنحناء:

ينشأ إهتزاز الإنحناء (bending vibration) عند تغير الزاوية بين الرابطتين، مما يؤدي إلى تغيير إتجاه محور الرابطة. ويمكن أن تكون حركة الذرات في مستوى الرابطتين أو خارجه [4]. يبين (الشكل [21-II]) أنماط إهتزاز الإنحناء وهي أربعة [21].



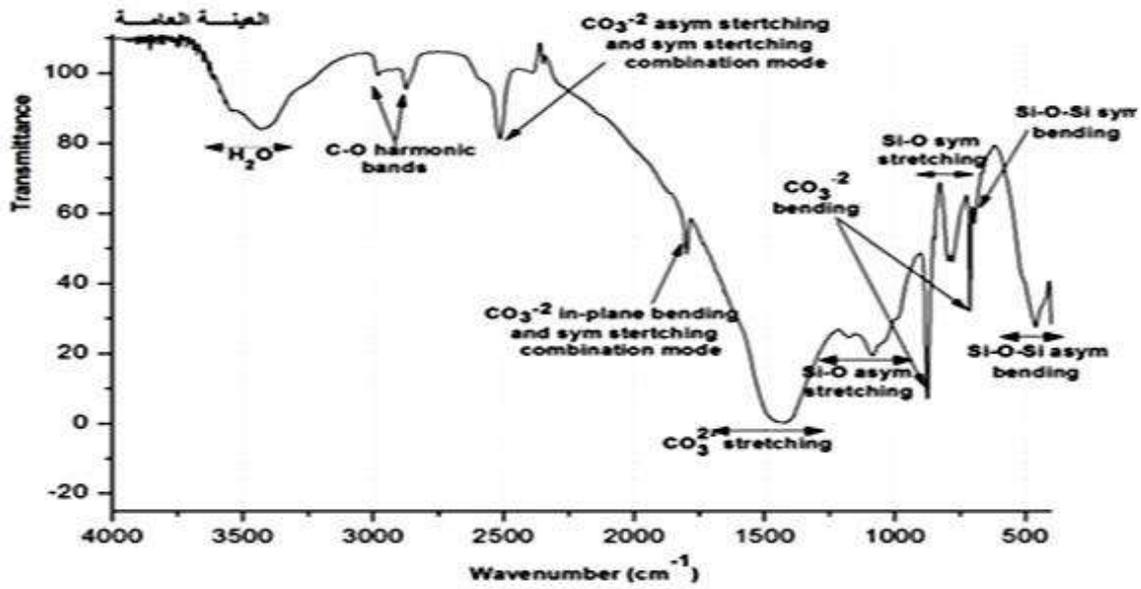
الشكل [21-II]: إهتزازات الإنحناء [4،21].

الصورة الفوتوغرافية في (الشكل [22-II]) تظهر مطياف إمتصاص الأشعة تحت الحمراء المستخدم في هذه الدراسة، حيث كان هذا التجهيز من نوع (IR Affinity<sup>-1</sup>)، وكان مجال فحص العينات بين من  $4000-400 \text{ Cm}^{-1}$ .  
نوه إلى أن هذا التجهيز متواجد على مستوى مخبر الموارد الصحراوية وترقيتها وتكنولوجياها (VTRS) بجامعة الشهيد حمة لخضر- الوادي.



الشكل [22-II]: جهاز المطيافية تحت الحمراء المستعمل في الدراسة.

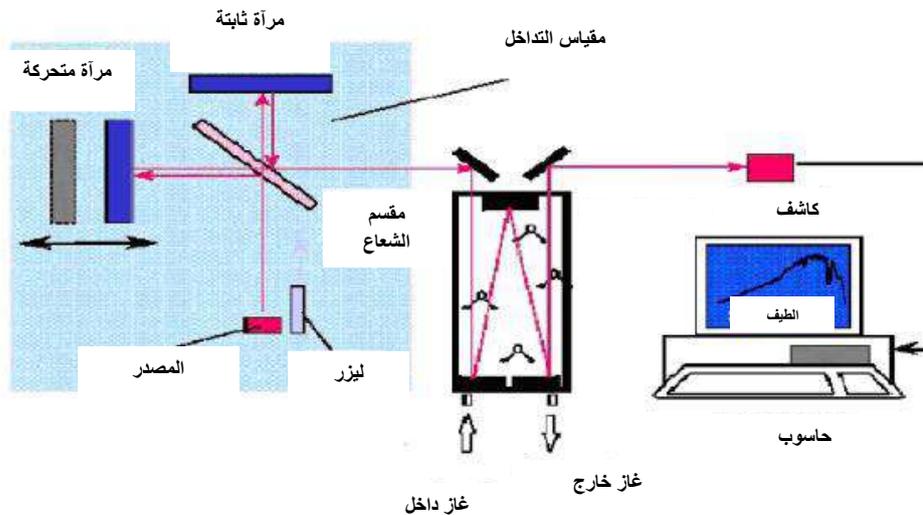
ويوضح الشكل [II-23] هيئة طيف هذه العينة :



الشكل [II-23]: طيف إمتصاص الأشعة ماتحت الحمراء [22].

### 2.3.2.ii. مبدأ عمل مطيافية الأشعة تحت الحمراء:

يتم إرسال حزمة تحتوي على جميع أطوال موجات الأشعة تحت الحمراء المتوسطة 4000-400 Cm<sup>-1</sup> إلى صفيحة فاصلة [4]، ثم يتم تقسيمها إلى حزمتين الحزمة الأولى توجه نحو المرآة الثابتة بينما توجه الحزمة الثانية نحو مرآة متحركة كما هو موضح في (الشكل [II-24]).



الشكل [II-24]: مخطط مطياف (FTIR) [4،17].

توجه الحزمتان نحو عينة الدراسة بإستعمال المرايا، ثم يتم قياس التغير في شدة الإشارة بسبب وقوع الإمتصاصات الجزئية (إهتزازية)، والتي تمثل أهداب التداخل المتحصل عليها من خلال فرق في مسار حزمة الإشعاع. يتم تحسس الإشعاع بكاشف يعمل على تحويله إلى صيغة رقمية ثم يتم معالجته بتحويل فوري للحصول على طيف امتصاص [4].

### 3.3.2.ii. تحضير العينة للتحليل:

في حالة العينة الصلبة يتم إعدادها على شكل قرص مضغوط مع مادة بروميد البوتاسيوم عن طريق الضغط عليها بضغط عال، حيث يتم خلط 0.02 mg من العينة الصلبة مع 0.98 mg من مادة بروميد البوتاسيوم الجاف ثم يسحق المزيج جيدا للحصول على مزيج متجانس ثم يضغط المزيج للحصول على قرص صلب و ذلك تحت ضغط يصل إلى  $81 \cdot 10^3$  kN، و ذلك لمدة خمس دقائق متواصلة كما هو موضح في (الشكل [II-25]).



جهاز الضغط و الوقت

قالب العينة

جهاز الطحن

الميزان



العينة بعد التحضير على الحامل

الشكل [II-25]: الأدوات المستخدمة في تحضير العينات للتحليل الطيفي بأشعة تحت الحمراء [4].

### 4.2.ii. المجهر الإلكتروني الماسح:

التشخيص بواسطة المجهر الإلكتروني الماسح (MEB) هو تقنية توفر معلومات عن تضاريس أسطح المواد في شكل صورة مضيئة، كما تتيح هذه التقنية أيضا معلومات عن بنية العينة وملمسها وحجمها وشكلها من الجسيمات أو الحبوب الرملية اعتمادا على التكبير المختار [23]. بالإضافة للتحليل الكيفي لهذه التقنية يمكنه أيضا تزويدنا بتحليل كيميائي للمواد.

## 1.4.2.11. أساسيات المجهر الإلكتروني الماسح:

المجهر الإلكتروني الماسح (MEB) يعد نوعاً من المجاهر الإلكترونية، حيث يقوم بإنتاج صور للعينة من خلال مسح سطحها باستخدام شعاع من الإلكترونات. تتفاعل هذه الإلكترونات مع الذرات في العينة، مما يولد إشارات متنوعة تحمل معلومات حول تضاريس وتكوين السطح. تتم عملية المسح عادة باستخدام الطريقة المعروفة بإسم المسح النقطي، حيث يتم دمج موقع الشعاع مع الإشارة لإنتاج صورة.

يمكن مشاهدة تضاريس سطح العينات بشكل دقيق في ظروف مختلفة مثل الفراغ العالي، والفراغ المنخفض، ومجموعة واسعة من درجات الحرارة. أحد أساليب المجهر الإلكتروني الماسح الأكثر استخداماً هو كشف الإلكترونات الثانوية المنبعثة من ذرات العينة نتيجة التفاعل مع شعاع الإلكترون. تعتمد كمية الإلكترونات الثانوية المكتشفة على تضاريس العينة وغيرها من العوامل، كما أنه من خلال مسح العينة وتجميع الإلكترونات الثانوية باستخدام كاشف مخصص، يتم إنشاء صورة تظهر تفاصيل تضاريس السطح.

### أ) الإلكترونات الأولية:

الإلكترونات الأولية هي الإلكترونات عالية الطاقة التي تنبعث من مدفع الإلكترونات أو المصدر داخل المجهر الإلكتروني الماسح وتتجه نحو العينة، هذه الإلكترونات مسؤولة عن التفاعل مع الذرات في العينة، مما يؤدي إلى إنبعثات الإلكترونات الثانوية والإلكترونات المرتدة (المشتتة) والأشعة السينية المميزة، تتمتع هذه الإلكترونات بطاقة كافية للتفاعل مع المادة، تُستخدم المعلومات التي يتم الحصول عليها من هذه التفاعلات لتوليد صور وتحليلات مفصلة لسطح العينة وتكوينها [24].

### ب) الإلكترونات الثانوية:

بسبب التفاعل الغير المرن لحزمة الإلكترونات الأولية مع ذرات العينة تنتج الإلكترونات الثانوية، حيث في المجهر الإلكتروني الماسح، يتم تعريف الإلكترونات الثانوية على أنها إلكترونات منخفضة الطاقة تنبعث من سطح العينة عندما تتفاعل معها الإلكترونات الأولية (الإلكترونات عالية الطاقة من حزمة الإلكترونات). عادةً ما تكون طاقة هذه الإلكترونات أقل من 50 eV. حيث يمكن لكل إلكترون أساسي (أولي) إنشاء عدة إلكترونات ثانوية، هذه الإلكترونات ضرورية للتصوير لأنها توفر تفاصيل سطحية عالية الدقة ومعلومات طبوغرافية حول العينة [24].

ت) الإلكترونات المشتتة:

ينتج التصادم المرن والغير المرن بين الإلكترونات الأولية والنواة الذرية (العينة) إلكترونات مبعثرة للخلف، هذه الإلكترونات هي الإلكترونات الأولية التي إنعكست من العينة بعد تصادمها مع النواة الذرية للذرات في العينة، تمتلك الإلكترونات المرتدة (المشتتة) طاقة أعلى مقارنة بالإلكترونات الثانوية لأنها تُعكس بشكل رئيسي من الطبقات الأعمق في العينة، يمكن إستخدامها لتحديد التركيب العنصري للعينة، لأن قدرة الإلكترونات على الإرتداد تعتمد على العدد الذري للعناصر المكونة للعينة؛ حيث تعكس العناصر ذات العدد الذري العالي عددًا أكبر من الإلكترونات المرتدة [24].

(الشكل [II-26]) عبارة عن صورة فتوغرافية للجهاز المستخدم في هذه الدراسة، نجد أن التجهيز كان من نوع

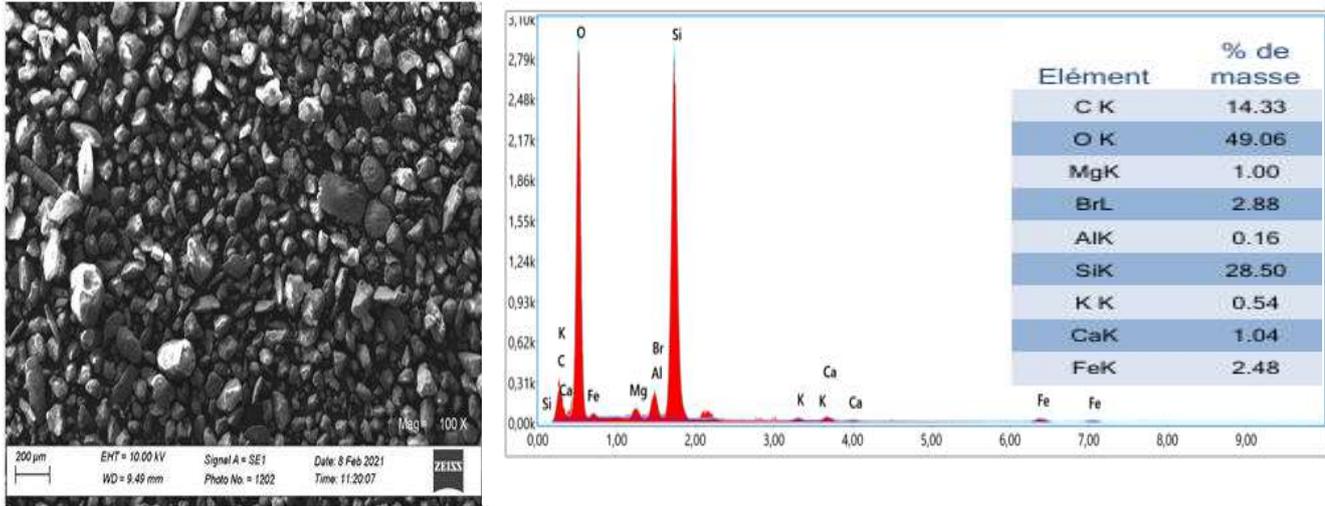
(Thermo Scientific Quattro ESEM)، حيث أن هذه المعدات متوفرة في الأرضية التقنية لتحليل الفيزيائية

والكيميائية (CRAPC) في الأغواط.



الشكل [II-26]: صورة للمجهز الإلكتروني الماسح المستعمل في الدراسة.

يعطي هذا الجهاز نتيجة على النحو التالي (الشكل [II-27]):



الشكل [II-27]: نتيجة المجهر الإلكتروني الماسح [15].

## 2.4.2.2. مبدأ عمل المجهر الإلكتروني الماسح:

المجهر الإلكتروني الماسح عبارة عن أداة متقدمة تستخدم الإلكترونات بدلاً من الضوء لتكوين صور مكبرة بشكل كبير للعينة، للحصول على صورة بالمجهر الإلكتروني الماسح كما هو موضح في (الشكل [II-28]) ، يعمل المجهر الإلكتروني الماسح بناءً على الخطوات التالية [25]:

أولاً توليد الإلكترونات: يتم إنتاج حزمة من الإلكترونات في مصدر الإلكترونات (Electron Gun)، والذي قد يكون عبارة عن خيط معدني تنغستين أو مصدر إنبعاث ميداني (Field Emission Source).

ثانياً تسريع الإلكترونات: تُسرّع الإلكترونات إلى طاقات عالية (عادة تتراوح بين 1 eV و 30 eV) باستخدام جهد كهربائي عالي، هذا يعطي الإلكترونات الطاقة اللازمة لإختراق العينة والتفاعل معها.

ثالثاً تركيز الحزمة: تُركّز حزمة الإلكترونات باستخدام سلسلة من العدسات المغناطيسية (Magnetic Lenses) لتكوين شعاع رفيع ودقيق يمكنه مسح سطح العينة.

رابعاً مسح الحزمة: يتم مسح حزمة الإلكترونات عبر سطح العينة باستخدام ملفات مسح (Scanning Coils) التي تحرك الشعاع إلكترونياً على نمط شبكة منتظمة.

خامسا تفاعل الإلكترونات مع العينة: عندما تصطدم حزمة الإلكترونات بسطح العينة، تتفاعل الإلكترونات مع الذرات في

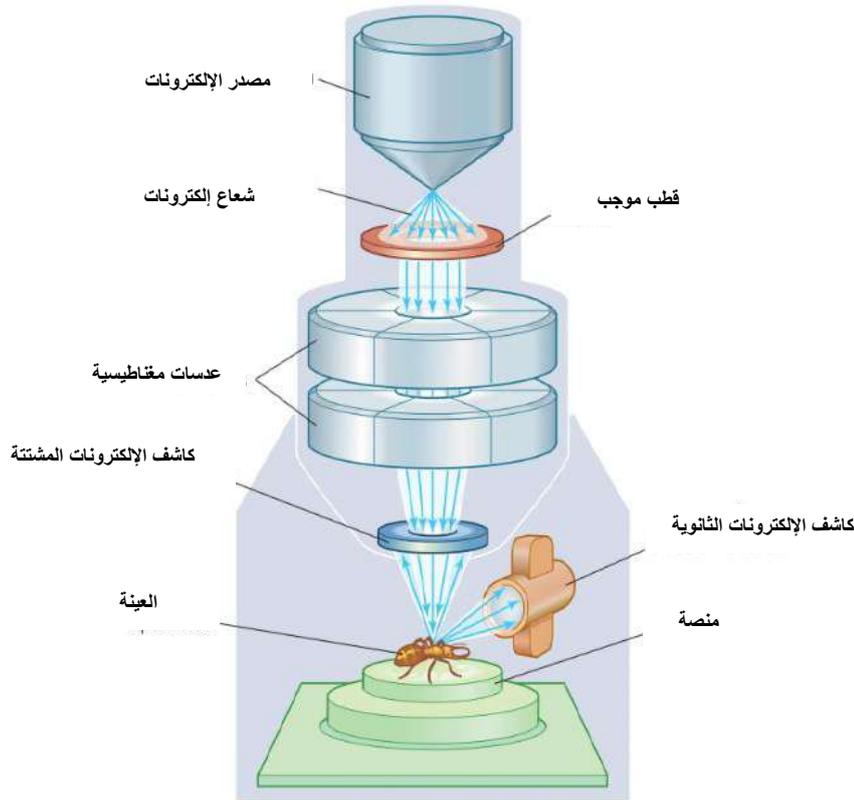
العينة وتنتج عدة أنواع من الإشارات، بما في ذلك الإلكترونات الثانوية و الإلكترونات المرتدة وأشعة X.

سادسا جمع الإشارات: تُجمع الإشارات الناتجة باستخدام كواشف مختلفة:

- كاشف الإلكترونات الثانوية: يجمع الإلكترونات الثانوية التي تعطي معلومات عن تضاريس سطح العينة.
- كاشف الإلكترونات المرتدة: يجمع الإلكترونات المرتدة التي تعطي معلومات عن التركيب العنصري للعينة.
- كاشف الأشعة السينية: يمكن استخدامه لتحليل التركيب العنصري بشكل أكثر تفصيلاً.

سابعا تكوين الصورة: تُحول الإشارات المجمعة إلى إشارات كهربائية تُعالج لتكوين صورة تُعرض على شاشة الكمبيوتر. يمكن

تعديل الصورة وتكبيرها لتحليل تفاصيل دقيقة عن العينة.



الشكل [II-28]: رسم تخطيطي يوضح عناصر المجهر الإلكتروني الماسح (MEB) [26].

### 3.4.2.11. مطيافية طاقة التشتت للأشعة السينية:

المجهر الإلكتروني الماسح (MEB) هو جهاز يمكنه تقديم معلومات حول تضاريس السطح، كما أنه عند استخدامه في

وضع (EDX) يسمح بتحديد التركيب الكيميائي الأولي وتوزيع العناصر الكيميائية على مجال معين في العينة التي تم تحليلها.

### 1.3.4.2.ii. مبدأ عمل مطيافية طاقة التشتت للأشعة السينية:

تقنية تحليل الطاقة المشتتة للأشعة السينية (EDX) تعتمد على مبدأ تفاعل الأشعة السينية أو الإلكترونات عالية

الطاقة مع العينة لتحليل تركيبها العنصري، هنا شرح مبسط لمبدأ عمل تقنية (EDX) [27]:

أولاً إثارة بالأشعة السينية: يتم تسليط أشعة سينية عالية الطاقة أو إلكترونات على العينة، هذا التسليط يتسبب في إخراج الإلكترونات من المدارات الداخلية لذرات العينة، مما يخلق فراغات إلكترونية.

ثانياً انبعاث الأشعة السينية المميزة: تملأ الفراغات الإلكترونية بالإلكترونات من مستويات طاقة أعلى، عند انتقال هذه الإلكترونات إلى مستويات طاقة أقل، تطلق طاقة في شكل أشعة سينية مميزة، كل عنصر لديه مجموعة فريدة من مستويات الطاقة، لذا فإن طاقة الأشعة السينية المنبعثة تكون مميزة للعنصر الذي صدرت منه.

ثالثاً الكشف: تُكشف الأشعة السينية المنبعثة بواسطة كاشف مشتت للطاقة، عادةً ما يكون الكاشف شبه موصل مثل كاشف إنجراف السليسيوم أو كاشف السليسيوم المطعم بالليثيوم (Si(Li))، يقيس هذا الكاشف طاقة الأشعة السينية القادمة ويحوّله إلى إشارة جهد تتناسب مع طاقة الأشعة السينية.

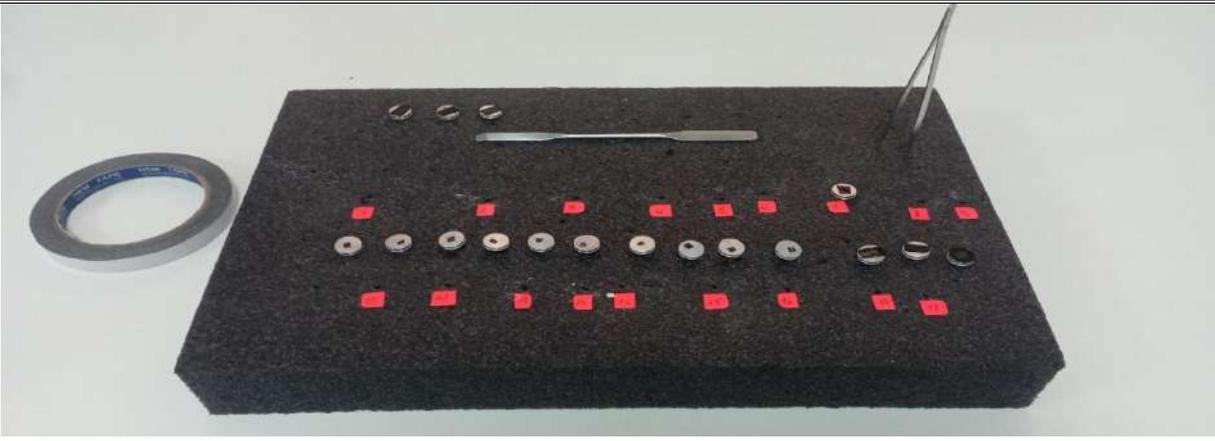
رابعاً توليد الطيف: تُرسم الأشعة السينية المكتشفة كطيف من الشدة مقابل الطاقة، تمثل القمم في الطيف طاقات الأشعة السينية المميزة للعناصر الموجودة في العينة.

خامساً التحليل النوعي والكمي: تُحدد العناصر الموجودة في العينة عن طريق طاقات القمم المميزة في الطيف (تحليل نوعي)، يمكن تحديد تركيز كل عنصر من خلال شدة القمم مع الأخذ في الاعتبار عوامل مثل كفاءة الكاشف، هندسة العينة، وتأثيرات المصفوفة (تحليل كمي).

### 4.4.2.ii. تحضير العينات للتحليل:

(الشكل [II-29]) يقدم لمحة عامة عن طريقة تحضير العينة لهذا التحليل حيث تم إيداع هذه العينات على دعائم من

الألومنيوم في حالتها الطبيعية أي بدون طحن.



الشكل [II-29]: صورة توضع تحضير العينات لتشخيص بإستعمال المجهر الإلكتروني الماسح.

## 5.2.11. التصنيف الحبيبي عن طريق حيود الليزر:

يعد توزيع حجم الجسيمات خاصية مهمة للغاية؛ لأنها توفر معلومات أساسية لتشخيص الصخور ووصف العمليات الجيولوجية في علوم الأرض بما في ذلك علم الرواسب والطبقات الأرضية والهيكلة الجيولوجية وعلم التربة وعلم البراكين. على مدى عقود أثبت التصنيف الحبيبي لحجم الحبيبات عن طريق الليزر أنها أداة فعالة لتوفير توزيعات حجم حبيبات خشنة للصخور والتربة. فهي تتطلب قليل من الوقت للتحليل وتغطي مجالاً واسعاً من الأحجام وتتطلب عينات بكميات صغيرة مما يسهل الدراسات التفصيلية.

## 1.5.2.11. أساسيات التصنيف الحبيبي:

### (أ) نظرية مي:

نظرية مي (Mie) هي حل تحليلي لمعادلات ماكسويل يصف تشتت الموجات الكهرومغناطيسية، مثل الضوء، بواسطة الجسيمات الكروية، سميت النظرية نسبة إلى الفيزيائي الألماني غوستاف مي الذي طورها في عام 1908. تعتبر النظرية أساسية لفهم الظواهر البصرية المختلفة ولها تطبيقات في مجالات مثل الأرصاد الجوية وعلم الفلك وعلوم المواد، تنص هذه النظرية على أن تشتت وإمتصاص الموجات الكهرومغناطيسية، مثل الضوء، بواسطة الجسيمات الكروية يمكن وصفه بدقة من خلال حل معادلات ماكسويل الكهرومغناطيسية لهذه الجسيمات، وعند تسليط موجة كهرومغناطيسية على جسيم كروي، تحفز هذه الموجة حقولاً كهربائية ومغناطيسية متذبذبة داخل وحول الجسيم، مما يؤدي إلى تشتت الموجة في اتجاهات متعددة وإمتصاص جزء من طاقتها. تعتمد خصائص التشتت والإمتصاص على معاملين رئيسيين: معامل الحجم الذي يربط بين نصف قطر الجسيم وطول موجة

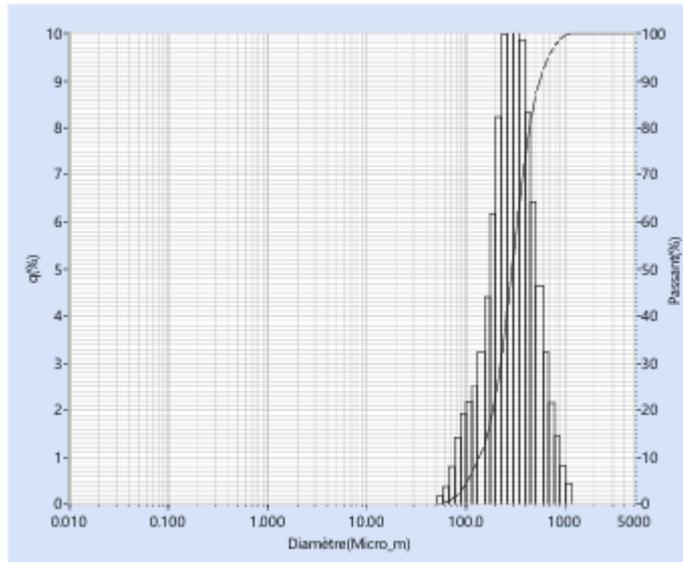
الضوء، ومعامل الإنكسار المعقد للمادة الذي يحدد مدى إنكسار وإمتصاص الضوء داخل الجسم. تحسب النظرية معاملات تشتت محددة تصف توزيع الضوء المشتت والإمتصاص عبر أوامر متعددة، مما يمكن من تحليل الطيف الناتج بدقة لتحديد التركيب والتركيز وحجم الجسيمات المتفاعلة مع الضوء [28،29].

(الشكل [30-II]) يبين صورة فوتوغرافية للجهاز المستعمل لقياس حجم الجسيمات باستخدام تقنية حيود الليزر، وهو من نوع (Partica LA-960V2 (HORIBA)، هذا الجهاز متوفر على مستوى مخبر الإشعاع والبلازما وفيزياء السطوح (LRPPS) كلية الرياضيات وعلوم المادة قسم الفيزياء جامعة ورقلة.



الشكل [30-II]: صورة توضح جهاز التصنيف الجببي بإستعمال تقنية حيود الليزر المستعمل في الدراسة.

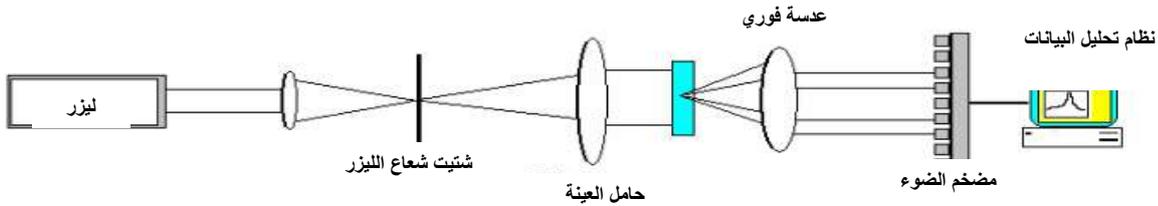
هذه التقنية تعطي النتيجة على الشكل التالي :



الشكل [31-II]: نتيجة التوزيع الجببي بحيود الليزر [15].

## 2.5.2.ii. مبدأ عمل التصنيف الحبيبي:

تستخدم تقنية حيود الليزر لقياس توزيع حجم الجسيمات بدقة عالية، يبدأ مبدأ عمل الجهاز بتمرير شعاع ليزر عالي الكثافة عبر العينة التي تحتوي على الجسيمات؛ تتفاعل الجسيمات مع شعاع الليزر، مما يؤدي إلى إنكسار وتشتت الضوء بزوايا مختلفة. يعتمد نمط التشتت على حجم الجسيمات؛ حيث تتسبب الجسيمات الأكبر في تشتت الضوء بزوايا صغيرة، بينما تتسبب الجسيمات الأصغر في تشتت بزوايا أكبر. يلتقط الجهاز هذا الضوء المتشتت باستخدام مجموعة من الكاشفات الحساسة الموضوعة بزوايا مختلفة حول العينة. تقوم هذه الكاشفات بجمع الضوء المتشتت وتحويله إلى إشارات كهربائية تُحلَّل لاحقًا باستخدام نماذج رياضية متقدمة [30]. يعتمد التحليل على مبادئ حيود الضوء، مثل نموذج (Fraunhofer) لحيود الجسيمات الكبيرة ونموذج (Mie) للجسيمات الصغيرة، مما يساعد في تحويل بيانات التشتت إلى معلومات عن توزيع حجم الجسيمات في العينة. بعد إكمال التحليل يقوم الجهاز بإخراج تقرير تفصيلي يحتوي على توزيع حجم الجسيمات، بما في ذلك الحجم الوسطي والحجم الأقصى والأدنى والنسبة المئوية للجسيمات في نطاقات حجم محددة (الشكل [32-II]) [31]. تُستخدم هذه المعلومات في مجموعة واسعة من التطبيقات الصناعية والبحثية [32]، مثل الصناعات الدوائية والكيميائية والغذائية والمواد الدقيقة، حيث تُعتبر دقة تحليل حجم الجسيمات أمرًا بالغ الأهمية لتحديد جودة المواد وسلوكها.



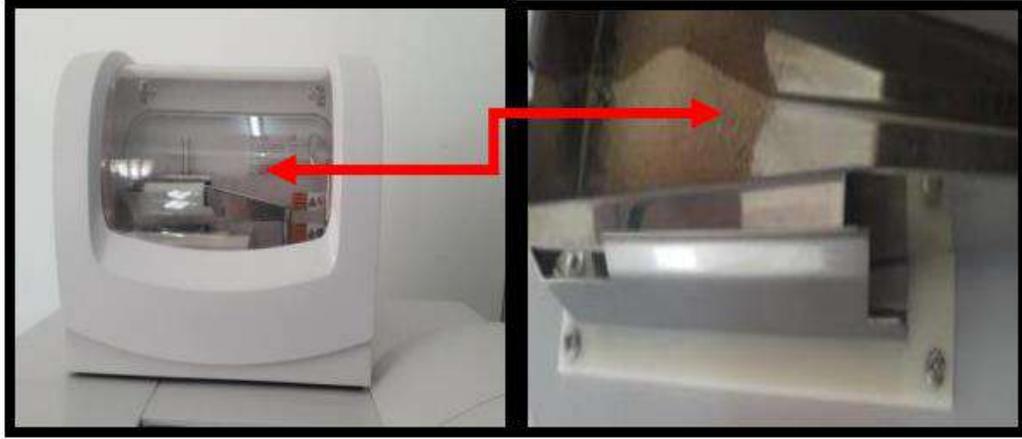
الشكل [32-II]: مخطط عمل جهاز التصنيف الحبيبي [33].

## 3.5.2.ii. تحضير العينة للتحليل:

في هذا التحليل تم استخدام العينة في شكلها الطبيعي كما هو موضح في (الشكل [33-II]). حيث يتراوح وزن العينة المطلوبة من 5-10 g، ويتم تشغيل الجهاز لمدة تتراوح بين 5 min-10 min، ثم يتم وضعها في المغذي الجاف

(mangeoire sèche). يتم تعيين شروط التجربة المطبقة بعد بضع ثوان ثم تقدم النتيجة في شكل جدول بيانات ورسم بياني.

بياني.



الشكل [II-33]: صورة توضح كيفية وضع العينة للتحليل.

## 6.2.11. التحليل الحراري الكلي/التفاضلي:

عبارة عن نوعين من طرق التحليل مكملتين لبعضهما البعض و تستخدمان في وقت واحد، ويجعلان من الممكن دراسة السلوك الديناميكي الحراري للمواد. فالتحليل الحراري هو الطريقة الفيزيائية الأولى التي تم إستخدامها للبحث والكشف عن تغيرات الطور أثناء تطور نظام كيميائي عن طريق تغير درجة الحرارة. فهي عبارة عن طريقة قياس حرارية تستفيد من التأثيرات الحرارية الإيجابية أو السلبية حسب الحالة التي تصاحب هذه التغيرات.

### 1.6.2.11. أساسيات تقنية التحليل الحراري:

#### أ) التحليل الحراري الكلي:

يُعتبر هذا النوع من التحاليل الحرارية وسيلة لمراقبة التغيرات الحاصلة في الخصائص الفيزيائية والكيميائية للمواد أثناء زيادة درجة الحرارة بمعدل ثابت. يتم تنفيذ هذه العملية لفهم تأثيرات التغيرات الحرارية على المواد، حيث يمكن أيضاً ملاحظة التفاعلات الكيميائية أو مراقبة زمن التفاعل مع الإحتفاظ بدرجة الحرارة ثابتة، كما يمكن متابعة فقد الوزن بشكل ثابت. يمكن أن يكون هذا الفقد في الوزن عبارة عن فقدان كتلة (إنبعاث أبخرة) أو زيادة الكتلة (تثبيت غازات). و يعتمد إختيار درجة الحرارة على نوع

المعلومات المطلوبة حول العينة، بالإضافة إلى ذلك يلعب الغلاف الجوي المستخدم في تجربة التحليل الحراري الكتلبي (ATG) دورًا مهمًا ويمكن أن يكون تفاعليًا أو مؤكسدًا أو خاملاً. يمكن أيضًا إجراء تغييرات في الغلاف الجوي أثناء القياس [34].

### ب) التحليل الحراري التفاضلي:

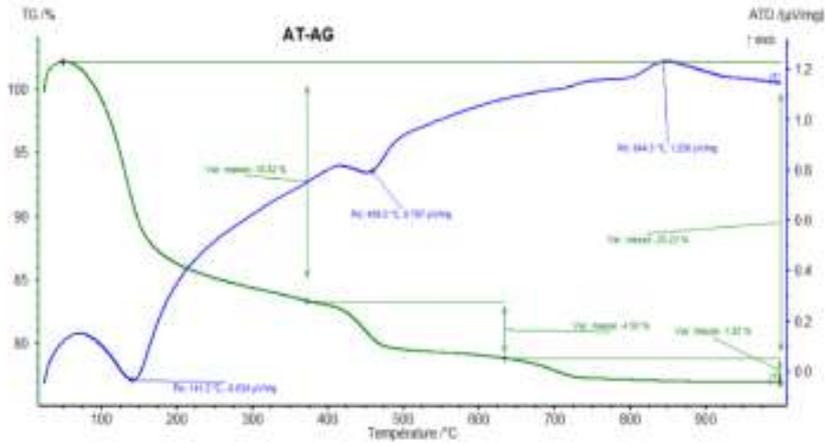
هي تقنية تحليل حراري عبارة عن مراقبة تطور إختلاف درجة الحرارة بين العينة المدروسة والجسم المرجع الخامل، أي خالية من التأثيرات الحرارية في نطاق درجة الحرارة المدروسة [35] في (ATD). حيث يتم إخضاع العينة قيد الدراسة والمرجع الخامل لدورات حرارية متطابقة، أي نفس برنامج التبريد أو التسخين، بحيث يتم تسجيل أي فرق في درجة الحرارة بين العينة والمرجع، ثم يتم رسم درجة الحرارة التفاضلية هذه كدالة للوقت أو لدرجة الحرارة. يمكن الكشف عن التغييرات في العينة، سواء طاردة للحرارة أو ماصة للحرارة بالنسبة للمرجع الخامل. وبالتالي يوفر منحني (ATD) بيانات عن التحولات التي حدثت مثل تحولات الزجاج، والتبلور، والذوبان، والتسامي [36].

وفي ما يلي صورة فوتوغرافية للجهاز المستعمل خلال هذه الدراسة (الشكل [34-II])، حيث كان نوع هذا التجهيز (PerkinElmer Simultaneous Thermal Analyzer STA 8000) للعلم هذا التجهيز متواجد على مستوى الأرضية التقنية لتحاليل الفيزيائية والكيميائية لولاية بجاية.



الشكل [34-II]: صورة فوتوغرافية لجهاز التحليل الحراري.

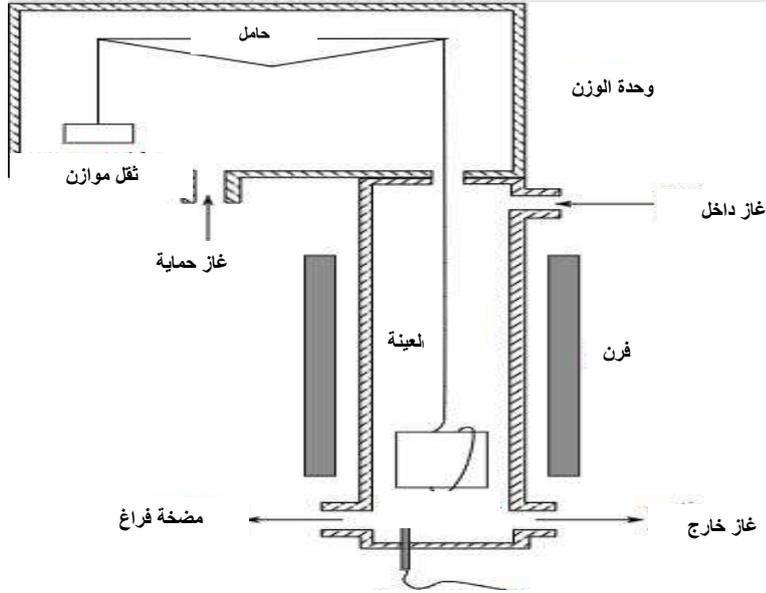
فتعطي هذه تقنية مخططا على النحو الموالي (الشكل [II-35]):



الشكل [II-35]: مخطط توضيحي لنتيجة تقنية التحليل الحراري الكتلي/التفاضلي [37].

## 2.6.2.11. مبدأ عمل تقنية التحليل الحراري:

يقوم جهاز التحليل الوزني الحراري برصد ووزن العينة بشكل متواصل أثناء تسخينها إلى درجة حرارة تصل إلى  $2000^{\circ}\text{C}$  ، ويتزامن هذا مع قياسات جهاز يعمل بالأشعة تحت الحمراء ومطياف الكتلة لتحليل المكونات الغازية. يحدث تفكك مكونات العينة مع إرتفاع درجة الحرارة، ويتم قياس التغير المفوي في وزن العينة في الوقت نفسه يُمثل الرسم البياني لدرجة الحرارة على المحور الأفقي بينما يُظهر التغير في وزن العينة على المحور الرأسي، مما يتيح تحليلاً بصرياً لتفاعلات العينة وتغيراتها في ظروف درجات الحرارة المختلفة. يمكن تسجيل القياسات بفترات قصيرة مما يسمح للمنحنى الناتج بإظهار كل تفاصيل التغير في الوزن بدقة أكبر. يتيح ذلك الفرصة لإستنباط معلومات أكثر حول خصائص العينة، كما يمكن معايرة درجة الحرارة في الجهاز بإستخدام عدة عينات تحتوي على نقطة إنصهار معروفة بدقة أو نقطة كوري للمواد المغناطيسية مثل الحديد أو النيكل. تُوضع المادة المغناطيسية في بوتقة العينة ويُعرض لها مجال مغناطيسي، ثم يُسخن المرجع المغناطيسي كقطعة من الحديد على سبيل المثال، حتى تصل إلى نقطة كوري حيث يصبح الحديد ذا مغناطيسية مستوية [23]. يتم إستخدام هذه العملية لمعايرة تغير الوزن الناتج عن التأثير الخارجي للمجال المغناطيسي. (الشكل [II-36]) يوضح مبدأ عمل جهاز تحليل حراري [34].



الشكل [II-36]: مخطط يوضح مبدأ عمل جهاز التحليل الحراري.

### 3.6.2. II. تحضير العينة للتحليل:

تتمثل العملية في وضع العينة داخل بوتقة قادرة على تحمل درجات حرارة عالية وتكون مصنوعة من مادة خاملة غير متفاعلة مثل مادة البلاتين. تُوضع هذه البوتقة في فرن يُسخن إلى درجات حرارة تصل إلى  $2400^{\circ}\text{C}$ . يُعلق الميزان الدقيق بجوار البوتقة، وتُقرأ القيمة الموجودة على الميزان أثناء عملية التسخين المستمر. يتم تثبيت مزدوجة حرارية بالقرب من البوتقة لقياس درجة الحرارة. الأجهزة الحديثة للتحليل الوزني الحراري تكون مرتبطة بحواسيب تحدد درجة الحرارة العليا للتحليل وتنظم معدل التسخين ومعدل تدفق الغاز. أثناء التحليل يتم تدفق نوع محدد من الغازات إلى داخل البوتقة ويتم عزل العينة عن البيئة الخارجية. غالبًا ما يُستخدم غاز النيتروجين لأنه غاز غير مؤكسد، ويُشير إلى ضرورة عزل البوتقة في مجال مُغلق يحيطه غاز النيتروجين لمنع التأكسد في حالات معينة [35].

## المراجع

1. Boggs, S., Jr. (2009). *Petrology of sedimentary rocks* (2nd ed.). Cambridge University Press.
2. Khalifa, M., & Al-Abri, M. (2019). Innovative technology for the production of high-purity sand silica by thermal treatment and acid leaching process. *Hydrometallurgy*, 185, 204–209.
3. الموسوعة العربية، المجلد الخامس: الكيمياء والفيزياء. (n.d.). مصطفى عتقي، بسام معاصرني.
4. دراسة أثر المعالجة الحرارية على تركيب رمل كثبان ورقلة، وعلى ناقلية الكهربية، ومشري محمد العيد [أطروحة دكتوراه، جامعة قاصدي مرباح ورقلة] باستخدام الطرق الطيفية.
5. دار الفكر العربي. علم البلورات والأشعة السينية. (2005). نعيمة عبد القادر أحمد، محمد أيمن سليمان.
6. Saikia, B. J., Parthasarathy, G., & Sarmah, N. C. (2008). Fourier transform infrared spectroscopic estimation of crystallinity in SiO<sub>2</sub> based rocks. *Bulletin of Materials Science*, 31, 775–779.
7. Andersen, F. A., Brečević, L., & Nielsen, A. E. (1991). Infrared spectra of amorphous and crystalline calcium carbonate. *Acta Chemica Scandinavica*, 45(10), 1018–1024.
8. تحديد التركيب الجزئي للأصناف الحبيبية المختلفة للرمال كثبان منطقة ورقلة وحساب تركيز. (2016). بضياف سميحة [أطروحة دكتوراه، جامعة قاصدي مرباح ورقلة] الكوارتز فيها باستخدام التقنيات الطيفية.
9. Mechri, M. L., & Chihi, S. (2012). Study of the atomic composition of the sand dunes of Ouargla region by XRF spectroscopy, SEM, EDX and ANN. *Annals of Science and Technology*, 4(2), 69–79.
10. Ramasamy, V., Sundarajan, M., Paramasivam, K., & Meenakshisundaram, V. (2011). Horizontal and vertical characterization of radionuclides and minerals in river sediments. *Applied Radiation and Isotopes*, 69(1), 184–195.
11. Zettili, N. (2009). *Quantum mechanics: Concepts and applications*.
12. Myneni, S. C. B., Traina, S. J., Waychunas, G. A., & Logan, T. J. (1998). Vibrational spectroscopy of functional group chemistry and arsenate coordination in ettringite. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 62(21-22), 3499–3514.
13. Kumar, R. S., & 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.
14. Verma, H. R. (2007). *Atomic and nuclear analytical methods* (Vol. 241). Springer.
15. Benchaa, S. (2023). *Étude physique et structurale des échantillons de sable pris de la région de Sidi Slimane et la région de Touggourt* [Thèse de doctorat, Université Kasdi Merbah Ouargla].
16. Reig, F. B., Gimeno-Adelantado, J. V., & Moya-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(4), 811–821.
17. Razva, O., et al. (2014). Calculation of quartzite crystallinity index by infrared absorption spectrum. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 21(1).
18. Wikipedia. (2023). Retrieved August 2023, from <https://en.wikipedia.org/>
19. Polfer, N. C., & Dugourd, P. (Eds.). (2013). *Laser photodissociation and spectroscopy of mass-separated biomolecular ions* (Vol. 83). Springer.
20. Stuart, B. H. (2004). *Infrared spectroscopy: Fundamentals and applications*. Wiley.
21. Hlavay, J., Foldi-Polyak, K., & Inczedy, J. (1977). Characterization of the particle size and the crystallinity of certain minerals by infrared spectrophotometry and other instrumental methods—I. Investigations on clay minerals. *Clays and Clay Minerals*, 25(6), 451–456.
22. تحديد تركيب الأصناف اللونية الرئيسية لرمال كثبان منطقة ورقلة وتحديد سبب تلونها باستخدام. (2017). محمادي نوية [أطروحة دكتوراه، جامعة قاصدي مرباح ورقلة] الطرق الطيفية.
23. Leng, Y. (2013). *Materials characterization: Introduction to microscopic and spectroscopic methods*. Wiley.
24. Barir, R. (2018). *Caractérisation spectroscopique des couches minces d'oxyde de nickel (NiO) élaborées par spray* [Thèse de doctorat, Université Kasdi Merbah Ouargla].

25. Ben Oumra, H. (2013). *L'effet de la température du substrat et de la molarité sur les propriétés des couches minces de sulfure de zinc déposées par spray ultrasonique* [Thèse de doctorat, Université Mohamed Khider-Biskra].
26. Chennoufi, A. (2012). *L'effet de la molarité et de la température du substrat sur les propriétés des couches minces d'oxyde d'indium déposées par spray ultrasonique* [Thèse de doctorat].
27. Goldstein, J. I., Newbury, D. E., Michael, J. R., Ritchie, N. W. M., Scott, J. H. J., & Joy, D. C. (2017). *Scanning electron microscopy and X-ray microanalysis*. Springer.
28. Desai, R., Mankad, V., Gupta, S. K., & Jha, P. K. (2012). Size distribution of silver nanoparticles: UV-visible spectroscopic assessment. *Nanoscience and Nanotechnology Letters*, 4(1), 30–34.
29. Coates, J. (2000). Interpretation of infrared spectra, a practical approach. In *Encyclopedia of analytical chemistry* (pp. 10815–10837). Wiley.
30. Ballard, T., & Beare, S. (2013). Particle size analysis for sand control applications. *SPE European Formation Damage Conference and Exhibition*. SPE.
31. Grangeon, T. (2012). *Étude multi-échelle de la granulométrie des particules fines générées par érosion hydrique: Apports pour la modélisation* [Thèse de doctorat, Université de Grenoble].
32. Kroetsch, D., & Wang, C. (2008). Particle size distribution. In *Soil sampling and methods of analysis* (2nd ed., pp. 713–725).
33. Michel, F., & Courard, L. (2006). Apport de la granulométrie laser dans la caractérisation physique des fillers calcaires. *Journées Scientifiques du Regroupement Francophone pour la Recherche et la Formation dans le domaine du Béton*.
34. Bevis, J., Lever, T., Price, D., & Gaisford, S. (2008). *Principles and applications of thermal analysis*. Wiley.
35. Moureau, M., & Brace, G. (1993). *Comprehensive dictionary of petroleum science and technology*. Editions Technip.
36. Burgot, G., & Burgot, J.-L. (2023). *General analytical chemistry: Separation and spectral methods*. CRC Press.
37. Zaid, N., et al. (n.d.). Analyse thermogravimétriques et thermo-différentielles (ATG/ATD) d'un béton.

## الفصل الثالث:

نتائج القياسات الطيفية تحليلها ومناقشتها

## تمهيد:

إن لطرق التحليل الطيفي التي تطورت في نهاية القرن التاسع عشر فضل كبير في تحليل المركبات والكشف عن خواصها، وقد تمكن الفيزيائيون من وضع ملفات تحتوى على عدد هائل من مخططات المواد المختلفة مكنتهم من تمييز التركيب الكيميائي للمواد.

نعرض في هذا الفصل نتائج مختلف القياسات الطيفية المنجزة في هذه الدراسة التي تمت على عينات رمال الكثبان لمنطقة الطيبات ومنطقة تندلة من أجل تشخيصها. حيث سنقدم تحليل وتفسير كل منها على حدى. كما سنعرض نتائج عملية التنقية و سنناقش كيفية تطور نسبة السليكا خلال هذه العملية. كل هذا تم بهدف تبيين الموارد الطبيعية في مناطق واسعة من جنوب الجزائر وإستكشاف إستخداماتها في مختلف المجالات الصناعية لذا سنجعل هذا الفصل مقسما إلى قسمين رئيسيين وهما:

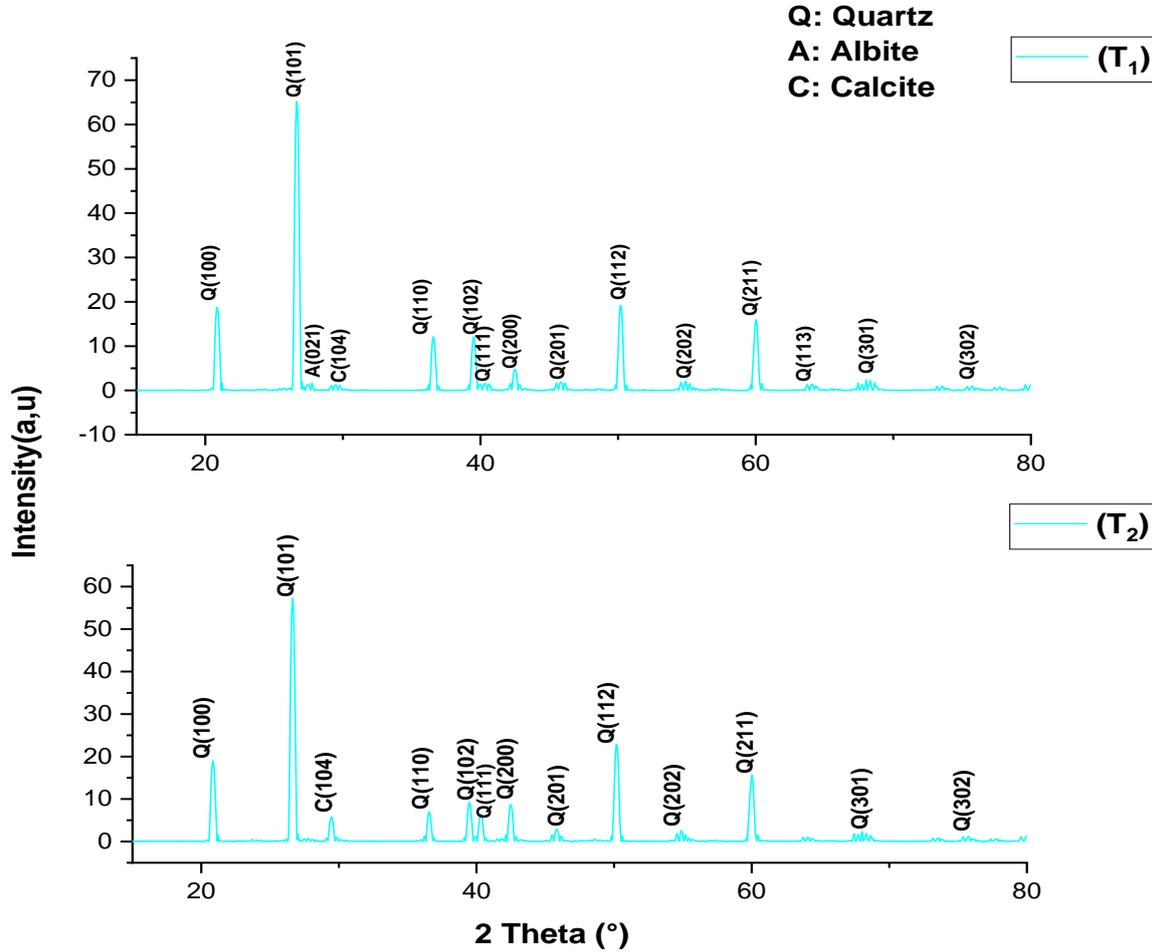
- **القسم الأول:** تشخيص عينات طبيعية من الكثبان الرملية لمنطقة الطيبات ومنطقة تندلة.
- **القسم الثاني:** مناقشة نتائج عملية التنقية (حلقة تنظيف حرارية كيميائية) للعينتين المذكورتين سابقا.

### 1.111. الخصائص الفيزيوكيميائية لعينات الرمل المدروسة في الحالة الطبيعية:

في هذا الجزء سنقوم بتحليل وتفسير النتائج المتحصل عليها بعد إجراء التحليل الطيفية على العينة في حالتها الطبيعية وذلك عن طريق إستخدام برامج معينة مثل الهاي سكور لتحليل ومعرفة الأطوار البلورية الموجودة في عينات دراستنا في تقنية إنعراج الأشعة السينية.

## 1.1.1. مناقشة نتائج تقنية إنعراج الأشعة السينية (DRX):

## 1.1.1. التعرف على المكونات البلورية للرمال:



الشكل [1.1.1]: مخططات إنعراج الأشعة السينية لكل من عينات رمال كثبان منطقة الطيبات (T<sub>1</sub>) وتندلة (T<sub>2</sub>) الطبيعية.

يبين الشكل [1.1.1] أنماط حيود الأشعة السينية DRX للعينات تحت الدراسة، حيث أظهر طيف إنعراج الأشعة

السينية للعينتين المدروستين أن رمال كثبان منطقة الطيبات تتكونان بشكل رئيسي من طورين بلورين أساسيين: الكوارتز (SiO<sub>2</sub>) والذي يُميز من خلال إنعراجه البارز في المخطط و الكالسيت (CaCO<sub>3</sub>)، إذ أن معظم خطوط الإنعراج تعود لهذين المركبين.

يشير إرتفاع ذروة DRX المسجلة على العينة إلى شدة الإنعراج [1، 2]. تحدد شدة الحزمة المنعكسة عن المستويات

البلورية المتوازية تركيز هذه المرحلة وهذا يعود لتكوين البنية الأساسية للبلورة من الذرات بحيث أنه كلما كانت المستوى غني بالذرات

تكون شدة الحزمة العالية. فغالبًا ما توجد أطوار بلورية ثانوية لا يمكن ملاحظتها في مخططات DRX لأن تبلورها ونسبة وجودها في هذه العينة منخفضة. حيث أظهرت نتائج DRX أن جميع عينات الرمال المأخوذة من الكتبان الرملية تتكون بشكل رئيسي من الكوارتز في الطور  $\alpha$  ( $\text{SiO}_2$ ) حسب المرجع رقم (00-046-1045) مع نظام بلوري سداسي تحت المجموعة الفضائية (154) P3<sub>2</sub>21 [3].

في الكتبان الرملية بمنطقة الطيبات ظهرت الإنعراجات التالية  $2\theta = 20.86^\circ$ ،  $36.57^\circ$ ،  $39.49^\circ$ ،  $40.31^\circ$ ،  $42.51^\circ$ ،  $45.85^\circ$ ،  $50.18^\circ$ ،  $54.90^\circ$ ،  $60.02^\circ$ ،  $64.10^\circ$ ،  $68.39^\circ$ ،  $75.73^\circ$  وظهر الإنعراج الرئيس البارز والشديد عند  $2\theta = 26.65^\circ$  وكانت كلها تعود لمعدن الكوارتز ألفا ( $\alpha\text{-SiO}_2$ ) وفقا للمرجع رقم (00-46-1045) [4] (الشكل [1.111]).

لوحظ أن الزاوية  $29.45^\circ$  تشير الى معدن الكالسيت ( $\text{CaCO}_3$ ) وفقا للمرجع رقم (00-47-1743) لعينة هذه الرمال [5] (الشكل [1.111]).

في حين تظهر ذروة الحيود عند  $27.51^\circ$  وهي توافق معدن الألبيت ( $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ ) تبعا للمرجع رقم (00-041-1480) [6] (الشكل [1.111]).

بالنسبة لرمال كتبان منطقة تندلة فظهرت الإنعراجات التالية  $2\theta = 20.84^\circ$ ،  $36.54^\circ$ ،  $39.48^\circ$ ،  $40.31^\circ$ ،  $42.48^\circ$ ،  $45.83^\circ$ ،  $50.18^\circ$ ،  $54.88^\circ$ ،  $60.00^\circ$ ،  $67.74^\circ$ ،  $68.32^\circ$ ،  $75.74^\circ$ . وكان أبرز إنعراج  $2\theta = 26.63^\circ$  كل ماسبق ذكره من زوايا إنعراج يعود لمعدن الكوارتز ألفا حسب المرجع رقم (00-046-1045) (الشكل [1.111]).

ظهرت زاوية الإنعراج  $29.45^\circ$  والتي تعود لمعدن الكالسيت ( $\text{CaCO}_3$ ) في هذه العينة حسب المرجع رقم (00-47-1743) (الشكل [1.111]).

وبهذا تكون الحوصلة أن رمل كتبان الطيبات يتكون بشكل رئيسي من معدن الكوارتز ( $\alpha\text{-SiO}_2$ ) و معدن الكالسيت ( $\text{CaCO}_3$ ) و معدن الألبيت ( $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ ). وأيضا تتكون عينة رمل كتبان تندلة من معدن الكوارتز- $\alpha$

(SiO<sub>2</sub>) ومعدن الكالسيوم (CaCO<sub>3</sub>). حيث تتوافق النتائج التي تم الحصول عليها من DRX مع نتائج الأعمال السابقة المقدمة في الأعمال [4، 5، 7، 8] (الشكل [1.111]).

بناءً على نتائج DRX، تم تحديد تراكيز الأطوار البلورية الموجودة في عينات الرمل المدروسة، حيث بلغ تركيز الكوارتز 95% وال 5% المتبقية مقسمة بين معدني الألبيت والكالسيت في رمال كثنان منطقة الطيبات و وصل تركيز الكوارتز 90% و 10% لمعدن الكالسيوم بالنسبة لعينة رمال كثنان منطقة تندلة وهو ما يتوافق جيدا مع نتائج تحليل أكاسيد العينتين في مطيافية الفلورة بالأشعة السينية XRF لكل منهما.

### 2.1.1.1. تفسير إنزياح القمم في مخططات الإنعراج:

لقد تبين من مقارنة نتائجنا وبطاقة تعريف الأطوار البلورية (ASTM) (الجدول [1.111]) ، إنزياحات طفيفة لقمم الإنعراج، يعود ذلك إلى العيوب البلورية ( فجوات، شقوق...) الناتجة عن منشئها الأول ، والتي قد تجعل الخطوط تتسع. إضافة على هذا فإن وجود الشوائب في البنية البلورية يؤدي الى تكوين عيوب بلورية ترتبط بنوع الشوائب ومواقعها داخل البلورة، وهذا يؤثر على الأقل في حجم البلورة، وبهذا تؤثر على المسافة بين السطوح البلورية بسبب تربع ذرات الشوائب على مواقع بعض الذرات الأصلية للمادة ، وهذا بدوره يتسبب بإزاحة مواقع القمم زوايا الإنعراج ضمن مخطط حيود الأشعة السينية إلى قمم أكبر أو أقل على حسب القطر الأيوني لذرات الشوائب بمقارنتها بذرات المادة الأصلية [9، 10].

الجدول [1.111]: تحليل نتائج إنعراج الأشعة السينية لعينة كثنان منطقة الطيبات و كثنان منطقة تندلة.

زوايا الإنعراج 2θ(°)	الأطوار البلورية	قرائن ميلر (hkl)	المسافة البينية المحسوبة (d <sub>cal</sub> Å) (T1)	المسافة البينية الملاحظة (d <sub>obs</sub> Å) (T1)	Δd(Å) (T1)	المسافة البينية المحسوبة (d <sub>cal</sub> Å) (T2)	المسافة البينية الملاحظة (d <sub>obs</sub> Å) (T2)	Δd(Å) (T2)
20.86	كوارتز	100	4,276	4,248	0,028	4,280	4,252	0,028
26, 65	كوارتز	101	3,370	3,340	0,030	3,373	3,342	0,031
27,47	ألبيت	021	3,273	3,248	0,025	/	/	/
29,45	كالسيت	104	3,062	3,028	0,033	3,062	3,033	0,028

36,57	كوارتز	110	2,494	2,455	0,039	2,496	2,456	0,040
39,49	كوارتز	102	2,323	2,280	0,042	2,323	2,280	0,043
40,31	كوارتز	111	2,279	2,234	0,045	2,279	2,235	0,043
42,51	كوارتز	200	2,171	2,126	0,045	2,172	2,126	0,045
45,85	كوارتز	201	2,027	1,978	0,048	2,028	1,979	0,049
50,18	كوارتز	112	1,871	1,816	0,054	1,871	1,817	0,053
54,90	كوارتز	202	1,731	1,670	0,060	1,731	1,671	0,060
60,02	كوارتز	211	1,605	1,540	0,064	1,606	1,541	0,064
64,10	كوارتز	113	1,521	1,452	0,068	1,455	1,382	0,073
68,39	كوارتز	301	1,444	1,371	0,073	1,446	1,371	0,074
75,73	كوارتز	302	1,336	1,255	0,080	1,336	1,255	0,080

### 2.1.1. مناقشة نتائج مطيافية التحليل بفلورة الأشعة السينية (XRF) :

#### 1.2.1. تحليل ومناقشة التركيب الكيميائي للعينات المدروسة:

لقد إستخدمنا خلال دراستنا هذه تقنية ED-XRF لفلورة الأشعة السينية المعتمدة على طاقة الأشعة السينية المتبعثرة ؛ هذا النوع من التحليل تحصلنا على نتائج باستخدام الجهاز المذكور في الفصل السابق وهو مبرمج للكشف عن تراكيز بعض الأكاسيد [11]، وذلك من خلال الكشف أولاً عن تراكيز بعض العناصر الكيميائية ذات الفلورة ثم الإستعانة ببعض البرامج المساعدة؛ حيث تم الربط بين تراكيز العناصر والنسب المولية لتواجدها في الأكاسيد [12]. ويلخص الجدول [2.111] نتائج التحليل الكيميائي للعينات التي تمت دراستها باستخدام تقنية ED-XRF.

الجدول [2.111]: نتائج التحليل الكيميائي لعينات الرمل الأصلية باستخدام فلورة الأشعة السينية.

نسبة الأكاسيد (%)	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	PAF
عينة الطيبات (T <sub>1</sub> )	95.34	0.79	0.41	0.93	0.12	0.49	0.04	0.06	2.5
عينة تندلة (T <sub>2</sub> )	90.09	0.67	0.33	3.48	0.16	0.43	0.03	0.65	4.23

PAF: تعني كمية المواد العضوية المحترقة.

توضح النتائج الواردة في الجدول [2.111] أن الرمال المدروسة تتكون بشكل رئيسي من ثاني أكسيد السليكون (SiO<sub>2</sub>) والذي يمكن أن يكون معدن الكوارتز ، و أكسيد الكالسيوم (CaO) بتركيز اقل و دليل على وجود معدن الكالسييت في كلتا العينتين المدروستين. وقد أكدت أطياف FTIR و XRD هذه النتائج.

كانت تراكيز المكونات (SiO<sub>2</sub>) و (CaO) و (SO<sub>3</sub>) موجودة في العمود الأول والرابع والثامن في (الجدول [2.111]) فوجدنا التالي :

- كان تركيز معدن الكوارتز هو الأعلى من بين جميع المواد وهذا يعود لطبيعة مادة الرمال الغنية بهذه المادة ، حيث وصل تركيز هذا المعدن في عينة كتبان الطيبات إلى 95.34% وكذلك إلى 90.09% في عينة كتبان منطقة تندلة.
- لاحظنا وجود نسبة الكالسييت (CaO) في عينة رمال كتبان منطقة تندلة 3.84% وهي نسبة أعلى من تلك الموجودة في نظيرتها عينة رمال كتبان منطقة الطيبات حيث قدرت نسبة الكالسييت فيها ب 0.93% .
- تحتوي العينات الرملية من كتبان منطقة تندلة على نسبة ملحوظة من ثلاثي أكسيد الكبريت (SO<sub>3</sub>) تصل إلى 0.65%، بينما تبلغ هذه النسبة في رمل كتبان الطيبات 0.06% وهو مايفسر الوجود الشبه المنعدم لمعدن الكبريت (S) في هذه العينة.

وتتميز عينة رمل كتبان منطقة الطيبات بتراكيز قليلة من أكسيد الألومنيوم (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) و أكسيد الحديد (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) والتي تصل إلى 0.79% و 0.41% على الترتيب؛ بينما بالنسبة للعينات الرملية من كتبان منطقة تندلة فإن تراكيز هذه الأكاسيد أقل من العينة السابقة فقدرت ب 0.67% و 0.33% على التوالي.

تحتوي جميع عينات الرمال التي تمت دراستها على تراكيز منخفضة جداً من أكسيد المغنيسيوم (MgO) وأكسيد الصوديوم (Na<sub>2</sub>O) وأكسيد البوتاسيوم (K<sub>2</sub>O)؛ تصل إلى: (MgO / 0.12%)، (Na<sub>2</sub>O / 0.04%) و (K<sub>2</sub>O / 0.49%) لرمل كثبان منطقة الطيبات؛ و (MgO / 0.16%) و (Na<sub>2</sub>O / 0.03%) و (K<sub>2</sub>O / 0.43%) لرمال كثبان منطقة تندلة.

يثبت التركيز العالي للأكسيد السيليسيوم في عيني الرمال أصلهما السيليسي ويعكس الطابع الغني بالكوارتز للرمال المدروسة. ومع ذلك، تشير التركيزات المنخفضة جداً للأكاسيد الأخرى في عينة رمل كثبان الطيبات إلى درجة نقاء أعلى للكوارتز في هذه العينة. كذلك العمود الأخير (PAF) يدل على وجود المواد العضوية والتي تكون في رمل كثبان تندلة أكثر من رمل كثبان الطيبات بالإضافة إلى الماء الموجود أصلاً في الرمال.

يمكن تحويل تراكيز الأكاسيد الموضحة في الجدول [2.III] إلى تراكيز عناصرها بناءً على الكتل المولية للأكاسيد يمكن حساب نسبتها.

فعند حساب نسبة السيليسيوم، تتبع الخطوات التالية:

$$M_{SiO_2} = M_{Si} + 2M_O = 28.0855 + (2 \times 15.9994) = 60.0843 \text{ g / mol} \quad (1. III)$$

ثم نقوم بإيجاد النسبة المئوية المحسوبة لسيليسيوم:

$$P_{Si(cal)} = \frac{M_{Si}}{M_{SiO_2}} = \frac{28.0855}{60.0843} = 46.74\% \quad (2. III)$$

وتصبح النسبة المئوية التجريبية للسيليكون:

$$P_{Si} = P_{SiO_2 (exp)} \times P_{Si (cal)} \quad (3. III)$$

ويُلخص الجدول [3. III] نتائج حساب تراكيز العناصر المختلفة في العينات المدروسة والتي كانت محسوبة بنفس طريقة حساب أكسيد السيليسيوم.

الجدول [3.111]: نتائج حساب تراكيز العناصر المختلفة في عينات الرمال المدروسة.

العناصر (%)	العينات	
	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>
Si	44.52	42.07
Al	0.21	0.18
Fe	0.14	0.12
Ca	0.66	2.49
Mg	0.07	0.10
K	0.20	0.18
Na	0.02	0.01
S	0.02	0.26

يوضح الجدول [3.111] بجلاء أن عينات رمل الكثبان لمنطقة الطيبات تتميز بإرتفاع تركيز السيليوم (Si) بنسبة تصل إلى 44.52%، مقارنة بعينات الرمال المأخوذة من كثبان منطقة تندلة التي لا تتجاوز نسبة السيليوم 42.07%، كما لوحظ أيضا إرتفاع ملحوظ لنسبة تركيز عنصر الكالسيوم (Ca) في عينة منطقة تندلة حيث وصل إلى 2.49% مقارنة بنظيرتها في عينة رمال كثبان الطيبات التي وصلت إلى 0.66%.

كخلاصة، كلتا التقنيتين (XRD) و (XRF) اوضحتا إحتواء العينات المدروسة على الكوارتز (SiO<sub>2</sub>)، الكالسيوم (CaCO<sub>3</sub>) بنسب معتبرة مع وجود نسبة متفاوتة من الشوائب و الاكاسيد الاخرى.

من خلال مقارنة نتائج التركيبات الكيميائية التي تم الحصول عليها بواسطة قياسات XRF مع النتائج التي توصل إليها دراسة سابقة [4]، يتبين أن عينة الوادي تحتوي على تركيز عالٍ من السليكا (97.63%) وتركيز منخفض من أكسيد الكالسيوم (0.56%)، بالإضافة إلى نسب منخفضة جداً من أكسيد الألومنيوم وأكسيد الحديد. كما لوحظت كميات صغيرة من (MgO) (0.61%) و (Na<sub>2</sub>O) (0.54%) علاوة على ذلك، تحتوي رمال الوادي على كميات ضئيلة من العناصر

الأخرى مثل البروم (Br)، الجرمانيوم (Ge)، البزموت (Bi)، النيوبيوم (Nb)، السترونتيوم (Sr)، الزنك (Zn)، الباريوم (Ba)، والكلور (Cl) الجدول [4.111] يبين نتائج هذه المقارنة.

**الجدول [4.111]:** مقارنة بين نتائج عينات الرمل المدروسة وعينات رمل كثبان الوادي.

انواع الأكاسيد	نتائج عينات دراستنا (%)		نتائج رمل منطقة الوادي [4] (%)
	(T1)	(T2)	
SiO <sub>2</sub>	95.34	90.09	97.63
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.79	0.67	0.327
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.41	0.33	0.042
CaO	0.93	3.48	0.564
MgO	0.12	0.16	0.613
K <sub>2</sub> O	0.49	0.43	0.0677
Na <sub>2</sub> O	0.04	0.03	0.542
SO <sub>3</sub>	0.06	0.65	0.037

تؤكد هذه النتائج أن الكثبان الرملية في الوادي تتكون بشكل أساسي من الكوارتز مع نسبة ضعيفة من الكالسيوم وكميات صغيرة جداً من (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) و (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) و (Na<sub>2</sub>O) و (SO<sub>3</sub>) و (MgO). بالإضافة إلى وجود كاتيونات (Mg) و (Ca) و (K). إن نتائجنا تتوافق مع نتائج عمل أقيم على رمل مدينة الوادي [5 ; 4] من حيث مكونات الأكاسيد، لكن الاختلاف يكمن في التراكيز. كما تجدر الإشارة إلى أن البروم (Br) والجرمانيوم (Ge) والبزموت (Bi) والنيوبيوم (Nb) والسترونتيوم (Sr) والزنك (Zn) والباريوم (Ba) لم تظهر في عيناتنا.

### 2.2.1.1. الخواص الجيوكيميائية لرمال الكثبان المدروسة:

بناءً على نتائج تحليل مطيافية التحليل بالفلورة الأشعة السينية (XRF)، تم تحديد التحليل الجيوكيميائي لعينات المنطقتين وتلخيصهما في الجدول [5.111] عن طريق حساب بعض المؤشرات باستخدام نسبة الأكاسيد المتحصل عليها في تحليل (XRF). يمكن أن تكشف دراسة الجيوكيميائية لعينات الرمال هذه عن معلومات عن منشئها.

#### أ) دليل النضج (الإكتمال) الكيميائي [5]:

نعرف دليل النضج (الإكتمال) الكيميائي (CMI) هو مقياس يستخدم في علم الجيوكيميائية لتقييم النضج الحراري للمادة العضوية داخل الصخور الرسوبية، و يساعد هذا المؤشر في تحديد مدى تعرض المادة العضوية للحرارة والضغط على مدار الزمن الجيولوجي، مما يؤثر بدوره على القدرة على توليد الهيدروكربونات، رياضياً هو النسبة بين الكوارتز ( $SiO_2$ ) و أكسيد الألمنيوم الثلاثي ( $Al_2O_3$ ).

$$CMI = \frac{SiO_2}{Al_2O_3} \quad (4.111)$$

#### ب) دليل التحول (التبدل) الكيميائي [5]:

تم حساب دليل التحول (التبدل) الكيميائي (CIA) و هو مقياس يستخدم في علم الجيوكيميائية لتقييم درجة تغير الصخور، والتي تشير إلى مدى تعرض الصخور للتفاعلات الكيميائية التي تؤدي إلى تكسيدها وتحللها بمرور الوقت. يعتبر هذا المؤشر مهماً في دراسة تغيرات المناخ والجيولوجيا للأراضي؛ ويعرف بـ:

$$CIA = \frac{Al_2O_3}{Al_2O_3 + Na_2O + CaO + K_2O} \times 100 \quad (5.111)$$

ث) الدليل الكيميائي للتجوية [5]:

التجوية هي عملية طبيعية تؤدي إلى تفتت وتفكك الصخور والمعادن على سطح الأرض أو بالقرب منها نتيجة التعرض للعوامل الجوية مثل الماء، الهواء، الكائنات الحية، والتغيرات الحرارية. تحدث التجوية على مدار الزمن الجيولوجي وتساهم في تكوين التربة وتحويل الصخور الصلبة إلى مواد أكثر نعومة وقابلة للنقل بواسطة الرياح أو المياه .

قمنا بحساب الدليل الكيميائي للتجوية (CIW) وهو مقياس يستخدم في الجيوكيمياء لتقييم درجة تجوية الصخور، والتي تشير إلى مدى تعرض الصخور للتفاعلات الكيميائية التي تؤدي إلى تكسيرها وتحللها بمرور الوقت. يتم حساب هذا المؤشر بناءً على نسب معينة من العناصر الكيميائية في الصخور، ويعكس التغيرات التي تطرأ على تركيب الصخور نتيجة للتجوية [5].

ويعرف على أنه:

$$CIW = \frac{Al_2O_3}{Al_2O_3 + CaO + Na_2O} \times 100 \quad (6.111)$$

تُستخدم هذه الدلائل على نطاق واسع كمؤشرات لتحديد درجة ومدة تأثير العوامل الجوية في الرواسب. وفقاً للجدول [5.111]، فإن دليل النضج الكيميائي (CMI) لرمل كثران الطيبات بلغ حوالي 121 وبلغ 134 لعينات رمل كثران تندلة، مما يشير إلى الإكتمال الكيميائي العالي للعينات التي تم فحصها.

علاوة على ذلك، بناءً على التباين الثنائي لـ (SiO<sub>2</sub>) بالنسبة لـ Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+K<sub>2</sub>O+Na<sub>2</sub>O، تطورت عينات الرمل المدروسة في ظل ظروف شبه رطبة، بالإضافة إلى ذلك تشتمل عينات رملنا على Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+MgO<0.8% و Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/SiO<sub>2</sub><0.3 [13].

علاوة على ذلك، تشير نسب المعاملات CAI و CIW لعينات الرمل المدروسة إلى درجة منخفضة من التجوية الكيميائية والظروف البيئية [14].

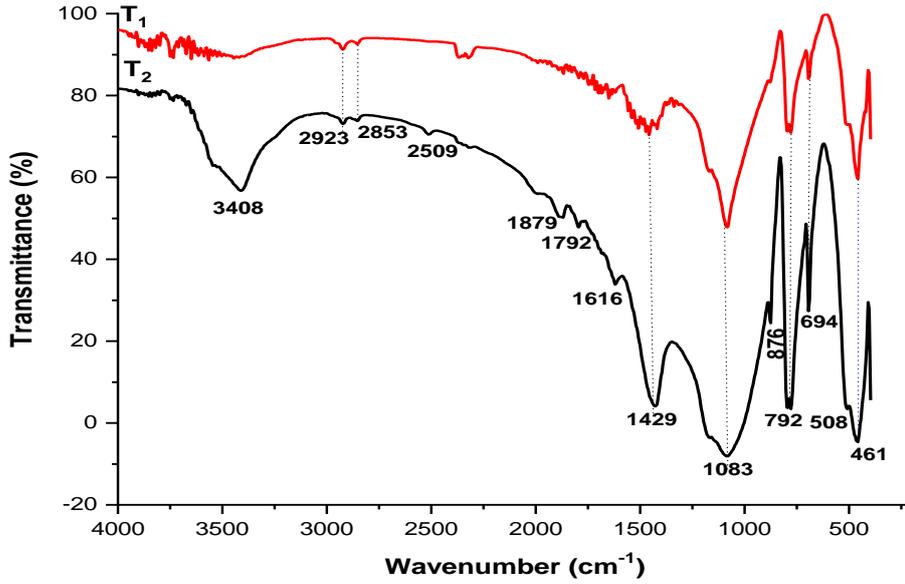
الجدول [5.111]: نتائج الكيمياء الجيولوجية لعينة رمل كثبان منطقة الطيبات وتندلة.

العينة	$CMI=(SiO_2/Al_2O_3)$	$Fe_2O_3 + MgO$ (%)	$Al_2O_3/SiO_2$	$Al_2O_3 + Na_2O + K_2O$ (%)	CIA	CIW
عينة رمال الطيبات	120.68	0.53	0.0083	1.32	35.11	44.89
عينة رمال تندلة	134.46	0.49	0.0074	1.13	14.53	16.03

### 3.1.111. مناقشة نتائج تقنية مطيافية إمتصاص الأشعة تحت الحمراء (FTIR):

#### 111. 1.3.1. دراسة التركيب الجزيئي لأصناف رمل كثبان عينات منطقتي الطيبات وتندلة:

غالبًا ما تستخدم تقنية التحليل الطيفي للأشعة تحت الحمراء لتحديد الروابط الكيميائية ثم إستنتاج التركيب الجزيئي للمادة، لإجراء تحليل نوعي للمواد المدروسة، يكفي أن ننسب الأطوال الموجية الممتصة إلى المجموعات الوظيفية الموجودة في المادة الموافقة لها بإستخدام المراجع المتاحة. و يبين الشكل [2.111] طيف إمتصاص الأشعة تحت الحمراء لجميع العينات المأخوذة. تظهر مقارنة قمم الإمتصاص الموجودة في طيف عيناتنا مع أعمال أخرى، أن قمم الإمتصاص التي تم الحصول عليها تتفق جيداً مع النتائج التي تم الحصول عليها في الأعمال السابقة [7، 8، 15-19]. حيث تشير إلى أن معظم النطاقات تنسب إلى مادة الكوارتز ( $SiO_2$ )، والكالسيت ( $CaCO_3$ ) وهذا يتوافق مع نتائج تحليل الأشعة السينية XRD. هناك أيضاً نطاقات إمتصاص أخرى مرتبطة بالمياه والشوائب العضوية [20]. يلخص الجدول [6.111] أشرطة الإمتصاص والروابط الرئيسية لعيناتنا.



الشكل [2.111]: طيف إمتصاص الأشعة تحت الحمراء للعينتين المدروستين.

إن توزيعات أشربة الإمتصاص لنوعي الرمل متشابهة نسبياً، في حين أن أشد قمم الإمتصاص يمكن العثور عليها عند

$$.1429,1083,792,461 \text{ Cm}^{-1}$$

تتوافق ذروة الإمتصاص عند  $3408 \text{ Cm}^{-1}$  التي لوحظت في رمل كثبان تندلة مع شريط التمدد القوي لرابطة OH.

كما تتوافق قمة الإمتصاص المحدد عند  $1616 \text{ Cm}^{-1}$  مع وضع الإنحناء الضعيف للرابطة OH للماء، والذي

يمكن أن يكون متصلاً بسطح السليكا [21] في عينة رمال كثبان منطقة تندلة. على عكس عينة رمل منطقة الطيبات التي

كانت موجودة فيها قمة الإمتصاص هذه لكنها مهمة.

كما ان القمم الرئيسية في كلتا العينتين عند  $876 \text{ 1083 1879 Cm}^{-1}$  يؤكد وجود إهتزاز الإنحناء والتمدد المتماثل

لرابطة Si-O-Si على الترتيب.

قمة الإمتصاص التي لوحظت في رمال كثبان تندلة عند  $1879 \text{ Cm}^{-1}$  ؛ بينما كانت موجودة في رمال كثبان الطيبات

لكنها مهمة، بينما قيمتي الإمتصاص  $876, 1083 \text{ Cm}^{-1}$  تكون مشتركة بين العينتين.

مع ذلك يظهر شريط الإمتصاص  $461\text{Cm}^{-1}$  في كل من كتبان منطقة تندلة ومنطقة الطيبات والذي يشير إلى إهتزاز الإنحناء الغير المتماثل لرابطة  $\text{Si-O-Si}$  [22].

يقدم شريط الإمتصاص المشترك في عينة رمل الطيبات وتندلة عند  $694,777, 793\text{Cm}^{-1}$  إنحناء وتمدد متناظرين لرابطة  $\text{Si-O}$  على التوالي. حيث أن شريط إمتصاص الأشعة تحت الحمراء عند  $508\text{Cm}^{-1}$  يشير إلى إهتزاز إنحناء الغير المتماثل لرابطة  $\text{Si-O-Al}$ . تؤكد قمم الإمتصاص المميزة هذه وجود الكوارتز كمكون رئيسي في عينات رمل كتبان الطيبات وتندلة المدروستين.

كما تشير قمم الإمتصاص المزدوج عند  $777, 792\text{Cm}^{-1}$  إلى وجود الرابطة  $\text{Si-O}$  التي تدل على معدن الكوارتز في الطور  $\alpha$  في كل من عينة الطيبات وتندلة [23].

كما أظهر طيف الأشعة تحت الحمراء لعينة رمل كتبان تندلة والطيبات عند  $1792,2509\text{Cm}^{-1}$  والتي يمكن أن تنسب إلى إنحناء المستوى  $(\text{CO}_3)^{-2}$  ووضع تركيبة التمدد المتماثل ل  $\text{CaCO}_3$ .

علاوة على ذلك فإن ذروة الإمتصاص التي لوحظت عند  $1429\text{Cm}^{-1}$  في كل من العينتين يمكن أن تتوافق مع إهتزازات التمدد المتماثلة والغير المتماثلة ل  $(\text{CO}_3)^{-2}$  في معدن الكالسيت.

كانت قمم الإمتصاص الموجودة عند  $2853, 2923\text{Cm}^{-1}$  مرتبطة بإهتزاز تمدد الرابطة  $\text{C-H}$  والذي قد يتوافق مع المادة العضوية الموجودة في كلتا عيني الرمل.

ولذلك يوضح طيف إمتصاص الأشعة تحت الحمراء أن عينات رمل كتبان منطقتي الطيبات وتندلة تتكون بشكل رئيسي من ألفا كوارتز ( $\text{SiO}_2$ ) و محتوى أقل من معدن الكالسيت ( $\text{CaCO}_3$ ).

الجدول [6.III]: مضامين أطراف الإمتصاص السابقة للعينتين المدروستين.

القيمة	الرابطة الجزيئية	المركب	العينة	
			T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>
461	Si-O-Si asymmetrical bending vibration	كوارتز	x	x
508	Si-O-Al asymmetrical bending vibration	كوارتز	xx	x
694	Si-O symmetrical bending	كوارتز	x	x
777	Si - O symmetrical stretching	كوارتز	xx	x
793	Si - O symmetrical stretching	كوارتز	xx	x
876	Si-O-Si symmetrical bending	كوارتز	xx	x
1083	Si - O-Si symmetrical stretching	كوارتز	x	x
1429	(CO <sub>3</sub> ) <sup>-2</sup> asymmetrical and symmetrical stretching	كالسيت	xx	x
1616	H-OH bending	ماء	x	xx
1792	(CO <sub>3</sub> ) <sup>-2</sup> plane bending and symmetrical stretching combination mode	كالسيت	x	xx
1879	Si-O-Si Stretching vibration	كوارتز	x	xx
2509	(CO <sub>3</sub> ) <sup>-2</sup> asymmetrical and symmetrical stretching vibration	كالسيت	x	xx
2853	C-H stretching vibration	كربون عضوي	xx	xx
2923	C-H stretching vibration	كربون	xx	xx

		عضوي		
3408	H-O-H stretching vibration	ماء	x	xx

### 2.3.1. III دليل تبلور الكوارتز:

التبلور هو العملية التي تشكل بلورات المادة. تبلور المواد يعتمد على عدة أسباب، فالتبريد السريع جدا سبب مهم في تكون الزجاج البركاني، في حين يؤدي التبريد البطيء إلى نمو البلورات وتكونها. بينما اللزوجة العالية للصخور النارية السائلة الغنية بالسليكا تعزل تحرك الأيونات إلى مواقع التبلور، وبهذا توقف من نمو وتكون البلورات.

نحدد التبلور في العادة من خلال دليل التبلور. نعرف دليل تبلور الكوارتز هو مقياس يستخدم في علم المواد والجيوكيمياء لتقييم درجة تبلور معدن الكوارتز في الصخور والمعادن. يعكس هذا المؤشر مدى إنتظام وترتيب الشبكة البلورية للكوارتز، وهو عامل مهم لفهم الخصائص الفيزيائية والكيميائية للمواد التي تحتوي على الكوارتز [24]. كما يمكن تعريفه على أنه عبارة عن النسبة بين كمية المواد المتبلورة والكمية الكلية للمادة ( المتبلورة والغير المتبلورة ) [19]. لقد قمنا أيضا بحسابه من خلال اطياف التحصل عليها للاشعة تحت الحمراء في العينات المدروسة باتباع المعادلة (6. III) .

يمكن إستنتاج دليل تبلور الكوارتز بحساب النسبة بين شديتي الإمتصاص عند  $795 \text{ Cm}^{-1}$  و  $779$ :

$$CIQ = \frac{A_{795}}{A_{779}} \quad (7. III)$$

حيث  $A_{\alpha}$  هو الإمتصاص عند العدد الموجي  $\alpha$ ، وهذا يتحدد بالمعادلة التالية (8. III):

$$A_{\alpha} = \log \frac{T_{0\alpha}}{T_{\alpha}} \quad (8. III)$$

حيث  $T_{0\alpha}$ : هي قيمة النفاذية عند خط الأساس.

$T_{\alpha}$ : هي قيمة النفاذية عند قمة الإمتصاص.

و قمنا بتحديد درجة تبلور الكوارتز (CIQ) حيث كانت النتيجة 0.65 لعينة رمل كثبان منطقة الطيبات و0.85

لعينة رمل كثبان منطقة تندلة و الجدول [7.111] يوضح النتائج المتحصل عليها.

**الجدول [7.111]:** قيم دليل تبلور الكوارتز لكل من عينتي الدراسة .

درجة التبلور	779 Cm <sup>-1</sup>			795 Cm <sup>-1</sup>			قمم الإمتصاص
	Log <sub>10</sub> (T <sub>0α</sub> /T <sub>α</sub> )	T <sub>0α</sub>	T <sub>α</sub>	Log <sub>10</sub> (T <sub>0α</sub> /T <sub>α</sub> )	T <sub>0α</sub>	T <sub>α</sub>	العينات
0.65	0.14	74.80	53.88	0.06	73.28	62.82	منطقة الطيبات
0.85	0.73	68.15	12.48	0.68	66.933	13.74	منطقة تندلة

نظرًا لأن مؤشر التبلور يرتبط عكسيًا ببلورة المادة [1]، فإن النسبة المحسوبة تشير إلى أن الكوارتز الرملي لعينة كثبان

الطيبات لديه تبلور أعلى من الكوارتز الرملي لعينة كثبان تندلة.

### 4.1.111. مناقشة نتائج تحليل المجهر الإلكتروني الماسح (MEB) التحليل الطيفي

#### للأشعة السينية المشتتة لطاقة (EDX):

يعد شكل حبيبات الرمل خاصية فيزيائية مهمة جدًا في تقييم الرمل للإستخدامات المختلفة في المجال الصناعي مثل

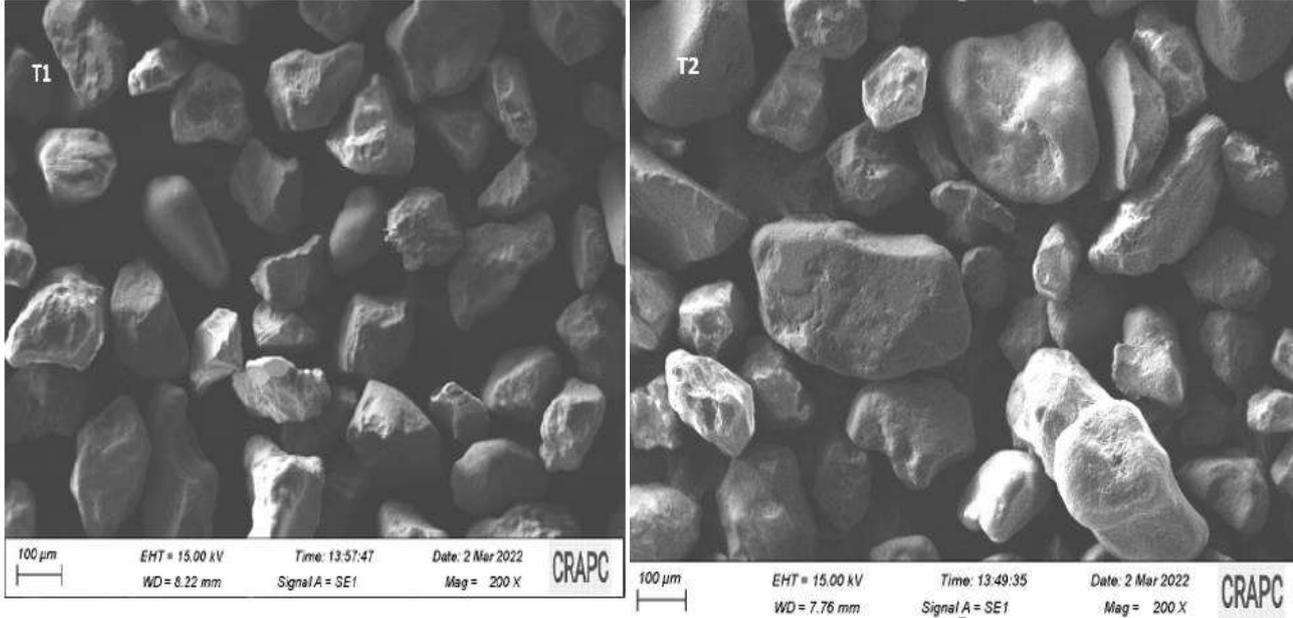
صناعة الزجاج [25]. لذلك، إتمدنا المجهر الإلكتروني الماسح (MEB) والتحليل الطيفي المشتت للطاقة (EDX) لدراسة

الأشكال المختلفة على أسطح الحبوب للعينات. وتعتبر مورفولوجية المواد الحبيبية مثل الرمال، مهمة لأن شكل الحبيبات يؤثر على

خواصها الفيزيائية والميكانيكية والهيدروليكية.

### 1.4.1.1. نتائج تحليل صور المجهر الإلكتروني الماسح (MEB):

يمثل الشكل [3.111] الشكل السطحي لحبيبات رمال العينات التي تمت دراستها .



**الشكل [3.111]:** صورة لأسطح حبيبات عينة رمال كثبان منطقة الطيبات ومنطقة تندلة.

يبدو أن عينات الرمال المأخوذة من رمال كثبان منطقة تندلة تتكون من حبيبات زاوية (زاوية جداً، وزاوية وشبه زاوية) وحبيبات رملية غير منتظمة (الشكل [3.111]) وممدودة ومسطحة وزاوية وشبه زاوية، في حين يظهر الرمل المستخرج من منطقة الطيبات أيضاً على شكل بعض الحبيبات المستديرة الملساء، يمكن أن تحدث هذه الميزة بسبب نقل المياه لمسافات طويلة، مما يسمح بمزيد من التفاعلات والإصطدامات بين الحبيبات، وهذا يؤدي إلى تآكل أعلى وأسطح أكثر سلاسة [26]. و تتراوح أشكاله بين: زاوية (زاوية جداً، زاوية وشبه زاوية)، غير منتظمة (الشكل [3.111]).

يؤدي التدحرج المستمر أثناء النقل إلى تقليل الحواف الحادة، علاوة على ذلك فإن حبيبات رمل تندلة أكبر من حبيبات رمال الطيبات.

تظهر نتائج MEB أشكالاً مستديرة وغير منتظمة وزاوية وممدودة لحبوب العينات التي تمت دراستها، و اعتماداً على المرجع

[27] فان:

- يعتمد شكل الحبوب على عملية النقل والشكل الحبيبي الأصلي للصخر.
- يشير الشكل المستدير لحبيبات الرمل إلى طريق نقل طويل (طول مسافة النقل).

- يشير الشكل الزاوي إلى أن حبيبات الرمل قد ترسبت بالقرب من منطقتها الأصلية.

### 2.4.1.1.iii. التحليل الطيفي للأشعة السينية المشتتة لطاقة (EDX):

الجدول [8.iii]: نتائج التحليل الطيفي للأشعة السينية المشتتة للطاقة لعينة رمال كئبان الطيبات وتندلة.

العنصر	النسبة الكتلية لعينة الطيبات (%)	النسبة الكتلية لعينة تندلة (%)
C O <sub>K</sub>	15.17	14.66
O O <sub>K</sub>	49.03	49.08
Mg O <sub>K</sub>	0.82	1.16
Br O <sub>K</sub>	2.59	/
Al O <sub>K</sub>	0.82	3.71
Si O <sub>K</sub>	25.67	24.29
K O <sub>K</sub>	0.83	1.13
Ca O <sub>K</sub>	1.99	2.15
Fe O <sub>K</sub>	2.54	2.94
Co O <sub>K</sub>	0.53	0.88

أتاحت تقنية التحليل الطيفي للأشعة السينية المشتتة للطاقة للرمال التي تمت دراستها، إجراء التحليلات الكيميائية

وتحديد التركيب الكيميائي المعدني لسطح العينات. الجدول [8.iii] يعرض التركيب العنصري (النسبة الكتلية للعناصر الكيميائية

الموجودة فيها) على سطح الرمال التي تمت دراستها وكذلك تركيز كل عنصر في كل عينة.

تظهر النتائج الموضحة أن تركيز السليسيوم (Si) في رمال الكئبان بمنطقة الطيبات أعلى منه في عينات رمال الكئبان

الرملية لمنطقة تندلة. وهذا يؤكد النتائج التي تم الحصول عليها باستخدام حيود الأشعة السينية حيث أن محتوى الكوارتز (SiO<sub>2</sub>)

في رمال هذه المنطقة هو الأعلى.

ويبين الجدول أيضا التراكيز الكتلية للعناصر الكيميائية المكونة لرمال كلتا من كتبان منطقة الطيبات وتندلة، حيث نلاحظ أن تركيز السليسيوم (Si) في عينات رمال الطيبات أعلى من تلك الموجودة في رمال الكتبان في منطقة تندلة. تركيز (Si) هو % 25.67 و % 24.29 لعينات رمل كتبان منطقة الطيبات، ومنطقة تندلة على التوالي. بينما كان تركيز الأكسجين (O) كانا بالتقريب متساويستان. تم تأكيد هذه النسب بنتائج XRD و XRF وبالفعل أظهرت نتائج XRD أن تركيز الكوارتز (SiO<sub>2</sub>) في رمال كتبان منطقة الطيبات أعلى من تركيز عينات الرمل المأخوذة من كتبان منطقة تندلة. وهي % 95 و % 90 على الترتيب. من ناحية أخرى، لوحظت تراكيز صغيرة من الكالسيوم، المغنيسيوم، البوتاسيوم والحديد في عينات الرمل المدروسة.

ويكاد يكون تركيز الكالسيوم (Ca) متماثلا في جميع العينات الرملية، وهو % 1.99 في رمال كتبان منطقة الطيبات، و % 2.15 في رمال كتبان منطقة تندلة. وبلغ تركيز المغنيسيوم (Mg) نسبة % 0.82 و % 1.16 في عينات الرمال من كتبان منطقة الطيبات ومنطقة تندلة على التوالي. وتكون نسبة تركيز الحديد (Fe) % 2.54 بمنطقة الطيبات و % 2.94 بمنطقة تندلة. تركيز البوتاسيوم (K) منخفض جدا، حيث بلغ % 0.83 و % 1.13 في عينات رمال الطيبات ورمال الكتبان بمنطقة تندلة على التوالي. نتائج EDX متوافقة بشكل جيد مع نتائج XRD و XRF.

تضمن مخططات الحيود XRD التي تم الحصول عليها أن عينات الرمل تتكون بشكل رئيسي من الكوارتز (SiO<sub>2</sub>)، والكالسيت (CaCO<sub>3</sub>) علاوة على ذلك، أظهرت أطيف FTIR أن معظم نطاقات الإمتصاص تنسب إلى الكوارتز والكالسيت. هناك أيضًا نطاقات إمتصاص الماء والكربون العضوي. كما تتفق نتائج XRF مع التقنيتين السابقتين من خلال إظهار أن العينات المدروسة مكونة من أكاسيد مثل أكسيد السليسيوم (SiO<sub>2</sub>) وأكسيد الألومنيوم (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) وأكسيد الحديد (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) وأكسيد الكالسيوم (CaO) و أكسيد المغنيسيوم (MgO) وأكسيد البوتاسيوم (K<sub>2</sub>O) وأكسيد الصوديوم (Na<sub>2</sub>O) وأكسيد الكبريت (SO<sub>3</sub>).

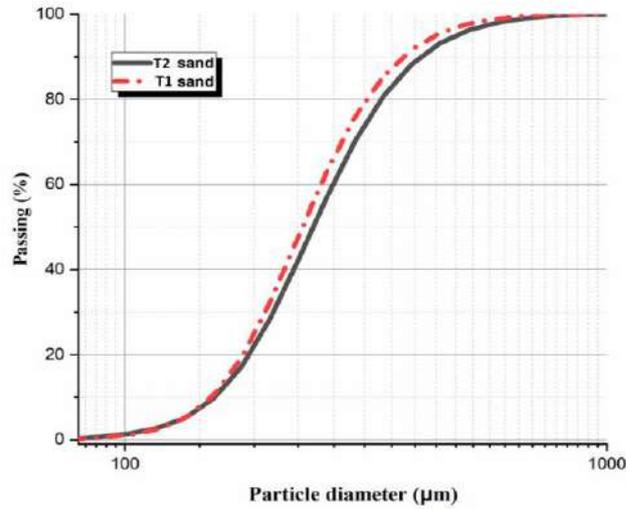
وبمقارنة نتائج EDX التي تم الحصول عليها مع نتائج دراسة أجريت على رمال كتبان ورقلة [28] والموضحة في الجدول [9.III] نلاحظ أن الرمال الناتجة عن كتبان منطقة ورقلة تظهر تركيزا عاليا لعنصري السليسيوم (Si) والأكسجين (O) تركيز الكالسيوم % 23.20 والكبريت (S) % 1.97 والحديد (Fe) وجدت بنسبة % 2.05. حيث أظهرت نتائج وجود تركيز عالي لعنصري السليسيوم (Si) والأكسجين (O) في جميع عينات دراستنا. كما تشير التحليل إلى وجود عناصر أخرى مثل

الكالسيوم (Ca) والكبريت (S) والحديد (Fe) والمغنيسيوم (Mg) والبوتاسيوم (K). فوجود هذه العناصر في هذه المناطق يمكن أن يشكل مصادر طبيعية لإستغلالها في التطبيقات الصناعية المختلفة.

**الجدول [9.iii]:** نتائج التحليل الطيفي لعينتي رمال الكنثان المدروسة وعينة رمال كنثان ورقلة.

النسبة الكتلية للعناصر (%)	العينات المدروسة		عينة رمال كنثان ورقلة [28]
	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	
O O <sub>K</sub>	49.03	49.08	52.32
Si O <sub>K</sub>	25.67	24.29	43.54
S O <sub>K</sub>	/	/	0.12
Ca O <sub>K</sub>	1.99	2.15	1.97
Fe O <sub>K</sub>	2.54	2.94	2.05

### 5.1.iii مناقشة نتائج توزيع حجم الحبيبات بحيود الليزر:



**الشكل [4.iii]:** مقارنة منحنيات توزيع حجم الحبيبات للعينات المدروسة.

يمكن أن يكشف توزيع حجم الجسيمات عن تفاصيل حول عمليات النقل والفرز والترسيب للرمال المستخرج [29].

يعرض الشكل [4.iii] توزيع حجم الحبيبات لعينات رمال كنثان كل من منطقتي الطيبات وتندلة، حيث بلغ متوسط حجم

الحبيبات (Mz) لرمال كتبان الطيبات وتندلة  $284 \mu\text{m}$  و  $267 \mu\text{m}$  على التوالي، مما يشير إلى أن الرمال كانت متوسطة الدرجة الرملية.

الانحراف المعياري (Standard Deviation) هو مقياس إحصائي يُستخدم لقياس مدى تشتت أو تباعد البيانات عن المتوسط الحسابي. يعبر عن مدى قرب أو بعد القيم الفردية في مجموعة البيانات من المتوسط، ويُعطى بوحدة نفس وحدة البيانات [30].

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \mu)^2} \quad (9.iii)$$

N: هو عدد البيانات.

$x_i$ : هو القيمة الفردية.

$\mu$ : هو المتوسط الحسابي للمجموعة.

كان الفرز ( $\delta I$ ) (الانحراف المعياري) لعينات رمال كتبان الطيبات و تندلة هو  $1.473 \mu\text{m}$  و  $1.432 \mu\text{m}$  على التوالي؛ مما يشير إلى أن الرمال متوسطة الى جيدة الفرز إلى حد ما. وبالتالي تعكس هذه النتائج ترتيبا جيدا لهذه الرمال في المسار التي تم تحليله [21].

الانحراف (Skewness) هو مقياس إحصائي لعدم التماثل في توزيع البيانات حول المتوسط. يُظهر مدى انحراف التوزيع عن التماثل الطبيعي، سواء باتجاه الذيل الأيمن (موجب) أو الذيل الأيسر (سالب) [31] حيث :

- إذا كان الانحراف = 0: التوزيع متماثل (مثل التوزيع الطبيعي).
- إذا كان الانحراف < 0: التوزيع موجب الانحراف (الذيل الأيمن أطول، القيم العالية تؤثر على المتوسط).
- إذا كان الانحراف > 0: التوزيع سالب الانحراف (الذيل الأيسر أطول، القيم المنخفضة تؤثر على المتوسط).

$$Skewness = \frac{E[(X - \mu)^3]}{\sigma^3} \quad (10.iii)$$

E: القيمة المتوقعة.

$\mu$ : هو المتوسط الحسابي للمجموعة.

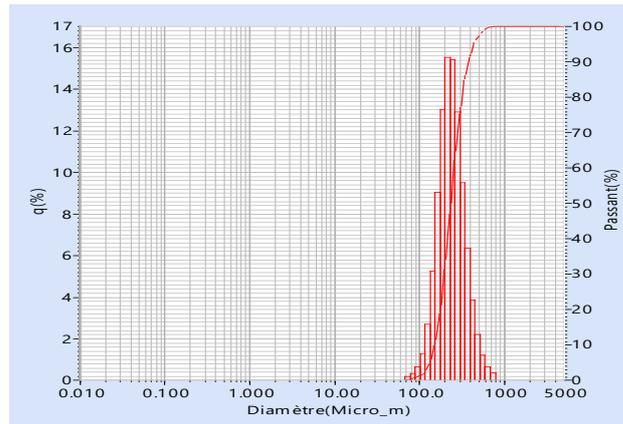
$\sigma$ : الانحراف المعياري.

حيث وجدنا هذا الأخير الإنحراف (الإنحناء) بقيمة قدرت بـ  $0.047 \mu\text{m}$  أي يمكن القول عنه أنه إنحراف إيجابي لعينات الرمال هذه الدراسة، مما يشير إلى أن توزيع الأحجام يميل بشكل ملحوظ نحو الأحجام الأصغر، مما يدل على أن الرمال تتمتع بتناظر قوي تجاه الأحجام الصغيرة وهو ما سنثبتته بإتباع التصنيف الأمريكي لوزارة الزراعة.

بعد تحليل النتائج التي تم الحصول عليها (الأشكال [5.111] [6.111]) نلاحظ أن توزيع حجم الجسيمات للرمل الذي تمت دراسته تراوح بين  $67.523 \mu\text{m}$  و  $890.116 \mu\text{m}$  حيث:

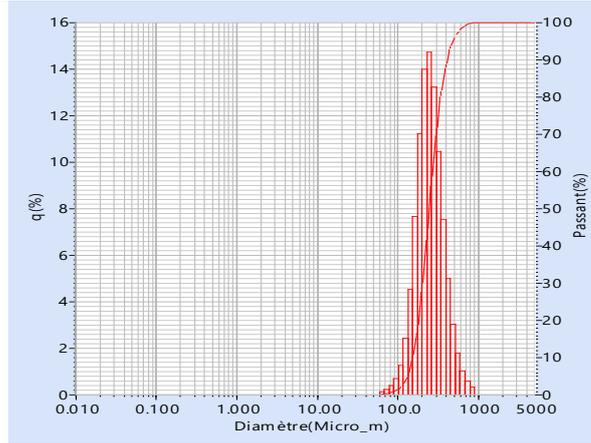
يمكننا تحليل كل منحنى تم الحصول عليه من توزيع حجم الجسيمات باستخدام حيود الليزر للرمل المدروسة على النحو التالي:

- المنحنى الأول عبارة عن رسم بياني يمثل النسبة المئوية كدالة لقطر حبيبات الرمل التي تمت دراستها.
- يمثل المنحنى الثاني النسبة المئوية للحبيبات التي تمر كدالة لقطرها.



**الشكل [5.111]:** نتائج تحليل حجم الحبيبات لرمل كتبان منطقة الطيبات  $T_1$ .

يتراوح حجم حبات الرمل في كتبان منطقة الطيبات من  $77.340 \mu\text{m}$  إلى  $777.141 \mu\text{m}$  بمتوسط حجم حبيبات يبلغ  $310.609 \mu\text{m}$  (الشكل [5.111]).



**الشكل [6.111]:** نتائج تحليل حجم الحبيبات لرمل كثنان منطقة تندلة T<sub>2</sub>.

يتراوح حجم حبات الرمل في كثنان منطقة تندلة من 67.523  $\mu\text{m}$  إلى 890.116  $\mu\text{m}$  بمتوسط حجم حبيبات يبلغ 301.570  $\mu\text{m}$  (الشكل [6.111]).

الجدول [11.111] يلخص نسبة حبيبات الرمل حسب قطرها ونسبة الحبيبات المارة من الجهاز لكل قطر. كما يوضح هذا الجدول مقارنة بين العينات المدروسة.

ومن خلال مقارنة نتائج التصنيف الحبيبي الذي تم الحصول عليه الشكل [5.111] والشكل [6.111] والتصنيفات العالمية للتربة، نستنتج أنه يمكن تصنيف عيناتنا على أساس أن بأكملها رمل حسب التصنيف وزارة الزراعة الأمريكية [2] بنسبة كلية (100%). يعرض الجدول [10.111] نتائج تصنيف حجم الجسيمات مع النسب المئوية حسب هذا التصنيف.

**الجدول [10.111]:** نتائج التصنيف الحجمي الحبيبي للرمال المدروسة مع نسبها حسب المراجع [32-34].

الأصناف المكونة للرمال حسب قطرها	القطر (الميكرو متر)	النسبة المئوية (%)	
		T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>
الطين	<2	-	-
الطمي	2-63	-	-
رمل	63-2000	100	100

الحصى	>2000	-	-
-------	-------	---	---

الجدول [11.111]: نتائج تحليل حجم الحبيبات لرمال الكثبان المدروسة.

رقم حبة الرمل المقاسة	T <sub>1</sub>			T <sub>2</sub>		
	q(%)	المارة (%)	القطر (μm)	q(%)	المارة (%)	القطر (μm)
1	-	-	-	0.116	0.116	67.523
2	0.163	0.163	77.340	0.207	0.323	77.340
3	0.318	0.481	88.583	0.378	0.701	88.583
4	0.636	1.117	101.460	0.693	1.394	101.460
5	1.275	2.391	116.210	1.264	2.658	116.210
6	2.662	5.053	133.103	2.425	5.084	133.103
7	5.235	10.288	152.453	4.517	9.601	152.453
8	9.007	19.295	174.616	7.635	17.236	174.616
9	12.964	32.259	200.000	11.203	28.439	200.000
10	15.494	47.753	229.075	13.977	42.415	229.075
11	15.377	63.130	262.376	14.723	57.139	262.376
12	12.892	76.022	300.518	13.212	70.351	300.518
13	9.462	85.484	344.206	10.438	80.789	344.206
14	6.307	91.791	394.244	7.527	88.315	394.244
15	3.860	95.651	451.556	4.977	93.292	451.556
16	2.175	97.826	517.200	3.024	96.315	517.200
17	1.183	99.009	592.387	1.770	98.085	592.387
18	0.637	99.646	678.504	1.027	99.112	678.504

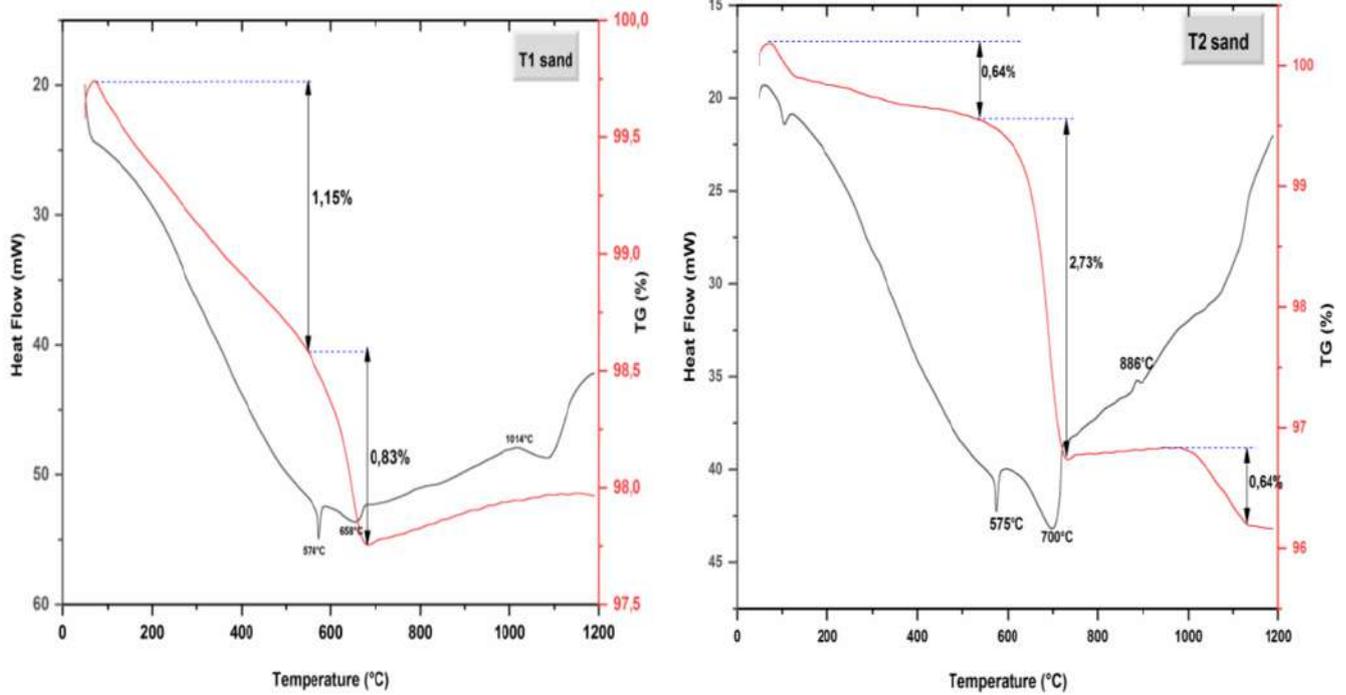
19	0.354	100.000	777.141	0.571	99.683	777.141
20	-	-	-	0.317	100.000	890.116

### 6.1.1. مناقشة نتائج التحليل الحراري (ATG/ATD):

يوضح الشكل [7.111] التحليل الحراري الكتلي والتفاضلي (ATG/ATD) لرمل كثنان الطيبات ورمل الكثنان

تندلة فيما يلي تفسير ومناقشة كل منهما على حدى.

### 1.6.1.1. التحليل الحراري الكتلي (ATG):



الشكل [7.111]: منحنيات التحليل الحراري (ATG/ATD) للعينات الأصلية.

يظهر مخطط التحليل الحراري الكتلي (TG) لعينة رمل كثنان منطقة الطيبات مرحلتين لفقدان الوزن : فقدان أول وزن

(حوالي 1.15%) بين 25 °C و 548 °C ، يليه خسارة ثانية للكتلة (حوالي 0.83%) من 548°C إلى 679°C، ولاحظنا أيضا زيادة في الكتلة بالنسبة لهذه العينة أيضا بين درجتي الحرارة 680°C و 1200°C تقدر بـ 0.5%.

بينما تظهر في مخطط التحليل الحراري الكتلي (TG) لعينة رمل كثنان تندلة ثلاث مراحل من فقدان الوزن: الأولى

(حوالي 0.64%) تحدث بين درجة حرارة الغرفة و 540°C، و الثانية (حوالي 2.73%) تحدث بين 540°C و 732°C

والأخيرة (حوالي 0.64%) تحدث بين 997°C و 1160°C وهكذا كان إجمالي فقدان الكتلة 1.98% لعينة الطيبات مقابل 4.01% لعينة رمل كئبان تندلة (الشكل [7.III]).

يعكس فقدان الكتلة المرئي بين درجة الحرارة المحيطة و 500°C التخلص من المياه المرتبطة فيزيائيا وكيميائيا [35]، بإضافة إلى ذلك قد تحدث أكسدة للمواد العضوية بين 200°C و 400°C [36].  
إرتبط فقدان الوزن الملحوظ بين 530°C و 740°C بقوة تركيز كربونات الكالسيوم [5] والتي تجاوزت 0.8% لعينة رمل الكئبان منطقة طيبات و 2.7% لعينة الكئبان منطقة تندلة.

### 2.6.1.III. التحليل الحراري التفاضلي (ATD):

يظهر طيف التحليل الحراري (ATD) لعينتي الرمل ثلاث قمم مشتركة ماصة للحرارة عند 105 و 574 و 700°C بإضافة إلى قمة طاردة للحرارة عند 886°C لرمل كئبان تندلة و 1014°C لرمل كئبان منطقة الطيبات.  
تنسب الذروه الماصة للحرارة عند 68.9°C إلى فقدان الماء الممتص على سطح الرمال، بينما تم تخصيص القمم الماصة للحرارة عند 572°C و 700°C لتحويلات:

من  $\alpha$ -quartz إلى  $\beta$ -quartz و من  $\beta$ -quartz إلى  $\beta$ -tridymite على التوالي [37].

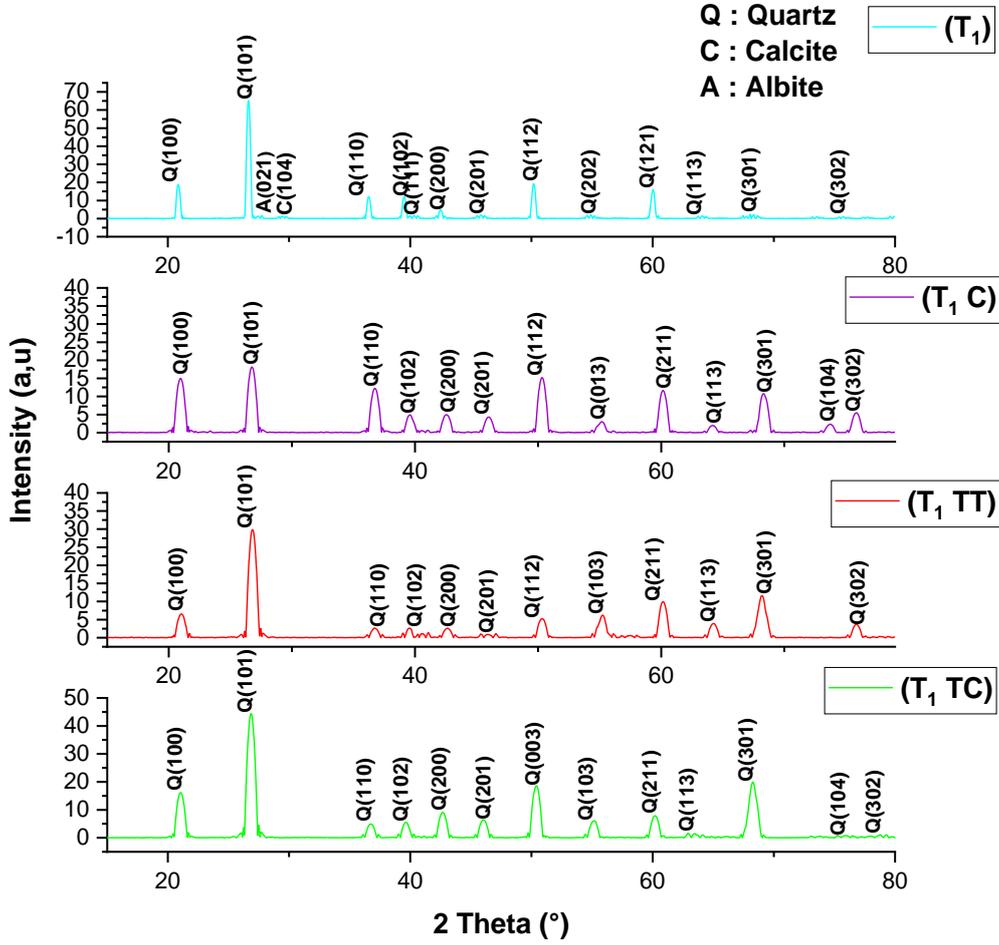
عند درجتى 886°C و 1014°C يمكننا أن نرى ذروة طاردة للحرارة ناتجة عن التبلور [38] يؤكد التحليل الحراري الوزني والتفاضلي نتائج الأشعة السينية و الأشعة تحت الحمراء ويثبت أن أكسيد الكالسيوم أكثر وفرة في رمل كئبان تندلة وبالتالي فإن أكسيد السيليسيوم في عينة الطيبات يتمتع بنقاء أعلى من عينة تندلة.

### 2.III. مناقشة نتائج عملية المعالجة الحرارية الكيميائية للرمال:

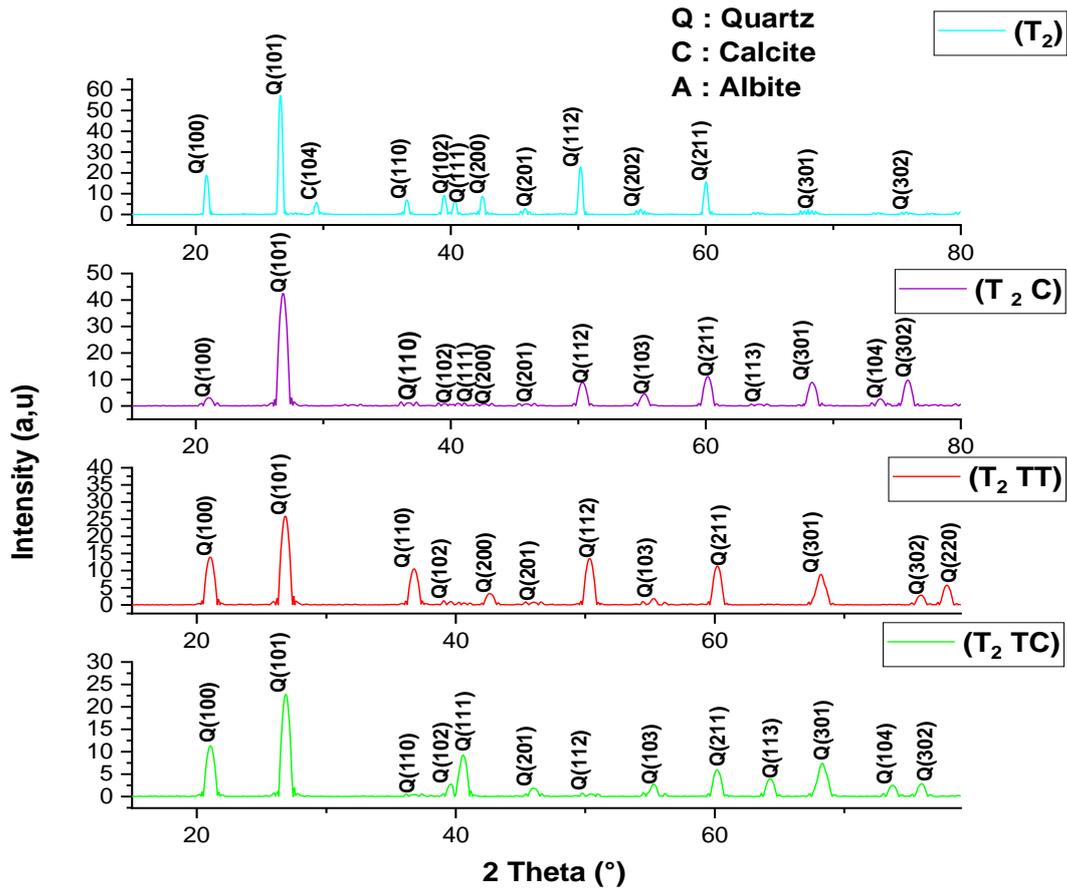
في هذا الجزء سنناقش نتائج التقنيات المستخدمة والتي كانت تقنية إنعراج الأشعة السينية، فلورة الأشعة السينية، أخيرا المجهر الإلكتروني الماسح أثناء وبعد عملية المعالجة من أجل معرفة الفروق وتأثيرات هذه العملية على الرمال.

1.2.III. مناقشة نتائج تقنية إنعراج الأشعة السينية (DRX):

1.1.2.III. التعرف على المكونات البلورية للرمال أثناء عملية التنقية:



الشكل [8.III]: مخططات انعراج الأشعة السينية لعينة رمال كثبان الطيبات في مختلف مراحل التنقية .



الشكل [9.111]: مخططات انعراج الأشعة السينية لعينة رمال كتبان تندلة في مختلف مراحل التنقية .

الجدول [12.111]: نتائج إنعراج الأشعة السينية لجميع مراحل عملية التنقية الحرارية الكيميائية لعينة رمال كتبان الطيبات.

العينة الأصلية			المعالجة الابتدائية C			المعالجة الحرارية TT			الحلقة الأولى من المعالجة TC		
2θ (°)	الاطوار البلورية	hkl	2θ (°)	الاطوار البلورية	hkl	2θ(°)	الاطوار البلورية	hkl	2θ(°)	الاطوار البلورية	hkl
20,86	كوارتز	100	20.94	كوارتز	100	21.02	كوارتز	100	21.19	كوارتز	100
26, 65	كوارتز	101	26.74	كوارتز	101	26.79	كوارتز	101	26.87	كوارتز	101
27,47	ألبيت	021	إختفاء	إختفاء	إختفاء	إختفاء	إختفاء	إختفاء	إختفاء	إختفاء	إختفاء
29,45	كالسيت	104									

36,57	كوارتز	110	36.75	كوارتز	110	36.70	كوارتز	110	36.72	كوارتز	110
39,49	كوارتز	102	39.58	كوارتز	102	39.58	كوارتز	102	39.66	كوارتز	102
40,31	كوارتز	111	موجود لكن مهمل			موجود لكن مهمل			موجود لكن مهمل		
42,51	كوارتز	200	42.57	كوارتز	200	42.65	كوارتز	200	42.68	كوارتز	200
45,85	كوارتز	201	46.00	كوارتز	201	46.00	كوارتز	201	46.06	كوارتز	201
50,18	كوارتز	112	50.32	كوارتز	112	50.32	كوارتز	112	50.40	كوارتز	003
54,90	كوارتز	202	55.18	كوارتز	103	55.23	كوارتز	103	55.13	كوارتز	103
60,02	كوارتز	211	60.15	كوارتز	211	60.15	كوارتز	211	60.20	كوارتز	211
64,10	كوارتز	113	64.20	كوارتز	113	64.26	كوارتز	113	64.30	كوارتز	113
68,39	كوارتز	301	68.29	كوارتز	301	68.18	كوارتز	301	68.26	كوارتز	301
لم يظهر			73.77	كوارتز	104	موجود لكن مهمل			73.77	كوارتز	104
75,73	كوارتز	302	75.88	كوارتز	302	75.88	كوارتز	302	75.98	كوارتز	302

الجدول [13.iii]: نتائج إنعراج الأشعة السينية لجميع مراحل عملية التنقية الحرارية الكيميائية لعينة رمال كثبان تندلة.

العينة الأصلية			المعالجة الابتدائية			المعالجة الحرارية			الحلقة الأولى من المعالجة		
2θ (°)	الاطوار البلورية	hkl	2θ (°)	الاطوار البلورية	hkl	2θ(°)	الاطوار البلورية	hkl	2θ(°)	الاطوار البلورية	hkl
20,84	كوارتز	100	20,99	كوارتز	100	21,02	كوارتز	100	21,04	كوارتز	100
26,63	كوارتز	101	26,84	كوارتز	101	26,82	كوارتز	101	26,87	كوارتز	101
29,45	كالسيت	104	إختفاء			إختفاء			إختفاء		
36,54	كوارتز	110	36,72	كوارتز	110	36,77	كوارتز	110	36,18	كوارتز	110
39,48	كوارتز	102	39,56	كوارتز	102	39,61	كوارتز	102	39,66	كوارتز	102
40,31	كوارتز	111	40,37	كوارتز	111	موجود لكن مهمل			40,57	كوارتز	111
42,48	كوارتز	200	42,60	كوارتز	200	42,60	كوارتز	200	موجود لكن مهمل		
45,83	كوارتز	201	46,06	كوارتز	201	46,03	كوارتز	201	45,90	كوارتز	201
50,18	كوارتز	112	50,32	كوارتز	112	50,32	كوارتز	112	50,47	كوارتز	112

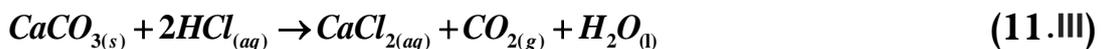
54.88	كوارتز	202	موجود لكن مهمل			موجود لكن مهمل			موجود لكن مهمل		
	لم يظهر		55.16	كوارتز	103	55.26	كوارتز	103	55.26	كوارتز	103
60.00	كوارتز	211	60.15	كوارتز	211	60.17	كوارتز	211	60.15	كوارتز	211
	لم يظهر		64.13	كوارتز	113	موجود لكن مهمل			64.31	كوارتز	113
67.74	كوارتز	212	موجود لكن مهمل			موجود لكن مهمل			موجود لكن مهمل		
68.32	كوارتز	301	68.31	كوارتز	301	68.21	كوارتز	301	68.29	كوارتز	301
	لم يظهر		73.69	كوارتز	104	موجود لكن مهمل			73.75	كوارتز	104
75.74	كوارتز	302	75.83	كوارتز	302	75.08	كوارتز	302	75.98	كوارتز	302

### أ) المرحلة الأولى من التنقية C:

يمثل الشكلان [8. III] [9. III] نتائج إنعراج الأشعة السينية لكل عينات الرمل التي تمت تنقيتها، في هذه المرحلة تم غمس عينات الرمل المدروسة في خليط حمضي متكون من حمض كلور الماء (HCl) وحمض النتريك (HNO<sub>3</sub>)، حيث لاحظنا بالنسبة لعينة رمال كثبان منطقة الطيبات ظهور الكوارتز عند زوايا الإنعراج التالية  $2\theta = 20.94^\circ$ ،  $26.74^\circ$ ،  $36.75^\circ$ ،  $39.58^\circ$ ،  $42.57^\circ$ ،  $46.00^\circ$ ،  $50.32^\circ$ ،  $55.18^\circ$ ،  $60.15^\circ$ ،  $64.20^\circ$ ،  $68.29^\circ$ ،  $73.77^\circ$ ،  $75.88^\circ$ ، و التي تتوافق مع المستويات البلورية التالية: (100)، (101)، (110)، (102)، (200)، (201)، (112)، (103)، (211)، (113)، (301)، (104)، (302) على الترتيب وفقا للمرجع رقم (1045-46-00).

أيضا عينة رمال كثبان تدلة إكتشفت فيها قمم إنعراج الكوارتز عند  $2\theta = 20.99^\circ$ ،  $26.84^\circ$ ،  $36.72^\circ$ ،  $39.56^\circ$ ،  $40.37^\circ$ ،  $42.60^\circ$ ،  $46.06^\circ$ ،  $50.32^\circ$ ،  $55.16^\circ$ ،  $60.15^\circ$ ،  $64.13^\circ$ ،  $68.31^\circ$ ،  $73.69^\circ$ ،  $75.83^\circ$  بحيث كانت مناسبة لقرائن ميلر التالية: (100)، (101)، (110)، (102)، (111)، (200)، (201)، (112)، (103)، (211)، (113)، (301)، (104)، (302) وفقا للمرجع رقم (1045-46-00).

في هذه المرحلة لاحظنا إختفاء معدن الكالسيت (الجدولين [12. III] [13. III]) في كل من العينتين وأيضا إختفاء معدن الألبيت في عينة رمال كثبان الطيبات وفقا للمعادلات التالية:





يفسر ظهور قمم جديدة لمعدن الكوارتز في هذه المرحلة الى تفاعل معدن الألبيت مع حمض كلور الماء وحمض النتريك  
(المعادلتين (13.iii) (14.iii)).

### ب) المرحلة الثانية من التنقية TT :

في هذه المرحلة من التنقية والتي كانت عبارة عن وضح العينات في فرن خاص تحت درجة حرارة 900°C ، نتائج إنعراج الأشعة السينية لعينات منطقتنا الدراسة في هذه المرحلة من التنقية. حيث وجدنا في رمال منطقة الطيبات الكوارتز عند الإنعراجات التالية 2θ = 21.02°، 26.79°، 36.70°، 39.58°، 42.65°، 46.00°، 50.32°، 55.23°، 60.15°، 64.26°، 68.18°، 75.88° وكانت هذه القمم تتوافق مع قرائن ميلر التالية: (100)، (101)، (110)، (102)، (200)، (201)، (112)، (103)، (211)، (113)، (301)، (302) على التوالي وفقا للمرجع رقم -46-00 (1045).

لقد تبين أيضا أن عينة رمال منطقة تندلة في هذه المرحلة أظهرت إنعراجات للكوارتز عند القمم 2θ = 21.02°، 26.82°، 36.77°، 39.61°، 42.60°، 46.03°، 50.32°، 55.26°، 60.17°، 68.21°، 75.08°، 77.93° وتوافقت مع المستويات البلورية التالية (100)، (101)، (110)، (102)، (200)، (201)، (112)، (103)، (211)، (301)، (302)، (220) على الترتيب وفقا للمرجع رقم (1045-46-00).

في هذه المرحلة نلاحظ تواصل إختفاء معدني الكالسيت والألبيت (الجدولين [12.iii] [13.iii]) ، يرجح بقاء القليل منهما لكنهما لم يرصدا وبقي معدن الكوارتز وحده ، كانت التفاعلات مع مابقي من اثار المعدنين المذكورين سابقا وهي:





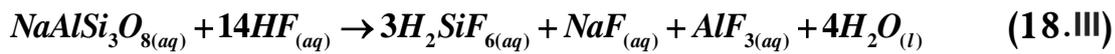
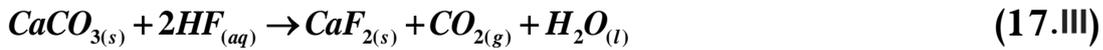
يرجع ظهور قمم جديدة لمعدن الكوارتز في هذه المرحلة الى تفاعل ماتبقى من أثر معدن الألبيت مع درجة الحرارة العالية ونتاج كوارتز جديد (المعادلة (16.iii)).

### ت) المرحلة الثالثة من التنقية TC:

في هذه المرحلة والتي كانت عبارة عن غمر العينة الطبيعية في الخليط المتكون من حمضين وهما حمض الهيدروفلوريك (HF) وحمض كلور الماء (HCl). حيث بعد التحليل عثرنا على الكوارتز في عينة رمال كثبان الطيبات في قمم الإنعراج التالية  $64.00^\circ$ ،  $60.20^\circ$ ،  $55.13^\circ$ ،  $50.40^\circ$ ،  $46.06^\circ$ ،  $42.68^\circ$ ،  $39.66^\circ$ ،  $36.72^\circ$ ،  $26.87^\circ$ ،  $21.19^\circ$ ،  $75.98^\circ$ ،  $73.77^\circ$ ،  $68.26^\circ$ ، والتي تقابلها قرائن ميلر التالية (100)، (101)، (110)، (102)، (200)، (201)، (003)، (103)، (211)، (113)، (301)، (104)، (302) على التوالي .

أما بالنسبة لعينات رمال كثبان منطقة تندلة فظهر الكوارتز عند قمم الإنعراج الآتية:  $26.87^\circ$ ،  $21.04^\circ = 2\theta$ ،  $73.75^\circ$ ،  $68.29^\circ$ ،  $64.31^\circ$ ،  $60.15^\circ$ ،  $55.26^\circ$ ،  $50.47^\circ$ ،  $45.90^\circ$ ،  $40.57^\circ$ ،  $39.66^\circ$ ،  $36.18^\circ$ ،  $75.98^\circ$ ، التي تتناسب مع قرائن ميلر التالية على الترتيب (100)، (101)، (110)، (102)، (111)، (201)، (112)، (103)، (211)، (113)، (301)، (104)، (302) وفقا للمرجع رقم (00-46-1045).

وكانت النتائج في هذه المرحلة تدل على وجود الكوارتز فقط وهذا دليل على نجاح العملية الكيميائية الحرارية للتنقية وإنتاج السليكا وكانت التفاعلات قائمة على ماتبقى من معدني الكالسيت والألبيت مع حمض الهيدروفلوريك وهي كالتالي:

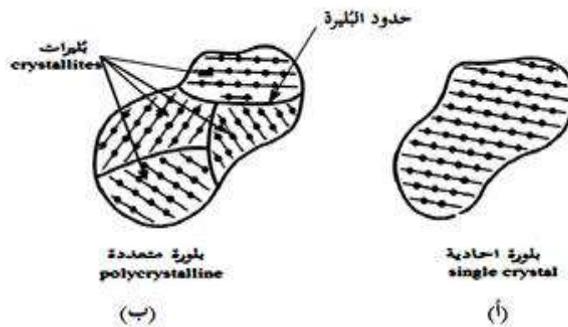


### 2.1.2. III حساب الحجم البلوري D للكوارتز قبل وبعد وأثناء عملية التنقية:

تتميز المواد البلورية بانتظام بنيتها الداخلية مقارنةً بالمواد الصلبة غير البلورية. حيث تظهر هذه الخصوصية في الوحدات البنائية الأساسية (الخلايا الأساسية) التي تتكون منها المواد البلورية، مثل الذرات والجزيئات والشوارد، والتي تكون موزعة في أماكن محددة ضمن الشبكة الفراغية. تتكرر هذه الوحدات بشكل دوري في الأبعاد الثلاثة. يمكن تصنيف المواد البلورية إلى نوعين :

(أ) البلورات الأحادية (single crystal): الشكل البلوري الأحادي هو الأقل انتشاراً في الطبيعة، حيث تتعرض عملية تكوّن البلورات في الطبيعة إلى تكون شوائب كثيرة، تسبب عيوباً واختلالات في البنية البلورية، الذي يمنع تشكّل البلورات الأحادية. تتميز البلورة الأحادية ببنية داخلية متجانسة نتيجة للتكرار الدوري للخلية الأساسية، وذلك من خلال انزياحها بشكل متوازٍ في جميع الاتجاهات. بهذا تتشارك كل خليتين متجاورتين في السطح نفسه، مما يشكل شبكة فراغية مستمرة بدون فواصل، لتكوين بلورة كبيرة ومنظمة (الشكل [10. III]).

(ب) البلورات المتعددة، أو التجمع البلوري (polycrystalline): يعتبر الشكل البلوري الأكثر انتشاراً في الطبيعة. تتكون هذه البلورات المتعددة من تجمعات لبلورات أحادية صغيرة تُعرف بالبلورات (crystallites)، والتي تكون مختلفة التوجه. توجد بين هذه التجمعات سطوح فصل غير بلورية تعيق حركة الوحدات البنائية، مما يمنعها من التوضع في الأماكن الأكثر استقراراً داخل الشبكة البلورية (الشكل [10. III]).



الشكل [10. III]: بنية المواد البلورية : (أ) بلورة أحادية (ب) بلورة متعددة.

هذا وتم حساب حجم بلورات الكوارتز في العينات باستخدام معادلة ديبي-شر [39، 40]، وذلك بالإعتماد على

زاوية الإنعراج وعرض الخط لإحدى قمم الإنعراج. يتم التعبير عن هذه العلاقة بالمعادلة التالية:

$$D = \frac{k\lambda}{\beta \cos\theta} \quad (19.iii)$$

D: مقياس البلورة (crystallite size).

$\lambda$ : الطول الموجي للأشعة السينية المستخدمة.

$\theta$ : زاوية ورود الأشعة السينية.

k: عامل الشكل، وهو مقدار ثابت يعتمد على شكل الحبيبات النانوية، يقدر بحوالي 0.96.

$\beta$ : عرض خط الإنعراج عند منتصف الشدة العظمى (FWHM)، وقد تم تحديده بإستعمال برنامج Origin حيث يقوم

هذا الأخير بتحديد قيم زوايا الإنعراج  $2\theta$  في مخطط الإنعراج على هذا المخطط. ثم نقوم بتحديد الخطوط المراد معرفة قيم

تعريضاتها فيقوم البرنامج بحساب قيم التعريض عند منتصف إرتفاع ذروة الخطوط المحددة وعرض جدول يتضمن قيم زوايا الإنعراج

وتعريضات الخطوط الموافقة لها ( المحددة) بعد ذلك نستعمل هذه القيم في برنامج Excel ونحسب قيم الحجم البلوري D

بإستعمال المعطيات السابقة الذكر.

لقد حُسب الحجم المتوسط للبلورات لكل عينة ومراحل معالجتها في عملية التنقية من خلال قمم الإنعراج الأشد

والظاهرة على مخطط الإنعراج وفق الدراسة [41]. النتائج المتحصل عليها مبينة في الجداول [14.iii] و [15.iii].

**الجدول [14.iii]:** مقياس بلورات الكوارتز في عينة رمال كئبان منطقة الطيبات الطبيعية ومراحل تنقيتها الثلاث.

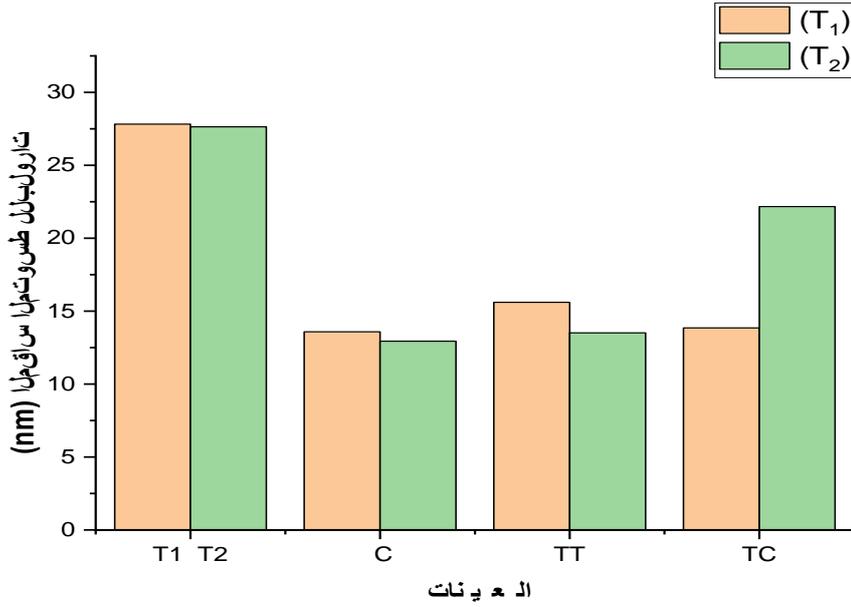
العينات	مقياس بلورات الكوارتز			
	زوايا الإنعراج ( $2\theta$ ) (°)	FWHM(°)	D(nm)	$D_{ave}$ (nm)
T <sub>1</sub>	20,86	0,32	26,35	27.82
	26,65	0,33	25,61	
	36,57	0,31	28,26	
	39,49	0,32	28,11	

	42,51	0,29	30,77	
T <sub>1</sub> C	20,94	0,67	12,77	13.58
	26,74	0,66	13,09	
	36,75	0,66	13,38	
	39,58	0,61	14,55	
	42,57	0,64	14,13	
T <sub>1</sub> TT	21.02	0.64	13.43	15.60
	26.79	0.66	13.12	
	36.70	0.57	15.42	
	39.58	0.43	20.73	
	42.65	0.59	15.33	
T <sub>1</sub> TC	21.19	0.66	13.04	13.85
	26.87	0.67	12.89	
	36.72	0.62	14.29	
	39.66	0.60	14.86	
	42.68	0.64	14.17	

الجدول [15.iii]: مقياس بليرات الكوارتز في عينة رمال كئبان منطقة تندلة الطبيعية ومراحل تنقيتها الثلاث.

العينات	مقياس بليرات الكوارتز			
	زوايا الإنعراج (°) 2θ	FWHM (°)	D(nm)	D <sub>ave</sub> (nm)
T <sub>2</sub>	20.84	0.32	26.23	27.63
	26.63	0.33	25.76	
	36.54	0.30	29.56	

	50.18	0.33	27.93	
	60.00	0.34	28.66	
T <sub>2</sub> C	20.99	0.60	14.13	12.94
	26.84	0.66	13.12	
	36.72	1.23	7.23	
	50.32	0.63	14.78	
	60.15	0.63	15.42	
T <sub>2</sub> TT	21.02	0.66	12.58	13.51
	26.82	0.66	12.72	
	36.77	0.64	13.35	
	50.32	0.64	14.00	
	60.17	0.63	14.88	
T <sub>2</sub> TC	21.04	0.55	14.91	22.16
	26.87	0.55	14.84	
	36.18	0.22	35.12	
	50.47	0.24	31.91	
	60.15	0.52	14.04	



الشكل [11.111]: متوسط مقاس بلورات الكوارتز في عينة رمل كثبان الطيبات وتندلة في كل مرحلة من مراحل التنقية الثلاث.

نلاحظ بعد عرضنا لنتائج أن القيم المتوسطة لحجوم بلورات الكوارتز في عينة رمال كثبان الطيبات تكون بين 27.82 nm ، و 13.85 nm ، حيث بلغ متوسط حجم الكوارتز في المرحلة الأولى من عملية التنقية 13.58 nm في حين كان في المرحلة الثانية 15.60 nm ، ووصل في المرحلة الأخيرة إلى 13.85 nm.

كان متوسط حجم بلورات الكوارتز بعينة رمال كثبان تندلة بين 27.63 nm و 22.16 nm ، ففي المرحلة الأولى قُدر بـ 12.94 nm و كان في المرحلة الثانية 13.51 nm بينما وصل في المرحلة الأخيرة إلى 22.16 nm.

يعود إنخفاض متوسط حجم بلورات الكوارتز من حالة العينات في الحالة الطبيعية الى مرحلة المعالجة الابتدائية إلى تفاعلية الشوائب مع الأحماض المستعملة في هذه المرحلة وهي حمض كلور الماء (HCl) وحمض النتريك (HNO<sub>3</sub>) (المعادلات (11.111) (12.111) (13.111) (14.111)).

يعود ارتفاع متوسط حجم بلورات الكوارتز (الشكل [11.111] ) في المرحلة الثانية من عملية التنقية الحرارية الكيميائية وهي مرحلة المعالجة الحرارية في عينة رمال كثبان كل من منطقة الطيبات ومنطقة تندلة بشكل مفاجئ إلى أن الحرارة تسبب في خروج الشوائب من البلورة وبالتالي إلتصاق هذه الشوائب على الغلاف الخارجي للبلورة وبالتالي زيادة تلقائية لحجم البلورات وهوما توافق بشكل جيد مع نتائج عمل [42].

لاحظنا إنخفاض حجم بلورات الكوارتز في عينة رمال كثبان الطيبات من مرحلة المعالجة الحرارية إلى مرحلة الحلقة الأولى من التنقية يعود هذا أيضا الى التفاعلية القوية لشوائب التي علق في خارج البلورات مع حمض الهيدروفلوريك (HF) (المعادلات (17.iii) (18.iii)) ، على عكسها عينة رمال كثبان تندلة لاحظنا إرتفاع حجم بلورات الكوارتز في المرحلة الأخيرة نرجح أنها تعود إلى وجود أخطاء بلورية متمثلة في الفراغات البلورية.

### 2.2.iii. مناقشة نتائج مطيافية التحليل بالفلورة الاشعة السينية (XRF):

**الجدول [16.iii]:** نتائج التحليل الكيميائي لعينات رمل منطقة الطيبات أثناء عملية التنقية الحرارية الكيميائية باستخدام

فلورة الأشعة السينية.

نسبة الأكاسيد (%)	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>
T <sub>1</sub>	95.34	0.79	0.41	0.93	0.12	0.49	0.04	0.06
T <sub>1</sub> C	96.69	2.08	0.28	0.08	0	0.59	0	0
T <sub>1</sub> TT	96.92	2.07	0.24	0.18	0	0.45	0	0
T <sub>1</sub> TC	99.41	0.25	0.10	0.01	0	0.01	0	0

**الجدول [17.iii]:** نتائج التحليل الكيميائي لعينات رمل منطقة تندلة أثناء عملية التنقية باستخدام فلورة الأشعة السينية.

نسبة الأكاسيد (%)	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>
T <sub>2</sub>	90.09	0.67	0.33	3.48	0.16	0.43	0.03	0.65
T <sub>2</sub> C	94.48	2.71	0.33	0.57	0	0.40	0	1.31
T <sub>2</sub> TT	94.60	2.82	0.30	0.48	0	0.49	0	1.16
T <sub>2</sub> TC	99.49	0.30	0.05	0.01	0	0	0	0

يبين الجدول [16.iii] والجدول [17.iii] نتائج XRF لعينات الرمال المدروسة في جميع مراحل تنقية حيث وجدنا :

### أ) المرحلة الأولى من التنقية C:

في هذه المرحلة نلاحظ إرتفاع ملحوظ في نسبة أكسيد السيليوم ( $SiO_2$ ) في كل من عينة رمال كثبان الطيبات وتندلة. و الذي يُقدر بالنسب التالية 96.69% و 94.48% على الترتيب. كما إكتشفنا إنخفاض في الأكاسيد الأخرى، فكان الإنخفاض في كل من نسبة أكسيد الحديد ( $Fe_2O_3$ ) و أكسيد الكالسيوم ( $CaO$ ) و كذلك نسبة أكسيد المغنيزيوم ( $MgO$ ) و أكسيد الصوديوم ( $Na_2O$ ) و أكسيد الكبريت ( $SO_3$ ) بالنسبة لعينة رمال كثبان الطيبات وإرتفاع أكسيد على مستوى أكسيد الألمنيوم ( $Al_2O_3$ ) و أكسيد البوتاسيوم ( $K_2O$ ) (الجدول [16.iii]).

في حين في عينة رمال كثبان تندلة نجد الإنخفاض في نسبة أكسيد الكالسيوم ( $CaO$ ) و أكسيد المغنيزيوم ( $MgO$ ) و أكسيد البوتاسيوم ( $K_2O$ ) و أكسيد الصوديوم ( $Na_2O$ )؛ كما لوحظ إرتفاع في أكسيد الألمنيوم ( $Al_2O_3$ ) و أكسيد الكبريت ( $SO_3$ ). هذا الإرتفاع والإنخفاض كان مقارنة بالعينة في الحالة الطبيعية (الجدول [17.iii]).

### ب) المرحلة الثانية من التنقية TT:

وجدنا على مستوى هذه المرحلة أيضا إرتفاع نسبة أكسيد السيليوم ( $SiO_2$ ) في كل من العينتين المدروستين و الذي قدر ب 96.92% على مستوى عينة منطقة الطيبات و 94.60% بالنسبة لعينة تندلة. فكان إنخفاض نسبة أكسيد الألمنيوم ( $Al_2O_3$ ) و الحديد ( $Fe_2O_3$ ) والمغنيزيوم ( $MgO$ ) و البوتاسيوم ( $K_2O$ ) والصوديوم ( $Na_2O$ ) والكبريت ( $SO_3$ ) ملحوظا في عينة رمال كثبان الطيبات ويلاحظ إرتفاع أكسيد الكالسيوم ( $CaO$ ) أيضا النتائج موضحة في (الجدول [16.iii]).

بينما لوحظ أن نسبة أكسيد الحديد ( $Fe_2O_3$ ) والكالسيوم ( $K_2O$ ) والمغنيزيوم ( $MgO$ ) والصوديوم ( $Na_2O$ ) والكبريت ( $SO_3$ ) قد إنخفضت أيضا في عينة رمال كثبان تندلة وإرتفعت نسبة أكسيد الألمنيوم ( $Al_2O_3$ ) والبوتاسيوم ( $K_2O$ ) (الجدول [17.iii]) هذا الإنخفاض و الإرتفاع كان مقارنة بالمرحلة السابقة من التنقية.

أ) المرحلة الثالثة من التنقية من TC:

وصلت نسبة أكسيد السيليوم (SiO<sub>2</sub>) في العينات المدروسة إلى 99.49% التي توافق عينة رمال كثبان منطقة تندلة و 99.41% بالنسبة لعينة رمال كثبان منطقة الطيبات، في حين نلاحظ إختيار تام لجميع الأكاسيد الأخرى بالمقارنة مع المرحلة السابقة (مرحلة المعالجة الحرارية) في عيني الدراسة وهذا أكبر دليل على نجاح طريقة التنقية الحرارية الكيميائية في إزالة الشوائب من عينات الرمل هذه.

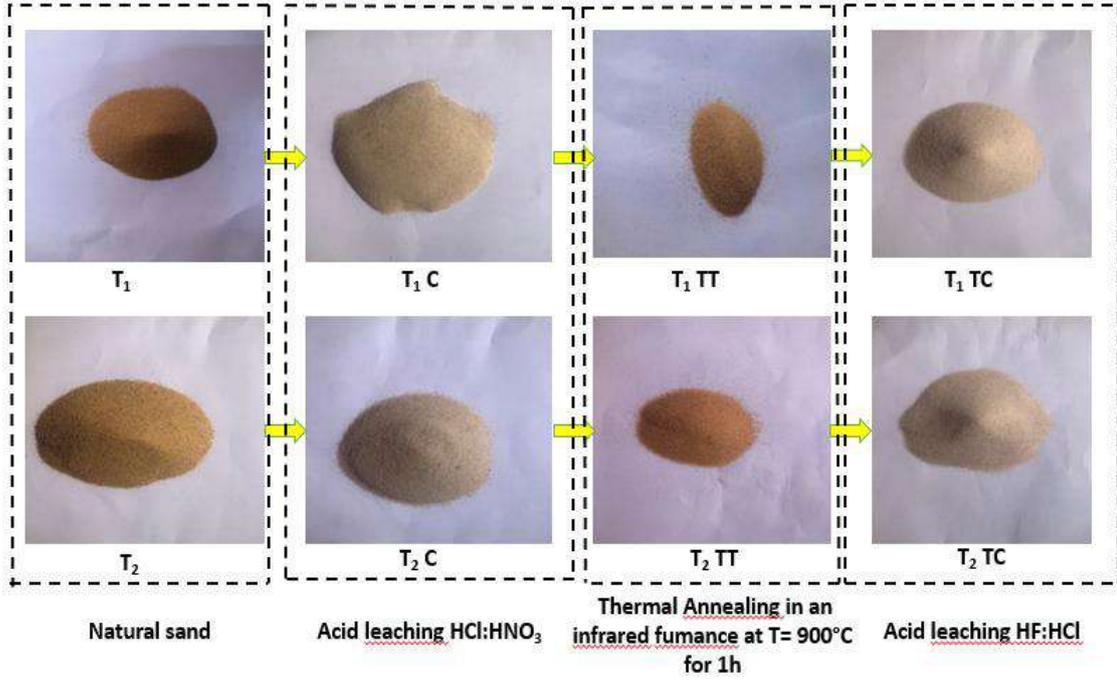
من خلال مناقشة وتحليل نتائج الجدولين [16.iii] و الجدول [17.iii] اللذان كانا يمثلان نتائج تحليل فلورة الأشعة السينية للعينات في جميع مراحل التنقية والعينة الطبيعية لعينات هذه الدراسة، لاحظنا الإنخفاض التدريجي لجميع المعادن المكونه للعينات الرمال والتي تكون بشكل أكاسيد معدنية؛ هذا الإنخفاض يقابله زيادة تدريجية لأكسيد السيليوم والتي وصلت إلى 99% في كل من العينتين.

حيث في المرحلة الأخيرة من التنقية وهي مرحلة نقع العينات في خليط مكون من حمض الهيدروفلوريك و حمض كلور الماء (HF/HCl)؛ نلاحظ إختيارا في جميع الأكاسيد التي إعتبرت شوائب ويمكن تفسير هذا الإختيار بأن حمض كلور الماء تتفاعل مع العناصر المعدنية لتوليد الملح الذي يذوب بسرعة في الماء، يسمح هذا الخليط من الأحماض بإزالة الشوائب بكفاءة أكبر، مثل الحديد والألمنيوم والكالسيوم، والتي غالبًا ما تكون موجودة في شكل أكاسيد أو هيدروكسيدات.

يكسر خليط (HF/HCl) هذه المركبات بشكل فعال ويزيلها من رمل السيليكا دون إذابتها. يدمر حمض الهيدروفلوريك (HF) الروابط على الطبقة السطحية من SiO<sub>2</sub>، ويذيب (HCl) الشوائب. كما هو موضح في الجدولين [16.iii] [17.iii]. يصبح سطح أبيض اللون (الشكل [12.iii]). قد يصف التفاعل الكلي المبسط التالي هذا الحفر الكيميائي:



في هذا التفاعل الذي مثلناه بالمعادلة (16.iii)، فيمثل M<sup>n+</sup> أيونًا معدنيًا من مكونات رمل السيليكا مثل Na<sup>+</sup> و Ca<sup>2+</sup> و Al<sup>3+</sup> أو أيونًا مثل Fe<sup>3+</sup> و Ti<sup>4+</sup> موجودًا في الأصل كشوائب في مادة SiO<sub>2</sub> الأولية. يمثل H<sup>+</sup> أو H<sup>3+</sup> البروتون من الحمض، و n هي الشحنة الكهربائية للأيونات، والتي قد تتراوح من 1 إلى 4.



الشكل [12.iii]: مخطط يوضح مختلف ألوان العينات قبل وبعد اثناء مراحل التنقية.

### 3.2.iii. معامل كفاءة التنقية $\eta$ :

تم تقييم عملية التنقية من حيث كفاءة إزالة الشوائب  $\eta$ ، والتي تم تعريفها على النحو التالي:

$$\eta = \frac{C_i - C_f}{C_i} \times 100 \quad (21.iii)$$

$C_i$ : تركيز الأكسيد في العينة الأصلية.

$C_f$ : تركيز الأكسيد في العينة في المرحلة الأخيرة.

الجدولان [18.iii] [19.iii] يمتلان نتائج حساب قيم معامل الكفاءة لكل من عينة رمال كتبان الطيبات وعينة رمال

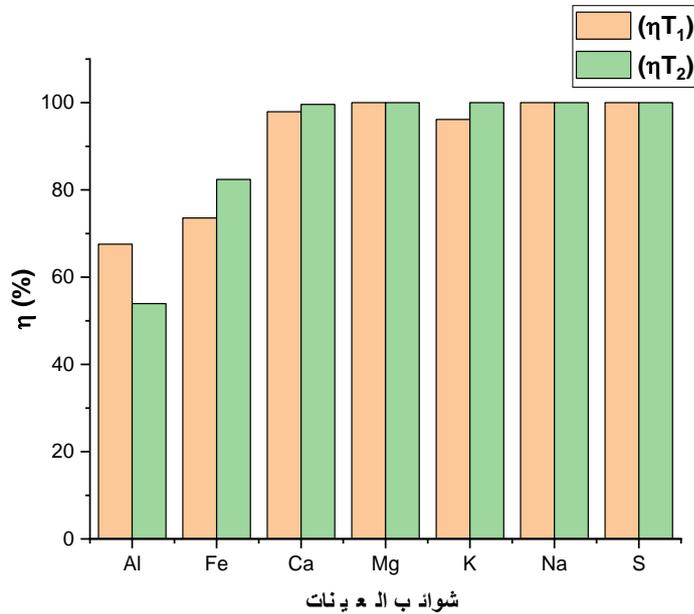
كتبان تندلة على التوالي.

الجدول [18.iii]: نتائج حساب معامل كفاءة التنقية لعينة رمال كثبان منطقة الطيبات.

نسبة الأكاسيد (%)	Al	Fe	Ca	Mg	K	Na	S
$C_i$	0.20	0.14	0.66	0.07	0.20	0.01	0.02
$C_f$	0.06	0.03	0.01	0	0	0	0
$\eta$	67.56	73.56	97.92	100	96.14	100	100

الجدول [19.iii]: نتائج حساب معامل كفاءة التنقية لعينة رمال كثبان منطقة تندلة.

نسبة الأكاسيد (%)	Al	Fe	Ca	Mg	K	Na	S
$C_i$	0.17	0.11	2.48	0.09	0.17	0.01	0.26
$C_f$	0.08	0.02	0.01	0	0	0	0
$\eta$	53.95	82.39	99.59	100	100	100	100

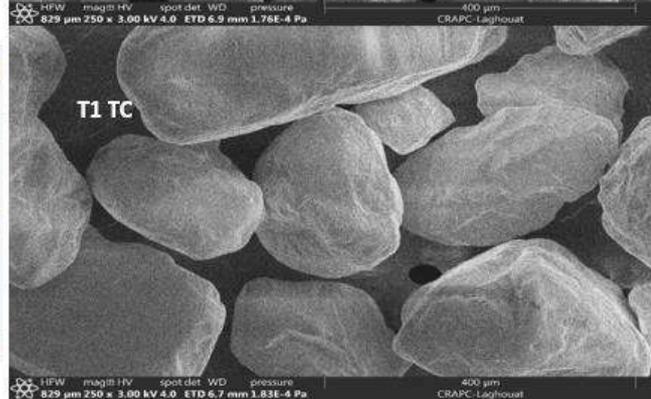
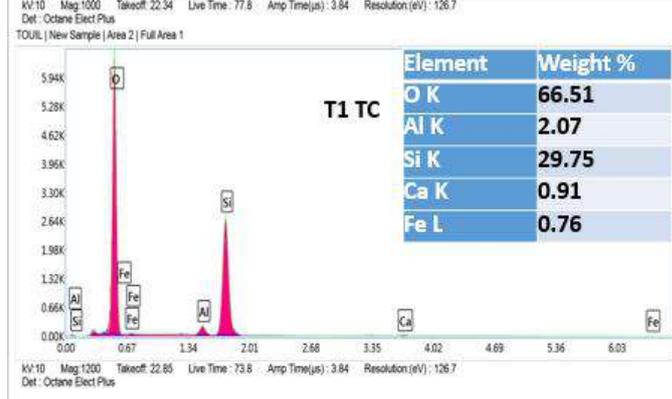
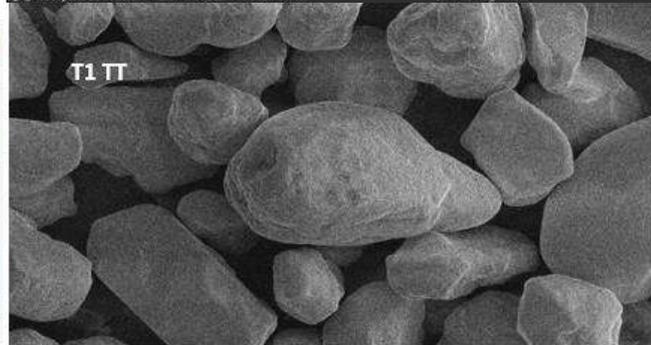
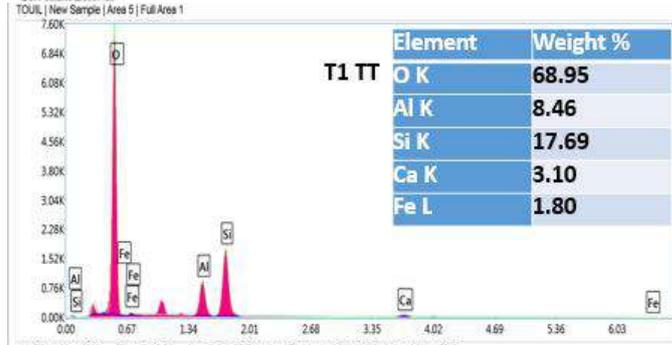
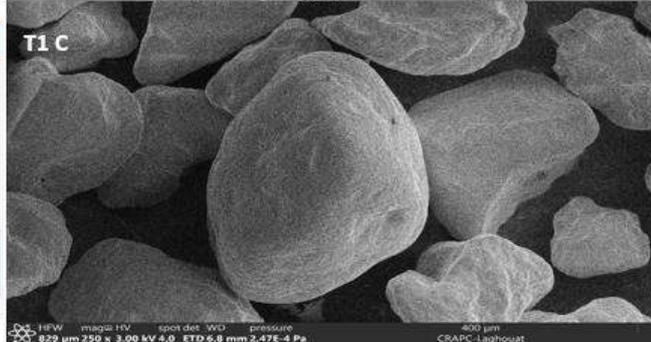
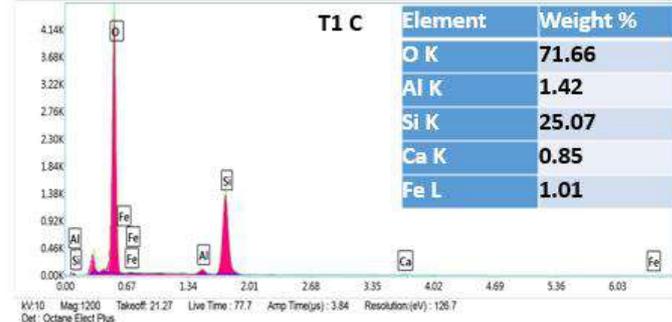
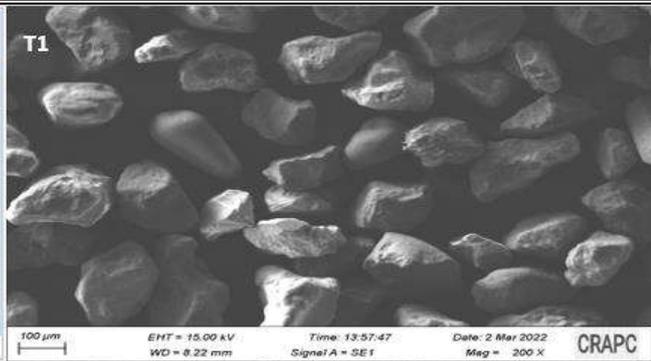
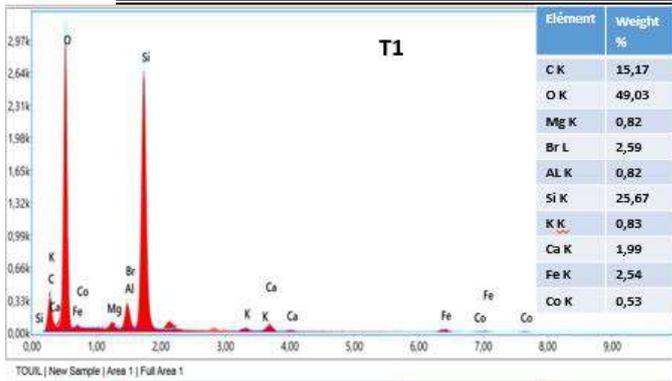


الشكل [13.iii]: معامل الكفاءة لعينة رمال كثبان الطيبات و رمال كثبان تندلة.

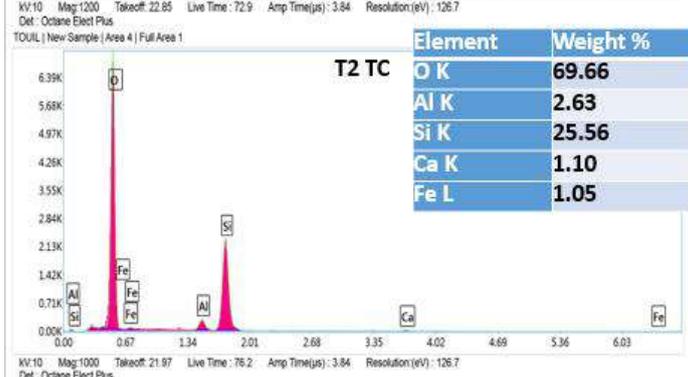
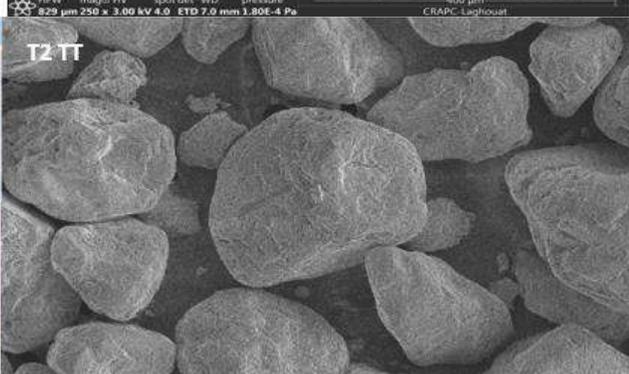
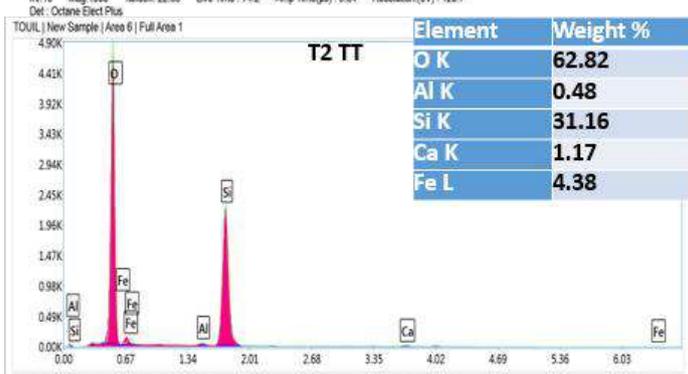
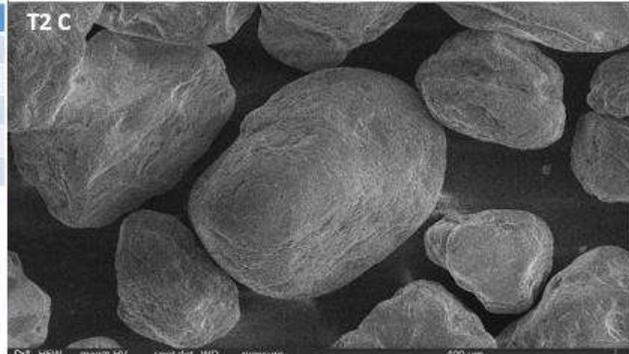
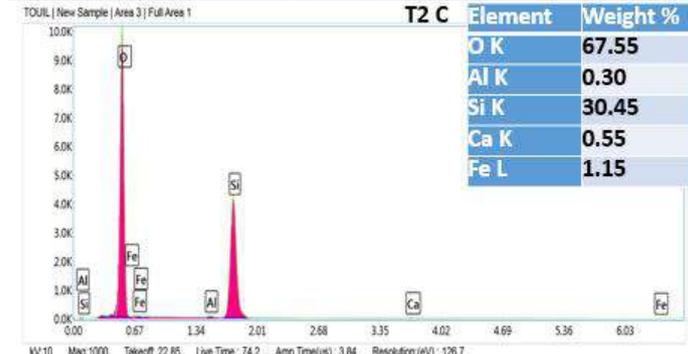
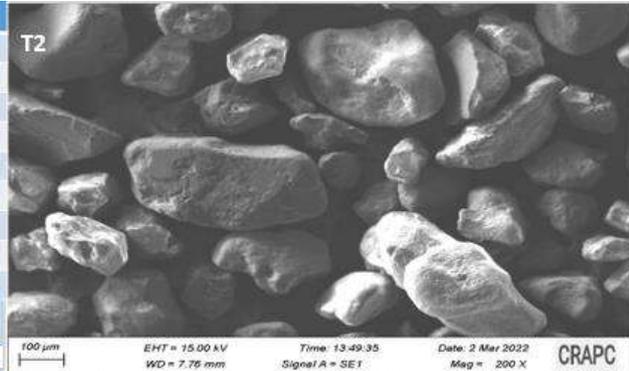
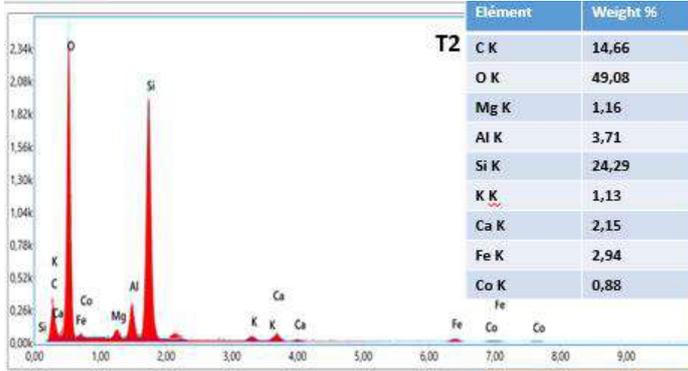
يوضح الشكل [13.iii] تحليلاً مقارناً لإختلافات الشوائب بعد عملية التنقية لكل من العينات المدروسة. تؤكد الرؤى المستمدة فعالية العملية الكيميائية الحرارية في تقليل الشوائب الأولية في رمل السيليكا بشكل كبير، تم إستخراج Al و Fe و Ca و Mg و K و Na و S على نطاق واسع في محلول حمضي (HF/HCl). على وجه التحديد وصلت معدلات إزالة Al و Fe و Ca و Mg و K و Na و S في عينة رمال كثبان الطيبات إلى (Al/67)، (Fe/73 و 56%)، (S/100%)، (Ca/97 و 92%)، (Mg/100%) و (K/96 و 14%)، (Na/100%) و (S/100%) وأيضاً في عينة رمال كثبان تندلة (Al/53 و 95%)، (Fe/82 و 39%)، (Ca/99 و 59%)، (Mg/100%) و (K/100%) و (Na/100%) و (S/100%) وبذلك، يمكننا إنتاج السليسيوم الشمسي عالي الجودة من الرمال الغنية بالسليكا.

### 4.2.iii. مناقشة نتائج تحليل المجهر الإلكتروني الماسح (MEB/EDX):

تكمن أهمية مورفولوجية المواد الحبيبية مثل الرمال، في معرفة شكل الحبوب لأنه يلعب دوراً حاسماً في تحديد خصائصها الفيزيائية والميكانيكية والهيدروليكية، الشكلين [14.iii] [15.iii] يمثل نتائج المجهر الإلكتروني الماسح لعينات رمال كثبان كل من منطقة الطيبات ومنطقة تندلة في جميع مراحل التنقية.



الشكل [14.111]: نتائج تحليل المجهر الإلكتروني الماسح لعينة رمل كئبان الطيبات في جميع مراحل التنقية.



الشكل [15.111]: نتائج تحليل المجهر الإلكتروني الماسح لعينة رمل كثبان تندلة في جميع مراحل التنقية.

**(أ) المرحلة الأولى من التنقية C:**

دلت صور المجهر الالكتروني الماسح على وجود حبيبات ذات سطح ليس أملسًا تمامًا؛ تظهر حبيبات الكوارتز أشكالًا زاوية إلى شبه دائرية ذات حواف وجوانب ناعمة، مما يشير إلى تأثيرات التجوية.

تظهر شقوق دقيقة ذات أعماق مختلفة على سطح الحبوب المنقاة للعملية الكيميائية الابتدائية ( المرحلة الأولى) يُعزى هذا الشكل إلى معالجات الإستخلاص الكيميائي بالحامض، والتي تحفر سطح الحبوب بشكل تفضيلي في حواف السطح الدقيق.

من خلال ملاحظتنا لنتائج تحليل مطيافية تشتيت الطاقة نلاحظ أن هذه العملية الكيميائية قد قضت على جميع الشوائب التي كانت في الرمال حيث نلاحظ زيادة مفاجئة في معدن السليسيوم على سطح هذه العينات قدرت بـ 25.07% و 30.45% لكل من عينة رمال كتبان الطيبات ورمال كتبان تندلة على الترتيب. كما نلاحظ بقاء معادن الألمنيوم والكالسيت والحديد بنسب ضئيلة.

**(ب) المرحلة الثانية من التنقية TT:**

نلاحظ من صور العينتين إمتلاء الفراغ الذي بين الحبوب وذلك بفعل الحرارة التي كانت السبب في إخراج الشوائب من داخل الحبيبة إلى السطح وبالتالي زيادة حجم الحبيبة وهذا يؤدي إلى إمتلاء الفراغ وهو مايفسر زيادة في تركيز الشوائب (الألمنيوم والكالسيت والحديد) على السطح في هذه المرحلة.

في هذه المرحلة لاحظنا نقصان معدن السليسيوم على السطح في عينة منطقة الطيبات قدر بـ 17.69% و زيادة في نفس المعدن في سطح عينة منطقة تندلة قدر بـ 31.16% هذا الإختلاف يمكن أن يُنسب إلى إختلاف طبيعة كل من المنطقتين الجغرافية أو شروط التجربة.

**(ث) المرحلة الثالثة من التنقية TC:**

لاحظنا نقصان الفراغ بين الحبيبات مقارنة بالمرحلة السابقة وهذا راجع لحمض HF وتفاعليته القوية إذ نلاحظ أنه قضى على جميع الشوائب بصفة شبه كلية على السطح وهذا يؤكد نتائج التحليلين السابقين في نفس المرحلة.

في الأخير وصل تركيز معدن السليكون على السطح إلى 29.75% و 25.56% لكل من منطقة الطيبات وتندلة على

الترتيب، كما لاحظنا إنخفاض يكاد يكون منعدم لجميع الشوائب الأخرى (الألمنيوم والكالسيت والحديد) في العينتين.

## المراجع

1. Suresh, G., Ramasamy, V., & Ponnusamy, V. (2011). Mineralogical and thermoluminescence characterizations of the river sediments from Tamilnadu, India. *Natural Resources Research*, 20, 389-399. [https://doi.org/\[DOI-if-available\]](https://doi.org/[DOI-if-available])
2. Benchaa, S. (2023). *Etude physique et structurale des échantillons de sable prises de la région de Sidi Slimane et la région de Touggourt* [Doctoral dissertation, Université Kasdi Merbah Ouargla].
3. Mesecke, K., Malorny, W., & Warr, L. N. (2020). In situ monitoring of hydrothermal reactions by X-ray diffraction with Bragg-Brentano geometry. *Applied Crystallography*, 53(4), 1163-1166. [https://doi.org/\[DOI-if-available\]](https://doi.org/[DOI-if-available])
4. Meftah, N., & Mahboub, M. S. (2020). Spectroscopic characterizations of sand dunes minerals of El-Oued (Northeast Algerian Sahara) by FTIR, XRF and XRD analyses. *Silicon*, 12(1), 147-153. [https://doi.org/\[DOI-if-available\]](https://doi.org/[DOI-if-available])
5. Meftah, N., Hani, A., & Merdas, A. (2023). Extraction and physicochemical characterization of highly-pure amorphous silica nanoparticles from locally available dunes sand. *Chemistry Africa*, 6(6), 3039-3048. [https://doi.org/\[DOI-if-available\]](https://doi.org/[DOI-if-available])
6. Oglesbee, T., [et al.]. (2020). A mineralogical and geochemical investigation of modern aeolian sands near Tonopah, Nevada: Sources and environmental implications. *Catena*, 194, 104640. [https://doi.org/\[DOI-if-available\]](https://doi.org/[DOI-if-available])
7. Mahdadi, N., [et al.]. (2017). Chromatic classification of Ouargla (Algeria) dunes sand: Determination of main compositions and color causes, by using XRD, FTIR and XRF. *Silicon*, 9(2), 211-221. [https://doi.org/\[DOI-if-available\]](https://doi.org/[DOI-if-available])
8. Mechri, M. L., [et al.]. (2017). Study of heat effect on the composition of dunes sand of Ouargla (Algeria) using XRD and FTIR. *Silicon*, 9(6), 933-941. [https://doi.org/\[DOI-if-available\]](https://doi.org/[DOI-if-available])
9. Al-Dulaimi, R. S. A. (Year). \*Dirasat alkhassais altarkibiat walbasariat lia'ghshiat Zn<sub>x</sub> Ni O<sub>(x-1)</sub> almuahadarah bitariqat altahlil alkimiayi alharari\* [Master's thesis, University of Diyala, Iraq].
10. Mansour, M. E. (2012). Dirasat alkhawas albasaria lia'ghshiat (Cu O Zn) almuahadarah bitariqat APCVD [Optical properties study of (Cu O Zn) films prepared by APCVD method]. \*Al-Majalah al-Urduniyyah lil-Fiziya [Jordanian Journal of Physics], 5\*(2), 89-103.
11. Saikia, B. J. (2014). Spectroscopic estimation of geometrical structure elucidation in natural SiO<sub>2</sub> crystal. *Journal of Materials Physics and Chemistry*, 2(2), 28-33. [https://doi.org/\[DOI-if-available\]](https://doi.org/[DOI-if-available])
12. دراسة أثر المعالجة الحرارية على تركيب رمل كثبان ورقلة، وعلى ناقلته الكهربائية، مشري، محمد العيد [أطروحة دكتوراه، جامعة قاصدي مرباح ورقلة] باستخدام الطرق الطيفية.
13. Bhatia, M. R. (1983). Plate tectonics and geochemical composition of sandstones. *The Journal of Geology*, 91(6), 611-627. [https://doi.org/\[DOI-if-available\]](https://doi.org/[DOI-if-available])
14. Föllmi, K. B. (1995). 160 my record of marine sedimentary phosphorus burial: Coupling of climate and continental weathering under greenhouse and icehouse conditions. *Geology*, 23(6), 503-506. [https://doi.org/\[DOI-if-available\]](https://doi.org/[DOI-if-available])
15. Sivakumar, S., et al. (2012). FTIR spectroscopic studies on coastal sediment samples from Cuddalore District, Tamilnadu, India. *Indian Journal of Advances in Chemical Science*, 1, 40-46. [https://doi.org/\[DOI-if-available\]](https://doi.org/[DOI-if-available])
16. Kiros, A., Gholap, A. V., & Gigante, G. E. (2013). Fourier transform infrared spectroscopic characterization of clay minerals from rocks of Lalibela churches, Ethiopia. *International Journal of Physical Sciences*, 8(3), 109-119. [https://doi.org/\[DOI-if-available\]](https://doi.org/[DOI-if-available])

17. Böke, H., et al. (2004). Quantification of  $\text{CaCO}_3\text{-CaSO}_3\cdot 0.5\text{H}_2\text{O-CaSO}_4\cdot 2\text{H}_2\text{O}$  mixtures by FTIR analysis and its ANN model. *Materials Letters*, 58(5), 723-726. <https://doi.org/DOI-if-available>
18. Stefov, V., et al. (2000). Minerals from Macedonia. V. Characterization of gypsum, barite and their synthetic analogues by FTIR and Raman spectroscopy. *Geologica Macedonica*, 14, 61-66.
19. Gnanasaravanan, S., & Rajkumar, P. (2013). Characterization of minerals in natural and manufactured sand in Cauvery River belt, Tamilnadu, India. *Infrared Physics & Technology*, 58, 21-31. <https://doi.org/DOI-if-available>
20. Yin, Y., et al. (2019). Characterization of coals and coal ashes with high Si content using combined second-derivative infrared spectroscopy and Raman spectroscopy. *Crystals*, 9(10), 513. <https://doi.org/DOI-if-available>
21. Nasri, H., et al. (2021). Characterization of sand from Jebel Ad-Darin Sened (Gafsa-Tunisia). *Silicon*, 13(11), 3827-3834. <https://doi.org/DOI-if-available>
22. Chandrasekaran, A., et al. (2021). Effect of minerals and heavy metals in sand samples of Ponnai river, Tamil Nadu, India. *Scientific Reports*, 11(1), 23199. <https://doi.org/DOI-if-available>
23. Beddiaf, S., Chihi, S., & Leghrieb, Y. (2015). The determination of some crystallographic parameters of quartz in the sand dunes of Ouargla, Algeria. *Journal of African Earth Sciences*, 106, 129-133. <https://doi.org/DOI-if-available>
24. Hlavay, J., et al. (1978). Characterization of the particle size and the crystallinity of certain minerals by IR spectrophotometry and other instrumental methods—II. Investigations on quartz and feldspar. *Clays and Clay Minerals*, 26(2), 139-143. <https://doi.org/DOI-if-available>
25. Ismaiel, H. A. H., Askalany, M. M., & Ali, A. I. (2017). Evaluation of white silica sands in North Eastern Desert, Egypt. *International Journal of Scientific and Engineering Research*, 8(5), 1713-1722.
26. Wolfe, S. A., et al. (2023). Late Quaternary eolian dune-field mobilization and stabilization near the Laurentide Ice Sheet limit, New Jersey Pine Barrens, eastern USA. *Aeolian Research*, 62, 100877. <https://doi.org/DOI-if-available>
27. Kleesment, A. (2009). Roundness and surface features of quartz grains in Middle Devonian deposits of the East Baltic and their palaeogeographical implications. *Estonian Journal of Earth Sciences*, 58(1), [page range]. <https://doi.org/DOI-if-available>
28. Zouaouid, K., & Gheriani, R. (2019). Mineralogical analysis of sand roses and sand dunes samples from two regions of South Algeria. *Silicon*, 11(3), 1537-1545. <https://doi.org/DOI-if-available>
29. Azidane, H., Michel, B., Bouhaddioui, M. E., et al. (2021). Grain size analysis and characterization of sedimentary environment along the Atlantic Coast, Kenitra (Morocco). *Marine Georesources & Geotechnology*, 39(5), 569-576. <https://doi.org/DOI-if-available>
30. دار الكتب العلمية . مبادئ الإحصاء . عبد الله، م. (2015).
31. Joanes, D. N., & Gill, C. A. (1998). Comparing measures of sample skewness and kurtosis. *Journal of the Royal Statistical Society: Series D (The Statistician)*, 47(1), 183-189. <https://doi.org/DOI-if-available>
32. Beddiaf, S., et al. (2017). Qualitative and quantitative evaluation of quartz in different granular types of Ouargla region sand dunes-Algeria. *Silicon*, 9(4), 603-611. <https://doi.org/DOI-if-available>

33. Dane, J. H. (2002). Water retention and storage. In *Physical methods* (pp. 671-720). [Publisher].
34. Beuselinck, L., et al. (1998). Grain-size analysis by laser diffractometry: Comparison with the sieve-pipette method. *Catena*, 32(3-4), 193-208. <https://doi.org/DOI-if-available>
35. Alshaaer, M. (2021). Microstructural characteristics and long-term stability of wollastonite-based chemically bonded phosphate ceramics. *International Journal of Applied Ceramic Technology*, 18(2), 319-331. <https://doi.org/DOI-if-available>
36. Mikhailova, A. N., et al. (2022). Thermogravimetric parameters of the oxidation of organic matter and asphaltenes from the rocks of the Permian deposits of heavy oil field before and after catalytic hydrothermal treatment. *Fuel*, 313, 122641. <https://doi.org/DOI-if-available>
37. Shi, Z., et al. (2023). Substitution of desert sand for pure quartz to improve phase transformation and densification of SiO<sub>2</sub>-ZrO<sub>2</sub> composite ceramics. *SSRN*. <https://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4511645>
38. Luo, H., et al. (2023). The microstructure, phase transformation and sinterability of desert sand. *Materials Today Communications*, 35, 105685. <https://doi.org/DOI-if-available>
39. Langford, J. I., & Wilson, A. J. C. (1978). Scherrer after sixty years: A survey and some new results in the determination of crystallite size. *Journal of Applied Crystallography*, 11(2), 102-113. <https://doi.org/DOI-if-available>
40. Alexander, L., & Klug, H. P. (1950). Determination of crystallite size with the X-Ray spectrometer. *Journal of Applied Physics*, 21(2), 137-142. <https://doi.org/DOI-if-available>
41. محمادي نوية. (2017). تحديد تركيب الأصناف اللونية الرئيسية لرمل كثبان منطقة ورقلة وتحديد سبب تلونها باستخدام [أطروحة دكتوراه، جامعة قاصدي مرباح ورقلة] الطرق الطيفية
42. Khalifa, M., et al. (2024). High-purity silica produced from sand using a novel method combining acid leaching and thermal processing. *Arabian Journal for Science and Engineering*. Advance online publication. <https://doi.org/DOI-if-available>

# الخلاصة العامة

في هذه الدراسة، سعينا إلى الإسهام في تبيين مادة رمال الكنتان، نظراً لتغطيتها لمساحات واسعة في الجزائر وهذا عن طريق إستخدام عملية كيميائية حرارية لتنقية هذه الرمال من الشوائب ورفع نسبة السليكا (الكوارتز) داخلها. تعتبر هذه الرمال موارد طبيعية تحتوي على مجموعة غنية من المواد الأولية، مثل الكوارتز والسليسيوم، التي تستخدم على نطاق واسع في الصناعات الحديثة. بالإضافة إلى ذلك، فإنها تُستخدم بشكل تقليدي في مجالات مثل البناء والري و الزراعة.

تركز الأبحاث الفيزيائية في هذا الموضوع على الرمال الكوارتزية نظراً لأهميتها المعترف بها في الصناعة. يتم استخدام الكوارتز، الذي يُعد أحد أكثر المواد انتشاراً على وجه الأرض والمستخرج من الرمال، بشكل رئيسي في صناعات الزجاج والبصريات. بالإضافة إلى ذلك، يُمكن استخلاص السليسيوم منه، الذي يُعد خاماً ذا وجود استثنائي في الطبيعة، ويُستخدم بدوره في الصناعات النانومترية وفي مجالات مثل الشبكات الشمسية وأجهزة شبه الموصلات.

حاولنا أيضاً من خلال هذه الدراسة التعرف على كيف يتغير تركيب الرمل بالعملية الكيميائية الحرارية هذه ومدى تأثير ذلك على شكله ولونه.

تم اختيار العينات المدروسة من رمال الكنتان من منطقتي الطيبات وتندلة، وتم تشخيصها باستخدام مجموعة من التقنيات الطيفية. تضمنت هذه التقنيات تقنية انعراج الأشعة السينية DRX، وتقنية فلورة الأشعة السينية XRF، ومطيافية الامتصاص ما تحت الأحمر بتحول فوري FTIR، والمجهر الإلكتروني الماسح MEB، ومطيافية طاقة التشتت الأشعة السينية EDX، بالإضافة إلى التصنيف الحجمي للحبيبات عن طريق حيود الليزر والتحليل الحراري الكتلّي والتفاضل ATG/ATD. تم استخدام كل هذه الطرق بهدف تحديد التراكيب المكونة للعينة.

قسمت هذه الدراسة إلى جزئين حيث قمنا بدراسة نتائج تحليل العينات في حالتها الطبيعية بإستخدام التقنيات الطيفية المذكورة سابقاً، بعد هذا قمنا بدراسة نتائج تحليل العينات عند تعريضها لحلقة واحدة من عملية التنقية الكيميائية الحرارية بإستخدام التقنيات الكمية (تحدد المركبات) وهذا لأن هذه الدراسة إنكزت على رفع كمية السليكا (الكوارتز) في الرمل بإستخدام هذه العملية وكانت: تقنية انعراج الأشعة السينية DRX، وتقنية تفلور الأشعة السينية XRF، والمجهر الإلكتروني الماسح MEB، ومطيافية طاقة التشتت الأشعة السينية EDX.

## خلاصة عامة

تقنية انعراج الأشعة السينية تحدد الأطوار البلورية المتواجدة في رمال الكتبان، مع تقديرات شبه كمية لها، أما بالنسبة لتقنية فلورة الأشعة السينية فإنها تقدم معلومات حول تراكيز العناصر الذرية وأكاسيد المعادن المتضمنة في تراكيب الرمل، تقنية امتصاص الأشعة تحت الحمراء، فتكشف عن جميع أنواع الروابط الجزيئية داخل تراكيب الرمال، تقنية التصنيف الحجمي للحبيبات باستخدام حدود الليزر تحدد حجم الحبيبات، فيما تقنية التحليل الحراري الكتلي والتفاضل تحدد نقص والزيادة في الكتلة للعينات المدروسة والقمم الحرارية الماصة والطاردة للحرارة لها، أما المجهر الإلكتروني الماسح فإنه يقدم صورة لسطح العينة ومطيافية تشتت الطاقة تحدد نسب تركيز المعادن على سطح العينات المدروسة وفيما يلي تفصيل لأهم النتائج:

تمكنا باستخدام إنعراج الأشعة السينية من تحديد التراكيب البلورية الرئيسية للعينات المدروسة، أظهرت النتائج أن رمل الكتبان في منطقة الطيبات وتندلة يتكون في الغالب من: الكوارتز ( $\text{SiO}_2$ ) والكالسيت ( $\text{CaCO}_3$ )، إضافة إلى الألبيت ( $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ ) ولكن بنسبة ضعيفة في عينة كتبان الطيبات.

فيما يخص لعينة منطقة الطيبات إكتشفنا وجود الكوارتز ألفا ( $\alpha\text{-SiO}_2$ ) كمكون أساسي وذلك بناء على الزوايا التالية:  $60.02^\circ$ ،  $54.90^\circ$ ،  $50.18^\circ$ ،  $45.85^\circ$ ،  $42.51^\circ$ ،  $40.31^\circ$ ،  $39.49^\circ$ ،  $26.65^\circ$ ،  $36.57^\circ$ ،  $20.86^\circ$ ، بينما لاحظنا ظهور ضعيف للكالسيت عند  $29.45^\circ$ ، في حين أن زاوية الحيود  $27.51^\circ$  ترجع إلى الألبيت.

وهو الحال كذلك بالنسبة لعينة رمال كتبان تندلة التي تتكون بشكل رئيسي من الكوارتز ألفا ( $\alpha\text{-SiO}_2$ ) والموافق لزوايا التالية:  $54.88^\circ$ ،  $50.18^\circ$ ،  $45.83^\circ$ ،  $42.48^\circ$ ،  $40.31^\circ$ ،  $39.48^\circ$ ،  $36.54^\circ$ ،  $26.63^\circ$ ،  $20.84^\circ$ ،  $60.00^\circ$ ،  $67.74^\circ$ ،  $68.32^\circ$ ،  $75.74^\circ$ ، إلى جانب هيمنة هذا الأخير لوحظ ظهور ضعيف للكالسيت عند زاوية الإنعراج  $29.45^\circ$ .

وبهذا نستنتج أن رمل كتبان الطيبات يتكون بشكل رئيسي من كوارتز ألفا ( $\alpha\text{-SiO}_2$ ) و الألبيت ( $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ ) و الكالسيت ( $\text{CaCO}_3$ )، بينما تتكون عينة رمل كتبان تندلة من كوارتز ألفا ( $\alpha\text{-SiO}_2$ ) والكالسيت ( $\text{CaCO}_3$ ).

## خلاصة عامة

لتحقيق تشخيص أدق، قمنا باستخدام تقنية ثانية وهي تفلور الأشعة السينية XRF. أكدت هذه التقنية نتائج التقنية السابقة وزادت عليها بعض النتائج الكمية. أين أظهرت لنا تقنية XRF التراكيب الكيميائية لعينات الرمل المدروسة، تشير النتائج إلى أن رمال كثنان منطقة الطيبات وتندلة تهيمن عليها نسبة عالية من الكوارتز، حيث بلغت نسبته 90%، 95% على الترتيب، وتظهر نسبًا ضئيلة من أكسيد الحديد الثلاثي، وأكسيد الكبريت، وأكسيد المغنيسيوم، وأكسيد الصوديوم، وأكسيد الألمنيوم والكالسيوم.

تبين لنا من نتائج مطيافية الامتصاص بالإشعاع تحت الأحمر بتحويل فورية أن معظم الروابط الموجودة في رمل الكثنان منطقة الطيبات تعود إلى لكوارتز والكالسيوم، هذا يتناسب تمامًا مع نتائج التحليل باستخدام انعراج لأشعة السينية وفلورتها، أين أوضحت أشربة الإمتصاص عند  $461,508,694,777,793,876,1083\text{Cm}^{-1}$  وجود الكوارتز، سجلنا وجود الكالسيوم بإمتصاصات عند  $1429\text{Cm}^{-1}$  لعينة الطيبات و  $1792,2509\text{Cm}^{-1}$  لعينة تندلة.

أسفرت حسابات دليل التبلور للكوارتز عن قيم 0.65 و 0.85 في ينات رمال كثنان الطيبات وتندلة على التوالي ، الذي إستنتجنا منه أن الكوارتز في العينتين غير متبلور جيداً.

قدم المجهر الإلكتروني الماسح معلومات حول مورفولوجية سطح حبيبات الرمل: تحتوي حبيبات رمل للعينات المدروسة على أشكال مستديرة وشبه مدورة وممدودة ومسطحة وزاوية وشبه زاوية في حين يحتوي رمل الطيبات أيضا على بعض الحبيبات الدائرية الناعمة.

أوضحت تقنية مطيافية تشتت الطاقة التابعة للمجهر الإلكتروني الماسح توافقا واضحا مع نتائج تقنية تفلور الأشعة السينية حيث لاحظنا هذا التوافق ينجلي في النسبة الوزنية الأعلى لعنصر الأكسجين ومعدن السيلسيوم في قاعدة تكوين الكوارتز الذي يشكل المكون الرئيسي للرمال المدروسة أين وجدنا في عينة الطيبات 25% أكثر منها في عينة تندلة 24% كما أشارت النتائج إلى أن عينات الرمل المدروسة مكونة من الكالسيوم (Ca) والكبريت (S) والحديد (Fe) والمغنيسيوم (Mg) والبوتاسيوم (K) ..

سجلنا من نتائج تقنية توزيع حجم الحبيبات بجيود الليزر وجدنا متوسط حجم حبيبات عينة رمل كثنان الطيبات حبيباته

284  $\mu\text{m}$  والعينة الأخرى 267  $\mu\text{m}$ .

## خلاصة عامة

بيننا بالإستعانة بتقنية التحليل الحراري الكتلي والتفاضلي تباين في النقص الكتلي للعينتين بين درجات حرارة معينة حسب المخطط المرسوم كان إجمالي فقد الكتلة 1.98% لعينة الطيبات مقابل 4.01% لعينة رمل كثنان تندلة.

وبعد هذا قمنا بمعالجة العينتين معالجة كيميائية بإستعمال الأحماض وحرارية بحلقة واحدة متتالية من هتين الأخيرتين من أجل رفع نسبة الكوارتز، ثم قمنا بتشخصها بإستعمال إنعراج الأشعة السينية لاحظنا إختفاء الكالسيت والألبيت من العينات أثناء وبعد معالجتها حتى بقيت كلها كوارتز في المرحلة الأخيرة، تبين أن الزوايا التي تعود إلى الكوارتز في المرحلة الأخيرة (TC) من التنقية في عينة منطقة الطيبات هي:  $21.19^{\circ}$ ،  $26.87^{\circ}$ ،  $36.72^{\circ}$ ،  $39.66^{\circ}$ ،  $42.68^{\circ}$ ،  $46.06^{\circ}$ ،  $50.40^{\circ}$ ،  $55.13^{\circ}$  بينما  $60.20^{\circ}$ ،  $64.30^{\circ}$ ،  $68.26^{\circ}$ ،  $73.77^{\circ}$ ،  $75.98^{\circ}$ ، كما بقي الكوارتز في عينة رمال كثنان تندلة في هذه المرحلة (TC) ورصد عند زوايا الإنعراج الآتية:  $21.04^{\circ}$ ،  $26.87^{\circ}$ ،  $36.18^{\circ}$ ،  $39.66^{\circ}$ ،  $40.57^{\circ}$ ،  $45.90^{\circ}$ ،  $50.47^{\circ}$ ،  $55.26^{\circ}$ ،  $60.15^{\circ}$ ،  $64.31^{\circ}$ ،  $68.29^{\circ}$ ،  $73.75^{\circ}$ ،  $75.98^{\circ}$ .

حسبنا متوسط الحجم البلوري للكوارتز بإستغلال نتائج الأشعة السينية للعينات المدروسة بدءا بالعينات الطبيعية وصولا إلى العينات في المرحلة الأخيرة من التنقية فكانت النتائج بالنسبة لعينة الطيبات كالتالي:  $13.58\text{ nm}$ ،  $27.82\text{ nm}$ ، بينما  $13.85\text{ nm}$ ،  $15.60\text{ nm}$ ، في العينة الطبيعية والمرحلة الأولى والمرحلة الثانية والمرحلة الثالثة من التنقية على الترتيب، وكانت النتائج بالنسبة لعينة منطقة تندلة كالأتي:  $27.63\text{ nm}$ ،  $12.94\text{ nm}$ ،  $13.51\text{ nm}$ ،  $22.16\text{ nm}$ ، كما فسرنا أيضا التغيرات (الزيادة والنقصان) في هذه القيم بالتفصيل.

وصلنا من خلال تحليل فلورة الأشعة السينية الى نسبة أكسيد السيليسيوم قدرها 99.41% و 99.49% لكل من رمل كثنان الطيبات وتندلة على الترتيب. هذه النتيجة كانت تتوافق بشكل جيد مع نتائج تحليل مخططات الأشعة السينية التي ظهر فيها إلا الكوارتز.

إستنتجنا قيم معامل كفاءة التنقية  $\eta$  بإستعمال نتائج فلورة الأشعة السينية ، حيث كانت قيم هذا المعامل 100% بالنسبة لأغلب الشوائب المكونة لعينتي الدراسة وهذا يعني القضاء عليها والتخلص منها أثناء المعالجة.

## خلاصة عامة

في نهاية هذا العمل أظهرنا وجود على تغيرات في الفراغ بين أسطح حبيبات الرمال المدروسة مع مرور مراحل التنقية، بإستغلال صور المجهر الإلكتروني الماسح، وكان نقصان هذا الفراغ بين هذه الحبيبات خير دليل على القضاء على الشوائب الموجودة على الغطاء الخارجي لحبيبات الرمل، بينما وصلت النسبة الوزنية لمعدن السيلسيوم في المرحلة الأخيرة من التنقية إلى 29.75%، 25.55%، لعينات الطيبات وتندلة على الترتيب وهذا بإستغلال نتائج مطيافية تشتت الطاقة التابعة للمجهر الإلكتروني الماسح.

من خلال مجموعة متنوعة من العمليات والقياسات المتنوعة التي أجريت خلال إعداد هذا العمل، تم تسجيل عدة ملاحظات جوهرية قد تشكل أساسا لأبحاث ودراسات مستقبلية:

- إستغلال الرمل كمصدر طبيعي لبعض المواد مثل الكوارتز والكالسيت.
- إمكانية رفع نسبة الكوارتز (السليكا الفائقة النقاء) بإستخدام معالجات فيزيائية وكيميائية.
- إستخدام الرمل في إنتاج السيلسيوم النقي المستعمل في الصناعات الحديثة لإستغلاله أيضا في الأبحاث النانومترية.
- إستغلال الرمل في صناعة الزجاج.
- إستعمال الرمل في صنع مواد متعددة الإستخدامات الطبية والكهربائية و الرقائق الإلكترونية.
- إستغلال رمال كثبان منطقة الطيبات وتندلة بما يتوافق مع تركيبها.

# المقالات والمدخلات العلمية

### المدخلات الوطنية و الدولية:

- 1) Meriem Touil, Nassima meftah, Achouri Abderrahim, Rabiaa benesseddik, **"PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES OF THE TEVERNIN SANDS AS A POTENTIAL SOURCE OF QUARTZ MINERAL,"**THE 1ST INTERNATIONAL CONFERENCE ON RENEWABLE MATERIALS AND ENERGIES ICRME2022 October 26-27, 2022, OUARGLA-ALGERIA (Virtual conference) .
- 2) Meriem Touil, Nassima meftah, Achouri Abderrahim, Rabiaa benesseddik , **"SPECTROSCOPIC CHARACTERIZATIONS OF SAND DUNES FROM TAIBET REGION USING FTIR; XRF AND XRD ANALYSES FOR THE PHOTOVOLTAIC APPLICATIONS,"**1 er Séminaire National sur les Matériaux et l'Environnement (SNME 2023), du 11-12 octobre 2023 à l'université de TAMANGHASSET (Virtual conference).
- 3) Meriem Touil, Nassima meftah, Achouri Abderrahim, Rabiaa benesseddik".**CHARACTERIZATION OF ALGERIAN DUNE SAND FOR PREPARING PHOTOVOLTAIC SILICON STUDY OF THE PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES OF THE SAND ROSE IN TOUGGOURT (SIDI SLEIMAN) "** ,The first International Seminar on Materials Synthesis and Environmental Monitoring ISMSEM2022 07-09 FEBRUARY OUARGLA-ALGERIA (Virtual conference).
- 4) Meriem Touil, Nassima meftah, Achouri Abderrahim, Rabiaa benesseddik".**Physico -chemical characterization sand dunes from el oued region,"**1st international Conference on Chemical matters and Environment Preservation IC-CMEP'22 March 09-10, 2022, Ouargla – Algeria (Virtual conference).
- 5) Meriem Touil, Nassima meftah, Achouri Abderrahim, Rabiaa benesseddik, **"A holistic approach towards characterizing the Taibet siliceous sand (eastern Algeria) for potential industrial applications" , 1<sup>er</sup>Séminaire Nationale Hybride de Chimie (SNHC'2024) 26-27 October 2024 , Batna– Algeria (présence conference).**
- 6) Meriem Touil, Nassima meftah, Achouri Abderrahim, Rabiaa benesseddik" **،A comparative study between sand samples from the dunes of the northern Algerian sahara"** ,The Fourth International Conference on Medicinal Plants and Materials (MPM-2023) 21-23 November 2023 OUARGLA-ALGERIA. (présence conference).

### المقالات:

- 1) **TOUIL Meriem**, MEFTAH Nassima, ACHOUR Abderrahim, *et al.* Mineralogical, physicochemical and thermal investigations of Taibet and Tendla sands material from the Northern Algerian Sahara, *Acta Geodynamica et Geomaterialia*. Vol. 20, No. 4 (212), 155–164, 2023.
- 2) KHALIFA Marouan, **TOUIL Mariem**, HAMMADI Khadija, *et al.* High-Purity Silica Produced from Sand Using a Novel Method Combining Acid Leaching and Thermal Processing. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 2024, p. 1-7.

## الملخص:

في هذا البحث تمت دراسة الخصائص الفيزيوكيميائية لرمال منطقتي الطيبات وتندله، حيث تم التركيز على تحليل تراكيب الرمل وتحديد تراكيز المكونات. تم أيضاً استكشاف شكل سطح حبيبات الرمل المدروسة وتحديد افطارها. وذلك باستخدام عدة تقنيات، منها انعراج الأشعة السينية (DRX)، ومطيافية الأشعة تحت الحمراء بتحويل فوري (FTIR)، فلورة الأشعة السينية (XRF) والمجهر الإلكتروني الماسح المصحوب بمطيافية الأشعة السينية لتشتت الطاقة (EDS) وتصنيف الحبيبات بتقنية حيود الليزر، والتحليل الحراري الكتلّي والتفاضلي (ATG/ATD). أظهرت النتائج أن الرمل في كل منطقة يتألف أساساً من مادتي الكوارتز والكالسيت، بالإضافة إلى نسبة ضئيلة من معدن الألبيت في عينات منطقة الطيبات. كما تبين أن أشكال حبيبات الرمل المدروس تتنوع بين المستديرة، شبه المدورة، الممدودة، المسطحة، الزاوية، وشبه الزاوية. على الجانب الآخر، يتميز رمل منطقة الطيبات بحبيبات دائرية ناعمة. بلغ متوسط حجم الحبيبات لرمال كثبان الطيبات وتندله  $267\mu\text{m}$  و  $284\mu\text{m}$  على الترتيب. تمت عمليات تنظيف لرفع نسبة الكوارتز في الرمال، وأظهرت النتائج زيادة في نسبة الكوارتز وصلت إلى 99.49% و 99.41% لعينة كثبان الطيبات وتندله على التوالي وذلك بفضل تطبيق حلقات متتالية من التنظيف الكيميائي الحراري.

**الكلمات المفتاحية:** رمل الكثبان ، DRX ، XRF ، FTIR ، MEB ، EDS ، ATG ، ATD ، الطيبات ، تندله (جنوب شرق الجزائر)، التنقية.

## Résumé

Dans cette recherche, les caractéristiques physico-chimiques des sables des zones de Taybat et Tandala ont été étudiées, l'accent étant mis sur l'analyse des compositions du sable et la détermination des concentrations des composants. La forme de la surface des grains de sable étudiés a également été explorée et leur séparation a été déterminée. Cela se fait à l'aide de plusieurs techniques, notamment la diffraction des rayons X (DRX), la spectroscopie infrarouge à transformation instantanée (FTIR), la fluorescence des rayons X (XRF), la microscopie électronique à balayage avec spectroscopie de rayons X à dispersion d'énergie (EDS), la classification des granules par diffraction laser, et analyse de masse thermique. Et différentiel (ATG/ATD). Les résultats ont montré que le sable de chaque zone est constitué principalement de quartz et de calcite, en plus d'un faible pourcentage d'albite dans les échantillons de la zone Taybat. Il a également été constaté que la forme des grains de sable étudiés variait entre ronde, semi-arrondie, allongée, plate, anguleuse et semi-angulaire. En revanche, le sable de la région de Taybat se caractérise par des grains lisses et circulaires. La granulométrie moyenne des sables des dunes de Tayibat et Tandalah était respectivement de  $267\mu\text{m}$  et  $284\mu\text{m}$ . Des opérations de nettoyage ont été réalisées pour augmenter le pourcentage de quartz dans le sable, et les résultats ont montré une augmentation du pourcentage de quartz atteignant respectivement 99,49% et 99,41% pour les échantillons des dunes de Tayibat et Tandalah, grâce à l'application de cycles successifs de nettoyage chimique thermique.

**Mots clé:** Sable de dunes, DRX, XRF, FTIR, MEB, EDS, ATG, ATD, Taibet, Tendla, (Sud-Est Algérien), nettoyage.

**Abstract:** In this research, the physicochemical properties of the sands of Al-Tayyibat and Tandalah areas were studied, focusing on analyzing the sand compositions and determining the concentrations of the components. The surface shape of the studied sand grains was also explored and their fractures were determined. This was done using several techniques, including X-ray diffraction (DRX), Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR), X-ray fluorescence (XRF), scanning electron microscopy accompanied by energy dispersive X-ray spectroscopy (EDS), and grain classification using laser diffraction technique, and thermal mass and differential analysis (ATG/ATD). The results showed that the sand in each area is mainly composed of quartz and calcite, in addition to a small percentage of albite in the samples of Al-Tayyibat area. It was also found that the shapes of the studied sand grains vary between round, semi-round, elongated, flat, angular, and semi-angular. On the other hand, the sand of Al-Tayyibat area is characterized by smooth round grains. The average grain size of the sands of Taibat and Tindala dunes was  $267\mu\text{m}$  and  $284\mu\text{m}$  respectively. Cleaning operations were carried out to increase the percentage of quartz in the sands, and the results showed an increase in the percentage of quartz reaching 99.49% and 99.41% for the Taibat and Tindala dunes samples respectively, thanks to the application of successive cycles of thermal chemical cleaning.

**Keywords :** Dune sand, DRX, XRF, FTIR, MEB, EDS, ATG, ATD, Taibet, Tendla, (South-East Algeria), cleaning.