

رقم الترتيب:

رقم التسلسل:



جامعة قاصدي مرباح ورقلة
كلية الرياضيات و علوم المادة
قسم الفيزياء

أطروحة دكتوراه
في الطور الثالث ل م د
مجال: علوم المادة
فرع: فيزياء
تخصص: مطيافية المواد
من إعداد: مشـري محمد العيد
الموضوع

دراسة أثر المعالجة الحرارية على تركيب رمل كثبان ورقلة،
و على ناقليته الكهربائية، باستخدام الطرق الطيفية

نوقشت يوم: 24\05\2016

أمام لجنة المناقشة المؤلفة من:

رئيساً	جامعة ورقلة	أستاذ تعليم عال	بوطرفاية أحمد
ممتحنًا	جامعة قسنطينة	أستاذ تعليم عال	عيدة محمد الصالح
ممتحنًا	جامعة بسكرة	أستاذ تعليم عال	سلطاني محمد توفيق
ممتحنًا	جامعة ورقلة	أستاذ تعليم عال	حسيني مسعود
ممتحنًا	جامعة ورقلة	أستاذ محاضر أ	غرياني رشيد
مقررًا	جامعة ورقلة	أستاذ تعليم عال	شبحي إسماعيل

2016 \ 2015

الإهداء

أهدي ثمرة هذا العمل إلى الروح الطيبة، إلى مَنْ كانت من أعظم آيات الله التي رآها عيني، إلى أرحم خلق الله بي، بعد رسول الله صلى الله عليه وسلم، إلى من حملت كرهاً و وضعت كرهاً، إلى من كانت الجنة تحت أقدامها، إلى من أحبت بلا مقابل، و آثرت على نفسها كل شيء من أجلي، إلى وصية الله في الأرض، إلى من كان برُّها أعظم ما يقرب إلى الله، إلى من لا تتم بعدها فرحة، و تكبر بعد فراقها فرحة، إلى روح أمي العطرة.

أسأل المولى عز وجل أن يسكنها فسيح جناته مع النبيين و الصديقين و الشهداء الصالحين، إنه وليُّ ذلك و القادر عليه، في جنة الفردوس أمَّاه.

لكم تمنيت حضورك كي تعتزي بما أنجبت، و تفخري بما ربَّيت
لكن القادر قدر أن تحضري في القلوب، فله الحمد على كل حال.

إلى من ضحى بالعمى، و تجرع كأس الغربة المر، إلى من لا تُردُّ له دعوة، إلى باب الجنة الثاني، أبتاه، أطل الله في عمرك و متعك بالصحة و العافية و جازاك عنا كل خير.

قال الله عز وجل « إِنَّ الَّذِينَ قَالُوا رَبُّنَا اللَّهُ ثُمَّ اسْتَفَامُوا فَلَا خَوْفٌ عَلَيْهِمْ وَلَا هُمْ يَحْزَنُونَ (13) أُولَئِكَ أَصْحَابُ الْجَنَّةِ خَالِدِينَ فِيهَا جَزَاءً بِمَا كَانُوا يَعْمَلُونَ (14) وَوَصَّيْنَا الْإِنْسَانَ بِوَالِدَيْهِ إِحْسَانًا حَمَلَتْهُ أُمُّهُ كُرْهًا وَوَضَعَتْهُ كُرْهًا وَحَمَلُهُ وَفِصَالُهُ ثَلَاثُونَ شَهْرًا حَتَّىٰ إِذَا بَلَغَ أَشُدَّهُ وَبَلَغَ أَرْبَعِينَ سَنَةً قَالَ رَبِّ أَوْزِعْنِي أَنْ أَشْكُرَ نِعْمَتَكَ الَّتِي أَنْعَمْتَ عَلَيَّ وَعَلَىٰ وَالِدَيَّ وَأَنْ أَعْمَلَ صَالِحًا تَرْضَاهُ وَأَصْلِحْ لِي فِي ذُرِّيَّتِي إِنِّي تُبْتُ إِلَيْكَ وَإِنِّي مِنَ الْمُسْلِمِينَ (15) أُولَئِكَ الَّذِينَ نَتَقَبَّلُ عَنْهُمْ أَحْسَنَ مَا عَمِلُوا وَتَتَجَاوَزُ عَنْ سَيِّئَاتِهِمْ فِي أَصْحَابِ الْجَنَّةِ وَعَدَّ الصَّدَقِ الَّذِي كَانُوا يُوعَدُونَ (16) »

سورة الأحقاف

إلى من بهم أكبر و عليهم أعتمد، إلى شعبة متقدمة تنير ظلمة حياتي، إلى من بوجودهم أكتسب قوة و محبة لا حدود لها، إلى من عرفت معهم معنى الحياة إخوتي و أخواتي

و إلى كل الأهل و الأحباب

إلى كل الأصدقاء الذين أعرفهم و سأعرفهم و الذين تسعهم ذاكرتي و لا تسعهم أطروحتي

إلى حملة راية العلم من عالمٍ و مُتَعَلِّمٍ..... و إلى كل محبٍ للعلمٍ و أهله

إلى الأرواح التي ضحّت من أجل هذا الوطن، إلى كل محب لهذا الوطن يأكل من أرضه و يحمي عرضه،

مخلصٍ في عمله

أهدي شَهْدَ هذه الأطروحة

كلمة شكر

لا يسعني في هذا المقام إلا أن أتقدم بجميل العرفان للأستاذ بوطرفاية أحمد على تحفيزه المستمر لنا بإنجاز وإتمام واجباتنا في آجالها المحددة، بُغية النهوض بجامعتنا، كما أشكره على تشريفه لي بقبول ترؤس لجنة مناقشتي.

أتقدم كذلك بالشكر الجزيل لأساتذتي الكرام عيدة محمد الصالح و سلطاني محمد توفيق و حسيني مسعود و غرياني رشيد، على كل ما قدّموه لنا من معلومات و أفكار أثناء تكويننا المستمر، و كذا على تشريفهم لي بقبول المشاركة في لجنة المناقشة، مما يثري عملي هذا و يعطيه قيمة أكبر.

أتوجه بتشكراتي العميقة إلى مخبر فيزياء الإشعاع و البلازما و فيزياء السطوح (LRPPS) بجامعة ورقلة و القائمين عليه لما بذلوه من جهود على مساعدتي في إنجاز هذا العمل.

أتقدم كذلك بالشكر الجزيل لمخبر استغلال و تميم المصادر الطبيعية في المناطق الجافة (EVRNZA) بجامعة ورقلة، لما قدموه لنا من تسهيلات في استغلال بعض ما لديهم من تجهيزات مخبرية.

أتقدم بأسمى عبارات الشكر إلى مخبر الشرائح الرقيقة و السطوح (LCMI) بجامعة قسنطينة لما قدمه لنا من مساعدة في إجراء بعض القياسات الكهربائية.

أتوجه أيضا بالامتنان إلى كل عمال مركزي البحث النووي بالجزائر العاصمة (CRNA) و بيرين بعين وسارة (CRNB)، خاصة أولئك الذين عملت معهم على إجراء القياسات، و ذلك على تمكينهم إياي من استخدام ما لديهم من تجهيزات و أدوات قياس، و كذا على ما قدموه لي من عون علمي و تقني.

أتوجه أيضا بخالص الشكر و التقدير و الامتنان إلى كل عمال مصنع الإسمت بعين التوتة بباتنة، و خاصة الأستاذ صحراوي عبد العزيز، لما قدموه لنا من مساعدات في إجراء بعض القياسات الطيفية.

أتقدم أيضا بالشكر لكل عمال مخبر الموارد الصحراوية و تميمها و تكنولوجياها (VTRS) بجامعة الشهيد حمه لخضر بالوادي، على بعض القياسات الطيفية التي أجرّوها لنا.

كما أتوجه بالشكر و التقدير إلى الأستاذ لغريب يوسف، الذي أجرى لنا عدة قياسات طيفية بمخبر فرنسي و الأستاذ بوقطاية حمزة على ما قدمه لنا من مساعدة في تنقيح لغة المقالات. أتوجه بخالص الشكر و التقدير و الاحترام إلى مجموعة البحث التابعة لمخبر (LRPPS) و العاملة على الرمل.

كما أتوجه بالشكر و التقدير و الاحترام لكل العمال و الأساتذة القائمين على كلية الرياضيات و علوم المادة، خاصة أولئك التابعين لإدارة قسم الفيزياء، على التسهيلات التي لقيناها منهم خلال كل فترات تكويننا.

لابد لنا - و نحن في أهم مراحل البحث العلمي - من وقفة نعود فيها إلى أعوام خلت قضيناها في رحاب الجامعة مع أساتذتنا الكرام، الذين قدموا لنا الكثير، باذلين بذلك جهودا كبيرة في بناء جيل الغد لتُبث الأمة من جديد، أُقَدِّمُ أسمى عبارات الشكر و الامتنان و التقدير و الاحترام و المحبة إلى الذين حملوا أقدس رسالة في الحياة، إلى الذين مهدوا لنا طريق العلم و المعرفة، إلى جميع أساتذتنا الأفاضل، و ها أنا أذكر بعضاً منهم بكلمات قالوها من قلوبهم، بألسنة صدق، عفوا أو قصدا، كانت تحمل مفاتيح علم و تعلم، نعتقد أنها مبادئ كانت سر نجاحنا، هديها لكل من قرأ عملنا هذا:

الأستاذ شبحي إسماعيل: . . . على طالب العلم أن يتعلم العلم من أجل التعلم لا للنجاح.
الأستاذ مفتاح محمد الطيب: . . . على طالب العلم أن يتناول وجبة واحدة في اليوم، أمّا باقي الوجبات فدراسة و علم.

الأستاذ خلفاوي فتحي: . . . يجب على طالب العلم أن يُعِدَّ أسلحةً من العلم يدافع بها عن شهادته.
الأستاذ كمال الدين عيادي: . . . يجب على طالب العلم أن يتمتع بعلمه.

كُلُّ الشُّكْرِ

قال رسول الله صلى الله عليه و سلم: "من لا يشكر الناس لا يشكر الله عز و جل"
أخص بكل الشكر و التقدير و الاحترام الأستاذ الفاضل: الأستاذ الدكتور شيحي إسماعيل، على
ما قدمه لنا من رعاية و حفظ، فلقد علمنا معنى التفاؤل و المضي إلى الأمام، وقف بجانبنا عندما ضاق بنا
الطريق، منحنا جُلَّ جهده و وقته في إنجاز هذا العمل، فلولاه -بعد الله- ما وصلنا، و نقول له: ليس
لدينا ما نشكرك به سوى قول رسول الله صلى الله عليه و سلم: "إن الحوت في البحر، و الطير في
السماء، يُصلُّون على معلِّم الناس الخير".
نسأل الله العظيم أن يبارك فيه و في علمه و عمله و أهله و صحته، و أن يمد في عمره و أن يحفظه
و ولده بما يحفظ به عباده الصالحين.

شكراً أستاذي الكريم على كل شيء
و الحمد لله الذي تتم بنعمته الصالحات

مقدمة عامة

مقدمة عامة

جَمَعَ علماء الجيولوجيا عيناتٍ كثيرةً لأنواعٍ صخريةٍ مختلفةٍ من مناطقٍ متعددةٍ من سطح الأرض. حُلِّتْ هذه العيناتُ بُغْيَةً معرفةً تركيبها الكيميائي، و من ثَمَّ معرفةً متوسط هذه المركبات في الجزء الخارجي من الغلاف اليابس للككرة الأرضية. لقد حُلِّصَتْ نتائج هذه التحليلات إلى أن متوسطَ التركيب الكيميائي للقشرة الأرضية يتكوّن أساساً من أكاسيد السيليسيوم والألمنيوم والكالسيوم والحديد والصوديوم والمغنيزيوم والبوتاسيوم [01]، (أنظر الملحق 01).

من خلال ذلك تتضح حقيقتان هامتان:

الأولى: توجد ثمانية عناصر فقط من بين الاثني عشر والتسعين عنصراً الموجودة في الطبيعة، تكوّن حوالي 99% من تركيب القشرة الأرضية، و أن بقية العناصر -بما فيها الذهب والفضة والنحاس والرصاص والزنك- تكوّن فقط 1% من هذا التركيب.

الثانية: الأكسجين هو أكثر العناصر الثمانية انتشاراً على الإطلاق، و لكن هذا لا يعني أن الأكسجين حر طليق في القشرة الأرضية، لأنه في الواقع مرتبط ارتباطاً كيميائياً في الصخور المختلفة، و كذلك الحال بالنسبة للعناصر السبعة الأخرى، فهي لا توجد بحالتها العنصرية في هذه الصخور، بل توجد جميعها متحدةً أو مرتبطةً بطريقةٍ أو بأخرى، لتكوّن ما يُعرف باسم المركبات الكيميائية. تتحد هذه العناصر السبعة مع الأكسجين لتكوّن أكاسيد.

يمكن اعتبار الأكسيد وحدةً كيميائيةً أساسيةً مكونةً لجميع المركبات الكيميائية^[1] للصخور المتواجدة على سطح القشرة الأرضية، و التي تُعتبرُ المعادنُ أحدَ أهمّها.

نُقِّتْ صخور القشرة الأرضية إلى قطعٍ صغيرةٍ تتراوح أبعادُ حبيباتها بين 0.063 و 2 mm على مقياس ونتورث (Wentworth)، و تراكمها ينتج عنه ما يُعرفُ بالرمال، و التي تُقسَّمُ حسبَ نشأتها إلى ثلاث مجموعات رئيسة^[2]:

- الرمال القارية: و تنتج من تجوية الصخور السابقة التكوين و تفتُّها، حيث تقوم السوائب المتحركة (الرياح، المياه، . . .) بحملها و نقلها إلى أحواض الترسيب.
 - الرمال الكربوناتيّة: و هي بَحْرِيّة المنشأ و مؤلّفَةٌ من جسيمات كربوناتيّة، تتشكل داخل حوض الترسيب (سُرّيّات ، هياكل مستحاثات، فتات كربوناتي)، كما أنّها ليست حطاماً متشكلاً من تفتيت الصخور السابقة التكوين.
 - الرمال الفتاتيّة النارية: و تنتج من الانفجارات البركانيّة، و هي غنيّة بالحطام البركاني على شكل حتات (Fractured) ناري حقيقي أو قاري إذا جُلِبَ من أرض بركانية قديمة.
- الرمال القارية أكثر هذه الرمال أهميةً من حيث التنوع و الانتشار، فهي تشغل حوالي 30% من الغطاء الرسوبي في القشرة الأرضية، و تتوضّع بمعدلات مختلفة في كافة البيئات الترسيبية، خاصة الصحراوية منها، حيث تكون بشكل كتبان رملية.
- رمل الكتبان مادة عازلة كهربائياً و حرارياً، يُستخدم في العديد من الصناعات الكهربائيّة و الحرارية و الضوئية، و التي تعتمد في الأغلب على المكوّنات الرئيسيّة للرمل، كالكوارتز SiO_2 مثلاً، و هو يشكل أكثر من 70% منه [3].
- الرمل مصدرٌ طبيعيٌ للعديد من المركّبات و العناصر الكيميائيّة، لعلّ أهمّها عنصر السيليسيوم Si، و الذي يُعتبر أهمّ مادة أولية للصناعات الإلكترونيّة و التطبيقية الحديثة [4].
- للرمل استخدامات عديدة، فهو المادة الأساسيّة الداخلة في صناعة الزجاج، و هو أحدُ مكونات مواد البناء المهمّة، زيادة على ذلك فإن بعض أنواع النباتات تفضّل التربة الرملية لنموها. يُستخدم الرمل أيضاً في تصفية المياه و معالجة آبار البترول و الإنشاءات و كمواد حاكة.
- يمكن استخدام الرمل أيضاً لاستخلاص الكوارتز، للاستعمالات الزجاجية، خاصة المخبرية منها؛ إذ يتحمّل درجات حرارة عالية، تفوق 1600°C ، كما أنّ له فجوةً طاقةً كبيرةً جداً، تفوق 8 eV، مما يعطيه خصائصَ عزل كهربائي جيّد، كما أنّ له شفافيةً كبيرةً جداً في المجال الطيفي الممتد من فوق البنفسجي إلى المرئي ثم إلى ما تحت الأحمر، مما يرشحه للاستعمال في القياسات الطيفية في هذا المجال.
- يُستخدم الكوارتز أيضاً لاستخلاص السيليسيوم النقي للأبحاث النانومترية و تطبيقاتها في أشباه الموصلات، و هو مادة باهظة الثمن في السوق العالمية.
- لقد أقدمت الجزائر في السنوات الأخيرة على مشاريع ضخمة لاستغلال الطاقة الشمسية (إنجاز محطات إنتاج الكهرباء، إنتاج ألواح السيليسيوم الخاصة بإنتاج الألواح الشمسية، . .)، لذا فإنه من

المفيد جدا استغلال رمال الصحراء، و التي تُعدُّ مصدرا طبيعيا محليا و مجانيا لمادة الكوارتز، في تصنيع زجاج نقي، تُصنع منه خلايا شمسية، تُنشر على مساحات شاسعة عبر الصحراء لاستغلال الطاقة الشمسية الرهيبة المهذرة، و التي تُعتبر الصحراء خزاناً مُهمّاً لها.

رُغمَ أن للجزائر مساحاتٍ شاسعةً من الكثبان الرملية، إلا أنها -حسبَ علمنا- لم تثمّن بعدُ من حيثُ تركيبها أو خصائصها الفيزيائية؛ إذ لم يُجرَ عليها سوى عدد قليل جدا من الدراسات [5-12]. على قلة هذه الدراسات فإنها لم تهتمَّ -إلا نادرا- بدراسة الخصائص الجهرية و الجهرية للرمل كمزيج طبيعي من مركبات مختلفة، بل اكتفت بالجوانب المتعلقة باستعماله في مجالات البناء و الزراعة و تصفية المياه.

A. Maazouzi et al [11، 13] و A. Tafraoui et al [14] درسوا فقط واحدا من جوانب تشخيص

رمل العرق الغربي الكبير، و هو أحد أهم عروق الجزائر.

توفّر الكثبان الرملية في الصحراء الجزائرية الكبرى بكميات هائلة جداً، و ورقة عينه منها، جعلنا نهتم بها و ننظر إليها كمصدر طبيعي لبعض العناصر و المركبات الكيميائية المهمة كالكوارتز و السيلسيوم، و ذلك بناءً على متوسط التحليل الكيميائي لسطح القشرة الأرضية المبين سابقاً.

لقد سبقَ لنا في دراسة أخرى [15] عن التركيب الذري لرمال كثبان منطقة ورقلة -باستخدام مطيافيات تفلور الأشعة السينية (XRF) و المجهر الإلكتروني الماسح (MEB) و (EDX) و تقنية التنشيط النيوتروني (NAA)- أن عرفنا معظم مكوناتها، فهي ما يقرب من خمسين عنصراً، إلا أن معظمها ذو تركيز ضئيل جداً، باستثناء بعض العناصر، و أهمها السيلسيوم Si و الكالسيوم Ca و الأكسجين O و البوتاسيوم K، و الحديد Fe و المنغنيز Mn، فقد وُجدت بتراكيز عالية، و أخرى بتراكيز أقل كالصوديوم Na و الكبريت S و الكروم Cr، و بتراكيز أضال كالألمنيوم Al و الباريوم Ba و السيريوم Ce و المنغنيزوم Mg، و أخرى تكاد تكون معدومة، (أنظر الملحق 02).

لذلك فإننا سنسعى في بداية هذه الدراسة إلى تحديد المركبات المكوّنة لرمل كثبان ورقلة باستخدام طرق التشخيص التالية: إنعراج الأشعة السينية (XRD) و تفلور الأشعة السينية (XRF) و امتصاص الأشعة ما تحت الحمراء (FTIR). بعدها نقيس المقاومة الكهربائية لهذا الرمل.

في المرحلة الموالية نسخن عيناتٍ من هذا الرمل عند درجات حرارة مختلفة، في المجال الممتد من 200 إلى 1200 °C بخطوة مقدارها 200 °C، لأربع و عشرين ساعة متتالية لكل منها.

لدراسة التغير الحاصل في تركيب الرمل و مقاومته الكهربائية نُعيد القياسات السابقة على كل عينة من العينات المسخنة. في سبيل ذلك سنقوم بما يلي:

- تحديد المكونات الذرية و الجزئية، البلورية و غير البلورية للعينات الطبيعية و المسخنة من رمل الكثبان، و ذلك باستنباطها من أنماط انعراجاتها و أطيافها المختلفة، و التوفيق بينها و بين التحولات الطورية و البنيوية المعروفة لدى الباحثين بمعادلاتها الكيميائية.
- قياس المقاومة الكهربائية لكل العينات، الطبيعية و المسخنة، و محاولة تبرير التغيرات الحاصلة فيها وفقاً لنتائج القياسات الطيفية و القيم المعروفة للمقاومية الكهربائية لبعض مكونات الرمل.
- قياس فقد الكتلي الحاصل للرمل نتيجة التسخينات المختلفة، و محاولة تبرير ذلك من خلال نتائج القياسات الطيفية المختلفة، و كذا المعادلات الكيميائية المعروفة التي تصفُ المتفاعلات و النواتج في مثل هذه الظروف من الحرارة و من وجودها ضمن خليط من المركبات، قد يحفز بعضها بعضاً و قد يثبطه.

يمكن إدراج دراستنا هذه ضمن عدة محاور وطنية للبحث، فهي أولاً تضع الرمال كمادة خام، لذا فهي من "علوم المواد"، كما أنها تسعى إلى معالجة الرمال و تحويلها و استخلاص بعض المواد الأخرى منها، فهي إذاً تدخل ضمن "تطوير و تركيب و تحويل و معالجة المواد" و "تكييف المواد". تسعى دراستنا أيضاً إلى استخلاص السيليسيوم الذي يستخدم في صناعة الخلايا الشمسية، فيمكن اعتبارها إذاً من "التطبيقات الميكروإلكترونية و الميكروتقنية و الفوتونية".

حيث أن الرمل خليطٌ من المركبات، لذا يقتضي دراسةً تجريبيةً لا نظريةً، تهدف مرحلياً إلى معرفة:

- طرق التشخيص الفيزيائية الأنسب لدراسة رمل الكثبان.
- أهم و أنجع الطرق العملية التي يمكن من خلالها استخلاص العناصر أو المركبات الكيميائية المطلوبة.
- التفاعلات الكيميائية التي تحدث في الرمل أثناء تسخينه عند درجات حرارة مختلفة.
- التحولات الطورية و البنيوية لمكونات الرمل.
- الناقلية الكهربائية للرمل، و كيفية تطورها بالتسخين.
- فقد الكتلي الحاصل في الرمل بسبب التسخينات المختلفة.
- كلُّ هذا يهدفُ إلى تطويع الرمل لاستغلاله أحسن استغلال.

قسّمتنا هذه الأطروحة إلى أربعة فصول، جمعنا في فصلها الأول "عموميات حول رمل الكثبان" مجمل المعلومات عن رمال الكثبان، بداية من أصل منشئها و كيفية تشكيلها و أنواعها و خصائصها، نهايةً بمكوناتها و كيفية استغلالها و أنواع الدراسات التي تُجرى عليها.

أما في الفصل الثاني "الأدوات و الطرق المستخدمة للقياس"، فقد عرّفنا فيه منطقة الدراسة (محرزة - ورقلة)، و كذا كيفية تحضير العينات، من تسخين و حفظ، بالإضافة إلى التعريف بمختلف القياسات: XRD انعراج الأشعة السينية و XRF فلورة الأشعة السينية و FTIR مطيافية الأشعة تحت الحمراء و الكهربائية، التي أُجريت خلال هذه الدراسة، مدعّمةً بمبدأ عملها و البرامج الحاسوبية المستخدمة في معالجة نتائجها.

في الفصل الثالث "نتائج القياسات الطيفية: تحليلها و مناقشتها" سنعرض نتائج القياسات الطيفية المستخدمة، و نناقش كلاً منها على حدة، ثم نحاول التوفيق بين نتائج القياسات و تلخيص ما جاء فيها، خاصّةً ما تعلق بالمكونات الأساسية لرمال الكثبان، و كيفية تطورها عند التسخين، و ذلك من خلال مجمل التحولات الطورية و التفاعلات الكيميائية التي تحدث لمكونات الرمل.

في الفصل الأخير "نتائج القياسات الكهربائية و الفقد الكتلي: تحليلها و مناقشتها" سنعرض نتائج القياسات الكهربائية و نناقشها من خلال ربط تغيراتها بتحول التركيب الكيميائي للرمل. كما سنعرض نتائج الفقد الكتلي الحاصل أثناء عمليات التسخين المختلفة و نفسرها، ثم نؤكد بذلك نتائج تراكيز مكونات الرمل المتحصل عليها من خلال التشخيص الطيفي.

في نهاية هذه الأطروحة سنحوصل أهمّ النتائج المتحصل عليها في خلاصة عامة، و نبين كيفية استغلالها تطبيقياً، و نقدم لذلك آفاقاً مستقبلية، يمكن على أساسها إنجاز بحوث تطبيقية أخرى.

الفصل الأول

عموميات عن رمل الكشبان

الفصل الأول: عموميات عن رمل الكثبان

لقد أشرنا في مقدمة هذه الأطروحة إلى أن هذه الدراسة تُعنى بالرمال القارّية ذات البيئة الترسيبية الصحراوية، لذا فإنه من المناسب جعلُ أوّلِ فصولها بعنوان عموميات عن رمل الكثبان، نسعى من خلاله لجمع أهم المعلومات عن الرمل و الكثبان، منشئها و كيفية تشكّلها و مكان تواجدها و مكوناتها و أهمّ استخداماتها الحديثة، وفق التسلسل التالي:

- 1- أصل الكثبان الرملية و كيفية تشكيلها و أنواعها.
- 2- تواجدها و توزيعها في العالم، ثم في الجزائر.
- 3- المكونات الرئيسة لرمل الكثبان.
- 4- الخصائص العامة لرمل الكثبان.
- 5- إستغلال رمل الكثبان.
- 6- أنواع الدراسات على الرمل و كيفية تشخيصه.

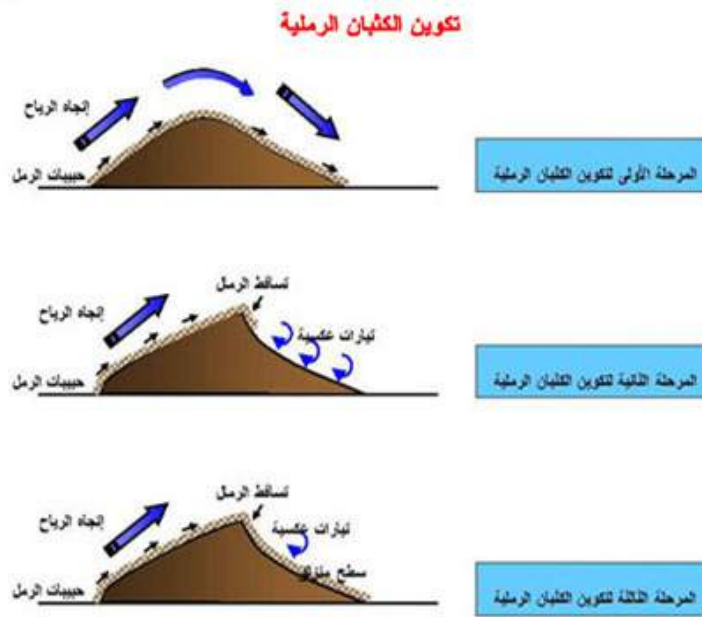
1.I. أصل الكثبان الرملية و كيفية تشكلها و أنواعها:

الكثبان جمع كثيب^[16، 17]، و هو عبارة عن تجمع من الرمل السائب على سطح الأرض في شكل كومة ذات قمة. تنشأ الكثبان الرملية نتيجة عوامل التعرية، و هي تفاعل الصخور الصخرية مع درجات الحرارة العالية و هبوب الرياح المتواصلة، مما يؤدي إلى تفكك الصخور و تفتتها إلى حبيبات رملية مختلفة الأحجام و الأشكال. يمر تكوّن كثيب الرمل بالمراحل^[17] التالية:

أ. عندما تضعف قوة الرياح، تتساقط حملتها من الرمال، متجمعةً فوق بعضها، و تتراكم عادة على الجانب المواجه لاتجاه الرياح، و قد يتبقى بعضها في أعالي الكثيب، و يتدرج بعضها الآخر على الجانب المظاهر للرياح، و تتشكل عملية تدرج حبات الرمال و ترحلها بفعل الجاذبية الأرضية، و بالتالي تعمل الرياح على تسوية الجانب المواجه لهوبها، في حين يراوح انحدار الجانب المظاهر بين 20 إلى 30 درجة، و على ذلك، فإن أول مراحل تكوين الكثيب تجمع الرواسب على الجانب المواجه للرياح أكثر منه فوق الجانب المظاهر لها، و بالتالي يزداد ارتفاع الكثيب تدريجياً، الشكل 1-I .

ب. تنحدر الرمال من أعالي الكثيب بفعل الجاذبية الأرضية إلى سفح الجانب المظاهر لاتجاه الرياح، و تكوّن انحداراً شديداً إذا ما قورن بدرجة انحدار السطح المواجه لاتجاه الرياح، الشكل 1-I .

ج. يظهر الاختلاف واضحاً بين كل من الانحدار البسيط المواجه للرياح و الانحدار الشديد المظاهر لها، إذ تتجمع الرمال على الجانب الأول و فوق أعاليه، و تنحدر تدريجياً بفعل الجاذبية على الجانب الآخر، الذي يتميز بتأثره بفعل الدوامات الهوائية، (التيارات العكسية، التي تُسهّم بدورها في ارتكاز بعض حبيبات الرمال فوق قمة الكثيب، و تحوّل دون هبوطها أسفل الانحدار المظاهر لاتجاه الرياح). ثم إن الرياح تساعد على تكوين فجوة عميقة في ظهر الانحدار، و بذلك يبدو الأخير على شكل مقعر، و يكتسب لنفسه ذراعين طويلتين تمتدان مع اتجاه الرياح، الشكل 1-I .



الشكل I-1 مراحل تكوين كثيب الرمل [16,17]

و توجد أربعة أنواع من الكثبان الرملية، و هي:

أ. **الكثبان الهلالية:** و هي كثبان ذات شكل مقوَّس كالهلال، تتميز بوجود طرفين يمتدان إلى الجهة التي تندفع نحوها الرياح، الشكل I-2.



الشكل I-2 الكثبان الهلالية

ب. **الكثبان المستعرضة:** هي كثبان رملية متراكمة، كلٌّ منها خلف ظهر الآخر، مثل أمواج البحر، الشكل I-3، و تتكوَّن هذه الموجات الرملية من جانبيين في اتجاهين متضادين، و سُمِّيت بالكثبان المستعرضة لأنها تعترض حركة الرياح السائدة، و كثيرا ما تنشأ نتيجةً لتلاحم الكثبان الهلالية.



الشكل 3-I الكثبان المستعرضة

ج. الكثبان الطولية: تنشأ الكثبان الطولية موازيةً لاتجاه الرياح السائدة، الشكل 4-I، و تبدأ هذه الكثبان دورة حياتها بكثبان هلالية، ثم تتحول إلى طولية، حينما تتعرض إلى رياح جانبية تتقاطع مع الاتجاه العام للرياح الدائمة.



الشكل 4-I الكثبان الطولية

د. الكثبان النجمية: تتشكل الكثبان النجمية حينما تأتي الرياح من عدة اتجاهات، الشكل 5-I، و يتناسب عدد أذرع النجوم الرملية و طول كل ذراع منها مع اتجاهات الرياح السائدة.

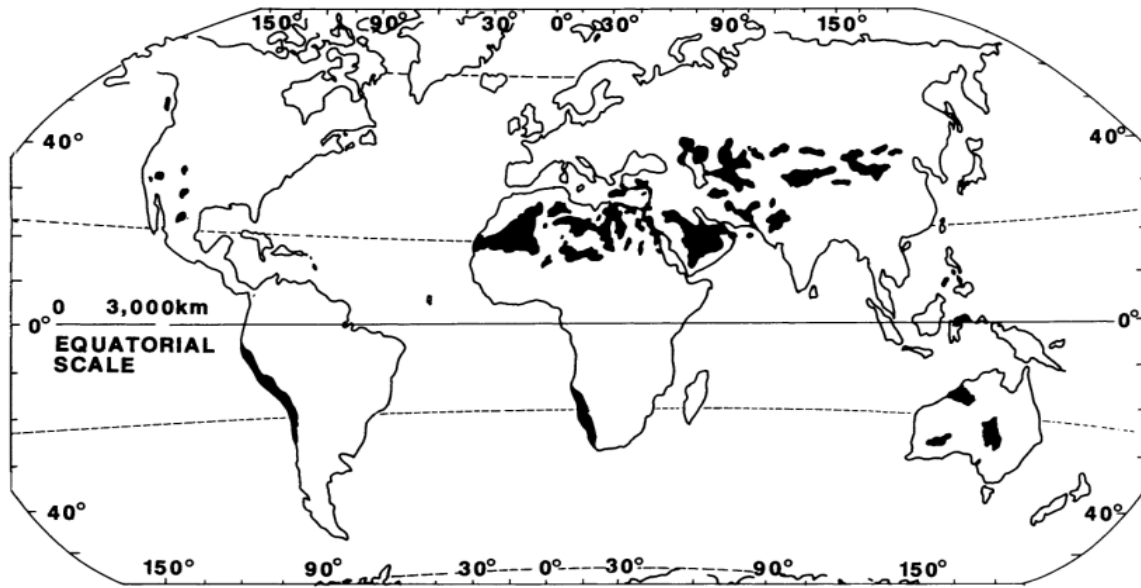


الشكل 5-I الكثبان النجمية

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

تشكل الرمال و الصخور الرملية في ظروف مختلفة و بفعل عوامل متباينة جداً، و تتواجد في البيئات الترسيبية كافةً: القارية و البحرية و المختلطة، بمواصفات تعكس خصائص هذه البيئات.

تُغطّي الرمال القارية (بكل أنواعها) حوالي 30% تقريباً من الغطاء الرسوبي للقشرة الأرضية، فيما تتموضع الرمال القارية ذات البيئة الترسيبية الصحراوية (الكثبان الرملية) بمعدلات مختلفة في العالم، مثلما هو موضح في الشكل I-6.



الشكل I-6 توزع الكثبان الرملية الصحراوية في العالم (اللون الأسود) [18]

تغطي الكثبان الرملية حوالي 18% من صحراء إفريقيا^[19]، و التي تُعتبر الجزائر أكبر دُولها مساحةً.

تُقدّر مساحة الجزائر حوالي 2.4 مليون كيلومتراً مربعاً، و تحتل الصحراء منها أكثر من أربعة أخماس مساحتها الإجمالية. تُشكّل الكثبان الرملية و حدها من الصحراء ما يُقارب ثُلث مساحتها؛ أي ما يُعادل رُبْع المساحة الإجمالية للجزائر.

تحتوي الجزائر سلاسل ضخمة و طويلةً من الكثبان الرملية، و تُدعى العروق. تتوزع هذه العروق على الصحراء، من شرقها إلى غربها. أهمُّ هذه العروق العرق الشرقي و العرق الغربي الكبيرين (الشكل I-7).



الشكل I-7 توزيع الكثبان الرملية الصحراوية في الجزائر [20]

يغطي العرق الشرقي الكبير حوالي 600 كلم عرضاً في 200 كلم من الشمال إلى الجنوب، مُشكلاً أكبر عرق في الجزائر، و أغلبه تابع لإقليميا- لولاية ورقلة (الشكل I-7).

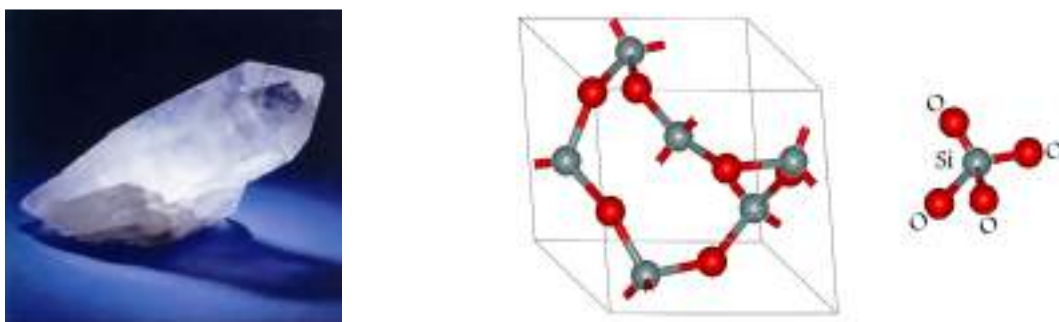
3.I. المكونات الرئيسية لرمال الكثبان:

تتكون رمال الكثبان في أغلب الحالات من ثلاثة معادن رئيسية هي: الكوارتز و الجبس و الكالسيت. تُعدُّ هذه المكونات عادةً أحدَ معايير تصنيف الرمال؛ إذ غالباً ما يطغى واحدٌ منها على الآخرين. تكون هذه المعادن في الرمال متبلورة، مما يجعلها -في الأغلب الأعم- ذات طبيعة بلورية. فيما يلي بيان كلٍ منها.

أ- الكوارتز:

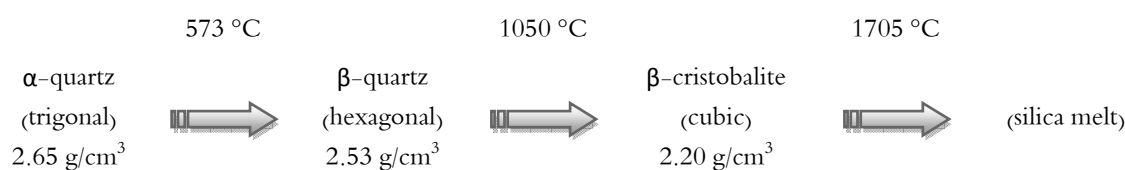
يُعدُّ الكوارتز من أكثر المواد وفرةً على سطح الأرض بعد الفلدسبار [21، 22] (KAlSi_3O_8)، يتكون في الحالة العادية من بلورات سداسية الشكل (hexagonal)، $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ ، $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$. تتكون في الحالة العادية من بلورات سداسية الشكل (hexagonal)، تتكون بدورها من السيليكا (SiO_2) متبلورة وفق نظام ثلاثي الميل (trigonal) [22]، و يُعرف بالطور

ألفا (α)، و هو ناتج عن الاتصال المستمر لرباعي الوجوه SiO_4 ؛ حيث تتمركز ذرة سيلسيوم بين أربع ذرات أكسجين، الشكل 8-I .



الشكل 8-I البنية البلورية للكوارتز^[21]، و صورة له^[22]

الكوارتز منتشر في جميع أرجاء العالم كأحد أهم مكونات الصخور، و هو يشكل حوالي 70% من تركيب الرمل^[16]، كما يوجد كترسبات نقية. عندما يتعرض لدرجات حرارة مرتفعة في الشروط العادية دون إضافة أية مادة له، تحدث له عدة تحولات طورية، موضحة كما بالشكل 9-I.



الشكل 9-I التحولات الطورية للكوارتز^[23]

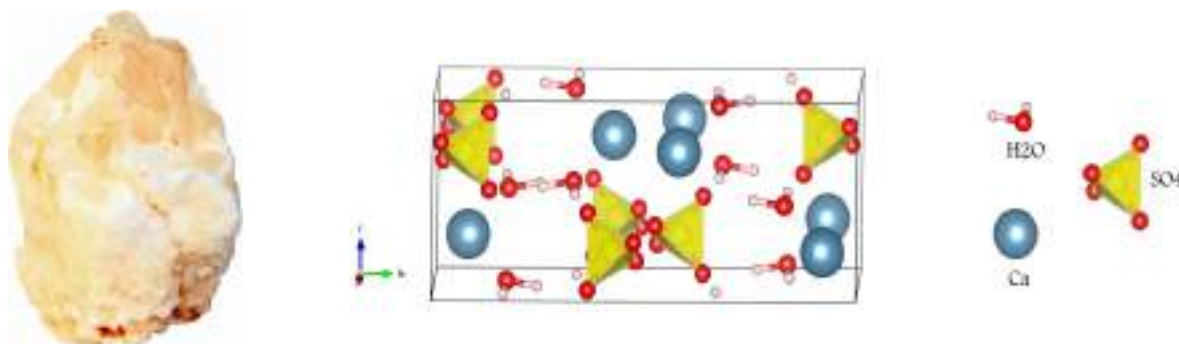
يتميز الكوارتز بريق زجاجي، و يكون بألوان متعددة، كالوردي و الأسود و الشفاف و ...، و ذلك نتيجة اختلاف التركيب الشبكي و اختلاف نوعية الشوائب و نسبها^[22]. تُظهر بلورات الكوارتز خاصية تُعرف باسم الكهربائية الضغطية^[22]؛ حيث أنها تنتج كهرباء عند ضغطها، مما جعلها تُستخدم في الساعات الدقيقة و أجهزة البث الحديثة. تُستخدم بلورات الكوارتز أيضا في صناعة المجاهر المستقطبة.

ب- الجبس أو الجص:

هو أحد أهم المعادن الكبريتية المنتشرة بكثرة في الطبيعة، فهو كبريتات الكالسيوم المائية ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)، و يتواجد في الصخور الرسوبية، حيث يتكون نتيجة ترسب كبريتات كالسيوم ماء البحر، و يكون في العادة مصاحبا لترسبات أخرى مثل الـ halite (الملح الصخري NaCl) و الـ

anhydrite (CaSO_4)، بالإضافة إلى الحجر الكلسي [22]، كما يتواجد أحياناً في باطن الأرض على أعماق تصل إلى 350 متراً [24].

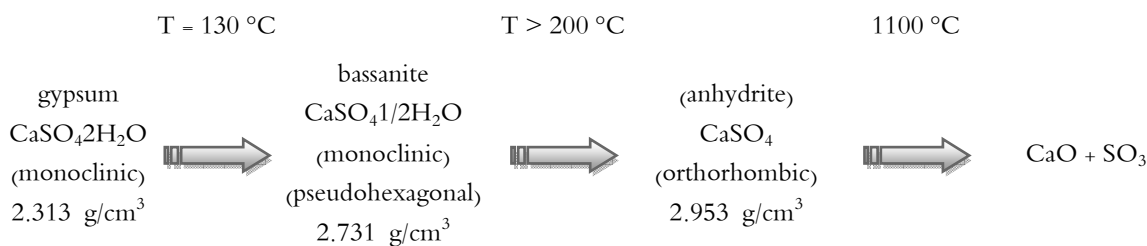
يُنْتَجُ الجبس أيضاً في المناطق البركانية [22] من خلال تفاعل حمض الكبريتيك مع المعادن التي تحتوي على الكالسيوم، كما يوجد في أغلب أنواع الطين كنتيجة تفاعل حمض الكبريتيك مع الحجر الكلسي. يتبلور الجبس وفق نظام بلوري أحادي الميل (monoclinic) [25]، الشكل I-10:



الشكل I-10 البنية البلورية للجبس [26] و صورة له [22]

يتواجد الجبس في جميع بقاع العالم و خصوصاً [22] في فرنسا، سويسرا، المكسيك، و الولايات المتحدة الأمريكية، و هو يتميز بلونه الأبيض شبه الشفاف [27]، و يكون باللون الأسود أو الأصفر أو الأخضر . . . نتيجة للشوائب.

للجبس درجة صلابة ضعيفة [22]؛ حيث يمكن خدشه بالأظافر، و عند تسخينه بدرجة حرارة تفوق 128°C يَفْقَدُ محتواه من الماء تدريجياً، و يمر بطوريّ الـ bassanite و الـ anhydrite، كما قد يحدث له تفكك عند درجات حرارة عالية، الشكل I-11:



الشكل I-11 التحولات الطورية للجبس [25]

يُعرف الباسانيت *bassanite* باسم عجينة باريس، و التي تصبح صلبة و قاسية عند خلطها بالماء و تركها لتجف، لذا فهي تستخدم في صناعة القوالب الخاصة بالنحت و الزخرفة و السيراميك و علاج الأسنان و غيرها، كما يُستخدم الجبس في أعمال البناء و التشييد، و يدخل في صناعة الدهانات و الصفائح الخاصة بتلميع و تنعيم ألواح الزجاج . . .

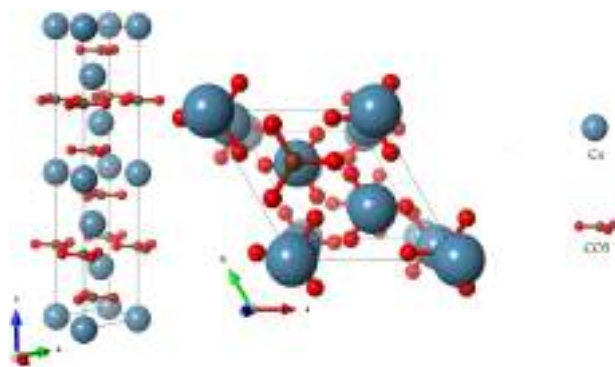
ج- الحجر الكلسي أو الكالسيت [22]:

هو صخر رسوبي يتكون بشكل رئيسٍ من كربونات الكالسيوم ($CaCO_3$)، يكون عادةً على شكل كالسيت أو أراجونيت (*aragonite*)، و قد يحتوي على كميات كبيرة من كربونات المغنيسيوم (الدولوميت)، و في بعض الحالات يحتوي على مكونات أخرى بكميات ضعيفة مثل الطين و كربونات الحديد و الفلدسبار و البيريت (*Pyrite*) و الكوارتز.

أكثرُ الأحجار الكلسية لها قوام حبيبي يتراوح ما بين 0.001 mm إلى الحبيبات الكبيرة المرئية، و هي غالباً ما تكون بيضاء اللون، لكنَّ الشوائب -مثل الطمي و الرمل و أكسيد الحديد- تجعلها تتلون بألوان مختلفة.

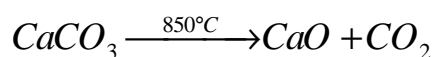
يستقر الكالسيت عند درجات حرارة أقل من $850\text{ }^{\circ}\text{C}$ تحت نظام بلوري ثلاثي الميل (*trigonal*)،

الشكل I-11.



الشكل I-11 البنية البلورية للكلس [26] و صورة له [22]

عندما يسخن الكالسيت بدرجة حرارة تفوق $850\text{ }^{\circ}\text{C}$ فإنه يتفكك إلى ثاني أكسيد الكربون و الكلس (الجير) كما يلي [28]:



للكلس أو الجير (CaO) استخدامات هامة في صناعة الزجاج و الزراعة، أما الحجاره الكلسية فأغلب استخداماتها في البناء^[22.24]، كما أن بعض طبقاتها الأرضية تكون مخازن للنفط أو الغاز الطبيعي [24. 21].

الجدول I-1 يوضح أهم الخصائص الفيزيوكيميائية لمكونات الرمل الأساسية.

الجدول I-1 بعض الخواص الفيزيوكيميائية لمكونات الرمل الرئيسية [21، 29-32]

الخواص الفيزيوكيميائية			
	الكوارتز	الجبس	الكالسييت
الصيغة الكيميائية	SiO ₂	CaSO ₄ ·2H ₂ O	CaCO ₃
الكتلة المولية (g/mol)	60.085	172.173	100.089
الحجم المولي (cm ³)	22.688	74.440	36.9257
قابلية الذوبان	غير قابل	في حمض HCl مع التسخين	في الأحماض المخففة
صلابة (هوس)	7	2-1.5	3
الكثافة (g/cm ³)	2.648	2.313	2.7106
التبلور	trigonal hexagonal	monoclinic	trigonal
أبعاد الخلية البلورية	a (Å)	4.9134	4.9896
	b (Å)	-	-
	c (Å)	5.4052	6.533
	β (°)	-	118.60
المجموعة الفضائية	P3 ₂ 21 or P3 ₁ 21	I2/a	R3c
اللون	شفاف، وردي، أسود، . .	أبيض، شفاف، أسود، أصفر، أخضر، . . .	أبيض
البريق	زجاجي - شمعي	زجاجي إلى حريري، لؤلؤي، أو شمعي	زجاجي إلى لؤلؤي على سطح الانقسام
الشفافية	شفاف إلى معتم تقريبا	شفاف إلى نصف شفافة	شفاف إلى نصف شفاف
قربنة الانكسار	1.543-1.554	1.519-1.530	1.486-1.660
المقاومية الكهربائية (Ωm)	4×10 ¹² - 2×10 ¹⁶	1.21×10 ¹⁴	2×10 ¹²
درجة الإنصهار (°C)	1705 - 1713	-	-

4.I. الخصائص العامة لرمال الكثبان [33]:

تُعتبر رمال الكثبان في أغلب الحالات رمالا كوارتزية؛ ذلك أن الكوارتز هو الغالب فيها، و هي نوعان: حبيبات رملية، تكون غير مترابطة، تتألف من حبات فتاتية لا تجمع بينها مادة لاحمة، و أحجار رملية، و هي حبيبات فتاتية تجمعها مادة لاحمة.

1.4.I. الخصائص الفيزيائية للرمال:

1- خصائصه الحبيبية: تتصف الرمال بمجموعة من الخصائص الحبيبية، تختلف باختلاف طبيعة صخور المصدر، و عوامل التجوية الفيزيائية أو الكيميائية، و النقل الريحي أو المائي، و الترسيب القاري أو البحري.

أ- قياس الحبات: تقع الرمال الكوارتزية، بحسب التصنيف العالمية المعمول بها، ضمن عائلة الأرينيت (arenite)، إذ تتفاوت أقطار حبات رمال الكوارتز بين 0.063 mm و 2 mm، و تقسّم الحبيبات و الأحجار الرملية تبعاً لأبعادها، إلى أربع مجموعات حبيبية، الجدول 2-I.

جدول 2-I تقسيم الرمال تبعاً لأبعادها

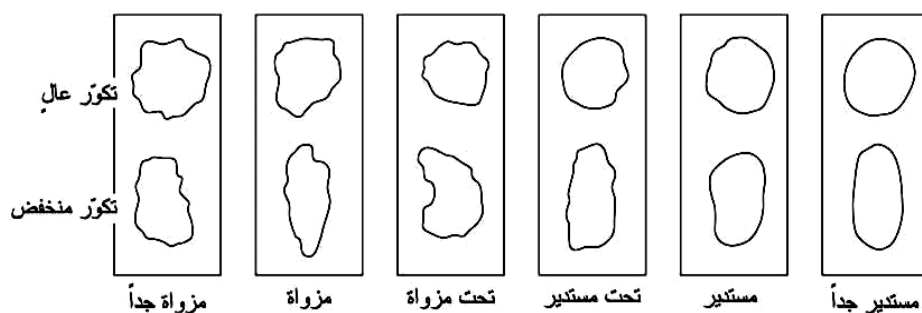
التصنيف	الأقطار الحبيبية
حصى (gravel)	2 mm < gravel
رمل (sand)	0.063 mm < sand < 2.0 mm
طمي (silt)	0.002 mm < silt < 0.063 mm
طين (clay)	clay < 0.002 mm

يُحدّد البعد الحي للرمال المفكك باستخدام مجموعة مناخل توضع بعضها فوق بعض، متدرجاً الفتحاح من 2 mm إلى ما دون ذلك، الشكل 12-I.



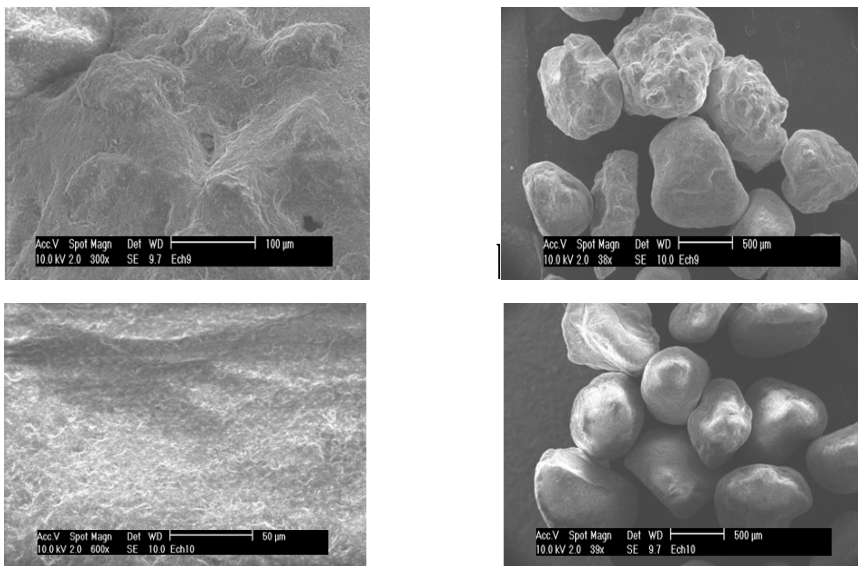
الشكل I-12 المناخل المستخدمة في تحديد البعد الحبي للرمل^[34]

ب- أشكال الحبات: تأخذ حبات الكوارتز أشكالاً مختلفة، تتحدد بمعرفة درجة تكوُّر الحبات و تدوُّرها، حيث يعبر التكوُّر عن درجة اقتراب الحبة من الشكل الكروي تبعاً للنسبة بين المحاور الثلاثة الرئيسة للحبة؛ فهناك الحبات الكروية و القرصية و الورقية و النصلية و القضيبية، أما التدوُّر فيعبر عن درجة انحناء أركان الحبة. و بحسب مقياس التدوُّر المعتمد عالمياً تقسم الحبات إلى حبات مزوأة جداً (very angular)، و حبات مزوأة (angular)، و حبات تحت مزوأة (sub-angular)، و حبات تحت مستديرة، و مستديرة، و مستديرة جداً، الشكل I-13.



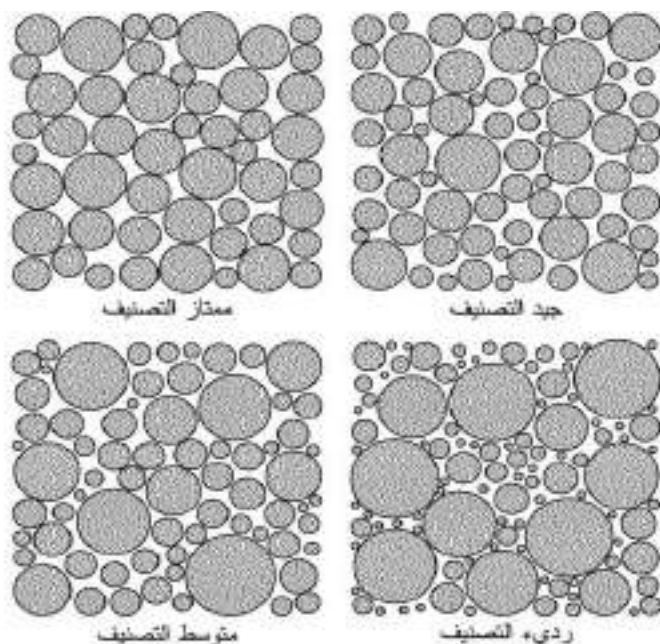
الشكل I-13 مقياس استدارة الحبات

تتميز الحبات الكوارتزية بسطوح ملساء أو خشنة، تحمل علامات مختلفة من الخطوط و الخدوش و الحفر و التضاريس، و قد تكون هذه السطوح كامدة ذات بريق معتم أو لامعة ذات بريق متألق، الشكل I-14. يمكن التعرف على أصل الحبات و تاريخها من خلال الدراسة المفصلة للنسيج السطحي لها باستخدام المجهر الإلكتروني الماسح.



الشكل I-14 النسيج السطحي لحبات الرمل الكوارتزية باستخدام جهاز المجهر الإلكتروني

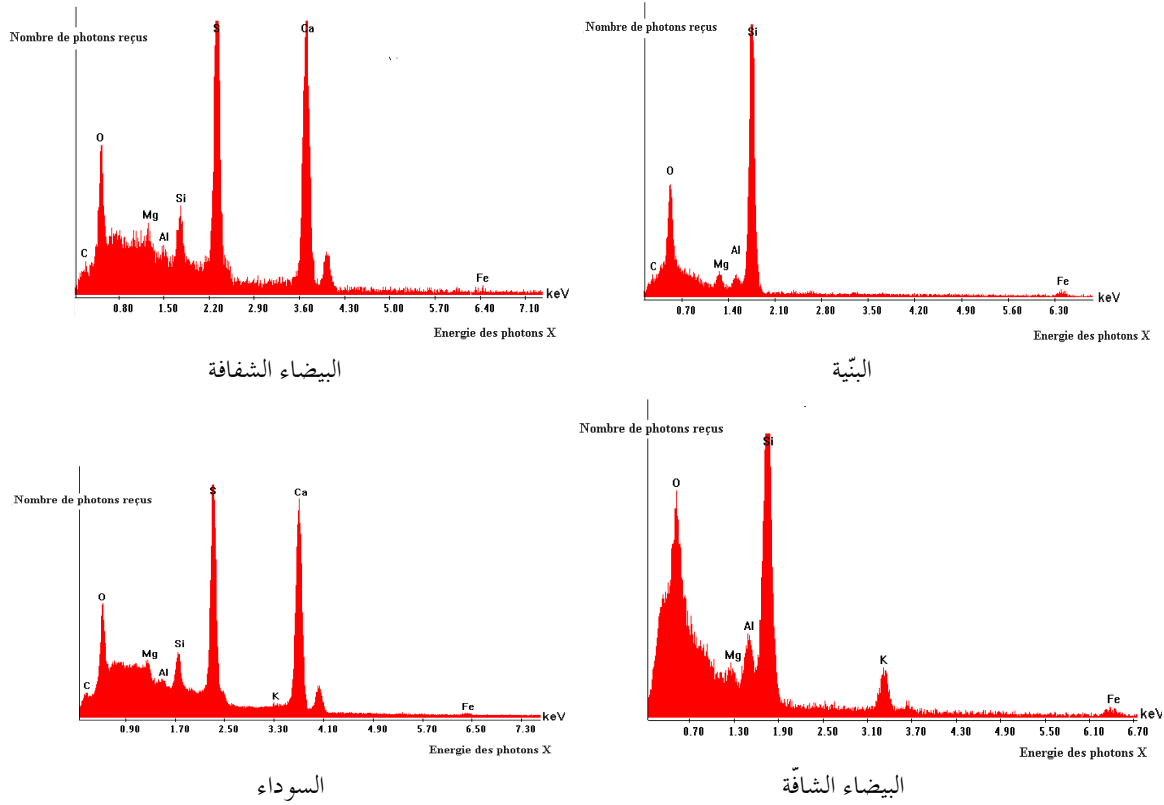
ج- التصنيف الحبي: يقصد به سيطرة مقياس حبي واحد. تبدي التجمعات الرملية درجات مختلفة من التصنيف الحبي؛ إذ يمكن أن تكون رديئة أو متوسطة أو جيدة التصنيف، الشكل I-15. تُحدد هذه الخاصية بتداخل عوامل النقل و الترسيب؛ فعامةً تكون الرمال المتشكلة في المناطق المضطربة الأجواء جيدة التآكل والتكور و التصنيف الحبي، بينما تكون الرمال النهرية أسوأ من حيث التآكل و التكور و التصنيف، و ذلك نتيجة السرعات المختلفة للتيارات المائية. أمّا الأسوأ من حيث التصنيف فهي الرمال المحمولة بالسيول الجارفة، و تليها رمال كعاب سفوح الجبال. أما الرمال البحرية العميقة فتبدي درجة تآكل و تكور عالين و درجة تصنيف متوسطة.



الشكل I-15 التصنيف الحبيبي

2- ألوان الرمل: تتصف الرمال و الأحجار الرملية بألوان مختلفة تبعاً للمواد التي تحتوي عليها، و هي كما يلي: في الحالات الغالبة تكون بألوان فاتحة بيضاء شفافة أو غير شفافة، و قد تكون بنية أو حمراء صدئية عندما تحتوي على الحديد، و قد تكون - نادراً - قائمة نتيجة وجود فلز المغنيتيت (Fe_2O_3) أو المواد العضوية.

لقد بينا في دراسة سابقة^[15] على أسطح حبيبات رملية ملونة، باستخدام مطيافية تشتت الطاقة بالأشعة السينية (EDS) أن حبيبات الرمل البنية تحتوي على السيليسيوم Si بكميات كبيرة نوعاً ما، و على الحديد Fe بكميات معتبرة، أما البيضاء الشفافة فهي تحوي أساساً الكالسيوم Ca و الكبريت S بكميات كبيرة، فإذا كانت غير شفافة فإن ذلك يدل على وجود البوتاسيوم K بتركيز قليل. أما الحبيبات الرمادية و السوداء فإنها تحتوي على السيليسيوم Si و الأكسجين O بكمية كبيرة، و على البوتاسيوم K بكمية معتبرة، الشكل I-16.



الشكل I-16 تحليل سطح عينات من الرمل مختلفة الألوان باستخدام تقنية EDS [15]

2.4.I الخصائص الكيميائية للرمل:

من الناحية الكيميائية فإن الرمل عبارة عن تجمعات تشمل خليطاً من المعادن و الصخور المتكسرة، و التي حدثت لها عمليات تجوية، بالإضافة إلى المواد العضوية [33].
تدرس كيمياء الرمل الخواص الكيميائية للمكونات المعدنية و العضوية، و مدى تأثر الرمال بهذه الخواص.

1- المكونات المعدنية: المعدن عبارة عن مركب كيميائي طبيعي له خواص فيزيائية و كيميائية و بلورية محددة، و تنقسم المعادن في الرمل إلى نوعين:

أ- المعادن الأولية: و هي المعادن الناتجة من التحطم الفيزيائي لصخور الأصل؛ أي أنها موروثه عن الصخر الأصلي. يوجد العديد منها، و من أكثرها انتشارا في الرمال الكوارتز SiO_2 و الفلدسبار $(\text{KAlSi}_3\text{O}_8, \text{NaAlSi}_3\text{O}_8, \text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8)$.

ب- المعادن الثانوية: و هي المعادن الناتجة من التجوية الكيميائية للمعادن الأولية (التجوية الكيميائية هي تحوّل المعادن الأولية إلى معادن أخرى، و ينتج عنها تحرّر العديد من العناصر التي يحتاج إليها النبات)، و هي مهمة لكثير من التفاعلات الكيميائية السائدة في الرمال، و من أكثرها انتشارا:

- معادن السليكات: و يوجد تحتها العديد من المعادن أهمها معادن الطين.
- معادن الكربونات: و من أهم معادنها الكالسيت CaCO_3 و الدولوميت $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ، و توجد بكثرة في الترب الجيرية.
- معادن الكبريتات: و من أهم معادنها الجبس $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ، و يُستخدم لاستصلاح التربة القلوية.
- الأكاسيد: من أهمها أكاسيد الحديد FeO ، Fe_2O_3 و الألمنيوم Al_2O_3 .

2- المكونات العضوية: تشمل جميع الكائنات الحية التي تعيش في الرمل و بقاياها، و عندما تسقط المواد العضوية أو تضاف في الرمل تحصل لها العديد من التغيرات نتيجة لقيام الكائنات الحية الدقيقة بتحويلها إلى مواد بسيطة التركيب أو مواد أخرى معقدة، و هكذا حتى يتكون بالنهاية مركبات عضوية نشطة كيميائيا و مقاومة للتحلل، تميل إلى اللون الداكن، و يطلق عليها الدبال (humus)، و يقسم الدبال في الرمل إلى:

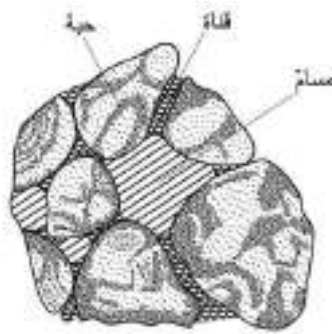
- حامض الهيوميك.
- حامض الفولفيك.
- مادة الهيومين.

على الرغم من قلة نسبة المادة العضوية في الرمل، إلا أن لها دورا كبيرا و مُهمًا في خواص الرمل الفيزيائية و الكيميائية.

I.3.4. الخصائص البتروفيزيائية للرمال و الأحجار الرملية الكوارتزيتية:

تتمتع الرمال الكوارتزيتية النقية بمسامية أولية عالية بين الحَبّات، الشكل I-17، تتراوح بين 10 و 35%، و قد تصل إلى 45% في الرمال المفكّكة. تأخذ الفراغات الموجودة بين الحبات أحجاماً و أشكالاً مختلفةً، و ذلك بحسب الخصائص الشكلية للحبات المحيطة بها، كما تكون هذه المسامية الأولية

على صلة وثيقة بطراز و تعبئة الحبات، حيث تهبط قيمة المسامية من 48% في النظام المكعب، و هو الأكثر تفككاً، إلى 26% في نظام التعبئة المعيني، و هو الأكثر التحاماً. ينتج عن المسامية في الرمال الكوارتزية خاصية النفاذية التي تعبّر عن قدرة المائع على الحركة داخل الوسط المسامي، و ذلك عبر أقنية و ممرات ذات أشكال متعرجة و مقاطع مختلفة. تصنف الرمال تبعاً لقيم نفاذيتها إلى ضعيفة و متوسطة و جيدة و عالية النفاذية، و تتناسب النفاذية طردياً مع مربع متوسط حجم الحبات و عكسياً مع لوغاريتم معامل التصنيف الحبي، كما تتأثر النفاذية بأشكال الحبات و تعبئتها.



الشكل I-17 المسامية في الرمال الكوارتزية

I.5. استخدامات رمال الكثبان و أهميتها الاقتصادية [33]:

تدرج رمال الكثبان ضمن قائمة الخامات المفيدة المستخدمة في الكثير من الصناعات، فهي تشكل المادة الأولية الرئيسة المستخدمة في صناعة الزجاج و الإلكترونيات، كما تدخل بنسب مختلفة في صناعة الإسمنت و السيراميك و مواد البناء، إضافةً إلى استخدامها في عمليات الصقل و الشحذ و تنقية المياه، كما تستخدم الرمال الكوارتزية الإسفلتية لتعبيد الطرقات.

تضفي المسامية و النفاذية العاليتان على الرمال و الأحجار الرملية الكوارتزية خصائص تخزين جيدة، تجعل منها خزانات نفطية هامة، تسمح بتراكم المواد الهيدروكربونية، و تؤهلها لاحتواء مخزون هائل من النفط الخام و الغاز الطبيعي، و إذا ما استُشِيتْ الحقول الهائلة الكربوناتيّة في العالم، فإن الرمال و الأحجار الرملية تحوي ثلثي المخزون العالمي من النفط و الغاز الطبيعي [33].

لا تقتصر أهمية الرمال الكوارتزية على ذلك فحسب، بل إن حقول الرمل يسهل اكتشاف الكربوهيدرات فيها مقارنةً بالحقول الكربوناتيّة. زيادةً على ذلك فإن الرمال الكوارتزية لا تتأثر بجوادر التحول الفيزيائية و الكيميائية التي تؤدي إلى فقدان المسامية كما في الصخور الكربوناتيّة.

6.I. أنواع الدراسات على الرمل:

تختلف أنواع الدراسات التي تُجرى على الرمل حسب استخدامه، ففيما مضى كان يُنظر للرمل على أنه مادة أولية في البناء و التشييد و تخزين المياه الجوفية و النفط، إلا أنه -مع التطور التكنولوجي الحديث- أصبح يُنظر له كمادة أساسية في الصناعات الحديثة، خاصةً الإلكترونية منها؛ إذ يُعتبر المصدر الأول للسيليسيوم الذي تعتمد عليه هذه الصناعات [4].

يمكننا -على سبيل المثال لا الحصر- ذكر نماذج من الدراسات التي تُجرى على الرمل، كتأثير الضغط على خصائص الرمل، و طرق قياس خصائصه الفيزيائية، و تأثير الحرارة عليها، و دراسة تركيبه و تحولاته.

ففيما يتعلق بتأثير الضغط حاول المشتغلون بالهندسة المدنية دراسة تأثير قوى الضغط على الإسمنت عند إضافة كميات مختلفة من الرمل [35]. أما فيما يخص الخصائص الفيزيائية للرمل، كالخصائص الكهربائية و المغناطيسية و الحرارية، فقد سعى الباحثون إلى إيجاد طرقٍ تسمح بقياسها [36-38]، و ملاحظة و تفسير تغير كل منها بدلالة المسامات بين حبيبات الرمل، و كذا بدلالة منسوب المياه الذي يمكن أن يحتويه، مستخلصين من خلال ذلك طرقاً لقياس منسوب المياه في التربة، و كذا مدى قابلية استخدام الرمال كمواد بناء عازلة للحرارة أو مقاومة لها.

أما فيما يخص تأثير الحرارة على خصائص الرمل [39-42] فقد سعى الباحثون إلى دراسة الأثر الذي تُحدثه الحرارة على مكونات الرمل، و ما تُسببه من تفاعلات بين هذه المكونات، مستخدمين في ذلك التشخيص الطيفي بمختلف تقنيات التحليل، كما حاولوا دراسة أثر الحرارة على بعض الخصائص الفيزيائية، هادفين من خلال ذلك إلى تنقية الرمل من المعادن الثقيلة، أو إلى استخلاص بعض المكونات حسب الغرض المطلوب.

فيما يخص دراسة تركيب الرمل و خصائصه [15، 39، 40] فقد حاول الباحثون إظهار و إحصاء أهم مكونات الرمل؛ الذرية و الجزيئية و البلورية، و كذا تراكيزها، محاولين ربطها ببعض خصائصه الجهرية الظاهرة، كاللون و الشكل و الصلابة و . . .

الفصل الثاني

الأدوات و الطرق المستخدمة للقياس

الفصل الثاني: الأدوات و الطرق المستخدمة للقياس

حاولنا من خلال هذه العمل إجراء دراسة تطبيقية على رمل كثبان منطقة ورقلة، و ذلك بأخذ عينات منه و تعريض كل واحدة منها إلى درجة حرارة مختلفة، و من ثم إجراء قياسات طيفية و كهربائية عليها.

لقد تطلبنا ذلك استعمال بعض أدوات القياس و عدة طرق تجريبية. لكل ذلك فإننا سنتعرف في هذا الفصل على منطقة الدراسة و مجمل الأعمال التطبيقية التي أُجريت على رمل كثبانها، و ذلك وفقاً للنقاط التالية:

- 1- نبذة عن منطقة الدراسة، و هي المعروفة باسم "محيروزة"، بالقرب من مدينة ورقلة، و التحديد الجغرافي و الوصف المظهري العيني لها، . . .
- 2- تحضير العينات التي ستدرس، و ذلك بجلبها من مواضعها و طحنها و وزنها و حفظها و الأواني المستخدمة لذلك، كفرن التسخين، و كذا كيفية التسخين و التبريد، . . .
- 3- القياسات الطيفية المستخدمة XRD و XRF و FTIR، و تتضمن نبذة عن مبادئ هذه التقنيات، و كذا الأجهزة المستخدمة لها.
- 4- القياسات الكهربائية و مبدأ قياس المقاومة الكهربائية.
- 5- برامج تحليل المعطيات التجريبية.

1.II. نبذة عن منطقة الدراسة:

تتصدر ولاية ورقلة الواقعة شمال شرق الصحراء الجزائرية قائمة أغنى المناطق الإفريقية، و ذلك لاحتواء أرضها على الكثير من الحقول البترولية النشطة. هذه الحقول مغطاة بتجمعات رملية تسمى الكثبان. هذه الكثبان متصلة ببعضها مكونة سلاسل رملية تربط بين ثلاث دول، هي الجزائر و تونس و ليبيا، تُعرف بالعرق الشرقي الكبير.

لقد أجرينا دراستنا هذه على عينة من رمل كثبان منطقة محيريزة، الواقعة بالجنوب الغربي لمدينة ورقلة. تتسم كثبان هذه المنطقة باللون الآجري، و هو يعود لاحتوائها عنصر الحديد، و تصنف تحت نوع الكثبان النجمية التي تنشأ حينما تأتي الرياح من عدة اتجاهات، و في ما يلي عرضٌ مصورٌ يوضح ما ذُكر.



الشكل II-1: كثبان منطقة ورقلة و العرق الشرقي الكبير^[43]

2.II. تحضير العينات للدراسة:

سُحقت عينة أصلية من رمل كثبان منطقة محيريزة جيدا باستخدام جهاز طحن ميكانيكي، الشكل II-2، يحوي بداخله كريات صغيرة من العقيق (agate)، و هو صنف غير متبلور من أحجار السيليكات. تتصادم هذه الكريات فيما بينها عند الاهتزازات التي يحدثها



الشكل II-2: الجهاز المستخدم في طحن عينات الرمل

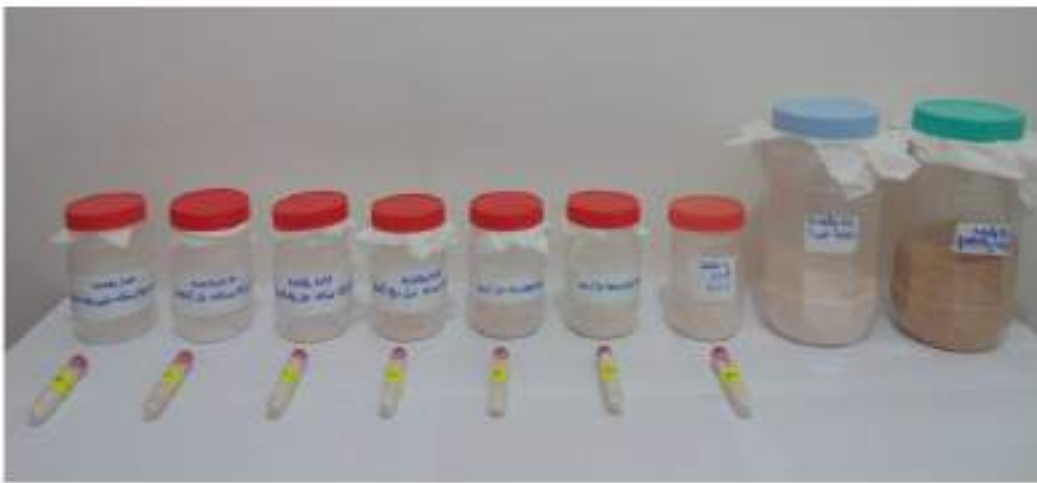
الجهاز، فتتحصّر المادة المراد طحنها بين الكريات حالة التصادم مما يؤدي لسحقها. لقد استمر طحن العينة لحوالي رُبْع ساعة، فأصبح الرمل ناعماً جداً، يشبه الدقيق اللين في شكله. أُخِذت منه سبعُ عيناتٍ متماثلة، تزن كلُّ منها 100 g. الأولى لم تُعرّض للحرارة، أما العيناتُ الستُ الباقية فقد وُضعت في أوانٍ خزفية، و عُرضت لدرجات حرارة مختلفة: 200، 400، 600، 800، 1000، 1200 °C لمدة 24 ساعة متواصلة في فرن كهربائي، الشكل II-3، تحت الضغط الجوي العادي، ثم تُركت لتبرد طبيعياً. وُزنت العينات بعد التبريد مباشرة بقصد قياس الفقد الكتلي بفعل الحرارة، ثم أُجريت مختلف القياسات الطيفية و الكهربائية.



الشكل II-3: الفرن الكهربائي المستخدم للتسخين و الأواني الخزفية

لتفادي التأثيرات الجانبية الناجمة عن رطوبة الجو حُفظت كل العينات في علب بلاستيكية مغلقة،

الشكل II-4.



الشكل II-4: حفظ العينات في علب بلاستيكية مغلقة

3.II. القياسات الطيفية XRD، XRF و FTIR:

تقنيتنا انعراج الأشعة السينية (XRD) و تفلورها (XRF) ترتكزان أساساً على خصائص الأشعة السينية.

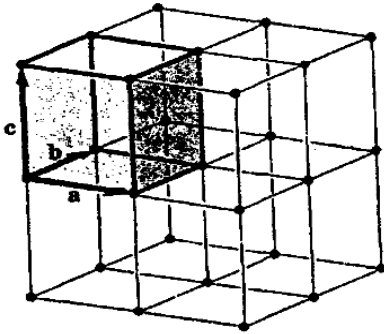
تتميز الأشعة السينية بطول موجي أقصر بكثير مما للضوء المرئي، لذا يمكن لها أن تخترق مواد كثيرة لا يمكن للضوء النفاذ منها. لذلك فإن للأشعة السينية دوراً مهماً في البحث العلمي، و كذا في الطب و الصناعة.

رغم أن الأشعة السينية تنفذ من خلال مواد كثيرة دون أن تتفاعل مع إلكتروناتها الخارجية، إلا أنها قد تُمتص من قِبَل الإلكترونات الداخلية لها، لذا فإن المواد ذات العدد الذري الكبير تمتص الأشعة السينية بأشدّ مما تمتصه ذات العدد الذري الصغير؛ فالرصاص مثلاً (Z=82) يمتص الأشعة السينية بشراهة أكبر مما لمواد كثيرة أخرى، لذا فهو يستخدم للوقاية من الأشعة السينية.

1.3.II. تقنية التحليل بانعراج الأشعة السينية XRD:

1- أساسيات تقنية XRD:

أ- البنية البلورية^[44]:



● العقدة الخلية الأولية (a, b, c)

الشكل II-10: الشبكة البلورية و الخلية^[45]

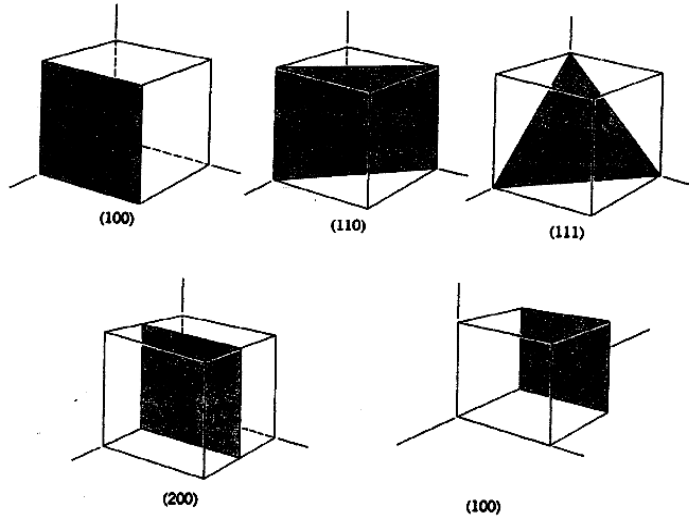
من المعروف أن للخواص الفيزيائية أو الكيميائية للأجسام الصلبة المتبلورة علاقة وثيقة بترتيب الذرات في البلورة، التي يمكن تخيل بنيتها على شكل شبكة فراغية منتظمة، تتوضع في كل عقدة من عقدها ذرة أو مجموعة ذرات بترتيب معين، و يمكن أن تُعد البلورة تكراراً دورياً في كل الاتجاهات لأصغر حجم منها يحوي كل خواصها، يدعى الخلية الأولية، الشكل II-10.

يكفي تعيين شكل هذه الخلية و أبعادها و الذرات المؤلفة

لها لكي توصف البلورة كلها، و لعل أهم ما تتصف به البلورات هو خواصها التناظرية الانسحابية و الدورانية.

قد يُنظر للبلورة على أنها مجموعات مختلفة من المستويات الذرية المتوازية، يُشار لكل مجموعة منها

بثلاثة أرقام (hkl)، تدعى قرائن ميلر (Miller)، الشكل II-11.



الشكل II-11: قرائن ميلر لبعض المستويات البلورية في بلورة مكعبة [45]

ترتبط المسافة البينية d الفاصلة بين مستويين متتالين من مجموعة مستويات متوازية بقرائن ميلر (hkl) لبلورة مكعبة طول ضلع خليتها a ، بالعلاقة التالية:

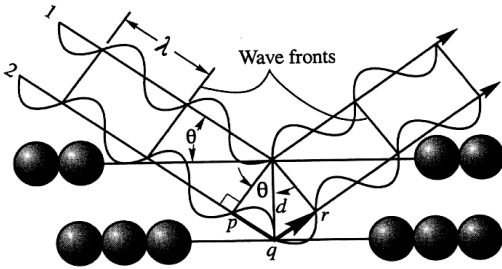
$$d = \frac{a^2}{\sqrt{h^2 + k^2 + l^2}}$$

ب- قانون براغ [2]:

إن تفاعل الأشعة السينية مع ذرات البلورة، يمكن تفسيره بانتشار أمواج هذه الأشعة بواسطة إلكترونات الذرات، و تداخل الأمواج المنتشرة في مختلف الاتجاهات، لكن براغ وجد طريقة بسيطة لمعالجة هذا الأمر، تتلخص في القول إن موجات الأشعة السينية، تنعكس عن المستويات الذرية المتوازية انعكاسها على مرآة مستوية؛ أي إن زاوية الانعكاس تساوي زاوية الورود، الشكل

12-II.

إن كل مستوي بلوري لا يعكس سوى جزء صغير من الإشعاع الوارد، و هذا يتفق مع ما هو معروف من قدرة الأشعة السينية على النفوذ داخل البلورة. تكون شدة الأشعة المنعكسة في اتجاه معين على المستويات المتوازية قوية إذا كانت أمواجها متفقة في الطور؛ أي كانت فروق المسير بينها مساوية



الشكل II-12: إنعراج الأشعة السينية [46]

عدداً صحيحاً من طولها الموجي، لأنها تتداخل حينئذٍ تداخلاً بناءً يؤدي إلى زيادة شدتها، أما الأشعة التي لا تحقق هذا الشرط فتكون شداتها ضعيفة و لا تُرصد.

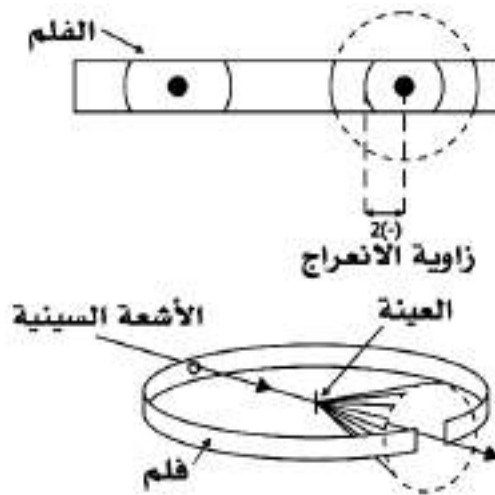
يتضح من الشكل II-12 أنه لا يمكن رصد الأشعة المنعرجة في الاتجاه الذي يشكل الزاوية 2θ مع اتجاه الأشعة الواردة إلا إذا حققت الزاوية θ علاقة براغ (Bragg) الآتية:

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

حيث يمثل الطرف الأيسر من هذه المساواة فرق المسير بين شعاعين منعكسين على مستويين متوازيين متتاليين، في حين يمثل الطرف الأيمن عدداً صحيحاً n من الطول الموجي λ .

2- مبدأ عمل تقنية XRD [44]:

عندما ترد حزمة أشعة سينية وحيدة اللون على العينة المدروسة ذات العدد الكبير جداً من البلورات الدقيقة، فإن شرط براغ يتحقق لكل مجموعة من المستويات المتوازية ذات التوجّه المناسب. لَمَّا كان توجّه هذه البلورات الدقيقة في المسحوق عشوائياً، فإن الأشعة المنعكسة عن مختلف المستويات في مختلف البلورات بزواوية براغ (θ) معينة تشكل مع الحزمة الواردة زاوية 2θ في كل الاتجاهات الممكنة. يؤدي ذلك إلى بروز حزمة على شكل مخروط دوراني، رأسه عند البلورة، و محوره الحزمة الواردة و نصف زاويته 2θ ، الشكل II-13.

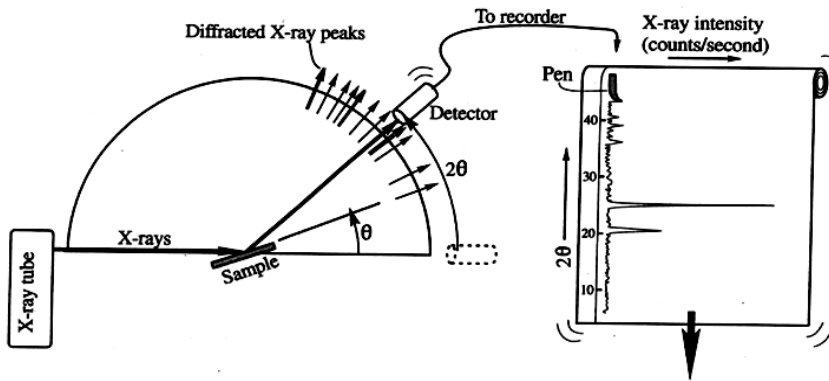


الشكل II-13: مخروط الانعراج باستخدام شريط تسجيل حسّاس (فلم) [44]

يحدث الشيء ذاته لمستويات بلورية أخرى تحقق شرط براغ بزوايا أخرى، مؤديةً إلى بروز حزم مخروطية أخرى. تتقاطع الحزم المنعرجة المخروطية مع لوح التصوير (الفلم) المحيط بالعينة مشكّلةً سلسلةً

من الحلقات المتّحدة المركز و المتفاوتة الشدة، يمكن من خلالها تعيين قيم θ و d ، و الحصول على معلومات عن الخلية الأولى و البنية البلورية.

قد تُستعمل عدادات، مثل عداد غايغر (Geiger)، بدلاً من استخدام الأفلام الحساسة. يُثبَّت العداد على ساعدٍ يدور حول العينة، و يسجل شدة الأشعة المنعرجة في مختلف الاتجاهات. تدار العينة و العداد بشكل تكون معه سرعة دوران العينة مساويةً نصف سرعة دوران العداد، ليتلقى العداد دوماً الأشعة المنعرجة عن المستويات البلورية الموازية لسطح العينة، الشكل II-14.



الشكل II-14: طيف الانعراج باستخدام العداد أو الكاشف المتحرك [46]

و فيما يلي صور فوتوغرافية لجهاز التحليل بانعراج الأشعة السينية DRX المستخدم خلال هذه

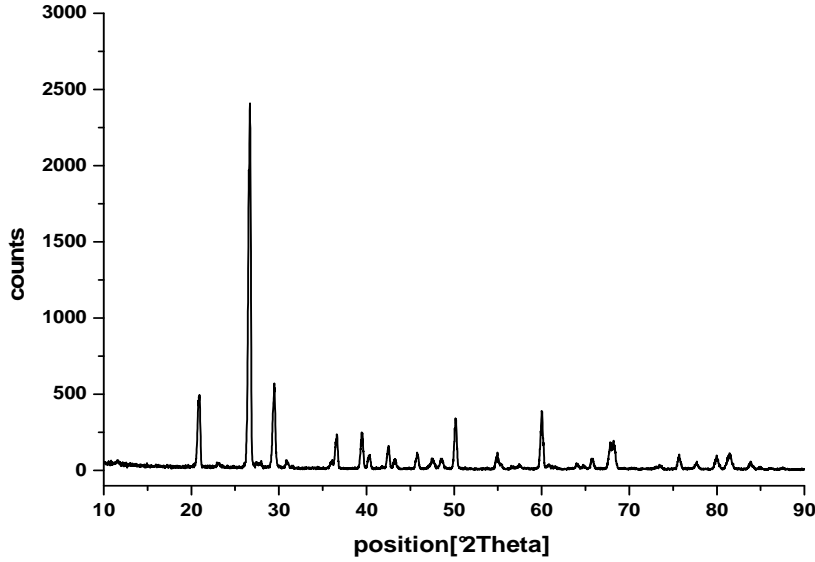
الدراسة.



الشكل II-15: صورة لجهاز XRD المستخدم خلال هذه الدراسة

3- طريقة التحليل النوعي و الكمي لتناج تقنية XRD:

بعد الحصول على مخططات الانعراج للعينه المدروسة، الشكل II-16، تُحسب المسافات الفاصلة بين المستويات البلورية d بتطبيق قانون براغ.



الشكل II-16: مخطط انعراج أشعة سينية

موازنة قيم d و شدات الأشعة المنعرجة التابعة لكل منها مع الجداول الخاصة الهيأة سلفاً لمختلف الفلزات و المركبات الكيميائية البلورية، يتم التعرف على الفلز أو المركب الكيميائي، و على بنيته البلورية، خاصة إذا استعين ببرامج معالجة. يمكن تقدير تركيز هذه البنى البلورية من خلال مساحة قمم الانعراج، لكن هذا التقدير غير دقيق، ذلك أن العديد من التراكيب البلورية قد تشترك في قمة واحدة أو في قمم قريبة جداً من بعضها.

4- تحضير العينة للقياس XRD:

حُضرت عينات القياس لتقنية انعراج الأشعة السينية وفق طريقة المسحوق (طريقة ديبي-شيرر)، و التي تُطحن لها العينة جيداً. في دراستنا هذه طحنت العينات المدروسة مباشرة قبل إجراء القياس. وُضعت العينات في حامل يجعلها بشكل قرص دائري سميك، الشكل II-17، ثم نُبتت بتغطيتها بصفيحة زجاجية. لا يؤثر الزجاج على مخططات الانعراج؛ ذلك أنه ذو بنية غير بلورية.



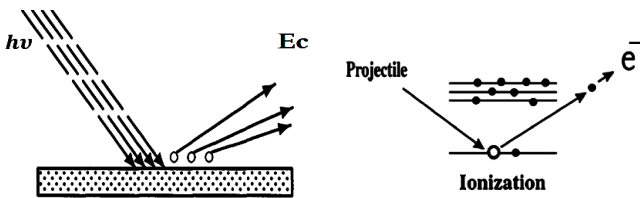
شكل II-17: الأدوات المستخدمة لتحضير العينات للقياس XRD

II.3.2. مطيافية التحليل بفلورة الأشعة السينية XRF :

أشعة الفلورة هي إحدى ظواهر التألق^[15]، و تحصل عند تعريض مواد معينة للضوء أو الأشعة السينية أو الجسيمات المشعة (عملية التشعيع). تمتص الذرات و الجزيئات طاقة الأشعة الواردة، فإذا كانت كافية فإن الذرات تثار إلى سويات طاقة أعلى، كما قد تتأين. لا تكون الذرات أو الجزيئات المثارة مستقرة، لذا فإنها تعود إلى حالتها الأساسية، محررة جزءاً من الطاقة على هيئة إشعاع. تحصل هذه الانتقالات بسرعة كبيرة جدا (أقل من 10^{-15} sec)^[47]، لذا ينبغي مراقبة الفلورة أثناء عمليات التشعيع.

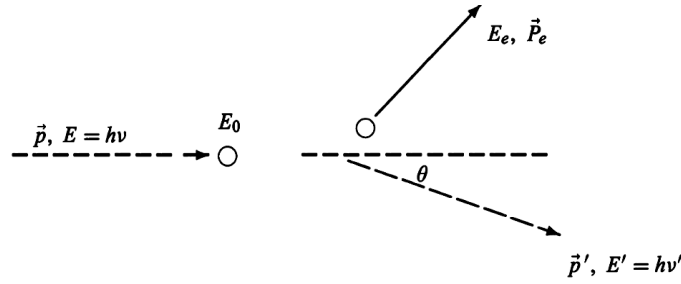
1- أساسيات تقنية XRF^[48] و مبدأ عملها^[49]:

عندما ترد الأشعة السينية من مصدرها على العينة المدروسة فإنها تتفاعل معها، منتجة العديد من الظواهر الفيزيائية، أهمها الفعل الكهروضوئي و فعل كومبتون. في الفعل الكهروضوئي^[48] يمتص أحد إلكترونات المدارات الداخلية جزءاً من طاقة الإشعاع الوارد فيتحرر من مداره و يكتسب طاقةً حركيةً بالجزء المتبقي من طاقة الإشعاع، الشكل II-18. بعد مغادرة هذه الإلكترونات لمدارها تحدث انتقالات إلكترونية تبعث عنها أشعة سينية مميزة، يمكن استخدامها في التحليل النوعي.



الشكل II-18: الفعل الكهروضوئي^[48]

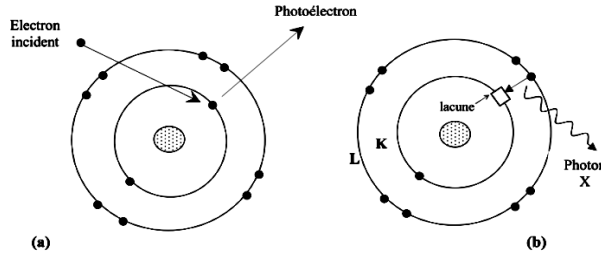
أمّا في فعل كومبتون^[48] فإنه يتغير الطول الموجي للأشعة السينية الأولية أو المميزة الصادرة عن العينة بعد تصادمها مع أحد إلكترونات العينة، مما يؤدي إلى تبعثر هذه الأشعة. يتعلق هذا التغير الناتج في الأشعة بمقدار زاوية التبعثر فقط، الشكل II-19.



الشكل II-19: ظاهرة كومتون [48]

إن ظاهرة التفلور هذه مفيدة جدا، خاصة في عمليات التشخيص الفيزيائي؛ فوفقا لتركيب الجسم المشع يختلف توهين الأشعة السينية الصادرة، و تختلف بذلك شداتها، لذلك تظهر تفصيلات البنية الداخلية للجسم المشع.

تؤدي ظاهرة التفلور في معظم الأحيان إلى إصدار إلكترونات كهروضوئية. عند خروج هذا الإلكترونات من مدارها فإنها تخلف وراءها فجوات إلكترونية، مما يحفز الذرة على إحداث إنتقالات إلكترونية للسعي للحالة الذرية الأكثر استقرارا. تؤدي هذه الانتقالات إلى إصدار أشعة سينية مميزة، الشكل II-20.



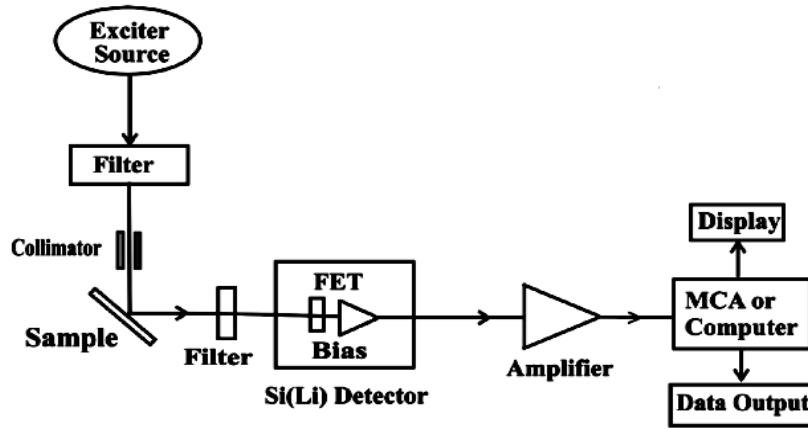
الشكل II-20: الإلكترونات الكهروضوئية [50]

إذا كانت طاقتا الربط الإلكتروني في المدارين الذين انتقل بينهما الإلكترون E_1 و E_2 ، فإن طاقة الأشعة السينية المميزة الصادرة عن هذا الانتقال تكون: $h\nu = E_2 - E_1$ ، حيث ν تردد الإشعاع السيني المميز.

إن الأشعة السينية المميزة الصادرة عن العينة هي الهدف المنشود الذي نسعى إليه من خلال ظاهرة XRF، والتي يمكن بواسطتها معرفة مكونات هذه العينة.

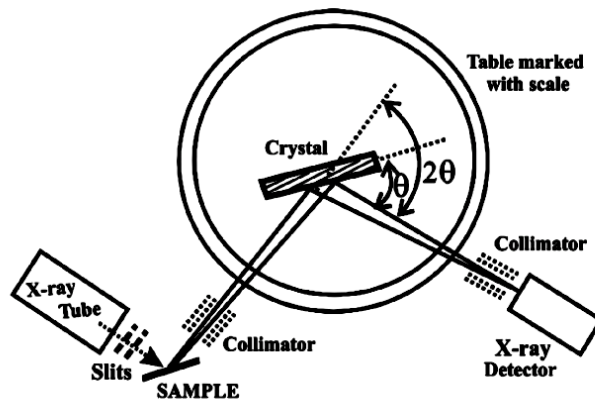
لقد استخدمنا في قياساتنا صنفين لتقنية التحليل بفلورة الأشعة السينية، الأولى هي ED-XRF، و تتركز على طاقة الأشعة السينية المتبعثرة، و الثانية هي WD-XRF، و تعتمد على طول موجة الأشعة السينية المتبعثرة.

في مطيافية التحليل بفلورة الأشعة السينية ED-XRF تُوجَّه الأشعة السينية المميزة الصادرة عن العينة مباشرة للكاشف، و من ثمَّ إلى مضخم و معالج إشارات، يسجل شداتها، الشكل II-21. لا يستغرق الحصول على نتائج القياس بهذه التقنية سوى بضعة دقائق.



الشكل II-21: مبدأ عمل مطيافية التحليل بفلورة الأشعة السينية من نوع ED-XRF [51]

أما في مطيافية التحليل بفلورة الأشعة السينية من نوع WD-XRF فإن الأشعة السينية المميزة الصادرة من العينة تُوجَّه نحو بلورة تحليل كي تحقق انعراجاً زاوياً وفق قانون براغ الآنف الذكر، الشكل II-22.



الشكل II-22: مبدأ عمل مطيافية التحليل بفلورة الأشعة السينية من نوع WD-XRF [51]

بلورة التحليل في التركيب الأخير معلومة الخصائص، فالبعُدُ بين المستويات البلورية d و درجة الحيود n معروفان، إذا بقياس الزاوية 2θ التي تحقق شرط براغ يمكن تحديد الأطول الموجية λ المميزة التي تصدر عن العينة المدروسة. يستغرق الحصول على نتائج القياس بهذه التقنية وقتاً أطول مما للتقنية السابقة.

من المهم الإشارة إلى أهم ما يميّز تقنيتي تفلور الأشعة السينية عن بعضهما [51]:

- الدقة: يعبر عنها بالعرض المسجل عند منتصف قمم الطيف. تقنية WD-XRF أدق في نتائجها من ED-XRF؛ ذلك أن الأولى تستخدم بلورة تحليل لا تسمح إلا بمرور موجة واحدة، و هو ما يضيق عرض الطيف.
 - التزامن: أو سرعة الكشف، يمكن لتقنية ED-XRF الكشف عن مجموعة عناصر في آنٍ واحدٍ، في حين لا يتسنى ذلك لتقنية WD-XRF.
 - طيف التداخل: يكون واضحاً بتقنية WD-XRF، في حين يحتاج بعض التصحيحات في تقنية ED-XRF.
 - المرشح: تحوي تقنية ED-XRF مرشحاً يحدّد مجال الكشف و يمنع تكراره، كما يمنع مرور الأشعة السينية غير الفعالة. هذه الميزة تجعل تقنية ED-XRF أدق من تقنية WD-XRF في بعض الحالات.
- الصورتان الفوتوغرافيتان في الشكل II-23 تُظهران جهازَي التحليل بمطيافية فلورة الأشعة السينية XRF المستخدمَين في هذه الدراسة.



جهاز ED-XRF



جهاز WD-XRF

الشكل II-23: جهازا التحليل بفلورة الأشعة السينية

2- التحليل النوعي و الكمي لتناج تقنية XRF [49]:

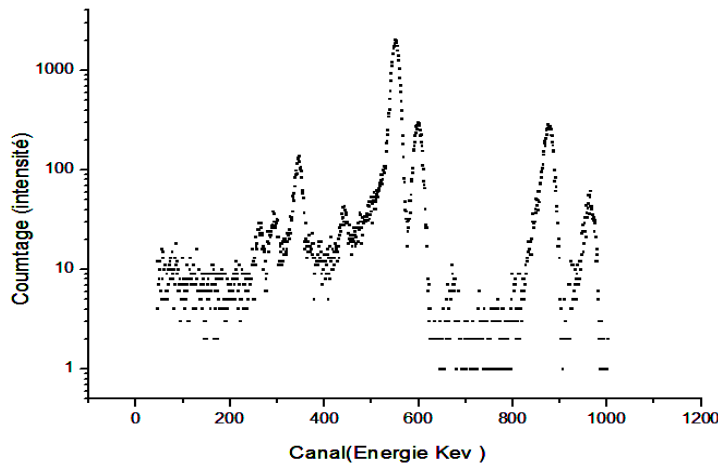
أ- التحليل النوعي:

يعتمد هذا النوع من التحليل على معرفة الأشعة السينية المميزة التي تصدر عن العينة المدروسة بعد التفلور. لكل ذرة مدارات طاوقية إلكترونية تميزها عن باقي الذرات، مما يؤدي إلى صدور أشعة سينية مميزة لها، تبعاً للمدارات التي حدثت بينها انتقالات إلكترونية. لا تكون هذه الانتقالات عشوائية بين المستويات الطاقوية، بل تخضع لقواعد اصطفاء معروفة.

ترتبط شدة إصدار الأشعة السينية بتركيز العناصر في العينة كما يلي: $I = k \cdot C$

حيث I شدة الأشعة الصادرة من العينة الخاصة بعنصر ما، k معامل التناسب، C تركيز العنصر في العينة.

يكون طيف الإصدار الناتج عن العينة المدروسة على نحو ما في الشكل II-24، حيث تعبر كل قمة منه عن إصدار لأشعة سينية مميزة، و يعبر ارتفاع كل منها و عرضها على شدة هذا الإصدار المميز.



الشكل II-24 منحنى الطيف الذي تتحصل عليه من خلال هذه التقنية

ب- التحليل الكمي:

يعتمد هذا النوع من التحليل على وجود عينة مرجعية ذات تركيز عنصري معلوم؛ إذ نقوم بالتحليل النوعي للعينة المرجعية و العينة المدروسة مثلما فعلنا سابقاً، ثم نحدد شدة الإصدار الخاصة بكل عنصر لكل من العينتين.

تبعاً للقانون الذي يربط بين شدة الإصدار و التركيز، فإنه عند حساب النسبة بين العينة المرجعية

و العينة المدروسة يمكننا استنتاج التركيز العنصري للعينة المدروسة كما يلي:

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

3- تحضير العينة للقياس XRF:

لإجراء القياس بتقنية ED-XRF تُضاف قطرتان أو ثلاث من مادة عضوية تُدعى Triethanolamine ($C_6H_{15}NO_3$) لحوالي 3 g من الرمل، ثم تُطحن العينة جيدا باستخدام جهاز ميكانيكي، الشكل II-25، يعمل بالاهتزاز الشديد؛ إذ ينحصر الرمل بين حلقتين معدنيتين فيُسحق لمدة خمس دقائق متواصلة.



الشكل II-25: جهاز الطحن و إنائه المستخدم في تقنية ED-XRF

مادة Triethanolamine لا تؤثر على نتائج القياس، بل تساعد على تبريد الجهاز أثناء عملية الطحن و تؤدي إلى تماسك المادة. بعدها تُضغط العينة ميكانيكيا بمقدار 150 kN، فيتشكل قرص ذو قطر 3.5 cm، الشكل II-26.



الشكل II-26: جهاز ضغط العينات و نموذج إحدى العينات في تقنية ED-XRF

أما لإجراء قياس بتقنية WD-XRF فإن العينة تطحن لوحدها، و توضع في إناء من الألمنيوم، ثم تضغط لتشكيل قرص قطره 2.7 cm، الشكل II-27، فإذا لم يتماسك القرص أُضيف له 10 % من مادة عضوية تدعى samar-blend. تتكون هذه المادة من الكربون C بنسبة 39.5 % و الأكسجين O بنسبة 36.3 % و الهيدروجين بنسبة 4.5 % و الصوديوم بنسبة 9.5 %، و ينبغي مراعاتها عند معالجة نتائج القياس.



الشكل II-27: جهاز ضغط العينات و نموذج إحدى العينات في تقنية WD-XRF

II.3.3. مطيافية امتصاص الأشعة تحت الحمراء بتحويل فورييه FTIR:

يُعتبر التحليل الطيفي باستخدام الأشعة تحت الحمراء أحد أهم فروع علم الأطياف غير الهدام، و هو نوعٌ من أنواع تفاعل الإشعاع مع المادة، و يشمل مجموعة تقنيات، أشهرها مطيافية الامتصاص، و هي تُستخدم للتعرف على تركيب الجزيئات في حالاتها العادية، كما يمكن استخدامها في الكشف عن التغيرات التي تحدث للجزيئات نتيجة تفاعلها و تكوين جزيئات جديدة. من ناحية أخرى، فإنه يمكن استخدام الأشعة تحت الحمراء في التقدير الكمي للمركبات، إلا أن الطُرق الموصوفة آنفاً أفضل منها في ذلك.

1- أساسيات تقنية FTIR^[52]:

يمثل طيف امتصاص الأشعة تحت الحمراء بصمة مميزةً لتركيب الجزيء ككل. عندما تمتص جزيئات المادة الأشعة تحت الحمراء، تحدث إثارةً لذراتها، تكون في صورة اهتزاز، فيحدث انتقال اهتزازي للذرات بالنسبة لبعضها البعض في الجزيء، مما يؤدي إلى تغير دوري في طول

الروابط الكيميائية، أو تغير في الزوايا بين هذه الروابط. قد تنتج الحركة الاهتزازية من حركة ذرتين أو مجموعة من الذرات. يتوقف طول الموجة الذي يحدث عنده هذا الامتصاص على كتلة الذرة و قوة الروابط المكوّنة للجزيء و الشكل الهندسي لذراته، لذا يمكن القول أن طاقة الأشعة الممتصة المسببة لأيّ من الانتقالات الاهتزازية في الجزيء تعتمد على نوع الذرات و طبيعة الروابط الكيميائية المشتملة في الحركات الاهتزازية.

و يمكن حساب مقدار التردد الممتص من قبل الجزيئات باستخدام قانون [21]:

$$v = \frac{1}{2\pi c} \sqrt{\frac{k}{\mu}}$$

حيث:

c : سرعة الضوء في الفراغ.

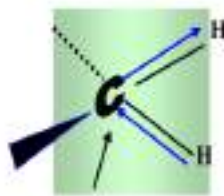
k : ثابت يمثل قوة رابطة الجزيء (أو ثابت مرونة النابض المكافئ للرابطة الجزيئية).

μ : الكتلة المختزلة لذرتي الرابطة الجزيئية A و B ، و تعرف بـ: $\mu = \frac{m_A \times m_B}{m_A + m_B}$

تُمثل الانتقالات الاهتزازية مستويات طاقة اهتزازية محدّدة في الجزيء. تُقاس هذه الطاقة عادةً بوحدة العدد الموجي (cm^{-1})؛ ذلك أنها تتناسب طردياً مع طاقة التذبذب، و التي تختلف من جزيء إلى آخر، مُعطية ما يُعرف بالبصمة المميزة لكل جزيء عن غيره.

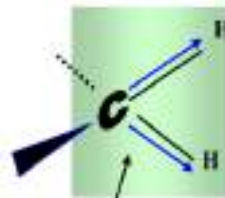
يمكن تقسيم الحركات الاهتزازية [53] التي تحدث في الجزيئات إلى:

- إهتزازات شدّ (stretching vibrations): تشمل التغيّر الدوري للمسافة بين الذرات على طول محور الرابطة، و هي نوعان، متناظرة و غير متناظرة، الشكل II-28.



$\approx 2926 \text{ cm}^{-1}$

غير المتناظرة

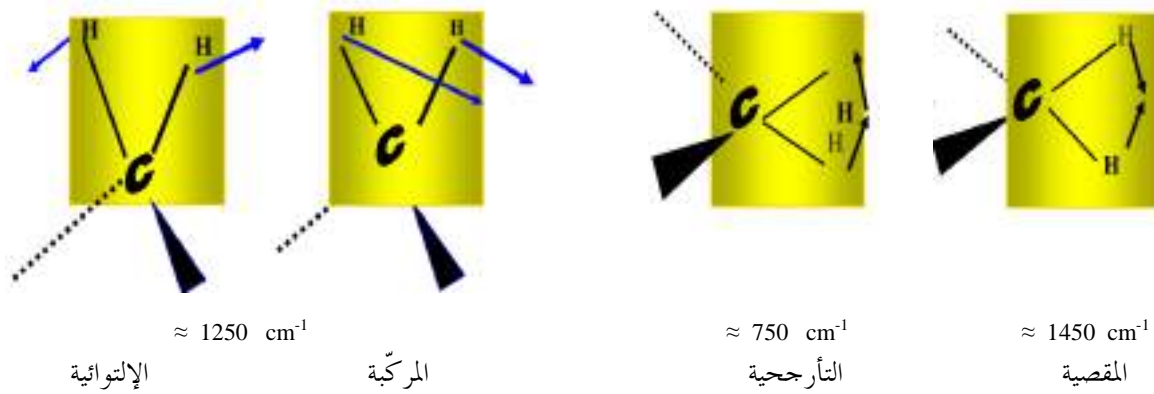


$\approx 2853 \text{ cm}^{-1}$

المتناظرة

الشكل II-28: إهتزازات الشد [53]

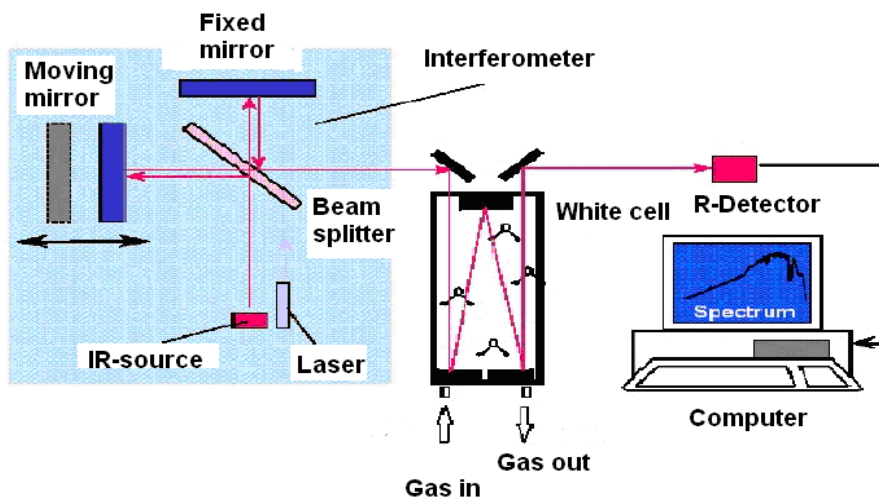
- إهتزازات ثنائي (bending vibrations): تشمل التغير الدوري للزاوية بين رابطتين، مما يؤدي إلى حركة الذرات في مستوى الرابطتين أو خارج مستوى الرابطتين، و هي أربعة أنواع، الشكل II-29.



الشكل II-29: إهتزازات الثنائي [53]

2- مبدأ عمل تقنية FTIR [52]:

يرسل مصدر الإشعاع في مطياف FTIR حزمة تحوي كل أطوال موجات الأشعة تحت الحمراء المتوسطة ($4000-500 \text{ cm}^{-1}$) إلى صفيحة فاصلة فتقسمها حزمتين. الحزمة الأولى تُوجّه إلى مرآة ثابتة، أما الحزمة الثانية فتُوجّه إلى مرآة متحركة، الشكل II-30.



الشكل II-31: مخطط لمطياف FTIR [52]

تُوجّه الحزمتان نحو العينة المدروسة باستخدام مرآيا، ثم يقاس التغير الحاصل في شدة الإشارة بسبب حدوث امتصاصات جزيئية (إهتزازية)، و التي تمثل أهداب التداخل المتحصل عليها من خلال فرق مسير حزمة الإشعاع. يتحسس الإشعاع كاشفٌ يعمل على تحويلها إلى صيغة رقمية، ثم تُعالج بتحويل فورييه لتُعطيَ في النهاية طيف امتصاص.

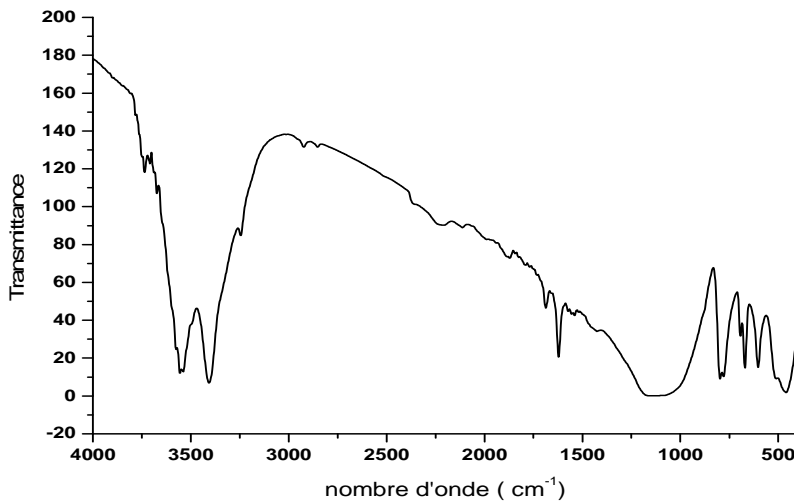
الصورة الفوتوغرافية في الشكل II-32 تُظهر مطياف امتصاص الأشعة تحت الحمراء FTIR المستخدم في هذه الدراسة.



الشكل II-32: مطياف FTIR المستخدم في الدراسة

3- طريقة التحليل النوعي و الكمي لتناج تقنية FTIR:

يعتمد جهاز مطيافية التحليل بواسطة الأشعة تحت الحمراء في عرض نتائجه على الفرق المسجل في شدة نفاذ الأشعة، قبل عبورها العينة المدروسة و بعده، فيعرض نسبة النفاذ بدلالة العدد الموجي، الشكل II-33.



الشكل II-33: نموذج لطيف امتصاص FTIR

من خلال الطيف يمكن تحديد قمم الامتصاص عند الأطوال الموجية المميزة، و التي تُعتبر البصمة الدالة على نوعية الروابط الجزيئية، في حين تعبر مساحة هذه القمم على شدة تراكيزها. بالاستعانة بجدولٍ مساعدٍ يمكن تحديد جميع أنواع الروابط الجزيئية الموجودة في العينة المدروسة.

4- تحضير عينات للتحليل بواسطة FTIR:

تُحضّر عينات مطيافية امتصاص الأشعة تحت الحمراء من مادّةٍ حاملةٍ تسمح بنفاذ الأشعة تحت الحمراء عبرها، الجدول II-1، مشوّبة بمقدار ضئيل جداً من العينة المدروسة.

الجدول II-1: المواد المستخدمة كحوامل لعينات التحليل في مطياف FTIR^[52]

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

من الضروري جدا حفظ هذه العينات جافةً و بعيدة عن الرطوبة أو العرق أثناء تداولها بالأيدي، إذ تُعتبر هذه المواد ماصةً للأشعة تحت الحمراء.

إذا كانت العينة المدروسة صلبةً - كما هو الحال في عيناتنا- فإنها تحضر بشكل قرص مضغوط مع مادة بروميد البوتاسيوم (KBr)، عن طريق كبسها تحت ضغط مرتفع، حيث يُخلط 1 mg من العينة الصلبة خلطاً متأنياً و متجانساً مع حوالي 100 mg من بروميد البوتاسيوم الجاف، ثم تُطحن جيداً و تُضغَط تحت ضغط 8.10³ kg لمدة خمس دقائق متواصلة، الشكل II-34.



جهاز الضغط و الوقت



قالب العينة



جهاز الطحن



الميزان



العينة بعد التحضير على الحامل

شكل II-34: الأدوات المستخدمة في تحضير عينات التحليل الطيفي بالأشعة تحت الحمراء

4.II. القياسات الكهربائية:

قياس المقاومة الكهربائية ρ : المقاومة الكهربائية أو المقاومة النوعية هي إحدى أهم الخواص الكهربائية المميزة للمادة^[54]؛ فهي معيارٌ لمُدَى إعاقَة هذه المادة لسريان التيار الكهربائي خلالها، و هي لا تتعلق إلا بنوعية المادة، و يُرمز لها بالحرف ρ ، و تُقدَّر بوحدة $\Omega \cdot m$.

1- طريقة قياس المقاومة الكهربائية:

لقد اعتمدنا في قياس المقاومة الكهربائية على قانون أوم (Ohm): $U = I \cdot R$

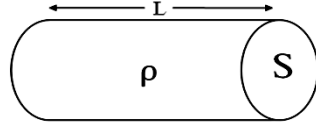
حيث: R المقاومة الكهربائية بوحدة الأوم (Ω)، و I شدة التيار الكهربائي بوحدة الأمبير (A)، و U فرق الجهد الكهربائي بوحدة الفولط (V). تُحسَبُ مقاومة سلكٍ، الشكل II-35، إذا عُلِمَ شكله و المادةُ المكوّنةُ له من القانون:

$$R = \rho \cdot \frac{L}{S}$$

حيث:

ρ : المقاومة النوعية بوحدة الأوم متر ($\Omega \cdot m$). L : طول السلك بوحدة المتر (m).

S : مساحة المقطع الذي يعبره التيار الكهربائي بوحدة المتر المربع (m^2).

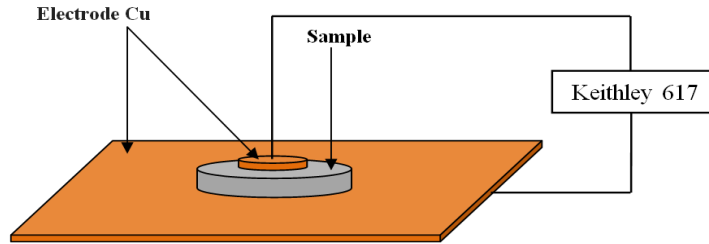


شكل II-35: سلك ذو شكل اسطواني

و ذلك بإيجاد عبارة المقاومة من خلال قانون أوم و مساواتها بعبارة مقاومة سلك معلوم الشكل، و من

$$\rho = \frac{S}{L} \cdot \frac{U}{I} \quad \text{ثم استنتاج عبارة المقاومة الكهربائية النوعية:}$$

لقياس المقاومة الكهربائية حُقق التركيب المبين بالشكل II-36.



الشكل II-36: مخطط التركيب المتبع لقياس المقاومة النوعية

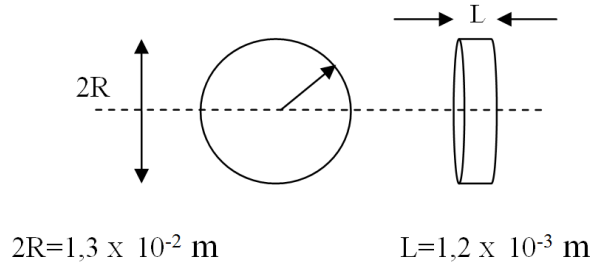
حيث مساحة القطب الملامس للعينة $S = 4.2 \times 10^{-5} m^2$ ، و سُمك العينة $L = 1.2 \times 10^{-3} m$

باستخدام مولد جهد متغير تُعرض العينة المدروسة لتيارات كهربائية مختلفة، ثم تقاس المقاومة الكهربائية في كل مرة، ثم تُحسب القيمة المتوسطة لها.

2- تحضير العينة للقياس الكهربائي:

لإجراء القياس الكهربائي طُحن الرمل أولاً ثم سُخِّنت عينات منه عند درجات حرارة مختلفة، بين 200 و $1200^\circ C$. حُضِّرت جميع العينات بشكل أقراص، و ذلك بتعريض 400 mg من كل واحدة منها لضغط قدره $3.5 \times 10^3 kg$ لمدة خمس دقائق متواصلة، مما سمح بالحصول على عينات متماثلة، الشكل

II-37.

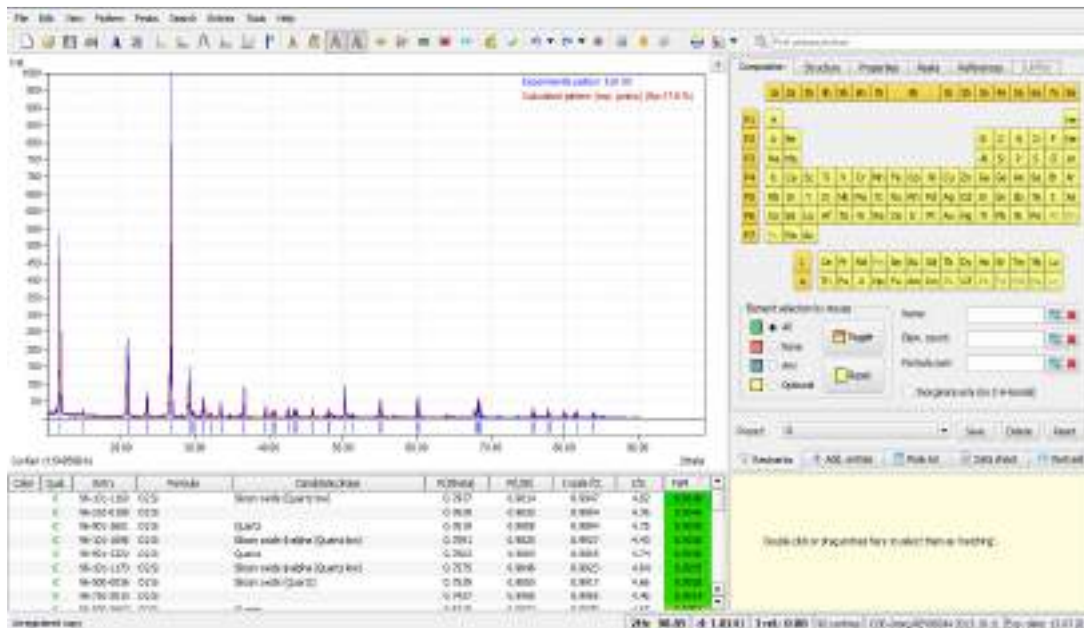


الشكل II-37 أبعاد العينة قبل إجراء القياس الكهربائي

5.II. برامج تحليل المعطيات التجريبية:

يُعتبر برنامج الماتش (Match!2)^[55] لمعالجة نتائج تقنية XRD واحدا من البرامج الحاسوبية التي تعالج بيانات انعراج الأشعة السينية، و ذلك باستخدام قواعد بيانات تحوي معلومات عديدة عن مختلف التراكيب البلورية. بإمكان برنامج الماتش المطابقة بين المعطيات المقدّمة له عن مخططات انعراج الأشعة السينية للعينة المدروسة و تلك التي لديه من قواعد البيانات، معطيا التركيب البلوري الأكثر تطابقا، و كذا تركيزه. تزداد فعالية هذا البرنامج كلما زُوّد بقائمة العناصر الكيميائية التي نعرف وجودها مسبقا في العينة المدروسة.

توجد برامج أخرى مشابهة لبرنامج الماتش، إلا أننا اخترنا الماتش عن غيره؛ ذلك أننا اخترناه بنتائج تحليل أخرى معلومة، فكان التطابق بينها تاما. الشكل II-38 يعرض واجهة هذا البرنامج.



الشكل II-38: واجهة برنامج الماتش (Match!2) المستخدم في تحليل نتائج مخططات انعراج الأشعة السينية

الفصل الثالث

نتائج القياسات الطيفية: تحليلها و مناقشتها

الفصل الثالث: نتائج القياسات الطيفية: تحليلها و مناقشتها

سنعرض في هذا الفصل نتائج مختلف القياسات الطيفية المنجزة في هذه الدراسة، ثم نحاول تحليل و تفسير كل منها على حدة، ثم نسعى للجمع بينها.

سنناقش كيفية تطور تركيب الرمل بالتسخين، و ذلك من خلال معرفة التفاعلات الكيميائية و التحولات الطورية التي حدثت لمكوناته. لذا سيكون تسلسل المناقشة كما يلي :

- 1- مناقشة نتائج تقنية التحليل بالانعراج بالأشعة السينية DRX.
- 2- مناقشة نتائج مطيافية التحليل بالفلورة الأشعة السينية بنوعيهما: ED-XRF و WD-XRF.
- 3- مناقشة نتائج مطيافية التحليل بامتصاص الأشعة تحت الحمراء FTIR.

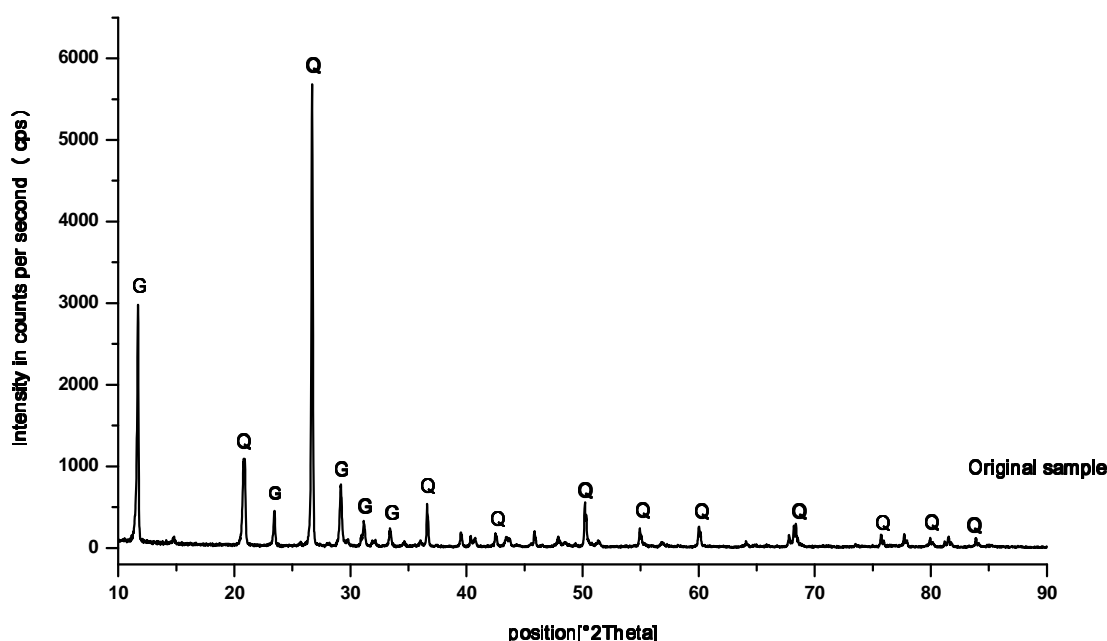
و بعد مناقشة هذه النتائج، سنعرض خلاصتها في شكل مبسط يكون جامعاً لمحتواها.

1.III. مناقشة نتائج تقنية انعراج لأشعة السينية XRD:

سمح لنا جهاز انعراج الأشعة السينية، و هو من نوع Philips X'Pert PWR، موجود بمركز البحث النووي بالجزائر، بتسجيل مختلف مخططات الانعراج على العينات المدروسة من رمل كثبان. عولجت هذه المخططات بواسطة برنامج الماتش (Match!2)^[55] فأعطت معلومات عن التراكيب البلورية^[56] الموجودة بالعينات المدروسة.

يمثل الشكل 1-III مخطط انعراج الأشعة السينية المسجل على عينة أصلية من رمل كثبان منطقة

ورقلة.

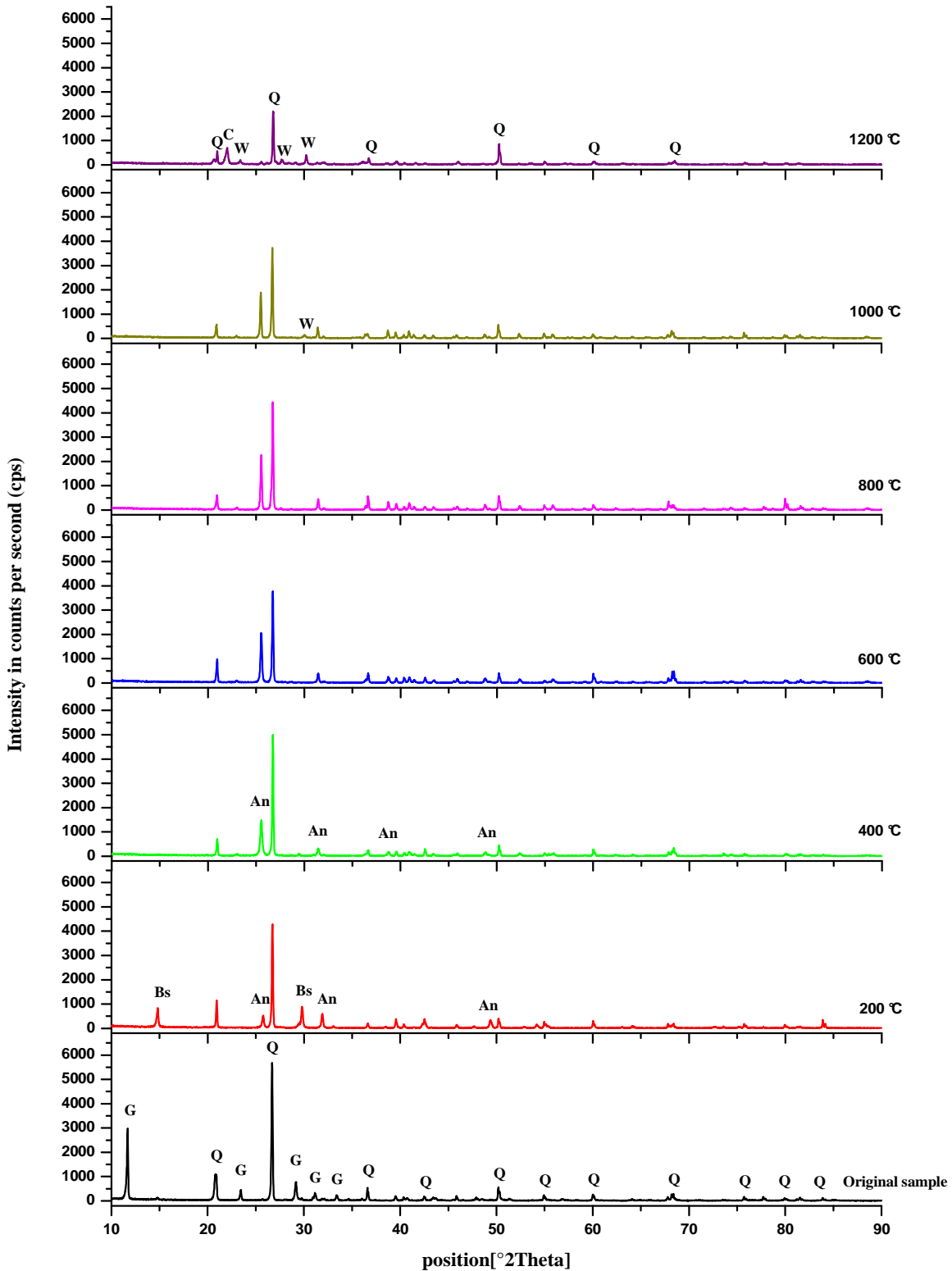


الشكل 1-III مخطط انعراج الأشعة السينية المسجل على العينة الأصلية

معالجة هذا المخطط باستخدام برنامج الماتش بينت أن رمل كثبان منطقة ورقلة في حالته الطبيعية يتميز بطبيعية بلورية عالية تعود للكوارتز بطوره ألفا بنسبة % 63.8 و الجبس بنسبة % 36.2، دلّ على ذلك قمم الانعراج عند الزوايا 2θ : 20.87، 26.69، 36.61، 42.51، 50.21، 54.93، 60.03، 68.21، 75.75، 79.75 و 83.87° بالنسبة للكوارتز^[57]. أمّا القمم: 11.69، 23.45، 29.19، 31.15 و 33.41° فدلت على وجود الجبس^[58].

يمثل الشكل 2-III مخططات انعراج الأشعة السينية على عينات الرمل المسخنة. لقد وضعت هذه

المخططات فوق بعضها البعض قصد تيسير مقارنتها، و إظهار الاتفاقات و التباينات بينها.



الشكل III-2 مخططات انعراج الأشعة السينية على العينة الأصلية و العينات المسخنة من رمل كئبان منطقة ورقلة

Q: quartz (SiO_2), G: gypsum ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), Bs: bassanite ($\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$), An: anhydrite (CaSO_4), C: cristobalite (SiO_2), W: wollastonite (CaSiO_3)

يتبين من خلال هذه المخططات أن لتسخين الرمل تأثيرا واضحا على التراكيب البلورية الموجودة بالرمل. بتحليل النتائج باستخدام برنامج الماتش يمكن تلخيص التغيرات كما بالجدولين III-1 و III-2.

الجدول III-1: التحليل النوعي لنتائج انعراج الأشعة السينية للعينات الأصلية و العينات المسخنة من رمل كتيان منطقة ورقلة الإشارة (O) تشير إلى وجود المركب في العينة المدروسة

زوايا الانعراج 2θ (°)	معاملات ميلر h k l	d (Å)	المركبات	العينات الأصلية	العينات المسخنة عند (° C)					
					200	400	600	800	1000	1200
11.69	0 2 0	7.5905	جبس ^[58]	o						
14.81	2 0 0	5.9922	bassanite ^[59]		o					
20.87	1 0 0	4.2548	كوارتز ^[57]	o	o	o	o	o	o	o
22.01	1 0 1	4.0561	cristobalite ^[62]							o
23.37	4 0 0	3.8230	wollastonite ^[61]							o
23.45	1 3 0	3.7928	جبس ^[58]	o						
25.75	0 2 0	3.4861	anhydrite ^[60]		o	o	o	o	o	
26.69	0 1 1	3.3430	كوارتز ^[57]	o	o	o	o	o	o	o
27.67	4 0 1	3.2358	wollastonite ^[61]							o
29.19	0 4 1	3.0609	جبس ^[58]	o						
29.79	4 0 0	2.9961	bassanite ^[59]		o					
30.23	3 2 0	2.9636	wollastonite ^[61]						o	o
31.15	2 0 0	2.8647	جبس ^[58]	o						
31.91	2 0 2	2.7943	anhydrite ^[60]		o	o	o	o	o	
33.41	2 0 0	2.6802	جبس ^[58]	o						
36.61	1 1 0	2.4565	كوارتز ^[57]	o	o	o	o	o	o	o
38.77	2 0 2	2.3290	anhydrite ^[60]			o	o	o	o	
42.51	2 0 0	2.1274	كوارتز ^[57]	o	o	o	o	o	o	o
49.39	1 3 2	1.8485	anhydrite ^[60]		o	o	o	o	o	
50.21	1 1 2	1.8176	كوارتز ^[57]	o	o	o	o	o	o	o
54.93	0 2 2	1.6715	كوارتز ^[57]	o	o	o	o	o	o	o
60.03	1 2 1	1.5413	كوارتز ^[57]	o	o	o	o	o	o	o
68.21	0 3 1	1.3718	كوارتز ^[57]	o	o	o	o	o	o	o
75.75	0 3 2	1.2550	كوارتز ^[57]	o	o	o	o	o	o	o
79.75	1 2 3	1.1992	كوارتز ^[57]	o	o	o	o	o	o	o
83.87	1 3 1	1.1522	كوارتز ^[57]	o	o	o	o	o	o	o

الجدول III-2 التقدير شبه الكمي (بالنسبة المئوية %) للمركبات في العينة الأصلية
و العينات المسخنة باستخدام تقنية انعراج الأشعة السينية

العينات	كوارتز	جبس	bassanite	anhydrite	wollastonite	crystalite
الأصلية	63.8	36.2				
200 °C	66.9		33.1			
400 °C	71.4			28.6		
600 °C	60.2			39.8		
800 °C	62.5			37.5		
1000 °C	57			34.4	8.6	
1200 °C	53.7				31.3	15

إن نتائج التحليل شبه الكمي هذه غير دقيقة؛ ذلك أن الأطوار البلورية المكونة للرمل تشترك في العديد من قمم الانعراج. سنعرض في الفصل الرابع طريقةً تحدد التراكيز بدقة أكبر. يبدأ تأثير التسخين على تركيب الرمل عند أول تسخين بدرجة حرارة 200 °C، و ذلك بظهور طورين بلوريين جديدين، هما anhydrite و bassanite، ينتجان عن الفقد المستمر للماء من الجبس وفقا للمعادلة الكيميائية^[63]:



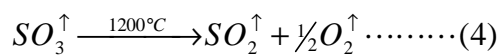
و هو ما يفسر تماماً ظهور قمم انعراج جديدة تابعة للـ anhydrite عند الزوايا 25.75، 31.91، 38.77 و 49.39°، و أخرى تابعة للـ bassanite عند الزاويتين 14.81 و 29.79°. إن تسخين العينة الأصلية عند درجات الحرارة 400، 600 أو 800 °C يحول كل الجبس إلى anhydrite وفق التفاعل^[63]:



و هو ما يفسر تماماً ارتفاع شدة الانعراج عند الزاوية 25.75° التابع للـ anhydrite مقارنةً بشدته عند التسخين بدرجة 200 °C، و ربما قد يكون مرّ بمرحلة الـ bassanite قبل بلوغه درجة 400 °C. إن التسخين عند درجة الحرارة 1000 °C أدى إلى ظهور طور بلوري جديد عند الزاوية 30.23°، تابع للـ wollastonite، و ينتج عن بدايات حدوث تفاعل بين الـ anhydrite و الكوارتز، مثلما توضحه المعادلة الكيميائية التالية^[64]:



إن تسخين العينة الأصلية عند درجة حرارة $1200^\circ C$ يؤدي إلى تفاعل كل anhydrite مع الكوارتز، و هو ما يفسر تماماً سبب اختفاء كل القمم التابعة للـ anhydrite و ظهور قممتين جديدتين عند الزاويتين 23.37° و 27.67° تابعتين للطور البلوري wollastonite^[61]، فضلاً عن قمته التي ظهرت عند 30.23° بالتسخين السابق عند $1000^\circ C$. في الوقت نفسه فإن غاز أكسيد الكبريت الثلاثي المتشكل عن التفاعل الأخير (3) يتفكك وفق المعادلة^[64]:



منتجاً غاز ثنائي أكسيد الكبريت ذي الرائحة الكريهة، و هو ما شتمناه عند التسخين بهذه الدرجة ($1200^\circ C$).

لقد تبين لنا أيضاً أن التسخين عند درجة الحرارة $1200^\circ C$ يحوّل الطور البلوري الكوارتز ألفا إلى طور بلوري آخر يُدعى cristobalite^[62]، لا يختلف عن الكوارتز ألفا إلا في البنية الهندسية. ما يرجح ذلك ظهور قمة انعراج جديدة عند الزاوية 22.01° تابعة لـ cristobalite، و تسجيل انخفاض في شدات باقي قمم الطور البلوري السابق للكوارتز ألفا.

III.2. مناقشة نتائج مطيافية التحليل بالفلورة الأشعة السينية XRF:

لقد استخدمنا خلال دراستنا هذه التقنيتين الإثنتين لفلورة الأشعة السينية: ED-XRF المعتمدة على طاقة الأشعة السينية المتبعثرة، و WD-XRF المعتمدة على طول موجة الأشعة السينية المتبعثرة. في ما يلي بيانٌ لنتائج كلٍّ منهما:

أ- مطيافية الفلورة المعتمدة على طاقة الأشعة السينية المتبعثرة ED-XRF: لقد تحصلنا على نتائج هذا النوع من مطيافية الفلورة بالأشعة السينية باستخدام جهاز التحليل Philips Cubix-XRF الموجود بمصنع الإسمنت بعين توتة-بياتنة، و هو مبرمج للكشف عن تراكيز بعض الأكاسيد^[65] المعدنية الداخلة في صناعة الإسمنت، و ذلك من خلال الكشف أولاً عن تراكيز بعض العناصر الكيميائية ذات الفلورة، ثم الاستعانة ببعض البرامج المساعدة، حيث تم الربط بين تراكيز العناصر و النسب المولية لتواجدها في الأكاسيد.

الجدول 3-III يلخص نتيجة التحليل الكيميائي لعينة أصلية من رمل كثبان منطقة ورقلة باستخدام تقنية ED-XRF.

الجدول 3-III نتائج التحليل الكيميائي لعينة رمل أصلية باستخدام ED-XRF

	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	K ₂ O (%)	Na ₂ O (%)	SO ₃ (%)	Cl (%)
العينة الأصلية	64.04	0.22	1.91	11.67	0.00	0.00	0.41	21.72	0.02

تؤكد نتائج هذا الجدول أن رمل كثبان منطقة ورقلة في حالته الطبيعية يتكون من الكوارتز (SiO₂) و الجبس (CaSO₄·2H₂O). دل على ذلك الأعمدة الثاني والخامس و التاسع من الجدول 3-III، زيادةً عن الماء الموجود أصلاً في الرمل.

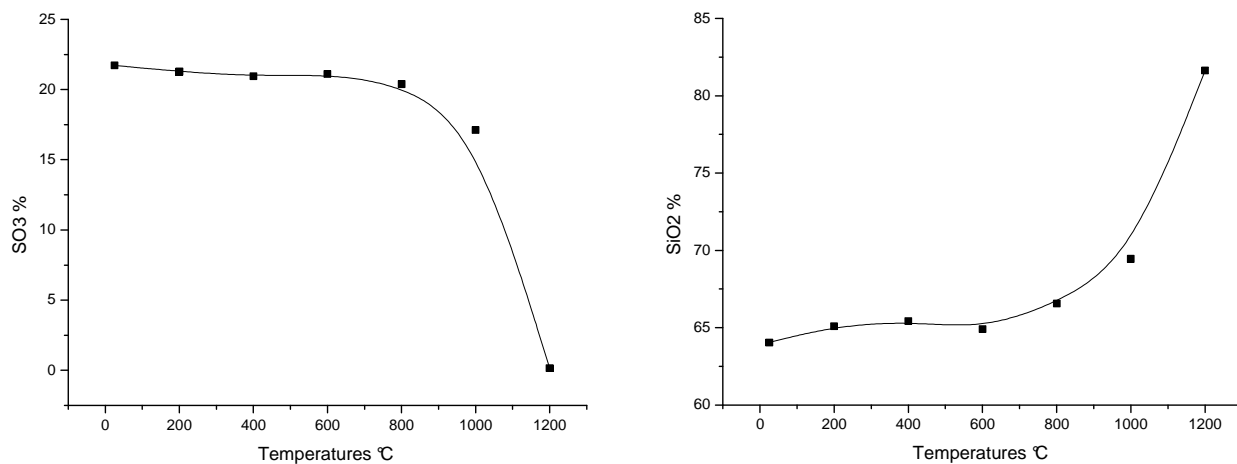
لقد تبين أيضاً أن رمل كثبان منطقة ورقلة في حالته الطبيعية يحتوي على بعض الأكاسيد المعدنية، مثل الهيماتيت (Fe₂O₃) و الألومين (Al₂O₃)، إلا أن تركيزهما ضعيف، و هو يجعل رمل كثبان ورقلة ذا طبيعة بلورية عالية جداً.

لقد أثبتت تقنية الـ ED-XRF أيضاً أن للتسخين تأثيراً واضحاً على تركيب الرمل، فنتائج التحليل الكيميائي لمختلف العينات المسخنة (الجدول 4-III) توضح تراكيز أكاسيد المعادن الموجودة فيها.

الجدول 4-III نتائج التحليل الكيميائي ED-XRF لعينات الرمل المسخنة (التركيز بالنسبة المئوية %)

	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	K ₂ O (%)	Na ₂ O (%)	SO ₃ (%)	Cl (%)
العينة الأصلية	64.04	0.22	1.91	11.67	0.00	0.00	0.41	21.72	0.02
200 °C	65.09	0.27	1.83	11.13	0.00	0.00	0.38	21.28	0.02
400 °C	65.42	0.18	2.17	10.88	0.00	0.00	0.38	20.95	0.02
600 °C	64.90	0.17	2.49	10.94	0.00	0.00	0.38	21.10	0.02
800 °C	66.56	0.16	1.85	10.65	0.00	0.00	0.37	20.39	0.02
1000 °C	69.45	0.22	1.83	10.97	0.00	0.00	0.39	17.12	0.02
1200 °C	81.63	0.73	3.61	13.42	0.00	0.00	0.43	0.16	0.02

الشكل 3-III يعطي صورة واضحةً لكيفية تأثير الحرارة على نسبة كلٍ من السيليكا و غاز أكسيد الكبريت الثلاثي الموجودة في رمل كثنان ورقلة.



الشكل 3-III تغير نسبة أكسيد السيليسيوم و أكسيد الكبريت بدلالة درجة حرارة التسخين

ب- مطيافية الفلورة المعتمدة على طول موجة الأشعة السينية المتبعثر WD-XRF:

أجرينا هذا النوع من مطيافية التحليل بالفلورة الأشعة السينية بمركز البحث النووي بالجزائر، و ذلك باستخدام جهاز تحليل Magix Por XRF-Spectromètre، يكشف عن عدد كبير من العناصر الكيميائية ذات الفلورة^[66]. خلاصة نتائج هذه التقنية لمختلف العينات المدروسة موضحة في الجدول 5- III.

الجدول III-5 نتائج التحليل الكيميائي للعينات الرمل المدروسة باستخدام WD-XRF

العناصر الكيميائية	تراكيز العناصر بوحدة mg/kg						
	العينة الأصلية	العينات المسخنة (°C)					
		200	400	600	800	1000	1200
Na	18844.43	3183.43	3585.93	3238.32	19403.05	4868.26	3668.88
Mg	10531.01	1268.77	1164.82	1235.44	1218.42	1273.97	893.10
Al	9565.37	1949.47	2057.30	2001.70	2233.47	2059.36	2401.96
Si	787039.22	239250.39	237288.51	262644.93	330369.21	313444.72	310767.32
P	20.96	584.13	608.39	549.68	518.40	639.94	706.46
S	54725.54	24386.54	23987.08	24085.38	31778.62	19377.29	99.62
K	1393.33	1100.40	1046.64	1031.28	1016.65	805.77	808.20
Ca	25854.58	23016.69	22741.24	22219.08	24066.63	22784.52	23742.93
Ti	175.28	109.50	125.37	144.33	125.54	133.28	174.12
Cr	19.51	88.42	89.90	92.87	-	79.16	39.58
Mn	-	-	34.73	-	-	50.16	-
Fe	1083.47	1632.00	1586.05	1842.97	887.65	1765.93	1409.09
Cu	-	-	-	-	8.16	10.93	17.87
Sr	284.03	293.02	302.63	293.04	330.18	323.82	378.34
Zr	101.19	101.96	100.24	98.65	111.84	120.87	87.99
Zn	-	-	-	-	-	12.30	9.55
Ba	-	-	-	-	-	-	133.91
C	468.22	17190.68	16457.69	15828.79	23026.35	19224.58	19642.37
O	هذه العناصر موجودة في العينات المدروسة و لم نستطع حساب تراكيزها لعدم توفر المعطيات						
Se							
Cl							
Mo							

يعود التغير الحاصل في تراكيز مكونات رمل الكثبان بسبب التسخين إلى تبخر بعض المكونات أو إلى انطلاق غازات عند حدوث تفاعلات كيميائية بينية؛ فتسخين الرمل بدرجة حرارة 200 °C يرفع نسبة السيليكا فيه من % 64.04 إلى % 65.09 بسبب تبخر الماء من الجبس، و تحوّل أغلب الجبس إلى anhydrite و بعض منه إلى bassanite، و هو ما توضحه المعادلة (1).

تسخين العينة الأصلية بدرجة حرارة في المجال [400-800 °C] يرفع نسبة السيليكات في الرمل إلى ما بين 65.42 % و 66.56 %، و ذلك بسبب تبخر كل الماء من الجبس و تحوله إلى anhydrite، مثلما توضحه المعادلة (2).

تسخين الرمل عند درجة حرارة 1000 °C يسبب ارتفاعا في نسبة السيليكات حتى 69.45 %، و ذلك بسبب تبخر كل الماء منه، و تحوّل كل الجبس إلى anhydrite، و انطلاق بعض من غاز أكسيد الكبريت الثلاثي (SO₃) بسبب بدايات حدوث تفاعل بين الكوارتز و الـ anhydrite، ينتج عنه الـ wollastonite، و هو يجوي السيليكات ضمنيًا، مثلما توضحه المعادلة (3)، و هو أيضا ما يفسّر تماما انخفاض نسبة الـ anhydrite المستدلّ عليه بانخفاض نسبة SO₃ من 20.39 % إلى 17.12 %.

أما عند تسخين الرمل بدرجة حرارة 1200 °C فإن كل الـ anhydrite يتفاعل مع الكوارتز، ممّا يتسبب في انخفاض شديد في نسبة الـ anhydrite، المستدلّ عليها بانخفاض نسبة SO₃ من 17.12 % إلى 0.16 %، حيث يتبخّر كل غاز أكسيد الكبريت الثنائي الموجود في الرمل، و هو ما يؤدي إلى ارتفاع نسبة السيليكات من 69.45 % إلى 81.63 %.

من المهم هنا التنبيه إلى أننا اعتمدنا في تفسير نتائج التحليل بالفلورة الأشعة السينية، على نتائج التقنية ED-XRF بدلا من التقنية WD-XRF، و ذلك لسببين:

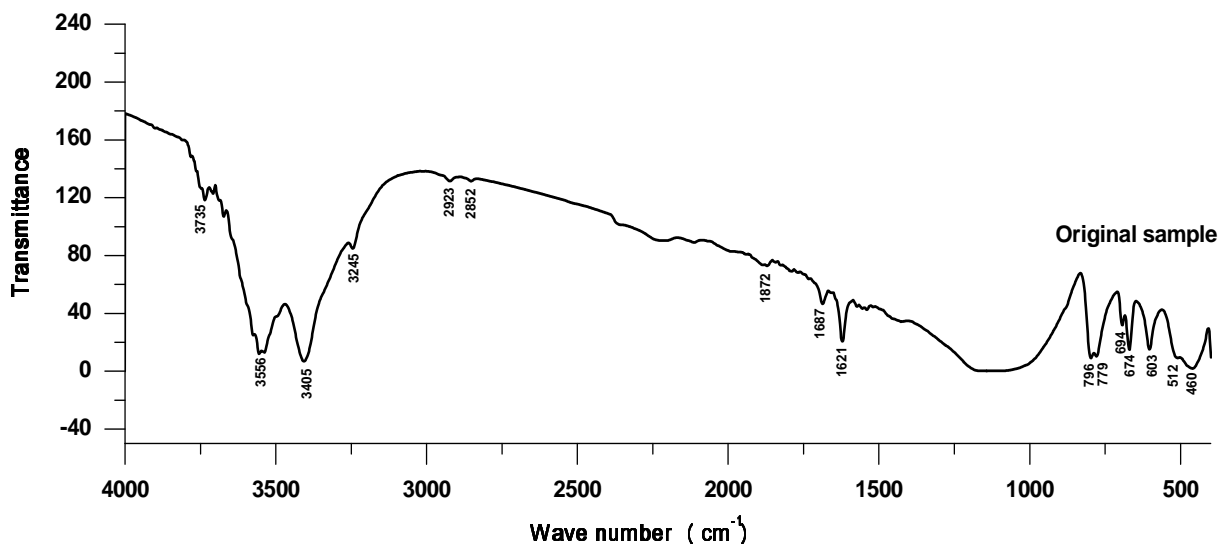
- لأن نتائج WD-XRF لوحظ بها فروق معتبرة بين نتيجة العينة الأصلية و باقي العينات المسخنة، خاصة في السيلسيوم.
- لأن نتائج ED-XRF تكون على شكل تركيز جزئي (أكاسيد) مما يسهل عملية تفسيرها، على العكس من نتائج النوع WD-XRF التي تكون على شكل تركيز ذري.

3.III. مناقشة نتائج مطيافية امتصاص الأشعة تحت الحمراء FTIR:

يعطي طيف امتصاص الأشعة تحت الحمراء معلومات عن نوعية و كمية الروابط الكيميائية^[67] المتواجدة بالمادة، و بمعرفة العناصر الكيميائية المكونة لهذه المادة يمكن التنبؤ ببنيتها الجزيئية، خاصة إذا استعين بمراجع درّست موادّ مشابهة.

فيما يلي عرضٌ لنتائج هذا القياس الطيفي على العينات المدروسة من رمل الكثبان، تحصلنا عليها باستخدام مطياف أشعة تحت حمراء FT-IR Spectrometer، مزود بتحويل فورييه من نوع Thermo Scientific Nicolet 380 موجود بمركز البحث النووي بالجزائر.

يمثل الشكل III-4 طيف امتصاص الأشعة تحت الحمراء لعينة طبيعية من رمل كثبان منطقة ورقلة.



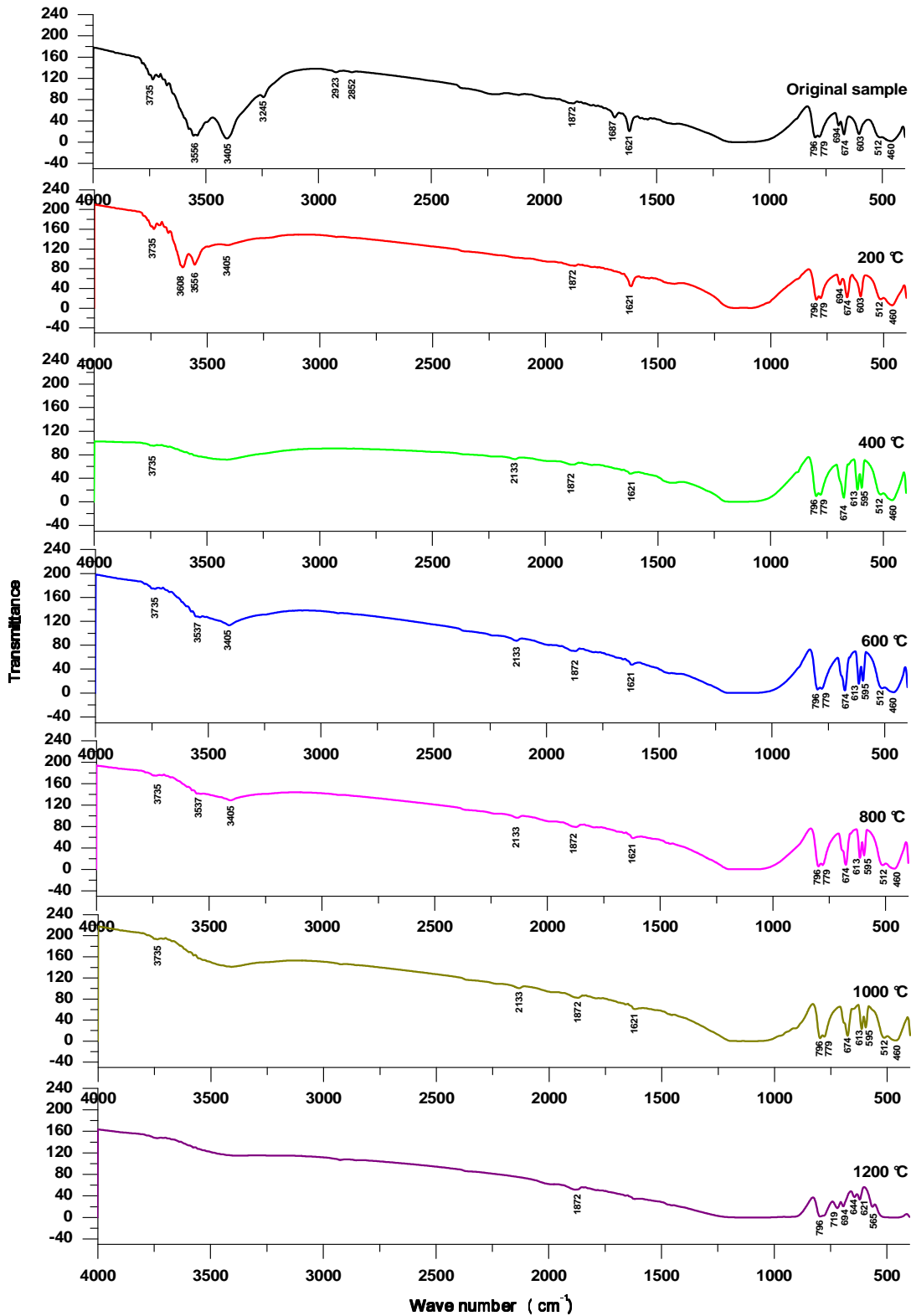
الشكل III-4 طيف امتصاص الأشعة تحت الحمراء للعينة الأصلية

تؤكد نتائج التحليل بواسطة مطيافية الأشعة تحت الحمراء صحة النتائج المتحصل عليها بتقنيتي انعراج و فلورة الأشعة السينية، و ذلك من خلال إثباتها أن رمل كثبان منطقة ورقلة في الحالة الطبيعية يحتوي على كميات كبيرة من الكوارتز و الجبس المشبع بالماء. دلّ على ذلك أشرطة الامتصاص: 460، 512، 694، 779، 796 و 1872 cm^{-1} و المجال الممتد من 1000 إلى 1200 cm^{-1} بالنسبة للكوارتز [68]، و الأشرطة: 3556، 3405، 3245، 1687، 1621 و 603 cm^{-1} بالنسبة للجبس [70، 71]. يؤكد شريط الامتصاص عند 779 و 796 cm^{-1} أن الكوارتز الموجود في الرمل له طور بلوري من نوع ألفا [72].

لقد تميزت تقنية FTIR بإظهار أن الرمل في الحالة الطبيعية يحتوي على مركبات أخرى [74.73] بتراكيز ضعيفة جدا كالـ kaolinite الذي دلّ عليه شريط الامتصاص 3735 cm^{-1} [75]، و الـ hematite الذي دلّ عليه شريط الامتصاص 674 cm^{-1} [68].

بالإضافة إلى ذلك وُجدت بعض المركبات العضوية، و التي دلّ عليها شريط الامتصاص 2923 و 2852 cm^{-1} [68]. كل ذلك يؤكد أن رمل الكثبان له طبيعة بلورية عالية، و هو ما دلّت عليه كذلك تقنيتا الـ DRX و XRF.

أثبتت تقنية الـ FTIR أيضا أن للتسخين تأثيراً واضحاً على تركيب رمل الكثبان، فأطياف امتصاص الأشعة تحت الحمراء لمختلف العينات المسخنة بالشكل III-5 توضح ذلك.



الشكل III-5 أطياف امتصاص الأشعة تحت الحمراء لمختلف العينات

يلخص الجدول 6-III مضامين أطيف الامتصاص السابقة؛ التحليل النوعي و شبه الكمي.

الجدول 6-III تحليل نتائج انعراج مطيافية الأشعة تحت الحمراء للعينة الأصلية و العينات المسخنة من رمل كثبان منطقة ورقلة الإشارة (X) تشير إلى وجود المركب في العينة المدروسة

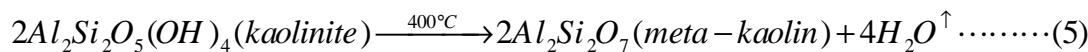
القيمة (cm^{-1})	الرابطة الجزيئية	المركب	العينة الأصلية	العينات المسخنة ($^{\circ}\text{C}$)					
				200	400	600	800	1000	1200
3735	Si-O deformation ^[75] O-H deformation and stretching ^[75]	kaolinite ^[75]	xx	xx	x	x	x	x	
3608		bassanite ^[70]		xx					
3556		جبس ^[70] bassanite ^[70]	xxx	xx					
3537	-	-				x	x		
3405	O-H ^[75]	H ₂ O ^[76] جبس ^[70]	xxx	x		x	x		
3245		جبس ^[70]	xx						
2923		organic carbon ^[68]	x						
2852		organic carbon ^[68]	x						
2133		anhydrite ^[71]			x	x	x	x	
1872		كوارتز ^[68]	x	x	x	x	x	x	x
1687		جبس ^[70, 71]	xx						
1621		كوارتز ^[68, 69] جبس ^[71, 70]	xx	xx	x	x	x	x	
796	Si-O sym.str ^[72]	كوارتز ^[68]	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xx
779	Si-O sym.str ^[72]	كوارتز ^[68]	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	
719	Si-O-Fe ^[77]								x
694	Si-O of SiO ₄ sym. bend ^[72]	كوارتز ^[68]	x	x					x
674		hematite ^[68]	xx	xx	xxx	xxx	xxx	xxx	
644		wollastonite ^[78]							x
621		crystalite ^[70]							x
613		hemihydrate of CaSO ₄ ^[70] anhydrite ^[71]			xxx	xxx	xxx	xxx	
603		جبس ^[70]	xx	xx					
595		anhydrite ^[71]			x	x	x	x	
565	Si-O bend ^[77]	wollastonite ^[77]							x
512	Si-O-Al asym. bend ^[72] Si-O sym ^[69]	كوارتز ^[69]	x	x	x	x	x	x	
460	Si-O-Si asym. bend ^[72]	كوارتز ^[68]	xx	xx	xxx	xxx	xxx	xxx	

quartz (SiO₂) gypsum (CaSO₄ 2H₂O) bassanite (CaSO₄ ½H₂O) hematite (Fe₂O₃) kaolinite (Al₂Si₂O₅(OH)₄)

يظهر تأثير التسخين على تركيب رمل كثبان منطقة ورقلة عند أول تسخين للعينة الأصلية بدرجة حرارة °C 200 بفقد الجبس لكمية من مائه، ما يحوله لطور الـ bassanite إذا كان الفقد جزئياً، أو إلى طور الـ anhydrite إذا كان الفقد كلياً، وهو ما توضحه المعادلة (1). إن ذلك يتأكد باختفاء قمتي امتصاص الجبس 3245 cm^{-1} و 1687 cm^{-1} ، بالإضافة إلى انخفاض شدة قمتيه عند 3556 cm^{-1} و 3405 cm^{-1} ، وكذا ظهور قمة الامتصاص الجديدة عند 3608 cm^{-1} ، وهي تعود للطور .bassanite.

تسخين العينة الأصلية بدرجة حرارة °C 400 يُفقد الجبس كل مائه، وهو ما يتسبب في تحوُّله إلى anhydrite وفق التفاعل (2). إن ذلك يفسر بالضبط اختفاء كل قمم امتصاص الجبس 3556 ، 3405 ، 3245 ، 1687 ، 1621 ، و 603 cm^{-1} ، وكذا ظهور قمم امتصاص جديدة عند 2133 ، 613 ، 595 cm^{-1} تابعة للـ anhydrite، وهو ما يوافق بالضبط نتائج تقنيتي انعراج الأشعة السينية و فلورتها.

إن التسخين عند °C 400 يؤدي كذلك إلى انخفاض شدة قمة الامتصاص 3735 cm^{-1} التابعة للـ kaolinite، مما يدلُّ على أن هذا الأخير اضمحلَّ أو انخفض، وذلك بسبب الانكسار المستمر للرابطة OH- فيه، وتشكُّل بخار الماء و مركب آخر يُدعى meta-kaolin، وفق التفاعل [73، 79، 80]:



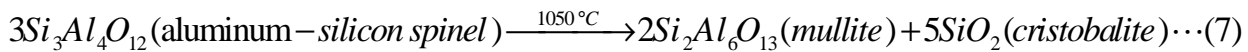
لوحظت أيضاً عند التسخين بدرجة °C 400 زيادة شدة قمة الامتصاص 460 cm^{-1} التابعة للكوارتز و قمة الامتصاص 674 cm^{-1} التابعة لمركب الـ hematite. يمكن تفسير ذلك بكون تبخر الماء يجعل هذين الامتصاصيين أكثر وضوحاً مما هو عليه عند التسخين بدرجة °C 200.

التسخين عند درجتي الحرارة 600 و °C 800 مشابهٌ تقريباً للتسخين عند °C 400، لذا يمكننا القول أن المجال [400 °C – 800 °C] له الأثر نفسه على العينة، على الأقل بالنسبة للروابط الكيميائية.

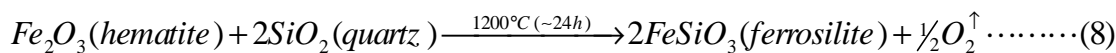
تسخين العينة الأصلية عند الدرجة °C 1000 يزيد من انخفاض شدة قمة الامتصاص 3735 cm^{-1} التابعة للـ kaolinite بسبب حدوث التفاعلين المتتاليين [73، 79، 80]:



يشير المؤلفان Dr. Salem و M. Musleh في مقالهما^[80] إلى أن الـ cristobalite الناتج عن التفاعل (6) غير بلوري، و هو ما يبرر عدم ظهوره في طيف انعراج الأشعة السينية لهذه العينة. عند تسخين العينة الأصلية بدرجة 1200 °C اختفت جميع قمم امتصاص الـ anhydrite عند 2133، 613 و 595 cm⁻¹. هذا الـ anhydrite كان قد نتج عن فقد الجبس للماء عند درجات أقل [200 °C – 800 °C]. كذلك فإن قمم الكوارتز 460 و 512 cm⁻¹ اختفتا، و انخفضت قمته عند 796 cm⁻¹، و كذا شريط امتصاصه الممتد من 1000 حتى 1200 cm⁻¹، مما يدل فعلاً على حدوث التفاعل (3) بينهما، و هو ما يؤكد ظهور قمم امتصاص الـ wollastonite 644 و 565 cm⁻¹. زيادةً على ذلك فإن التسخين عند 1200 °C أدى إلى زوال الـ kaolinite تماماً، و هو ما دلّ عليه اضمحلال قمة امتصاصه عند 3735 cm⁻¹، و ذلك وفقاً للتفاعلين المتتاليين (5) و (6). أيضاً فإن الـ aluminium-silicon يتحوّل إلى mullite، معطياً إلى جانب ذلك الـ cristobalite البلوري، وفقاً للمعادلة التالية^[73]:



و هو ما يدعمه ظهور قمة الامتصاص 621 cm⁻¹ التابعة للـ cristobalite. هذا يتفق تماماً و نتائج تقنية انعراج الأشعة السينية. نشير إلى أن الـ cristobalite قد ينشأ أيضاً عن التحول الطوري للكوارتز^[81]. إضافة إلى كل ذلك فإن التسخين عند 1200 °C يسبب تفاعلاً بين الـ hematite و الكوارتز، و هو ما يدل عليه اختفاء قمة امتصاص الـ hematite 674 cm⁻¹، مع الاختفاء أو الانخفاض المسجل لقمم الكوارتز السابقة، معطياً بذلك الـ ferrosilite ذي الصيغة FeSiO₃، كما توضحه المعادلة^[82]:

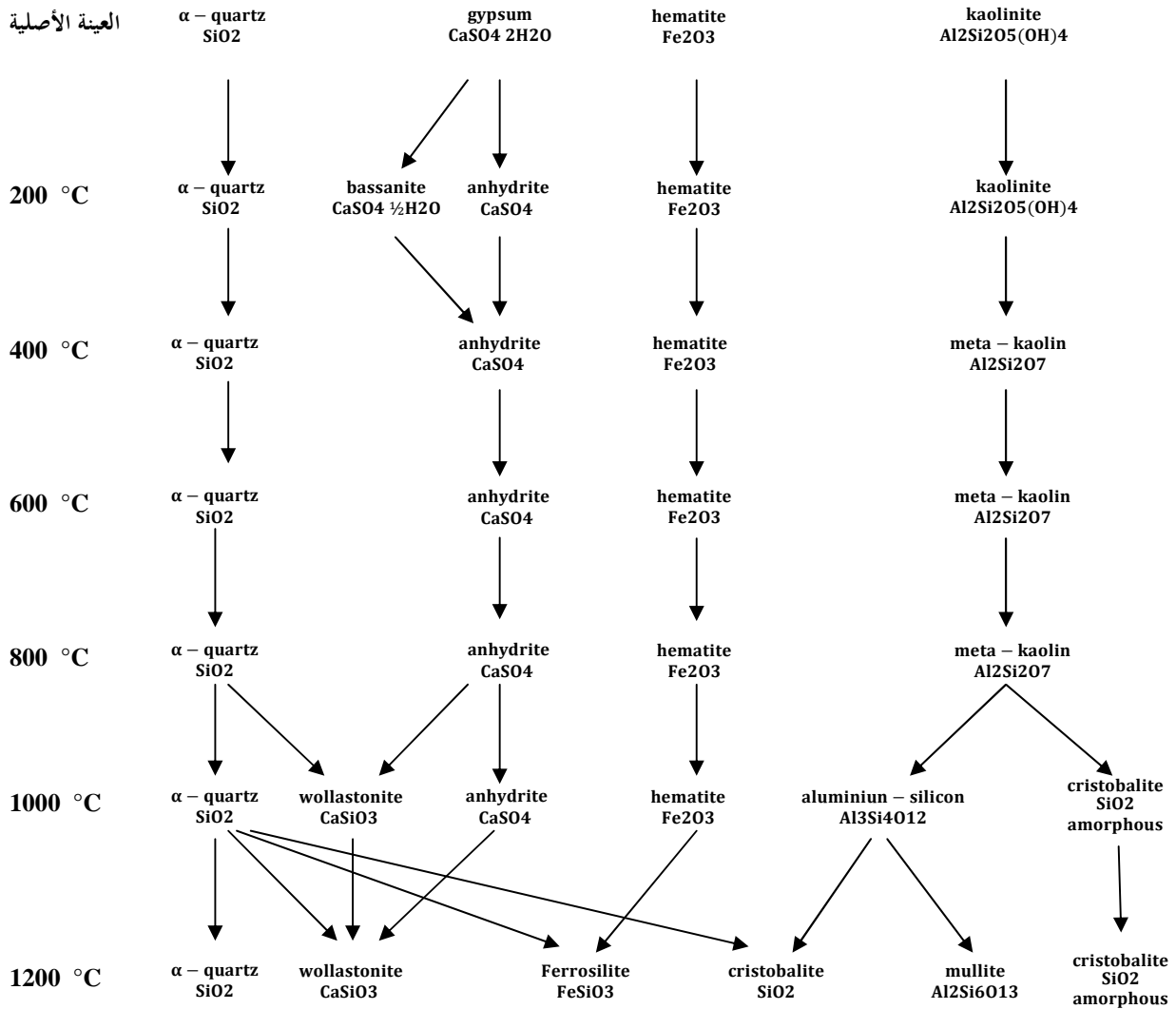


يمكننا تأكيد ذلك بظهور قمة الامتصاص الحديدية 719 cm⁻¹ التابعة للـ ferrosilite، و كذا تلون سطح عينتنا هذه باللون الأخضر المصفر و الأحمر، الشكل III-6، و هو اللون المعروف للـ ferrosilite^[83].



الشكل III-6 تلون سطح العينة المسخنة بدرجة 1200° C باللون الأخضر المصفر و الأحمر

بناءً على نتائج المطيافيات السابقة: XRD، XRF و FTIR يمكن تمثيل التحولات الطورية و البنيوية و الكيميائية لتركيب رمل كثبان منطقة ورقلة عند تسخينه في المجال الحراري [200 – 1200 °C] كما بالشكل III-7.



الشكل III-7 ملخص التحولات الطورية و الكيميائية لرمل كثبان ورقلة بفعل الحرارة في المجال [200 °C – 1200 °C]

الفصل الرابع

نتائج القياسات الكهربائية و الفقد الكتلي:

تحليلها و مناقشتها

الفصل الرابع: نتائج القياسات الكهربائية و الفقد الكتلي: تحليلها و مناقشتها

سنعرض في هذا الفصل مختلفَ نتائج القياسات الكهربائية و الفقد الكتلي المتحصّل عليها في هذه الدراسة، ثم نناقش تطوُّرها، و ذلك بربط التغيرات الحاصلة فيها بالتفاعلات الكيميائية و التحولات الطورية المستخلصة من نتائج الفصل السابق. يكون ذلك وفق المرحلتين:

1- مناقشة نتائج المقاومة الكهربائية لعينات الرمل المدروسة.

2- مناقشة نتائج الفقد الكتلي الناجم عن التسخين.

كما سنسعى أيضا إلى تمييز نتائج الفقد الكتلي، و ذلك باستغلالها في استنباط تراكيز الأطوار البلورية الموجودة في عينات الرمل الأصلية و المسخنة.

في الأخير سنُدرجُ كيفيةَ تغيُّر درجة تبلور الكوارتز في رمل الكثبان، الطبيعي و المسخن.

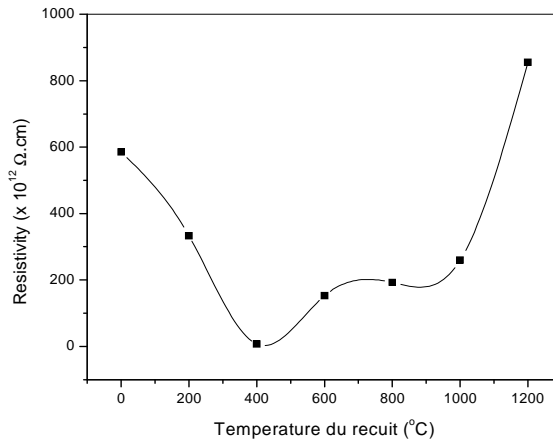
1.IV. مناقشة نتائج المقاومة الكهربائية:

نتائج قياس المقاومة الكهربائية لعينة الرمل الأصلية و العينات المسخنة عند درجات حرارة مختلفة، ممثلة في الجدول 1-IV .

الجدول 1-IV نتائج قياس المقاومة الكهربائية لعينة الرمل الأصلية و العينات المسخنة

درجة التسخين (°C)	العينة الأصلية	200	400	600	800	1000	1200
المقاومة الكهربائية ($\times 10^{12} \Omega.cm$)	585	333	7	153	193	259	855

لتسهيل مناقشة هذه النتائج مثلناها بالشكل 1-IV.



الشكل 1-IV المقاومة الكهربائية لعينات الرمل الطبيعية و المسخنة

تُظهر نتائج القياس الكهربائي أن رمل كثنان ورقلة في حالته الطبيعية ذو مقاومة كهربائية عالية، تقدر بحوالي $6 \times 10^{14} \Omega.cm$ ، ما يرشحه للاستخدام كعازل كهربائي أو حراري. يعود ذلك لاحتوائه تراكيب بلورية عازلة جدا^[30]، هي الكوارتز و الجبس، الجدول 2-IV، و هو ما دلت عليه نتائج القياسات الطيفية السابقة: XRD و XRF و FTIR.

الجدول 2-IV المقاومة الكهربائية لأغلب مكونات الرمل

المادة	المقاومة ($\Omega.cm$)	المرجع
الكوارتز	$4 \times 10^{12} - 2 \times 10^{16}$	[30]
الجبس	1.21×10^{14}	[31]
hematite	$3.5 \times 10^{-3} - 10^9$	[30]
anhydrite	10^{11}	[30]
wollastonite	6.67×10^{12}	[84]

لقد أشرنا في الفصل السابق إلى أن تسخين الرمل عند درجات حرارة مختلفة يؤدي إلى تحولات طورية و كيميائية مختلفة، فتتحول بنية بعض المركبات، و تختفي بعض المركبات، و تظهر مركبات جديدة. كل ذلك يتسبب في تغير المقاومة الكهربائية للرمل تبعاً لتركيبه الجديد، و هو ما أثبتته نتائج القياس الكهربائي.

إن تسخين الرمل عند $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ يجعل الجبس يفقد كل مائه إلا قليلاً منه، مما يؤدي إلى ظهور طورين بلوريين جديدين هما الـ *anhydrite* و الـ *bassanite*، المعادلة (1). هذا التحول يؤدي إلى خفض المقاومة الكهربائية للرمل إلى $3.5 \times 10^{14} \Omega \text{cm}$ تقريباً. يمكن تبرير ذلك بأن المقاومة الكهربائية للـ *anhydrite* ($10^{11} \Omega \text{cm}$) [30] أقل مما للـ *الجبس* ($1.21 \times 10^{14} \Omega \text{cm}$) [31]، في حين لا يُشكّل الـ *bassanite* سوى حوالي 6.61 % من العينة.

أما تسخين الرمل عند الدرجة $400\text{ }^{\circ}\text{C}$ فإنه يُفقد الجبس كل محتواه من الماء، فيتحوّل كل الجبس إلى *anhydrite*، المعادلة (2). يؤدي هذا التحول إلى انخفاض آخر للمقاومة الكهربائية للرمل إلى القيمة $6.75 \times 10^{12} \Omega \text{cm}$ ، و ذلك بسبب تحوّل كل الجبس إلى *anhydrite*.

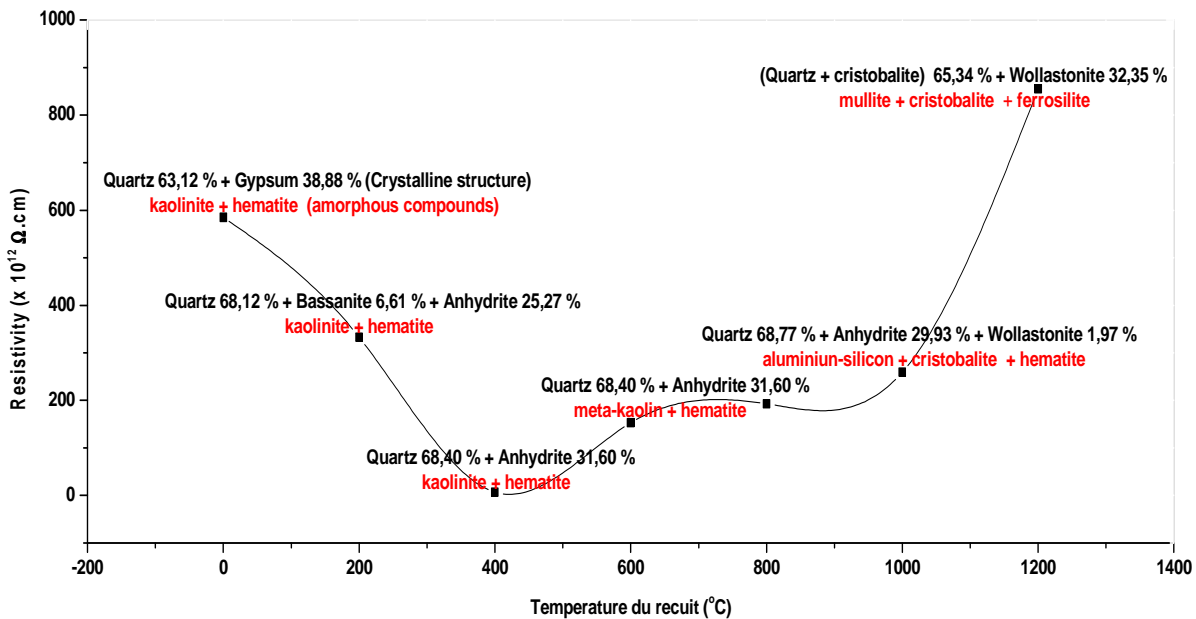
أما تسخين الرمل عند درجات حرارة أعلى، فإنه زيادةً عن تحوّل كل الجبس إلى *anhydrite*، فإنه يؤدي إلى تحوّل مركب الـ *kaolinite* إلى الـ *meta-kaolin*، و ذلك بسبب الانكسار المستمر لرابطة الـ *-OH* و تشكّل بخار الماء، المعادلة (5)، مما يؤدي إلى اضمحلال مركب الـ *kaolinite* في الرمل و ازدياد مقاومته الكهربائية [85] إلى المجال $[1.5 \times 10^{14} - 1.9 \times 10^{14}] \Omega \text{cm}$ عند تسخينه في المجال $[400 - 800]^{\circ}\text{C}$ من درجات الحرارة.

بالتسخين المتواصل للرمل حتى بلوغ $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ ، يتحوّل مركب الـ *meta-kaolin* الناتج عن انفصام الرابطة الـ *-OH* من مركب الـ *kaolinite* إلى *aluminium-silicon* و *crystalite*، المعادلة (6)، كما تحدث بدايات تفاعل بين *anhydrite* و الكوارتز، ينتج عنها طور بلوري جديد هو *wollastonite*، يصاحبه انطلاق غاز ثلاثي أكسيد الكبريت SO_3 ، المعادلة (3). يُسبّب كل ذلك ارتفاعاً في قيمة المقاومة الكهربائية للرمل المسخن بهذه الدرجة إلى القيمة $2.6 \times 10^{14} \Omega \text{cm}$ تقريباً، و هو ما يمكن تفسيره بأن المقاومة الكهربائية للـ *wollastonite* [84] ($6.67 \times 10^{12} \Omega \text{cm}$) أكبر بكثير من مثيلتها للـ *anhydrite* ($10^{11} \Omega \text{cm}$) [30]، و أنّ ظهور الـ *crystalite* - الذي يعتبر أحد أطوار الكوارتز ($4 \times 10^{12} - 2 \times 10^{16} \Omega \text{cm}$) [30] - يعمل على زيادة مقاومة الرمل [86].

أما التسخين عند درجة الحرارة 1200°C فإنه زيادةً على ما سبق، يؤدي إلى اشتداد التفاعل بين الكوارتز و anhydrite، فيتفكك هذا الأخير و يحتفي تماماً، و ينطلق غازاً ثاني أكسيد الكبريت و الأكسجين، المعادلة (4). يؤدي هذا التسخين أيضاً إلى زيادة ظهور الـ cristobalite بسبب تفكك الـ aluminium-silicon إلى mullite و cristobalite، المعادلة (7)، فضلاً عن تحوّل الكوارتز ألفا - بعد مروره بالطور بيتا- إلى cristobalite عند الدرجة 1050°C [81].

كل ذلك يؤدي إلى ارتفاع مفاجئ للمقاومية الكهربائية للرمل المسخن عند هذه الدرجة إلى القيمة $8.55 \times 10^{14} \Omega \cdot \text{cm}$ ، و هو ما يمكن تبريره باختفاء الـ anhydrite ($10^{11} \Omega \cdot \text{cm}$) من الرمل، و زيادة ظهور الـ wollastonite ($6.67 \times 10^{12} \Omega \cdot \text{cm}$) و الـ cristobalite ($4 \times 10^{12} - 2 \times 10^{16} \Omega \cdot \text{cm}$). يمكن تلخيص تفسيرات تغير المقاومية الكهربائية للرمل بدلالة تغير تركيبه بفعل الحرارة في

الشكل 2-IV.



الشكل 2-IV - تغيرات المقاومية الكهربائية لرمل كثبان ورقلة بدلالة درجة حرارة التسخين

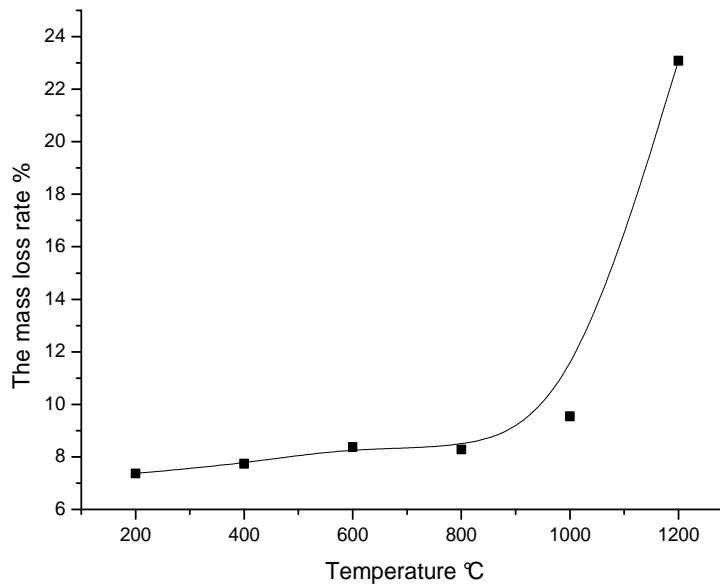
2.IV. مناقشة نتائج الفقد الكتلي:

قيس الفقد الكتلي الحاصل في جميع العينات المسخنة، و ذلك بوزن كل عينة قبل التسخين و بعده (أستخدم لذلك ميزان إلكتروني ذو اربع مراتب بعد الفاصلة من الغرام). لأجل تسهيل عملية القياس نُبِت وزن كل عينة من العينات قبل التسخين عند 100 g، و أعيد وزنها بعد التسخين و التبريد، الجدول 3-IV.

الجدول 3-IV الفقد الكتلي الحاصل بفعل التسخين عند درجات حرارة مختلفة

العينة المسخنة عند (°C)	200	400	600	800	1000	1200
الوزن قبل التسخين (g)	M ₀ =100					
الوزن بعد التسخين (g)	M ₁ = 92.66	M ₂ = 92.28	91.63	91.72	M ₃ =90.45	M ₄ =76.91
الفقد الكتلي المقيس (g)	7.34	7.72	8.37	8.28	9.55	23.09

لتيسير قراءة هذه النتائج مُثِّلَتْ على الشكل 3-IV .



الشكل 3-IV معدلات الفقد الكتلي الحاصل في العينات المسخنة

إن التفاعلات الكيميائية التي تحدث لمكونات الرمل الأساسية أثناء التسخين تُسببُ فقداً كتلياً معتبراً، يمكن إرجاعه إما لتبخّر بعض المكونات كالماء مثلاً، أو لانطلاق غازات مثل أكسيد الكبريت الثلاثي.

تسخين الرمل بدرجة حرارة $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ ، و الذي أدى إلى ظهور طورَي الـ anhydrite و bassanite بسبب فقد الجبس للماء، المعادلة (1)، يدل على أن الفقد الكتلي الحاصل في هذه العينة يعود فقط لتبخر جزء من الماء.

أمّا تسخينها عند درجات بين $400\text{ }^{\circ}\text{C}$ و $800\text{ }^{\circ}\text{C}$ يحوّل كل الجبس إلى anhydrite وفق المعادلة (2)، ممّا يدل على أن الفقد الكتلي الحاصل في هذه العينات يعود لتبخر كل الماء^(*).

الزيادة الطفيفة في نسبة الفقد الكتلي في العينتين المسخنتين عند $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ و $800\text{ }^{\circ}\text{C}$ تعود لانفصام الرابطة OH- عن kaolinite $(2\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4)$ غير البلوري و انطلاق بخار ماء عند درجة تفوق $400\text{ }^{\circ}\text{C}$ بقليل، المعادلة (5)، و هو ما لاحظناه بمطيافية الـ FTIR.

لقد أدى تسخين العينة الأصلية عند $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ إلى ظهور طور بلوري جديد، هو الـ wollastonite، ناتج عن بدايات حدوث تفاعل بين الـ anhydrite و الكوارتز، المعادلة (3)، ممّا يدل على أن الزيادة الحاصلة في الفقد الكتلي عند هذه الدرجة، مقارنةً بما لدى العينات المسخنة بين $400\text{ }^{\circ}\text{C}$ و $800\text{ }^{\circ}\text{C}$ ، تعود لانطلاق قليل من غاز أكسيد الكبريت الثلاثي SO_3 .

أمّا تسخين العينة الأصلية عند $1200\text{ }^{\circ}\text{C}$ فقد أدى إلى زيادة انطلاق غاز أكسيد الكبريت الثلاثي SO_3 ، و ظهور طور بلوري جديد هو الـ wollastonite ناتج عن تفاعل كل الـ anhydrite مع الكوارتز. إن ذلك جعلنا نعوّز الفقد الكتليّ عند $1200\text{ }^{\circ}\text{C}$ ، و المقدّر بـ 23.09 g ، إلى انطلاق كل غاز أكسيد الكبريت الثلاثي SO_3 الموجود في التراكيب البلورية المختلفة في الرمل، زيادةً عن تبخر كل الماء منه^(**).

1- إستنباط تراكيز المركبات البلورية الموجودة بعينة الرمل الأصلية و العينات المسخنة:

لتأكيد الاستنتاجين^(*) و^(**) في الفقرة السابقة، سنستنبط منهما تراكيز التراكيب البلورية المكوّنة لعينة الرمل الأصلية و العينات المسخنة، و من ثمّ سنقارنها بتلك التي سجلناها بمطيافية الـ XRF. في سبيل ذلك سنقوم بتجزئة الصيغ الكيميائية للمكوّنات البلورية للرمل في المراحل المختلفة من تسخينه (المستدلّ عليها من نتائج XRD)، و هي الجبس $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ و الكوارتز SiO_2 و الـ bassanite $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$ و الـ anhydrite CaSO_4 و الـ wollastonite CaSiO_3 ، إلى صيغ جزئية لمركبات أبسط: H_2O و CaO و SO_3 و SiO_2 . تُحسب كتلة كل مركّب من هذه المركبات البسيطة في العينات انطلاقاً من نتائج الفقد الكتلي أو نسبها في الكتل المولية للمركبات البلورية. بعد ذلك يمكننا استنباط تراكيز التراكيب البلورية الموجودة بعينات الرمل، الأصلية و المسخنة.

أ. حساب تركيز الكوارتز و الجبس في العينة الأصلية:

كتلة العينة الأصلية $M_0 = 100 \text{ g}$ ، و تتكون من الكوارتز (SiO_2) و الجبس ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) المشبع بالماء.

كتلة الماء $m_{\text{H}_2\text{O}}^0$ في الجبس الموجود بعينة الرمل الأصلية هي نفسها مقدار الفقد الكتلي الحاصل في العينة المسخنة عند 400°C ، و تحسب كما يلي:

$$m_{\text{H}_2\text{O}}^0 = M_0 - M_2 = 7.72 \text{ g}$$

حيث: M_2 كتلة العينة المسخنة عند 400°C .

يمكن استنباط كتلة أكسيد الكبريت الثلاثي $m_{\text{SO}_3}^0$ الموجود في الجبس بعينة الرمل الأصلية من خلال التناسب بين الكتلتين الموليتين للمركبتين البسيطتين H_2O و SO_3 الموجودتين في الجبس ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) كما يلي:

$$\frac{M_{2\text{H}_2\text{O}}}{M_{\text{SO}_3}} = 0.45005 = \frac{m_{\text{H}_2\text{O}}^0}{m_{\text{SO}_3}^0} = \frac{7.72}{m_{\text{SO}_3}^0} \Rightarrow m_{\text{SO}_3}^0 = 17.15 \text{ g}$$

يمكن أيضا حساب كتلة أكسيد الكالسيوم m_{CaO}^0 الموجودة في الجبس بعينة الرمل الأصلية من خلال التناسب بين الكتلتين الموليتين للمركبتين البسيطتين H_2O و CaO أو للمركبتين CaO و SO_3 ، الموجودة كلهما في الجبس $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$:

$$\frac{M_{2\text{H}_2\text{O}}}{M_{\text{CaO}}} = 0.64248 = \frac{m_{\text{H}_2\text{O}}^0}{m_{\text{CaO}}^0} = \frac{7.72}{m_{\text{CaO}}^0} \Rightarrow m_{\text{CaO}}^0 = 12.01 \text{ g}$$

$$\frac{M_{\text{SO}_3}}{M_{\text{CaO}}} = 1.42758 = \frac{m_{\text{SO}_3}^0}{m_{\text{CaO}}^0} = \frac{17.15}{m_{\text{CaO}}^0} \Rightarrow m_{\text{CaO}}^0 = 12.01 \text{ g}$$

بناءً على هذه النتائج الثلاث يمكن استنباط ما يلي:

• كتلة الجبس و تركيزه:

$$m_{\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}}^0 = m_{\text{CaO}}^0 + m_{\text{SO}_3}^0 + m_{\text{H}_2\text{O}}^0 = 36.88 \text{ g}$$

$$C_{\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}}^0 = \frac{m_{\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}}^0}{M_0} \times 100 \% = 36.88 \%$$

- كتلة الكوارتز و تركيزه: باعتبار أن الرمل في أغلبه ذو تركيب بلوري فقط، و هو ما تبينه نتائج القياسات التجريبية المختلفة، فإن:

$$m_{\text{SiO}_2}^0 = M_0 - m_{\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}} = 63.12 \text{ g}$$

$$C_{\text{SiO}_2}^0 = \frac{m_{\text{SiO}_2}^0}{M_0} \times 100 \% = 63.12 \%$$

ب. حساب تركيز الكوارتز و anhydrite و bassanite في العينة المسخنة بدرجة 200°C :

كتلتها $M_1 = 92.66 \text{ g}$ تتكون من تراكيب بلورية تعود للكوارتز (SiO_2) و anhydrite (CaSO_4) و القليل من bassanite ($\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$).

$m_{\text{H}_2\text{O}}'$ كتلة الماء التي لازالت في عينة الرمل المسخنة بدرجة 200°C تُحسب من خلال الفرق الكتلي بين كتلة هذه العينة و تلك المسخنة بدرجة 400°C كما يلي:

$$m_{\text{H}_2\text{O}}' = M_1 - M_2 = 0.38 \text{ g}$$

أما كتلتا أكسيد الكبريت الثلاثي و أكسيد الكالسيوم المكوّنين للتراكيب البلورية الموجودة بعينة الرمل المسخنة بدرجة 200°C ، فهي لا تختلف عن كتلتيهما في عينة الرمل الأصلية، ذلك أنهما لا يتأثران بهذه الدرجة:

$$m_{\text{SO}_3}^0 = 17.15 \text{ g} , m_{\text{CaO}}^0 = 12.01 \text{ g}$$

يمكننا حساب كتلة جزء anhydrite m_{CaSO_4}' المتحددة مع كتلة الماء $m_{\text{H}_2\text{O}}'$ التي لازالت في عينة الرمل المسخنة بدرجة 200°C و المكوّنة لمركّب bassanite ($\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$)، و ذلك من خلال التناسب بين الكتلتين الموليتين للصيغتين CaSO_4 و $\frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$:

$$\frac{M_{\text{CaSO}_4}}{M_{\frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}}} = 15.1138 = \frac{m_{\text{CaSO}_4}'}{m_{\text{H}_2\text{O}}'} = \frac{m_{\text{CaSO}_4}'}{0.38} \Rightarrow m_{\text{CaSO}_4}' = 5.74 \text{ g}$$

بالاعتماد على كل هذه النتائج يمكن استنباط:

- كتلة bassanite و تركيزه:

$$m_{\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}}^1 = m_{\text{CaSO}_4}' + m_{\text{H}_2\text{O}}' = 6.12 \text{ g}$$

$$C_{\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}}^1 = \frac{m_{\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}}^1}{M_1} \times 100 \% = 6.61 \%$$

- كتلة anhydrite و تركيزه:

$$m^1_{\text{CaSO}_4} = m^0_{\text{CaO}} + m^0_{\text{SO}_3} - m'_{\text{CaSO}_4} = 23.42 \text{ g}$$

$$C^1_{\text{CaSO}_4} = \frac{m^1_{\text{CaSO}_4}}{M_1} \times 100 \% = 25.27 \%$$

- كتلة الكوارتز و تركيزه:

كتلة الكوارتز في هذه العينة لا تتغير $m^1_{\text{SiO}_2} = m^0_{\text{SiO}_2} = 63.12 \text{ g}$ ، إنما يتغير تركيزها بسبب تغير كتلة هذه العينة جرّاء الفقد الكتلي الراجع لتبخّر جزء من مائها، و عليه فإن تركيز الكوارتز:

$$C^1_{\text{SiO}_2} = \frac{m^0_{\text{SiO}_2}}{M_1} \times 100 \% = 68.12 \%$$

ج. حساب تركيز الكوارتز و anhydrite في العينات المسخنة بدرجات 400، 600، و 800 °C:

كتلة كلٍّ منها $M_2 = 92.28 \text{ g}$ ، تتكون من تراكيب بلورية من الكوارتز (SiO_2) و anhydrite (CaSO_4) الناتج عن تبخر الماء كلياً من الجبس عند هذه الدرجات. نستنتج كتلتَي anhydrite و الكوارتز و تركيزيهما بناءً على النتائج المحسوبة سابقاً لكل من CaO و SO_3 و SiO_2 في العينة الأصلية، كما يلي:

$$m^2_{\text{CaSO}_4} = m^0_{\text{CaO}} + m^0_{\text{SO}_3} = 29.16 \text{ g} \quad , \quad C^2_{\text{CaSO}_4} = \frac{m^0_{\text{CaSO}_4}}{M_2} \times 100 \% = 31.60 \%$$

$$m^2_{\text{SiO}_2} = m^1_{\text{SiO}_2} = m^0_{\text{SiO}_2} = 63.12 \text{ g} \quad , \quad C^2_{\text{SiO}_2} = \frac{m^0_{\text{SiO}_2}}{M_2} \times 100 \% = 68.40 \%$$

د. حساب تركيز الكوارتز و anhydrite و wollastonite في العينة المسخنة بدرجة 1000 °C:

كتلتها $M_3 = 90.45 \text{ g}$ ، تتكون من تراكيب بلورية من الكوارتز (SiO_2) و anhydrite (CaSO_4) الناتج عن تبخر الماء كلياً من الجبس، و wollastonite (CaSiO_3) الناتج عن بداية حدوث تفاعل بين anhydrite و الكوارتز، ممّا ينجّر عنه تحرّر بعض أكسيد الكبريت الثلاثي (SO_3) المكوّن للتراكيب البلورية الموجودة في عيّنة الرمل الأصلية على شكل غاز. m'_{SO_3} هو مقدار النقص الحاصل في كتلة أكسيد الكبريت الثلاثي $m^0_{\text{SO}_3}$. يمكن حساب هذا النقص من خلال الفرق بين كتلة العينة المسخنة عند 1000 °C و إحدى العينات المسخنة عند 400 أو 600 أو 800 °C:

$$m'_{SO_3} = M_2 - M_3 = 1.225 \text{ g}$$

ملاحظة: نشير إلى أننا اعتبرنا $M_2 = 91.675 \text{ g}$ ، و هي القيمة المتوسطة بين كتلتَي العينتين المسخنتين عند 600 و 800°C ، و ذلك لتفادي الارتياح الناتج عن الماء المتبخر بسبب انفصام الرابطة $(-OH)$ الموجودة بالـ kaolinite $(2Al_2Si_2O_5(OH)_4)$ عند درجات الحرارة التي تفوق 400°C . (الـ kaolinite لا يظهر في مخططات انعراج الأشعة السينية لأنه ضعيف التركيز، و هو ما دلت عليه نتائج قياسات XRF).

تتناقص أيضا كتلة أكسيد الكالسيوم m^0_{CaO} الموجودة في التراكيب البلورية لعينات الرمل السابقة بالمقدار m'_{CaO} ، و ذلك بسبب اتحاد جزء منها مع بعض الكوارتز SiO_2 لتشكيل مركب الـ wollastonite $(CaSiO_3)$. يمكن حساب مقدار هذا التناقص من خلال التناسب بين الكتلتين الموليتين للصيغتين CaO و SO_3 المكوّنتين لمركب الـ anhydrite $(CaSO_4)$. لقد تفكك جزء من هذا الـ anhydrite خلال تفاعله مع بعض الكوارتز:

$$\frac{M_{SO_3}}{M_{CaO}} = 1.42758 = \frac{m'_{SO_3}}{m'_{CaO}} = \frac{1.225}{m'_{CaO}} \Rightarrow m'_{CaO} = 0.86 \text{ g}$$

تتحد الكتلة m'_{CaO} مع بعض الكوارتز SiO_2 لتشكيل مركب الـ wollastonite $(CaSiO_3)$ ، مسببة تناقصا لكتلة الكوارتز الأصلية $m^0_{SiO_2}$ بالمقدار m'_{SiO_2} . يمكن حساب مقدار هذا التناقص m'_{SiO_2} من خلال التناسب بين الكتلتين الموليتين للصيغتين CaO و SiO_2 المكوّنتين لمركب الـ wollastonite $(CaSiO_3)$:

$$\frac{M_{SiO_2}}{M_{CaO}} = 1.0714 = \frac{m'_{SiO_2}}{m'_{CaO}} = \frac{m'_{SiO_2}}{0.86} \Rightarrow m'_{SiO_2} = 0.92 \text{ g}$$

من خلال هذه النتائج الثلاث و النتائج المحسوبة سابقا لكتل CaO و SO_3 و SiO_2 في العينة الأصلية، يمكن استنباط:

- كتلة الـ anhydrite الذي بقي في العينة و تركيزه:

$$m^3_{CaSO_4} = m^0_{CaO} + m^0_{SO_3} - (m'_{CaO} + m'_{SiO_2}) = 27.07 \text{ g}$$

$$C^3_{CaSO_4} = \frac{m^3_{CaSO_4}}{M_3} \times 100 \% = 29.93 \%$$

- كتلة الكوارتز الذي بقي في العينة و تركيزه:

$$m^3_{SiO_2} = m^0_{SiO_2} - m'_{SiO_2} = 62.20 \text{ g}$$

$$C^3_{SiO_2} = \frac{m^3_{SiO_2}}{M_3} \times 100 \% = 68.77 \%$$

- كتلة wollastonite الذي تشكّل و تركيزه:

$$m^3_{CaSiO_3} = m'_{SiO_2} + m'_{CaO} = 1.78 \text{ g}$$

$$C^3_{CaSiO_3} = \frac{m^3_{CaSiO_3}}{M_3} \times 100 \% = 1.97 \%$$

هـ. حساب تركيز الكوارتز و wollastonite في العينة المسخنة بدرجة 1200°C :

كتلتها $M_4 = 76.91 \text{ g}$ ، تتكون من الكوارتز (SiO_2) و wollastonite ($CaSiO_3$) الناتج عن تفاعل كل الـanhydrite ($CaSO_4$) مع الكوارتز، حيث تحرّر كل أكسيد الكبريت الثلاثي SO_3 المكوّن للتراكيب البلورية الموجودة بعينة الرمل الأصلية على شكل غاز. تتحرّر كتلة أكسيد الكبريت الثلاثي $m^0_{SO_3}$ و تتحد الكتلة m^0_{CaO} التي كانت تشكل معها مركب الـanhydrite ($CaSO_4$) مع كمية من الكوارتز كتلتها m''_{SiO_2} . تُحسب قيمة m''_{SiO_2} من خلال التناسب بين الكتلتين الموليتين للصيغتين CaO و SiO_2 المكوّنتين لمركب الـwollastonite ($CaSiO_3$):

$$\frac{M_{SiO_2}}{M_{CaO}} = 1.0714 = \frac{m''_{SiO_2}}{m^0_{CaO}} = \frac{m''_{SiO_2}}{12.01} \Rightarrow m''_{SiO_2} = 12.87 \text{ g}$$

من خلال هذه النتيجة و النتائج المحسوبة سابقاً لكتل CaO و SiO_2 في العينة الأصلية، يمكن استنباط:

- كتلة الكوارتز و تركيزه:

$$m^4_{SiO_2} = m^0_{SiO_2} - m''_{SiO_2} = 50.25 \text{ g}$$

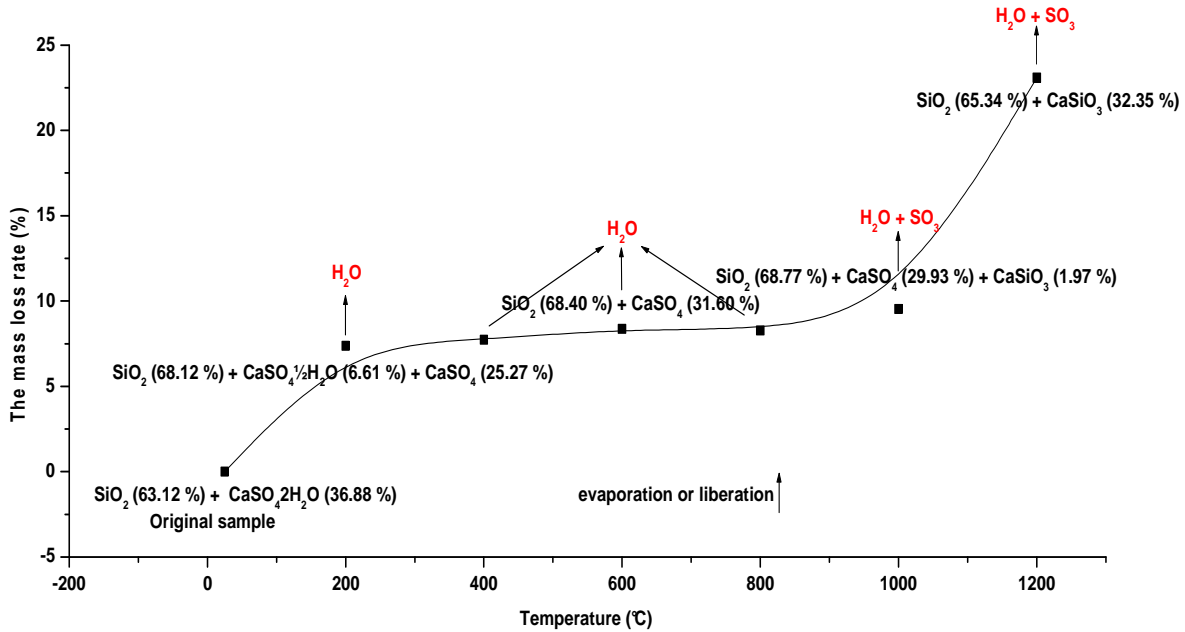
$$C^4_{SiO_2} = \frac{m^4_{SiO_2}}{M_4} \times 100 \% = 65.34 \%$$

- كتلة الـwollastonite و تركيزه:

$$m^4_{CaSiO_3} = m''_{SiO_2} + m^0_{CaO} = 24.88 \text{ g}$$

$$C^4_{CaSiO_3} = \frac{m^4_{CaSiO_3}}{M_4} \times 100 \% = 32.35 \%$$

بناءً على النتائج السابقة يمكن تلخيص تفسير الفقد الكتلي الحاصل أثناء عمليات التسخين المختلفة لعينة من رمل كثبان منطقة ورقلة في الشكل 4-IV.



SiO₂: quartz, CaSO₄·2H₂O: gypsum, CaSO₄·1/2H₂O: bassanite, CaSO₄: anhydrite, CaSiO₃: wollastonite

الشكل 4-IV: الفقد الكتلي الحاصل أثناء عمليات التسخين لعينة من رمل كثبان منطقة ورقلة

يمكن كذلك تلخيص تركيز الأطوار البلورية المكونة لعينة الرمل الأصلية و العينات المسخنة، و المستدل عليها من خلال نتائج الفقد الكتلي في الجدول 4-IV.

الجدول 4-IV تركيز الأطوار البلورية الموجودة بعينة الرمل الأصلية و العينات المسخنة (%)

	quartz (SiO ₂)	gypsum (CaSO ₄ ·2H ₂ O)	bassanite (CaSO ₄ ·1/2H ₂ O)	anhydrite (CaSO ₄)	wollastonite (CaSiO ₃)
العينة الأصلية	63.12	36.88	//	//	//
200 °C	68.12	//	6.61	25.27	//
400 - 800 °C	68.40	//	//	31.60	//
1000 °C	68.77	//	//	29.93	1.97
1200 °C	65.34	//	//	//	32.35

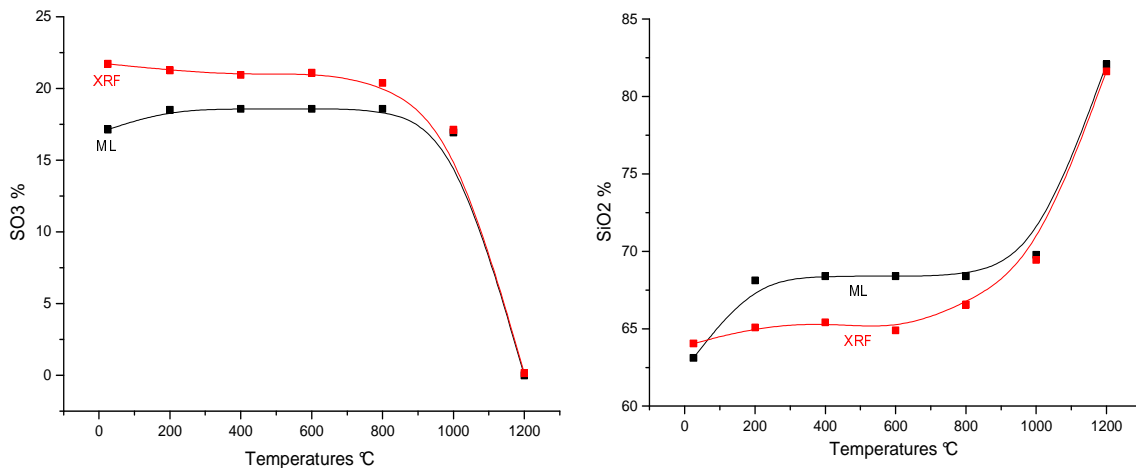
من خلال الجدول 4-IV أو النتائج التي سبقته يمكن استنباط كيفية تغير تركيز أكسيدي السيلسيوم (السيليكا) SiO₂ و الكبريت SO₃ بفعل الحرارة، الجدول 5-IV.

الجدول 5-IV: تركيز أكسيد السيليوم و الكبريت الموجودة بعينات الرمل، الأصلية و المسخنة

	SiO ₂ %	SO ₃ %
العينة الأصلية	63.12	17.15
200 °C	68.12	18.51
400 - 800 °C	68.40	18.58
1000 °C	69.78	16.94
1200 °C	82.07	0

2- المقارنة بين نتائج الفقد الكتلي (ML) و نتائج مطيافية الـXRF:

فيما يلي سنقارن تطوّر تركيزي SiO₂ و SO₃ بفعل الحرارة، المحسوبين بالطريقتين، الشكل 5-IV.



الشكل 5-IV مقارنة بين نتائج الفقد الكتلي (ML) و نتائج الـXRF

تُظهر المقارنة بين التغير الحاصل في تركيز أكسيد السيليوم SiO₂ و الكبريت SO₃ المتحصل عليهما بمطيافية الفلورة بالأشعة السينية (XRF) و تلك المستدلّ عليها من نتائج الفقد الكتلي (ML) توافقاً مقبولاً.

يمكن تبرير الاختلاف بين نتائج مطيافية الـXRF و نتائج الفقد الكتلي (ML) لسببين هما:

- قدرة مطيافية الفلورة بالأشعة السينية (XRF) على كشف بعض الأكاسيد المعدنية غير البلورية ذات التراكيز الضعيفة، في حين لا يمكن لطريقة الفقد الكتلي (ML) الكشف عنها؛ ذلك أنّها تركز على تقنية XRD التي لا تُظهر سوى التراكيب البلورية.

- إدخال الماء في الحُساب كمرَكَّبٍ عند استنباط تراكيز الأكاسيد بطريقة الفقد الكتلي، في حين لا تأخذه مطيافية الـXRF بعين الاعتبار، فضلًا عن الارتياحات الناجمة عن القياس.
- رُغم الاختلاف الذي أشرنا إليه، إلا أن التوافق بين نتائج تقنية XRF و تقنية ML كان كبيراً، و هو ما يعزُّزُ التبريرات التي قدّمناها لتفسير نتائج الفقد الكتلي، و كذا الاستنباطات المستمدة من مخططات انعراج الأشعة السينية.

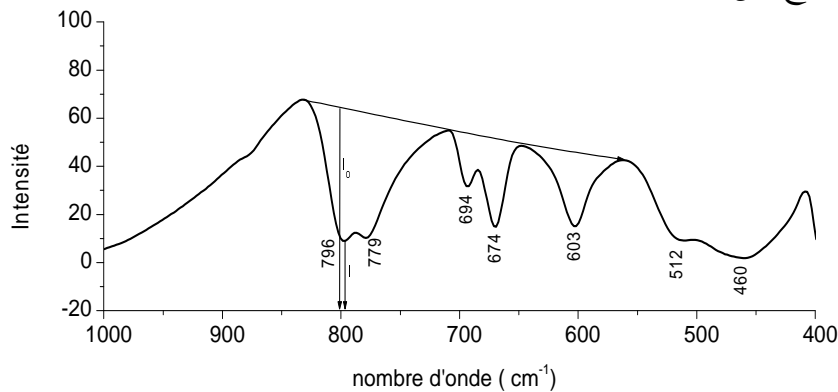
3- درجة تبلور الكوارتز:

تُعرَّفُ التبلورية على أنها نسبة المواد المتبلورة في مزيج مكوّنٍ من مواد متبلورة و أخرى غير متبلورة، و هي عادة لا يمكن إيجادها مباشرة، بل تحدّدُ من خلال درجة التبلور (مؤشر التبلور). هذا الأخير متناسب عكسا مع التبلورية.

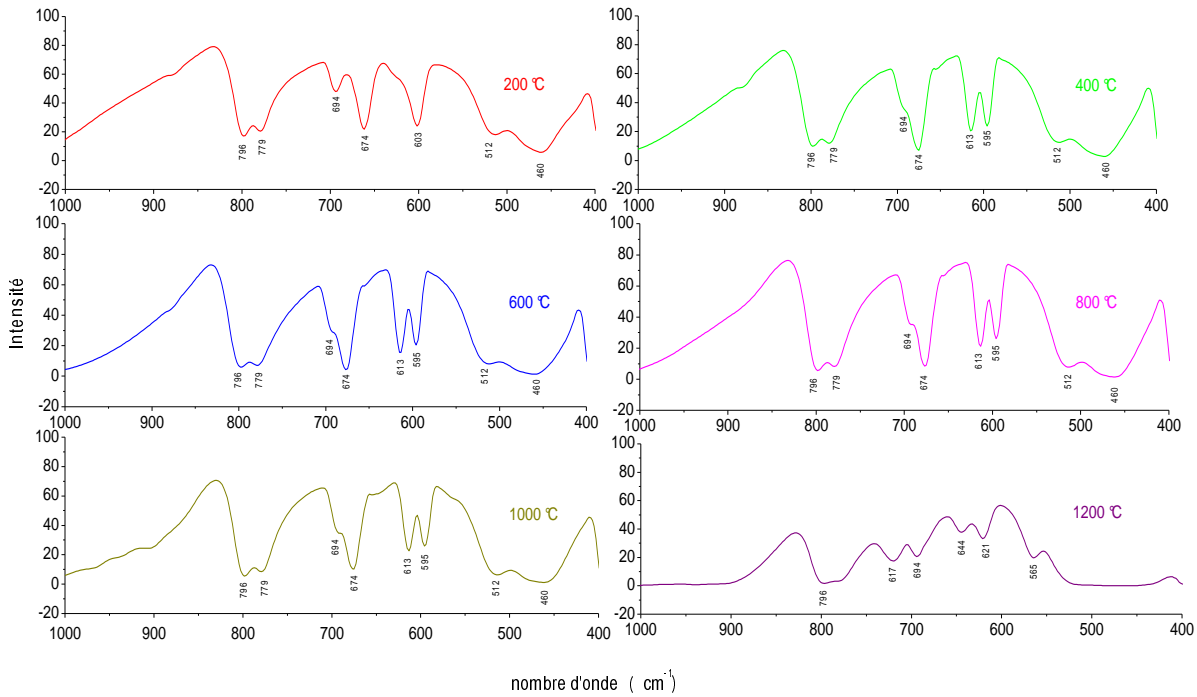
بعد أن عرفنا من خلال انعراج الأشعة السينية (XRD) أن رمل كثبان منطقة ورقلة يجوي في حالته الطبيعية الكوارتز ألفا بنسبة تفوق 60 %، فإننا سنسعى خلال هذه الفقرة إلى معرفة تبلورته، و التي تعطي صورة واضحة عن الأشكال البلورية للمعادن الأخرى.

من أجل ذلك سنحسب درجة تبلور الكوارتز (مؤشر التبلور) في عينة الرمل الطبيعية و كذا في العينات المسخّنة، و ذلك بهدف معرفة تأثير درجة حرارة التسخين على هذا المؤشر.

تُحسب درجة تبلور الكوارتز - في معظم الحالات - من خلال قمتيه للامتصاص ما تحت الأحمر عند 796 و 694 cm^{-1} [73]، الشكلان 6-IV و 7-IV، و ذلك بحساب النسبة بين شدّتي الامتصاص عند هاتين القمتين (A_{796}/A_{694}) ، حيث تمثل A_{796} و A_{694} امتصاصية الإشعاع ما تحت الأحمر عند القمتين 694 و 796 cm^{-1} على الترتيب، و تُعرّف الامتصاصية بـ: $A = \log_{10} \left(\frac{I_0}{I} \right)$ ، حيث I_0 و I هما شدة الإشعاع قبل الامتصاص و بعده.



الشكل 6-IV قمتا الامتصاص اللتان تُحسب من خلالهما درجة تبلور الكوارتز في عينة الرمل الطبيعية

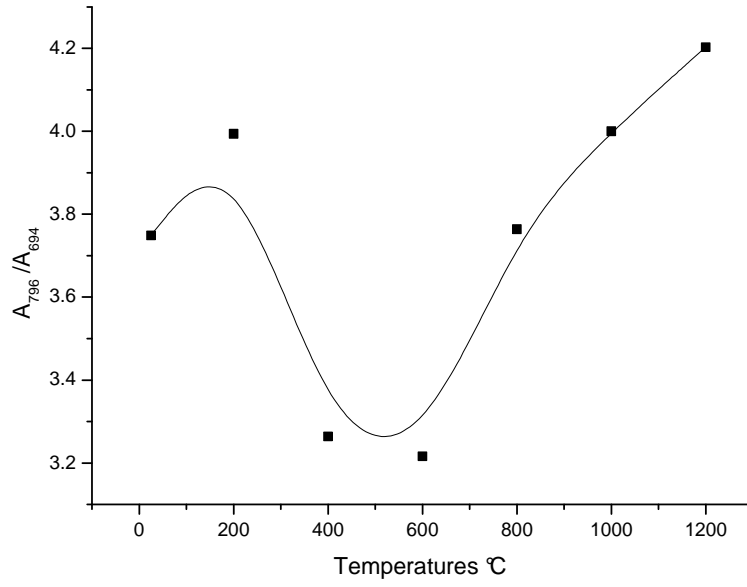


الشكل IV-7 قمتا الامتصاص اللتان تُحسب من خلالهما درجة التبلور في العينات المسخنة

الجدول IV-6 يلخص نتائج حساب درجة التبلور في عينة الرمل الطبيعية و العينات المسخنة، أما الشكل IV-8 فيوضح كيفية تغير ذلك بدلالة درجة حرارة التسخين.

الجدول IV-6 درجة تبلور الكوارتز في عينة الرمل الطبيعية و العينات المسخنة

العينة	796 cm ⁻¹			694 cm ⁻¹			نسبة التبلور
	I	I ₀	A ₇₉₆	I	I ₀	A ₆₉₄	A ₇₉₆ / A ₆₉₄
الأصلية	9.036	64.065	0.851	31.764	53.567	0.227	3.749
200 °C	17.109	76.609	0.651	47.949	69.826	0.163	3.994
400 °C	9.950	72.969	0.865	37.572	69.180	0.265	3.264
600 °C	5.927	69.784	1.071	30.630	65.909	0.333	3.216
800 °C	5.659	74.268	1.118	36.195	71.783	0.297	3.764
1000 °C	5.508	69.287	1.100	35.885	67.576	0.275	4.000
1200 °C	1.698	35.814	1.324	20.636	42.671	0.315	4.203



الشكل IV-8 تغير درجة تبلور الكوارتز في رمل الكثبان بدلالة درجة حرارة التسخين

خلاصة عامة

خلاصة عامة

لقد سعينا في هذه الدراسة إلى محاولة المساهم في تمييز رمال كثبان، ذلك أنها تغطي مساحاتٍ شاسعةً من تراب الوطن، و تُعتبر مادةً طبيعيةً تحوي الكثير من المواد الأولية، كالكوارتز و السيلسيوم، ذات الاستخدام الواسع في الصناعات الحديثة، فضلا عن استخدامها التقليدية في البناء و الري و الزراعة و . .

لقد أُخذت العينة المدروسة من رمال كثبان منطقة ورقلة، أمّا التشخيص فكان ببعض التقنيات الطيفية، و هي: إنعراج الأشعة السينية (XRD)، و فلورة الأشعة السينية (XRF)، و امتصاص الأشعة تحت الحمراء (FITR). كل ذلك بهدف تحديد كل التراكيب الموجودة بها.

تُحدّد تقنية انعراج الأشعة السينية الأطوار البلورية الموجودة بالرمل، و كذا تقديراتها شبه الكميّة، أمّا تقنية فلور الأشعة السينية فهي تعطي تراكيز العناصر الذرية الموجودة به، و كذا أكاسيد المعادن الداخلة في جميع تراكيبه الكيميائية. أمّا تقنية امتصاص الأشعة تحت الحمراء فهي تكشف جميع أنواع الروابط الجزيئية المتضمنة داخل تراكيب الرمل، و التي يمكن من خلالها تحديد التركيب الجزيئي.

حاولنا أيضًا خلال هذه الدراسة التعرفَ على كيفية تغيّر تركيب الرمل بالحرارة، و مدى تأثير ذلك على مقاومته الكهربائية، و الفقد الكتلي الحاصل فيه. لذلك عرضنا عيناتٍ متماثلةٍ من الرمل لعدّة تسخينات عند درجات حرارة مختلفة، من 200 °C إلى 1200 °C، بخطوة 200 °C، مدةً 24 ساعةً متواصلةً تحت الضغط الجوي العادي لكل عينة، ثم قسنا المقاومة الكهربائية و الفقد الكتلي بعد كل عملية تسخين و أعدنا القاسيات الطيفية الثلاثة السابقة.

بتحليل مخططات انعراج الأشعة السينية لعينة طبيعية من رمل كثبان ورقلة تبين أنها تحوي تراكيبَ بلورية تعود للكوارتز بطوره ألفا بنسبة 63.8 %، و الجبس المشبع بالماء بنسبة 36.2 %، في حين أكّدت تقنيّتا الفلورة بالأشعة السينية و امتصاص الأشعة تحت الحمراء ذلك، و زادنا بأنه يحتوي على بعض المركبات الأخرى غير البلورية و العضوية كـ hematite و kaolinite بتراكيز ضعيفة جدا، تكاد

تكون مهملة، مما يُضفي على رمال كثبان ورقلة طبيعةً بلورية في الغالب، و يجعلها مصدرا طبيعيا هاماً للكوارتز و السيلسيوم.

القياس الكهربائي للمقاومية الكهربائية للرمل، بين أن رمل كثبان منطقة ورقلة في حالته الطبيعية ذو مقاومة كهربائية عالية تقدر بـ $6 \times 10^{14} \Omega.cm$ ، و هو ما يرشحه للاستخدام كعازل كهربائي أو حراري جيد.

لقد بينت القياسات الطيفية أيضا أن للحرارة تأثيراً واضحاً على تركيب الرمل؛ إذ يبدأ ذلك عند درجات حرارة أقل من $400^\circ C$ بتبخر بعض الماء من الجبس، فيتحول إلى bassanite، ثم إلى anhydrite بتبخر كل الماء. يتسبب ذلك في فقد كتلي تقدر نسبته بـ 7.72% من وزن العينة، و هي تعادل بالضبط - نسبة الماء الموجودة في جبس هذا الرمل. بالإضافة إلى ذلك فإن المقاومة الكهربائية للرمل تنخفض إلى القيمة $6.75 \times 10^{12} \Omega.cm$.

عند درجات الحرارة الأعلى من $400^\circ C$ و حتى $800^\circ C$ تنفصم الرابطة OH- عن مركب الـ kaolinite فيتحول إلى meta-kaolin و يتشكل بخار ماء. يؤدي ذلك إلى ارتفاع طفيف جداً في الفقد الكتلي يصل إلى 8.28% بسبب انخفاض تركيز الـ kaolinite في الرمل، و يصاحب ذلك ارتفاع معتبر للمقاومية الكهربائية للرمل $[1.5 \times 10^{14} - 1.9 \times 10^{14}] \Omega.cm$.

عند درجات الحرارة القريبة من $1000^\circ C$ يتفكك مركب الـ meta-kaolin ذاتياً و يتحول إلى aluminium-silicon و cristobalite غير بلوري، كما تظهر بدايات تفاعل بين الكوارتز و الـ anhydrite، ينتج عنها الـ wollastonite مرفقاً بغاز أكسيد الكبريت الثلاثي SO_3 ، مما يتسبب في زيادة طفيفة في نسبة الفقد الكتلي تصل إلى 9.55% ، و ارتفاع في المقاومة الكهربائية للرمل $2.6 \times 10^{14} \Omega.cm$.

عند درجات الحرارة القريبة من $1200^\circ C$ تزداد شدة التفاعل بين الكوارتز و الـ anhydrite، فيتفاعل كل الـ anhydrite، و تنطلق كميات كبيرة من غاز أكسيد الكبريت الثلاثي SO_3 ، و لكنه سرعان ما يتفكك إلى غازي أكسيد الكبريت الثنائي SO_2 و الأكسجين O_2 ، مسبباً بذلك فقداً كتلياً عالياً يصل إلى 23.09% ، و يتفكك مركب الـ aluminium-silicon ذاتياً إلى mullite و cristobalite متبلور، و يتفاعل الكوارتز مع الـ hematite مؤدياً إلى ظهور مركب الـ ferrosilite

و انطلاق غاز الأكسجين. تؤدي كل هذه التفاعلات إلى ارتفاع المقاومة الكهربائية للرمل إلى القيمة $8.55 \times 10^{14} \Omega \cdot cm$.

تمكنا أيضا خلال هذا العمل من تحديد تطوّر تركيز السيليكا في رمل كثبان منطقة ورقلة بدلالة درجة حرارة التسخين؛ إذ تبيّن لنا أن تركيزها يتزايد في بدايات التسخين عند درجات أقل من $800^\circ C$ بمعدلات ضئيلة من 64.04% إلى 66.56%، ثم يرتفع هذا المعدل عند درجات الحرارة التي تفوق $800^\circ C$ من 66.56% إلى 81.63%، إلا أن بعض هذه السيليكا يكون مرتبطاً بالـwollastonite، لا مستقلاً بذاته.

لقد استثمرنا مناقشات نتائج الفقد الكتلي الحاصل للرمل نتيجة التسخينات في استنباط تراكيز الأطوار البلورية الموجودة في الرمل الطبيعي و المسخن. لقد كانت التراكيز المستنبطة بهذه الطريقة قريبة جدا من النتائج المتحصّل عليها بتقنية الـXRF.

في نهاية هذا العمل أظهرنا كيفية تغير درجة تبلور الكوارتز في رمل كثبان منطقة ورقلة بدلالة درجة حرارة التسخين، و ذلك اعتماداً على نتائج مطيافية امتصاص الأشعة تحت الحمراء.

يمكن إجمالاً ما خلصنا إليه من هذا العمل فيما يلي:

- التحديد الكيفي و شبه الكمي لجميع التراكيب المكوّنة لرمل كثبان منطقة ورقلة، الطبيعي و المسخن عند درجات حرارة في المجال $[200 - 1200^\circ C]$.
- تفسير تطور تركيب رمل كثبان منطقة ورقلة عند تسخينه، بتحديد التفاعلات الكيميائية و التحولات الطورية التي تحدث لمكوناته بفعل الحرارة.
- قياس المقاومة الكهربائية لرمل كثبان منطقة ورقلة، الطبيعي و المسخن عند درجات حرارة مختلفة.
- تفسير تغير المقاومة الكهربائية لرمل كثبان منطقة ورقلة عند تسخينه، من خلال ربط هذا التغير بالتفاعلات و التحولات الطورية التي تحدث لمكوناته.
- قياس الفقد الكتلي الحاصل نتيجة عمليات التسخين المتعددة.
- تفسير نتائج الفقد الكتلي، من خلال ربطه بالتحولات الطورية التي تحدث داخل الرمل.
- إستغلال نتائج الفقد الكتلي في استنباط تراكيز الأطوار البلورية المكونة للرمل الطبيعي و المسخن.
- قياس كيفية تغير درجة تبلور الكوارتز في الرمل بدلالة الحرارة.

من خلال مختلف العمليات و القياسات الفيزيائية المنجزة خلال تحضير هذا العمل، يمكن تسجيل عدة ملاحظات هامة، يمكنها أن تكون -في المستقبل- منطلقات بحث لأعمال أخرى:

- إمكانية رفع نسبة الكوارتز (السيليكا الخالصة) في الرمل إلى معدلات عالية، باستخدام بعض المعالجات الفيزيائية.
- إستغلال الرمل كمادة خام في إنتاج السيلسيوم النقي المستخدم في الصناعات المعاصرة.
- إستغلال الرمل كمصدر لبعض المواد المتعددة الاستخدامات الطبية و الكهربائية.
- إستغلال الرمل في صناعة الزجاج.
- إستعمال الرمل لعزل الحرارة أو تخزينها.

الملحقات

الملحق 01

متوسط التركيب الكيميائي للقشرة الأرضية^[01]

تركيب ذري			تركيب أكسيدي		
العنصر	رمزه	التركيز %	الأكسيد	رمزه	التركيز %
الأكسجين	O	46.71	ثنائي أكسيد السيليكون	SiO ₂	59.58
السليكون	Si	27.69	أكسيد الألمنيوم (الأومين)	Al ₂ O ₃	15.21
الألومنيوم	Al	8.07	أكسيد الكالسيوم	CaO	6.81
الحديد	Fe	5.05			
الكالسيوم	Ca	3.65	أكسيد الحديد الثنائي	FeO	5.10
الصوديوم	Na	2.75	أكسيد الصوديوم	Na ₂ O	3.71
البوتاسيوم	K	2.58	أكسيد المغنيزيوم	MgO	3.45
المغنيزيوم	Mg	2.08	أكسيد البوتاسيوم	K ₂ O	3.11
المجموع	-	98.58	المجموع	-	96.97

الملحق 02

تراكيز أغلب العناصر الموجودة في رمل كثبان منطقة ورقلة [15]

العناصر			العناصر		
الإسم	الرمز	التركيز mg/kg	الإسم	الرمز	التركيز mg/kg
الكالسيوم	Ca	3054	الساميريوم	Sm	0.53
البوتاسيوم	K	1300	الكوبالت	Co	0.43
الحديد	Fe	867	زرنيخ	As	0.41
المنغنيز	Mn	661.26	سيزيوم	Cs	0.30
السيليكون	Si	397.06	السكانديوم	Sc	0.27
الصوديوم	Na	155	اليورانيوم	U	0.20
الكبريت	S	84.32	يتيريوم	Yb	0.20
باريوم	Ba	44.8	المولبيدينيوم	Mo	0.12
الرصاص	Pb	43.76	يورونيوم	Eu	0.104
الألمنيوم	Al	41.58	التانتاليوم	Ta	0.08
الزيركونيوم	Zr	18.6	تيريوم	Tb	0.067
النيكل	Ni	13.08	الأنثيموني	Sb	0.055
النحاس	Cu	12.35	اللوتيتيوم	Lu	0.031
الكلور	Cl	7.92	التيتانيوم	Ti	0.02
الجالسيوم	Ga	7.76	الأرغون	Ar	-
سيريوم	Ce	5.2	الكربون	C	-
الكروم	Cr	4.4	الجرمانيوم	Ge	-
الروبيديوم	Rb	4.3	الإنديوم	In	-
لانثانيوم	La	3.7	المغنيسيوم	Mg	-
نيوديميوم	Nd	3.6	الأكسجين	O	-
الزنك	Zn	2.7	الفوسفور	P	-
النيوبيوم	Nb	0.9	التين	Sn	-
الثوريوم	Th	0.68	السترونيوم	Sr	-
البروم	Br	0.62	الفاناديوم	V	-
الهافنيوم	Hf	0.59	اليتريوم	Y	-

المراجع

- [1] د. محمد عز الدين حلمي، علم المعادن، مكتبة الأنجلو المصرية، 2002.
- [2] د. محمد القاضي، الرمل الكوارتزي، الجزء الأول، جامعة قطر، 1999.
- [3] <http://www.geologyofmesopotamia.com> (version 01/2016)
- [4] S. Amin, M. Amin, Thermoplastic elastomeric (TPE) materials and their use in outdoor electrical insulation, Rev.Adv.Mater.Sci.29, March 2011, page 15-30.
- [5] M .M.Ahammed, M .Chaudhuri ,Sand-based filtration adsorption media. J Water Supply Res Techno, Vol. 1 45, 1996, page 67-71.
- [6] D. H. Mantz, Eng P (2004) New horizons for slow sand filtration. In: Proceedings 11th Canadian National Conference and Second Policy Forum on Drinking Water and Biennial Conference of the Federal-Provincial-Territorial Committee on Drinking Water, Promoting Public Health Through Safe Drinking Water, Calgary, Alberta, page 682-692.
- [7] M.F. Hamoda, I. El-Ghusain, N.Z. Al-Mutairi ,Sand filtrationof wastewater for tertiary treatment and water reuse, Desalination, Vol. 203 ,2004, page164-211.
- [8] A. Maazouzi, A. Kettab, A. Badri, Study sand filtration processes in the region of Bechar pretreatment drinking water, Desalination, Vol.206, 2007, page 358-368.
- [9] A. Maazouzi, A. Kettab, A. Badri (2008) Contribution to the exper-imental filtration of drinking water in some filter beds (sand) in the region of Bechar. In: 4^{eme} conférence internationale sur: les Ressources en Eau dans le Bassin Méditerranéen, Watmed4, Alger (Algeria).
- [10] A. Zri, N. E. Abriak, M. Benzerzour (2009) Valuation of sedi- ment in the concrete base of sand dredged sand. In: SBEI-DCO–1st International Conference

- on Sustainable Built Environment Infrastructures in Developing Countries , ENSET,Oran (Algeria)
- [11] A. Maazouzi, A. Kettab, A. Badri, B. Zahraoui, A. Kabour, L. Cheb-bahd, Contribution to the study of the effect of urban wastewater on the degradation of ground water quality and to the treatment by filtration on dune sand of the city of Bechar (Algeria), Desalination Water Treat, Vol. 30, 2011, page 58-68.
- [12] Y. Touil, S. Taha, R. Issaadi, A. Amrane, Pilot plant for wastewater treatment involving septic pit and biological filtration on sand of dunes of the Algerian Sahara, Desalination Water Treat, Vol.10, 2009, page 148 -152.
- [13] A. Maazouzi, A. Kettab, A. Badri, B. Zahraou, R. Khelfaoui, Algerian sahara sand dunes characterization, Silicon, 2014, Vol .6 , page 149-154.
- [14] A. Tafraoui, S. Libali, A. Slimani, Study physico-chemical of the sand of the Western Erg of the area of Saoura (Western South Algeria). Res J Appl Sci , Vol .1, 2006, page 1-6.
- [15] M.L. Mechri, S .Chihi, Study of the atomic composition of the sand dunes of Ouargla region by XRF spectroscopy, SEM, EDX and ANN. Ann Sci Technol Vol .4, No. 2, 2012, page 69-79.
- [16] <http://www.sgs.org.sa> (version 01/2016)
- [17] http://www.moqatel.com/openshare/Behoth/Gography11/geography/sec060.doc_cvt.htm (version 01/2016)
- [18] Haim Tsoar, Aleolian Sand and Sand Dunes, Kenneth Pye, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2009, page 142.
- [19] A. M. SHARAKY, T. M. LABIB Sand Dune Movement and Its Effect on Cultivated Lands in Africa: Case Study: Dakhla Oasis, Western Desert, Egypt, Land Degradation in Egypt and Africa ,Cairo University, (23-24 March 2002), page 1-15.
- [20] http://news.quickk.co/خريطة_الجزائر_الطبيعية/ (version 01/2016)
- [21] <https://en.wikipedia.org/> (version 01/2016)
- [22] <http://www.chemistrysources.com/> (version 01/2016)
- [23] http://www.quartzpage.de/gen_mod.html (version 01/2016)
- [24] <http://mawdoo3.com/> (version 01/2016)

- [25] Pratiyogita Darpan ,Competition Science Vision , March 2000 , India ,year 3,Issue 25,page 54. (version 01/2016)
- [26] <https://crystallography365.wordpress.com/structures/> (version 01/2016)
- [27] <http://geology.com/minerals/gypsum.shtml> (version 01/2016)
- [28] F. Wang, T. Kuzuya, S. Hirai, J. Li, Te. Li, Carbon Dioxide Absorption and Release Properties of Pyrolysis Products of Dolomite Calcined in Vacuum Atmosphere, The Scientific World Journal, Vol. 2014, 2014, Article ID 862762, page 7 .
- [29] Joseph R. Smyth and David L. Bish , Crystal Structures and Cation Sites of the Rock-Forming Minerals , Boston ALLEN & UNWIN, 1988.
- [30] By W. M. Telford, L. P. Geldart and R. E. Sheriff, Applied Geophysics, Second edition, Publisher: Cambridge University Press, 1990.
- [31] O. Louie , A.H. Massoudi, M.M. Ejtehadi , S. Sajjadifar, M.Mirghani , S.J. Alavi , Characterization of the Gypsum Composite for Electrical Conductivity, American Journal of Chemistry, Vol. 2, No. 4, 2012, Page 245-247.
- [32] Deer, W.A., R. A. Howie, and J. Zussman (1963) Rock-Forming Minerals Vol 4. Longmans, London, 435pp.
- [33] محمد العيد مشري و إسماعيل شبيحي ، دراسة التركيب الذري لرمل كئبان منطقة ورقلة باستخدام مطيافيات MEB ، XRF و EDX ، AAN ، مخبر فيزياء الإشعاع و البلازما و فيزياء السطوح (LRPPS) ، قسم علوم المادة، جامعة ورقلة ، مذكرة تخرج لنيل شهادة ماستر، جوان 2012، صفحة 4-8.
- [34] <http://arabic.alibaba.com/product-gs/multi-functional-standard-laboratorysieves-533031415.html> (version 01/2016)
- [35] S. M. Lahalih, N. Ahmed, Effect of new soil stabilizers on the compressive strength of dune sand, King Fahd University of Petroleum and Minerals Research Institute, P.O. Box 1127, Dhahran 31261, Saudi Arabia, Construction and Building Materials, Vol.12 , 1998, page 321 -328.
- [36] Department of Meteorology and Geophysics, Physics Faculty, Sofia University, J. Bautcher 5, Sofia 1126, Bulgaria , Evaluation of electrical conductivity of shaly sands using the theory of mixtures , Journal of Petroleum Science and Engineering Vol.21, 1998, page 263–271.
- [37] Department of civil engineering India institute of technology powai Mumbai 400076 India , D. N. Singh, S. J.kuryan , k. Chakravarthy Manthena , A generalised

- relationship between soil electrical and thermal resistivities , Experimental thrmal and fluid Science Vol.25 ,2001, page 175-181.
- [38] D.A. Robinson, C.M.K. Gardner, J.D. Cooper, Measurement of relative permittivity in sandy soils using TDR, capacitance and theta probes: comparison, including the effects of bulk soil electrical conductivity, Journal of Hydrology ,Vol.223, 1999, page 198–211.
- [39] M. L. Mechri, S. Chihi , N. Mahdadi, S. Beddiaf, Study of Heat Effect on the Composition of Dunes Sand of Ouargla (Algeria) Using XRD and FTIR, Silicon, 20 January 2016, page 1-9.
- [40] M.L. MECHRI , S. CHIHI, Effect of heat on the crystalline phases in sand dunes of Ouargla region, Annales des Sciences et Technologie, Vol. 6, N° 2, Octobre 2014, page 172-177.
- [41] S. A. Mikhail, A.M. Turcotte, C. A. Hamer, Application of thermal techniques in the recovery of heavy minerals from oil-sand tailings, Mineral Sciences Laboratories, Canada Centre for Mineral and Energy Technology, Thermochemica Acta Vol.273, 1996, Page 103-111.
- [42] A. Al-Otoom, M. Al-Harashseh, M. Allawzi, S. Kingman, J. R. A. Al-Harashseh, A. Saeid, , Physical and thermal properties of Jordanian tar sand , Department of Chemical Engineering, Jordan University of Science and Technology, Irbid 22110, Jordan , Fuel Processing Technology , Vol. 106 , 2013,Page 174–180.
- [43] Google Earth (version 01/2016)
- [44] مصطفى عتقي، بسام معصراني، الموسوعة العربية، المجلد الخامس: الكيمياء و الفيزياء صفحة 330 .
- [45] علم البلورات و الأشعة السينية، نعيمة عبد القادر احمد، محمد أيمن سليمان، دار الفكر العربي، القاهرة، 2005.
- [46] EARTH 2001: X-Ray DiffractionNesse, Ch.8
- [47] د. أنور بطل؛ "الفيزياء الذرية و الجزيئية"، المطبوعات الجامعية، جامعة حلب، سوريا، 1989 .
- [48] Zettili Nouredine, “Quantum Mechanics-Concepts and Applications”, John Wiley, New York, Page 10-13 (2001)
- [49] Idir Toumert, TP: la technique XRF, n:01, CRNA, mai 2003 .
- [50] Lounis Chekour, TP: diffraction des rayons X, n:04, p 44, université de Constantine, mars 2008

- [51] H.R. Verma, "Atomic and Nuclear Analytical Methods", Springer, Berlin Heidelberg , New York, 2007, Page 3-13.
- [52] المطافيات بين النظرية والتطبيق، أ.د. أحمد خميس محمد سلامة، كلية العلوم بالزلفي - جامعة القصيم، المملكة العربية السعودية، 2010، صفحة : 84-109.
- [53] التحليل الطيفي الجزيئي، المؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني، الادارة العامة لتصميم و تطوير المناهج، المملكة العربية السعودية، صفحة: 47-48.
- [54] <http://www.encyclopedia.com/topic/resistivity.aspx> (version 01/2016)
- [55] J. Dzik, A. Lisinxka-czekaj, A. Zarycka, D. Czekaj, study of phase and chemical composition of $\text{Bi}_{1-x}\text{Nd}_x\text{FeO}_3$ powders derived by pressure less sintering, archives of metallurgy and materials, Vol 58, No. 4, 2013 , Page 1371-1376.
- [56] S. Lalitha, S.Zh. Karazhanov, P. Ravindran, S. Senthilarasu, R. Sathyamoorthy , J.Janabergenov, Electronic structure, structural and optical properties of thermally evaporated CdTe thin films, Physica B 387 ,2007, Page 227-238.
- [57] Wei, Die Bindung im Quarz, Zeitschrift fuer Kristallographie, Kristallgeometrie, Kristallphysik, Kristallchemie (-144,1977) 92,1935, Page 355-362.
- [58] P. Comodi, S. Nazzareni, P. F. Zanazzi, S. Speziale, High-pressure behavior of gypsum: A single-crystal X-ray study Locality: Valle di Caramanico, Abruzzo, Italy Note: $P = 0.0001$ GPa, American Mineralogist, Vol. 93, 2008, Page 1530-1537 .
- [59] A. López-Delgado, S.López-Andrés, I. Padilla, M.Alvarez, R. Galindo, A. J.Vázquez , Dehydration of Gypsum Rock by Solar Energy: Preliminary Study, Geomaterials, Vol.4, 2014, Page 82-91.
- [60] C. Bezou, A. Nonat, J. C. Mutin, A. N. Christensen, M. S. Lehmann, Of the crystal structure of gamma- CaSO_4 , $\text{CaSO}_4 \cdot 0.5(\text{H}_2\text{O})$, and $\text{CaSO}_4 \cdot 0.6(\text{H}_2\text{O})$ by powder diffraction methods Locality: Maurienne, France, Journal of Solid State Chemistry, Vol. 117, 1995, Pages 165-176.
- [61] K. S. Mamedov, N. V. Belov, The crystal structure of wollastonite, Doklady

- Akademii Nauk SSSR , Vol .107, 1956, Page 463-466.
- [62] J. J. Pluth, J. V. Smith, J. Faber, Crystal structure of low cristobalite at 10, 293, and 473 K: Variation of framework geometry with temperature
Sample: T = 473 K Locality: synthetic, Journal of Applied Physics 57,1985, Pages 1045-1049.
- [63] H.Yamamoto and G. C. Kennedy, Stability relation in the system CaSO₄-H₂O at high temperatures and pressure, American journal of science schairer, VOL. 267-A, 1969, Page 550-557.
- [64] S.Matsuya and M.Yamaned, Decomposition of Gypsum Bonded Investments, J Dent Res , Vol .60, N^o.8, August 1981, Page 1418-1423.
- [65] J. S. Bhaskar, Spectroscopic Estimation of Geometrical Structure Elucidation in Natural SiO₂ Crystal, J. Materials Physics and Chemistry, Vol . 2, 2013, Page 28-33.
- [66] R. Falcone, G. Sommariva, M. Verità, WDXRF, EPMA and SEM/EDX Quantitative Chemical Analyses of Small Glass Samples, Microchimica Acta, September 2006, Vol155, N^o.1, Pages 137-140.
- [67] D. Naumann, D. Helm, H. Labischinski, Microbiological characterizations by FT-IR spectroscopy ,Nature (1991), Page 35181–35182.
- [68] S. Gnanasaravanan, P. Rajkumar, Characterization of minerals in natural and manufactured sand in Cauvery River belt, Tamilnadu, India, Infrared Physics & Technology, Vol. 58, May 2013, Page 21–31.
- [69] S. Sivakumar, R. Ravisankar, A. Chandrasekaran, J. P. P. Jebakumar, FT-IR spectroscopic studies on coastal sediment samples form nagapattinum district, tamilnadu, india, International Research Journal of Pure & Applied Chemistry, Vol. 3, N^o.4 , 2013, Page 366 -376.
- [70] A. Estep, John J. Kovach, and Clarence Karr. Jr, Quantitative infrared multicomponent analysis of minerals occurring in coal. Am. Chem. Soc, Div. Fuel Chem , Prepr (United States), Vol.11, 1967, Page 171-184.

- [71] V. leskeviciene, D. nizeviciene, anhydrite binder calcined form phosphogypsum, *Ceramics – Silikáty* ,Vol 54, N°.2, 2010, Page 152-159 .
- [72] G. Anbalagan, A. R. Prabakaran, S. Gunasekaran, spectroscopic characterization of Indian standard sand ,*Journal of Applied Spectroscopy*, Vol 77, N°.1, March 2010, Page 86-94.
- [73] A.H. De Aza, X. Turrillas, M.A. Rodriguez, T. Duran, P. Pena, Time-resolved powder neutron diffraction study of the phase transformation sequence of kaolinite to mullite, *Journal of the European Ceramic Society*, Vol 34, N°. 5, May 2014, Pages 1409–1421.
- [74] X. Cao, R. Prozorov, Yu. Koltypin and G. Kataby, I. Felner, A. Gedanken ,*Synthesis of pure amorphous Fe₂O₃* , *Journal of materials research*, Vol. 12, No. 2, Feb 1997, Page 402-406 .
- [75] R. Senthil Kumar, and P.Rajkumar, Characterization of minerals in air dust particles in the state of Tamilnadu, India through ftir spectroscopy, *Atmos. Chem. Phys. Discuss*, Vol. 13, 2013, Page 22221-22248.
- [76] A. Boulmoxh, Y. Berredjem, K. Guerfi and A. Gheid, Kaolin from Djebel Debbagh Mine, Guelma, Algeria *Research Journal of Applied Sciences*, Vol. 2, N°.4, 2007, Page 435-440 .
- [77] Y. C. Sharma, G.S.Gupta, G. Prasad, and D. C. Rupainwar, use of wollastonite in the removal of Ni(II) from aqueous solutions , *Water, Air, and Soil Pollution*, Vol 49, N°.1-2 ,January 1990, Page 69-79.
- [78] Zhong-lai Yi, Heng-hu Sun, Chao Li, Yin-ming Sun, and Yu Li ,*Relationship between polymerization degree and cementitious activity of iron ore tailings*, *International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials* ,Vol. 17, No. 1 , February 2010, Page 16-20.
- [79] B. Plešingerová, G. Súčik, M. Fabián, surface area change of kaolin causing, *Acta Metallurgica Slovaca*, Vol. 17, No. 3, 2011, Page 169-176.
- [80] Dr. Salem, M. Musleh, Properties and Characterization of HDTMA- Cl Modified Jordanian Kaolinite and Its Use in Removal of Aniline from Aqueous Solution, *International Journal of scientific research*, Vol.3, N°.10,

- October 2014, Page 74-78.
- [81] F. M. Wahl, R. E. Grim, and R. B. Graf, Phase Transformation in Silica as Examined by Continuous X-RAY Diffraction, The American mineralogist, vol.46, January-february,1961, page 196-208.
- [82] Demelza hugh-jones, Thermal expansion of MgSiO₃ and FeSiO₃ ortho- and clinopyroxenes, American Mineralogist, Vol. 82, 1997, pages 689–696.
- [83] Introduction to Mineralogy, William D. Nesse, 2000. Introduction to Optical Mineralogy, William D. Nesse, 1991. Minerals in Thin Section, Dexter Perkins and Kevin R. Henke.
- [84] <http://www.sandb.com/wp-content/uploads/Physical-Properties-Overview.pdf> (version 02/2016)
- [85] S. O.Vilela, M. A. Soto-Oviedo, A. P. F. Albers, R. Faezd, Polyaniline and Mineral Clay-based Conductive Composites, Materials Research, Vol. 10, No. 3, 2007, pages 297-300.
- [86] S.P. Chaudhuri, P.Sarkar, A. K.Chakraborty, Electrical resistivity of porcelain in relation to constitution. Ceramics International, Vol .25 , No.1, 1999, page 91-99.

فهرس الجداول

15	الجدول I-1 بعض الخواص الفيزيو كيميائية لمكونات الرمل الرئيسية
16	الجدول I-2 تقسيم الرمال تبعاً لأبعادها
42	الجدول II-1 المواد المستخدمة كحوامل لعينات التحليل في مطياف FTIR
49	الجدول III-1 التحليل النوعي لنتائج انعراج الأشعة السينية للعينة الأصلية و العينات المسخنة من رمل كثبان منطقة ورقلة
50	الجدول III-2 التقدير شبه الكمي (بالنسبة المئوية %) للمركبات في العينة الأصلية
52	الجدول III-3 نتائج التحليل الكيميائي لعينة رمل أصلية باستخدام ED-XRF
52	الجدول III-4 نتائج التحليل الكيميائي ED-XRF لعينات الرمل المسخنة
54	الجدول III-5 نتائج التحليل الكيميائي للعينات الرمل المدروسة باستخدام WD-XRF
58	الجدول III-6 تحليل نتائج انعراج مطيافية الأشعة تحت الحمراء للعينة الأصلية و العينات المسخنة من رمل كثبان منطقة ورقلة
63	الجدول IV-1 نتائج قياس المقاومة الكهربائية لعينة الرمل الأصلية و العينات المسخنة
63	الجدول IV-2 المقاومة الكهربائية لأغلب مكونات الرمل
66	الجدول IV-3 الفقد الكتلي الحاصل بفعل التسخين عند درجات حرارة مختلفة
73	الجدول IV-4 تركيز الأطوار البلورية الموجودة بعينة الرمل الأصلية و العينات المسخنة
74	الجدول IV-5 تركيز أكسيدي السيليسيوم و الكبريت الموجودة بعينات الرمل، الأصلية و المسخنة
76	الجدول IV-6 درجة التبلور في عينة الرمل الطبيعية و العينات المسخنة
82	الجدول 1 متوسط التركيب الكيميائي للقشرة الأرضية
83	الجدول 2 تراكيز أغلب العناصر الموجودة في رمل كثبان منطقة ورقلة

فهرس الأشكال

- 8 الشكل I-1 مراحل تكوين كتيب الرمل
- 8 الشكل I-2 الكتيان الهلالية
- 9 الشكل I-3 الكتيان المستعرضة
- 9 الشكل I-4 الكتيان الطولية
- 9 الشكل I-5 الكتيان النجمية
- 10 الشكل I-6 توزع الكتيان الرملية الصحراوية في العالم
- 11 الشكل I-7 توزع الكتيان الرملية الصحراوية في الجزائر
- 12 الشكل I-8 البنية البلورية للكوارتز، و صورة له
- 12 الشكل I-9 التحولات الطورية للكوارتز
- 13 الشكل I-10 البنية البلورية للجبس و صورة له
- 13 الشكل I-11 التحولات الطورية للجبس
- 14 الشكل I-11 البنية البلورية للكلس و صورة له
- 17 الشكل I-12 المناخل المستخدمة في تحديد البعد الحبي للرمل
- 17 الشكل I-13 مقياس استدارة الحبات
- 18 الشكل I-14 النسيج السطحي لحبات الرمل الكوارتزيتية باستخدام جهاز المجهر الإلكتروني الماسح
- 19 الشكل I-15 التصنيف الحبي
- 20 الشكل I-16 تحليل سطح عينات من الرمل مختلفة الألوان باستخدام تقنية EDS
- 22 الشكل I-17 المسامية في الرمال الكوارتزيتية
- 25 الشكل II-1 كتيان منطقة ورقلة و العرق الشرقي الكبير
- 25 الشكل II-2 الجهاز المستخدم في طحن عينات الرمل
- 26 الشكل II-3 الفرن الكهربائي المستخدم للتسخين و الأواني الخزفية
- 26 الشكل II-4 حفظ العينات في علب بلاستيكية مغلقة

- 27 الشكل II-10 الشبكة البلورية و الخلية
- 28 الشكل II-11 قرائن ميلر لبعض المستويات البلورية في بلورة مكعبة
- 28 الشكل II-12 إنعراج الأشعة السينية
- 29 الشكل II-13 مخروط الانعراج باستخدام شريط تسجيل حسّاس (فلم)
- 30 الشكل II-14 طيف الانعراج باستخدام العداد أو الكاشف المتحرك
- 30 الشكل II-15 صورة لجهاز XRD المستخدم خلال هذه الدراسة
- 31 الشكل II-16 مخطط انعراج أشعة سينية
- 32 الشكل II-17 الأدوات المستخدمة لتحضير العينات للقياس XRD
- 32 الشكل II-18 الفعل الكهروضوئي
- 33 الشكل II-19 ظاهرة كومتون
- 33 الشكل II-20 الإلكترونات الكهروضوئية
- 34 الشكل II-21 مبدأ عمل مطيافية التحليل بفلورة الأشعة السينية من نوع ED-XRF
- 34 الشكل II-22 مبدأ عمل مطيافية التحليل بفلورة الأشعة السينية من نوع WD-XRF
- 35 الشكل II-23 جهازا التحليل بفلورة الأشعة السينية
- 36 الشكل II-24 منحني الطيف الذي نتحصل عليه من خلال تقنية الفلورة بالأشعة السينية
- 37 الشكل II-25 جهاز الطحن و إنائه المستخدم في تقنية ED-XRF
- 37 الشكل II-26 جهاز ضغط العينات و نموذج إحدى العينات في تقنية ED-XRF
- 38 الشكل II-27 جهاز ضغط العينات و نموذج إحدى العينات في تقنية WD-XRF
- 39 الشكل II-28 إهتزازات الشد
- 40 الشكل II-29 إهتزازات الشني
- 40 الشكل II-31 مخطط لمطياف FTIR
- 41 الشكل II-32 مطياف FTIR المستخدم في الدراسة
- 41 الشكل II-33 نموذج لطيف امتصاص FTIR
- 43 الشكل II-34 الأدوات المستخدمة في تحضير عينات التحليل الطيفي بالأشعة تحت الحمراء
- 44 الشكل II-35 سلك ذو شكل اسطواني
- 44 الشكل II-36 مخطط التركيب المتبع لقياس المقاومة النوعية
- 45 الشكل II-37 أبعاد العينة قبل إجراء القياس الكهربائي
- 45 الشكل II-38 واجهة برنامج (Match!2) المستخدم في تحليل نتائج مخططات انعراج الأشعة السينية

- 47 الشكل III-1 مخطط انعراج الأشعة السينية المسجل على العينة الأصلية
- 48 الشكل III-2 مخططات انعراج الأشعة السينية على العينة الأصلية و العينات المسخنة من رمل كثبان منطقة ورقلة
- 53 الشكل III-3 تغير نسبة أكسيد السيليسيوم و أكسيد الكبريت بدلالة درجة حرارة التسخين
- 56 الشكل III-4 طيف امتصاص الأشعة تحت الحمراء للعينة الأصلية
- 57 الشكل III-5 أطيايف امتصاص الأشعة تحت الحمراء لمختلف العينات
- 60 الشكل III-6 تلون سطح العينة المسخنة بدرجة 1200°C باللون الأخضر المصفرو الأحمر
- 61 الشكل III-7 ملخص التحولات الطورية و الكيميائية لرمل كثبان ورقلة بفعل الحرارة في المجال $[200 - 1200^{\circ} \text{C}]$
- 63 الشكل IV-1 المقاومة الكهربائية لعينات الرمل الطبيعية و المسخنة
- 65 الشكل IV-2 تغيرات المقاومة الكهربائية لرمل كثبان ورقلة بدلالة درجة حرارة التسخين
- 66 الشكل IV-3 معدلات الفقد الكتلي الحاصل في العينات المسخنة
- 73 الشكل IV-4 الفقد الكتلي الحاصل أثناء عمليات التسخين لعينة من رمل كثبان منطقة ورقلة
- 74 الشكل IV-5 مقارنة بين نتائج الفقد الكتلي (ML) و نتائج الـ XRF
- 75 الشكل IV-6 قمتا الامتصاص اللتان تُحسَب من خلالهما درجة تبلور الكوارتز في عينة الرمل الطبيعية
- 76 الشكل IV-7 قمتا الامتصاص اللتان تُحسب من خلالهما درجة التبلور في العينات المسخنة
- 77 الشكل IV-8 تغير درجة تبلور الكوارتز في رمل الكثبان بدلالة درجة حرارة التسخين

الفهرس

i	إهداء
iii	كلمة شكر
1	مقدمة عامة
	الفصل الأول: عموميات عن رمل الكثبان.
6	مقدمة الفصل الأول
7	1-1 أصل الكثبان الرملية و كيفية تشكلها و أنواعها
8	أ- الكثبان الهلالية
9	ب- الكثبان المستعرضة
9	ج- الكثبان طولية
9	د- الكثبان نجمية
10	2-1 توزع الكثبان الرملية في العالم، في الجزائر
11	3-1 المكونات الرئيسة لرمل الكثبان
11	أ- الكوارتز
12	ب- الجبس أو الجص
14	ج- الحجر الكلسي؛ أو الكالسييت
16	4-1 الخصائص العامة لرمل الكثبان
16	1-4-1 الخصائص الفيزيائية للرمل
16	1-1-4-1 الخصائص الحبية
16	أ- قياس الحبات
17	ب- أشكال الحبات
18	ج- التصنيف الحبي
19	2-1-4-1 ألوان الرمل

20	2-4-I الخصائص الكيميائية للرمل
20	1-2-4-I المكونات المعدنية
21	أ- المعادن الأولية
21	ب- المعادن الثانوية
21	2-2-4-I المكونات العضوية
21	3-4-I الخصائص البتروفيزيائية للرمال و الأحجار الرملية الكوارتزية
22	5-I استغلال رمل الكثبان و أهميتها الاقتصادية
23	5-I أنواع الدراسات على الرمل

الفصل الثاني: الأدوات و الطرق المستخدمة للقياس

24	مقدمة الفصل الثاني
25	1-II نبذة عن منطقة الدراسة
25	2-II تحضير العينات للدراسة
27	3-II القياسات الطيفية XRD، XRF و FTIR
27	1-3-II تقنية التحليل بانعراج الأشعة السينية XRD
27	1-1-3-II أساسيات تقنية XRD
27	أ- البنية البلورية
28	ب- قانون براغ
29	2-1-3-II مبدأ عمل تقنية XRD
31	3-1-3-II طريقة التحليل النوعي و الكمي لنتائج تقنية XRD
31	4-1-3-II تحضير العينة للقياس XRD
32	2-3-II مطيافية التحليل بفلورة الأشعة السينية XRF
32	1-2-3-II أساسيات تقنية XRF و مبدأ عملها
34	مطيافية التحليل بفلورة الأشعة السينية ED-XRF
34	مطيافية التحليل بفلورة الأشعة السينية WD-XRF
36	2-2-3-II التحليل النوعي و الكمي لنتائج تقنية XRF
36	أ- التحليل النوعي
36	ب- التحليل الكمي
37	3-2-3-II تحضير العينة للقياس XRF

- 38 3-3-II مطيافية امتصاص الأشعة تحت الحمراء بتحويل فورييه FTIR
- 38 1-3-3-II أساسيات تقنية FTIR
- 40 2-3-3-II مبدأ عمل تقنية FTIR
- 41 3-3-3-II طريقة التحليل النوعي و الكمي لتتائج تقنية FTIR
- 42 4-3-3-II تحضير عينات للتحليل بواسطة FTIR
- 43 4-II القياسات الكهربائية
- 43 1-4-II طريقة قياس المقاومة الكهربائية
- 44 2-4-II تحضير العينة للقياس الكهربائي
- 45 5-II برامج تحليل المعطيات التجريبية

الفصل الثالث: نتائج القياسات الطيفية: تحليلها و مناقشتها

- 46 مقدمة الفصل الثالث
- 47 1-III مناقشة نتائج تقنية انعراج لأشعة السينية XRD
- 51 2-III مناقشة نتائج مطيافية التحليل بالفلورة الأشعة السينية XRF
- 51 أ- مطيافية الفلورة المعتمدة على طاقة الأشعة السينية المتبعثرة ED-XRF
- 53 ب- مطيافية الفلورة المعتمدة على طول موجة الأشعة السينية المتبعثر WD-XRF
- 55 3-II مناقشة نتائج مطيافية امتصاص الأشعة تحت الحمراء FTIR

الفصل الرابع: نتائج القياسات الكهربائية و الفقد الكتلي : تحليلها و مناقشتها

- 62 مقدمة الفصل الرابع
- 63 1-IV مناقشة نتائج المقاومة الكهربائية
- 66 2-IV مناقشة نتائج الفقد الكتلي
- 67 1- استنباط التراكيز البلورية المتواجدة بعينة الرمل الأصلية و العينات المسخنة
- 68 أ- حساب تركيز الكوارتز و الجبس في العينة الأصلية
- 69 ب- حساب تركيز الكوارتز و anhydrite و bassanite في العينة المسخنة بدرجة
200 °C
- 70 ج- حساب تركيز الكوارتز و anhydrite في العينات المسخنة بـ 400-800 °C
- 70 د- حساب تركيز الكوارتز و anhydrite و wollastonite في العينة المسخنة
بدرجة 1000 °C
- 72 هـ- حساب تركيز الكوارتز و wollastonite في العينة المسخنة بدرجة 1200 °C

74	2- المقارنة بين نتائج فقد الكتلي ML، و نتائج مطيافية الـXRF
75	3- درجة تبلور الكوارتز
78	خلاصة عامة
82	الملحقات
84	المراجع
92	فهرس الجداول
93	فهرس الأشكال
96	الفهرس

مختصر:

حُدِّدَتْ في هذا العمل مختلفُ التراكيبِ المكوِّنةِ لرمْلِ كَثبانِ منطقةِ ورقلة، مصحوبةً ببعضِ تراكيزها، و ذلك باستخدام تقنيات التحليل الطيفي: إنعراج الأشعة السينية (XRD) و فلورة الأشعة السينية (XRF) و مطيافية الأشعة تحت الحمراء بتحويل فورييه (FTIR). لقد تبينَ أن هذا الرمل يتكوَّن أساساً من طورين بلوريين هما الكوارتز- α بتركيز % 63.8 و الجبس بتركيز % 36.2، كما يحوي مركبات أخرى غير بلورية و عضوية كالـhematite و الـkaolinite بتركيزات تكاد تكون مهملةً. عُرفتْ كلُّ التفاعلات الكيميائية و التحولات الطورية و البنيوية الحاصلة في الرمل عند تسخينه في المجال [200-1200 °C]. حُسِبَتْ نسبة السيليكا في عينات الرمل المسخنة عند هذه الدرجات. قيسَتْ كذلك المقاومة الكهربائية لعينات الرمل الطبيعية و المسخنة، و عُرفَ سلوكُها مع حرارة التسخين. قيسَ أيضاً الفقدُ الكتلي الحاصل للعينات المسخنة، و استُخدمَ لاستنباط تراكيز الأطوار البلورية المكونة للرمل الطبيعي و المسخن.

Abstract:

In this work, different compositions of Ouargla sand dunes have been determined, together with some of their concentrations, using spectral analysis techniques: X-ray diffraction (XRD), X-ray fluorescence (XRF) and infrared spectroscopy by transforming the Fourier (FTIR). It has been shown that the sand consists essentially of two crystal phases: quartz- α of a concentration of (63.8%) and gypsum with (36.2%). In addition, it contains other non-crystalline and organic compositions such as hematite and kaolinite with concentrations which are almost negligible. All chemical interactions phase and structural transformations are known in the sand when it is heated to a temperature of [200-1200 °C]. Silica concentrations in the sand heated samples were calculated. The electrical resistivity of these natural samples and heated sand was measured, and its behavior was determined according to the heating temperature. Mass loss in the heated samples was also measured. It has been used to deduce the concentrations of the crystalline phases which form natural and heated sands.

Résumé:

Dans le présent travail, de différentes compositions des dunes de sable de Ouargla ont été déterminées, ainsi que certaines de leurs concentrations, en utilisant des techniques d'analyse spectrales: diffraction des rayons X (XRD), la fluorescence des rayons X (XRF) et la spectroscopie infrarouge en transformant le Fourier (FTIR). Il a été démontré que ce sable se compose essentiellement de deux phases cristallines: le quartz- α d'une concentration de (63.8%) et le gypse avec (36.2%). En outre, il contient d'autres compositions non-cristallines et organiques comme l'hématite et la kaolinite avec des concentrations qui sont presque négligeables. Toutes les interactions chimiques, les transformations de phases et structurelles sont connues dans le sable quand il est chauffé à une température de [200-1200 °C]. Les concentrations de silice dans les échantillons du sable chauffé ont été calculées. La résistivité électrique de ces échantillons naturels et chauffés du sable a été mesurée, et son comportement a été déterminé en fonction de la température du chauffage. Les pertes de masse dans les échantillons chauffés ont été également mesurées. Elles ont été utilisées pour déduire les concentrations des phases cristallines qui forment les sables naturels et chauffés.