



رقم الترتيب:.....

رقم التسلسلي:.....

جامعة قاصدي مرباح ورقلة

كلية الرياضيات وعلوم المادة

قسم الفيزياء

أطروحة دكتوراه في الطور الثالث ل م د

الميدان: علوم المادة

الشعبة: فيزياء

تخصص: فيزياء المواد والبني النانوية

من إعداد الطالبة: بن الصديق ربيعة

بعنوان:

المساهمة في دراسة الخصائص الفيزيوكيميائية والجيولوجية لعينات صخرية من منطقة خنقة سيدي ناجي ببسكرة الجزائر

نوقشت يوم: 5/11/2025

أمام أعضاء لجنة المناقشة المكونة من:

| | | | |
|------------|--------------------------------|------------------|------------------------|
| رئيسا | جامعة ورقلة | أستاذ تعليم عالي | أ د/محمدي لزه |
| مناقشا | جامعة ورقلة | أستاذ تعليم عالي | أ د/ بن طويلة عمر |
| مناقشا | جامعة الوادي | أستاذ تعليم عالي | أ د/مفتاح نسيمية |
| مناقشا | المدرسة العليا للأساتذة بورقلة | أستاذ محاضر "أ" | د/بن كريمة يمينة |
| مشرفا | جامعة ورقلة | أستاذ تعليم عالي | أ د/ عاشوري عبد الرحيم |
| مشرف مساعد | جامعة ورقلة | أستاذ تعليم عالي | أ د/ عزيز زدوري |

الموسم الجامعي: 2026/2025

الإهداء

الى روح ابي الطاهرة

الى ملاكي امي

الى اعمدتي اخوتي

الى رمز المحبة والوفاء اخواتي

المخلصات صديقاتي

الشكر والتقدير

الحمد لله رب العالمين، الحمد لله الذي هدانا لهذا وما كنا لنهتدي لولا أن هدانا الله، الحمد لله والشكر لله والصلاة والسلام على أشرف خلق الله سيدنا محمد صلى الله عليه وسلم تسليما كثيرا.

يطيب لي وأنا أضع آخر اللمسات لهذه المذكرة أن أتقدم ببالغ الشكر والتقدير للأستاذ الفاضل ا.د. عاشوري عبد الرحيم على اقتراحه موضوع هذا البحث وعرفانا لكل مجهوداته المبذولة ومتابعته طيلة فترة الإشراف كما نتقدم بالشكر للأستاذ محمدي زهر لقبوله ترؤس لجنة المناقشة والأستاذة الكرام مفتاح نسيمية، بن كريمة يمينة، والأستاذ بن طويلة عمر على قبولهم مناقشة هذه المذكرة.

كما أتقدم بالشكر الجزيل للأستاذ د. عزيز زدوري على توجيهاته القيمة والمفيدة التي ساعدتنا كثيرا في إنجاز هذه المذكرة.

وأتوجه بالشكر إلى أساتذتنا الكرام بقسم الفيزياء بجامعة قاصدي مرياح ورقلة الذين بلغوا الرسالة بكل أمانة.

كما أشكر جميع المسؤولين والباحثين في:

مخبر تطوير الطاقات الجديدة والمتجددة في المناطق الجافة والصحراوية (L.E.N.R.E.Z.A) بجامعة ورقلة

مخبر الإشعاع والبلازما وفيزياء السطوح (L.R.P.P.S) جامعة ورقلة.

مخبر ترقية وتثمين الموارد الصحراوية (V.P.R.S) جامعة ورقلة.

مخبر الموارد الصحراوية وترقيتها وتكنولوجياها (VTRS) بجامعة الشهيد حمة لخضر الوادي

مخبر المكامن الجوفية البترولية الغازية والمائية بمركز البحث العلمي بالقطب 3 بجامعة ورقلة

الأرضية التقنية للتحاليل الفيزيوكيميائية. الاغواط

مركز البحث والتطوير (CRD). سونطراك. بولاية بومرداس

والى جميع زملاء البحث والى كل من ساعدنا في إنجاز هذا العمل

بن الصديق ربيعة

الفهرس

| | |
|-----------|----------------|
| I..... | الاهداء |
| II..... | الشكر والتقدير |
| III..... | الفهرس |
| VIII..... | فهرس الأشكال |
| XIII..... | فهرس الجداول |
| 1..... | مقدمة عامة |
| 4..... | المراجع |

الفصل الاول

| | |
|---------|--------------------------------------|
| 6..... | 1.I. تمهيد |
| 6..... | 2.I. عموميات حول الصخور |
| 6..... | 3.I. تصنيفات الصخور |
| 7..... | 3.I.أ. الصخور المتحولة |
| 7..... | 3.I.ب. الصخور النارية |
| 8..... | 3.I.ج. الصخور الرسوبية |
| 13..... | 4.I. تكوين الصخور الرسوبية |
| 13..... | 4.I.أ. الفلدسبار |
| 14..... | 4.I.ب. الفخار |
| 15..... | 4.I.ج. كربونات الكالسيوم (الكالسييت) |

| | |
|---------|------------------------|
| 16..... | 4.د.الكوارتز.....I |
| 18..... | 5.I. خصائص الصخور..... |
| 19..... | المراجع..... |

الفصل الثاني

| | |
|---------|---|
| 21..... | 1.II. تمهيد..... |
| 21..... | 2.II. التقنيات والأجهزة المستعملة..... |
| 21..... | 2.II.أ. مطيافية فلورة الأشعة السينية..... |
| 22..... | 2.II.أ.1. المبدأ الأساسي لظاهرة فلورة الأشعة السينية..... |
| 23..... | 2.II.أ.2. جهاز الفلورة..... |
| 25..... | 2.II.أ.3. التحليل النوعي والكمي..... |
| 26..... | 2.II.أ.4. جهاز فلورة الأشعة السينية المستعمل في القياس..... |
| 26..... | 2.II.ب. إنعراج الأشعة السينية..... |
| 26..... | 2.II.ب.1. أساسيات التقنية..... |
| 30..... | 2.II.ب.2. الجهاز المستعمل في الدراسة..... |
| 30..... | 2.II.ب.3. تحضير العينات للدراسة..... |
| 31..... | 2.II.ب.4. برنامج X'PERT HIGH SCORE..... |
| 38..... | 2.II.ج. الأشعة تحت الحمراء..... |

| | |
|----|--|
| 39 | 1.مبدأ تقنية الأشعة تحت الحمراء بتحويل فوريي |
| 39 | 2.أنواع الاهتزازات الجزئية |
| 41 | 3.النموذج الميكانيكي لعملية التمدد الاهتزازي |
| 42 | 4.جهاز طيف الأشعة تحت الحمراء |
| 43 | 5.الجهاز المستعمل في مطيافية الأشعة تحت الحمراء |
| 43 | 6.تحضير العينات |
| 45 | 2. د. تقنية الشرائح الرقيقة |
| 46 | 1. إعداد قاعدة للعينات الصخرية باستخدام عملية القطع (المنشار). |
| 46 | 2. تسوية وتنعيم أحد وجهي القاعدة الصخرية. |
| 47 | 3. لصق القاعدة على الشريحة الزجاجية. |
| 48 | 4. القطع النهائي وتشكيل العينة باستخدام عملية الصقل. |
| 49 | 5. المرحلة الأخيرة |
| 49 | 2. هـ. الطرق الجيوفيزيائية لقياس المقاومة الكهربائية. |
| 49 | 1. هـ. 2. المقاومة الكهربائية |
| 50 | 2. هـ. 2. المسح الكهربائي العمودي. |
| 51 | 3. هـ. 2. التصوير المقطعي للمقاومة الكهربائية. |
| 53 | 4. هـ. 2. البرمجيات المستعملة. |

المراجع.....55

الفصل الثالث

1.III. تمهيد.....57

2.III. تحليل النتائج ومناقشتها.....57

2.III.أ. نتائج فلورة الاشعة السينية.....57

2.III.ب. نتائج انعراج الاشعة السينية.....60

2.III.ج. نتائج الاشعة تحت الحمراء.....71

الفصل الرابع

1.IV. تمهيد.....77

2.IV. مفاهيم جيولوجية.....77

IV. 2. أ. التعريف بمنطقة الدراسة.....77

2.IV.ب. العصور الجيولوجية.....77

3.IV. دراسة جيولوجية للمنطقة.....78

3.IV.أ. خريطة جيولوجية.....78

3.IV.ب. مقطع جيولوجي للمنطقة.....79

3.IV.ج. الترابط غرب/شرق للنيوجين في سلسلة ريليس.....82

| | |
|----------|--|
| 85..... | 3.IV.د.بيانات الحفر (الابار) الهيدروليكي |
| 87..... | 3.IV.و.قطاع خنقة سيدي ناجي -زربية حامد |
| 88..... | 3.IV.ه.بئر خنقة سيدي ناجي |
| 90..... | 4.IV.عينات عن صخور المنطقة |
| 90..... | 5.IV.الشرائح الرقيقة |
| 94..... | 6.IV.الدراسة الجيوفيزيائية |
| 94..... | IV 6.ا. نتائج المسح الكهربائي العمودي |
| 96..... | IV 6.ب. نتائج التصوير المقطعي للمقاومية الكهربائية |
| 100..... | الخلاصة العامة |

فهرس الأشكال

- 7..... الشكل (01-I):الصخور المتحولة.
- 8..... الشكل(02-I):الصخور النارية.
- 9..... الشكل(03-I):الصخور الرسوبية.
- 9..... الشكل(04-I):الصخور الفتاتية.
- 9..... الشكل(05-I):الحجر الرملي.
- 10..... الشكل(06-I):الطين الزيتي.
- 10..... الشكل(07-I):الصوان.
- 11..... الشكل(08-I):الدولوميت.
- 11..... الشكل(09-I):خام الحديد.
- 11..... الشكل(10-I):الحجر الجيري.
- 12..... الشكل(11-I):ملح الصخور.
- 12..... الشكل(12-I):الطباشير.
- 13..... الشكل(13-I):الفحم.
- 13..... الشكل(14-I):الدياتوميت.
- 14..... الشكل(15-I):الفلدسبار.
- 15..... الشكل(16-I):الفخار.

- 16.....الشكل(17-I):الكالسييت
- 17.....الشكل(18-I):الكوارتز
- 22.....الشكل(01-II):الانتقالات الالكترونية المسببة لفلورة الأشعة السينية
- 23.....الشكل(02-II):الخطوط الطيفية والانتقالات التابعة لها في الذرة
- 26.....الشكل(03-II):صورة الجهاز المستعمل في تقنية فلورة الأشعة السينية
- 27.....الشكل(04-II):الشبكة البلورية والخلية
- 25.....الشكل(05-II):قرائن ميلر لبعض المستويات البلورية لخلية مكعبة
- 28.....الشكل(06-II):إنعراج الأشعة السينية
- 29.....الشكل(07-II):مخروط الإنعراج باستخدام شريط تسجيل حساس
- 30.....الشكل(08-II):صورة توضح الجهاز المستعمل في الدراسة
- 31.....الشكل(09-II):صورة توضح حامل العينة في جهاز إنعراج الأشعة السينية
- 33.....الشكل(10-II):المقارنة بين المخطط المحسوب والمخطط التجريبي حسب طريقة ريتفيلد
- 35.....الشكل(11-II):البحث عن القمم
- 36.....الشكل(12-II):تحديد القمم
- 37.....الشكل(13-II):القيام باجراء البحث وظبط المعاملات اذا لزم الامر
- 37.....الشكل(14-II):تحديد الاطوار البلورية
- 38.....الشكل(15-II):تحديد تراكيز الاطوار البلورية

- 40..... الشكل (16-II): رسم تخطيطي يبين اشكال اهتزازات التمدد
- 41..... الشكل (17-II): رسم تخطيطي يوضح اشكال اهتزازات الانحناء
- 41..... الشكل (18-II): رسم تخطيطي للهاز التوافقي
- 42..... الشكل (19-II): مخطط الجهاز
- 43..... الشكل (20-II): صورة للجهاز المستعمل في الدراسة
- 45..... الشكل (21-IV): الأدوات المستخدمة في تحضير العينات
- 46..... الشكل (22-IV): يوضح كيفية الحصول على قاعدة
- 47..... الشكل (23-IV): كيفية تعيم احد وجهي القاعدة
- 47..... الشكل (24-IV): يوضح طريقة لصق القاعدة على شريحة حامل العينة
- 48..... الشكل (25-IV): تسوية سطح القاعدة
- 49..... الشكل (26-II): الشريحة الرقيقة النهائية
- 50..... الشكل (27-IV): مبدا المسح الكهربائي العمودي
- 51..... الشكل (28-IV): مبدا التصوير المقطع للمقاومية الكهربائية
- 52..... الشكل (29-IV): جهاز قياس :جهاز قياس المقاومة
- 53..... الشكل (30-IV): عرض بيانات SEV في برنامج WinSev6
- 54..... الشكل (31-IV): برنامج ZondRes2D
- 62..... الشكل (01-III): مخطط انعراج الاشعة السينية للعينة R01

- 63.....الشكل(III-02):مخطط انعراج الاشعة السينية للعينه R02.....
- 64.....الشكل(III-03):مخطط انعراج الاشعة السينية للعينه R03.....
- 65.....الشكل(III-04):مخطط انعراج الاشعة السينية للعينه R04.....
- 66.....الشكل(III-05):مخطط انعراج الاشعة السينية للعينه R05.....
- 73.....الشكل(III-06):يوضح أطراف الامتصاص للاشعة تحت الحمراء لعينات الصخور.....
- 78.....الشكل(IV-01):الخريطة الجيولوجية للمنطقة.....
- 81.....الشكل(IV-02):مقطع خنقة سيدي ناجي.....
- 84.....الشكل(IV-03):الارتباط شرق غرب لسلسلة ريليسين فم الغرزة وخنقة سيدي ناجي.....
- 86.....الشكل(IV-04):خريطة توضح أماكن الحفر.....
- 87.....الشكل(IV-05):سجل الحفر لخنقة سيدي ناجي.....
- الشكل(IV-06):تشخيص السجل وتحديد التجمعات الرئيسية للواجهات الكهربائية لسلسلة النيوجين على الطرف الشرقي للحوض من بئر خنقة سيدي ناجي.....
- 89.....
- 90.....الشكل(IV-07):عينات الصخور لمنطقة الدراسة.....
- 91.....الشكل(IV-8):صور المجهر الضوئي للطبقة الرقيقة المأخوذة من العينه R01.....
- 92.....الشكل(IV-9):صور المجهر الضوئي للطبقة الرقيقة المأخوذة من العينه R02.....
- 93.....الشكل(IV-10):صور المجهر الضوئي للطبقة الرقيقة المأخوذة من العينه R03.....
- 93.....الشكل(IV-11):صور المجهر الضوئي للطبقة الرقيقة المأخوذة من العينه R04.....
- 94.....الشكل(IV-12):صور المجهر الضوئي للطبقة الرقيقة المأخوذة من العينه R05.....

الشكل (IV-13): المنحنى الناتج عن تقنية المسح الكهربائي العمودي 94

الشكل (IV-14): يوضح النماذج الثلاث الناتجة عن تقنية التصوير المقطعي للمقاومية الكهربائية 97

فهرس الجداول

- الجدول(01-II): يوضح مختلف المواد التي يمكن ان تستخدم كحامل 44
- الجدول(01-III): تراكيز الاكاسيد المتواجدة في عينات الصخور 57
- الجدول(02-III): تراكيزالعناصر الكيميائية المتواجدة في عينات الصخور 59
- الجدول(03-III): تحليل نتائج انعراج الاشعة السينية لعينات الصخور..... 67
- الجدول(04-III): النطاقات الرئيسية للامتصاص واهتزاز الروابط الظاهرة في عينات الصخور..... 74
- الجدول (1-IV): يوضح نتائج المقاومة بدلالة العمق 95
- الجدول(2-IV): بيانات الحقل والقيم المحسوبة 95

المقدمة العامة

منذ بداية التاريخ، ارتبط الإنسان ارتباطاً وثيقاً بالصخور، إذ وظّفها لصنع أدوات متنوعة تخدم احتياجاته اليومية، مثل السكاكين والأطباق وغيرها. وتنتشر الصخور في كل أرجاء الأرض، لكن الصحاري الشاسعة تحتضن كنوزاً فريدة من الموارد الطبيعية والمعادن ذات الأصول الجيولوجية المميزة. هذه الثروات، التي تم اكتشافها ورصدها بعناية، كانت موضوعاً لدراسات جيولوجية وجيومورفولوجية تهدف إلى فهم أنواعها وتكويناتها المختلفة [1]. تتألق الصخور بأطياف لا نهائية من الألوان، تتراوح بين البريق الساحر والظلال القاتمة الكثبية. يعود تنوع ألوانها المذهل إلى مجموعة من العوامل [2]. تُعد صخور القشرة الأرضية، المكونة أساساً من مزيج متنوع من المعادن، المصدر الأساسي للمعادن التي نعتمد عليها. وبموجب طريقة تكوّنها، يمكن تصنيف هذه الصخور إلى ثلاث فئات رئيسية: الصخور النارية، والصخور المتحولة، والصخور الرسوبية [3]. مثل الصخور النارية، تحتوي الصخور الرسوبية على مجموعة محدودة نسبياً من المعادن، أبرزها الكوارتز، الكربونات، الطين، والفلسبار. تُعد هذه المعادن ركيزة أساسية في العديد من المجالات الحيوية، حيث تساهم في دعم قطاعات البناء والصناعة، كذلك صناعة الإلكترونيات واشباه الموصلات، بالإضافة إلى صناعة الزجاج والسيراميك وتلعب دوراً محورياً في التكنولوجيا الزراعية إذ إن السيليكا تعزز نمو النباتات وتقاوم الأمراض باستخدام مساحيق السيليكا لصد الحشرات، أيضاً استخدامها في صناعة مستحضرات التجميل والطب إن يمكن توظيف السيلسيوم في الزراعات الطبية مثل المفاصل الصناعية. وحدثت استخدامات السيلسيوم: النانو سيلسيوم الذي يستخدم في تخزين الطاقة (بطريات ذات سعة عالية) إن يعتبر السيلسيوم المستخرج من الصخور هو عماد العديد من الصناعات الحديثة [4].

يُعد علم الصخور مجالاً مشوقاً لأنه يكشف أسرار الأرض وتاريخها الذي يمتد لمليارات السنين. في مجالات الجيوفيزياء والجيولوجيا وعلوم الأرض، تُستخدم دراسة الصخور لأغراض متعددة، مما يفتح آفاقاً جديدة للبحث والاكتشاف. على سبيل المثال، يمكن لعلم الصخور أن يساعد في فهم كيفية تشكل تضاريس معينة، أو تقييم استقرار منطقة ما من الناحية البيئية. كما يُساهم في الكشف عن مشكلات محتملة، مثل التلوث الإشعاعي أو مخاطر الانهيارات الأرضية، مما يجعله أداة حيوية لفهم كوكبنا وحماية بيئتنا [5]. تم تحليل خصائص الصخور باستخدام مجموعة واسعة من التقنيات المتطورة في مجالات علم المواد وفيزياء المواد [6-8].

تُدرس الخصائص الفيزيائية والبنوية للصخور من خلال تحليل البنية الدقيقة والبنية الكبيرة، حيث تعكس البنية الدقيقة التركيب المعدني والبلوري، بينما تصف البنية الكبيرة الخصائص البنيوية العامة والفيزيائية للصخور. [9, 10].

الكالسيت والأراجونيت والفاتريت هي ثلاثة أشكال بلورية مميزة من كربونات الكالسيوم (CaCO_3)، وهي تعتبر من أكثر المواد وفرة وانتشارًا على سطح الأرض [11]. على الرغم من مرور 95 عامًا على تحديد دبليو إل براج للبنية الأولى لكربونات الكالسيوم (CaCO_3) في عام 1924، إلا أن العلماء ما زالوا يواصلون دراسة الشكل المعيني المستقيم لهذه المادة [12]. يعود ذلك إلى وفرة الأراجونيت وانتشاره الواسع، فضلاً عن دوره المهم في الكيمياء الجيولوجية، خصوصًا في عملية التمدن الحيوي [13]. المجموعة الفراغية لبنية الكالسيت هي $R3c$ [14].

نظرًا للاهمية التي تتمتع بها الصخور على المستوى العالمي ولوفرتها وتنوعها بمنطقة خنقة سيدي ناجي بيسكرة، والتي لم يتم استغلالها على المستوى المحلي، ورفع المستوى الاقتصادي ارتأت دراستنا إلى دراسة الصخور المنطقة دراسة فيزيوكيميائية وبيولوجية وحيوفيزيائية، باستخدام مختلف التقنيات منها ماهو في المختبر ومنها ماتم على أرض الميدان عند نقطة أخذ العينات.

سعيًا في بحثنا هذا لثمين الموارد الطبيعية التي تزخر بها بلادنا، ونظرًا لقلّة الدراسات على صخور هذه المنطقة فنها تحتاج لمزيد من الدراسات والأبحاث، ومن هنا كانت الانطلاقة في دراستنا هذه.

فُسمت هذه الأطروحة لاربع فصول وخاتمة.

في الفصل الأول "عموميات حول الصخور" يحتوي على مجمل المعلومات الخاصة بالصخور، من تعريفاتها إلى تصنيفاتها ثم مكوناتها.

يليه الفصل الثاني "التقنيات والأجهزة المستعملة" يتناول جميع التقنيات المستعملة في هذه الدراسة والتي هي التقنيات الفيزيوكيميائية بداية بفلورة الأشعة السينية ثم إنعراج الأشعة السينية وصولًا إلى الأشعة تحت الحمراء بتحويل فوريي، ومن ثم التقنية الجيولوجية والتي هي تقنية الشرائح الرقيقة تليها تقنية جيوفيزيائية وهي قياس المقاومة أولاً عن طريق المسح الكهربائي العمودي ثانياً التصوير المقطعي للمقاومية الكهربائية، تناولنا في هذا الفصل جميع التقنيات المستعملة بما في ذلك مبادئها وأجهزتها وكيفية معالجة المعلومات الناتجة عنها والبرامج الحاسوبية المستخدمة.

أما الفصل الثالث "تحليل النتائج ومناقشتها" فتطرق فيه إلى نتائج التقنيات الفيزيوكيميائية المستخدمة ومناقشة كل منها على حدة، ومحاولة الربط بينها.

وأخيرا الفصل الرابع "الدراسة الجيولوجية" أين تطرقنا فيه إلى التعريف بمنطقة الدراسة وجيولوجيتها، وكذلك إلى العصور الجيولوجية، والتراكيب والطبقات الجيولوجية للمنطقة المدروسة ويليه نتائج التقنيات الجيولوجية والجيوفيزيائية ومناقشتها.

أختتمت هذه الأطروحة أخيرا بخاتمة تضمنت حوصلة لأهم النتائج المتحصل عليها، نبين فيها كيفية إستغلالها تطبيقيا، مع تقديم بعض التوصيات والآفاق المستقبلية.

المراجع

1. Nayak, P.S. and B. Singh, *Instrumental characterization of clay by XRF, XRD and FTIR*. Bulletin of materials science, 2007. **30**(3): p. 235-238..
2. Sabri, M.M., *Chemical and structural analysis of rocks using X-ray fluorescence and X-ray diffraction techniques*. ARO-The Scientific Journal of Koya University, 2020. **8**(1): p. 79-87.
3. Adekoya, J. *Negative environmental impact of mineral exploitation in Nigeria*. in *Proceedings of the regional training workshop on impact of human activities on the west African savanna, held at the federal university of technology, Akure, Nigeria. United nations educational, scientific and cultural organization-MAB Sponsored*. 1995.
4. King, H., *Mineral and chemical composition of pure limestone-Missouri Department of Natural Resources; 2005-2015*. Geology. com.
5. Al-Ghamdi, A., *X-ray diffraction and gamma-ray analysis of rock samples from Haradh Region in Saudi Arabia*. Journal of Radiation Research and Applied Sciences, 2019. **12**(1): p. 87-92.
6. Al-Yaseri, A.Z., et al., *Pore-scale analysis of formation damage in Bentheimer sandstone with in-situ NMR and micro-computed tomography experiments*. Journal of Petroleum Science and Engineering, 2015. **129**: p. 48-57.
7. Rahman, T., et al., *Influence of rock microstructure on its electrical properties: an analysis using x-ray microcomputed tomography*. Energy Procedia, 2017. **114**: p. 5023-5031.
8. Zandomeneghi, D., et al., *Quantitative analysis of X-ray microtomography images of geomaterials: Application to volcanic rocks*. Geosphere, 2010. **6**(6): p. 793-804.
9. Arif, M., et al., *Impact of solid surface energy on wettability of CO₂-brine-Mineral systems as a function of pressure, temperature and salinity*. Energy Procedia, 2017. **114**: p. 4832-4842.
10. Rahman, T., et al., *Residual trapping of supercritical CO₂ in oil-wet sandstone*. Journal of colloid and interface science, 2016. **469**: p. 63-68.
11. Bang, J.-H., et al., *Effects of sodium laurylsulfate on crystal structure of calcite formed from mixed solutions*. Journal of colloid and interface science, 2011. **356**(1): p. 311-315.
12. Bragg, W.L., *The structure of aragonite*. Proceedings of the Royal Society of London. Series A, Containing Papers of a Mathematical and Physical Character, 1924. **105**(729): p. 16-39.
13. Caspi, E.a.N., et al., *On the structure of aragonite*. Acta Crystallographica Section B: Structural Science, 2005. **61**(2): p. 129-132.

14. Maslen, E., V. Streltsov, and N. Streltsova, *X-ray study of the electron density in calcite, CaCO₃*. Acta Crystallographica Section B: Structural Science, 1993. **49**(4): p. 636-641.

الفصل الأول

عموميات حول الصخور

1. I. تمهيد

يُعد البحث عن مصادر المواد الخام أحد اهتمامات العلماء والباحثين، حيث تختلف أهمية هذه المواد بناءً على مكوناتها وتطبيقاتها المتنوعة، تُعد الصخور من بين أهم مصادر المواد الخام، فهي تشكل القشرة الأرضية والطبقات الداخلية، وتكتسب أهميتها نظراً لوفرتها الكبيرة في الطبيعة، تحتوي الصخور على العديد من المركبات التي تميز كل نوع منها عن الآخر، كما أن طبيعة العلاقة بين هذه المركبات تمنح الصخور خصائص فريدة تجعلها وحدة مستقلة بذاتها. في هذا السياق، سيتم التعرف على الصخور التي تمثل الحالة الصلبة للمادة، بالإضافة إلى كيفية تشكيلها وأنواعها، والتي سنستعرضها بشيء من التفصيل.

2. I. عموميات حول الصخور:

الصخور مادة صلبة ذات أصل طبيعي، تتكون عادة من الطبقات الأرضية. يفهم الكثيرون الاستخدام الواسع للصخور، المعروفة في كثير من الأحيان بالحجر، سواء كألواح كبيرة أو قطع للديكور أو البناء، أو لكليهما، وفي أحجام صغيرة تُستخدم كمواد للطرق أو في صنع الخرسانة. تتمثل الفوائد المرغوبة بشكل واضح - في الصلابة والمتانة، وفي بعض الحالات، في المظهر الجميل الذي لا يمكن تحقيقه بسهولة في المواد الأخرى المصنوعة من قبل الإنسان، والتي تعتمد بشكل كبير على الاعتماد على الحجر الطبيعي. يُمكن العثور على الصخور في عدد قليل من المحاجر البعيدة، وكذلك في ضفاف الأنهار والشواطئ، وأيضاً في التضاريس الجبلية والهضاب [1].

3. I. تصنيفات الصخور:

تعد صخور القشرة الأرضية، التي تتألف أساساً من مجموعة متنوعة من المعادن، تعد مصدراً للمعادن. وبناءً على كيفية نشأتها، يمكن تقسيمها عمومًا إلى ثلاث فئات: الصخور النارية والمتحولة والرسوبية [2]. على غرار الصخور النارية، تتألف الصخور الرسوبية من مجموعة محدودة إلى حد ما من المعادن، مثل الكوارتز والكربونات والطين والفلسبار. تلعب المعادن دوراً هاماً في دعم البنية التحتية، والصناعة، والتكنولوجيا الزراعية، ومنتجات التجميل [3].

I.3.أ. الصخور المتحولة:

هي الصخور التي تتشكل من الصخور النارية والرسوبية والمتحولة المتواجدة من قبل، نتيجة للتغيرات الكبيرة في درجات الحرارة والضغط، والإجهاد القصي، والظروف الكيميائية في عمق القشرة الأرضية، تحدث هذه التحولات استجابةً لتأثيرات مختلفة، مثل التحول الحراري الناتج عن التداخل الناري، والتحول الديناميكي الناتج عن الضغوط الموضعية الشديدة الذي ينجم عنه تفتت في الصخور وبحيث تكون في الغالب حبيباتها دقيقة للغاية. يُشار إلى المناطق الواسعة التي تتأثر بضغوط موجهة وإجهاد القص، وتشهد تغيرات كبيرة في درجات الحرارة والضغط باسم التحول الإقليمي [1].



الشكل (I-01): الصخور المتحولة

I.3.ب. الصخور النارية:

تُعتبر الصخور النارية صخورًا ناتجة عن الصهارة، مما يعني أنها تتكون من سائل منصهر يتجمد ويتبلور فيما بعد، وهو ما يميزها عن أنواع الصخور الأخرى. باستثناء بعض الصخور الزجاجية أو غير المتبلورة، فإن الصخور النارية تكون بلورية في الغالب، وتتكون بشكل رئيسي من السيليكات أو السيليكات. تتميز الصخور النارية بقوام أقل تنوعًا مقارنة بالرواسب، ويتأثر هذا القوام بمحتوى الصهارة وطريقة عبورها، سواء كانت منصهرة أو شبه منصهرة، ولكن غالبًا ما يكون ذلك نتيجة سرعة التبريد. تُعتبر فكرة "التطور الصهاري" أفضل وسيلة لوصف العوامل الوراثية التي تنظم التركيب الكيميائي والمعدني للصخور النارية، مما يشكل الأساس لتصنيفها، بالإضافة إلى الروابط الفطرية التي تجمع بينها [4].



الشكل (I-02): الصخور النارية [4]

I. 3. ج. الصخور الرسوبية:

تُعد الصخور الرسوبية أكثر تعقيداً في تعريفها نظراً للاختلاف الكبير بين طريقة نشأتها وطبيعة المواد التي تتكون منها. عمومًا، يمكن تصنيفها إلى مجموعتين رئيسيتين: الرواسب الفتاتية والرواسب الكيميائية، حيث تشمل الرواسب الكيميائية أيضًا الرواسب البيوكيميائية أو العضوية. تشكل الشظايا المحطمة (النسيج الفتاتي) الناتجة عن الصخور الموجودة مسبقًا أو من المنتجات الثانوية الصلبة التي تتكون أثناء التجوية الكيميائية لهذه الصخور، والتي تم نقلها فعليًا إلى مناطق ترسبها، غالبية الصخور المجزأة أو الفتاتية. أما بالنسبة للصخور الرسوبية الكيميائية، فتتكون غالبية المواد العضوية أو غير العضوية من خلال الترسيب المباشر من محلول أو تعليق غرواني، وعادة ما تكون لها بنية غير فتاتية، وغالبًا ما تكون بلورية.

قد تحتوي بعض الصخور الفتاتية على محتوى غير فتاتي كبير، والعكس صحيح. وفي النهاية، تخضع الرواسب لتغيرات فيزيائية وكيميائية بعد تكوينها، مما يؤدي إلى تعديل المعادن والنسيج والهياكل الأصلية بشكل كبير. تُعرف هذه التغيرات بالتغيرات التشخيصية، التي تحدث تحت درجات حرارة وضغوط قريبة من السطح، مما يؤدي في النهاية إلى التحجر [1].



الشكل (I-03): الصخور الرسوبية [3]

أنواع الصخور الرسوبية تشمل [4]:

***الفتاتية:** تتكون من شظايا صخرية ناتجة عن تآكل الصخور الأخرى، مثل:

الصخور الرسوبية المتكتلة: تتكون من شظايا صخرية أو حصى مستديرة مرتبطة ببعضها البعض بمادة لاحمة. تتشكل هذه

الصخور في بيئات ذات طاقة عالية مثل الأنهار السريعة والجداول، حيث يمكن أن يتم نقل الحصى والصخور الكبيرة.



الشكل (I-04): الصخور الفتاتية [4]

الحجر الرملي: يتكون من جزيئات الرمل التي تكون مرتبطة ببعضها البعض بواسطة مادة لاحمة مثل السيليكات أو

كربونات الكالسيوم. الحجر الرملي شائع في البيئات الصحراوية أو البحرية، ويُستخدم في البناء لصلابته ومتانته.



الشكل (I-05): الحجر الرملي [4]

الطين الزيتي: يتكون من جزيئات دقيقة جداً مثل الطين أو الغرين، وهو يتميز بقدرته على الانقسام إلى طبقات

رفيقة. يتشكل الطين الزيتي في بيئات مائية هادئة مثل البحيرات والبحار، وهو غني بالمواد العضوية وغالباً ما يحتوي على بقايا كائنات

بحرية دقيقة.



الشكل (I-06): الطين الزيتي [4]

هذه الأنواع تختلف في نسيجها وحجم جزيئاتها، مما يؤثر على خصائصها الفيزيائية والبيئية.

***الصخور الرسوبية الكيميائية:** تتشكل نتيجة لترسب المعادن المذابة من المحاليل.

وعلى سبيل المثال:

الصوان: هو صخر رسوبي متماسك، يتميز بصلابته ولونه الرمادي أو الأسود. كان يُستخدم في العصور القديمة لصناعة

الأدوات الحادة مثل رؤوس الأسهم والأدوات القاطعة نظراً لمتانته وقدرته على الاحتفاظ بحافة حادة.



الشكل (I-07): الصوان

الدولوميت: صخر رسوبي يتكون من معدن الدولوميت (كربونات الكالسيوم والمغنيسيوم). يُستخدم في العديد من

الصناعات مثل صناعة الأسمنت والخرسانة، كما يدخل في إنتاج الزجاج والسيراميك.



الشكل (I-08): الدولوميت

خام الحديد: مادة طبيعية تُستخرج من الصخور وتحتوي على نسبة عالية من الحديد، وتُعتبر المصدر الرئيسي لإنتاج

الحديد الصلب المستخدم في العديد من الصناعات مثل البناء وصناعة الآلات والسيارات.



الشكل (I-09): خام الحديد

الحجر الجيري: صخر رسوبي يتكون أساسًا من كربونات الكالسيوم. يُستخدم في مجموعة متنوعة من التطبيقات

الصناعية مثل تصنيع الجير، إنتاج الأسمنت، وفي البناء كمواد للتكسية والديكور.



الشكل (I-10): الحجر الجيري

ملح الصخور: يُعرف أيضاً بالملح الصخري، وهو معدن يتكون بشكل رئيسي من كلوريد الصوديوم. يُستخرج من

المناجم ويُستخدم بشكل رئيسي كملح الطعام، كما يدخل في بعض العمليات الصناعية مثل تصنيع المواد الكيميائية وكمزيج للجليد في الطرق.



الشكل (11-I): ملح الصخور

الصخور الرسوبية العضوية: تتشكل نتيجة تراكم بقايا النباتات أو الحيوانات. مثل:

الطباشير: نوع من الحجر الجيري الناعم، يتكون أساساً من كربونات الكالسيوم. ينشأ نتيجة تراكم بقايا الكائنات

البحرية الدقيقة مثل الطحالب الجيرية على قاع البحار والمحيطات.



الشكل (12-I): الطباشير

الفحم: صخر رسوبي عضوي يتكون من تحلل النباتات القديمة في بيئات رطبة وخالية من الأكسجين مثل المستنقعات.

يتحول تدريجيًا إلى الفحم بمرور الزمن تحت ضغط وحرارة عالية.



الشكل (I-13): الفحم

الدياتوميت: صخر رسوبي خفيف يتكون من تراكم بقايا الدياتومات، وهي نوع من الطحالب الدقيقة ذات القشور

المصنوعة من السيليكا. يستخدم في العديد من التطبيقات الصناعية مثل الفلتر.



الشكل (I-14): الدياتوميت

4.I. تكوين الصخور الرسوبية:

الصخور الرسوبية تحتوي بشكل رئيسي على الفلسبار والطين والكربونات والكوارتز، حيث تكون هذه المعادن هي

السمات البارزة في تكوينها [6].

I. 4. أ. الفلدسبار:

الفلدسبار هو فئة من معادن سيليكات الألومنيوم التي تحتوي على عناصر البوتاسيوم، الصوديوم، والكالسيوم بشكل

رئيسي، مع وجود الباريوم والسيزيوم بشكل نادر أو متقطع. هذه العناصر تشكل تركيبات بلورية، ولكن قد توجد أيضًا في بعض

الأحيان بأشكال غير متبلورة. الفلدسبار يُعد مكونًا شائعًا في قشرة الأرض ويُستخدم في صناعات متعددة مثل الزجاج والسيراميك [7]. إن وجود شحنات سطحية والاختلافات داخل الشبكة البلورية في معادن الفلسبار ينتج عن استبدال Al-Si بنسب متفاوتة في رباعي السطوح السيليكات. هذا الاستبدال يؤدي إلى عدم توازن في الشحنات الكهربائية، مما يسبب ظهور شحنات على سطح البلورة. هذه الظاهرة شائعة بين أعضاء عائلة الفلسبار المعدنية، حيث يؤثر تركيبها الكيميائي على توزيع الشحنات الكهربائية وخصائصها البلورية [8].



الشكل (I-15): الفلدسبار

I.4.ب. فخار:

المعادن السيليكاتية الأخرى الموجودة على سطح الأرض، والتي تنتمي إلى مجموعة المعادن الطينية، تخضع عادة لعمليات التجوية الكيميائية، مما يؤدي إلى تكوين السيليكات الرقائقية. هذه العملية تتسبب في تكسير البنية البلورية للمعادن، مما ينتج صفائح رقيقة من السيليكات التي تُستخدم في العديد من التطبيقات الصناعية مثل مواد البناء والطلاء والمنتجات الزراعية. غالبًا ما يتم تقسيم المعادن الطينية إلى ثلاثة أنواع من الطبقات بناءً على ترتيب وكمية الصفائح الرباعية السطوح والثمانية السطوح في بنيتها الأساسية [13]. تبعًا لخصائص نوع الطبقة (1:1 أو 2:1) وحجم شحنة الطبقة الصافية (x) لكل وحدة صيغة ونوع الطبقات البينية، يمكن كذلك تصنيف معادن الطين إلى سبع مجموعات: الكاولين - السربنتين، التلك البيروفيليت، السميكتايت، الفيروميكلويت، الميكا، الكلوريت، ومعادن الطين المتداخلة [14].

للمعادن الطينية ذات الطبقات استخدامات متعددة نظرًا لانتشارها الواسع وتفاعلاتها المتنوعة في الطبيعة. اعتمادًا على بنية الطبقة وخصائصها الفريدة [15, 16]، بفضل خصائص الطبقات وهيكلها المميز، مثل المساحة السطحية العالية، وسعة التبادل الأيوني، وقدرتها على الترطيب، تُستخدم المعادن الطينية على نطاق واسع في عدة صناعات. تشمل هذه الصناعات صناعة السيراميك، مواد البناء، حفر النفط، المستحضرات الصيدلانية، صناعة الورق، قوالب الصب، بالإضافة إلى استخدامها كمحفزات، أو داعمات للمحفزات، مبادلات أيونية، وعوامل لإزالة اللون. [17, 18]

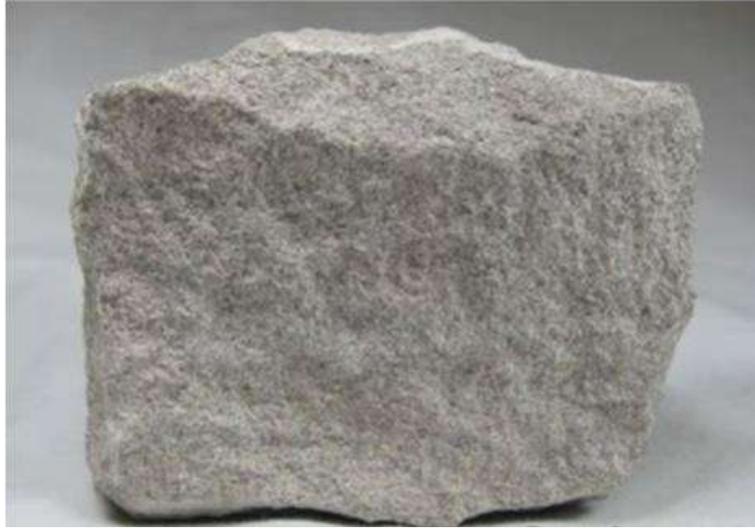


الشكل (I-16): فخار

I.4.ج. كربونات الكالسيوم (الكالسيت)

كربونات الكالسيوم (CaCO_3) تعتبر واحدة من أكثر المواد انتشارًا في العالم، وتظهر في أشكال بلورية متنوعة مثل الكالسيت والأراجونيت والفاثيريت [19]. منذ تحديد براج للشكل المعيني القائم لبنية كربونات الكالسيوم CaCO_3 لأول مرة في عام 1924، استمر الاهتمام البحثي بهذا المركب لمدة 95 عامًا، وذلك بسبب توافر الأراجونيت على نطاق واسع ودوره الحيوي الهام في الكيمياء الجيولوجية، خاصة في عمليات التمعدن الحيوي [20].

تتبنى المجموعة الفضائية لبنية الكالسيت شكل R3C [21]، الكالسيت هو معدن يمكن العثور عليه في التمعدن الحراري المائي والثانوي، وأيضاً في الصخور المتحولة والنارية، ويحمل أهمية كبيرة في السياقات الرسوبية. نظراً لتواجدهما الواسع في السياقات الجيولوجية، تُستخدم الأراجونيت والكالسيت كمركبات نموذجية على نطاق واسع في دراسة الأصول البنيوية للتباين البصري [22]. هذه المعادن، التي تشبه الكالسيت، تُستخدم كنماذج لفهم تكوين البنية والتفاعلات الكيميائية في ظروف جيولوجية مختلفة [20].



الشكل (I-17): الكالسيت

I.4.d. الكوارتز

تكوين الكوارتز داخل الأرض هو موضوع يثير الاهتمام والنقاش في مجال الجيولوجيا، نظراً لأن الكوارتز (SiO_2) يشكل من السيليكون والأكسجين، وهما العنصرين الأكثر شيوعاً في قشرة الأرض [23]. الكوارتز يعد ثاني أكثر المعادن شيوعاً في القشرة الأرضية بعد سيليكات الألومنيوم، التي تستخدم في تكوين الصخور الرسوبية. كأمثلة على الصخور ذات المحتوى العالي من الكوارتز الحجر الرملي والكوارتزيت. بالإضافة إلى ذلك، تحتوي الصخور النارية على كميات كبيرة من الكوارتز. يُلاحظ أن الكوارتز هو معدن عازل بمقاومة كهربائية عالية جداً [24].

هناك مرحلتان رئيسيتان متعددتا الأشكال للكوارتز: الكوارتز ألفا (α -quartz) والكوارتز بيتا (β -quartz) [25]. يتم تكوين الكوارتز عند درجات حرارة مختلفة، حيث تتشكل من الصهارة المنصهرة عند درجة حرارة تصل إلى 800 درجة مئوية،

وتظهر أيضاً في الأوردة الحرارية المائية تحت السطح عند درجات حرارة تتراوح بين 250 و450 درجة مئوية. يمكن العثور على الكوارتز في الصخور والتربة والرمال، وهو يلعب دوراً هاماً في تركيب القشرة الأرضية [26].

الكوارتز (SiO_2) يظهر تشابهاً كيميائياً عالياً جداً مع السيليكون والأكسجين، مما يعني أنه يمكن إدخال عدد قليل من العناصر فقط إلى الشبكة البلورية للكوارتز. هذا التشابه الكيميائي العالي يجعل الكوارتز مادةً صخرية متفردة تتألف بشكل رئيسي من السيليكون والأكسجين [27].

نظراً للوفرة الكبيرة للكوارتز في الصخور الرسوبية والناوية والمتحولة، قد تمت محاولات عديدة لاستخدام العناصر النزرة في التفسيرات الجينية، ولكن بسبب التشابه الكيميائي الكبير، يكون التأثير غالباً ضعيفاً وصعب التمييز [28].

يتم استخدام الكوارتز بشكل واسع في صناعات متنوعة، حيث يتم استخراج الرمال والحصى المصنوعة من الكوارتز لاستخدامها في عمليات التكسير الهيدروليكي، وصناعة الزجاج، والتآكل والمسابك. بالإضافة إلى ذلك، يُجرى البحث عن ألواح الكوارتز أحادية البلورة التي تم معالجتها بدرجة عالية لتلبية متطلبات التطبيقات ذات القيمة العالية، مثل الإلكترونيات الدقيقة والاتصالات السلكية واللاسلكية [29].



الشكل (I-18): الكوارتز

5.1. خصائص الصخور (اللونية):

اللون يعتبر واحداً من أبرز خصائص الصخور، وفي الوقت نفسه يعتبر من الخصائص الصعبة قياسها وتقييمها بدقة. قد لا يكون للتغيرات في اللون دائماً أهمية ميكانيكية، حيث يمكن أن تكون نتيجة لتغيرات طفيفة في تركيب كيمياء الصخور. ومع ذلك، يمكن استخدام اختلافات الألوان أحياناً لتمييز طبقات محددة، مما يساهم في الربط الطبقي.

يمكن وصف اللون باستخدام مصطلحات القيمة والكروم لوصف السطوح الصخرية. "القيمة" تشير إلى درجة اللون أو فاتحه، بينما "الكروم" يعبر عن كمية اللون المتواجدة. يتم قياس هذه الخصائص بشكل أكثر دقة باستخدام المصطلحات التي تشمل "الدرجة" (المزيج من الألوان الأساسية) و"التشبع" و"العمق".

مخطط الألوان هو مصدر حديث لتسمية الألوان الصخرية الصادر عن الجمعية الجيولوجية الأمريكية في عام 1963، والذي استند إلى مونسيل للألوان في عام 1941. يقوم العديد من الباحثين بتحليل نماذج الألوان للصخور بشكل تفصيلي، حيث يمكن استخدام هذه التقنيات لتحديد التركيب الحجمي المعدني باستخدام صور مجهرية للصخور [4].

المراجع

1. Dearman, W., *The characterization of rock for civil engineering practice in Britain*. Annales de la Société géologique de Belgique, 1974.
2. Adekoya, J. *Negative environmental impact of mineral exploitation in Nigeria*. in *Proceedings of the regional training workshop on impact of human activities on the west African savanna, held at the federal university of technology, Akure, Nigeria*. United nations educational, scientific and cultural organization-MAB Sponsored. 1995.
3. King, H., *Mineral and chemical composition of pure limestone-Missouri Department of Natural Resources; 2005-2015*. Geology. com.
4. Franklin, J.A., *Classification of rock according to its mechanical properties*, 1970, University of London.
5. King, H.M., *Interpretation and closure in the historical geology laboratory*. Journal of College Science Teaching, 1997. **26**(5): p. 329.
6. Penuel, B., et al., *X-Ray Diffraction Characterization of Sedimentary Rocks in Demsa Local Government Area of Adamawa State, Nigeria*. Current Journal of Applied Science and Technology, 2017. **24**(2): p. 1-9.
7. Heyes, G., et al., *Review of flotation of feldspar*. Mineral Processing and Extractive Metallurgy, 2012. **121**(2): p. 72-78.
8. Papike, J.J. and M. Cameron, *Crystal chemistry of silicate minerals of geophysical interest*. Reviews of Geophysics, 1976. **14**(1): p. 37-80.
9. Tanner, A.O., *Feldspar and nepheline syenite*. Minerals Yearbook, Metals and Minerals, 2010.
10. Hu, B., et al., *Distribution of potash feldspar resources in China and its exploitation*. Geology of Chemical Minerals, 2005. **27**(1): p. 25-32.
11. Qifeng, Z., et al., *Mineralogy and significance of micas and feldspars from the Koktokay No. 3 pegmatitic rare-element deposit, Altai*. Acta Petrologica Sinica, 2013. **29**(9): p. 3004-3022.
12. Akkal, R. and M. Ouldhamou. *Comparative study of mineral processing applied to the local feldspar's assessment*. in *Proceedings of the 24th International Mining Congress of Turkey, IMCET 2015*. 2015.
13. Barton, C. and A. Karathanasis, *Clay Minerals: Encyclopedia of Soil Science*. Rattan Lal, comp., ed. Marcel Dekker: New York, USA, 2002: p. 187-192.
14. Martin, R., et al., *Report of the clay minerals society nomenclature committee: revised classification of clay materials*. Clays and Clay Minerals, 1991. **39**(3): p. 333-335.
15. Isabel Carretero, M. and G. Lagaly, *Clays and health: An introduction*. Applied clay science, 2007. **36**(1): p. 1-3.
16. Vaccari, A., *Preparation and catalytic properties of cationic and anionic clays*. Catalysis today, 1998. **41**(1-3): p. 53-71.

17. Choy, J.-H., et al., *Clay minerals and layered double hydroxides for novel biological applications*. Applied clay science, 2007. **36**(1-3): p. 122-132.
18. Ding, Z., et al., *Porous clays and pillared clays-based catalysts. Part 2: a review of the catalytic and molecular sieve applications*. Journal of Porous Materials, 2001. **8**: p. 273-293.
19. Bang, J.-H., et al., *Effects of sodium laurylsulfate on crystal structure of calcite formed from mixed solutions*. Journal of colloid and interface science, 2011. **356**(1): p. 31.315-1
20. Caspi, E.a.N., et al., *On the structure of aragonite*. Acta Crystallographica Section B: Structural Science, 2005. **61**(2): p. 129-132.
21. Maslen, E., V. Streltsov, and N. Streltsova, *X-ray study of the electron density in calcite, CaCO₃*. Acta Crystallographica Section B: Structural Science, 1993. **49**(4): p. 636-641.
22. Antao, S.M. and I. Hassan, *Temperature dependence of the structural parameters in the transformation of aragonite to calcite, as determined from in situ synchrotron powder X-ray-diffraction data*. The Canadian Mineralogist, 2010. **48**(5): p. 1225-1236.
23. Hemley, R.J., C.T. Prewitt, and K.J. Kingma, *High-pressure behavior of silica*. Reviews in Mineralogy, 1994. **29**: p. 41-41.
24. Parkhomenko, E.I., *Electrification phenomena in rocks* :013Springer Science & Business Media.
25. Spearing, D.R., I. Farnan, and J.F. Stebbins, *Dynamics of the α - β phase transitions in quartz and cristobalite as observed by in-situ high temperature ²⁹Si and ¹⁷O NMR*. Physics and Chemistry of Minerals, 1992. :19 p. 307-321.
26. Mason, B. and L.G. Berry, *Elements of mineralogy*. 1968.
27. Lehmann, K., et al., *Growth related zonations in authigenic and hydrothermal quartz characterized by SIMS-, EPMA-, SEM-CL-and SEM-CC-imaging*. Mineralogical Magazine, 2009. **73** :(4)p. 633-643.
28. Lyakhovich, V., *Trace elements in rock-forming minerals of granitoids*. Izd. Nedra, Moscow, 1972. **200**.
29. Carretero-Genevrier, A., et al., *Soft-chemistry-based routes to epitaxial α -quartz thin films with tunable textures*. Science, 20 :(6134)340 .13p. 827-831.

الفصل الثاني

التقنيات والأجهزة المستعملة

1.II. تمهيد:

ستتطرق في القسم الفيزيوكيميائي من هذا الفصل الى: ذكر مختلف التقنيات والأجهزة المستعملة حيث قمنا باستعمال مطيافية فلورة الاشعة السينية , انعراج الاشعة السينية , مع التفصيل في شرح مبدا تشغيل برنامج الهاي سكور وكيفية معالجة بيانات حيود الاشعة السينية , التحليل الطيفي للاشعة الحمراء لتحويل فورييه وفي القسم الجيولوجي من هذا الفصل سيتم تناول تقنية الشرائح الرقيقة , وقياس المقامية عن طريق المسح الكهربائي العمودي, والتصوير المقطعي للمقاومية الكهربائية. مع بعض الشرح للبرمجيات الحاسوبية المستخدمة لمعالجة نتائج المقاومة الكهربائية.

2.II. التقنيات والأجهزة المستعملة:**2.II.أ. مطيافية فلورة الاشعة السينية:**

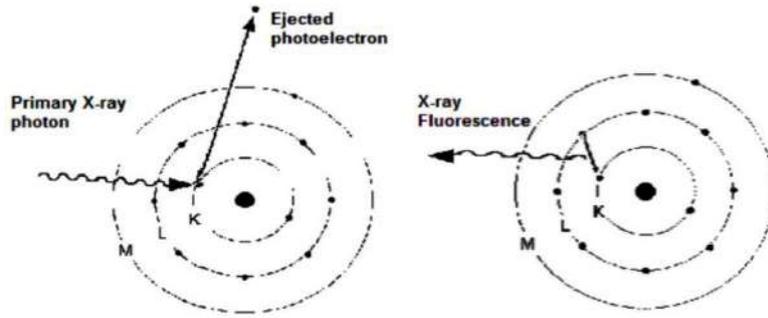
الفلورة هي ظاهرة تحدث عند تعرض مواد معينة للأشعة السينية. تتمثل العملية في امتصاص الذرات لطاقة الأشعة السينية الواردة، مما يثيرها إلى مستويات طاقة عالية. عندما تكون الطاقة الناتجة من الأشعة السينية كافية، تتجاوز الذرات هذه الحالة المثارة وتعود إلى حالتها الأساسية.

أثناء هذه العملية، يتم إطلاق طاقة مشعة مميزة للعنصر المكون للمادة. يُستخدم تحليل هذا الإشعاع للتعرف على التركيب الكيميائي للمواد والعناصر المكونة لها. تقنية فلورة الأشعة السينية تُعد واحدة من أبسط أساليب التحليل الطيفي وتتميز بالدقة في تحديد التركيب الكيميائي.

يُعد استخدام فلورة الأشعة السينية في المختبرات من أهم التقنيات، حيث يمكنها الكشف عن معظم العناصر في الجدول الدوري. بالإضافة إلى ذلك، تعتبر تقنية تحليل غير هدامة، حيث يمكنها الكشف عن التركيب الكيميائي دون أن تؤثر على النماذج المدروسة. يُمكن استخدامها لقياس كميات صغيرة بدقة عالية، حيث يمكنها الوصول إلى حدود القياس تقارب جزءاً من المليون [1].

II.1.2.أ.المبدأ الأساسي لظاهرة فلورة الأشعة السينية [2, 3]:

تتطلب ظاهرة الفلورة توفر مصادر طاقة عالية، وتعرف هذه المصادر بالأشعة السينية الأولية. يقوم هذا النوع من الإشعاعات بإخراج إحدى الكتلونات الطبقات الداخلية للذرة، مما يترك وراءه فجوة إلكترونية.



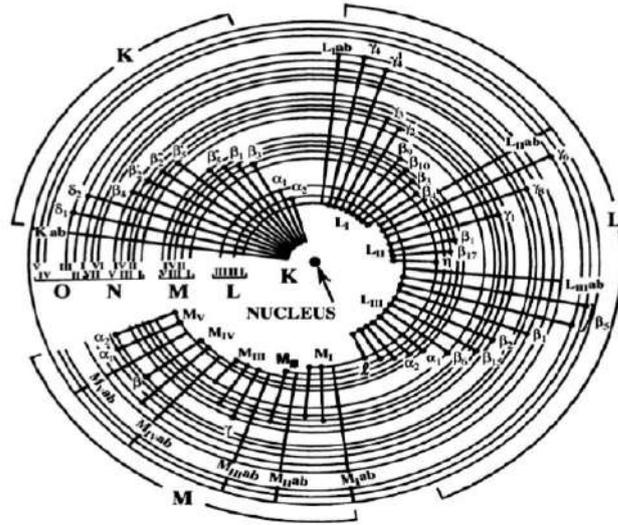
الشكل (1-II): الانتقالات الإلكترونية المسببة لفلورة الأشعة السينية [2]

نتيجة لذلك، يصبح تشكيل الإلكترونات في ذرات المادة غير مستقر. ولكي تستعيد الذرات استقرارها الأساسي، يقوم أحد الكتلونات الطبقات الخارجية بملاء المكان الشاغر الناتج عن إزالة الإلكترون الداخلي. يترافق هذا العمل بإطلاق إشعاع سيني مميز.

يتوقف طول الموجة لهذا الإشعاع المميز على فارق الطاقة بين المستويين الإلكترونيين الأساسي والنهائي، حيث يُمثل الفارق بين طاقة المستوى النهائي (E_2) والمستوى الأساسي (E_1).

$$E = E_2 - E_1 \quad (1-II)$$

تُحدد الأشعة السينية الصادرة بناءً على الطبقة التي تم إطلاق الإلكترون منها باستخدام الأشعة السينية الأولية، وكذلك الطبقة التي حدثت فيها الانتقالات الإلكترونية لاحقاً. فإذا انتقل الإلكترون من السوية L إلى السوية K يبعث أشعة ذات تردد يدعى تردد الخط K_{β} الشكل يوضح الخطوط الطيفية والانتقالات التابعة لها.



الشكل (II-2): الخطوط الطيفية والانتقالات التابعة لها في الذرة [2]

يتغير مقدار الطاقة الناتجة عن هذه الانتقالات بين الذرات لكل عنصر، وهذا يتعلق بالعدد الذري للعنصر. بالتالي، يمكن استغلال هذه الخاصية للتمييز بين العناصر الكيميائية المختلفة أو الاستنتاج حول طبيعة العناصر المكونة لمادة غير معروفة.

II.2. أ. جهاز الفلورة:

على الرغم من التصميمات المتنوعة لأجهزة الفحص بالأشعة السينية، يظهر وجود تشابه في ثلاثة أقسام رئيسية، وهي مصادر الإمداد بالأشعة السينية الأولية ووحدة وضع العينة والكاشف. يمكن تفصيل هذه الأقسام على النحو التالي:

i. مصادر الأشعة السينية الأولية [4]:

تتوفر مجموعة متنوعة من وحدات الإمداد بالأشعة الأولية التي توفر طاقات كافية للكشف عن جميع العناصر الموجودة في المادة قيد الدراسة. والتي هي:

- **أنبوب الأشعة السينية:** يعتبر من مصادر الإشعاع الأكثر شيوعاً، حيث يقوم بإرسال توزيع واسع لطاقات الأشعة السينية بشدة عالية. يُستخدم هذا الأنبوب لإنتاج وتعديل الأشعة السينية الأولية التي تُنبعث منه قبل أن تتفاعل مع المادة المراد فحصها. تتنوع المواد المستخدمة في تصنيع أنبوب الأشعة السينية، بما في ذلك المرشحات والأهداف المعدنية، وذلك لضبط وتحسين الأشعة السينية الأولية المنبعثة.

- **الأهداف الثانوية:** المدججة مع أنبوب الأشعة السينية تسمح بإنتاج أشعة سينية أحادية اللون، والتي يمكن أن تتفاعل مع العينة بطريقة تسمح باختيار مادة معينة كهدف. يتم اختيار هذه المادة بناءً على خصائص نموذجية تجعلها قادرة على إثارة أي عنصر أو عناصر متوقع وجودها في العينة.
- **المصادر المشعة:** تأتي في شكل كبسولات صغيرة محكمة الإغلاق، وتحتوي على كمية مناسبة من النظير المشع. يُستخدم هذا النوع من المصادر لإرسال إشعاعات بطاقات متقطعة، مما يتيح لها التفاعل مع المواد المستهدفة. في العملية، يتم استخدام مصادر مشعة متنوعة لتحقيق طاقات مختلفة للأشعة السينية، وهذا يتم بطرق تسمح بتحقيق تأثير محدد لاختيار العناصر المتوقعة وجودها في العينة.

ii. الكاشف:

مبدأ عمل الكاشفات يعتمد على كيفية تفاعل المادة المستخدمة في الكاشف مع الإشعاع. تقوم الأشعة بتأين أو إثارة الذرات أو الجزيئات في مواد الكاشف. عند مرور الإشعاع في المادة، يحدث تأين في الكواشف الغازية وتوليد لأزواج إلكترونية أيونية، بينما في الكواشف الشبه موصلة يحدث تأين تجويفي للإلكترونات.

يعتبر التأين من أكثر التفاعلات انتشاراً، ويتم قياس الإشعاع عن طريق قياس التيار الكهربائي الناتج عن التأين في مادة الكاشف. يحتوي معظم الكواشف على دائرة كهربائية لقياس هذا التيار، ويمكن أن يكون هذا التيار عبارة عن نبضات أو تيار مستمر.

توجد مجموعة واسعة من أجهزة الكشف التي تم تصميمها للتعامل مع مختلف أنواع العينات وتحليلها بناءً على التأثيرات المختلفة للإشعاع على مواد الكاشف.

iii. حامل العينة:

تتوفر حوامل مخصصة للعينات تُستخدم لتحليل المواد، وهي مصممة لتتوافق مع الجهاز بشكل مثالي.

II.2. أ.3. التحليل النوعي والكمي:

❖ التحليل النوعي:

تم في هذه العملية اكتشاف العناصر الداخلة في تركيب المادة أو مزيج المواد المكونة للعينات المراد دراستها، دون التعرض للكمية أو النسبة لهذه المكونات. يعتبر هذا الإجراء بسيطاً من حيث المبدأ، حيث يعتمد على قياس طاقة الأشعة السينية المميزة التي تنبعث من ذرة العينة بعد عملية الفلورة. يتم تحليل النوعية من خلال تحديد طاقات الخطوط المميزة انطلاقاً من مخطط طيف العينة المدروسة، ويتم ذلك بمقارنتها مع طاقات الخطوط المميزة لكل عنصر، والتي تم تحديدها وجدولتها مسبقاً لتسهيل استخدامها بشكل مباشر.

❖ التحليل الكمي:

تحليل العناصر الكمي يساعدنا في تحديد كمية كل عنصر في التركيب المادة المدروسة. يقدم هذا التحليل بيانات دقيقة حول العناصر التي تشكل العينة، حيث تكون كثافة كل انبعاث ذات صلة مباشرة بكمية كل عنصر في المادة. يعتمد التحليل الكيميائي على وجود عينة مرجعية معروفة، حيث يمكن حساب التركيز باستخدام العلاقة بين شدة الإصدار وتركيز العناصر في العينة والمرجع [2].

يتمثل المفتاح في وجود عينة مرجعية معلومة، ومن خلال قياس شدة الإصدار لكل من العينة والمرجع، يمكننا حساب تركيز العناصر في العينة المدروسة انطلاقاً من العلاقة $\frac{C_{st}}{C_{ech}} = \frac{I_{st}}{I_{ech}}$ هذا يوفر لنا تحليلاً دقيقاً لتكوين العينة، مما يساعد في تحديد مقادير العناصر بدقة وفهم أفضل لتكوين المادة المدروسة.

$$C_{ech} = C_{st} \frac{I_{ech}}{I_{st}} \quad (2-II)$$

II.2.أ.4. جهاز فلورة الأشعة السينية المستعمل في القياس:

تم استخدام جهاز التحليل بالتشتت الطيفي للأشعة السينية (EDXRF) (S2PUMA-BRUKER) لتحليل عينات العناصر. يتم وضع العينة في منطقة القياس التي تحتوي على فتحة صغيرة داخل غرفة العينة. تم تصميم غرفة العينة والستارة لأنبوب الأشعة السينية في الجهاز (S2PUMA) بحيث تمنع فقدان الأشعة السينية من الجهاز. يستخدم الجهاز مصدر البلاديوم لتوليد الأشعة السينية، مع نطاق جهد تطبيق يصل إلى 50 كيلو فولت، ويتم تحديد نقاط التركيز تلقائياً من 0.3 إلى 10 ملم عبر استخدام كاشف الدفع السليكوني، مع خيار الفراغ والنتروجين والهليوم والهواء كأجواء لغرفة العينة.



الشكل (II-03): صورة الجهاز المستعمل في تقنية فلورة الأشعة السينية

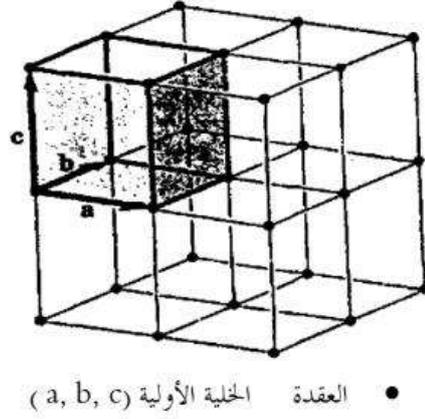
II.2.ب. إنعراج الأشعة السينية XRD:

II.2.ب.1. أساسيات التقنية:

i. البنية البلورية [5] :

من المعروف أن هناك ارتباطاً قوياً بين الخواص الفيزيائية والكيميائية للأجسام الصلبة المتبلورة وترتيب الذرات في الشبكة البلورية. يمكن تصوّر هذه البلورات على أنها هياكل مرتبة في شكل شبكة فراغية، حيث يتم توزيع ذرة أو مجموعة ذرات في كل

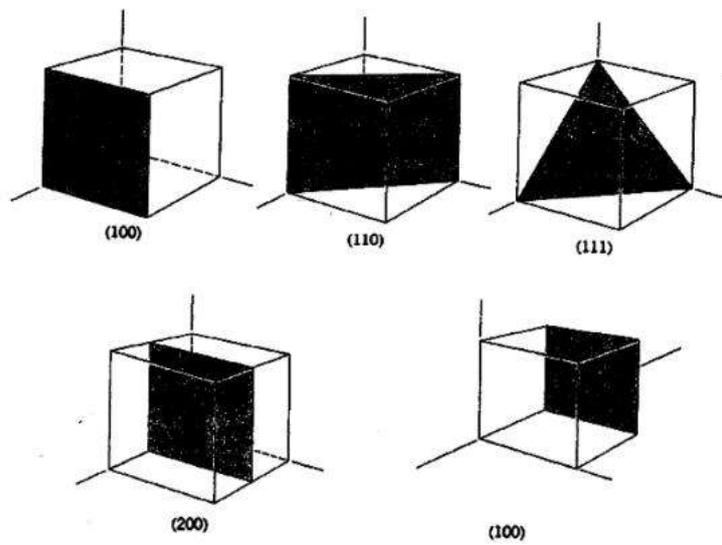
عقدة من عقد الشبكة بترتيب محدد، يُمكن اعتبار البلورة تكررًا دوريًا في كل الاتجاهات، حيث تحتل الخلية الأولية أصغر حجم يضم جميع خواصها. الشكل (II-04).



الشكل (II-04) : الشبكة البلورية والخلية [5]

يكفي تحديد شكل الخلية، وأبعادها، وتركيب الذرات المكونة لها لتوصيف البلورة بشكل كامل. وربما يكون أهم ما يميز البلورات هو خواصها التناظرية في الانسحاب والدوران.

يمكن النظر إلى البلورة على أنها تتألف من مجموعات متعددة من المستويات الذرية المتوازية. يُعبر عن كل مجموعة بواسطة ثلاثة أرقام hkl ، وتُعرف هذه الأرقام بـ "مؤشرات ميلر".



الشكل (II-05) : قرائن ميلر لبعض المستويات البلورية لخلية مكعبة [5]

ترتبط المسافة البينية "d" بين مستويين متتاليين من مجموعة مستويات متوازية في بلورة مكعبة من قرائن ميلر hkl ، و

بطول ضلع الخلية "a".

$$d = \frac{a^2}{\sqrt{h^2 + k^2 + l^2}} \quad (3-II)$$

ii. قانون براغ [5]:

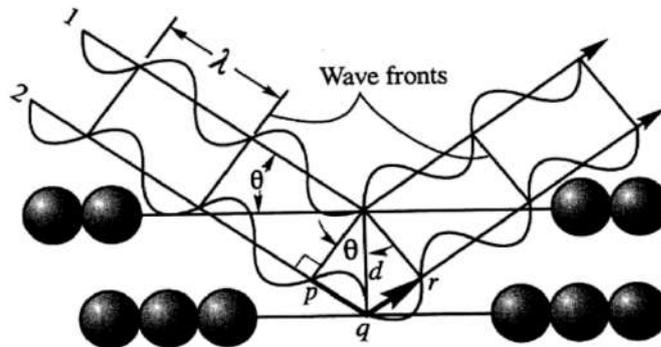
تفاعل الأشعة السينية مع بلورة يُفسر بتشتيت أمواج هذه الأشعة عن طريق التفاعل مع الإلكترونات داخل الذرات، مما

يؤدي إلى تداخل الأمواج المشتتة في اتجاهات مختلفة.

براغ وجد طريقة بسيطة للتعامل مع هذا الأمر، حيث يتمثل الحل في القول إن موجات الأشعة السينية تنعكس عند

التفاعل مع المستويات الذرية المتوازية على شكل انعكاس يشبه انعكاسها على مرآة مستوية. وببساطة، يتم تسوية زوايا الانعكاس

بالنسبة لزوايا السقوط.



الشكل (06-II): انعراج الأشعة السينية [5]

كل مستوى بلوري يعكس جزءًا صغيرًا من الإشعاع الوارد، وهذا لا يتماشى مع قدرة الأشعة السينية على اختراق البلورة

بشكل معروف. تكون قوة الإشعاع المنعكس في اتجاه محدد على المستويات المتوازية قوية عندما تكون أمواجها متفقة في الطور، أي

عندما تكون فروق المسافة بينها متعددة من أطوالها الموجية بعدد صحيح. في هذه الحالة، يحدث تداخل بناء يؤدي إلى زيادة في

شدتها. بالنقيض، تكون شدة الأشعة التي لا تفي بهذا الشرط ضعيفة ولا تلاحظ بشكل كبير.

يتبين من الشكل أنه لا يمكن رصد الأشعة المنعكسة في الاتجاه الذي يشكل زاوية 2θ مع اتجاه الأشعة الواردة إلا إذا حققت الزاوية θ علاقة براغ.

$$2d\sin\theta = n\lambda \quad (4-II)$$

تمثل الجانب الأيسر في هذه المعادلة الفرق في طول المسار بين شعاعين ينعكسان على مستويين متوازيين بالتتابع، بينما

يُمثل الجانب الأيمن عددا صحيحا n من الطول الموجي λ .

iii. مبدأ عمل تقنية XRD [5]:

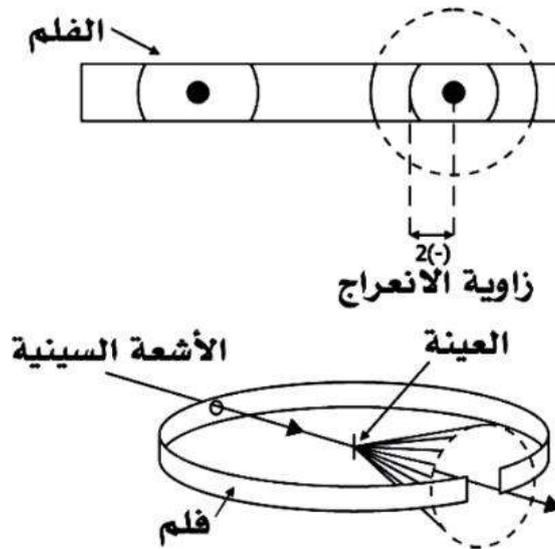
عند توجيه حزمة من الأشعة السينية ذات لون واحد نحو العينة المدروسة التي تحتوي على عدد كبير جداً من البلورات

الدقيقة، يتحقق شرط براغ لكل مجموعة من المستويات المتوازية ذات الإتجاه الملائم. عندما يكون توجه البلورات الدقيقة في المسحوق

عشوائياً، يتسبب ذلك في أن الأشعة المنعكسة من مختلف المستويات في مجموعة البلورات تكون بزوايا براغ θ محددة التي تشكل مع

الحزمة الواردة زاوية 2θ في كل الاتجاهات الممكنة. هذا يؤدي إلى ظهور حزمة أشعة على شكل مخروط دوراني، حيث يكون رأس

المخروط عند البلورة، ومحور المخروط يكون متجهاً نحو الحزمة الواردة، ونصف زاويته يكون 2θ . الشكل (II-07).



الشكل (II-07): مخروط الانعراج باستخدام شريط تسجيل حساس [5]

تحدث ظواهر مماثلة لمستويات بلورية أخرى تفي بشرط براغ بزوايا مختلفة، مما يؤدي إلى ظهور حزم مخروطية إضافية. تتقاطع هذه الحزم المخروطية الإضافية مع لوح التصوير المحيط بالعينة، مكونة سلسلة من الحلقات المتماثلة والمتباعدة في الشدة. يمكن من خلال تحليل هذه الحلقات تحديد قيم للزوايا θ والمسافات البينية d ، مما يساعد في الحصول على معلومات حول الخلية البلورية الأولية والهيكلي البلوري.

II.2. ب.2. الجهاز المستعمل في الدراسة:

قمنا في هذا العمل باستخدام جهاز الحيود Proto AXRD Benchtop كما هو موضح في الشكل. تم توليد مصدر الأشعة السينية باستخدام إشعاع $\text{CuK}\alpha$ ، الذي يتميز بطول موجي يبلغ $\lambda = 1.5405 \text{ \AA}$. وقد تم تحديد جهده بقيمة 30kV ، مع كثافة تيار بلغت 20mA . تم فحص جميع العينات في نطاق زوايا يتراوح بين 10° و 80° ، باستخدام خطوات قدرها 0.1° في الثانية.



الشكل (II-08): صورة توضح الجهاز المستعمل في الدراسة

II.2. ب.3. تحضير العينات للدراسة:

تم طحن العينات بعناية لغرض إجراء التحليل الطيفي باستخدام تقنية حيود الأشعة السينية (XRD)، وتحديد التركيب البلوري لتلك العينات. تم توزيع المسحوق بالتساوي على حامل العينات ثم تم ضغطه يدوياً باستخدام أسطوانة معدنية للحصول على سطح مستو. يُعتبر هذا الخطوة ذات أهمية كبيرة لتجنب حدوث إنزياح في طيف الإنعراج.



الشكل (II-09): صورة توضح حامل العينة في جهاز إنعراج الأشعة السينية

II.2. ب. برنامج X'pert HighScore

توجد العديد من برامج الكمبيوتر التي تقوم بمعالجة بيانات حيود الأشعة السينية بطريقة آلية، من بينها: Match، Full Prof، و X'pert HighScore...، برنامج X'pert HighScore Plus يمكنه مطابقة المعلومات المقدمة له من مخطط حيود الأشعة السينية للعينة المدروسة مع تلك الموجودة في قاعدة بياناته، مما يوفر الهيكل البلوري الأكثر تطابقاً بالإضافة إلى تركيزه.

i. مبدأ عمل برنامج X'Pert HighScore

برنامج X'Pert HighScore يعتمد على مجموعة من المبادئ في تحليل معطيات حيود الأشعة السينية (XRD).

هذه المبادئ تشمل:

❖ قاعدة البيانات الدولية للحيود:

تم تأسيس هذه الهيئة في عام 1941 تحت إسم اللجنة المشتركة لمعايير حيود المسحوق. (Joint Committee)

(on Powder Diffraction Standards JCPDS)

في عام 1978، تم تغيير إسم المنظمة إلى الإسم الحالي "قاعدة البيانات الدولية للحيود" (International Centre

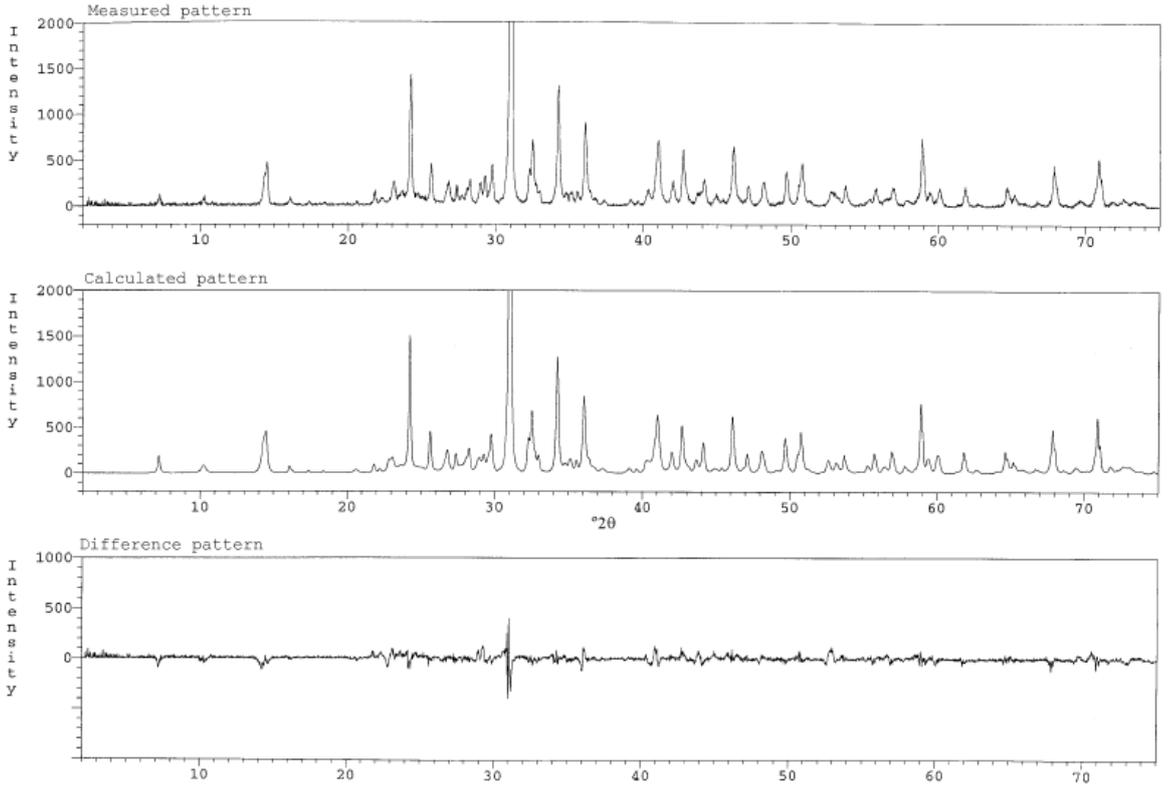
for Diffraction Data)، بهدف إبراز التزامها العالمي في هذا المجال العلمي.

تحتفظ قاعدة البيانات الدولية للحيود بمعلومات حول مخططات حيود المساحيق، وتشمل ذلك ملف الحيود على المسحوق، بما في ذلك المسافات البينية المرتبطة بزوايا الحيود وكثافة نسبية لقمم الحيود الملاحظة، وتشمل أيضًا المراجع البليوغرافية والتصنيفات الهيكلية للبلورات والخصائص الفيزيائية.

يمكن تحديد المخططات بشكل تجريبي أو حسابيًا إستنادًا إلى هيكل البلورة وقانون براغ. يتم استخدام ملف حيود المسحوق بشكل شائع لتحديد المواد غير المعروفة، وهو مصمم للإستخدام مع جهاز حيود الأشعة السينية. قاعدة البيانات شاملة وتحتوي على أكثر من 500,000 مدخل حتى عام 2006 [6].

❖ صقل ريتفيلد (Rietveld refinement):

في طريقة ريتفيلد، يتم احتساب مخطط حيود الأشعة السينية على المسحوق باستخدام البيانات البنيوية. يتم ذلك من خلال مقارنة المخطط المحسوب باستخدام البيانات البنيوية بالمخطط التجريبي المرصود بشكل فعلي. يتم بعد ذلك تعديل المخطط المحسوب ليتناسب بشكل أفضل مع المخطط التجريبي، وهذه العملية تعرف بصقل المخطط. يتم الصقل عن طريق التقليل من مجموع الإختلافات المرجحة بين الشدات الملاحظة والمحسوبة لكل خطوة في مخطط المسحوق. هذا يتضمن تعديل معالم الهيكل البلوري أو الخصائص الأخرى المستخدمة في حساب المخطط بحيث يتم تحسين التوافق بين المخطط المحسوب والمخطط التجريبي. الهدف هو الحصول على توافق أفضل بين المخططين لتحقيق أقصى دقة في تحليل هيكل البلورة [7, 8].



الشكل (10-II) : المقارنة بين المخطط المحسوب والمخطط التجريبي حسب طريقة ريتفيلد

في أسلوب ريتفيلد، يتطلب التحليل معرفة الأطوار البلورية الموجودة في الخليط. هذا يساعد في تقليل الفرق M بين

مخطط XRD التجريبي $y(obs)$ والمخطط XRD المحسوب $y(calc)$ [8, 7]

$$M = \sum_{i=1}^n w_i [y_i (obs) - y_i (calc)] = \text{minimum} \quad (5-II)$$

w_i : وزن كل نقطة ملاحظة، و يتم الجمع على كل النقاط.

في أسلوب ريتفيلد، يتم الصقل نقطة بنقطة بدلاً من الإنعكاس. يتم تعديل الشدة المحسوبة لكل خطوة $y_i(calc)$

عن طريق جمع مساهمات الخلفية وكل انعكاسات براغ المجاورة k لكل الأطوار p .

$$y_i (calc) = \sum_f S_f \sum_k L_k |F_K| G(\Delta\theta_{ik}) P_k + y_i (bkg) \quad (6-II)$$

حيث:

S : معامل القياس

L_k : معامل استقطاب لورنتزلانعكاس براغ رقم k .

F_k : معامل البنية.

p_k : معامل التعدد.

P_k : دالة التجوه المفضل.

θ_{ik} : زاوية براغ للانعكاس رقم k .

$G_{\theta_{ik}}$: دالة خط الانعكاس.

$y_i(bkg)$: الخلفية المسقولة.

لتحسين عملية الصقل في أسلوب ريتفيلد، يمكن ضبط وتحسين مجموعة من المعاملات والمتغيرات. من بين هذه المعاملات:

1- المعاملات الشبكية: ضبط معلمات الشبكة البلورية لتحقيق توافق أفضل مع المخطط التجريبي.

2- المواقع الذرية والمواقع الذرية الشاغرة: تحديد بدقة مواقع الذرات في البلورة والمواقع الشاغرة إن وجدت.

3- معاملات الإهتزاز الحراري الذري: تعديل معاملات الإهتزاز الحراري لتحسين مطابقة مخطط الحيود.

4- تماثل مناحي الخط أو لامتاتله أو تناظره: ضبط تماثل الخطوط في معالجة البيانات.

5- التوجه المفضل: تحديد اتجاه مفضل للبلورات في الخليط.

6- دالة الخلفية: تعديل دالة الخلفية للتحكم في الإشارات الخلفية وتحسين دقة البيانات.

7- تصحيح مبدأ قياس الزاوية: ضبط تصحيح مبدأ قياس الزاوية لتحسين الدقة.

8- معامل القياس العام: تعديل معاملات القياس العام لتحسين التوافق مع البيانات التجريبية.

بتحسين هذه المعاملات، يمكن تحقيق توافق أفضل بين المخطط المحسوب والمخطط التجريبي، وبالتالي تحسين جودة نتائج تحليل

هيكل البلورة.

يمكن إدخال هذه المعلومات في برنامج الصقل عملياً، ولكن هناك ملفات نصية تُعرف بملفات CIF

(Crystallographic Information File) تحتوي على جميع هذه البيانات لكل معدن على حدة. يمكن العثور على

هذه الملفات في قواعد البيانات المتاحة عبر الإنترنت. تقوم هذه الملفات بتوفير وصف مفصل للهيكل البلوري للمواد، بما في ذلك المعلومات حول المواقع الذرية، المعاملات الشبكية، التوجه المفضل، وغيرها من المعلومات الهيكلية المهمة.

قواعد البيانات على الإنترنت توفر هذه الملفات لتمكين الباحثين والعلماء من الوصول إلى المعلومات بشكل سهل وفعال. يمكن استخدام هذه الملفات في برامج الصقل لتحليل وفهم تفاصيل هيكل البلورة للمواد.

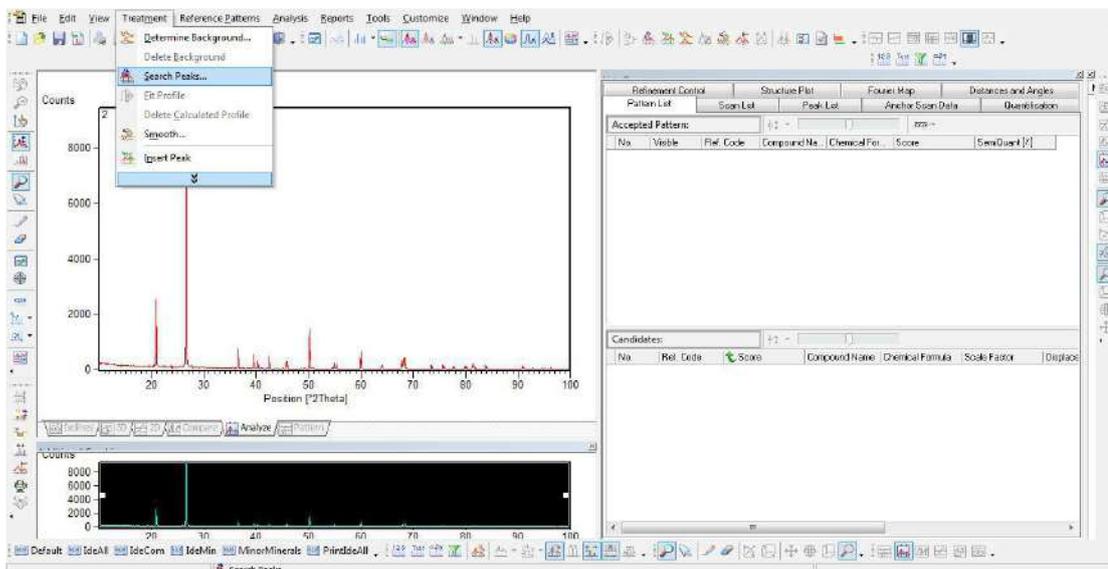
ii. مراحل معالجة المعلومات ببرنامج X'Pert HighScore:

كيفية تحليل بيانات XRD باستخدام برنامج X'pert Highscore تتبع الخطوات التالية:

1- تحديد القمم

تعيين القمم من قائمة المعالجة (treatment) ← اختيار قمم البحث (search peaks) (الشكل 10-10).

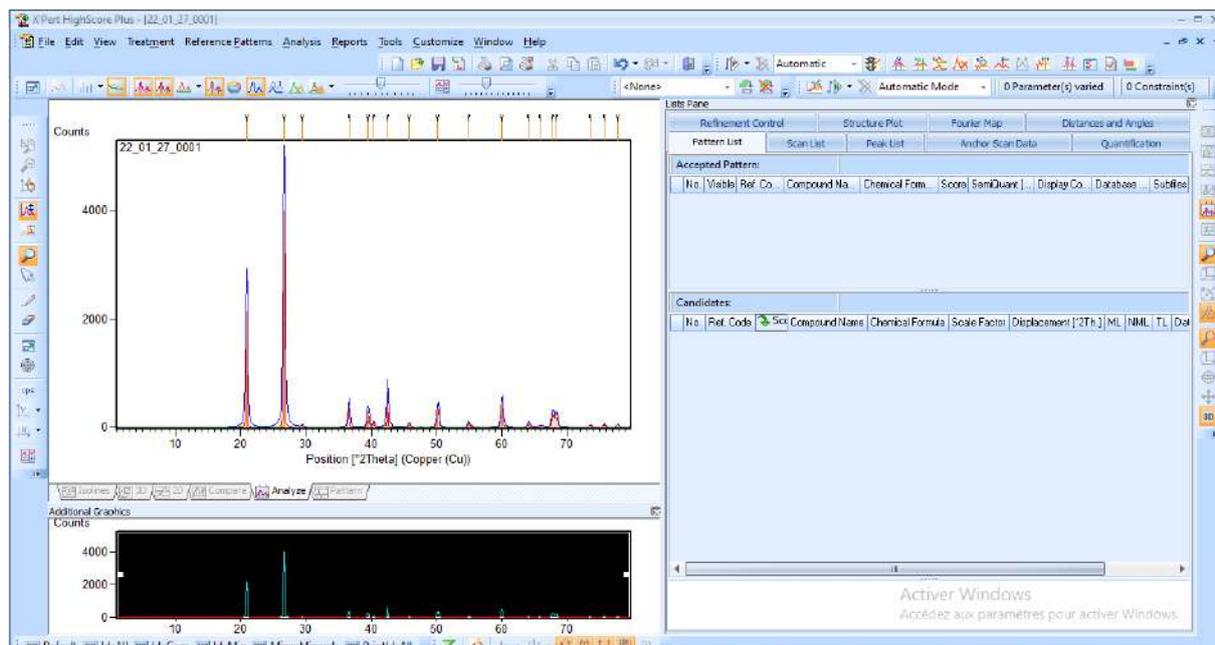
II)



الشكل (11-II): البحث على القمم

- إذا ظهر عدد كبير جداً أو قليل جداً من القمم، فنقوم بإعادة ضبط المعاملات و انقر على زر بحث قمم مرة أخرى.

- انقر فوق الزر قبول (accept) .



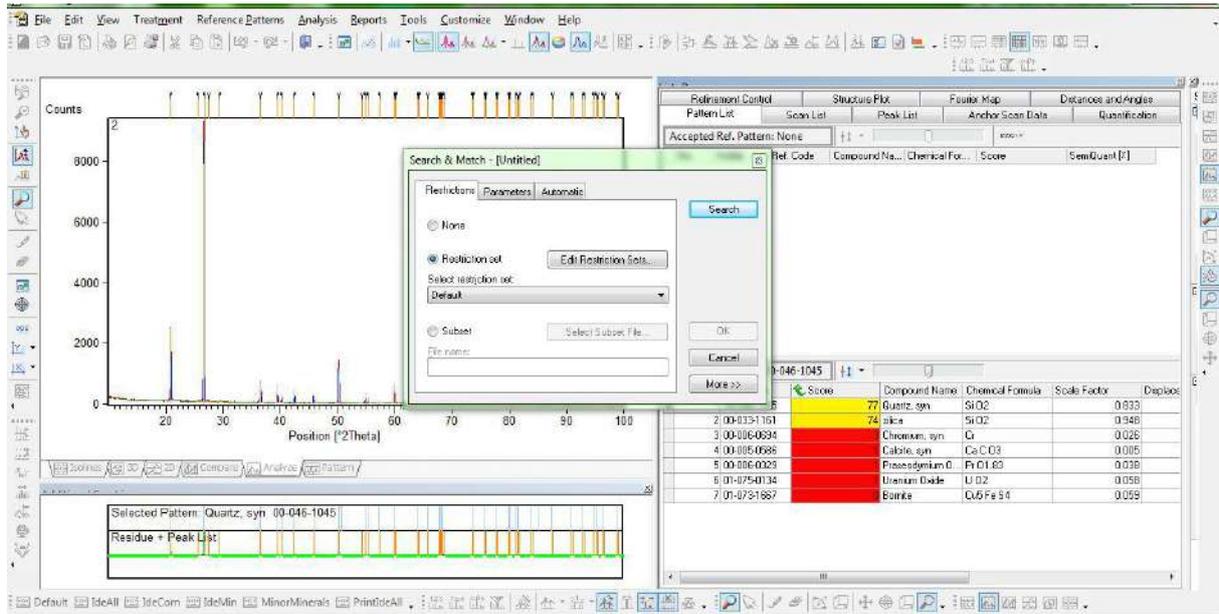
الشكل (12-II): تحديد القمم

2- تشغيل البحث Match

حدد من القائمة تحليل (analysis) ← البحث و match (search & match) ← تنفيذ البحث

و match (execute search & match)

- ضبط المعاملات حسب الضرورة (parameters as necessary) الشكل (12-II) .

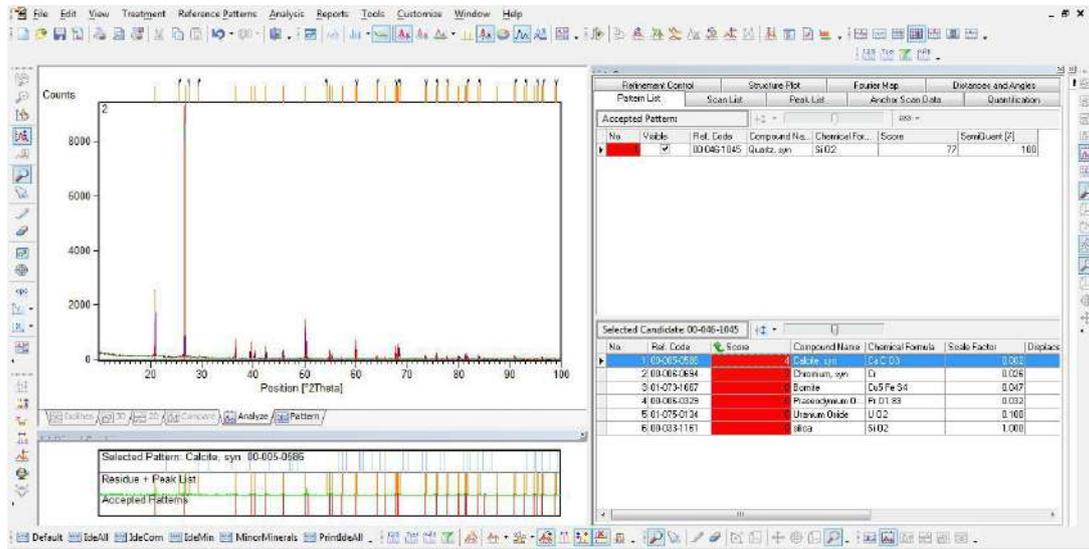


الشكل (II-13): القيام بإجراء البحث وضبط المعاملات إذا لزم الأمر

3- تحديد الأطوار البلورية

- تحتسب نتيجة الملفات بأكملها لتحديد مدى تطابقها مع البيانات التجريبية، ويتم منح أعلى نتيجة توافق.
- عندما يتم قبول الملف ذو الطور البلوري الذي يظهر تطابقه الأفضل، يُنقل إلى المنطقة المقبولة ضمن قائمة المخطط، الشكل (II-13).

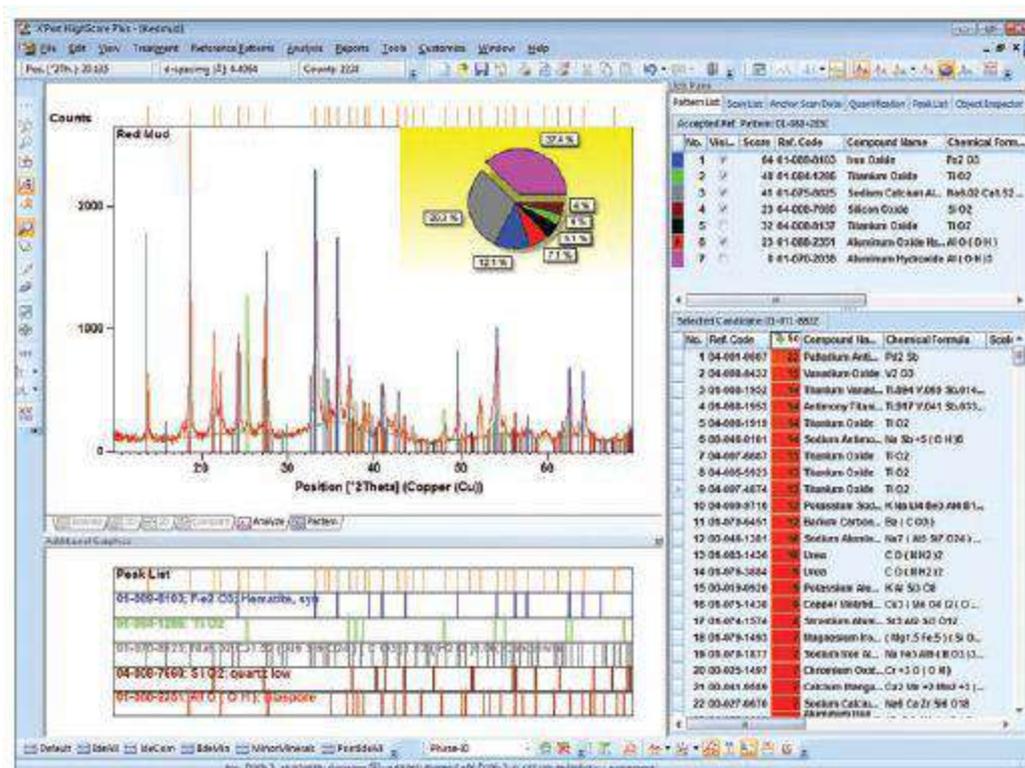
- يتم تكرار نفس العملية لجميع الأطوار الأخرى.



الشكل (II-14): تحديد الأطوار البلورية

4- تحديد تركيز الأطوار البلورية

بوساطة تحديد الأطوار البلورية في المخطط المدروس، يتم حساب تركيز كل منها تلقائياً. الشكل (II-14).



الشكل (II-15): تحديد تراكيز الأطوار البلورية

II. 2. ج. الأشعة تحت الحمراء بتحويل فوريي FTIR :

تقوم تقنية تحليل الأشعة تحت الحمراء بتحويل فوريي (FTIR) على امتصاص المواد التي تم تحليلها للأشعة تحت الحمراء [9]، وتستخدم لتحديد النطاقات الكيميائية للمركبات الجزيئية، سواء كانت عضوية أو غير عضوية، بل وتشمل البلورية والغير متبلورة أيضاً، مما يساعد في تحديد الرابطة الكيميائية في المادة وتقييم درجة النقاوة وطبيعة المواد [10]. يميز هذا التحليل نفسه بأنه لا يتطلب كميات كبيرة من العينات للقياس، ويمكن أن تكون هذه العينات في أحد حالات المادة المعروفة، سواء كانت صلبة، سائلة أو غازية [11].

II.2. ج.1. مبدأ تقنية الأشعة تحت الحمراء بتحويل فوريي FTIR :

يعتمد مبدأ تقنية تحليل الأشعة تحت الحمراء بتحويل فوريي (FTIR) على التداخل بين طيف هذه الأشعة والروابط الكيميائية في المواد. يتسبب امتصاص الأشعة تحت الحمراء في تداخل بين المجال الكهربائي ذي التردد المناسب للأشعة المارة والمجال الكهربائي الناتج عن عزم ثنائي القطب الكهربائي لتربط الكيميائي لجزيئات المادة. في حالة الاتفاق بين ترددي هذين المجالين، يحدث امتصاص ينتقل الرابطة الكيميائية من مستوى ذبذبات منخفضة إلى مستوى ذبذبات أعلى، ثم يعود إلى مستويات أكثر استقراراً، ويُطلق الطاقة الممتصة. ينجم عن هذا الامتصاص زيادة في الحركة الاهتزازية أو الحركة الدورانية للجزيئات [12].

يعتمد هذا التحليل الطيفي بشكل أساسي على الأشعة تحت الحمراء الممتصة. يتم الكشف عن هوية المواد المدروسة بناءً على الخصائص الاهتزازية لروابطها الكيميائية. توفر هذه الأشعة كمية من الطاقة يمكن أن تُستخدم للانتقالات بين مستويات الاهتزاز والدوران للروابط الكيميائية. ومع ذلك، يجب أن يُلاحظ أن هذه الطاقة غالباً ما تكون غير كافية لتحفيز التحولات الإلكترونية في المواد المدروسة [13].

II.2. ج.2. أنواع الاهتزازات الجزيئية :

امتصاص الأشعة تحت الحمراء يؤدي إلى حركة اهتزازية للذرات المكونة للجزيء، مما يسبب تغييراً دورياً في الترتيب الجزيئي أو تباينات في الزوايا بين الروابط الكيميائية. يمكن أن تنشأ هذه الحركة الاهتزازية نتيجة لتأثير الأشعة تحت الحمراء على ذرة واحدة أو مجموعة من الذرات.

تعتمد طاقة الأشعة تحت الحمراء الممتصة على عدة عوامل، منها كتلة الذرة المعنية وقوة الروابط الكيميائية المكونة للجزيء، بالإضافة إلى التشكيل الهندسي للذرات داخل الجزيء. هذا يعني أن الفروق في كتل الذرات وطبيعة الارتباطات الكيميائية وترتيب الذرات في الجزيء تلعب دوراً حاسماً في تحديد الطاقة الممتصة [13, 14].

يمكن تصنيف أوضاع الاهتزاز إلى فئتين رئيسيتين.

❖ اهتزاز التمدد (stretching vibration):

تنشأ حركة التمدد عندما يحدث تغيير في المسافة بين الذرات في اتجاه محور الرابطة دون أن يحدث تغيير في المحاور أو

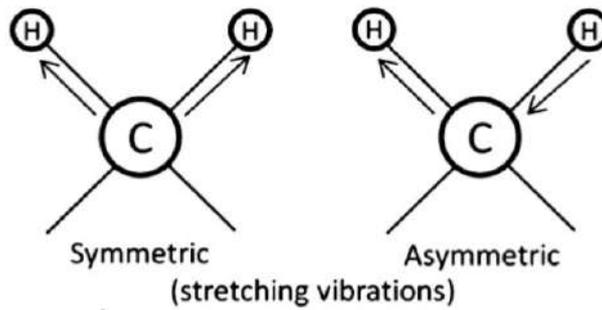
الزوايا بين الروابط الشكل يوضح أنماط اهتزازات التمدد وهي نوعان:

1- تمدد بسيط: يتسم بتمدد رابطة واحدة فقط.

2- تمدد مزدوج : يتضمن تمدد روابط متعددة في نفس الوقت، وهنا يحدث نوعان من التمدد الاهتزازي المزدوج.

○ تمدد مزدوج متماثل : يحدث عندما تتمدد الرابطتين أو تتقلصان في نفس الوقت.

○ تمدد مزدوج غير متماثل: يحدث عندما تتمدد احدى الروابط , بينما تنكمش الأخرى في نفس الوقت.



الشكل (II-16): رسم تخطيطي يبين اشكال اهتزازات التمدد [13]

❖ إهتزاز الإنحناء :

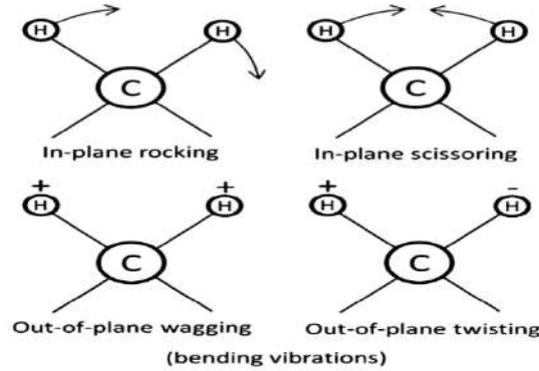
ينشأ إهتزاز الإنحناء نتيجة لتغيير الزاوية بين الرابطتين، مما يؤدي إلى تغيير اتجاه محور الرابطة. يمكن أن تكون حركة الذرات إما

في مستوى الرابطتين أو خارجه. يبين أنماط إهتزاز الإنحناء، وهي تنقسم الى أربعة أقسام:

1- إنحناء التآرجح: تتأرجح الوحدة التركيبية يميناً وشمالاً على مستوى الإتران الخاص بها.

2- إنحناء مقصي: الرابطتان تقترب وتبتعد بالتناوب بحركة تشبه حركة المقص في نفس مستوى الاتزان.

- 3- إنحناء إرتحاجي: الوحدة التركيبية تتأرجح إلى الخلف وإلى الأمام خارج مستوى إرتانها.
- 4- إنحناء إلتوائي: تدور الذرات حول الرابطة بينها وبين باقي الجزيء خارج مستوى إرتانها.

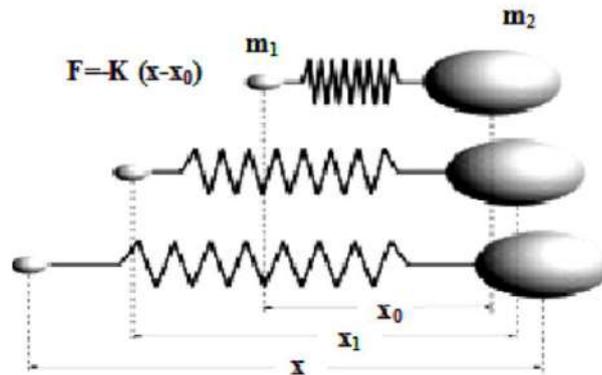


الشكل (II-17): رسم تخطيطي يوضح أشكال إهتزازت الإنحناء [13]

II.2.ج.3. النموذج الميكانيكي لعملية التمدد الإهتزازي:

نموذج الهزاز التوافقي هو نموذج بسيط وشائع يُستخدم لشرح الخصائص التمددية والإهتزازية للرابطة الكيميائية بين ذرتين. يتألف النموذج من كتلتين مربوطتين بنابض. عندما يحدث تغيير دوري في المسافة بين الكتلتين، ينشأ اهتزاز يُعرف بالحركة التوافقية البسيطة.

في تبسيط الحل الرياضي لهذا النموذج، يُفترض أن إحدى الكتل تتحرك بينما تظل الكتلة الأخرى ثابتة. إذا كانت الكتلة قد انتقلت مسافة Δx من موضع التوازن، عن طريق تأثيرها على محور النابض، حيث حسب قانون هوك فان قوة الارجاع تتناسب مع الازاحة [13].



الشكل (II-18): رسم تخطيطي للهزاز التوافقي [13]

$$\Delta F = -K\Delta X \quad (7-II)$$

بحيث

F : قوة الارجاع.

K: ثابت القوة بين الكتلتين.

II.2.ج.4. جهاز طيف الأشعة تحت الحمراء:

جهاز مطيافية الأشعة تحت الحمراء يتألف من ثلاث وحدات رئيسية هي: مصدر الأشعة تحت الحمراء، وحدة وضع العينات، والكاشف. بالإضافة إلى ذلك، يحتوي على مجزء للضوء يقوم بتقسيم الحزمة الضوئية إلى حزمتين. تتجه إحدى الحزمتين نحو مرآة ثابتة، في حين تتجه الأخرى نحو مرآة متحركة.

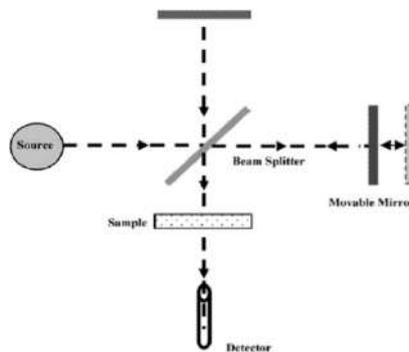
يُمكن ذلك من التحكم في طريق الأشعة الضوئية لإحداث اختلاف في المسافة بين الحزمتين والحصول على أهداف

التداخل.

تعكس الحزمتان بعد ذلك وتتجهان نحو العينة ومن ثم إلى الكاشف. يحول الكاشف الإشارة الضوئية الواردة إليه إلى إشارة

كهربائية. ومن خلال عملية تحويل رياضية تُعرف بتحويل فورييه، يتم تحويل الإشارة الملتقطة إلى طيف للأشعة تحت

الحمراء. الشكل (II-18).



الشكل (II-19): مخطط الجهاز [15]

II.2.ج.5. الجهاز المستعمل في مطيافية الأشعة تحت الحمراء :

في هذه الدراسة تم استخدام الجهاز المتواجد على مستوى مخبرالموارد الصحراوية وترقيتها وتكنولوجياها (VTRS) بجامعة

الشهيد حمة لخضر الوادي. الجهاز من طراز (IR Affinity-1) تم تصنيعه بواسطة شركة يابانية (Shimadza) .

هذا الجهاز يسمح بمراقبة الإشعاعات تحت الحمراء ضمن نطاق يتراوح بين 400 و 4000 سم⁻¹.



الشكل (II-20): صورة للجهاز المستعمل في الدراسة

II.2.ج.6. تحضير العينات :

يتم إعداد عينات مطيافية لامتصاص الأشعة تحت الحمراء من خلال استخدام مادة حاملة تتيح نفاذ الأشعة تحت الحمراء.

يتم خلط هذه المادة الحاملة بكمية ضئيلة جداً من العينة المدروسة.

الجدول (01-II): يوضح مختلف المواد التي يمكن ان تستخدم كحامل [39].

| مادة حامل العينة | النافذة الموجية العابرة (cm^{-1}) |
|------------------|--|
| NaCl | 4000 - 625 |
| KBr | 4000 - 400 |
| AgCl | 2500 - 435 |
| CsBr | 1000 - 270 |
| CsI | 1000 - 200 |
| Ge | 2000 - 600 |
| Polyethylene | 625 - 33 |

إنه ضروري للغاية للحفاظ على العينات جافة وبعيدة عن الرطوبة والعرق أثناء التعامل معها بالأيدي، نظرًا لأن هذه المواد

تمتص الأشعة تحت الحمراء.



جهاز الضغط و المؤقت

قالب العينة

جهاز الطحن

الميزان



العينة بعد التحضير على الحامل

Activer Wir
Accédez aux pi

الشكل (II-21) : الأدوات المستخدمة في تحضير العينات

يتم إعداد العينة الصلبة على شكل قرص مضغوط باستخدام مادة بروميد البوتاسيوم (KBr) عن طريق خطوات الضغط والخلط. يتم خلط 1 mg من العينة الصلبة بشكل جيد مع حوالي 100 mg من بروميد البوتاسيوم الجاف. بعد ذلك، يتم طحن المزيج جيداً ويتم وضعه تحت ضغط مرتفع يصل إلى 8.10^3kg لمدة خمس دقائق متواصلة. هذه العملية تهدف إلى تحضير قرص مضغوط متجانس يحتوي على العينة وبروميد البوتاسيوم.

II.2. د. تقنية الشرائح الرقيقة [16]:

لإجراء فحص مجهرى لعينة صخرية، يجب أولاً تحضير شريحة رقيقة بسمك حوالي 30 ميكرومتر، وذلك لتسهيل مرور الضوء عبر المعادن التي ليست شفافة بطبيعتها. تمر عملية إعداد هذه الشريحة بخمس خطوات أساسية، ويقوم بتنفيذها فني متخصص في تجهيز العينات الصخرية.

(1) إعداد قاعدة للعينه الصخرية باستخدام عملية القطع (المنشار):

تُصنع القاعدة الصخرية عن طريق قطع العينة باستخدام منشار مزود بشفرة ماسية، حيث يتم القطع وفق مستويين متوازيين يفصل بينهما مسافة تتراوح بين 1 إلى 2 سم، وذلك بناءً على درجة صلابة الصخر. بعد ذلك، تُقطع اللوحة الصخرية إلى شكل متوازي مستطيلات بأبعاد تقريبية تبلغ 2.5×3.5 سم، حيث سيتم لصقها لاحقاً على شريحة زجاجية بأبعاد 3×4.5 سم. تُعرف هذه اللوحة باسم "القاعدة" أو "السكر" بسبب شكلها المميز، الشكل (II-21). في بعض الحالات، تكون العينات غير متماسكة بشكل كافٍ بسبب ضعف تماسك مكوناتها أو بسبب وجود نسيج مسامي، مما يتطلب معالجتها مسبقاً باستخدام الراتنج لضمان ثباتها خلال المراحل التالية.



قطع الصخور والحصول على قاعدة



مثال على قاعدة

الشكل (II-22): يوضح كيفية الحصول على قاعدة

(2) تسوية وتنعيم أحد وجهي القاعدة الصخرية.

يتم في البداية صقل أحد الوجهين الرئيسيين للقاعدة الصخرية باستخدام عجلة صنفرة أو آلة صقل، ثم تُزال الشوائب باستخدام آلة صنفرة. الشكل (II-22)، باستخدام معلق مائي يحتوي على مسحوق كاشط دقيق من كربيد السيليكون (محببات قطرها 250 ميكرومتر). يهدف هذا الإجراء إلى إزالة أي تشوهات أو عدم انتظام من السطح المخصص للصلق على الشريحة الزجاجية الحاملة. يتم تثبيت القاعدة الصخرية على الحامل بواسطة نظام شفط، حيث يمكن للحامل استيعاب ما يصل إلى 6 قواعد صخرية في الوقت نفسه.



الشكل (II-23): كيفية تنعيم أحد وجهي القاعدة

3) لصق القاعدة على الشريحة الزجاجية.

تُنظف القاعدة الصخرية وتُجفف، ثم تُثبت بالحرارة باستخدام راتنج لاصق ممزوج بمصلبه (مثل الأوالديت) على شريحة زجاجية حاملة. تكون الشريحة الزجاجية قد خضعت مسبقاً لعملية صقل (تسنين) لضمان استوائها التام وانتظام سمكها. يتم تسخين العينة عند درجة حرارة تبلغ حوالي 80 درجة مئوية لمدة ساعة واحدة تحت ضغط ميكانيكي. الشكل (II-23)، مما يؤدي إلى تبلور الراتنج وبالتالي ضمان التصاق مثالي بين القاعدة الصخرية والشريحة الزجاجية. في هذه المرحلة، يتم نقش رمز تعريف على أحد جوانب الشريحة لتسهيل عملية التتبع والتعرف عليها.



لصق القاعدة على شريحة حاملة وضغطها تحت المكبس



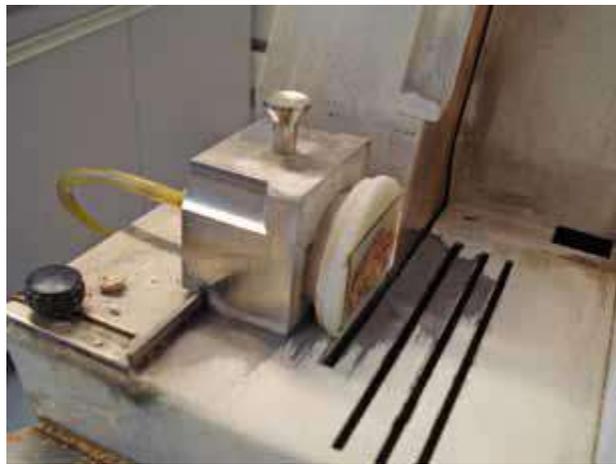
قاعدة ملتصقة على شريحة حاملة للعين

الشكل (II-24): يوضح طريقة لصق القاعدة على شريحة حامل العينة

4) القمع النهائي وتشكيل العينة باستخدام عملية الصقل.

تُثبت الشريحة الأولية على حامل باستخدام نظام شفط، ثم يتم تقليل سمك القاعدة الصخرية باستخدام منشار ذي شفرة ماسية، بحيث يتراوح السمك المتبقي بين 100 إلى 200 ميكرومتر. بعد ذلك، يتم صقل السطح الجديد باستخدام آلة صنفرة عبر سلسلة من المساحيق الكاشطة ذات أحجام حبيبات متناقصة (من 250 إلى 5 ميكرومتر) مع تقليل سمك العينة تدريجيًا.

السمك النهائي المطلوب للشريحة هو 30 ميكرومتر. يُعد الحفاظ على هذا السمك أمرًا بالغ الأهمية، حيث تعتمد ألوان الاستقطاب على الاختلافات في انتشار الإشعاعات الضوئية أثناء مرورها عبر البلورة. في البلورات غير المتجانسة، تختلف سرعات انتشار الضوء باختلاف الاتجاهات البلورية، مما يؤدي إلى الانزياح الزمني للإشعاعات الضوئية عند خروجها من البلورة، والذي يعتمد على المقطع العرضي وسمك العينة. يتم التحقق من السمك باستخدام المجهر الاستقطابي من خلال مراقبة المعادن الشائعة وسهولة التعرف، مثل الكوارتز والبلاجيوكليز. عند السمك المناسب (30 ميكرومتر)، تظهر ألوان الاستقطاب لهذه المعادن في نطاق درجات الرمادي من الأبيض إلى الأسود. أما إذا كانت الشريحة سميكة بشكل زائد، فإن هذه المقاطع تظهر بألوان مائلة إلى الصفرة أو ألوان أكثر إشراقًا تحت الضوء المستقطب المحلل (LPA).

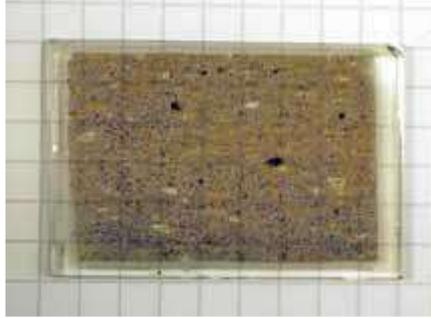


الشكل (II-25): تسوية سطح القاعدة

(5) المرحلة الأخيرة.

بعد تنظيف وتجنيف الشريحة الرقيقة، يتم تغطيتها بغطاء زجاجي باستخدام راتنج لحماية القسم الرقيق من العينة. الشكل

(25-II).



الشكل (26-II): الشريحة الرقيقة النهائية

II. 2. هـ. الطرق الجيوفيزيائية لقياس المقاومة الكهربائية :**II. 2. هـ. 1. المقاومة الكهربائية:****❖ المفاهيم والخصائص**

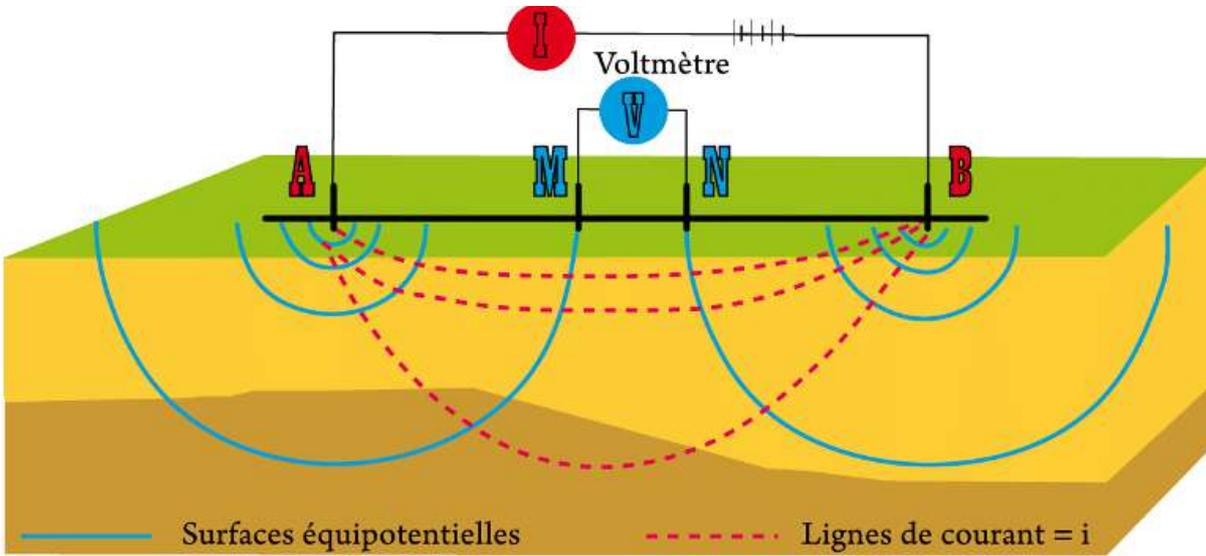
تُعتبر المقاومة الكهربائية من المؤشرات الأساسية لتحديد خصائص التكوينات الجيولوجية، حيث تعكس محتوى الصخور من السوائل، سواء كانت مياهاً أو هيدروكربونات. تعتمد مقاومة الصخور على عوامل عدة، منها جودة الإلكتروليت (مقاومية الماء بين المسام)، وكميته (المسامية)، وطريقة توزيعه داخل الصخر.

عند دراسة البيئات الطبيعية، توفر تقنيات التنقيب قيماً متوسطة للمقاومية فقط، إذ تختلف هذه القيم عن تلك المقاسة على عينات فردية نتيجة التفاوتات المحلية في التكوينات. تتراوح مقاومة الصخور أو المياه بين 0.2 أومتر، كما في مياه البحر، وحتى 10,000 أومتر، وهو ما يُلاحظ في الرمال، الحصى الجاف، والحجر الجيري.

II .2. هـ.2. المسح الكهربائي العمودي [17]:

(1) المبدأ:

يُقاس فرق الجهد والتيار بين القطبين AB المرزوعين في الأرض لتحديد المقاومة الظاهرية للتربة. يتم استقبال التيار المحقون عبر القطبين MN. ولزيادة عمق انتشار التيار، يتم تمديد طول خط الانبعاث AB تدريجيًا حتى يصبح فرق الجهد الناتج صغيرًا للغاية، مما يتطلب تمديد خط الاستقبال بين الأقطاب الكهربائية MN أيضًا. تُستخدم أطوال مختلفة لخط الاستقبال، مثل MN = 0.5 م، 1 م، 2 م، 5 م، و20 م، لتلبية متطلبات القياس (تقنية القابض).



الشكل (II-27): مبدأ المسح الكهربائي العمودي

(2) الإعدادات:

باستخدام كابلات إرسال التيار الكهربائي، وكابلات الاستقبال، والقطب الكهربائي: الإرسال (AB) والاستقبال (MN)، يتيح جهاز القياس حساب فرق الجهد بين القطبين المستقبليين.

للدراية التي نقوم بها، يبلغ طول الخط AB 100 متر مع عمق 25 مترًا.

تم اختيار جهاز شلومبيرجر لدراستنا.

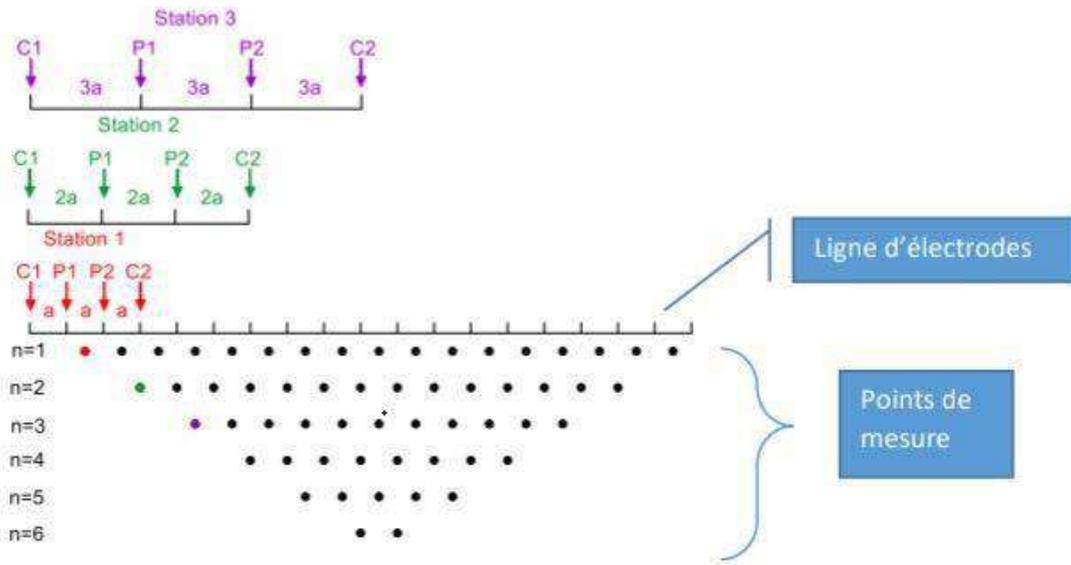
معامل الجهاز المستخدم يساوي $K = \pi (AM * AN) / MN$.

II. 2. هـ. 3. التصوير المقطعي للمقاومية الكهربائية [18]:

(1) المبدأ:

هدف التصوير الكهربائي هو دراسة الخصائص الكهربائية الجوهرية للوسط المدروس من خلال تقنيات متعددة الأبعاد على السطح (MARESCOT L2006)، يمكن إجراء القياسات عن طريق تثبيت مركز الجهاز مع تباعد أقطاب الغرسة في الأرض (وهي طريقة المسح الكهربائي)، أو بتحريك جهاز مع تباعد ثابت بين الأقطاب (وهي طريقة السحب الكهربائي). من خلال دمج هاتين الطريقتين، يمكن إنشاء خرائط كهربائية حساسة للتغيرات في المقاومة سواء كانت عمودية أو أفقية تحت السطح. عادة ما يتم تمثيل هذه القياسات على شكل خرائط كهربائية.

تعطي لوحة المقاومة الكهربائية الظاهرة صورة كهربائية تقريبية للغابة لتوزيع المقاومات في الهيكل.



الشكل (II-28): مبدأ التصوير المقطعي للمقاومية الكهربائية.

(2) الإعدادات:

- بروتوكول القياس:

تركيب الكابلات والقطب الكهربائية على طول الملف يتم بعد مراقبة الأرض والتفكير في اختيار أفضل المواقع لتفادي العوائق الجيولوجية المحتملة. بعد ذلك، يجب ربط جميع الكابلات بإدخال جهاز المقاومة MAE، الذي يرتبط بدوره بوحدة التجميع التي تسجل المقاومات الظاهرة المقاسة.

هذا الجهاز، بفضل بطارية بجهد 12 فولت، يقوم بحقن التيار الكهربائي بين الأقطاب A و B، ويقاس الجهد الكهربائي بين الأقطاب M و N. وحدة التجميع تتيح لنا اختيار أحد الأجهزة (شلمبيرجر، وينر، ...). هذا الجهاز يتحكم في مصفوفة المرحلات التي يتم توصيل الكابلات بها، بحيث يمكن لكل القطب أداء دور أحد الأقطاب A و B و M و N بالتناوب.



الشكل (II-29) : جهاز قياس المقاومة

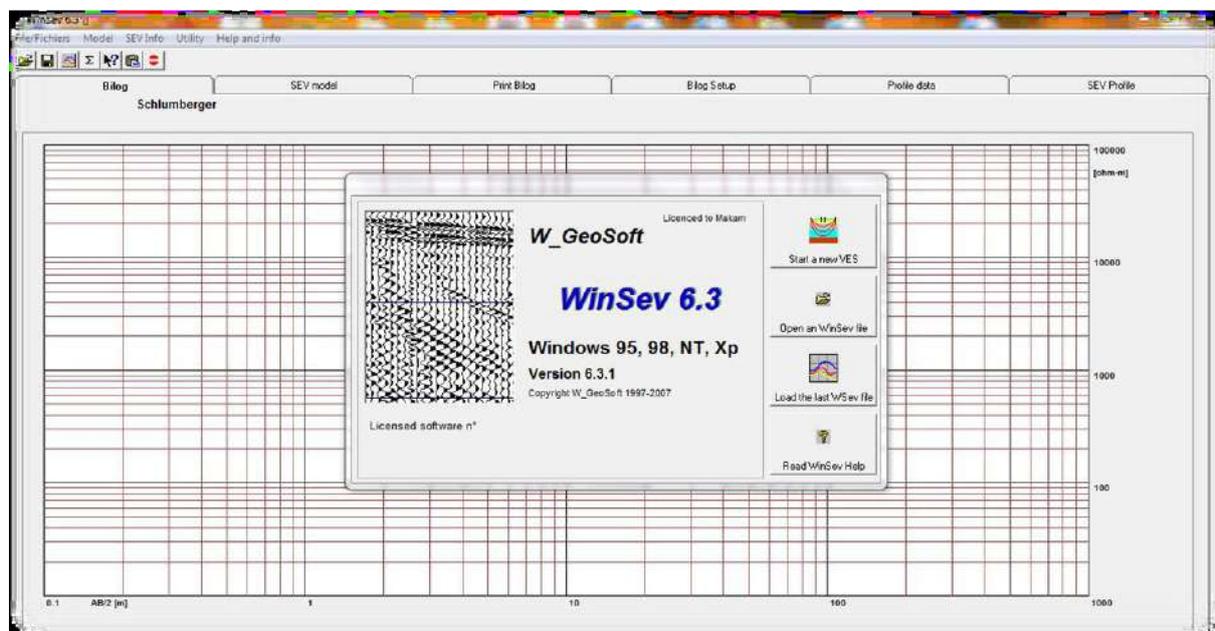
• أدوات القياس:

تم جمع قياسات التصوير المقطعي للمقاومية الكهربائية باستخدام نفس جهاز المقاومة MAE مع الإكسسوارات المرتبطة به. ومع ذلك، في هذه المرة، تم استخدام عدد أكبر من الأقطاب مقارنةً بنظام SEV، حيث بلغ عدد الأقطاب 48 قطبًا.

II. 2. هـ. 4. البرمجيات المستعملة:

(1) برنامج المسح الكهربائي العمودي:

تم تصميم برنامج WinSev 6 لمعالجة المسوحات الكهربائية التي يتم إجراؤها باستخدام أجهزة من نوع Schlumberger أو Wenner أو القطب-القطب (وتسمى أيضًا ثنائي القطب أو ثنائي القطب). يمكن للمستخدم إدخال نموذج يصل إلى 20 طبقة، أو السماح للبرنامج بإنشاء نموذج تلقائيًا (النمذجة العكسية). يمكن للمستخدم تعديل النموذج و/أو تركيبه بواسطة البرنامج باستخدام طريقة المربعات الصغرى. يمكن تثبيت قيم السمك أو المقاومة بحيث لا يؤدي التعديل إلى تغييرها. باستخدام هذا البرنامج، يمكنك أيضًا رسم ملفات تعريف للعديد من المسوحات الكهربائية، بما في ذلك البيانات المستخرجة من التصوير المقطعي للمقاومة.



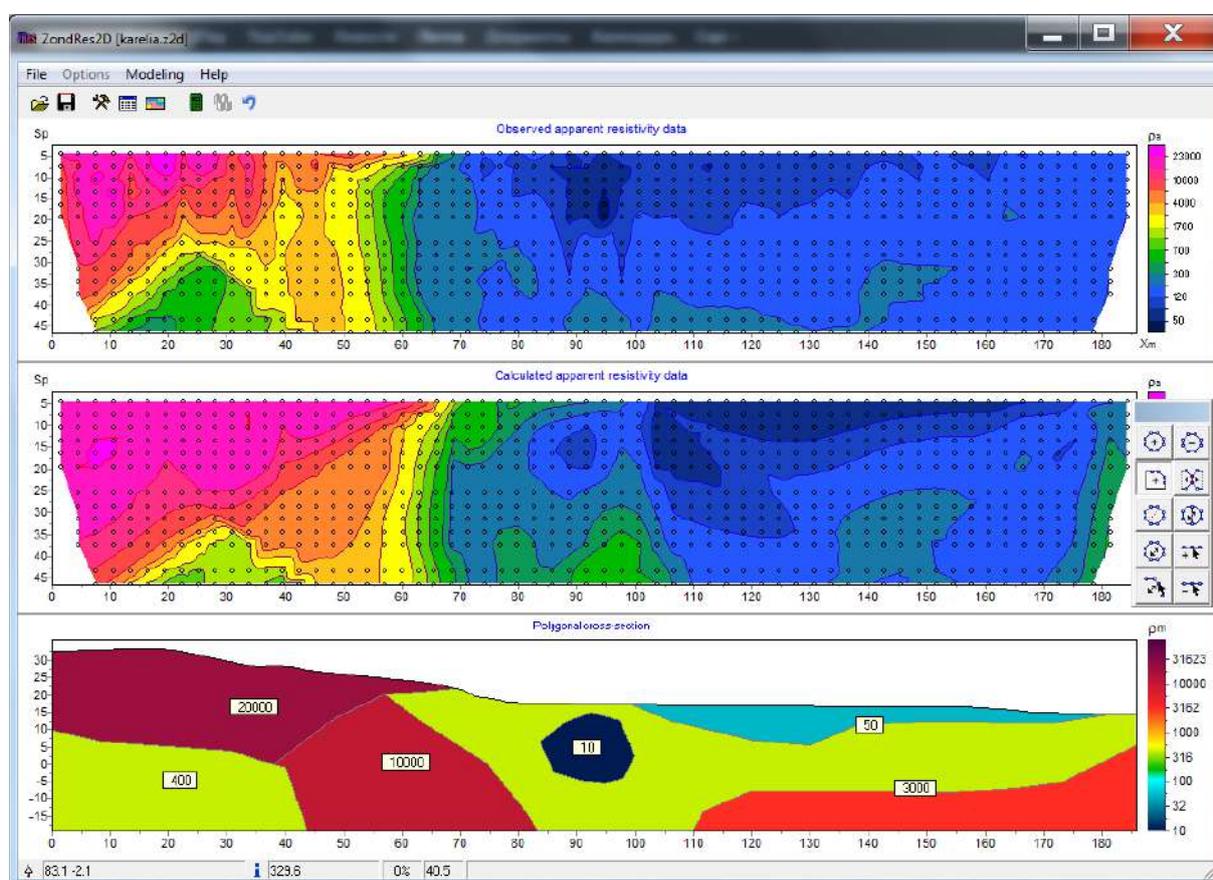
الشكل (II-30) : عرض بيانات SEV في برنامج WinSev 6

يتم تسجيل البيانات المسجلة في الميدان في مقياس المقاومة ويمكن استخراجها بتنسيق Excel. ثم في برنامج WINSEV 6 يتم عكس البيانات واستنتاج الطبقات حسب مقاومتها الكهربائية وسمكها.

(2) برنامج التصوير المقطعي للمقاومة الكهربائية:

ZondRes2D هو برنامج كمبيوتر يقوم تلقائيًا بتحديد نموذج المقاومة ثنائي الأبعاد (D-2) لباطن الأرض للبيانات التي تم الحصول عليها من مسوحات التصوير الكهربائي ثنائي الأبعاد. هذا البرنامج يعمل بنظام Windows 64 بايت ويدعم

المعالجات متعددة النواة. بعد تحميل بيانات القياس الكهربائي في برنامج ZondRes2D، يتم عكس البيانات. أولاً، يجب إعداد برنامج العكس من خلال تحديد نوع الجهاز الذي سيتم استخدامه وعدد الأقطاب الكهربائية وطريقة العكس. ثم يعرض البرنامج ثلاثة أقسام جيولوجية كهربائية: الأول يعرض المقاومات الخام المرصودة، والثاني يعطي المقاومات الظاهرية المحسوبة والثالث يعطي النموذج المقلوب إما في وضع الكتلة أو في وضع الطبقة.



الشكل (II-31): برنامج ZondRes2D (zond-geo.com)

المراجع:

1. Nayak, P.S. and B. Singh, *Instrumental characterization of clay by XRF, XRD and FTIR*. Bulletin of materials science, 2007. 30(3): p. 235-238.
2. Sabri, M.M., *Chemical and structural analysis of rocks using X-ray fluorescence and X-ray diffraction techniques*. ARO-The Scientific Journal of Koya University, 2020. 8(1): p. 79-87.
3. Adekoya, J. *Negative environmental impact of mineral exploitation in Nigeria*. in *Proceedings of the regional training workshop on impact of human activities on the west African savanna, held at the federal university of technology, Akure, Nigeria*. United nations educational, scientific and cultural organization-MAB Sponsored. 1995.
4. King, H., *Mineral and chemical composition of pure limestone-Missouri Department of Natural Resources; 2005-2015*. Geology. com.
5. Al-Ghamdi, A., *X-ray diffraction and gamma-ray analysis of rock samples from Haradh Region in Saudi Arabia*. Journal of Radiation Research and Applied Sciences, 2019. 12(1): p. 87-92.
6. Al-Yaseri, A.Z., et al., *Pore-scale analysis of formation damage in Bentheimer sandstone with in-situ NMR and micro-computed tomography experiments*. Journal of Petroleum Science and Engineering, 2015. 129: p. 48-57.
7. Rahman, T., et al., *Influence of rock microstructure on its electrical properties: an analysis using x-ray microcomputed tomography*. Energy Procedia, 2017. 114: p. 5023-5031.
8. Zandomeneghi, D., et al., *Quantitative analysis of X-ray microtomography images of geomaterials: Application to volcanic rocks*. Geosphere, 2010. 6(6): p. 793-804.
9. Arif, M., et al., *Impact of solid surface energy on wettability of CO₂-brine-Mineral systems as a function of pressure, temperature and salinity*. Energy Procedia, 2017. 114: p. 4832-4842.
10. Rahman, T., et al., *Residual trapping of supercritical CO₂ in oil-wet sandstone*. Journal of colloid and interface science, 2016. 469: p. 63-68.

11. Bang, J.-H., et al., *Effects of sodium laurylsulfate on crystal structure of calcite formed from mixed solutions*. Journal of colloid and interface science, 2011. 356(1): p. 311-315.
12. Bragg, W.L., *The structure of aragonite*. Proceedings of the Royal Society of London. Series A, Containing Papers of a Mathematical and Physical Character, 1924. 105(729): p. 16-39.
13. Caspi, E.a.N., et al., *On the structure of aragonite*. Acta Crystallographica Section B: Structural Science, 2005. 61(2): p. 129-132.
14. Maslen, E., V. Streltsov, and N. Streltsova, *X-ray study of the electron density in calcite, CaCO₃*. Acta Crystallographica Section B: Structural Science, 1993. 49(4): p. 636-641.
15. Dearman, W., *The characterization of rock for civil engineering practice in Britain*. Annales de la Société géologique de Belgique, 1974.
16. Franklin, J.A., *Classification of rock according to its mechanical properties*, 1970, University of London.
17. King, H.M., *Interpretation and closure in the historical geology laboratory*. Journal of College Science Teaching, 1997. 26(5): p. 329.
18. Penuel, B., et al., *X-Ray Diffraction Characterization of Sedimentary Rocks in Demsa Local Government Area of Adamawa State, Nigeria*. Current Journal of Applied Science and Technology, 2017. 24(2): p. 1-9.

الفصل الثالث

تحليل النتائج ومناقشتها

1.III. تمهيد:

أسفرت التطورات المتلاحقة في مجال التحليل الطيفي عن فوائد جمة، أبرزها القدرة على تحليل المركبات بكفاءة غير مسبقة وتحديد خصائصها بدقة. كما نجح العلماء في تطوير قواعد بيانات ضخمة تشمل مخططات طيفية لعدد كبير من المواد، مما سهّل عملية تمييز تراكيبها الكيميائية وتصنيفها.

لدراسة التركيب الجزيئي والبنوي لعينات صخور منطقة خنقة سيدي ناجي (ولاية بسكرة)، تم اعتماد مجموعة من تقنيات التحليل الطيفي المتطورة، شملت: فلورة الأشعة السينية، تقنية انعراج الأشعة السينية (XRD)، مطيافية الأشعة تحت الحمراء بتحويل فورييه (FTIR).

2.III. تحليل النتائج ومناقشتها:**2.III.أ. نتائج فلورة الأشعة السينية:**

تم استخدام جهاز التحليل المتاح في مركز (CRAPC) بولاية الأغواط لفحص العينات المدروسة. حيث يعتمد هذا الجهاز على تقنية الفلورة التي تستند إلى تشتيت طاقة الأشعة السينية (ED-XRF). تم برمجة الجهاز بشكل خاص للكشف عن تراكيز بعض أكاسيد المعادن. تهدف هذه البرامج إلى إيجاد صلة بين تراكيز العناصر ونسبها المولية في الأكاسيد. تعرض النتائج في الجدول (III-01).

الجدول (III-01): تراكيز الأكاسيد المتواجدة في عينات الصخور

| الأكاسيد | العينات | | | | |
|--------------------------------|---------|------|-------|-------|-------|
| | R01 | R02 | R03 | R04 | R05 |
| % | | | | | |
| SiO ₂ | 98.75 | 7.36 | 98.16 | 47.11 | 11.01 |
| Al ₂ O ₃ | 0.12 | 0.45 | 0.15 | 0.27 | 0.29 |

| | | | | | |
|------------------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Fe₂O₃ | 0.11 | 0.41 | 0.48 | 0.15 | 0.22 |
| CaO | 0.45 | 48.24 | 0.33 | 17.88 | 48.01 |
| MgO | 0.07 | 0.72 | 0.11 | 8.53 | 0.86 |
| K₂O | 0.23 | 0.25 | 0.23 | 0.20 | 0.26 |
| Na₂O | 0.03 | 0.01 | 0.03 | 0.20 | 0.01 |
| SO₃ | 0.19 | 0.10 | 0.05 | 0.23 | 0.06 |
| PAF | 0.08 | 43.33 | 1.23 | 26.05 | 39.59 |
| Totale % | 100.03 | 100.87 | 100.77 | 100.62 | 100.31 |

PAF : هي نسبة المواد العضوية

تنبغي الإشارة إلى أن بعض النتائج في الجدول تتجاوز 100%. يُفسر ذلك بأن تقنية XRF هي طريقة لتحليل العناصر، حيث تُظهر تراكيز العناصر مباشرة وليس المركبات. يُستخدم البرمجيات لتحويل تراكيز العناصر إلى تراكيز المركبات، مما يمكن أن يؤدي إلى احتساب بعض العناصر أكثر من مرة. مثلاً على ذلك، يُمكن أن يظهر الأكسجين بتركيز أعلى من الأكسيد، نظرًا لأن الجهاز يحول تراكيز العناصر إلى الأكاسيد التي تكون حاضرة بشكل رئيسي في العينات. إضافة إلى ذلك، قد تكون المعادن مؤكسدة بأشكال مختلفة (FeO, Fe₂O₃, Fe₃O₄)، مما يزيد من احتمال تكرار ظهور العناصر بنسب أكثر من مرة.

يُمكن تحويل تراكيز الأكاسيد المذكورة في الجدول إلى تراكيز العناصر الفردية على أساس الكتل المولية للأكاسيد. يتم ذلك عن طريق استخدام العلاقات الكيميائية بين العناصر والأكاسيد.

على سبيل المثال، إذا كان لدينا أكسيد الحديد (Fe₂O₃)، يمكن تحويله إلى تراكيز العناصر باستخدام الكتل المولية.

الكتل المولية للحديد (Fe) والأكسجين (O) هي:

$$M_{Fe} = 55.845 \text{ g/mol}$$

$$M_{O} = 15.9994 \text{ g/mol}$$

بالتالي، يمكن حساب نسبة تركيز الحديد في العينة عن طريق العلاقة:

$$P_{Fe} (\text{calculé}) = \frac{M_{Fe}}{2M_{Fe} + 3M_{O}} \quad (1-III)$$

$$P_{Fe} = P_{Fe_2O_3} (\text{éxperimental}) \times P_{Fe} (\text{calculé}) \quad (2-III)$$

الجدول (02-III): تراكيز العناصر الكيميائية المتواجدة في عينات الصخور $10^{-4} \frac{mg}{kg}$

| العينة | Si | Al | Fe | Ca | Mg | K ₂ | Na | S |
|-----------|-----------|--------|---------|-----------|---------|----------------|--------|--------|
| R1 | 461557,5 | 317,52 | 384,67 | 3215,7 | 422,1 | 954,5 | 111,27 | 760,76 |
| R2 | 34400,64 | 1190,7 | 1433,77 | 344723,04 | 4341,6 | 1037,5 | 037,09 | 400,4 |
| R3 | 458799,84 | 396,9 | 1678,56 | 2358,18 | 663,3 | 954,5 | 111,27 | 200,2 |
| R4 | 220192,14 | 714,42 | 524,55 | 127770,48 | 51435,9 | 830 | 741,8 | 920,92 |
| R5 | 51460,74 | 767,34 | 769,34 | 343079,46 | 5185,8 | 1079 | 037,09 | 240,24 |

العينة R01 :

تبين نتائج فلورة الاشعة السينية ان العينة R01 تتشكل أساسا من ثاني أكسيد السيليسيوم بنسبة 98.75% , وهي

نسبة كبيرة جدا بحيث ظهرت بقية الاكاسيد بنسب ضئيلة اذ انها لم تتجاوز نسبة كل منهم الواحد بالمئة .

العينة R02 :

واظهرت كذلك نفس التقنية بالنسبة للعينة R02 ان هذه العينة تحتوي على نسبة اقل من أكسيد السيليسيوم مقارنة

العينة السابقة بحيث وجد انها تحتوي على أكسيد السيليسيوم بنسبة 7.36% في حين وجد انها تحتوي على نسبة 48.24% من

أكسيد الكالسيوم ومن الملاحظ كذلك وجود نسبة معتبرة في السطر ما قبل الأخير الذي رمّز له ب PAF الذي يشير الى وجود عناصر عضوية في الصخرة وبالتالي نستطيع تفسير وجود هذه النسبة الأخيرة مجتمعة مع نسبة أكسيد الكالسيوم بانها تدل على ان الكالسيت ($CaCO_3$) هو الغالب في العينة. وماتبقى ينقسم ما بين الاكاسيد الأخرى بحيث تظهر بنسب قليلة جدا.

العينة R03 :

بينت النتائج وجود تشابه بين العينة R03 والعينة R01 من حيث نسبة أكسيد السيليسيوم المكون لهما اذ ان نسبة أكسيد السيليسيوم في العينة R03 فُدرت ب 98.16% وهي قريبة جدا من نسبة أكسيد السيليسيوم الموجودة في العينة R01 اما بالنسبة لبقية الاكاسيد فقد وجدت كمية قليلة من الكالسيت بحيث كانت نسبة أكسيد الكالسيوم 0.33% ومع نسبة PAF التي كانت 1.23% اللتان تشكلان معا الكالسيت كما سبق الذكر، ولم تلاحظ أي نسب تذكر من بقية الأكاسيد.

العينة R04 :

اما بالنسبة لهذه العينة فكانت مختلفة تماما عن العينات السابقة من حيث التركيب بحيث لوحظ ان نسبة تواجد أكسيد السيليسيوم فيها كانت 47.11% وتنقسم نسبة وجود الكالسيت بين نسبة أكسيد الكالسيوم المقدرة ب 17.88% ونسبة المواد العضوية المتواجدة في السطر ما قبل الأخير المقدرة ب 26.05% وجد كذلك نسبة معتبرة نوعا ما من أكسيد المغنيزيوم المقدرة ب 8.53% اما عن بقية الاكاسيد كانت نسب تواجدهم نادرة جدا.

العينة R05 :

اتضح جليا من نتائج الصخرة الأخيرة انها تشكل أساسا من الكالسيت اذ ان نسبة أكسيد الكالسيوم كانت 48.01% ونسبة المواد العضوية المتممة لتشكيل الكالسيت فُدرت ب 39.59% وظهر أكسيد السيليسيوم بنسبة 11.01%، ولم تظهر أي نسبة تذكر في بقية الأكاسيد.

III.2.ب. نتائج إنعراج الأشعة السينية:

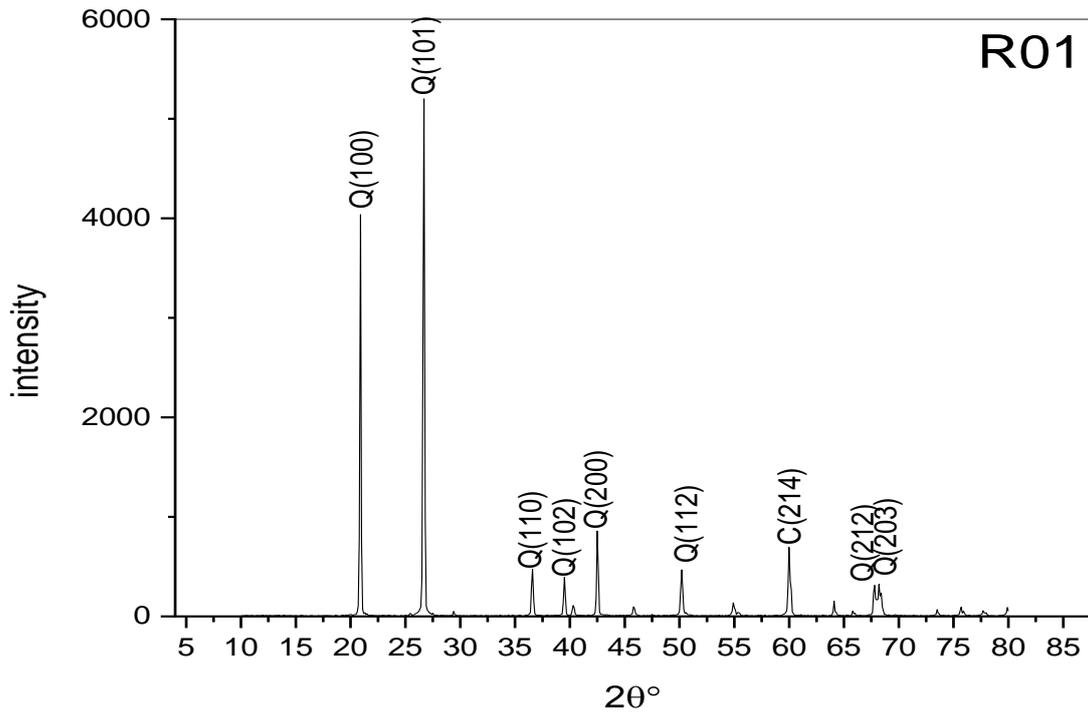
أوضحت نتائج إنعراج الأشعة السينية أن صخور خنقة سيدي ناجي تتألف أساسا من طورين بلوريين هما الكوارتز والكالسيت حيث لوحظ أن معظم خطوط الإنعراج تابعة للكوارتز أو الكالسيت.

تجدر الإشارة إلى أن إرتفاع خط إنعراج الأشعة السينية في العينة الواحدة لا يدل على كمية الطور فقط بل يدل أيضا على شدة تبلوره كما أن مكونات البنية الأساسية للبلورة من الذرات هي التي تحدد الحزمة المنعكسة من المستويات البلورية المتوازية. وبمعنى اخر، كلما كانت المستويات مليئة بالذرات. زادت شدة الحزمة المنعكسة، وهذا ما يفسر تواجد أحيانا اطوار ثانوية لا تظهر في مخططات إنعراج الأشعة السينية نظرا لضعف تبلورها او نسبة تواجدها في العينة.

العينة R01:

بينت نتائج الأشعة السينية أن العينة R01 تحتوي بصفة أساسية على الكوارتز SiO_2 حيث ظهر أبرز إنعراج والأكثر شدة عند الزاوية $2\theta = 26.66^\circ$ التي توافق المستوي البلوري 101، وظهرت بقية الإنعراجات عند الزوايا $20.89^\circ, 39.58^\circ, 36.58^\circ, 39.50^\circ, 40.33^\circ, 42.50^\circ, 45.85^\circ, 50.19^\circ, 54.90^\circ, 60.03^\circ, 65.88^\circ, 67.78^\circ, 68.33^\circ, 73.51^\circ, 75.75^\circ, 77.75^\circ$ الموافقة للمستويات البلورية التالية 100, 110, 102, 111, 200, 201, 112, 202, 211, 300, 212, 301, 104, 302, 220 على التوالي، وفقا للمرجع (00-033-1161).

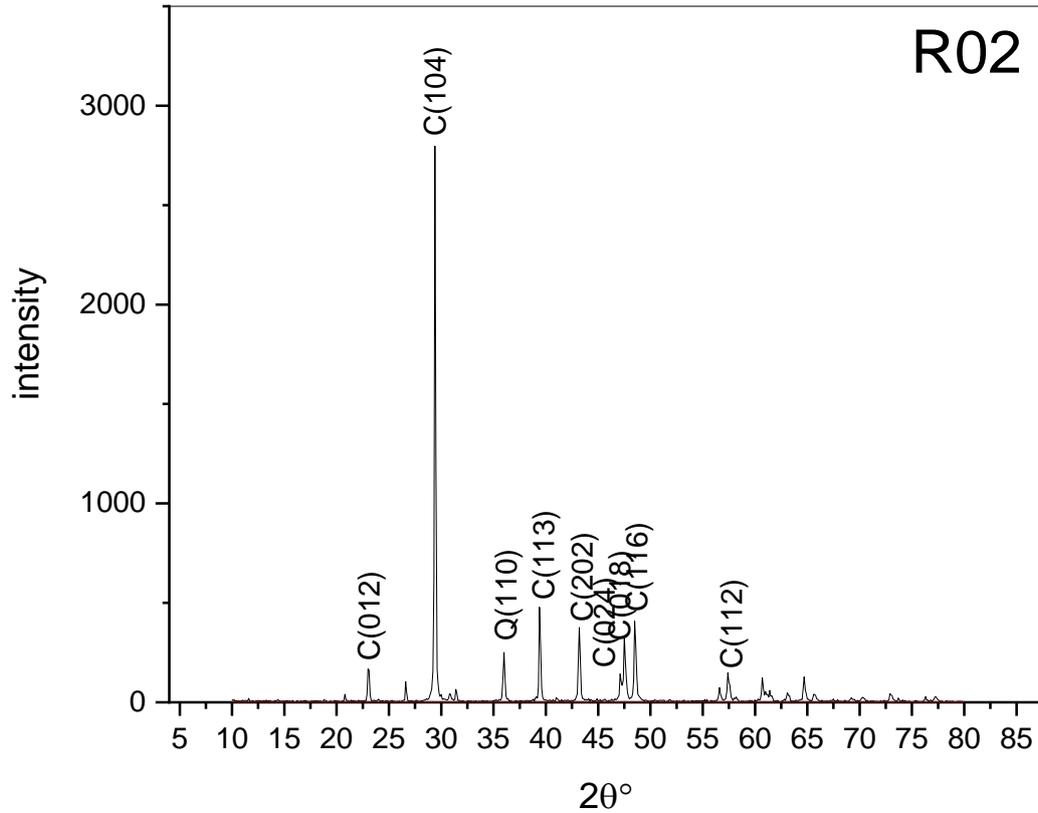
لوحظ كذلك في مخطط هذه العينة إنعراجات عند الزوايا $29.42^\circ, 39.50^\circ, 47.57^\circ$ التي توافق المستويات البلورية 104, 113, 018 على الترتيب وفق المرجع (00-05-0586)، وتشير هذه الإنعراجات إلى تواجد الكالسييت بنسب قليلة وهو ما يتوافق مع نتائج التقنيات السابقة.



الشكل (III-01): مخطط إنعراج الأشعة السينية للعينه R01

العينه R02

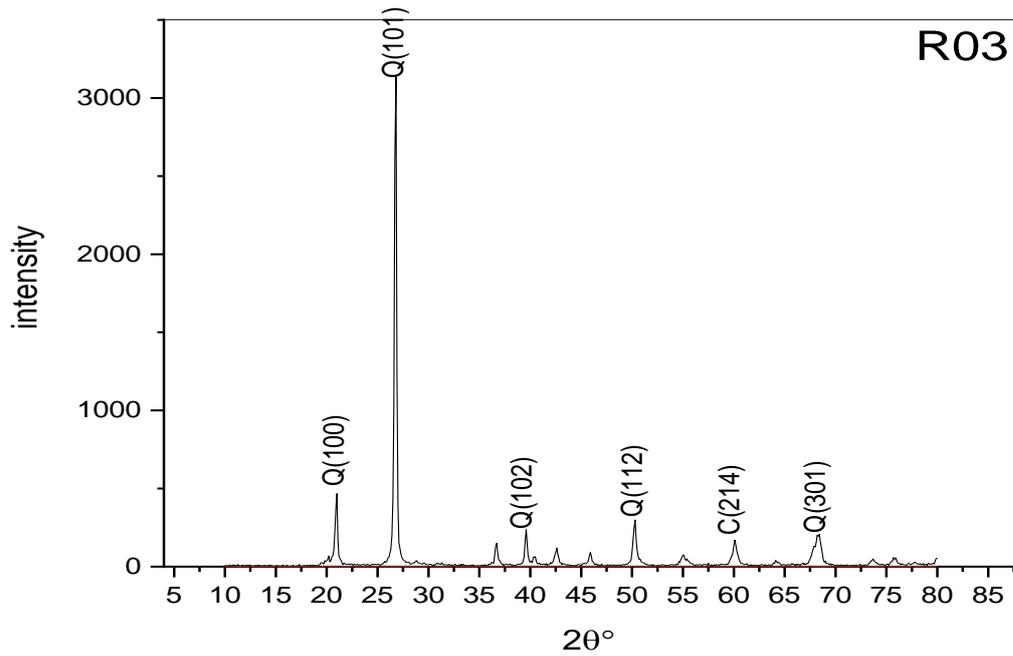
أظهرت نتائج الأشعة السينية أن العينه R02 من خلال الإنعراجات في الزوايا 23.02° , 29.35° , 35.96° , 39.40° , 43.14° , 47.55° , 48.51° , 56.61° , 57.43° , 60.70° , 61.42° , 63.13° , 64.68° , 65.66° , 72.94° التي توافق المستويات البلورية التالية 012, 104, 110, 113, 202, 018, 116, 211, 122, 214, 119, 125, 300, 0012, 128. أنها تحتوي على الكالسيه CaCO_3 بنسبه كبيره وفق المرجع (00-005-0586) مقارنة بنسبه تواجد الكوارتز القليله جدا فيها الظاهره عند الزوايا 20.79° , 39.40° , 65.66° الموافقه للمستويات البلورية: 100, 102, 300 على التوالي وفق المرجع (00-033-1161).



الشكل (III-02) : مخطط إنعراج الأشعة السينية للعينه R02

العينه R03

إتضح من معالجة نتائج الأشعة السينية ان العينه R03 تتميز بطبيعة بلورية عالية وهو ما يدل على تواجد الكوارتز بنسبة عالية في العينه الراجع الى الإنعراجات في الزوايا 20.92° , 26.73° , 36.64° , 39.56° , 40.37° , 42.55° , 45.87° , 50.21° , 54.92° , 60.08° , 64.17° , 67.63° , 68.36° , 73.52° , 75.75° , 77.68° , الموافقة للمستويات البلوري: 100, 101, 110, 102, 111, 200, 201, 112, 202, 211, 113, 212, 203, 104, 302, 220. وفق المرجع (00-046-1045). أما القمم التي عند الزوايا 29.54° , 39.56° , 73.52° التي توافق المستويات البلورية التالية 104, 113, 306 وفقا للمرجع (00-005-0586) فهي تدل على وجود الكالسييت بنسبة قليلة.

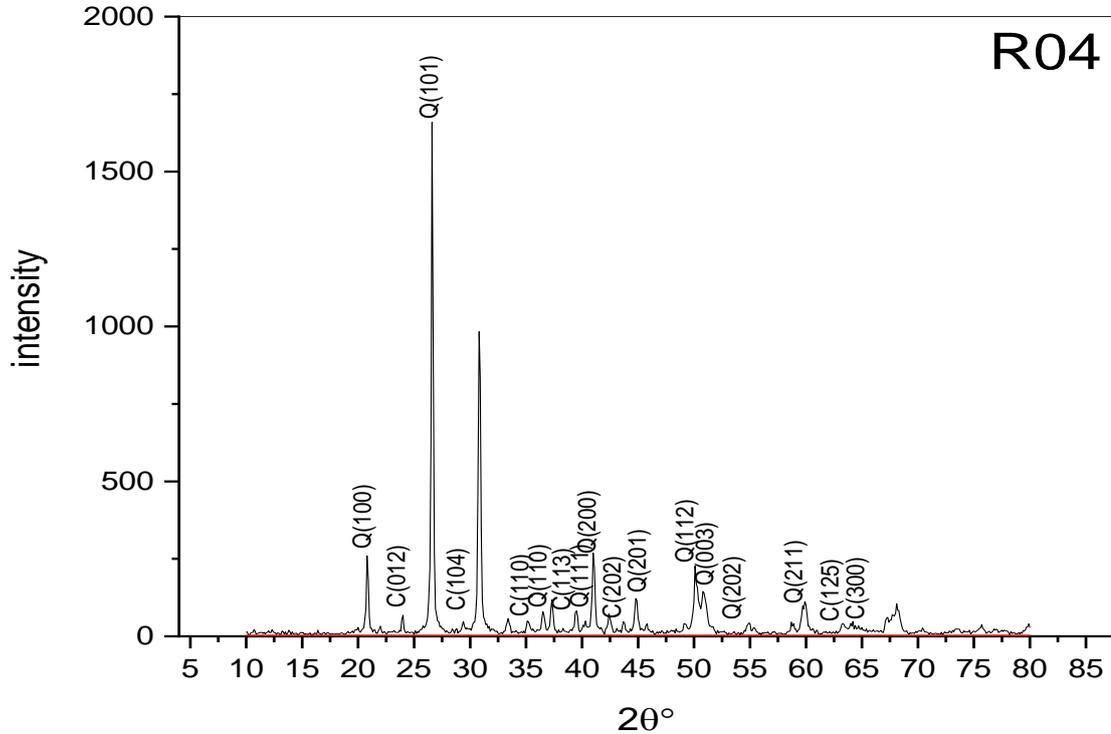


الشكل (III-03) : مخطط إنعراج الأشعة السينية للعينة R03

العينة R04

تميزت العينة R04 بأنها تحتوي على الكالسيت و الكوارتز بنسب متقاربة، بحيث لوحظ وجود الكالسيت الظاهر في الانعراجات عند الزوايا 29.27° , 39.43° , 48.51° , 55.96° , 57.09° , 64.07° الموافقة للمستويات البلورية 104, 113, 116, 122, 300 وفق المرجع (00-005-0586). بينما ظهر الكوارتز في الزوايا 20.78° , 26.57° , 36.43° , 39.43° , 40.20° , 42.40° , 45.78° , 50.09° , 54.79° , 59.84° , 64.07° , 67.15° , 68.18° التي توافق المستويات التالية: 100, 101, 110, 102, 111, 200, 201, 112, 202, 211,

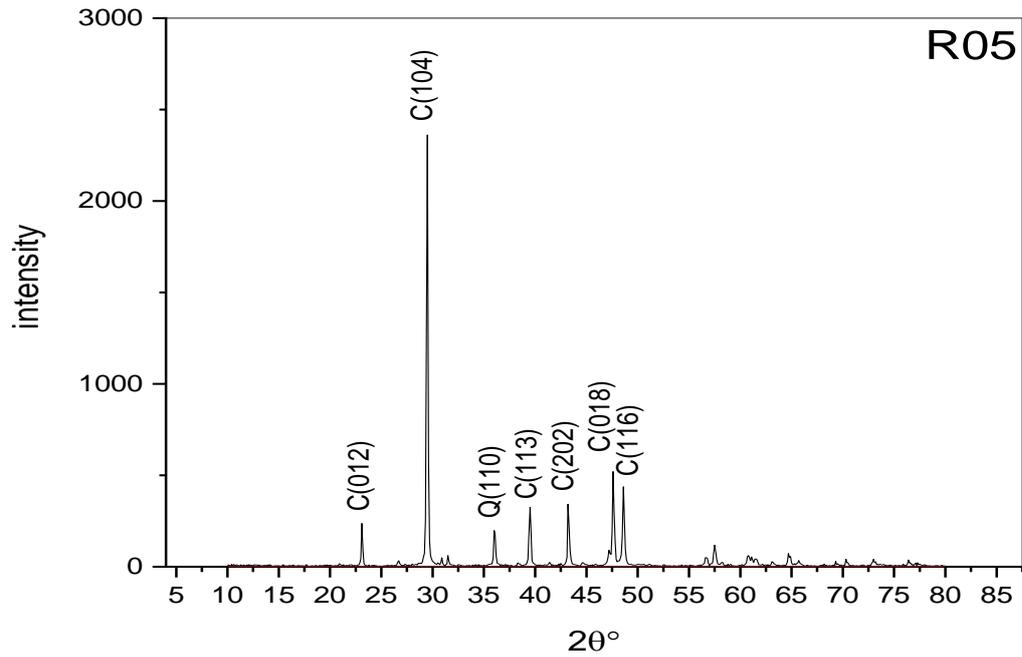
113, 212, 203, وفق المرجع (00-033-1161).



الشكل (III-04) : مخطط إنعراج الأشعة السينية للعينة R04

العينة R05

تبين من خلال نتائج الأشعة السينية ان العينة R05 المكون الأساسي لها هو الكالسيت مع تواجد نسبة من الكوارتز حيث رصد الكالسيت في القمم الموافقة للزوايا 43.25° , 39.49° , 36.05° , 31.52° , 29.47° , 23.10° , 69.40° , 65.74° , 64.77° , 63.18° , 61.56° , 60.77° , 57.52° , 56.67° , 48.62° , 47.63° , المتوافقة مع المستويات البلورية التالية 012, 104, 006, 110, 113, 202, 024, 116, 211, 122, 214, 119, 125, 300, 0012, وفق المرجع (00-005-0586). أما بالنسبة للكوارتز فقد لوحظ وجوده من خلال الإنعراج عند الزوايا: 36.05° , 39.49° , 42.41° , 55.25° , 56.67° , 65.74° , 68.15° مع المستويات الموافقة لها: 110, 102, 200, 103, 210, 300, 203, على التوالي وفق المرجع (00-033-1161).



الشكل (III-05) : مخطط إنعراج الأشعة السينية للعينة R05

i. تفسير انزياح القمم :

أظهرت المقارنة بين نتائجنا التجريبية وبطاقات تعريف الأطوار البلورية (ASTM) , وجود انزياحات طفيفة في المسافات البينية المتعلقة بقمم الانعراج. ويعود ذلك إلى العيوب البلورية المتواجدة فيها. هذه الانزياحات تؤدي إلى إتساع الخطوط، مما قد يؤثر على دقة تحديد مواقع قمم الانعراج. بالإضافة إلى ذلك، تولّد الشوائب داخل البنية البلورية عيوباً إضافية تتعلق بنوعها ونسبتها ومواقعها، مما يؤثر على حجم البنية البلورية. احتلال ذرات الشوائب لمواقع ذرات المادة الأصلية يؤدي إلى إزاحة مواقع القمم في مخططات انعراج الأشعة السينية، وذلك وفقاً لاختلاف الأقطار الأيونية بين الشوائب والمادة المضيفة.

إلى جانب ذلك، يمكن أن يؤدي التوزيع غير المتساوي للعينات في حامل العينة أثناء التجربة إلى تغيير مواقع القمم. عند تضافر جميع هذه العوامل المؤثرة في خطوط الانعراج، يصبح من الصعب تحديد السبب الرئيسي للانزياح.

الجدول (III-03): تحليل نتائج انعراج الاشعة السينية لعينات الصخور

R01

| زوايا الانعراج 20° | الاطوار البلورية | معاملات ميلر (hkl) | المسافة البينية المحسوبة (d _{cal} A°) | المسافة البينية التجريبية (d _{exp} A°) | Δd |
|-----------------------|---------------------|-----------------------|--|---|-------------|
| 20,89799 | كوارتز | 100 | 4,26906 | 4,25086 | 0,018199715 |
| 26,66883 | كوارتز | 101 | 3,368402 | 3,34268 | 0,025722394 |
| 29,42355 | كالسيت | 104 | 3,064851 | 3,0357 | 0,029150658 |
| 36,58784 | كوارتز | 110 | 2,493826 | 2,45606 | 0,037766014 |
| 39,50343 | كوارتز كالسيت | 102 113 | 2,322433 | 2,28125 | 0,041182509 |
| 40,33162 | كوارتز | 111 | 2,278442 | 2,2363 | 0,042142143 |
| 42,50288 | كوارتز | 200 | 2,171603 | 2,12695 | 0,044652645 |
| 45,84724 | كوارتز | 201 | 2,02776 | 1,97928 | 0,048480244 |
| 47,57623 | كالسيت | 018 | 1,96175 | 1,91131 | 0,050439652 |
| 50,19536 | كوارتز | 112 | 1,87094 | 1,81755 | 0,053389783 |
| 54,9092 | كوارتز | 202 | 1,730785 | 1,67215 | 0,058635162 |
| 60,0349 | كوارتز | 211 | 1,605314 | 1,54106 | 0,064253898 |
| 64,14635 | كوارتز | 300 | 1,520544 | 1,45185 | 0,068694499 |
| 67,78934 | كوارتز | 212 | 1,455002 | 1,38243 | 0,072572078 |
| 68,33429 | كوارتز | 301 | 1,445877 | 1,37273 | 0,073147006 |
| 73,51833 | كوارتز | 104 | 1,366788 | 1,28822 | 0,078567543 |
| 75,75784 | كوارتز | 302 | 1,336487 | 1,25561 | 0,080877108 |
| 77,75351 | كوارتز | 220 | 1,311214 | 1,2283 | 0,082913983 |

R02

| زوايا الانعراج 20° | الاطوار البلورية | معاملات ميلر (hkl) | المسافة البينية المحسوبة (d _{cal} A°) | المسافة البينية التجريبية (d _{exp} A°) | Δd |
|-----------------------|------------------|-----------------------|--|--|-------------|
| 20,79776 | كوارتز | 100 | 4,289182 | 4,26759 | 0,021592407 |
| 23,02151 | كالسيت | 012 | 3,884374 | 3,86014 | 0,024234455 |
| 29,35417 | كالسيت | 104 | 3,071782 | 3,0402 | 0,031582099 |
| 35,96225 | كالسيت | 110 | 2,534363 | 2,49527 | 0,039093316 |
| 39,4024 | كالسيت كوارتز | 113 102 | 2,327931 | 2,28497 | 0,04296085 |
| 43,14376 | كالسيت | 202 | 2,142219 | 2,09509 | 0,047128626 |
| 47,55525 | كالسيت | 018 | 1,96252 | 1,91052 | 0,052000136 |
| 48,51424 | كالسيت | 116 | 1,928025 | 1,87497 | 0,053055199 |
| 56,61068 | كالسيت | 211 | 1,686376 | 1,62452 | 0,06185604 |
| 57,43022 | كالسيت | 122 | 1,666008 | 1,60327 | 0,062738435 |
| 60,70945 | كالسيت | 214 | 1,590529 | 1,52428 | 0,066249482 |
| 61,42685 | كالسيت | 119 | 1,5752 | 1,50819 | 0,067010173 |
| 63,13475 | كالسيت | 125 | 1,540261 | 1,47144 | 0,068821291 |
| 64,68301 | كالسيت | 300 | 1,510365 | 1,43991 | 0,070455087 |
| 65,66686 | كوارتز | 0012 | 1,492189 | 1,4207 | 0,071488866 |
| 72,94887 | كالسيت | 128 | 1,374841 | 1,29579 | 0,079050839 |

R03

| زوايا الانعراج 20° | الاطوار البلورية | معاملات ميلر (hkl) | المسافة البينية المحسوبة (d _{cal} A°) | المسافة البينية التجريبية (d _{exp} A°) | Δd |
|-----------------------|------------------|-----------------------|--|--|-------------|
| 20,92567 | كوارتز | 100 | 4,263537 | 4,24179 | 0,021746885 |
| 26,73927 | كوارتز | 101 | 3,359845 | 3,33128 | 0,028565157 |

| | | | | | |
|----------|--------|------------|----------|---------|-------------|
| 29,54075 | كالسيت | 104 | 3,053217 | 3,02142 | 0,03179737 |
| 36,64557 | كوارتز | 110 | 2,490157 | 2,45029 | 0,039867405 |
| 39,56931 | كالسيت | 113 102 | 2,318863 | 2,27572 | 0,04314289 |
| 40,37916 | كوارتز | 111 | 2,275974 | 2,23193 | 0,04404412 |
| 42,55786 | كوارتز | 200 | 2,169045 | 2,12257 | 0,0464754 |
| 45,8743 | كوارتز | 201 | 2,026686 | 1,97654 | 0,050146489 |
| 50,21013 | كوارتز | 112 | 1,870456 | 1,81555 | 0,054906334 |
| 54,92447 | كوارتز | 202 | 1,730373 | 1,67034 | 0,060033286 |
| 60,08623 | كوارتز | 211 | 1,604176 | 1,53859 | 0,065585964 |
| 64,17329 | كوارتز | 113 | 1,520029 | 1,45011 | 0,069918939 |
| 67,63276 | كوارتز | 212 | 1,457655 | 1,3841 | 0,073554992 |
| 68,36862 | كوارتز | 203 | 1,445308 | 1,37099 | 0,074317712 |
| 73,52283 | كالسيت | 104 306 | 1,366724 | 1,28708 | 0,079644484 |
| 75,75788 | كوارتز | 302 | 1,336487 | 1,25457 | 0,081916585 |
| 77,68697 | كوارتز | 220 | 1,312032 | 1,22816 | 0,083871801 |

R04

| زوايا الانعراج 20° | الاطوار البلورية | معاملات ميلر (hkl) | المسافة البينية المحسوبة ($d_{cal}A^\circ$) | المسافة البينية التجريبية ($d_{exp}A^\circ$) | Δd |
|-----------------------|---------------------|--------------------------|---|--|-------------|
| 20,78354 | كوارتز | 100 | 4,292053 | 4,27047 | 0,021583186 |
| 26,57104 | كوارتز | 101 | 3,380359 | 3,35199 | 0,028368797 |
| 29,27187 | كالسيت | 104 | 3,080048 | 3,04856 | 0,031487892 |

| | | | | | |
|----------|------------------|------------|-------------|---------|-------------|
| 36,49203 | كوارتز | 110 | 2,499941 | 2,46025 | 0,039691056 |
| 39,43843 | كوارتز كالسيت | 102 113 | 2,325967 | 2,28297 | 0,042996627 |
| 40,20882 | كوارتز | 111 | 2,284845 | 2,24099 | 0,043855463 |
| 42,40275 | كوارتز | 200 | 2,176278 | 2,12998 | 0,046297797 |
| 45,7827 | كوارتز | 201 | 2,030327 | 1,98028 | 0,050046648 |
| 48,51539 | كالسيت | 116 | 1,927985 | 1,87493 | 0,053054704 |
| 50,09743 | كوارتز | 112 | 1,874153 | 1,81937 | 0,054782932 |
| 54,79269 | كوارتز | 202 | 1,733936 | 1,67404 | 0,059895986 |
| 55,96298 | كالسيت | 211 | 1,702935 | 1,64178 | 0,061154528 |
| 57,09422 | كالسيت | 122 | 1,674282 | 1,6119 | 0,062381526 |
| 59,84142 | كوارتز | 211 | 1,609623 | 1,5443 | 0,06532255 |
| 64,07917 | كالسيت كوارتز | 300 113 | 1,521832 | 1,45201 | 0,069822267 |
| 67,15796 | كوارتز | 212 | 1,465786 | 1,39273 | 0,073055589 |
| 68,18312 | كوارتز | 203 | 1,448391643 | 1,37427 | 0,074121643 |

R05

| زوايا الانعراج 20° | الاطوار البلورية | معاملات ميلر (hkl) | المسافة البينية المحسوبة ($d_{cal}A^\circ$) | المسافة البينية التجريبية ($d_{exp}A^\circ$) | Δd |
|-----------------------|---------------------|--------------------------|---|--|-------------|
| 23,10521 | كالسيت | 012 | 3,870678 | 3,84954 | 0,021138335 |
| 29,47615 | كالسيت | 104 | 3,059618 | 3,0304 | 0,029217871 |
| 31,52822 | كالسيت | 006 | 2,869411 | 2,83769 | 0,031721061 |
| 36,05751 | كوارتز | 110 | 2,528097 | 2,49096 | 0,037136627 |

| | | | | | |
|----------|------------------|-------------|----------|---------|-------------|
| 39,49308 | كوارتز كالسيت | 102 113 | 2,322994 | 2,28182 | 0,041174438 |
| 42,41626 | كوارتز | 200 | 2,175646 | 2,13109 | 0,044555653 |
| 43,25937 | كالسيت | 202 | 2,137015 | 2,09149 | 0,045525301 |
| 47,63913 | كالسيت | 024 | 1,959444 | 1,90893 | 0,05051399 |
| 48,62848 | كالسيت | 116 | 1,924012 | 1,87238 | 0,051632484 |
| 55,25385 | كوارتز | 103 | 1,721549 | 1,66253 | 0,059019135 |
| 56,67482 | كوارتز كالسيت | 210 211 | 1,684759 | 1,62418 | 0,060578766 |
| 57,52692 | كالسيت | 122 | 1,663647 | 1,60213 | 0,061517061 |
| 60,77559 | كالسيت | 214 | 1,589099 | 1,52404 | 0,065059411 |
| 61,56721 | كالسيت | 119 | 1,572247 | 1,50633 | 0,065917334 |
| 64,77731 | كالسيت | 300 | 1,508596 | 1,43923 | 0,069365972 |
| 65,74681 | كالسيت كوارتز | 0012 300 | 1,490739 | 1,42034 | 0,070398757 |
| 68,15083 | كوارتز | 203 | 1,44893 | 1,37598 | 0,072950421 |
| 69,40309 | كالسيت | | 1,428455 | 1,35418 | 0,074274789 |

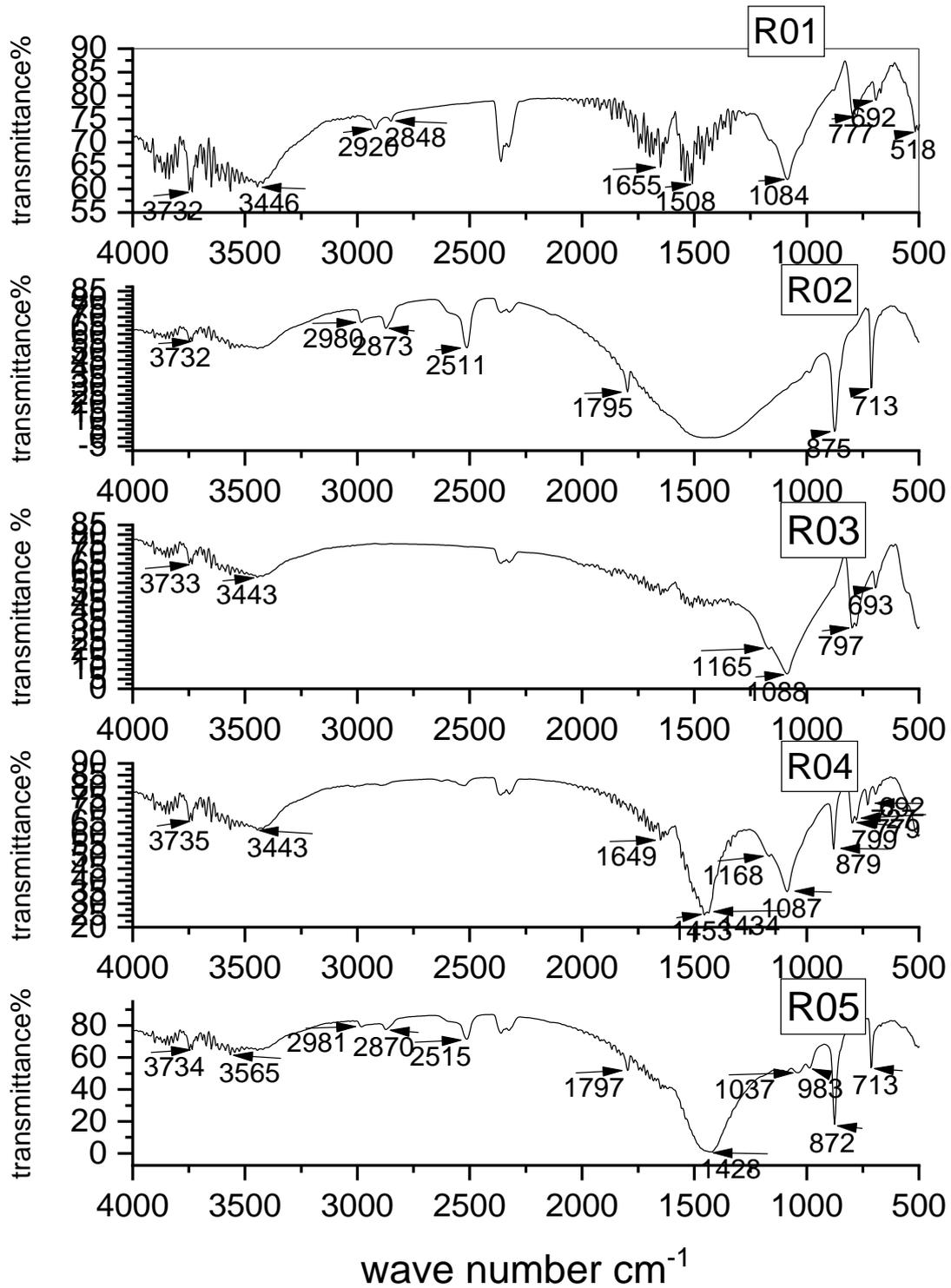
III.2.ج. نتائج تقنية إمتصاص الأشعة تحت الحمراء :

تُستخدم تقنية التحليل الطيفي للأشعة تحت الحمراء بشكل شائع لتحديد التركيب الجزيئي للمواد.

لإجراء تحليل نوعي للمواد قيد الدراسة، يمكن الاكتفاء بربط الأطوال الموجية الممتصة بالمجموعات الوظيفية الموجودة في

المادة باستخدام المراجع المتوفرة.

يوضح الشكل طيف إمتصاص الأشعة تحت الحمراء لجميع عينات الصخور، تُظهر مقارنة نطاقات الإمتصاص الموجودة في طيف عيناتنا مع أعمال أخرى أن نطاقات الإمتصاص التي تم الحصول عليها تتفق جيداً مع نتائج الأعمال السابقة. وتبين أن معظم الروابط المتواجدة ترجع إلى الكوارتز والكالسيت وهذا يتوافق مع نتائج XRD و FRX. هناك أيضاً نطاقات إمتصاص أخرى مرتبطة بالمياه.



الشكل (III-06) : يوضح أطياف الإمتصاص للأشعة تحت الحمراء لعينات الصخور

الجدول (III-04) : نطاقات الرئيسية للإمتصاص وإهتزاز الروابط الظاهرة في عينات الصخور.

| نوع الاهتزاز | المركب | العينات | | | | | العدد الموجي cm ⁻¹ |
|--|----------------|---------|-----|-----|-----|-----|----------------------------------|
| | | R01 | R02 | R03 | R04 | R05 | |
| اهتزاز التمدد للرابطة O-H (stretch vibration) | ماء ممتص | | | | X | | 3735 |
| | | | | | | X | 3734 |
| | | | | X | | | 3733 |
| | | X | X | | | | 3732 |
| | | | | | | X | 3565 |
| | | X | | | | | 3446 |
| | | | | X | X | | 3443 |
| تمدد غير متناظر للرابطة C-H | كالسيت | | | | | X | 2981 |
| | | | X | | | | 2980 |
| اضطراب الرابطة C-O | شوائب عضوية | X | | | | | 2920 |
| تمدد غير متناظر للرابطة C-H | كالسيت | | X | | | | 2873 |
| | | | | | | X | 2870 |
| اضطراب الرابطة C-O | شوائب عضوية | X | | | | | 2848 |
| الجمع بين التمدد الغير متناظر والمتناظر لـ CO ₃ ²⁻ | كالسيت | | | | | X | 2515 |

| | | | | | | | |
|---|--------|---|---|---|---|---|------|
| | | | X | | | | 2511 |
| الجمع بين التمدد التناظر والانهاء في مستوي الاتزان لـ CO_3^{2-} | كالسيت | | | | | X | 1797 |
| | | | X | | | | 1795 |
| اهتزاز تمدد غير متناظر Si-O Si-O asymmetrical stretching vibration | كوارتز | | | | X | | 1168 |
| | | | | X | | | 1165 |
| اهتزاز تمدد غير متناظر Si-O Si-O asymmetrical stretching vibration | كوارتز | | | X | | | 1088 |
| | | | | | X | | 1087 |
| | | X | | | | | 1084 |
| | | | | | | X | 1037 |
| | | | | | | X | 983 |
| انهاء خارج مستوى الاتزان CO_3^{2-} CO_3^{2-} Out of plane bending | كالسيت | | | | X | | 879 |
| | | | X | | | | 875 |
| | | | | | | X | 872 |
| اهتزاز تمدد متناظر Si-O Si-O Symmetrical stretching vibration | كوارتز | | | | X | | 799 |
| | | | | X | | | 797 |
| | | | | | X | | 779 |
| | | X | | | | | 777 |
| اهتزاز انهاء في مستوي الاتزان CO_3^{2-} CO_3^{2-} In-plane bending | كالسيت | | | | X | | 727 |
| | | | X | | | X | 713 |

| | | | | | | | |
|---|--------|---|--|---|---|--|-----|
| اهتزاز تمدد متناظر Si-O-Si Si-O-Si Symmetrical stretching vibration | كوارتز | | | X | | | 693 |
| | | X | | | X | | 692 |
| اهتزاز تمدد غير متناظر Si-O Si-O asymmetrical stretching vibration | كوارتز | X | | | | | 518 |

أثبتت النتائج المتحصل عليها عن طريق مطيافية الأشعة تحت الحمراء التوافق الحاصل مع نتائج تقنيتي إنعراج الأشعة السينية وفلورتها , حيث أظهرت أن عينات صخور خنقة سيدي ناجي ببسكرة تحتوي على كميات معتبرة من الكوارتز والكالسيت والبعض من الماء على حسب نوعية الصخرة .

أين لوحظ تواجد الكوارتز في أشرطة الإمتصاص التالية في مختلف العينات : 518, 692, 693, 777, 779, 797, 799, 983, 1037, 1084, 1087, 1088, 1165 و 1168 cm^{-1} , وتعود أشرطة الإمتصاص : 713, 727, 782, 875, 879, 1797, 2511, 2515, 2848, 2870, 2873, 2920, 2980 و 2981 cm^{-1} تعود إلى وجود الكالسيت مع تفاوت النسب من عينة إلى أخرى .

بالإضافة الى وجود الماء المثل في أشرطة الإمتصاص 3443, 3446, 3565, 3732, 3733, 3734 و cm^{-1}

¹ 3735 وهو ما دلت عليه التقنيتين السالفتين الذكر.

الفصل الرابع

الدراسة الجيولوجية

1.IV. تمهيد

سنتطرق في هذا الفصل إلى تعريفات جيولوجية ومفاهيم عامة حول جيولوجيا منطقة خنقة سيدي ناجي يليه المرور ببعض صور الصخور المستعملة في هذه الدراسة ثم مناقشة نتائج تقنية الشرائح الرقيقة ونتائج التقنيات الجيوفيزيائية المنجزة في أرضية الميدان التي كان الهدف منها هو معرفة وإكتشاف التركيبات الجيولوجية ومعرفة الصخور الأساسية للمنطقة.

2.IV. مفاهيم جيولوجية :**2.IV.أ. التعريف بمنطقة الدراسة :**

خنقة سيدي ناجي هي بلدية تابعة إداريًا لولاية بسكرة، تقع على بُعد حوالي 100 كيلومتر شرق الولاية. تُعدّ نقطة التقاء بين ثلاث ولايات: بسكرة، باتنة، وخنشلة. جغرافيًا، ترتبط ببلديتي جلال والولجة التابعتين لولاية خنشلة، بالإضافة إلى بلدية كيمل التابعة لولاية باتنة.

وقد تم في يوم 2021/12/11 أخذ العينات من خنقة سيدي ناجي من النقطة ذات الاحداثيات (34°4936N6°4409E) حيث أخذت خمس عينات من صخور متنوعة من نفس المكان.

2.IV.ب. العصور الجيولوجية [1]:

تتغير التركيبة الجيولوجية للصخور حسب العمر الجيولوجي الخاص بها وفيما يلي ملخص لأهم العصور التي تشكل تضاريس: الدهر الأول، الذي يميز تشكل الأرض وشبابها المبكر، هو العصر الهادي، الذي يستمر من 4.6 إلى 4 مليار سنة. ويتبعه العصر الأركي (منذ 4 إلى 2.5 مليار سنة)، ثم العصر البدائي (منذ 2.5 مليار سنة إلى 542 مليون سنة)، ثم العصر الفانروزوي (منذ 542 مليون سنة إلى الوقت الحاضر).

في الترتيب الثاني، يتم تقسيم كل أيون إلى عصور. وهكذا ينقسم العصر الحالي، أو الدهر الفانروزوي، إلى ثلاثة عصور: العصر الباليوزوي (أو العصر الأولي)، والعصر الوسيط (أو العصر الثانوي)، والعصر السينوزوي (العصر الثالث الحالي).

IV.3.ب. المقطع الجيولوجي للمنطقة:

في منطقة خنقة سيدي ناجي، تم وصف التكوينات النيوجينية لأول مرة من قبل جي. بي. إم. فلاماند (1911)، حيث نسب قاعدة السلسلة إلى الأوليجوسين. لاحقاً، وضّح ر. لافيت (1939) التركيبات المختلفة للسلسلة.

تبدأ السلسلة بتكوين متجمع (كونغلواميراتي)، تعلوه طبقات من الطين الأحمر التورتوني المتصلة مع طين حوض بسكرة. بعد ذلك، تأتي طبقات من الحجر الرملي البني والأحمر الميسيني، تحتوي على طبقات صغيرة من الحصى تحتوي على مستحاثات من نوع (هيليكس تيسوتي) في الأعلى. وتنتهي السلسلة بطبقات من البودينغ ذات العناصر الكبيرة قليلة التماسك، التي تتوج السلسلة في كل مكان، وتوجد في الجزء العلوي منها عدسات من الحجر الرملي متصلة بتلك الموجودة في منطقة 'كومت قرتا'.

إلى الجنوب الشرقي من القرية، فوق الحجر الجيري والمارل من السينوماني العلوي والإيوسين، توجد طبقات متقطعة تضم:

- 18 متراً من الكونغلواميرات ذات الحبيبات المتنوعة (بقطر من 0.3 إلى 28 سم) ممدودة وغير مستديرة جيداً، مع مصفوفة طينية.

- 20 متراً من الطين البني إلى المحمر.

- 12 متراً من الحجر الرملي الناعم في طبقات عشرية، مع طبقات موازية تميل قليلاً في الأعلى.

- 11.5 متراً من الكونغلواميرات الأقل خشونة من تلك الموجودة في القاعدة.

- 15 متراً من الطين الرملي مع إداخلات من طبقات صغيرة من الكونغلواميرات.

- 30 متراً من الكونغلواميرات الحمراء ضعيفة التماسك بحبيبات خشنة وعدسات رملية في الأعلى.

ثم تأتي طبقات من الطين الرملي الأصفر والحصى الرباعية.

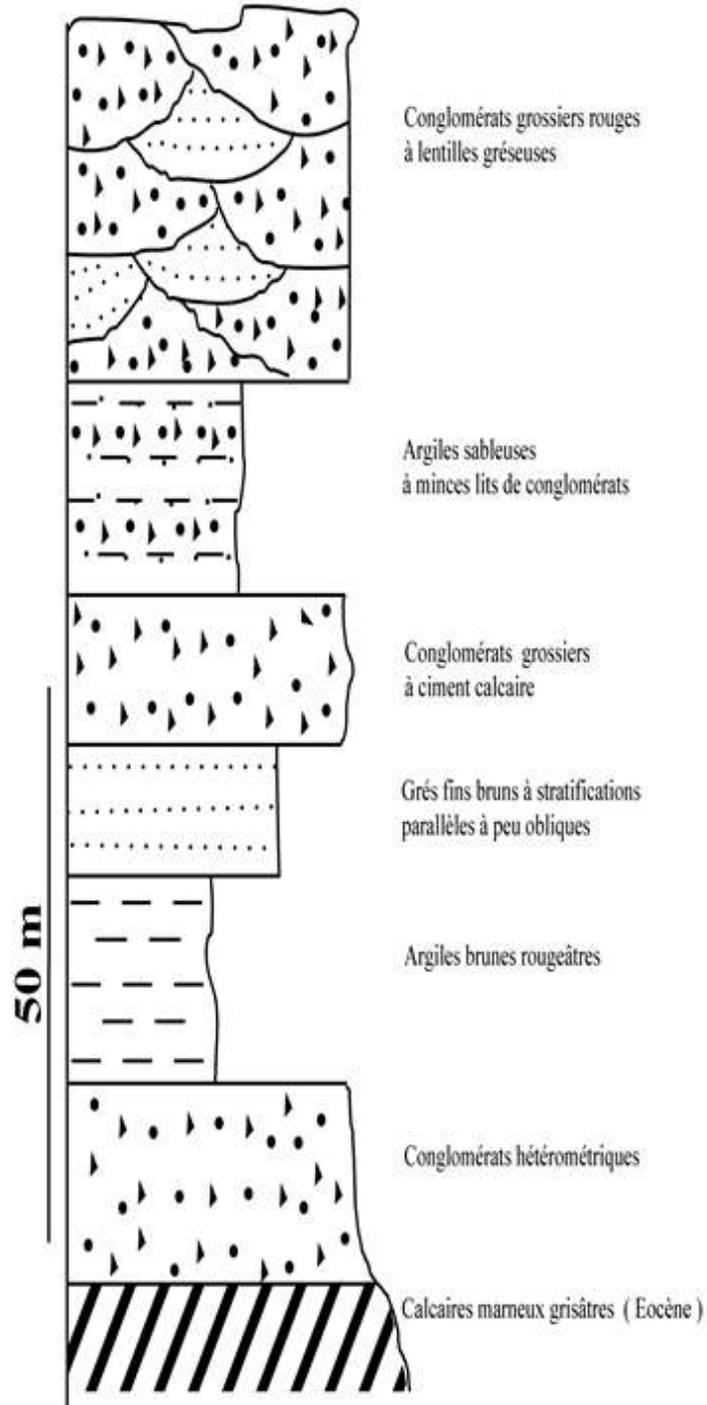
ومن ناحية الشرق، باتجاه نقرين، تتداخل الرمال أو الحجر الرملي الأبيض مع الحجر الرملي البني الأحمر. وهي مشابهة

لتلك الموجودة في منطقة الجريد بتونس، والمؤرخة كمييسينية عبر بقايا الثدييات التي لا تقبل الجدل، وتظهر في قماتها، مثلما في الحجر

الرملي لسلسلة الرهليس، طبقة مميزة مع (هيليكس تيسوتي) (غويرو ر. 1990).

تتيح لنا هذه القطاعات المختلفة، وهي الأكثر اكتمالاً في المقطع الظاهر، إجراء الملاحظات التالية:

- يرتكز النيوجين بحدود رسوبية واضحة على ركيزته التي تصبح أكثر حداثة كلما اتجهنا نحو الشرق (من السينوماني إلى الإيوسين).
- وجود كتل كبيرة من الحجر الجيري من الركيزة ضمن الطين الأساسي.
- السمك الكبير للتسلسلات العليا (الميسيبي والبليوسين).
- وجود على الأقل انقطاعات زاوية في المجمع الرملي للميوسين العلوي، مما يدل على نشاط تكتوني داخلي هام أثناء الميسيبي في أطراف الحوض.



الشكل (IV-2): مقطع خنقة سيدي ناجي

-السلسلة النيوجينية، ككل، متصدعة ومطوية؛ وقد تم تعديل البليوسين بشكل كبير في طرف الحوض، وتعرض لعدد كبير من التصدعات؛ وهذا يدل على مدى تأثير المرحلة الرباعية الأولية في إعادة تشكيل هذا الحوض حاليًا، مع حدوث ارتفاع في الشمال وانحيار مع ميلان أو تدفق نحو الجنوب.

3.IV. ج. الترابط غرب /شرق للنيوجين في سلسلة ريليس:

يُظهر الشكل (3-IV) تتابعًا يتكون من أربع مجموعات على الأقل من النيوجين على طول سلسلة ريليس؛ حيث يتشابه تنظيمها التسلسلي ككل مع تنظيم حوض "الوطاية"، مما يظهر بوضوح وجود الميوسين السفلي والمتوسط في هذا الحوض، بخلاف ما كان يُعتقد سابقًا.

المجموعة الأولى (>100 - 170 متر)، وهي ميوسين سفلي، تقع بشكل غير متوافق فوق طبقات الإيوسين الكريتاسي. وتظهر فيها عدة تباينات جانبية في الواجهات وسمك الطبقات. تتكون قاعدتها من طبقات طينية بنية جبسية، تعلوها طبقات من الطين البني المخضّر مع كتل كلسية ضخمة (أوليسترومات) وحجر رملي. في النهايتين من السلسلة (منطقة فم الغرسة وخنقة سيدي ناجي)، تختفي هذه المجموعة.

المجموعة الثانية (60 - 80 متر)، وهي من الميوسين المتوسط، تتركز على المجموعة الأولى عبر سطح تآكل، وتتكون من: i) في الغرب ووسط السلسلة، من حجر رملي متوسط بني ومتجمع عند قاعدته، بالإضافة إلى طين رملي بني؛ ii) في الشرق، من تجمعات (كونغلواميرات).

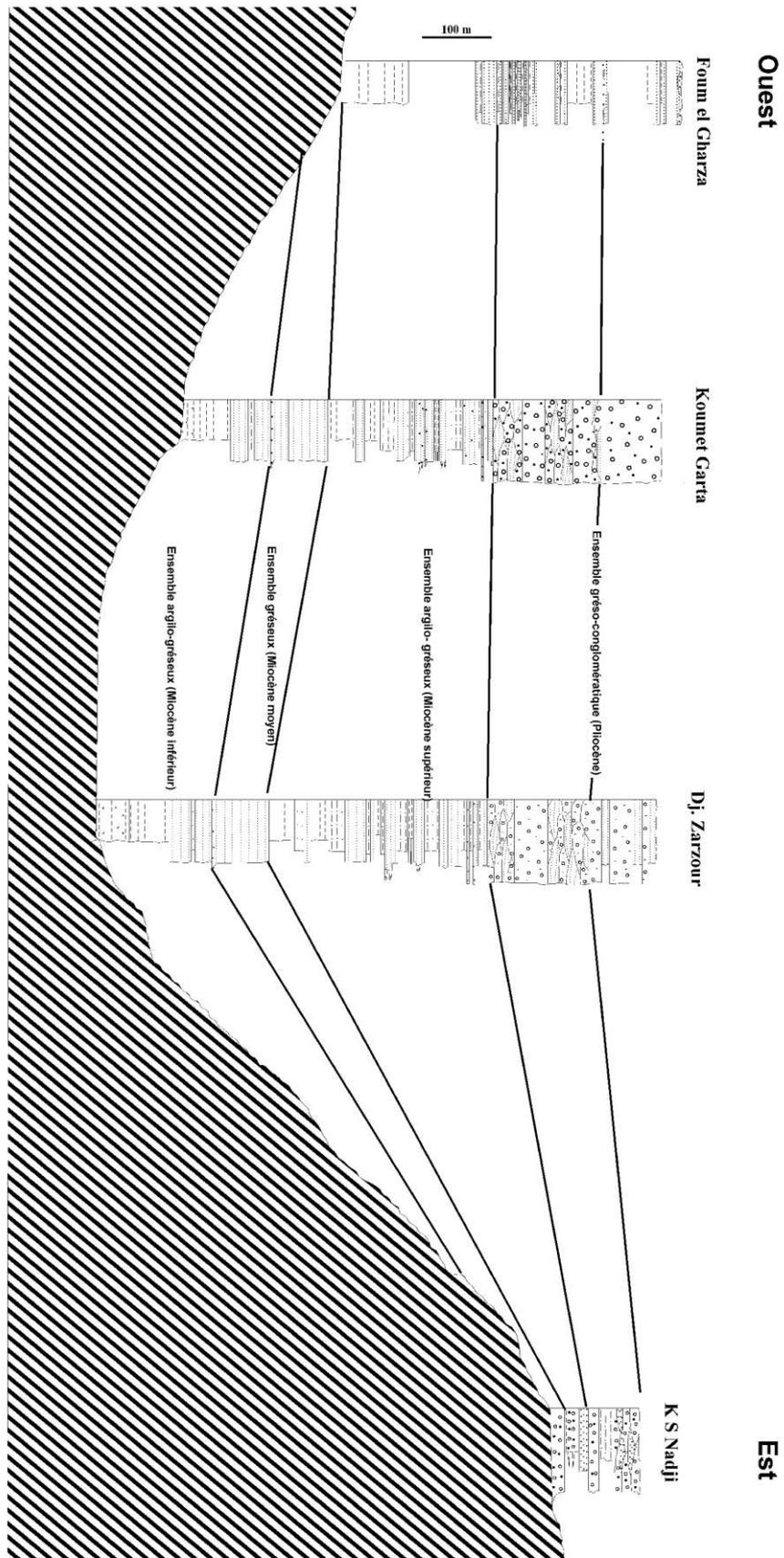
المجموعة الثالثة (40 - 300 متر)، وهي من الميوسين العلوي، تبدأ بطبقات من الطين البني أو الأحمر، تليها طبقات من الطين الرملي، ثم الطين الرملي الحجري، وحجر رملي بني إلى أصفر، وتنتهي بطبقات من الحجر الرملي مع مستويات من الحصى أو الكونغلواميرات.

المجموعة الرابعة (80 - 160 متر)، وهي من البليوسين السفلي، تتوضع بشكل ضعيف غير متوافق فوق المجموعة السابقة، وتتكون من: i) في الغرب من طين وحجر رملي يحتوي على عدسات من الكونغلواميرات؛ ii) في الوسط من سلسلة سمكية من الكونغلواميرات في قنوات (كونغلواميرات بعدسات من الحجر الرملي) أو بشكل فوضوي (كونغلواميرات متعددة الأنواع مع حصى

مستديرة وبدون تنظيم داخلي؛(iii) في الشرق من كونغلواميرات تحتوي على عدسات من الحجر الرملي تتيح حدوث إدماجات طينية.

المجموعة الخامسة (حوالي 100 متر)، وهي من البليوسين العلوي، تتكون من سلسلة سميككة من الكونغلواميرات الخشنة مع طبقات من الحجر الرملي في الشرق؛ وتشكل مرتفعات سلسلة جبل ريليس.

تُظهر هذه المجموعات المختلفة نظامًا متزايد التراكم في سياق تمديدي - انضغاطي مع تعبئة تدريجية، حيث تتناقص بشكل ملحوظ كلما اتجهنا نحو مركز الحوض.



الشكل (3-IV): الارتباط شرق غرب لسلسلة ريليس بين فم الغرزة وحنقة سيدي ناجي

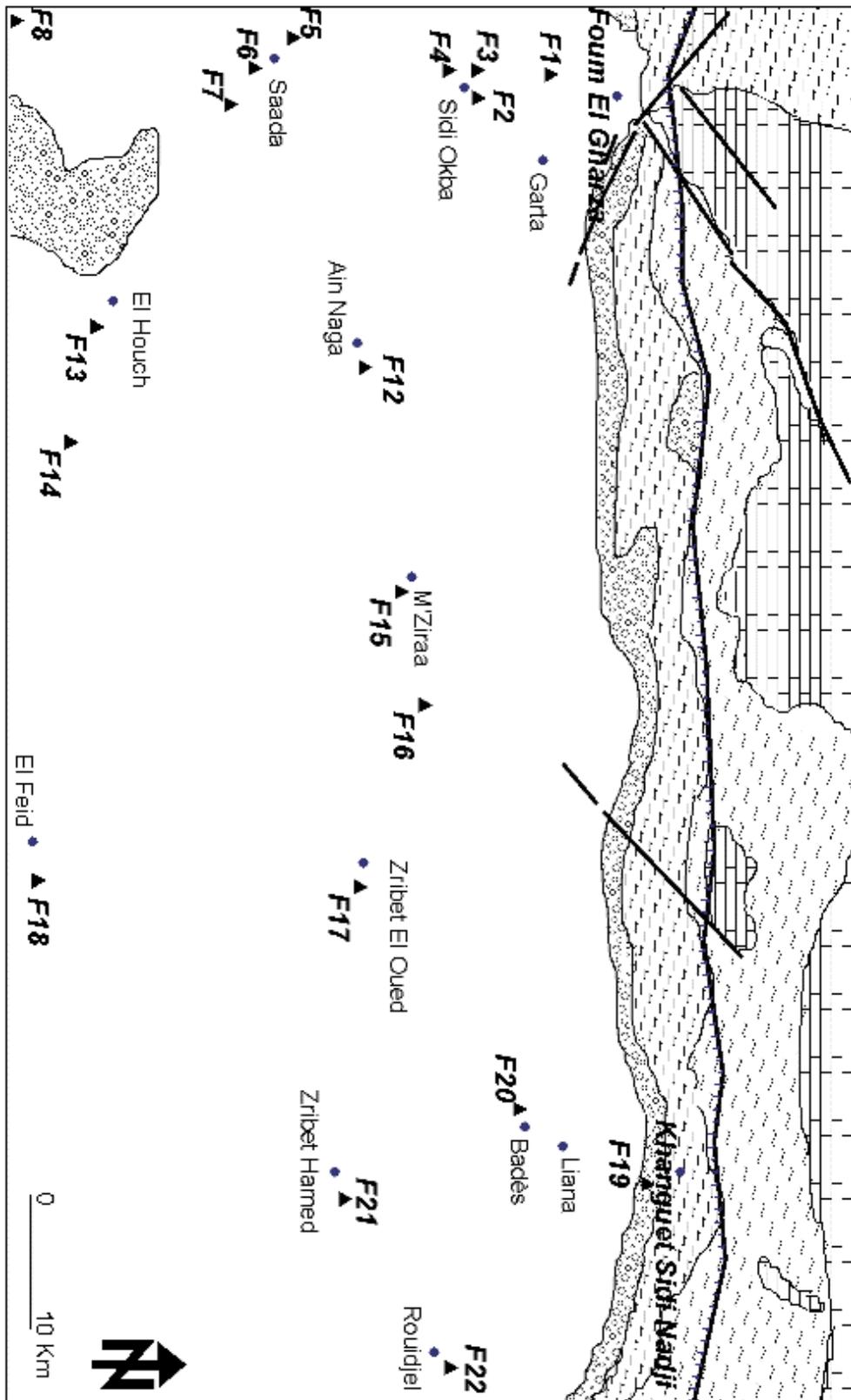
IV.3.د.بيانات الحفر (الابار) الهيدروليكي:

تم حفر العشرات من الابار لاستغلال المياه الجوفية في منطقة الحوض الجنوبي الأوراسي، بين سلسلة ريليس وشط ملغيغ، وقد وصل عمق بعضها إلى الطبقات التحتية ما قبل النيوجين. بهدف تصور التطور العمودي والأفقي لترسبات النيوجين عبر الحوض بأكمله - من الحافة إلى المركز - يتم استخدام بيانات بعض الحفر المتوفرة لدى مديرية المياه الجوفية (DHW) في بسكرة في هذا العمل. يُظهر الشكل

(4-IV) مواقع هذه الابار.

يتم وصف الابار المختارة من الشمال (سلسلة ريليس) نحو الجنوب (شط ملغيغ)، وبالتالي من الحافة باتجاه مركز الحوض.

في فصل فرعي أكثر تفصيلاً، سنحاول، استناداً إلى التسجيلات البيانية، وفي غياب مؤشرات واضحة للوجهات في بيانات الحفر التي تقتصر فقط على أوصاف مختصرة للصخور، تقديم تشخيص للسحنات الكهربائية لهذه الترسبات، وذلك بهدف تحقيق ارتباطات أكثر أو أقل موثوقة على نطاق الحوض.



الشكل (IV-4): خريطة توّضح أماكن الحفر

3.IV. و.قطاع خنقة سيدي ناجي -زربية حامد

في هذا القطاع، تم إجراء عدد قليل من الابار، وسيتم وصف السلسلة استنادًا إلى بيانات الحفر المتوفرة، وفقًا لمقطع عرضي من الشمال إلى الجنوب.

❖ خنقة سيدي ناجي (F19)

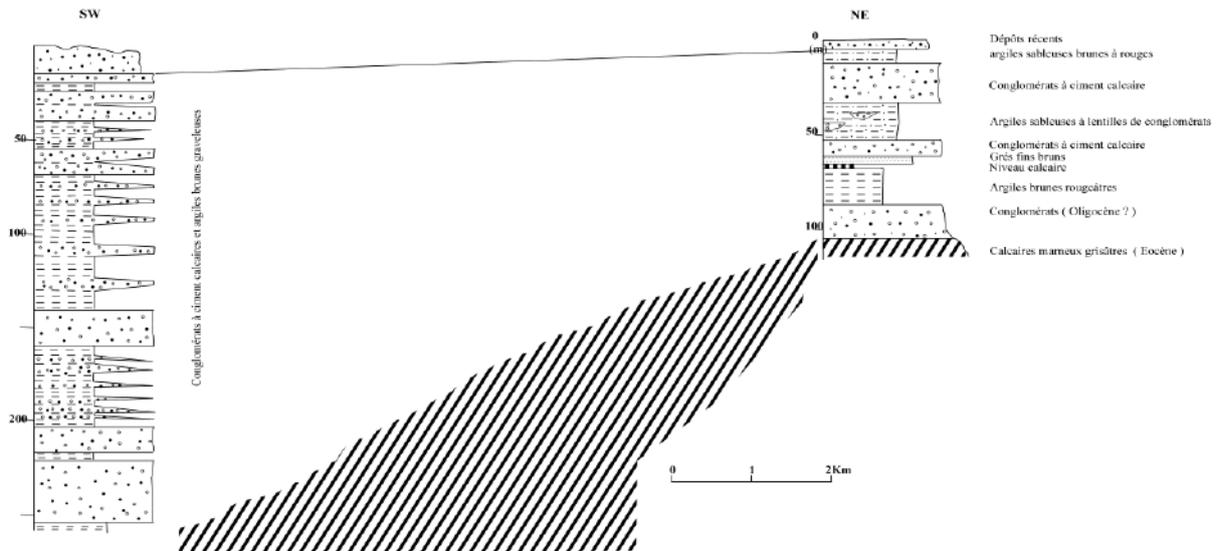
في الشمال الشرقي من خندق سيدي ناجي، وصل عمق أحد الابار إلى 400 متر في الإحداثيات : (X:)

866.035، Y: 178.740) حيث تم الوصول إلى طبقات الإيوسين على عمق 106 متر. الشكل

(5-IV). السلسلة النيوجينية، التي يبلغ سمكها 101 متر، تم تجاوزها بين 5 و 106 متر، وتتكون من مجموعة طينية - رملية - كونغولوميرانية تحتوي على طبقة كلسية مترية.

أكثر إلى الجنوب الغربي، تم حفر بئر ليانة (الإحداثيات: X: 862.6، Y: 172.8)، حيث تم تجاوز 245 مترًا في

النيوجين العلوي. السلسلة هناك خشنة جدًا وتتكون من تداخل الطين البني الحصى والكونغولوميرات ذات الأسمنت الجيري.

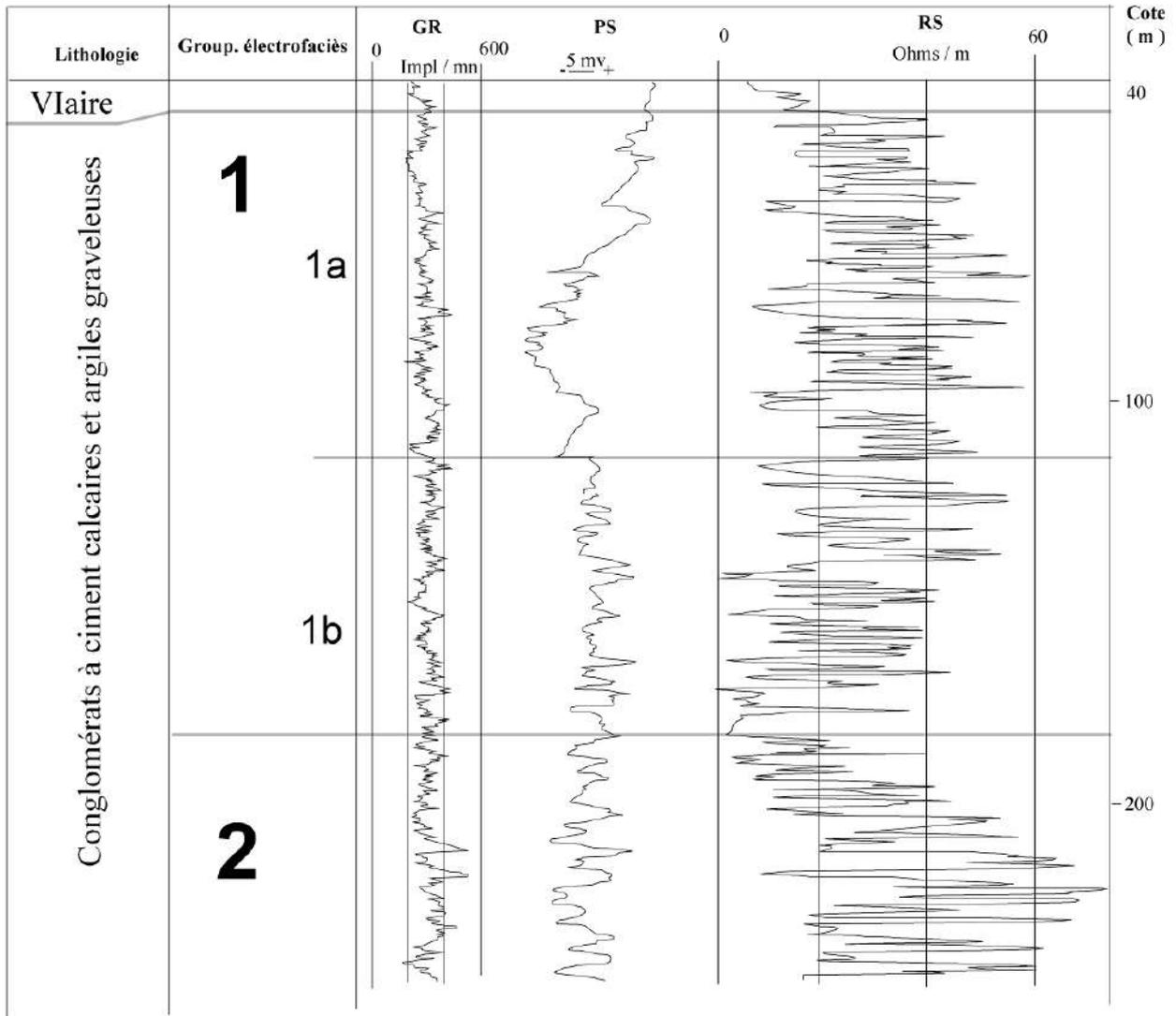


الشكل (5-IV): سجل الحفر لخنقة سيدي ناجي

IV. 3. ه. بئر خنقة سيدي ناجي

في البئر الخاص بخنقة سيدي ناجي الذي عبر ترسبات البليوسين بين 0 و 250 متر، يظهر تسلسل رئيسي واحد للسحنة الجيولوجية الكهربائية. الشكل (IV-6). يتم تقسيمه إلى ثلاثة (3) تجمعات فرعية من السحنات الكهربائية. التجمع الفرعي a1 يحتوي على قيم منخفضة من الأشعة غاما (تراوح بين 200 و 400 نبضة في الدقيقة (حوالي 30 - 60 API))، مع مقاومة نوعية متغيرة جدًا على سمك ضعيف (5 - 60 أوم/متر)، مما يشير إلى تداخلات طينية. التجمع الفرعي b1 يحتوي على قيم أشعة غاما مشابهة، ولكن مع مقاومة نوعية ضعيفة وأقل امتدادًا (0-40 أوم/متر). التجمع الفرعي c1 يحتوي على قيم أشعة غاما أكثر تقلبًا من a1 و b1 (150-550 نبضة في الدقيقة (حوالي 20 - 80 API)) ، ومقاومية متغيرة بشكل كبير (5 - 75 أوم/متر). تُظهر هذه التسجيلات تقلبات كبيرة في الطبيعة الجيولوجية والهيكلية للترسبات على مسافات قصيرة، مما يشير إلى تداخلات بين الترسبات الدقيقة والأخرى الخشنة، مع زيادة في السمك كلما زادت العمق.

سمحت دراسة التسجيلات البيانية بتشخيص السحنات الكهربائية المختلفة التي تتناسب مع الصخور الموضحة في سجلات الحفر. وبالتالي، تم تقسيم سلسلة النيوجين إلى عدة تجمعات من السحنة الكهربائية التي تم تفسيرها بالإشارة إلى بيانات الحفر.



الشكل (IV-06): تشخيص السجل وتحديد التجمعات الرئيسية للواجهات الكهربائية لسلسلة النيوجين على الهامش

الشرقي للحوض من حفر خنفة سيدي ناجي

4.IV. عينات عن صخور المنطقة

توضح الصور بعض عينات الصخور من منطقة خنقة سيدي ناجي ببسكرة



الشكل (IV-7): عينات الصخور لمنطقة الدراسة

5.IV. الشرائح الرقيقة

- الوصف البتروغرافي لخمس عينات ميدانية

1- المنهجية

تم إعداد خمس (5) شرائح رقيقة وفقاً للإجراء التشغيلي MO-GEO-T02 من خمسة عينات مأخوذة من الموقع (R01، R02، R03، R04، و R05)، وذلك لإجراء ملاحظات بتروغرافية تفصيلية باستخدام المجهر البصري المستقطب، وفقاً للإجراء التشغيلي MO-GEO-S5 .

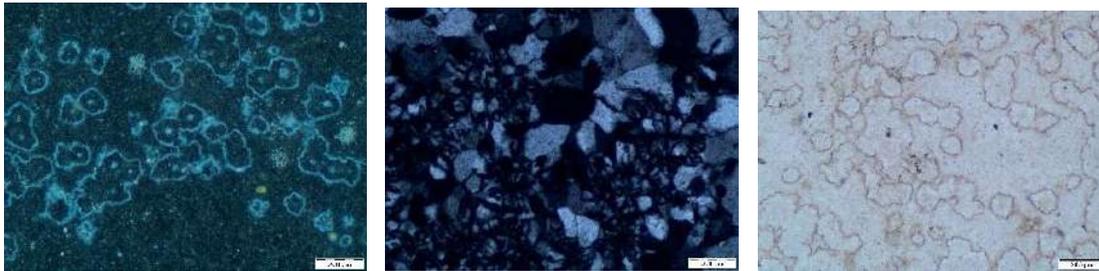
يعتمد هذا الوصف البتروغرافي أساساً على تحديد المكونات المعدنية المختلفة والمواد الأسمنتية التي تشكل كل عينة، بالإضافة إلى تشخيص الوسط المسامي. وقد تم اعتماد تصنيف Dunham (1962) لتقييم نسيج الصخور الكربونية.

2- البتروغرافيا والتشخيص:

• العينة الميدانية R01 :

الوصف والتشخيص:

تُظهر الواجهات الدقيقة حجراً رملياً مكوناً من بلورات كوارتز أحادية البلورية، موزعة في توزيع أحادي الشكل. حبيبات الكوارتز هذه زاوية إلى شبه زاوية. نلاحظ أيضاً وجود العقيق الأبيض، وهو مجموعة متنوعة من الكوارتز البلوري الدقيق الذي يتشكل في الصخور الرسوبية والبركانية. وتظهر تحت المجهر الضوئي على شكل كتل صغيرة مستديرة، ذات أنماط دائرية وبنية بلورية تتكون من بلورات كوارتز مشوهة وألوان تتراوح من الأبيض إلى الرمادي.



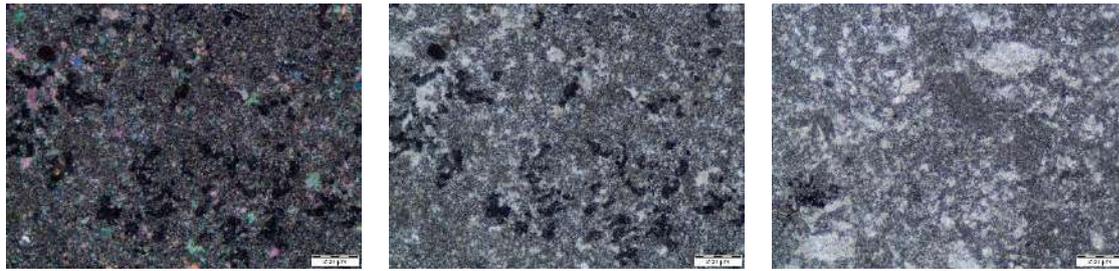
الشكل (IV-8): صور المجهر الضوئي للطبقة الرقيقة المأخوذة من العينة R01

• العينة الميدانية R02 :

الوصف والتشخيص:

تتكون هذه الواجهات الدقيقة بشكل أساسي من الدولوميت البلوري (من دولوميكروسباريت إلى بلورات دولوسباريت).

تشتمل الواجهات الدقيقة على دولوميت الفسيفساء xenomorph إلى الفسيفساء idiomorphic (البلورات منحنية إلى خطوط مستوية)، والفسيفساء متساوية البلورية. وهذا يثبت أن استبدال الكالسيت بالدولوميت قد اكتمل. تغطي شوائب الحديد النادرة وآثار الكالسيت حواف عدد قليل من بلورات الدولوميت.. نلاحظ وفرة من الدولوميت في الفسيفساء xenomorph مقارنة بتلك الموجودة في الفسيفساء idiomorphic، ويرتبط هذا بشكل أساسي بعامل CRT (درجة حرارة التخشين الحرجة)، الذي يؤثر على نسيج بلورات الدولوميت (Gregg & Sibley, 1984). وفقا لنظرية النمو البلوري، عند انخفاض أشعة الشمس، يفضل ظهور الأسطح الناعمة والمستوية. وهذا يعني وجود فسيفساء ذات شكل خاص، بينما عند درجات حرارة أعلى من CRT، يتم تفضيل الأسطح الصلبة والمنحنية. تسمى هذه الفسيفساء بفسيفساء xenomorph وفقاً (Gregg & Sibley, 1984)، تتراوح درجة حرارة CRT للدولوميت بين 50 درجة و 100 درجة مئوية.



الشكل (IV-09): صور المجهر الضوئي للطبقة الرقيقة المأخوذة من العينة R02

• عينة ميدانية R03:

الوصف والتشخيص:

تُظهر الواجهات الدقيقة حجراً جبرياً من wackestone، غني جداً بالمجموعات الحيوية المتنوعة. تتكون الحيوانات المرصودة من كائنات قاعية مُعاد بلورتها.

تظهر هذه الواجهات الدقيقة، بشكل أساسي، في مرحلة التماسك، طيناً ميكروتيكياً داكن اللون ونادراً ما يكون على

شكل بلورات ميكروسباريتية صغيرة.

لوحظت حبيبات الكوارتز الفتاتية في البنية الداخلية للخلايا الحيوية. يتم تمثيلها بحبيبات دقيقة شبه مدورة إلى شبه زاوية.



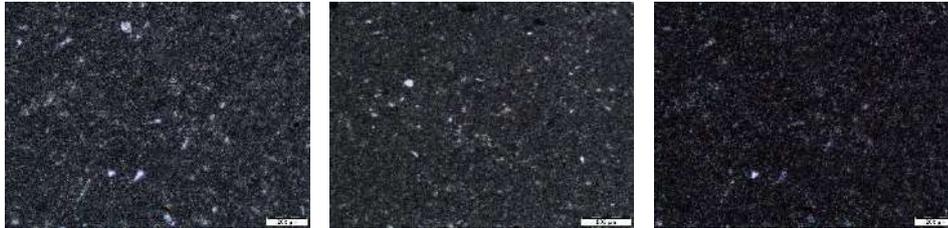
الشكل (IV-10): صور المجهر الضوئي للطبقة الرقيقة المأخوذة من العينة R03

• العينة الميدانية R04:

الوصف والتشخيص:

وهو الحجر الجيري الطيني. المصفوفة عبارة عن ميكريت يحتوي على شظايا بيولوجية صغيرة تمت إعادة بلورتها إلى سباريت.

وترتبط عناصر أخرى بهذه الكتل الحيوية مثل أكاسيد الحديد.



الشكل (IV-11): صور المجهر الضوئي للطبقة الرقيقة المأخوذة من العينة R04

• عينة ميدانية R05 :

الوصف والتشخيص:

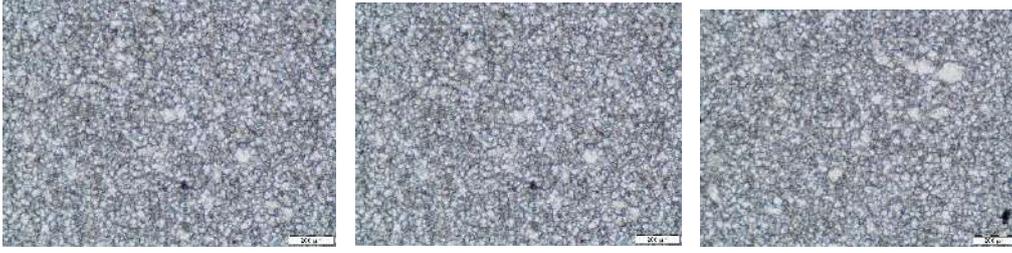
تتكون هذه الواجهات الدقيقة بشكل أساسي من الدولوميت البلوري (من دولوميكروسباريت إلى بلورات دولوسباريت).

تشتمل الواجهات الدقيقة على دولوميت الفسيفساء xenomorph إلى الفسيفساء idiomorphic (البلورات منحنية إلى

خطوط مستوية)، والفسيفساء من النوع متساوي البلورات. وهذا يثبت أن هذه الواجهات التحويرية تتمثل في الدولوميت المتأخر

مع بلورات دولوسبارية داكنة بشكل عام. تحتوي هذه البلورات أحياناً على نسيج مستو أو غير مستو. لاحظ وجود حبيبات الكوارتز

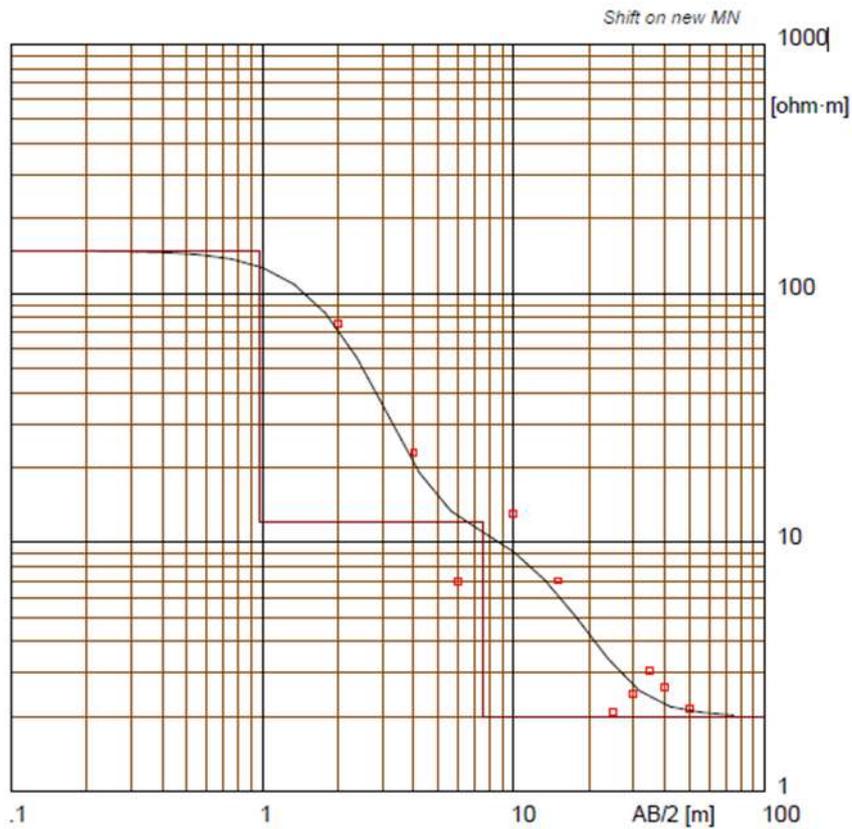
المتناثرة.



الشكل (IV-12): صور المجهر الضوئي للطبقة الرقيقة المأخوذة من العينة R05

IV.6. الدراسة الجيوفيزيائية :

IV.6.1. نتائج المسح الكهربائي العمودي :



الشكل (IV-13): المنحنى الناتج عن تقنية المسح الكهربائي العمودي

Location X = 34.82540333N Y = 6.73397500E Z = 234.53 Azim = 0

الجدول (1-IV): يوضح نتائج المقاومة بدلالة العمق

| الخصائص الطبقات | المقاومة [ohm·m] | سمك [m] | العمق [m] | السعة [m] |
|--------------------|---------------------|------------|--------------|--------------|
| الطبقة الاولى | 148 | 0.98 | 0 | 234.5 |
| الطبقة الوسطى | 12 | 6.6 | 0.98 | 233.6 |
| الطبقة الاخيرة | 2 | - | 7.6 | 226.9 |

الجدول (2-IV): بيانات الحقل والقيم المحسوبة

| MN/2 [m] | AB/2 [m] | المقاومة [ohm·m] |
|-------------|-------------|---------------------|
| 0.5 | 2 | 76 |
| 0.5 | 4 | 23 |
| 0.5 | 6 | 7 |
| 0.5 | 1 | 13 |
| 1 | 1 | 13 |
| 1 | 1 | 7.02 |
| 1 | 2 | 2.08 |
| 1 | 3 | 2.47 |
| 2 | 3 | 2.47 |
| 2 | 3 | 3.05 |
| 2 | 4 | 2.63 |
| 2 | 5 | 2.14 |

في هذه الدراسة، تم إجراء مسح كهربائي عمودي في نقطة اخذ العينات من منطقة خنقة سيدي ناجي, كما هو مبين

في منحنى المسح متبوعًا بمجدول البيانات ونموذج التضاريس الناتج عن التفسير بواسطة برنامج Winsev6.

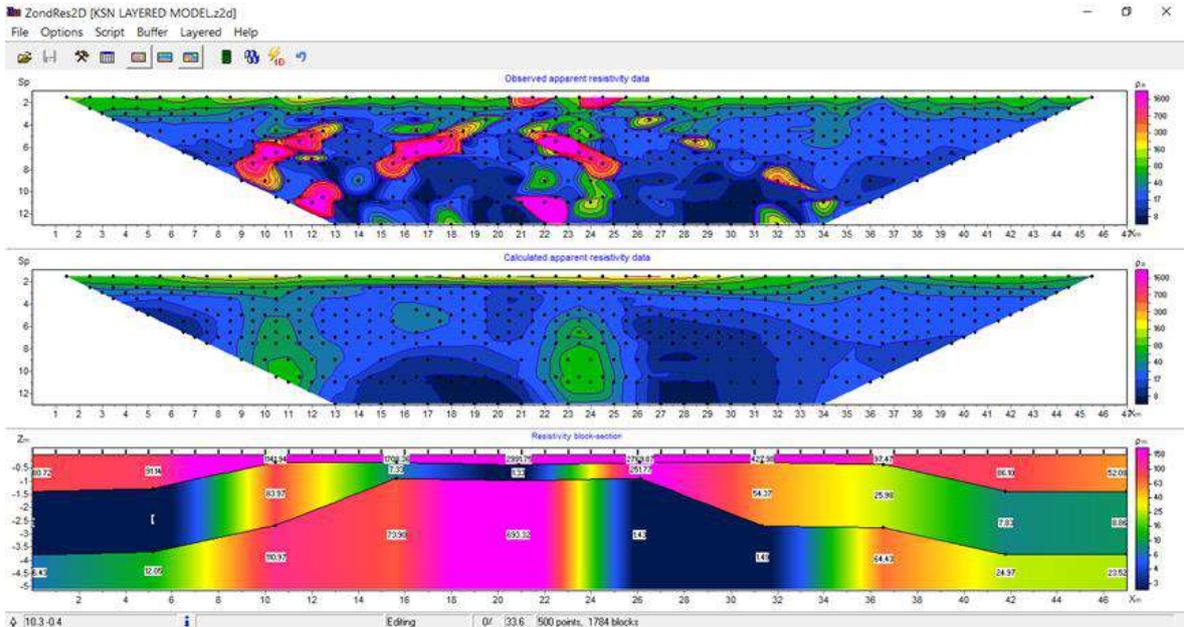
هذه النتيجة سمحت لنا بالتمييز بين ثلاث طبقات: الأولى عمقها 0.98 م مع مقاومة 148 أوم*م، والثانية سمكها

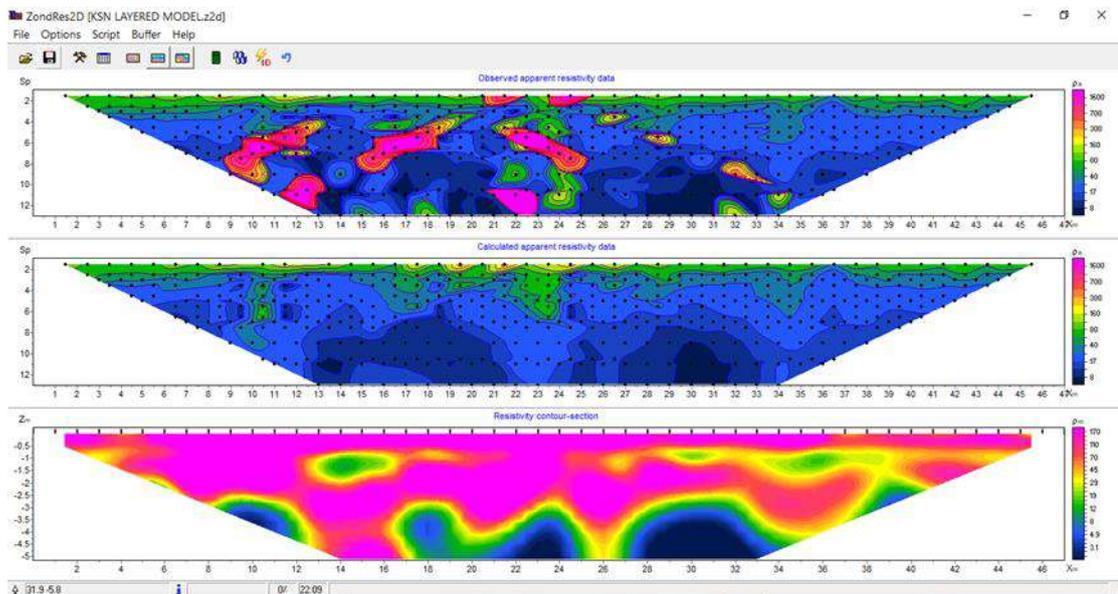
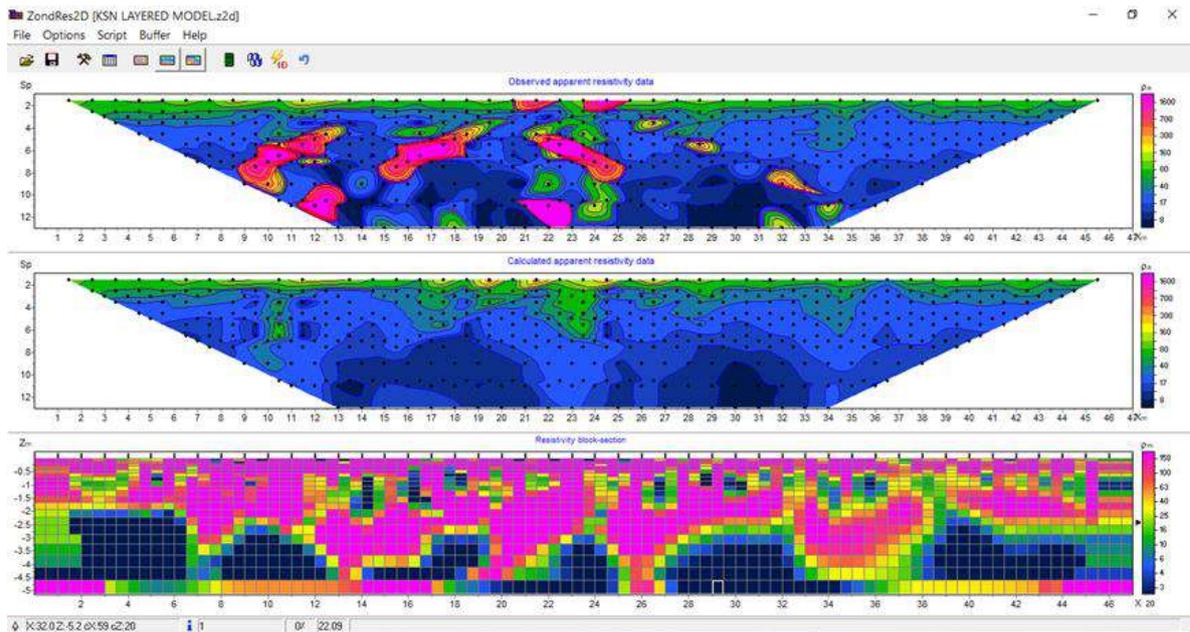
6.6 متر مع مقاومة 12 أوم*م، ثم الطبقة الأخيرة بمقاومية 2 أوم*م.

IV. 6. ب. نتائج التصوير المقطعي للمقاومية الكهربائية :

يوضح الشكل التالي الألواح الثلاثة التي تمثل موقع الدراسة. في الأعلى توجد لوحة من المقاومات الظاهرة المقاسة. في

المنتصف توجد المقاومات المحسوبة. ويليه نتيجة المقلوب. الشكل (14-IV).





الشكل (IV-14): يوضح النماذج الثلاث الناتجة عن تقنية التصوير المقطعي للمقاومية الكهربائية

تظهر نتائج المقلوب عن وجود بعض المناطق الطينية ذات المقاومة المنخفضة متمثلة في اللون الأزرق المتموقع وسط النموذج والقليل من اللون الأخضر المنتشر عند كثير من النقاط في هذا الأخير حيث تبلغ المقاومة عندهم 20 أوم.م. ونلاحظ ان المقاومة تزداد كلما اقتربنا من سطح الارض مع وجود تباين في قيم المقاومة في السطح، إذ انها تتراوح من 80 الى 300 أوم*متر.

إضافة الى ذلك نلاحظ ان نموذج الطبقات لا ينطبق على منطقة الدراسة لأن المقاومة فيها متغيرة (ليست ثابتة) على عكس النموذج الثاني يعطينا معلومات أكثر دقة وتفصيل حول قيم المقاومة، أي ان كل خلية تعطي لون معين يعود الى قيمة من قيم المقاومة وبالتالي تمكننا من تحديد المقاومة لاي نقطة من نقاط المنطقة المدروسة.

وعند مقارنة هذه النتائج مع المسح الكهربائي العمودي. الشكل (IV-13), نجد أن النتائج متوافقة. ويرجع التباين

الكبير في المقاومة في المنطقة الى اختلاف تراكيبها ومكوناتها الظاهر في نتائج الفصل الثالث.

المراجع

1. BRINIS, N., *Caractérisation de la salinité d'un complexe aquifère en zone aride cas de l'aquifère d'El-Outaya region Nord-Ouest de Biskra. Algérie*, 2011, Faculté des sciences et de la technologie UMKBiskra.
2. Chebbah, M., *Lithostratigraphie, Sédimentologie et modèles les de Bassins des dépôts néogènes de la région de Biskra, de part et d'autre de l'accident Sud Atlasique (Ziban, Algérie)*. Mentouri University-Constantine, 2007.

خلاصة عامة

خلاصة عامة

في هذه الأطروحة، تم تحليل التركيب النوعي والكمي للصخور المجمعة من منطقة خنقة سيدي ناجي بولاية بسكرة. خضعت هذه العينات للدراسة باستخدام مجموعة متنوعة من التقنيات الفيزيوكيميائية والجيوفيزيائية.

كشفت أطياف الأشعة تحت الحمراء باستخدام تقنية تحويل فورييه (FT-IR) عن قمم امتصاص تعكس الروابط الاهتزازية المميزة لعينات الصخور، مما يشير إلى وجود الكوارتز والكالسيت مع آثار من الماء.

استعملت كذلك تقنية انعراج الأشعة السينية التي تحدد الأطوار البلورية الموجودة في عينات الصخور، حيث أظهرت النتائج وجود اختلاف ونسب متفاوتة في تراكيب العينات من الكوارتز والكالسيت، توافقت هذه النسب مع تلك الناتجة عن تقنية فلورة الأشعة السينية، بينت التقنيتين ان العينة R01 تحتوي على نسبة عالية من الكوارتز تقدر بـ 98.75% على عكس العينة R02 أظهرت النتائج انها تحتوي على نسبة قليلة من الكوارتز مقدرة بـ 7.36% وباقي النسبة كالسيت واثار من بعض الاكاسيد، بينما العينة R03 فهي تشبه العينة الأولى من ناحية التراكيب اذا انها احتوت على نسبة 98.16% من الكوارتز، اضافة الى ان العينة R04 بينت النتائج انها تحتوي على الكالسيت والكوارتز مناصفة، واخيرا العينة R05 فانها تشبه العينة الثانية من حيث التراكيب ان ان اغلبه مركباتها كالسيت مع وجود كوارتز بنسب قليلة، وقد لوحظ وجود توافق بين نتائج التقنيات الفيزيوكيميائية .

اما عن التقنية الجيولوجية المتمثلة في تقنية الشرائح الرقيقة فقد أظهرت ان هناك توافق كبير بين نتائجها ونتائج التقنيات السابقة حيث لوحظ من خلال وصف الصور المتحصل عليها ان العينات تحتوي على نفس التراكيب المذكورة انفا، والتقنيتين الجيوفيزيائيتين عن طريق المسح الكهربائي العمودي والتصوير المقطعي للمقاومية حيث أظهرت النتائج المتحصل عليها ان المنطقة مقسمة لثلاث طبقات تتغير فيها المقاومة كلما زاد العمق، لوحظ أيضا انه يوجد تباين في قيم المقاومة في الطبقة الواحدة .

أي نستطيع القول ان التباين في قيم المقاومة راجع الى الاختلافات الواضحة في تراكيب الصخور المتواجدة في خنقة سيدي ناجي، ويعود هذا التباين الى ان المنطقة تعد نقطة لقاء بين رمال الصحراء وجبال الاطلس الصحراوي مما ينتج عنه نشأة صخور متنوعة من هذا وذاك .

الملخص

قمنا في هذا العمل بإجراء دراسة فيزيوكيميائية لصخور منطقة خنقة سيدي ناجي، المأخوذة من النقطة ذات الإحداثيات (34°49'36"N 6°44'09"E). تم جمع عينات متنوعة وتحليلها باستخدام تقنيات متعددة، شملت انعراج الأشعة السينية (XRD)، أطياف امتصاص الأشعة تحت الحمراء (FTIR)، وتقنية الفلورة بالأشعة السينية (XRF).

أظهرت النتائج اختلافاً في التركيب الكيميائي بين العينات. حيث تبين أن العينتين R01 و R03 تحتويان على نسبة عالية من الكوارتز، بينما تتكون العينتان R02 و R05 بشكل أساسي من الكالسيت. أما العينة R04 فتحتوي على الكوارتز والكالسيت بنسب متساوية. وقد أكدت التقنيات الجيولوجية هذه النتائج، مما يعزز صحة البيانات المحصلة من التحاليل السابقة.

الكلمات المفتاحية: XRF . XRD . FTIR . الشرائح الرقيقة . الكوارتز . الكالسيت.

Résumé

Dans ce travail, nous avons réalisé une étude physico-chimique des roches de la zone de Sidi Nadji Khanguet, prélevées à partir du point de coordonnées (°34°49'36''N, 6°44'09''E). Divers échantillons ont été collectés et analysés à l'aide de plusieurs techniques, notamment la diffraction des rayons X (DRX), la spectroscopie d'absorption infrarouge (FTIR) et la fluorescence X (XRF).

Les résultats ont montré une différence de composition chimique entre les échantillons. Les échantillons R01 et R03 contenaient un pourcentage élevé de quartz, tandis que les échantillons R02 et R05 étaient principalement composés de calcite. L'échantillon R04 contient du quartz et de la calcite en proportions égales. Les techniques géologiques ont confirmé ces résultats, renforçant la validité des données obtenues à partir d'analyses précédentes.

Mots clés : XRF. DRX. FTIR. Les lames minces. Quartz. Calcite.

Abstract

In this work, we conducted a physicochemical study of the rocks of the Sidi Nadji Khanguet area, taken from the point with coordinates ($^{\circ}34^{\circ}49'36''\text{N}$, $6^{\circ}44'09''\text{E}$). Various samples were collected and analyzed using multiple techniques, including X-ray diffraction (XRD), infrared absorption spectroscopy (FTIR), and X-ray fluorescence (XRF). The results showed a difference in the chemical composition between the samples. It was found that samples R01 and R03 contain a high percentage of quartz, while samples R02 and R05 consist mainly of calcite. Sample R04 contains quartz and calcite in equal proportions. Geological techniques confirmed these results, which strengthens the validity of the data obtained from previous analyses.

Keywords: XRF. XRD. FTIR. Thin slices. Quartz. Calcite.