الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

جامعة الشهيد حمة لخضر - الوادي

كلية العلوم الدقيقة

قسم الفيزياء

رقم الترتيب:
رقم التسلسل:

مذكرة تخرج لنيل شهادة

ماستر أكاديمي

مجال: علوم المادة

تخصص: فيزياء إشعاع

من إعداد الطالب: غريب عبد الحميد

الموضوع:

دراسة عامة لمادة جبس منطقة الفولية بالوادي

نوقشت يوم 2022/06/16

أمام لجنة المناقشة المكونة من الأساتذة:

• مفتاح محمد الصالح	أستاذ مساعد صنف أ	رئيساً
• ميموني مراد	أستاذ محاضر صنف أ	مناقشاً
• محبوب محمد الصادق	أستاذ تعليم عالي	مؤطراً

الموسم الجامعي 2021 – 2022

تم إنجاز هذا العمل في مخبر استغلال وتثمين المصادر الطاقوية الصحراوية – LEVERS -

بسم الله الرحمن الرحيم

إهداء

إلى روح أبي وأمي الطاهرتين رحمهما الله

إلى زوجتي وشريكة حياتي

إلى إبني العزيز

إلى إخوتي وأخواتي

أهديكم ثمرة هذا العمل المتواضع

عبد الحميد غريب

شكر وتقدير

بداية نحمده تعالى ونشكره على توفيقه ومنه علينا لإتمام هذا العمل المتواضع،
ونصلي ونسلم على سيدنا محمد وعلى آله وصحبه أجمعين.

أتقدم إلى أستاذي الفاضل الأستاذ الدكتور « محمد الصادق محبوب» أستاذ التعليم العالي بجامعة الشهيد حمه لخضر بالوادي بجزيل الشكر والتقدير والعرفان بالجميل لتفضله بقبول الإشراف على هذا العمل، ولما قدمه من علم وجهد ووقت ثمين، فقد كانت لتوجيهاته السديدة، وملاحظاته القيمة، الفضل الأكبر في إتمام هذا العمل.

كما أتقدم بالشكر للأستاذ «غاني ريحية» على كل ما قدمه لي من وقته وجهده وعلمه وساعدني بالنصح والتوجيه.

كما أتقدم بالشكر أيضا لأساتذتي الأجلاء الأستاذ «مفتاح محمد الصالح» لقبوله ترأس اللجنة المناقشة،
والدكتور «مراد ميموني» لقبوله مناقشة هذه المذكرة وعلى كل ما قدمه لي من وقته وجهده وعلمه.

وأتقدم أيضا بالشكر الجزيل للأستاذ الدكتور «فرحات رحومة» مدير مخبر استغلال وتثمين المصادر الطاقوية الصحراوية (LEVRES) على كل التسهيلات التي قدمها لنا، دون أن ننسى كذلك مهندس المخبر «عثمان قدة».

شكر خاص للمهندس «بشير حراث» مدير الأشغال العمومية لولاية الوادي على كل مساعداته لي لإنجاح هذا العمل، كما أشكر جميع الزملاء وأخص بالذكر المهندس « جعفر ذياب» رئيس مصلحة تنمية منشآت الطرق، والمهندس «مزدواد منير» مدير مخبر الأشغال العمومية بالجنوب.

كما لا أنسى جميع الذين ساهموا من قريب أو بعيد ولو بشطر كلمة لحبس سير هذا العمل، وأخص بالذكر طالبة الدكتوراه «فرجس سعادي» التي ندعو الله لها بالتوفيق، وكذلك بكلية علوم الطبيعة والحياة كل من مسؤولة المخبر «سناء قوبي» والمهندس «أعمر خنوفة» مهندس دولة في المخابر الجامعية.

كذلك أتوجه بالشكر الجزيل للأستاذ الدكتور «عماد عمادنة» من الجامعة الأردنية (الأردن) على دوره الكبير في وضع أساس هذا الموضوع.

عبد الحميد غريب

فهرس المحتويات

العـــنـــوان	الصفحة
الإهداء	ii
شكر وتقدير	iii
فهرس المحتويات	iv
قائمة الرموز	viii
قائمة الأشكال	ix
قائمة الجداول	xiv
المقدمة العامة	xv
مراجع المقدمة العامة	xvii

I- الفصل الأول: الجبس

I-1- مقدمة	2
I-2- تعريف الجبس	2
I-3- ظروف التكوين والترسيب	4
I-4- الجبس عبر العصور	5
I -5- استخراج الجبس ومراحل تحضيره	8
I-5-1- الطريقة التقليدية	8
I-5-2- الطريقة الحديثة	10
I-6- أماكن تواجد الجبس وانتاجه	13
I-6-1- أماكن تواجده في العالم	13
I-6-2- أماكن تواجده في الجزائر	14
I-6-3- إنتاج الجزائر من الجبس	16
I-6-4- الموقع الجغرافي لمنطقة الدراسة	16
I-7- أنواع الجبس	17
I-7-1- الجبس الطبيعي	17

I-2-7- الجبس الاصطناعي 20
I-8- جبس باريس Plaster of Paris 20
I-9- الجبس المقاوم للماء والرطوبة 21
I-10- الإسمنت 21
I-11- خصائص الجبس 22
I-12- استعمالات الجبس 23
I-12-1- صناعة مواد البناء 23
I-12-2- صناعة المواد الغذائية 23
I-12-3- في مجال الزراعة 24
I-12-4- الصناعة الطبية 25
I-12-5- النمذجة والنحت والفن 25
I-13- إعادة تدوير مادة الجبس 25
خاتمة الفصل الأول 26
مراجع الفصل الأول 27

II-الفصل الثاني: التقنيات والوسائل المستعملة

II–1- طرق الفصل الكيميائي والفيزيائي 31
II–1-1- الترسيب 31
II–1-2- الغربلة 31
II–1-3- التبلور والترسيب 32
II–1-4- جهاز الطرد المركزي 32
II–2– تقنية انعراج الأشعة السينية 33
II–2-1- مقدمة 33
II–2-2- تعريف الاشعة السينية 33
II–2-3- تاريخ الأشعة السينية 34
II–2-4- توليد الأشعة السينية 36
II–2-4-1- مكونات أنبوبة الأشعة السينية 36
II–2-5- خصائص الأشعة السينية 37

II-2-6- انعراج الأشعة السينية (X-Ray diffraction) 38
II-2-6-1- مبدأ انعراج الاشعة السينية 38
II-2-6-2- قانون براغ 39
II-2-7- الطرق التجريبية لانعراج الأشعة السينية المستخدمة 40
II-2-7-1- طريقة المسحوق (طريقة ديباى وشيرار) 41
II-2-7-2- جهاز انعراج الأشعة السينية 42
II-2-8- استعمالات الأشعة السينية 44
II-3 مطيافية الأشعة تحت الحمراء 45
II-3-1- مقدمة 45
II-3-2- تعريف الأشعة تحت الحمراء 45
II-3-3- مطيافية الأشعة تحت الحمراء (IR Spectroscopy) 46
II-3-4- مبدأ مطيافية الامتصاص للأشعة تحت الحمراء 47
II-3-5- عملية امتصاص الأشعة تحت الحمراء 48
II-3-6- امتصاص طيف الأشعة تحت الحمراء والانتقال بين مستويات الطاقة 48
II-3-7- أنواع الاهتزازات الجزيئية 49
II-3-8- المناطق المميزة في طيف الأشعة تحت الحمراء 51
II-3-8-1- استخدامات طيف الأشعة تحت الحمراء 51
II-3-8-2- تحويل فورييه للأشعة تحت الحمراء (FTIR) 52
II-3-8-3- مطياف تحويل فورييه للأشعة تحت الحمراء (FTIR) 52
II-3-9- تطبيقات الأشعة تحت الحمراء 54
خاتمة الفصل الثاني 55
مراجع الفصل الثاني 56

III- الفصل الثالث: النتائج ومناقشتها

III-1- مقدمة 60
III-2- تحضير العينات 60
III-3- نتائج إنعراج الأشعة السينية 65
III-3-1- النتائج المتحصل عليها في المرحلة الأولى 66

III-3-2- النتائج المتحصل عليها في المرحلة الثانية 67
III-4- تحسين النتائج المتحصل عليها للأشعة السينية 68
III-4-1- تحسين نتائج الانعراج باستخدام طريقة ريتفلد Rietveld 68
III-4-2- تحسين النتائج المتحصل عليها للأشعة السينية للعينات 70
III-4-2-1 تحسين النتائج المتحصل عليها في المرحلة الأولى 70
III-4-2-2 تحسين النتائج المتحصل عليها في المرحلة الثانية 73
III-5- النتائج المتحصل عليها للأشعة تحت الحمراء (FTIR) 74
III-5-1- الجهاز المستعمل لمطيافية للأشعة تحت الحمراء (FTIR) 74
III-5-2- النتائج المتحصل عليها للأشعة تحت الحمراء (FTIR) 74
III-5-2-1 النتائج المتحصل عليها لـ FTIR في المرحلة الأولى 75
III-5-2-2 النتائج المتحصل عليها لـ FTIR في المرحلة الثانية 76
III-6- مناقشة النتائج 77
III-6-1- مناقشة النتائج المتحصل عليها للأشعة السينية 77
III-6-2- مناقشة النتائج المتحصل عليها للأشعة تحت الحمراء (FTIR) 78
خلاصة الفصل الثالث 81
مراجع الفصل الثالث 82
الخاتمة العامة 83
ملخص 84

قائمة الرموز

الرموز	تعريف الرمز
Atm	ضغط جوي
FAO	المنظمة العالمية للتغذية والزراعة
Clinker	أحد مكونات الأسمنت
FG200	جبس مطحون، غذائي ذو درجة نقاء عالية يستخلص من مصادر طبيعية
X-Rays	الأشعة السينية
Å	أنغستروم ويساوي 10^{-10} m
δ	الفرق في المسير بين شعاعين
n	عدد صحيح يمثل رتبة التشتت
λ	طول الموجة (Å)
d_{hkl}	المسافة الشبكية بين المستويات البلورية (Å)
θ	زاوية الانعراج لبراغ (°)
hkl	قرائن ملر
XRD	انعراج الأشعة السينية
FTIR	تحويل فورييه للأشعة تحت الحمراء (Fourier Transform InfraRed)
$\bar{\nu}$	العدد الموجي
ν	التردد
c	سرعة الضوء
μ	عزم ثنائي القطب
e_i	حجم الشحنات الذرية
r_i	مواقع الشحنات الذرية
LED	الثنائي الباعث للضوء (Light Emitting Diode)
GoF	معامل التوافق أو معامل وجود التطابق
R_{wp}	عامل موثوقية الشكل الجانبي الموزون
$y_i(obs)$	الشدة الملاحظة
$y_i(calc)$	الشدة المحسوبة
w_i	عامل التوزين
R_{exp}	عامل الموثوقية المتوقع
N	عدد النقاط في طيف انعراج المسحوق الملاحظ
P	عدد الوسائط المحسنة
ICDD	المركز الدولي لبيانات الانعراج

قائمة الأشكال

الشكل		الصفحة
الفصل الأول: الجبس		
الشكل I-01:	حجر جبسي من منطقة الفولية بولاية الوادي الجزائر	3
الشكل I-02:	حجارة جبسية تسمى "وردة الرمال" لمناطق مختلفة من الجزائر	3
الشكل I-03:	رسم تخطيطي توضيحي لتكوين الرواسب المتبخرة	4
الشكل I-04:	المعادن الرئيسية في تسلسل التبخر	4
الشكل I-05:	صورة بالجبس من داخل الأهرامات بمصر	5
الشكل I-06:	ثيران آشور المجنحة برأس إنسان خورساباد، متحف اللوفر فرنسا	5
الشكل I-07:	صومعة الخروب (ما يعتقد أنه ضريح الملك ماسينيسا)	6
الشكل I-08:	لجدار، آثار لـ 13 هرما، تقع غرب مدروسة بمنطقة توسنينة بتيارت	6
الشكل I-09:	تيمقاد المدينة الرومانية الاثرية، ولاية باتنة، الجزائر	7
الشكل I-10:	قصر المشوار بتلمسان	7
الشكل I-11:	دير وست منستر (Westminster)، لندن	7
الشكل I-12:	قلعة نوتنغهام (Nottingham Castle)، لندن	7
الشكل I-13:	مسجد سيدي مسعود الشابي بالوادي.	8
الشكل I-14:	غيطان النخيل تظهر فيها صخور الجبس (التافزة) وقد تم قطعها لغرس النخيل والمزروعات بالقرب من المياه الجوفية.	9
الشكل I-15:	حجارة الجبس (التافزة) بمنطقة الفولية	9
الشكل I-16:	أفران قديمة تقليدية بحي المنظر الجميل(القارة).	9
الشكل I-17:	صورة قديمة من حي المنظر الجميل(القارة) يظهر فيها رجال يملؤون الكوشة أو الفرن بحجارة التافزة.	9
الشكل I-18:	صورة قديمة لجبس مكلس تقليديا بالحطب.	10
الشكل I-19:	صورة لجبس الفولية مكلس بالمازوت.	10
الشكل I-20:	رسم تخطيطي يوضح مراحل انتاج الجبس بمصنع الزغيبات.	10
الشكل I-21:	منظر لمنجم جبس.	11
الشكل I-22:	وضع الجبس داخل كسارة الحجارة.	11
الشكل I-23:	عملية غسل الجبس لنزع الشوائب.	12
الشكل I-24:	أجهزة غسل وتنظيف الجبس من الشوائب.	12

الشكل I-25:	نقل الجبس من وحدة التكسير ونزع الشوائب إلى الفرن لعملية الكلسنة.	12
الشكل I-26:	أفران الجبس.	12
الشكل I-27:	صورة يظهر فيها الفرن من الداخل.	12
الشكل I-28:	طحن الجبس.	12
الشكل I-29:	مستودعات الجبس.	12
الشكل I-30:	إجراء مجموعة من الاختبارات على العينات المأخوذة قبل تعبئة المنتج.	13
الشكل I-31:	صورة تظهر تعبئة الجبس في أكياس.	13
الشكل I-32:	خريطة توضح أماكن تواجد الجبس في إفريقيا الشمالية الغربية، في الجزائر وفي ولاية الوادي وهي مأخوذة من خريطة إفريقيا بالموقع الرسمي للمنظمة العالمية للتغذية والزراعة FAO على الانترنت.	15
الشكل I-33:	خريطة توضح أماكن تواجد الجبس في الجزائر وهي مأخوذة من خريطة إفريقيا بالموقع الرسمي للاتحاد الأوروبي على الإنترنت.	15
الشكل I-34:	يظهر أكبر الدول إنتاجا لمادة الجبس من 2010 إلى 2021.	16
الشكل I-35:	خريطة قوقل تظهر بها منطقة الفولية ببلدية الرقيبة وهي شمال مقر ولاية الوادي.	17
الشكل I-36:	حجر من الجبس نوع سيلينيت.	18
الشكل I-37:	حجارة جبس نوع سيلينيت ويسمى وردة الرمال من الجزائر ولاية الوادي.	18
الشكل I-38:	جرة مصنوعة من جبس المرمر الشفاف الجميل.	18
الشكل I-39:	جبس على شكل مرمر يستخدم للعديد من الأغراض الزخرفية	18
الشكل I-40:	حجارة جبس من نوع الجبسيت	19
الشكل I-41:	حجر من الجبس نوع Stain Spar	19
الشكل I-42:	تستخدم محطة الطاقة Drax التي تعمل بالفحم في المملكة المتحدة أنظمة إزالة الكبريت، التي تم تركيبها بين عامي 1993 و1996	20
الشكل I-43:	جبس باريس (ما يسمى بجص باريس)	20
الشكل I-44:	براءة اختراع لطريقة صنع مادة تعتمد على الجبس المقاوم للماء	21
الشكل I-45:	ألواح مقاومة للرطوبة - أسقف وألواح جبس بارتيكس.	21
الشكل I-46:	البانثيون الروماني، مازال معلمًا سياحيًا شهيرًا، يقع في وسط روما القديمة به قبة خرسانية يبلغ عمرها 2000 عام وقطرها 43.3 مترًا.	22
الشكل I-47:	يستخدم الجبس المطحون فائق النعومة الأبيض كمادة مضافة في تصنيع المواد الغذائية للمنتجات، والكأس على اليمين يحتوي على كبريتات الكالسيوم الغذائية.	24
الشكل I-48:	صورة تظهر استعمال الجبس في المزروعات.	24

الشكل I-49: استخدام الجبس في علاج كسور. 25
الشكل I-50: مصنع يوشينو للجبس في اليابان: إعادة تدوير ألواح الجبس هي جزء لا يتجزأ من عملية التصنيع التي تنتج ألواح جص جديدة. 25

الفصل الثاني: التقنيات والوسائل المستعملة

الشكل II-01: غربال اختبار من W.S. Tyler 31
الشكل II-02: أشكال للأنبوبة التي استخدمها رونتجن لإنتاج الأشعة السينية. 34
الشكل II-03: أول صورة في مكان عام بالأشعة السينية ليد عالم التشريح ألبرت فون كوليكر. 34
الشكل II-04: أحد أقدم الأمثلة على التحليل الطيفي للأشعة السينية (W. H. Bragg and W. L. Bragg). 35
الشكل II-05: أول فهرس صدر بواسطة: American Society for testing materials. 36
الشكل II-06: مخطط توضيحي لأنبوبة توليد الأشعة السينية. 37
الشكل II-07: موجات الضوء التي تشغل نفس الفضاء تتعرض للتداخل، وتتحد لتنتج موجات ذات شدة أكبر (a) أو أقل (b)، اعتمادًا على الفصل بين الحدود القصوى والدنيا. 38
الشكل II-08: الموجتان 1 و2 يتداخلان بشكل بناء إذا اختلاف مسارهما $\delta=n\lambda$ 39
الشكل II-09: رسم توضيحي يبين كيفية استنتاج قانون براغ 40
الشكل II-10: يوضح العلاقة بين المسافات الشبكية d_{hkl} وتغير اتجاه البلورة 40
الشكل II-11: التشتت في مسحوق الأشعة السينية 41
الشكل II-12: رسم توضيحي لطريقة ديباي وشيرر 42
الشكل II-13: كاميرا ديباي-شيرر 42
الشكل II-14: أمثلة لانعراج الأشعة السينية في المسحوق 42
الشكل II-15: جهاز الانعراج الآلي 42
الشكل II-16: رسم تخطيطي لجهاز انعراج الأشعة السينية 44
الشكل II-17: صور مأخوذة بالأشعة السينية. 44
الشكل II-18: جزء من الطيف الكهرومغناطيسي يوضح علاقة الأشعة تحت الحمراء الاهتزازية بأنواع الإشعاع الأخرى. 45
الشكل II-19: الطيف الكهرومغناطيسي. 46
الشكل II-20: امتصاص الأشعة تحت الحمراء. 48
الشكل II-21: زوايا توجيه الجزيء 49
الشكل II-22: الاهتزاز بالتمدد والانكماش المتماثل وغير المتماثل. 50

الشكل II-23: يوضح أنواع الاهتزاز بالإنحناء 50
الشكل II-24: المناطق التقريبية للإمتصاصات الشائعة في طيف الأشعة تحت الحمراء 52
الشكل II-25: مطياف الأشعة تحت الحمراء مزود بتحويلات فورييه FTIR 53

الفصل الثالث: النتائج ومناقشتها

الشكل III-01: تحضير عينة من الحجر الجبسي لمنطقة الفولية 60
الشكل III-02: وضع العينة (C) في دورق يضاف إليها الماء المقطر. 61
الشكل III-03: وضع الدورق على جهاز الرج والتسخين 61
الشكل III-04: عملية فصل الماء لتبقى في الدورق المادة المترسبة فقط 62
الشكل III-05: وضع كل العينات C1، C2 وC3 في المجفف 62
الشكل III-06: صورة بالمجهر الضوئي للغربال الأول تظهر مقاسات فتحاته المقدرة بالتقريب $1.5\mu m \times 0.4\mu m$. 63
الشكل III-07: صورة بالمجهر الضوئي للغربال الثاني تظهر مقاسات فتحاته المقدرة بالتقريب $1.6\mu m \times 1\mu m$. 63
الشكل III-08: غربلة العينة (D) 63
الشكل III-09: مخطط يوضح جميع خطوات المرحلة الأولى. 64
الشكل III-10: جبس أولاد جلال 64
الشكل III-11: مخطط يوضح جميع خطوات المرحلة الثانية. 65
الشكل III-12: جهاز الانعراج الآلي للأشعة السينية PROTO AXRD Benchtop powder diffraction 66
الشكل III-13: توضيح لجهاز الانعراج الآلي ذو التركيبة $(\theta - 2\theta)$. 66
الشكل III-14: مخطط الانعراج للعينات (A) و(N). 66
الشكل III-15: مخطط الانعراج لنواتج الترسيب (C1)، (C2) و(C3). 67
الشكل III-16: مخطط الانعراج للعينات الناتجة عن الغربلة (P1)، (P2) و(P3). 67
الشكل III-17: مخطط الانعراج للعينات (F)، (G)، (G1) و(G2). 68
الشكل III-18: عملية التحسين لمخطط الانعراج للعينة المرجع (A). 70
الشكل III-19: عملية التحسين لمخطط الانعراج للعينة المرجع (N). 71
الشكل III-20: عملية التحسين لمخطط الانعراج للعينة (C1). 71
الشكل III-21: عملية التحسين لمخطط الانعراج للعينة (C2). 71
الشكل III-22: عملية التحسين لمخطط الانعراج للعينة (C3). 72
الشكل III-23: عملية التحسين لمخطط الانعراج للعينة (P1). 72
الشكل III-24: عملية التحسين لمخطط الانعراج للعينة (P2). 72
الشكل III-25: عملية التحسين لمخطط الانعراج للعينة (P3). 73

الشكل III-26: عملية التحسين لمخطط الانعراج للعينة (F). 73
الشكل III-27: عملية التحسين لمخطط الانعراج للعينة (G1). 73
الشكل III-28: عملية التحسين لمخطط الانعراج للعينة (G2). 74
الشكل III-29: جهاز مطيافية الأشعة تحت الحمراء. 74
الشكل III-30: طيف الأشعة تحت الحمراء للعينة (A). 75
الشكل III-31: طيف الأشعة تحت الحمراء للعينات (C1)، (C2) و(C3). 76
الشكل III-32: طيف الأشعة تحت الحمراء للعينة (P1)، (P2) و(P3). 76
الشكل III-33: طيف الأشعة تحت الحمراء للعينة (F)، (G1) و(G2). 77
الشكل III-34: طيف الأشعة تحت الحمراء للعينات (A-C1-C2-C3). 79
الشكل III-35: طيف الأشعة تحت الحمراء للعينات (A-P1-P2-P3). 79
الشكل III-36: طيف الأشعة تحت الحمراء للعينات (F-G1-G2). 80

قائمة الجداول

الجدول الصفحة

الفصل الأول: الجبس

الجدول I-01 توزيع التربة الجبسية في العالم (الفاو، 1990) 14

الجدول I-02 يوضح إنتاج الدول من الجبس لسنتي 2019-2020 واحتياطيات كل دولة 16

الفصل الثالث: النتائج ومناقشتها

الجدول III-01 جدول يلخص الاعداد الموجية والروابط الكيميائية الموجودة في عينات الجبس الموافق لها في مطيافية الأشعة تحت الحمراء. 75

الجدول III-02 ملخص النتائج للمرحلة الأولى يتضمن نسبة الأطوار وعوامل الثقة للعينات 77

الجدول III-03 ملخص النتائج للمرحلة الثانية يتضمن نسبة الأطوار وعوامل الثقة للعينات 78

المقدمة العـامة

منذ أن خلق الله الإنسان على هذه الأرض، لجأ لمساكن عدة، يأوي إليها طلبا للدفء والأمان، وكانت إما كهوفا طبيعية أو أكواخا خشبية أو خياما من جلود، إلى أن اهتدى لاستعمال الحجارة بداية العصور الحجرية حيث بدأت الحضارة [1]، وباكتشاف الجبس، نشأت العمارة ونمت وازدهرت عبر تطور الحضارة البشرية، وأخذت تتطور تدريجيا نحو العظمة والفخامة من ناحية، والبهرجة والجمال من ناحية أخرى، ولازالت حتى يومنا هذا، بالرغم من تنوع طرق ومواد البناء الحديثة، فقد أخذ الجبس مكانته لتعدد استعمالاته في البناء والزراعة والطب والصناعة إلى غير ذلك من المجالات [2].

الجبس هو أكثر معدن كبريتي منتشر في الطبيعة ويتكون من كبريتات الكالسيوم والماء، وهو من الخامات المتوفرة بكثرة في الأرض، حيث يتشكل الجبس عندما تتبخر المياه في بيئة بحرية أو قـارية متصلة بالبحـر، وهي تحتوي على نسب عـالية من كبريتات الكالسيوم، لتتركها وراءها على شكل رواسب. تتراكم هذه الرواسب وتتحول في النهاية إلى صخور جبسية بفعل الحرارة والضغط [3، 4].

يستخدم الجبس على نطاق واسع في بلدان عديدة حول العالم، حيث يقدر الإنتاج العالمي بـ 150 مليون طن، وتنتج وتستخدم الولايات المتحدة أكبر قدر منه مقارنة بباقي البلدان، تأتي الجزائر في المرتبة السابعة عشر من حيث الإنتاج لسنة 2020 إذ يقدر انتاجها بـ 2.5 مليون طن [5]، كما أنها تحتوي على مخزون ضخم واحتياطيات كبيرة من الجبس وخاصة في مناطق الجنوب [6، 7]، والتي من بينها منطقة الفولية بولاية الوادي حيث جميع مناجم الجبس بها سطحية تستخدم جميع العمليات في الهواء الطلق استخراجا ومعالجة. ولإعطاء هذا القطاع أهميته ومكانته بغرض استغلاله أحسن استغلال والاستفادة منه في العديد من المجالات، تأتي هذه الدراسة لتسلط الضوء على هذه الثروة المحلية بغية تحسين نوعية الجبس المستخرج.

وفي هذه الدراسة التي هي على شكل مذكرة تم التطرق فيها إلى ثلاثة فصول كما يلي:

- الفصل الأول: سيتم فيه إعطاء نظرة عامة لمادة الجبس حول ماهيته وأهميته عبر العصور وأماكن تواجده والدول المنتجة له وموقع الجزائر بهذا الخصوص ومنه إلى منطقة الفولية بولاية

الوادي وسيتم التعرف على كيفية تحضيره وخصائصه، كما سيتطرق هذا الفصل إلى جص باريس والجبس المقاوم للماء والإسمنت واستعمالاته وفي الأخير إلى إعادة تدوير مخلفاته.

- الفصل الثاني: سيتم فيه ذكر التقنيات والوسائل المستعملة في هذه الدراسة وإعطاء نظرة عامة عليها وتوضيح مبدأ عمل كل منها.
- الفصل الثالث: ستتم فيه وضع الخطوات العملية المتخذة والنتائج المتحصل عليها وتدوين جميع النتائج، إضافة إلى المخططات الآلية للأشعة السينية والأشعة تحت الحمراء، ومن ثم مناقشة هذه النتائج.

مراجع المقدمة العامة

[1] https://ar.wikipedia.org/wiki/تاريخ-العمارة/, Consulté le 01-03-2022.

[2] Association of the Wall and Ceiling Industry (AWCI), "AWCI's Construction Dimensions: The History of Gypsum", March 1985.

[3] https://notyourgrandfathersmining.ca/gypsum-overview, Consulté le 19-03-2022.

[4] Arnaud Charmoille et autres, "GUIDE Dissolution naturelle du gypse dans le sous-sol : Analyse et gestion des aléas mouvements de terrain de type affaissement et effondrement", Institut national de l'environnement industriel et des risques (Ineris), Climat et territoires de demain (Cerema), 2017.

[5] D. Robert, Jr. Crangle, "Mineral Commodity Summaries 2021", U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries, January 2021.

[6] https://www.fao.org/soils-portal/data-hub/soil-maps-and-databases/faounesco-soil-map-of-the-world/en/, Consulté le 22-05-2022.

[7] https://esdac.jrc.ec.europa.eu/content/soil-map-soil-atlas-africa, Consulté le 22-05-2022.

الفصل الأول:

الجبس

I – الجبس

I-1- المقدمة

يعتبر الجبس من أكثر المعادن شيوعًا على سطح الأرض، استعمله الإنسان منذ فجر التاريخ بعدة أشكال، فقد كتبت عليه أول أبجديات التواصل، وأستعمله سلاحا للدفاع عن النفس وللصيد، وبتطور الجنس البشري استعمله لبناء المعابد والمساكن، واليوم يظهر في قائمة طويلة من الاستعمالات، بداية من معجون الأسنان إلى قوالب الجبس، التي تصنع منها معظم أطباق وأكواب وصحون الطعام وتركيبات الحمام، إلى ألواح الجدران والأسقف الجبسية في المنازل، وفي الطريق يمشي الناس على أرصفة من الأسمنت البورتلاندي الذي يحتوي على نسبة من الجبس. تعمل صناعة الجبس على تحسين حياة الناس في المباني في كل مكان. الجبس، وهو مادة بناء مستدامة وفعالة من حيث التكلفة ومنخفضة الكربون حيث يمكن إنشاء مبانٍ صحية وجميلة من هذه المادة.

في هذا الفصل ستتم دراسة الجبس بصفة عامة وسنتعرف عليه عبر العصور التاريخية ومن ثم كيفية استخراجه ومعالجته وأماكن تواجده ببلادنا وانتاجه وأنواع الجبس وسنتطرق للجبس الاصطناعي وجبس باريس والجبس المقاوم للماء ومن ثم للإسمنت، كما سنتعرف على خصائصه، ومنها سنعرج على استعمالاته المتعددة في شتى المجالات وفي الأخير سنحاول معرفة كيفية التخلص من مخلفات ونفايات الجبس وذلك بإعادة التدوير.

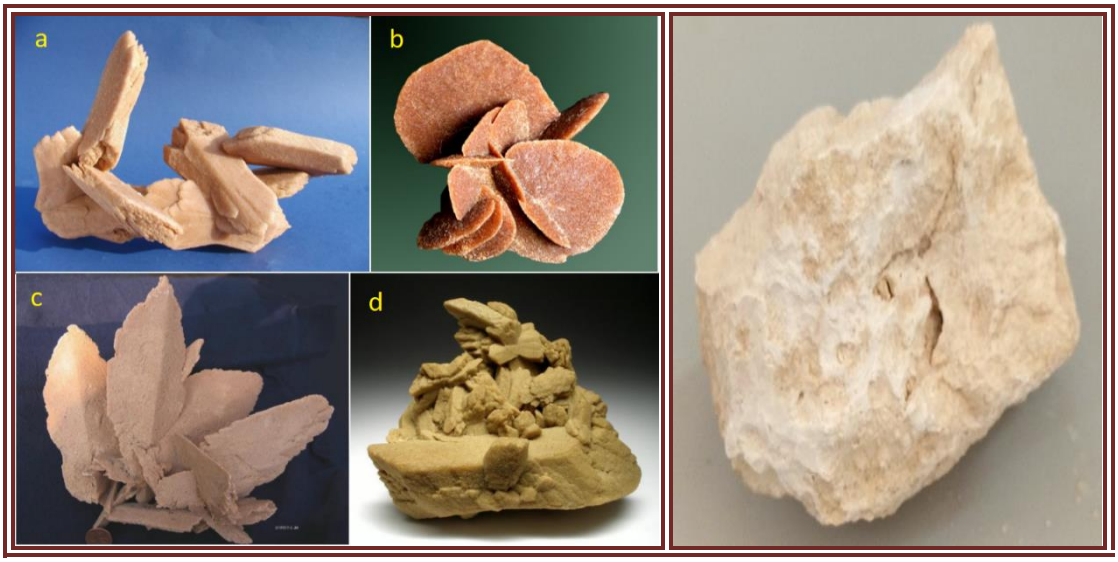
I-2- تعريف الجبس

كلمة الجبس يونانية قديمة (γύψος, gúpsos) وتعني الجص [1]، وهو معدن من أصل رسوبي يتكون من ترسيب كبريتات الكالسيوم عن طريق تبخر مياه البحر، ويتواجد الجبس غالبًا في طبقات سميكة وغالبًا ما يتداخل مع الحجر الجيري والأرجيليت. وهو كذلك أول معدن يترسب في تسلسل التبخر [2].

الجبس هو معدن طبيعي صلب لونه أبيض أو أبيض مصفر (الشكل I-01) و(الشكل I-02)، وأحيانا يكون على شكل بلورات شفافة تسمى سيلينيت Selenite، أو بلورات ليفية تسمى "ساتين سبار Satin Spar"، وهو من الخامات المتوفرة بكثرة في الأرض وهو أكثر معدن كبريتي منتشر في الطبيعة بأحد شكليه المعدني أو صخر رسوبي (حوالي 200 مليون هكتار من سطح الأرض)، يوجد عادة في قيعان البحيرات المالحة القديمة، والرواسب البركانية وطبقات الطين.

التركيبة الكيمياوية للجبس هي عبارة عن كبريتات الكالسيوم المائية ($CaSO_4.2H_2O$)، وعندما يسخن الجبس يفقد ثلاثة أرباع ما به من ماء ليتحول إلى($CaSO_4.\frac{1}{2}H_2O$)، ويطلق على هذه العملية اسم الكلسنة أو التكلسن calcination وفيها يتغير الجبس إلى مسحوق أبيض ناعم يسمى المصيص والذي يتصلب بإضافة الماء له وتعرضه للهواء. كما يتم إنتاج الجبس أيًضا كمنتج ثانوي في العمليات الصناعية المختلفة [3-5].

قابلية ذوبان الجبس في الماء عند درجة الحرارة 25°C وضغط جوي 1 Atm هي 2.4 g/ℓ، تظهر بلورات الجبس في التربة في عدة أشكال منها: بلورات معينية عدسية، ورود رملية، موشورية سداسية، موشورية صنوبرية، حديدي، ليفي، أنبوبي، خيطي وحبيبي [6].



الشكل I-01 حجر جبسي من منطقة الفولية بولاية الوادي الجزائر

الشكل I-02 حجارة جبسية تسمى "وردة الرمال" لمناطق مختلفة من الجزائر (a) من الوادي، (b) من تيميمون و(c وd) من تقرت [7].

صلابة هذا المعدن تتراوح ما بين 1.5 و2 على مقياس مدرج من 10، مما يجعله معدنًا ناعمًا: فهو يخدش بالظفر.

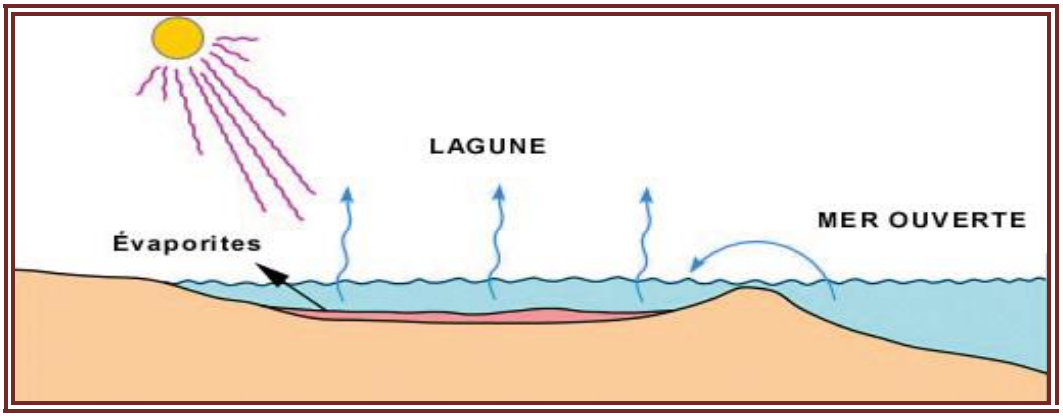
ويتكون الجبس من أيونات الكبريتات والكالسيوم المرتبطة بجزيئين من الماء ليعطي الصيغة الكيميائية ($CaSO_4.2H_2O$)، ويوجد أيضًا في شكله المجفف، أنهيدريت ذو الصيغة CaSO4. كما يمكن أن تتكون صخور الكبريتات من تجمع من الجبس والأنهيدريت بنسب متفاوتة [8].

نظرا لقابلية الذوبان الضعيفة لكبريتات الكالسيوم $CaSO_4$ في الماء نتيجة لامتلاكها عسرا دائما لامتصاص الماء، يستخدم أحد أهم مكونات الجبس $CaSO_4$ في صناعة بعض أنواع الدهانات والسيراميك والورق. وكذا في تصنيع حامض الكبريتيك [9].

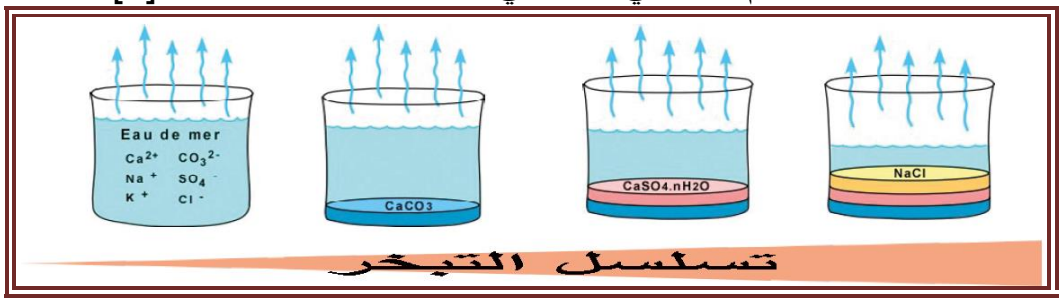
I-3- ظروف التكوين والترسيب

يتكون معدن الجبس عن طريق بلورة مواد كيميائية، في مناخ يكون فيه معدل التبخر مرتفعا، وهذه العملية تحدث إما في بيئة بحرية أو قارية متصلة بالبحر، كما يمكن حدوثها في أحواض الأمطار الواسعة والضحلة المتصلة حتما بالبحر (الشكل I-03).

يؤدي التبخر القوي للماء في هذا النوع من الوسط إلى ترسيب الأيونات الموجودة في هذا المحلول المائي. حيث يظهر الجبس ($CaSO_4.2H_2O$) في المرتبة الثانية بعد الكربونات ($CaCO_3$) وعندما يكون حجم مياه البحر من 20٪ إلى 35٪ من الحجم الأولي، يترسب الأنهيدريت ($CaSO_4$). ويليه الملح (كلوريد الصوديوم أو $NaCl$) عندما يصل حجم الماء إلى 10٪ فقط من الحجم الأولي. وبالتالي، فإن تسلسل الترسيب التبخيري النموذجي مع "شريحة ماء" صغيرة (إذا ظلت الظروف المناخية ثابتة لفترة كافية) يتكون من الناحية النظرية من مستوى من الحجر الجيري، ثم من الجبس يعلوه مستوى من الأنهيدريت ثم الملح (الشكل I-04) [8].



الشكل I-03 رسم تخطيطي توضيحي لتكوين الرواسب المتبخرة [8].



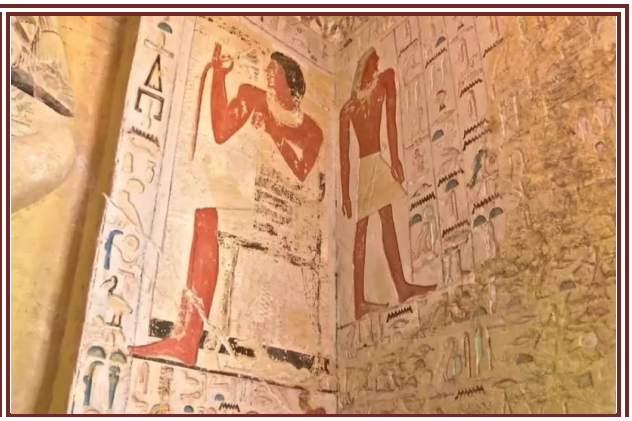
الشكل I-04 المعادن الرئيسية في تسلسل التبخر [8].

I-4- الجبس عبر العصور

إن أقدم استخدام للجبس تم اكتشافه حتى الآن كان في الأناضول في حوالي 6000 قبل الميلاد، وفي وقت لاحق، في عام 3700 قبل الميلاد، استخدمه المصريون في الأجزاء الداخلية للأهرامات،

حيث رسم فنانيهم على الأسطح البيضاء الناعمة لوحات جدارية رائعة (الشكل I-05). وقد كان الإغريق هم من أطلقوا على الجبس اسمه باستخدام كلمة Gypsos، استخدموا شكلاً خاصًا من الجبس الشفاف للنوافذ، خاصةً للمعابد المخصصة لإلهة القمر سيلين، وهذا تقليديًا، هو سبب تسميته سيلينيت أو "حجر القمر" [10] [11].

وتظهر الصخور الجبسية في الكتابات المسمارية القديمة للآشوريين، كما أنهم استخدموا في حضاراتهم نوع الجبس الذي نسميه المرمر، وصنعوا منه ثيران آشور المجنحة العظيمة التي يمكننا رؤيتها في المتحف البريطاني ومتحف اللوفر بفرنسا ومعهد جامعة شيكاغو بالولايات المتحدة (الشكل I-06).



الشكل I-05 صورة بالجبس من داخل الأهرامات بمصر [12].

الشكل I-06 ثيران آشور المجنحة برأس إنسان خورساباد، متحف اللوفر فرنسا [13].

إن أول مكتشف للخاصية المميزة التي تجعل الجبس ثمينا للغاية يظل غير معروف، لكن الجنس البشري كله مدين له كثيرا، لأنه يمكن طحن الجبس وتكليسه أو تحميصه عند درجة حرارة منخفضة نسبيًا حتى يتبخر ثلاثة أرباع محتواه من الماء، عندها تصبح صخرة الجبس مسحوقًا ناعمًا يُعرف باسم جص باريس (Plaster of paris). ومن خلال إعادة الماء إلى جص باريس على شكل مسحوق، يمكنه صنع ملاط أو كتلة مرنة وتتشكل في أي شكل ثم تتصلب، وبهذا الاكتشاف يكون الجبس هو المادة الطبيعية الوحيدة التي يمكن استعادتها إلى حالتها الأصلية الشبيهة بالصخور بإضافة الماء فقط [10].

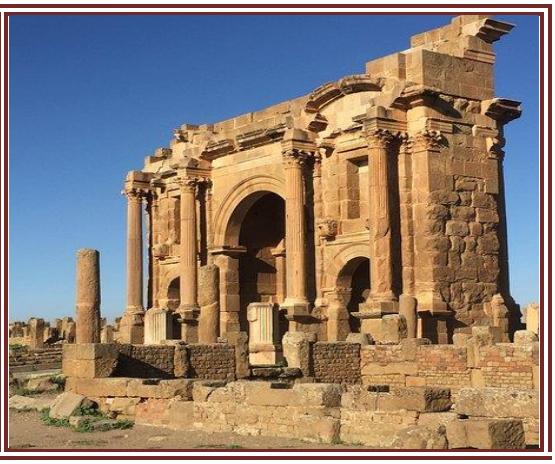
والجبس موجود في الآثار العديدة لشمال افريقيا، التي تعاقبت عليها الكثير من الأمم والحضارات المُختلفة إذ نجد في الجزائر مثلا أنها مزجت بين خصائص الحقبة النوميدية والرومانية إلى «العمارة الأندلسية»، الشرقيّة، الأوروبيّة، والصحراويّة. فهذه الآثار استمدّت في زخرفة مبانيها من الزخرفة الإسلامية الموجودة في الشرق، ومزجتها بالزخرفة الأندلسيّة فيغلب عليها الترف والإسراف في

وضع الزخارف، ولقد شاعت الفسيفساء قديماً أيّام العهد البيزنطيّ، حيث تصنع الفُسيفساء من الخزف وتُشكَّلُ على شكل لوحاتٍ تُزيّن واجهات العمارة مع استمرار النقش على الجصّ. أما القباب فهي أبرز ما تتميز به العمارة الإسلامية، وخصوصاً في المساجد، فما يحمل القبة هي الأقواس المتقاطعة المصنوعة من الجبس المُزخرف [14].

ومن المشاهد الماثلة إلى اليوم وجود عمائر جنائزية نوميدية فخمة على غرار إيمدغاسن والصومعة (الشكل I-07)، لجدار (Djeddar) التي على الأرجح تعود إلى القرن الرابع الميلادي (4 ق.م) (الشكل I-08) والضريح الملكي الموريتاني، وكذلك الحمامات الرومانية المحفوظة من القرن الأول الميلادي (موجودة في خنشلة والمعروفة باسم حمام الصالحين)، وكذلك المواقع الأثرية المصنفة على قائمة التراث العالمي باليونيسكو والتي من بينها جميلة وتيمقاد (الشكل I-09)، وكذلك القصور على الطراز الأندلسي والعثماني (الشكل I-10).

الشكل I-07 صومعة الخروب (ما يعتقد أنه ضريح الملك ماسينيسا) [15].

الشكل I-08 "لجدار"، آثار لـ 13 هرما، تقع غرب مدروسة بمنطقة توسنينة بتيارت [16].



الشكل I-09 تيمقاد المدينة الرومانية الاثرية، ولاية باتنة، الجزائر [17].

الشكل I-10 قصر المشوار بتلمسان [18].

ومنذ القرن الثالث عشر، ومع تطور الحضارة الأوربية، كان الجبس المكلس مادة التزيين اللازمة في القصور الملكية، ومنها أصبح الجبس مادة بناء نموذجية مستخدمة على نطاق واسع، وقد أشاد الملك هنري الثاني ملك إنجلترا بالجودة العالية للجبس المنتج في باريس الفرنسية (المعروف باسم "جص باريس" كما تطرقنا إليه سابقا)، واستخدمها لتزيين دير وست منستر Westminster (الشكل I-11) وقلعة نوتنغهام Nottingham Castle (الشكل I-12).

وفي القرن السادس عشر شهد الجبس أسلوب فن الباروك – الروكوكو (Baroque - Rococo) الذي لا يزال باقياً في تاريخ البناء، الذي عاصر نهضة ولدت في فلورنسا بإيطاليا، سرعان ما اتسعت في جميع أنحاء أوروبا الغربية، وكان الجبس (الجص) هو العامل الرئيسي في الديكور الداخلي، حيث استخدم في تزيين كنائس الباروك - الروكوكو الفاتنة والقلاع الملكية.

الشكل I-11 دير وست منستر (Westminster)، لندن [19]

الشكل I-12 قلعة نوتنغهام (Nottingham Castle)، لندن [20]

أما في القرن السابع عشر، بدأ ينتشر استعمال الألواح الجبسية في أمريكا الشمالية وكندا بعد انتقال المهاجرين الأوربيين إلى القارة الأمريكية، فقد كانت المباني الأولى التي شُيدت على أراضٍ وفيرة بالخشب ومواد الجبس مختلفة قليلاً عن الأبنية الحجرية الأوروبية. لقد كانت الجدران الخارجية مصنوعة من

الخشب على طراز "منزل خشبي"، واستعمل طلاء كثيف مكون من جبس شديد المقاومة للحريق لدهن الجدران الداخلية. بعد ذلك ومع احتياجات المنازل، بدأ تطوير "ألواح الجبس" التي أصبحت أكثر فاعلية في أعمال البناء [21].

I-5- استخراج الجبس ومراحل تحضيره

يتم إنتاج مسحوق الجبس عن طريق تسخين حجارة الجبس إلى حوالي 120-180 درجة مئوية (248-356 درجة فهرنهايت) في الفرن:

I-5-1- الطريقة التقليدية

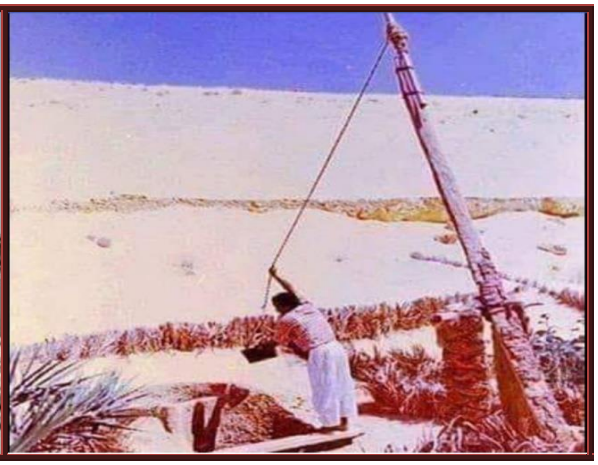
❖ **صناعة الجبس بوادي سوف**

إن المادة الأولية لصناعة الجبس بالمنطقة هي الحجارة التي تسمى التافزة التي توجد مغمورة تحت الرمال في غيطان النخيل وعلى شكل مسطحات بالمنطقة الشمالية، وصناعتها مرت بمراحل من الحاروق إلى الأفران التقليدية والتي تسمى محليا "الكوشة". وبداية ظهور الجبس في المنطقة حسب بعض الروايات يعود إلى 1030 هجرية، ويتضح قدم هذه المادة من بناء عدة مساكن بحي الأعشاش، وبناء مسجد سيدي مسعود الشابي بالوادي (الشكل I-13) سنة 1600م [22]، وسيتم الحديث بإيجاز عن هذه الصناعة قديما، وهي إلى الآن بنفس الطريقة لكن أصبح طهي الحجارة بالمازوت بدل الحطب والطحن بآلة ميكانيكية بدل الألواح الخشبية.

الشكل I-13 مسجد سيدي مسعود الشابي بالوادي

❖ **قلع الحجارة:**

تقلع أغلب الحجارة من الغيطان للوصول للماء وزراعة النخيل (الشكل I-14)، وبعضها يستخرج من مقاطع خاصة بالناحية الشمالية، تدعى حجارته الدبدابة، هشة يتراوح عمقها ما بين نصف متر الى مترين ونصف، أما حجر التافزة (الشكل I-15) فهي صلبة وتكون في الغالب قرب الماء في الناحية الجنوبية والغربية، أما الترشة فهي أحجار رقيقة توجد عند الماء أو فوقه قليلا [22].

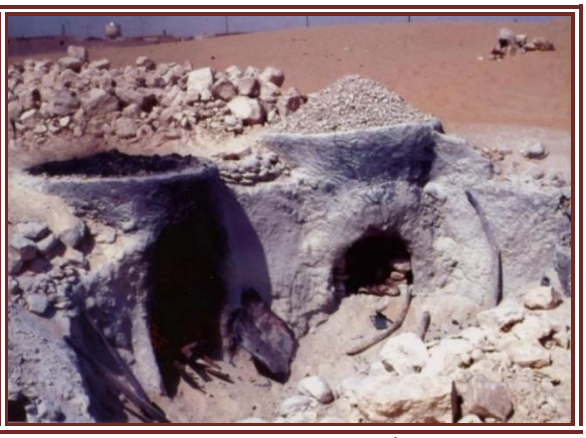


الشكل I-14 غيطان النخيل تظهر فيها صخور الجبس (التافزة) وقد تم قطعها لغرس النخيل والمزروعات بالقرب من المياه الجوفية.

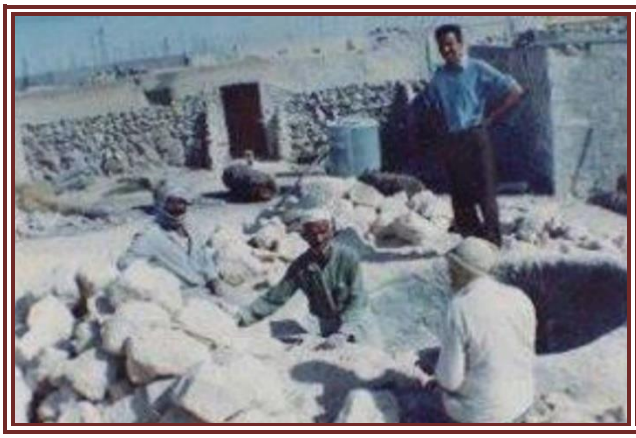
الشكل I-15 حجارة الجبس (التافزة) بمنطقة الفولية

❖ **حرق الحجارة (الكلسنة أو التكليس):**

كانت تحرق هذه الحجارة بإدخالها بالفرن (الكوشة) الذي يشيد من الجبس على شكل اسطواني له فتحتين إحداها في الجانب في أسفله وهي مكان الموقد الذي يوضع به الحطب ويستخرج منه الجبس بعد انتهاء الحرق، أما الفتحة الثانية فهي فتحة كبيرة في أعلى الفرن مباشرة على الهواء يتم منها ملء الفرن بالحجر حتى يصير كالقبة، وتوقد النار في فوهة الفرن (مكان الموقد) حتى تتم عملية تسخين الحجارة الى درجات حرارة مرتفعة جدا او كما يعرف لدى اصحاب المهنة بطهي الحجارة و علميا تسمى بالكلسنة أو التكليس (الشكل I-16 و الشكل I-17) [22].



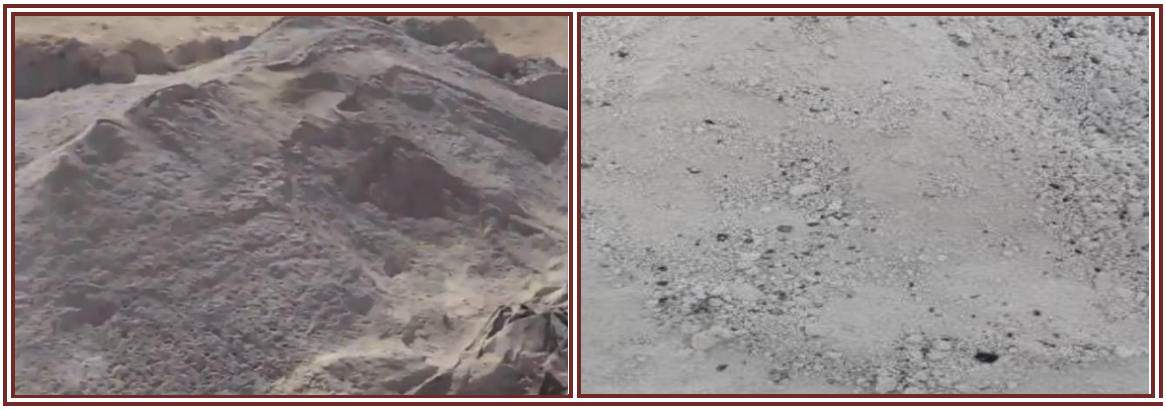
الشكل I-16 أفران قديمة تقليدية بحي المنظر الجميل (القارة) [22].



الشكل I-17 صورة قديمة من حي المنظر الجميل (القارة) يظهر فيها رجال يملؤون الكوشة أو الفرن بحجارة التافزة [22].

❖ **طحن الحجارة وتحضير الجبس:**

بعدما يكتمل الطهي أو الكلسنة تكون الحجارة قد ذابت وسقطت ثم تكومت داخل الفرن فيتم استخراج الجبس وأما قطع الحجارة المتبقية فتدق بقطعة خشب وتسمى الخباطة وبهذا يتحول الجبس الى ما يشبه الدقيق المسحوق فهو قد اكتمل تحضيره وهو جاهز للاستعمال (الشكل I-18 والشكل I-19).

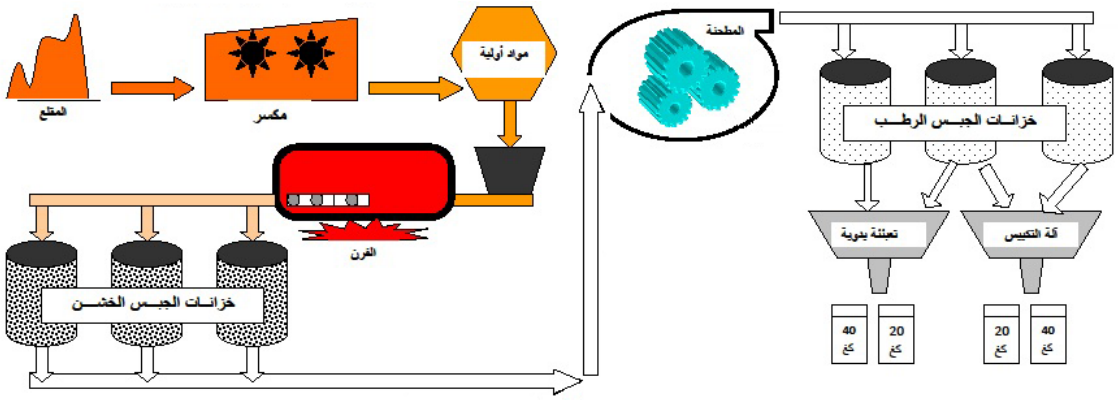


الشكل I-18 صورة قديمة لجبس مكلس تقليديا بالحطب [23].

الشكل I-19 صورة لجبس الفولية مكلس بالمازوت.

I-5-2- الطريقة الحديثة

تتم عملية صناعة الجبس حاليا في مصانع كبيرة تكون عموما بالقرب من مناجم الجبس للتقليل من تكلفة نقل الحجارة، ويتكون المصنع من وحدات يمر الجبس من وحدة إلى أخرى حتى يكتمل التحضير بالتعبئة في أكياس أو ألواح جبسية (الشكل I-20)، ونذكر أهم المراحل التي يمر بها:



الشكل I-20 رسم تخطيطي يوضح مراحل انتاج الجبس بمصنع الزغيبات [24]

- **الاستخراج**

يستخرج الجبس الخام الطبيعي من المناجم باستخدام المتفجرات، بعد التخلص من الغطاء السطحي لتفادي الشوائب (الشكل I-21)، ويقوم العمال بتحليل العينات الجبسية عند كل مستوى من مستوياته مع ضرورة

توفر الاحتياط من الخام وأن يكون بجودة عالية وبالقرب من الأسواق المستهلكة له، وقدرته على منافسة المنتجات البديلة [25].

الشكل I-21 منظر لمنجم جبس [26].

- **التكسير**

تكسير المواد الخام التي يتم استخراجها من المناجم الطبيعية إلى قطع صغيرة جداً، ويتم ذلك على المرحلتين: تكسير أولي لتصغير حجم القطع الكبيرة، ثم يتم تكسير ثانوي لتجزئة الحجارة إلى قطع صغيرة وتخزينها في المستودعات لاستعمالها وقت الحاجة إليها (الشكل I-22) [25].

الشكل I-22 وضع الجبس داخل كسارة الحجارة [26].

- **إزالة الشوائب**

تُغسل قطع الجبس ويُفصل عنها الشوائب وتُترك حتّى تجف كليّاً. للتخلص من الشوائب خاصة العضوية بالطفو على الماء (الشكل I-23 والشكل I-24) [25].

الشكل I-23 عملية غسل الجبس لنزع الشوائب [26].

الشكل I-24 أجهزة غسل وتنظيف الجبس من الشوائب [26].

- **الكلسنة**

ترسل الحجارة بعد التكسير للكلسنة (الشكل I-25) أين تُوضع في الفرن على حرارة 130 درجة مئوية (الشكل I-26 والشكل I-27)، مع ضرورة بقائها لفترة كافية لتقليل نسبة الماء التي بداخلها بإزالة المياه من الجبس تدريجياً حتى يُصبح الجبس جافاً. مع التخلص من صعوبات التشكيل من خلال بلورة المزيج لأنه يحتوي على كبريتات الكالسيوم ثنائية ونصف ثنائية الماء. وبعدها سيظهر نوعان من الجبس هما: جبس ألفا وبيتا وكلاهما نصف مُميَّه $(CaSO_4.\frac{1}{2}H_2O)$ [25].

الشكل I-25 نقل الجبس من وحدة التكسير ونزع الشوائب إلى الفرن لعملية الكلسنة [26].

الشكل I-26 أفران الجبس [26].

الشكل I-27 صورة يظهر فيها الفرن من الداخل [26].

- **الطحن**

بعد عملية الطهي أو الكلسنة يتم ارسال الجبس إلى المطاحن لطحنه حسب الكيفيات المطلوبة، ثمَّ إرساله إلى المستودعات الخاصة به (الشكل I-28 والشكل I-29) [25].

الشكل I-28 طحن الجبس [26].

الشكل I-29 مستودعات الجبس [26].

- **أخذ عينات للتحليل**

قبل تعبئة المنتج وللحفاظ على سمعة الشركة يتم التأكد لضمان جودة كل دفعة من المنتج حيث يقوم العمال بأخذ أجزاء تُستخدم كعينات ليقوم العمال بمجموعة من الاختبارات عليها لتحديد نسبة النقاء والشوائب والتصلب (الشكل I-30)، وهذا قبل استعماله في صناعة الألواح الجبسية أو تعبئته بالأكياس [25].

الشكل I-30 إجراء مجموعة من الاختبارات على العينات المأخوذة قبل تعبئة المنتج [26].

- **التعبئة**

بعد التأكد من سلامة المنتج ومطابقته للمعايير المتبعة من الشركة تتم الموافقة على تعبئته في أكياس لتسويقه (الشكل I-31) أو في خزانات لإرساله لمصنع أو وحدة إنتاج الألواح الجبسية [25].

الشكل I-31 صورة تظهر تعبئة الجبس في أكياس [26].

I-6- أماكن تواجد الجبس وانتاجه

I-6-1- أماكن تواجده في العالم

تغطي التربة الجبسية حوالي 200 مليون هكتار من سطح الأرض، والجدول التالي (الجدول I-01) يوضح توزيع الترب الجبسية في العالم ومنه نستنتج بأنه حوالي 45٪ من التربة الجبسية في العالم توجد في الصين والصومال والجزائر [27].

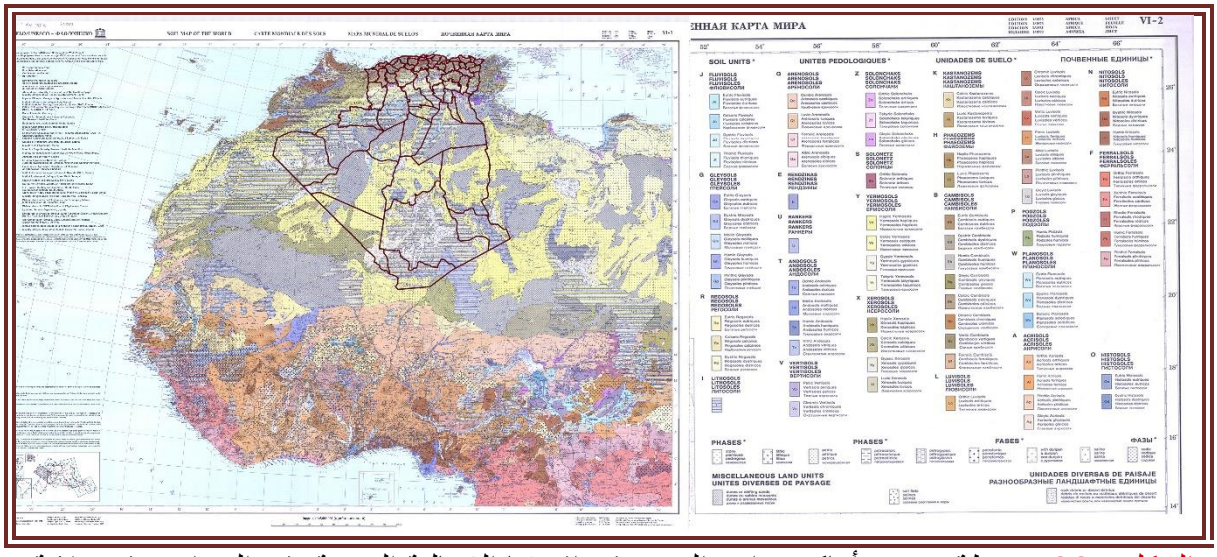
الجدول I-01 توزيع التربة الجبسية في العالم (الفاو، 1990) [27]

Continent	PAYS	Superficie Km²	%par rapport au total des pays	% des régions des sols gypseux
AFRIQUE	Maroc	1114.3	2.5	1.7
	Algérie	7966.3	3.3	12.2
	Tunisie	1439.8	9.3	2.2
	Libye	3956.8	2.2	6.0
	Egypte	382.2	0.4	0.6
	Soudan	785.0	0.3	1.2
	Somalie	10161.2	16.2	15.5
	Ethiopie	1423.4	1.3	2.2
	Mali	2818.3	2.3	4.3
	Mauritanie	396.0	0.4	0.6
	Namibie	5327.7	6.5	8.2
Asie Sud	Syrie	3966.6	21.6	6.0
	Jordan	80.5	0.8	0.1
	Arabie saudite	82.5	0.04	0.1
	Oman	471.6	-	0.7
	Yémen A.R.	2931.0	8.8	4.5
	Kuwait	354.6	-	0.5
	Iraq	4779.2	11.0	7.3
	Iran	4.2	-	-
	Pakistan	9.5	0.01	-
	Inde	182.0	0.06	0.3
Asie Central	USSR	5074.1	0.2	7.7
	Mongolie	60.9	0.04	0.1
	China	11484.9	1.2	17.5
Europe	Turks	64.2	0.08	0.1
	Espagne	165.5	0.3	0.3
L'Amérique	Mexique	78.0	-	0.1

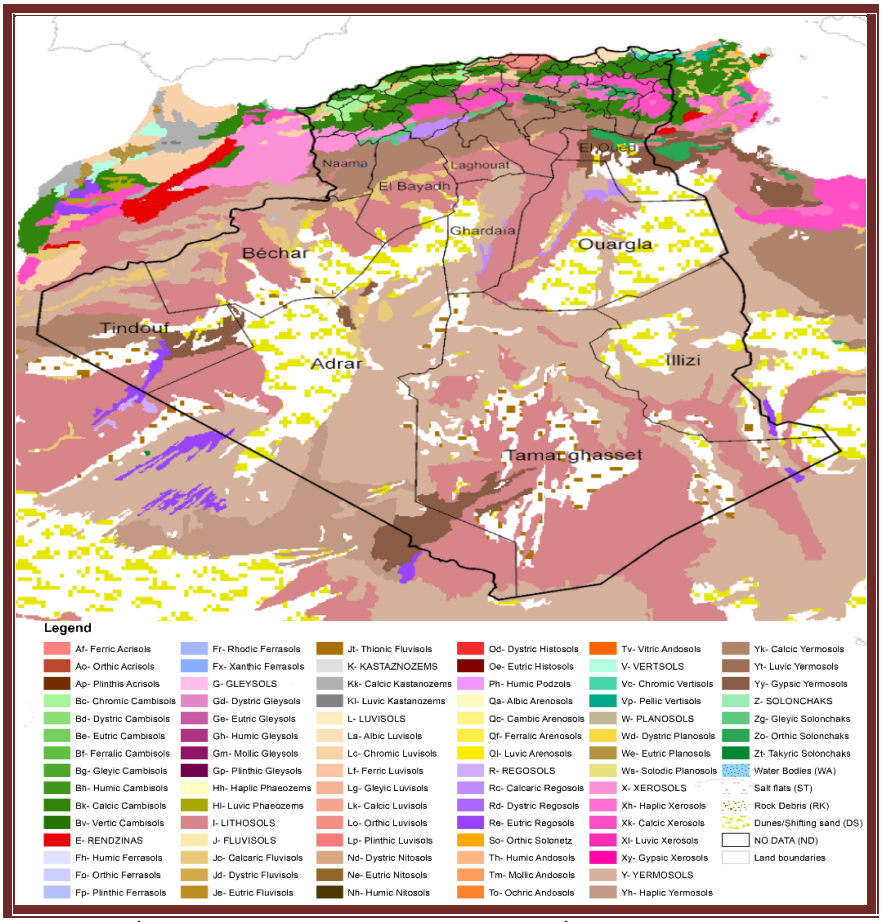
I-6-2- أماكن تواجده في الجزائر

تشكل التربة الجبسية مساحات واسعة من الجزائر حيث تبلغ مساحتها 8000 كلم² والتي تمثل 12٪ من مساحة تربة الجبس في العالم (Fao، 1990). وبشكل عام، تم تسجيل وجود تربة جبسية في المناطق التالية: وهران، مستغانم، سعيدة، تيارت، قصر الشلالة، الجلفة، المسيلة، بوسعادة، الحضنة، المشرية، البيض، خنشلة، باتنة، أدرار، ورقلة، عين الصفراء، الأغواط، بسكرة، الوادي، تقرت [27].

توضح الخريطة (الشكل I-32) المقتطعة من خريطة أكبر للمنظمة العالمية للتغذية والزراعة FAO على الانترنت، وكذلك الخريطة (الشكل I-33) المقتطعة من خريطة أكبر تمثل إفريقيا من موقع الاتحاد الأوربي على الانترنت، تبرز كل منها تواجد الجبس بأماكن كثيرة من الوطن وتوضح أماكن تواجده بولاية الوادي.



الشكل I-32 خريطة توضح أماكن تواجد الجبس في إفريقيا الشمالية الغربية، في الجزائر وفي ولاية الوادي وهي مأخوذة من خريطة إفريقيا بالموقع الرسمي للمنظمة العالمية للتغذية والزراعة FAO على الانترنت [28].



الشكل I-33 خريطة توضح أماكن تواجد الجبس في الجزائر وهي مأخوذة من خريطة إفريقيا بالموقع الرسمي للاتحاد الأوروبي على الإنترنت. يظهر الجبس باللون البني القاتم وكذلك باللون الوردي [29].

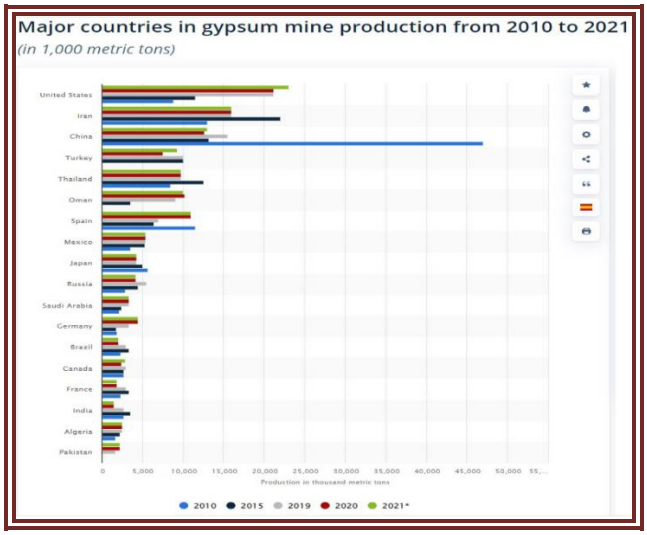
I-6-3- إنتاج الجزائر من الجبس

يقدر انتاج الجزائر من الجبس بـ 2.5 مليون طن لسنة 2020 وتصنف في المرتبة السابعة عشر عالميا من حيث الإنتاج (الجدول I-02 والشكل I-34)، كما يشهد إنتاجها من الجبس استقرارا ملحوظا خلال الخمس سنوات الأخيرة [30] [31]، ويأتي هذا الترتيب بناء على إجمالي الإنتاج العالمي من الجبس الذي بلغ نحو 150 مليون طن متري في عام 2021، ويعد هذا انخفاضًا ملحوظًا عن حجم الإنتاج العالمي لسنة 2016 البالغ 261 مليون طن متري، وتعتبر الولايات المتحدة أكبر منتج للجبس ولديها أكبر احتياطيات في العالم في عام 2021 [32].

ونذكر من بين المصانع المنتجة للجبس في الجزائر مصانع الجبس بالزغيبات (الوادي)، أولاد جلال، بوسعادة (المسيلة)، والجلفة وكذلك مصنع تحويل الجبس والألواح الجبسية بمعسكر ...إلخ، كما يوجد أيضا إنتاج الجبس بالطرق التقليدية يقوم بها الخواص كما في منطقة الفولية بولاية الوادي.

الجدول I-02 يوضح إنتاج الدول من الجبس لسنتي 2019-2020 واحتياطيات كل دولة[30]

	Mine production 2019	Mine production 2020[e]	Reserves[6]
United States	21,200	22,000	700,000
Algeria	2,500	2,500	NA
Brazil	3,000	3,200	450,000
Canada	3,000	3,000	450,000
China	15,500	16,000	NA
France	3,000	3,000	350,000
Germany	3,300	3,200	NA
India	2,700	2,700	37,000
Iran	16,000	16,000	NA
Japan	4,300	4,700	NA
Mexico	5,400	5,400	NA
Oman	9,100	11,000	NA
Pakistan	1,670	2,200	6,000
Russia	5,500	3,800	NA
Saudi Arabia	3,300	3,300	NA
Spain	7,000	7,000	NA
Thailand	9,790	9,300	1,700
Turkey	10,000	10,000	200,000
Other countries	22,000	22,000	NA
World total (rounded)	148,000	150,000	Large



الشكل I-34 يظهر أكبر الدول إنتاجا لمادة الجبس من 2010 إلى 2021 [32].

I-6-4- الموقع الجغرافي لمنطقة الدراسة

تقع منطقة الفولية في شمال بلدية الرقيبة، حيث أن هذه البلدية تقع في الجزء الشمالي الغربي من ولاية الوادي عند الاحداثيات ′33°33 شمالا و′42°6 شرقا، وتتربع على مساحة قدرها 1965,50 كلم^2، وتبعد عن مقر الولاية بمسافة 30 كلم، ويحدها من الشمال بلدية الحمراية وجنوبا بلدية تغزوت وشرقا بلدية قمار ومن الغرب ولاية تقرت (الشكل I-35).

الشكل I-35 خريطة ولاية الوادي تظهر بها أماكن تواجد الجبس وكذلك مكان منطقة الفولية ببلدية الرقيبة وهي شمال مقر ولاية الوادي [28].

I-7- أنواع الجبس

يقسم الجبس إلى نوعين حسب مصدر انتاجهما وهما الجبس الطبيعي والجبس الاصطناعي.

I-7-1- الجبس الطبيعي : يتم انتاجه عن طريق التعدين في جميع أنحاء العالم، ويتواجد أحيانًا مع الصخور المحلية، حيث يكون شكله مسطح، وقد يتواجد في شكل كتل ليفية تتلازم مع الطين أو الأحجار الرملية، ومن أنواع الجبس الطبيعي :

* **السيلينيت:** (بالإنجليزية: Selenite)

هو شكل معدني من أشكال الجبس، ويسمى بكبريتات الكالسيوم المائية ذو الصيغة الكيميائية $CaSO_4.2H_2O$، وهو أيضاً الاسم العام الذي يطلق على الأشكال البلورية للجبس (الشكل I-36)، وله كذلك أسماء أخرى ومن ضمنها وردة الرمال (زهرة الصحراء). وهو عبارة عن صفائح متبلورة شفافة بنية اللون في الغالب متراكبة فوق بعضها البعض، ومن السهل فصلها [33].

في المناطق القاحلة، يمكن أن يحدث الجبس في شكل يشبه الزهرة، وعادة ما يكون معتمًا، مع حبيبات رملية تسمى وردة الصحراء (الشكل I-37). كما أنها تشكل بعضًا من أكبر البلورات الموجودة في الطبيعة، والتي يصل طولها إلى 12 مترًا (39 قدمًا)، على شكل سيلينيت [33].

الشكل I-36 حجر من الجبس نوع سيلينيت [34]. الشكل I-37 حجارة جبس نوع سيلينيت ويسمى وردة الرمال من الجزائر ولاية الوادي [7].

* **المرمر أو الألباستر (بالإنجليزية: Alabaster)**

هو نوع من المعادن الخام البيضاء كما يوجد منه نوع ذو لون برتقالي، وتتكون تركيبة المرمر من الجبس. وتركيبه الكيميائي كبريتات الكالسيوم المائية $CaSO_4.2H_2O$، ولكن يتميز بصلابته وشدة بياضه عند وجوده طبيعيا. وقد استعمله القدماء منذ غابر الأزمان في نحت التماثيل وصنع أدوات الزينة (الشكل I-38). يسمى أيضا «الألباستر» حجر ناعم الملمس يوجد في الطبيعة بألوان مختلفة يتميز بدرجة صلادة منخفضه تسهل معاملته وتشكيله. كانت تعدّ المنحوتات المصنوعة منه حكر على الأثرياء قبل ظهور الرخام (الشكل I-39). وتعدّ مدن مثل برلين في ألمانيا وكذلك ميلانو وفلورنسا وليفورنو في إيطاليا من أشهر المدن التي يتوافر بها في العالم. كلمة الألباستر كلمة مصرية قديمة ومعناها الوعاء أو المزهرية الخاصة بباستيت (أحد آلهة المصريين القدماء).

الشكل I-38 جرة مصنوعة من جبس المرمر الشفاف الجميل [35]. الشكل I-39 جبس على شكل مرمر يستخدم للعديد من الأغراض الزخرفية [36].

* **الجبسيت (بالإنجليزية: gypsite)**

وهو راسب أرضي غير نقي دقيق الحبيبات مختلط بالرمل والطين والمواد العضوية، له ألياف متوازية وهي عبارة عن كتل جبسية كثيرة التشقق توجد على شكل ألياف متنوعة تتميز بلمعة لؤلؤية (الشكل I-40) [37].

الشكل I-40 حجارة جبس من نوع الجبسيت [36].

* **شعيرات الجبس (بالإنجليزية: Stain Spar)**

ويطلق هذا الاسم على الصنف الليفي الضخم الذي له بريق حريري، وهي شفافة وبراقة وذات قيمة للزينة والمجوهرات، وتتكون بشكل شعيرات إبرية عند مواقع الترسيب أو بالقرب منها (الشكل I-41) [9] [37] [38].

الشكل I-41 حجر من الجبس نوع Stain Spar [39].

I-7-2- الجبس الاصطناعي :

يتم إنتاج الجبس الاصطناعي في عمليات إزالة الكبريت من غاز المداخن الموضحة في الصورة (الشكل I-42). وتزداد أهمية مساهمته في الانتاج العالمي للجبس، كما أن إنتاجه أقل تكلفة من تعدين الجبس الطبيعي، مثلا في عام 2008، كان 31٪ من الجبس المستهلك في الولايات المتحدة من أصل صناعي.

الشكل I-42 تستخدم محطة الطاقة Drax التي تعمل بالفحم في المملكة المتحدة أنظمة إزالة الكبريت، التي تم تركيبها بين عامي 1993 و1996 [11].

I-8- جبس باريس Plaster of Paris

جبس أو جص باريس يُعرف بهذا الاسم بسبب تحضيره من الجبس المتوفر بالقرب من باريس (الشكل I-43)، هو جبس سريع التثبيت يتكون من مسحوق أبيض ناعم صيغته الكيميائية $(CaSO_4.\frac{1}{2}H_2O)$، يتميز جبس باريس بخاصية رائعة تتمثل في التواجد في كتلة صلبة عند التبليل بالماء [41].

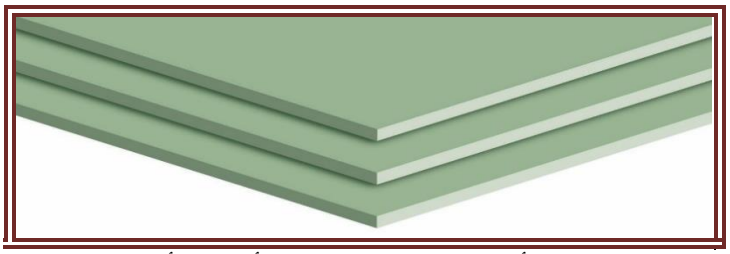
ويتم إنتاج جبس باريس بتسخين الجبس المفتت في درجة حرارة 120°C، فإذا ما وصلت درجة الحرارة 200°C يتحول إلى أنهدريت أو "الجبس المحترق الميت" (Dead burnt plaster) [40].

وعموما جبس باريس لا يتقلص أو يتشقق عندما يجف مما يجعله ممتازًا لقوالب الصب، ويتم استخدامه كثيرا كأجزاء جبسية مزخرفة توضع على الأسقف والكورنيش، أما في الطب فيستخدم لتثبيت العظام المكسورة (على الرغم من أن العديد من قوالب تقويم العظام أصبحت تصنع حديثا من الألياف الزجاجية أو اللدائن الحرارية) [42].

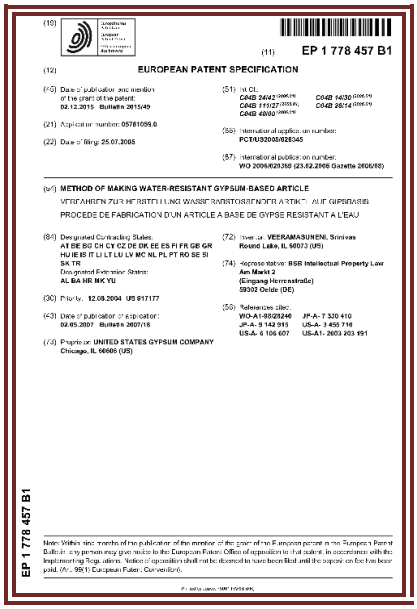
الشكل I-43 جبس باريس (ما يسمى بجص باريس)

I-9- الجبس المقاوم للماء والرطوبة

يتم تصنيع هذا المنتج عن طريق إضافة كمية صغيرة من السيلوكسان (وهي فئة من مركبات السليكون العضوي ذات الصيغة الكيميائية R_2SiO، حيث R هي مجموعة جذرية يمكن أن تكون عضوية) إلى الملاط المائي المستخدم في صنع المنتج القائم على الجبس مع كمية صغيرة من محفز أكسيد المغنيسيوم MgO المحترق لتحسين صلابة السيلوكسان (الشكل I-44 والشكل I-45) [43].



الشكل I-44 ألواح مقاومة للرطوبة - أسقف وألواح جبس بارتيكس [44].



(10) EP 1 778 457 B1

(12) EUROPEAN PATENT SPECIFICATION

(54) METHOD OF MAKING WATER-RESISTANT GYPSUM-BASED ARTICLE

VERFAHREN ZUR HERSTELLUNG WASSERABWEISENDER ARTIKEL AUF GIPSBASIS

PROCEDE DE FABRICATION D'UN ARTICLE A BASE DE GYPSE RESISTANT A L'EAU

EP 1 778 457 B1

الشكل I-45 براءة اختراع لطريقة صنع مادة تعتمد على الجبس المقاوم للماء [43].

I-10- الإسمنت:

لقد تم اكتشاف الأسمنت لأول مرة من قبل الرومان، الذين استخدموا الجير والرماد البركاني والطين لصنع ملاط قابل للكسر يصلب إلى مادة شبيهة بالصخور. وقد استخدم الرومان الأسمنت لبناء قبة البانثيون التي يبلغ قطرها 43.3 مترًا، وهو صرح عمره 2000 عام، حيث تظل هذه القبة أكبر قبة خرسانية غير مسلحة على سطح الأرض (الشكل I-46).

إن غالبية الأسمنت المستخدم اليوم هو الأسمنت البورتلاندي، وهو عبارة عن خليط مسحوق يتكون في الغالب من الحجر الجيري ($CaCO_3$) والسيليكا (SiO_2)، بكميات أقل من الألومينا (Al_2O_3) وأكسيد الحديد الثلاثي (Fe_2O_3) والجبس ($CaSO_4.2H_2O$). يتفاعل خليط المسحوق مع الماء في عدد من التفاعلات المعقدة التي تنتج مادة نهائية شبيهة بالصخور. على عكس الطين، الذي يفقد الماء عند وضعه، يتفاعل الأسمنت البورتلاندي مع الماء ثم يتصلب، حيث تتضمن عملية التصلب تشكيل جسور Si-O-Si التي تنتج هياكل ليفية. ترتبط هذه الهياكل بقوة ببعضها البعض (وبمعظم المواد الأخرى). حصل الأسمنت البورتلاندي الأصلي على براءة اختراع في عام 1824 من قبل عامل بناء إنجليزي يُدعى جوزيف أسبدين Joseph Aspdin (1788-1855)، وهذا الأسمنت المتصلب يشبه حجر بناء مرموق من جزيرة بورتلاند في جنوب غرب إنجلترا ويستمد اسمه من هذا التشابه [45].

يصنع الأسمنت البورتلاندي عن طريق التسخين العالي لمزيج مسحوق ناعم من الطين والحجر الجيري، يتم تبريد المنتج النهائي، المعروف باسم الكلنكر (Clinker)، وبعد ذلك يتم طحنه إلى مسحوق ناعم جدًا، ويضاف له الجبس أثناء طحنه بمقدار 2٪، وهو ما يمنع سرعة تصلبه ويزيد في وقت تثبيته [11]، [40] و[46].

الشكل I-46 البانثيون الروماني، مازال معلمًا سياحيًا شهيرًا، يقع في وسط روما القديمة به قبة خرسانية يبلغ عمرها 2000 عام وقطرها 43.3 مترًا [45].

I-11- خصائص الجبس

كبريتات الكالسيوم المميهة، $CaSO_4.2H_2O$، المعدن الذي يتبلور في النظام أحادي الميل. غالبًا ما تكون للبلورات وجوها بسيطة ووجوهًا منحنية. يمكن العثور عليها في كتل حبيبية، من الحبيبات الخشنة إلى الحبيبات الدقيقة، المورقة وفي الأوردة الليفية الصغيرة. غالبًا ما يكون لديه توائم ملامسة، وأيضًا رأس سهم أو رمح مدبب، بصلابة 2 وكثافة 2.32 [47].

ومن خصائص الجبس أنه عندما يتم تسخينه في ظل ظروف منظمة بدقة، فإنه يفقد ثلاثة أرباع الماء المكون له، ويسمى "جبس باريس". يجب عدم تسخين الجبس بقوة كبيرة حيث يتشكل الملح اللامائي والذي يأخذ الماء تدريجياً، يسمى "الجبس المحترق الميت" (Dead burnt plaster) [46].

ومن خصائص الجبس أيضا

1. مقاومة الحريق:

الجبس له خصائص مقاومة النار، مما يوفر الحماية لممتلكات العميل من الحريق لأي سبب من الأسباب.

2. الخصائص الحرارية

الجبس قادر على تثبيت الظروف مثل الرطوبة ودرجة الحرارة في الأماكن المغلقة.

اللوح الجصي أو القوالب المستخدمة في البناء كمنتج للجبس تعزز خصائص العزل.

يساعد استخدام ألواح الجبس داخل المبنى على موازنة درجة الحرارة في المبنى.

3. الخصائص الصوتية

تستخدم منتجات الجبس لإنتاج خصائص عزل الصوت في المبنى.

تتميز ألواح الجبس الجبسية بخصائص أفضل من الطرق الأخرى مثل البناء لتقليل الضوضاء ومنع الصدى.

تتميز ألواح الجبس بخصائص امتصاص ضوضاء جيدة. إذا كنت ترغب في تحقيق كفاءة امتصاص

الصوت، فيمكن تحقيق ذلك من خلال تركيب جدار دريوال (Drywall) بسمك 75 مم بدلاً من جدار حجري بسمك 110 مم.

4. الخصائص غير المجمعة

يؤدي تسخين منتجات الجبس إلى تكوين بلورات مائية داخل المادة بسبب التكليس. مما يساعد بدوره في الحفاظ على درجة الحرارة، وتعمل هذه البلورات كطبقة عازلة حتى بعد التبريد [48].

I-12- استعمالات الجبس

I-12-1- صناعة مواد البناء

يستخدم الجبس بشكل رئيسي كمادة بناء، ويستخدم كمادة خام لتصنيع جميع أنواع مواد البناء مثل الأسمنت والألواح المختلفة المستخدمة في البناء وجبس باريس، أنواع مختلفة من الجبس تسمى "صارية الساتان" و"المرمر"(**Alabaster**) تستخدم في مجموعة متنوعة من وظائف الزينة بالرغم من صلابتها المنخفضة التي تحد من متانتها.

يعتبر الجبس حيويًا للديكورات الداخلية لجميع المباني التي يتجمع فيها الناس، من المنازل والمكاتب والمدارس والمتاجر إلى المصانع والمطارات. وهو يوفر الراحة الصوتية والحرارية اليومية، إلى جانب القوة ومقاومة الحريق، حيث أن العديد من التصميمات الداخلية الحديثة لن تكون موجودة بدون تنوع الجبس.

وتتميز ألواح الجبس بخصائص جيدة لقطع نقل الصوت، حيث يتم استخدام ألواح الجبس بشكل خاص لامتصاص أصوات الغلاف الجوي مثل الكلام والموسيقى، ويمكن أن يؤدي استخدام الجبس كمواد حشو في البلاستيك والمطاط إلى تحسين القوة الميكانيكية وتوازن مقاومة الحرارة للمواد البلاستيكية والمطاطية.

I-12-2- صناعة المواد الغذائية

تم تقديم الجبس للاستهلاك البشري في الولايات المتحدة من قبل إدارة الغذاء والدواء، حيث يُقبل الجبس كمصدر غذائي للكالسيوم، وفي المياه المستخدمة للمشروبات المختلفة ...إلخ. يستخدم الجبس المطحون فائق النعومة الأبيض (يرمز له بالرمزFG200) كمادة مضافة في تصنيع المواد الغذائية للمنتجات، فالجبس عالي النقاء يستعمل في صياغة محسنات الدقيق، لصنع الخبز والبسكويت وأي منتجات أخرى تعتمد على الدقيق مما يقلل من الالتصاق (الشكل I-47).

ويعتبر الجبس ناقل غير مكلف للمعادن والفيتامينات والإنزيمات والحديد التي تضاف مع الدقيق، حيث يتم عمل مزيج مسبق من هذه المواد بشكل عام ثم يتم إضافته إلى الدقيق، ويستخدم الجبس أيضًا كموسع منخفض التكلفة للدقيق وكمكمل للكالسيوم. أما في الثقافات الآسيوية التي تستخدم تقليديًا القليل من منتجات الألبان فيستعمل كمخثر للتوفو (هي نوع من الجبن النباتي مصنوعة من حليب الصويا)، مما يجعله في النهاية مصدرًا رئيسيًا للكالسيوم الغذائي.

الشكل I-47 يستخدم الجبس المطحون فائق النعومة الأبيض كمادة مضافة في تصنيع المواد الغذائية للمنتجات، والكأس على اليمين يحتوي على كبريتات الكالسيوم الغذائية.

I-12-3- في مجال الزراعة

يمكن استخدام الجبس في الزراعة لتحسين كفاءة التربة وامتصاص الرطوبة، ويتم استخدامه كمادة مضافة للتربة لإزالة التأثير العابر للقلوية (الشكل I-48)، يقدم الجبس فوائد كبيرة لبعض المحاصيل، حيث تستفيد محاصيل مثل الفاكهة والذرة والقطن والقمح والفول السوداني من احتياجها الكبيرة للكبريت. إضافة إلى ذلك من فوائده للزراعة ما يلي:

- يطبق الجبس على التربة كمصدر للكالسيوم والكبريت، حيث أن الكالسيوم الذي يتم توفيره بواسطة الجبس في الأسمدة له قيمة في إنتاج المحاصيل في المناطق التي تمر فيها التربة بالتسرب على نطاق واسع.
- تستخدم مواد الكبريت في التربة بسبب تأثيره المفيد الملحوظ على نمو النبات، بغض النظر عن عمله كمكون للبروتين والعديد من المواد الأخرى في النباتات، فإن الكبريت له تأثير على تطور الكلوروفيل في أوراق النبات.
- يقلل الجبس من سمية الألومنيوم والبورون في التربة الحمضية، كما أنه يحسن بنية التربة ويحسن امتصاص الماء والتهوية، ويمكن كذلك إدخال كتلة جبسية في التربة، وتقاس مقاومتها الكهربائية للحصول على رطوبة التربة.
- يستخدم الجبس أيضا في زراعة الفطر لمنع الحبوب من التكتل مع بعضها.

الشكل I-48 صورة تظهر استعمال الجبس في المزروعات [46].

I-12-4- النمذجة والنحت والفن

أثبتت العديد من البحوث أن الكتبة والمزخرفون في العصور الوسطى قد مزجو الجبس بكربونات الرصاص (مسحوق الرصاص الأبيض) لصنع الجيسو (Gesso)، والذي كان يطبق على الحروف المضيئة والمذهبة بالذهب في المخطوطات المضيئة، وعلى الألواح الخشبية أو الجبس أو الحجر أو القماش لتوفير الأرضية للحرارة وللرسم الزيتي، كما استعمل كمادة مرمرية للنحت.

I-12-5- الصناعة الطبية

يستخدم الجبس في العلاج السريري للكسور العرضية وأمراض العظام المختلفة (الشكل I-49)، كما يستخدم في لصقات القوالب في طب الأسنان وفي كريمات القدم والشامبو والعديد من منتجات الشعر الأخرى، إضافة إلى أنه عامل طبي في الطب الصيني التقليدي يسمى "شي جاو" [46] و[48].

الشكل I-49 استخدام الجبس في علاج كسور العظام [46].

الشكل I-50 مصنع يوشينو للجبس في اليابان: إعادة تدوير ألواح الجبس هي جزء لا يتجزأ من عملية التصنيع التي تنتج ألواح جص جديدة [11].

I-13- إعادة تدوير مادة الجبس

يمكن وصف حلقة إعادة تدوير الجبس بأنها "حلقة إعادة التدوير المغلقة" حيث يمكنك إعادة تدويرها عدة مرات ولا تفقد جودتها أبدًا [49]. وتستفيد صناعة الجبس من قابلية إعادة التدوير الأبدية للجبس لتحريك سلسلة البناء نحو أثر بيئي إيجابي. ولأجل حماية البيئة والحفاظ على الموارد وتعزيز المصالح طويلة الأجل، فإن إعادة تدوير الجبس في ازدياد عبر دول العالم، حيث يمكن إعادة تدوير ألواح الجدران وهدم المباني (الشكل I-50)، وتتم عملية إعادة التدوير بسحق ألواح الجدران المراد إعادة تدويرها، وفصلها إلى ورق وجبس، وبهذا يدخل هذا الأخير في عملية إنتاج ألواح الجبس الجديدة بجانب الجبس المُستخرج والمُصنَّع [11].

وحتى وقت قريب، كان يتم التخلص من معظم الجبس الناتج أثناء أعمال تصنيع ألواح الجبس أو هدم البنايات في مكب النفايات [50].

خاتمة الفصل الأول

في هذا الفصل تم التطرق لنواحي عدة للتعريف بالجبس وإن كانت جميعها مفيدة ولكن أهمها معرفة ما هو الجبس وما هي أنواعه واستعمالاته وخصائصه وبالأخص حالته الفريدة والمفيدة في تحوله الدوراني ألا محدود من كبريتات الكالسيوم المائية $(CaSO_4.2H_2O)$ إلى باسينيت أو ما يسمى بجبس باريس $(CaSO_4.\frac{1}{2}H_2O)$ وذلك بتسخينه في ظروف منظمة لنزع ثلاثة أرباع ماءه، وأنه يعود إلى حالته الصلبة بمجرد إضافة الماء له، وهكذا. كما أنه يمكن أن يتشكل في حالة تسخينه بقوة كبيرة إلى الملح اللامائي وهو الأنهدريت $(CaSO_4)$ المسمى "الجبس المحترق الميت" (Dead burnt plaster)، وهذه هي أهم ثلاث حالات تتوجد عليها هذه المادة.

مراجع الفصل الأول

[1] https://fr.wiktionary.org/wiki/gypsum, consulté le 17-03-2022.

[2] https://cours.polymtl.ca/PBedard/glq1100/mineraux/gypse/gypse.html, consulté le 17-03-2022.

[3] محمد محمد كذلك، "الأحجار الكريمة والمعادن النفيسة"، القاهرة: مكتبة ابن سينا للطبع والنشر والتوزيع والتصدير، مصر 2003، (ص73-75).

[4] Inventor: Veeramasuneni, Srinivas, "Method Of Making Water-Resistant Gypsum-Based Article", U.S. Geological Survey, European Patent Specification: EP 1 778 457 B1, Date of publication and mention of the grant of the patent: 02.12.2015 Bulletin 2015/49.

[5] https://ar.wikipedia.org/ wiki/جص, Consulté le 17-03-2022.

[6] Tir Chafia, "Genèse des sols à accumulation gypso calcaire et salines dans la région de Ain Ben Noui – Biskra approche minéralogique et morphoscopique", Mémoire de Magister, Institut National Agronomique El-Harrach, 2007.

[7] https://www.mindat.org/locentries.php?m=1784&p=21894, Consulté le 17-03-2022.

[8] Arnaud Charmoille et autres, "GUIDE Dissolution naturelle du gypse dans le sous-sol : Analyse et gestion des aléas mouvements de terrain de type affaissement et effondrement", Institut national de l'environnement industriel et des risques (Ineris), Climat et territoires de demain (Cerema), 2017.

[9] "Oxford Dictionary of Science", Sixth Edition, Oxford University Press, Great Britain, 2010.

[10] Association of the Wall and Ceiling Industry (AWCI), "AWCI's Construction Dimensions: The History of Gypsum", March 1985.

[11] Catherine E. Housecroft and Alan G. Sharpe, "Inorganic Chemistry", Fourth Edition, Pearson Education Limited, 2012.

[12] https://www.bbc.com/arabic/art-and-culture-46697566, Consulté le 22-05-2022.

[13] https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Human-headed_Winged_Bulls_Gate_Khorsabad_-_Louvre_01a.jpg, Consulté le 22-05-2022.

[14] https://ar.wikipedia.org/wiki/العمارة_في_الجزائر , Consulté le 22-05-2022.

[15] محمد حشلاف، " تطبيق المقاربة البيوغرافية لدراسة العصور القديمة في بلاد المغرب ماسينيسا، يوبا الثاني أنموذجا"، مذكرة لنيل درجة الماجستير، جامعة الجزائر 2 - أبو القاسم سعد الله، 2016.

[16] https://ar.wikipedia.org/wiki/لجدار, Consulté le 22-05-2022.

[17] https://www.tripadvisor.com.eg/LocationPhotoDirectLink-g1211997-d15076188-i351646649-Roman_Ruins_Timgad-Timgad_Batna_Province.html, Consulté le 22-05-2022.

[18] https://ar.wikipedia.org/wiki/قصر_المشور, Consulté le 22-05-2022.

[19] https://www.visitlondon.com/things-to-do/place/610825-westminster-abbey, Consulté le 22-05-2022.

[20]https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Nottingham_Castle_gatehouse_01.jpg, Consulté le 22-05-2022.

[21] http://yoshino-gypsum.vn/en/history-of-the-constructing-material-gypsum, Consulté le 22-05-2022.

[22] فاتح باهي، " افران الجبس التقليدية ودورها في تنشيط الحركة العمرانية في وادي سوف مطلع ق 20"، مجلة قبس للدراسات الإنسانية والاجتماعية، جامعة حمة لخضر بالوادي، المجلد الثاني (02) العدد الثاني (02) ديسمبر 2018.

[23] C.Azil and Others, "The desert rose domes of the souf region (algeria). preliminary evaluations on the vulnerability of a unique vernacular heritage", The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XLIV-M-1-2020, Spain, 2020.

[24] طواهرية وردة، "دراسة أثر الرقابة الداخلية في الحفاظ على ممتلكات المؤسسة دراسة ميدانية بشركة الزغبيات – الوادي"، مذكرة ماستر جامعة الوادي، 2015.

[25] https://mawdoo3.comطريقة_صنع_الجبس/, Consulté le 22-05-2022.

[26] https://www.youtube.com/watch?v=rmbA2kMmzo0, consulté le 15/05/2022.

[27] ROUAHNA Houria, "Individualisation de gypse dans les sols de la plaine d'El Outaya", THESE DOCTORAT, Université Mohamed Kheider Biskra, 2019

[28] https://www.fao.org/soils-portal/data-hub/soil-maps-and-databases/faounesco-soil-map-of-the-world/en/, Consulté le 22-05-2022.

[29] https://esdac.jrc.ec.europa.eu/content/soil-map-soil-atlas-africa, Consulté le 22-05-2022.

[30] D. Robert, Jr. Crangle, "Mineral Commodity Summaries 2021", U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries, January 2021.

[31] "2017 2018–Minerals Yearbook ALGERIA [ADVANCE RELEASE]", U.S. Department of the Interior - U.S. Geological Survey, August.

[32] https://www.statista.com/statistics/264936/global-gypsum-production-by-major-countries/, Consulté le 19-03-2022.

[33] https://en.wikipedia.org/wiki/Gypsum, Consulté le 19-03-2022.

[34] https://www.mindat.org/photo-773928.html, Consulté le 22/05/2022.

[35] https://www.istockphoto.com/photo/alabaster-jar-1-gm139743636-1413973, Consulté le 22/05/2022.

[36] Charles N., Colin S., Gutierrez T., Lefebvre G., "Rapport final Gypse et Anhydrite – Mémento", BRGM/RP-69280-FR, Mars 2020.

[37] "البحوث الصناعية" المجلد 2 العدد الثاني، ليبيا، 1993

[38] https://www.britannica.com/science/gypsum, Consulté le 22/05/2022.

[39] https://www.mindat.org/photo-829062.html, Consulté le 22/05/2022.

[40] J.D. Lee, "Concise Inorganic Chemistry for JEE (Main & Advanced)", Wiley India, Fourth Edition: 2017, Reprint: 2019

[41] https://www.britannica.com/technology/plaster-of-paris, Consulté le 22/05/2022.

[42] https://en.wikipedia.org/wiki/Plaster, Consulté le 19-03-2022.

[43] https://patentscope.wipo.int/search/ar/detail.jsf?docId=WO2006020369, Consulté le 22/05/2022.

[44] https://www.partexgypsumboards.com/gypsum-boards/moisture-resistant-boards/, Consulté le 22/05/2022.

[45] Nivaldo J. Tro, "Chemistry A Molecular Approach GLOBAL EDITION", FIFTH EDITION, Pearson Education Limited, United Kingdom, 2021.

[46] https://www.guyhowto.com/gypsum-occurrence-properties-uses/, Consulté le 22/05/2022.

[47]https://web.archive.org/web/20210415191250/https://www.enciclopedia.cat/ec-gec-0113339.xml, Consulté le 22/05/2022.

[48] https://9to5civil.com/gypsum/, Consulté le 22/05/2022.

[49] https://www.vedantu.com/chemistry/gypsum, Consulté le 22/05/2022.

[50] https://gpda.com/sustainability/, Consulté le 22/05/2022.

الفصل الثاني:

التقنيات والوسائل المستعملة

II – التقنيات والوسائل المستعملة

II–1- طرق الفصل الكيميائي والفيزيائي

هي التقنيات والوسائل التي تستخدم خاصية معينة للمادة المراد فصلها عن بقية أجزاء العينة، وتسمى عملية الفصل هذه بعملية التنقية (طرائق التنقية)، ويمكن فصلها بطرق فيزيائية مثل التذويب والترشيح والتبخر والتقطير والطرد المركزي أو بطرق كيميائية مثل التحليل الكروماتوغرافيا والاستخلاص والتقطير والترسيب، ويستفاد منها في تعدين المعادن وتنقية المواد وإنتاج الزيوت النباتية والمواد الطبيعية من خاماتها .....الخ، وفي الكيمياء التحليلية تستخدم لتقدير كمية المادة [1، 2، 3].

II–1-1- الترسيب (Precipitation) : هي من أقدم تقنيات الفصل التي استخدمت لتقدير العناصر، حيث يتم ترسيب المادة المراد فصلها ثم ترشح عن بقية أجزاء العينة، ومن ثم حساب وزنها عن طريق الميزان. ويمكن فيها فصل الجسيمات مثل الشظايا الصغيرة من السيليكا والألومينا إلى أجزاء مختلفة من مختلف الأحجام والكثافات. حيث تستقر معلقات الجسيمات الضخمة نسبيًا تحت تأثير الجاذبية، ويمكن استغلال المعدلات المختلفة لإحداث عمليات الفصل [1، 2، 3].

II–1-2- الغربلة (بالإنجليزية : Sieving) : عندما يكون لدينا كميات كبيرة من المواد لفرزها ويكون للجسيمات المختلفة أحجام مختلفة، يمكننا **غربلة** الخليط، بحيث تسقط الحبيبات صغيرة الحجم من خلال الفتحات الموجودة في الغربال وتبقى الحبيبات الكبيرة داخل الغربال، ومن الأمثلة على عملية الفصل بالغربلة فصل الحجارة أو الحصى عن الرمل، إذ تسقط حبيبات الرمل من الغربال وتبقى الحبيبات الكبيرة كالحجارة والحصى داخل الغربال [4].

الشكل II-01 غربال اختبار من W.S. Tyler [5].

II-1-3- التبلور والترسيب

التبلور هو تقنية تستخدم منذ فترة طويلة في تنقية المواد. في كثير من الأحيان، عندما يتم وضع مادة صلبة (مركب واحد) في سائل، فإنها تنحل. عند إضافة المزيد من المادة الصلبة، يتم الوصول في النهاية إلى نقطة لا تنحل بعدها أي مادة صلبة أخرى، ويقال إن المحلول مشبع بالمركب الصلب. يعتمد تركيز المحلول المشبع على درجة الحرارة، وفي معظم الحالات درجة حرارة أعلى تؤدي إلى تركيز أعلى.

يمكن استخدام هذه الظواهر كوسيلة لإحداث الانفصال والتطهير، وبالتالي، إذا تم تبريد محلول مشبع عند درجة حرارة معينة، يبدأ المكون المذاب في الانفصال عن المحلول ويستمر في القيام بذلك حتى يصبح المحلول مشبعًا مرة أخرى عند درجة حرارة منخفضة. نظرًا لاختلاف قابلية ذوبان مركبين صلبين في مذيب معين بشكل عام، فمن الممكن غالبًا العثور على ظروف مثل أن يكون المحلول مشبعًا بمركب واحد فقط من مكونات الخليط. عندما يبرد مثل هذا المحلول، يتبلور جزء من المادة الأقل قابلية للذوبان بمفرده، بينما تظل المكونات الأكثر قابلية للذوبان منحلة.

تم استخدام الترسيب لسنوات عديدة كطريقة قياسية لفصل وتحليل المعادن. ومع ذلك، فقد تم استبداله الآن بطرق آلية انتقائية وحساسة تحلل بشكل مباشر العديد من المعادن في المحاليل المائية [3].

II-1-4- جهاز الطرد المركزي يصعب فصل الحبيبات الصلبة صغيرة الحجم عن المحلول في بعض الأحيان، لذا يتمّ استخدام جهاز الطرد المركزي، وهو جهاز ميكانيكي يدور بسرعة عالية جداً تُساعد على فصل الجزيئات الصلبة عن المحلول حيث تتجه جزيئات المحلول كبيرة الحجم إلى الخارج بعيداً عن محور الدوران، أما الجزيئات الصلبة صغيرة الحجم فتستقر في القاع.

ومن الأمثلة على ذلك عملية فصل الرمل عن الماء حيث يحتاج فصلها بالطرق العادية إلى وقت كبير، بينما باستخدام جهاز الطرد المركزي تتمّ عملية الفصل خلال ثوانٍ [6].

وسيتم التطرق في هذه الدراسة إلى طريقتين لفصل المواد ألا وهما الترسيب والغربلة وذلك من أجل تحسين نوعية مادة الجبس المتواجدة بمناجم منطقة الفولية والتي هي خليط غير متجانس من عدة مواد أهمها الجبس والرمل.

II–2– تقنية انعراج الأشعة السينية

II–2-1- مقدمة

لقد ترسخ مصطلح انعراج أو حيود الأشعة السينية على عينات المسحوق في علم البلورات، فهو يستخدم على نطاق واسع في مجال توصيف المواد للحصول على معلومات حول البنية الهيكلية المختلفة في المقياس الذري لكثير من الحالات المتنوعة، بالطبع، كانت هناك تطورات عديدة في هذا المجال، منذ أن أعطى برافيه (A. Bravais) تصورا ووصفا دقيقا للبناء الهندسي للحالة البلورية، واكتشف (فون لو M. Von Laue) في 1912 انعراج الأشعة السينية في البلورات، ثم استطاع براغ (W. H et W. L. Bragg) في 1913 تصنيع أول جهاز لانعراج الأشعة السينية Diffractomètre RX، ومنه تم التحقق المباشر للطبيعة الدورية للترتيب البلوري، كما تحقق تعيين البنية البلورية للمادة [7].

وبالتالي أصبح بالإمكان التعرف على التركيب البلوري لمادة ما ودراسة الترتيب الذري في الشبيكة البلورية أو حتى تصويره باستخدام أشعة ذات طول موجي معين [8]، حيث إن الطول الموجي للإشعاع هو معيار لانتشار الإشعاع بالمادة الذي يجب أن يكون في حدود حجم المسافات الشبكية للخلايا البلورية (من بضعة أعشار إلى بضعة أنغستروماتات) [8، 9]. وأنسب الموجات لهذا الاستخدام هي موجات الأشعة السينية X-Rays، والموجات المصاحبة للإلكترونات والنيترونات [8، 10]، ولأن هذه الأنواع متشابهة تقريبا في المعالجة الرياضية فسيتم التطرق فقط بالتفصيل للأشعة السينية [10].

II–2-2- تعريف الاشعة السينية

إن الأشعة السينية (X-Ray وتسمى كذلك بأشعة روتنجن) هي أمواج كهرومغناطيسية نفاذة أطوالها الموجية تتراوح بين 0.1 Å و100 Å، وهي تتولد من تصادم الإلكترونات السريعة بهدف فلزي، كما تبتعثها التغيرات في ترتيب الإلكترونات في الذرة [11].

والأشعة السينية هي موجة كهرومغناطيسية، ولها طبيعة إزدواجية (موجية وجسيمية)، وتنطبق عليها جميع قوانين البصريات الهندسية والفيزيائية، تنتقل بخطوط مستقيمة منبعثة من مصدرها ولا تنحرف عن اتجاهها عند مرورها خلال المجالات المغناطيسية والكهربائية ولذلك فهي ليست دقائق مشحونة بالكهرباء [12]. وتتميز بتعاملها مع المادة نظرا لقصر طول موجتها (يوازي تقريبًا قطر الذرة وكذلك المسافات بين الذرات المكونة للمادة الصلبة) وارتفاع كمية طاقة فوتوناتها النسبي (فهي موازية للطاقة اللازمة لاقتلاع الكترون من الطبقات الداخلية في الذرة)، وتستخدم الأشعة السينية في ميدان علم البلورات التي يتراوح طولها الموجي بين 0.5 Å و2.5 Å [9].

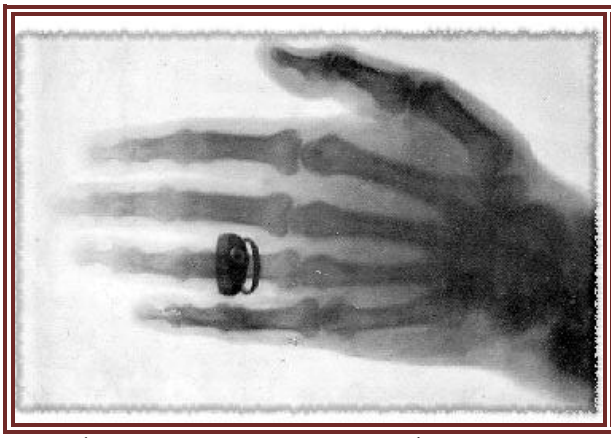
ويمكن الحصول على طيف الأشعة السينية من خلال الظاهرتين التاليتين:

- التحولات الإلكترونية في الطبقات الذرية الداخلية
- في طيف الإشعاع الكهرومغناطيسي المنبعث من تسارع أو تباطؤ الالكترونات [9].

II-2-3- تاريخ الأشعة السينية

في عام 1896م أعلن الفيزيائي روتنغن وفي الجمعية الفيزيائية والطبية في مدينة فورزبرغ أنه اكتشف إشعاعا جديدا يمتاز بقدرة على اختراق الأجسام ويتيح الحصول على صور من خلالها. وقد سماها أشعة إكس على اعتبار هذه الأشعة كانت مجهولة [12]، وخلال عرض روتنجن لاكتشافه طلب العالم الطبيب فان كوليكر تصوير يده بالأشعة الجديدة فكان له ما أراد أثناء عقد الاجتماع (أنظر الشكل II-03) وهي ثاني عملية تصوير بالأشعة السينية والاكتشاف بعد يد زوجة روتنجن آنا بيرتراند (Anna Bertrand).

الشكل II-02 أشكال للأنبوبة التي استخدمها رونتجن لإنتاج الأشعة السينية [13].

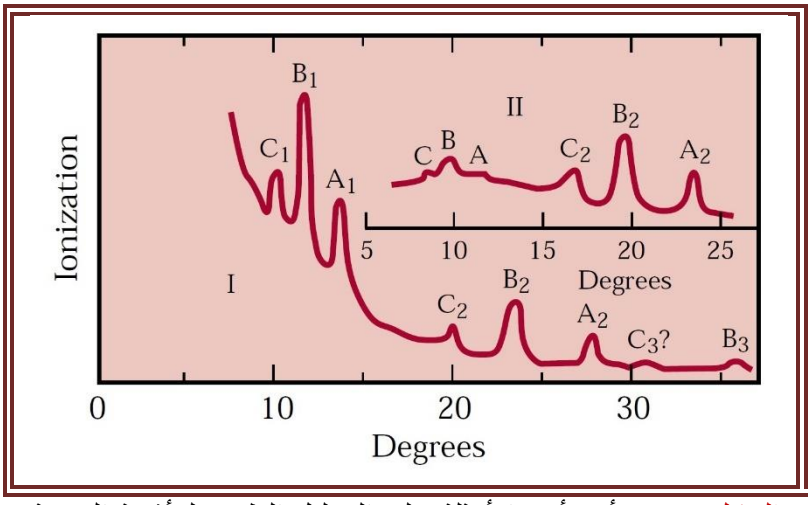


الشكل II-03 أول صورة في مكان عام بالأشعة السينية ليد عالم التشريح ألبرت فون كوليكر [13].

كان لاكتشاف لاو عام 1912 ظاهرة انعراج الأشعة السينية بواسطة البلورات، الأثر المهم في حقلين:

- علوم الأشعة السينية، إذ ساهمت بالبرهان على الطبيعة الموجية للأشعة السينية.
- علم البلورات إذ برهن انعراج الأشعة السينية بواسطة البلورات على وجود تناظر (تناسق) بلوري لم يكن بالإمكان إثباته قبل ذلك

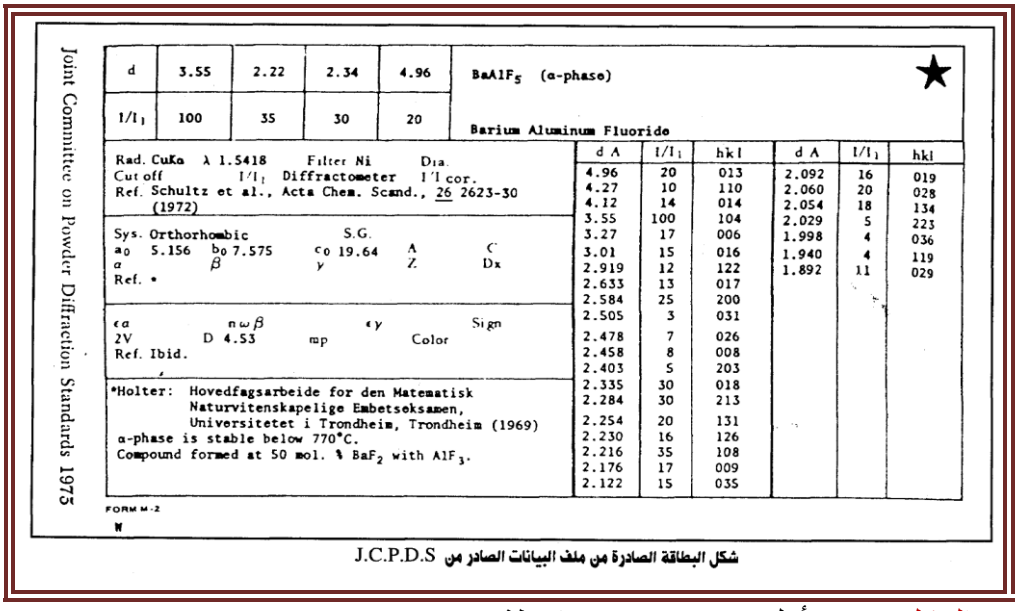
أحد أقدم الأمثلة على التحليل الطيفي للأشعة السينية، اكتشفه العلمان الانجليزيان براغ بالصدفة، أثناء دراسة تشتت الأشعة السينية في البلورات (الشكل II-04)، فقد لاحظا ظهور نمط مميز من القمم لكل من مضادات الكاثودات المختلفة المستخدمة لإنتاج الأشعة، ما بدأ في البداية كدراسة لتركيب البلورات أدى إلى تحقيق في التركيب الذري للعناصر المضادة للكاثود.



الشكل II-04 أحد أقدم الأمثلة على التحليل الطيفي للأشعة السينية (W. H. Bragg and W. L. Bragg) [13].

في الأيام الأولى من تصوير البلورات بالأشعة السينية، تم استخدام كاميرات الأفلام الأسطوانية (على سبيل المثال، كاميرا *Weisenberg*) أو الكاميرا الاستباقية لتسجيل أنماط الانعراج وتحديد الهياكل البلورية. تعطي صور هذه الكاميرات صورة غير مشوهة للشبيكة المتبادلة. تجعل هذه الصور عملية الفهرسة سهلة للغاية، ولكنها تظهر بعدين فقط، على سبيل المثال (*h0l*) للشبكة المتبادلة. وبعدها تم تقديم كاميرا *Arndt-Wanacott*، الأكثر استخدامًا خلال سنوات في السبعينيات. يتم تدوير البلورة بشكل عمودي على شعاع من الأشعة السينية، ثم يتم قياس جميع الأبعاد الثلاثة للشبيكة المتبادلة في وقت واحد، ولكن بطريقة مشوهة. وبهذه الطريقة يتم تحسين وقت القياس ولكن الفهرسة ليست مباشرة [14].

وكان أول ملفات بيانات انعراج الأشعة السينية من المساحيق صدر سنة 1938 وهو الفهرس الخاص بـ *Hanawalt , Rinn and Frevel* ثم تلى ذلك سنة 1939 الفهرس الخاص بـ *Boldyrev , Mikheiev , Kovalev and Dubinina* ثم تلى ذلك سنة 1942 بواسطة *Harcoart* والأول صدر بواسطة : *American Society for testing materials* وفيه ترتب المواد حسب قيم *d* للانعكاسات صاحبة القيم الكبرى للشدة الأول ثم الثاني ثم الثالث وحيث إن البطاقات تكون مرتبة حسب قيم *d* فكل مادة تظهر ثلاث مرات في الفهرس (أنظر الشكل II-05) وفي أعلى البطاقة تظهر قيم شدة الانعكاس النسبية للانعكاسات الثلاثة ذات القيم العظمى للشدة كما تحتوى البطاقة على أبعاد الوحدة البنائية والمجموعة الفراغية وكثافة المادة [15].



Joint Committee on Powder Diffraction Standards 1975

d	3.55	2.22	2.34	4.96
I/I1	100	35	30	20

$BaAlF_5$ (α-phase) ★

Barium Aluminum Fluoride

Rad. CuKα λ 1.5418 Filter Ni Dia.
Cut off I/I1 Diffractometer I/I cor.
Ref. Schultz et al., Acta Chem. Scand., 26 2623-30 (1972)

Sys. Orthorhombic S.G.
a0 5.156 b0 7.575 c0 19.64 A C
α β γ Z Dx
Ref. •

εα nωβ εγ Sign
2V D 4.53 mp Color
Ref. Ibid.

*Holter: Hovedfagsarbeide for den Matematisk Naturvitenskapelige Embetseksamen, Universitetet i Trondheim, Trondheim (1969)
α-phase is stable below 770°C.
Compound formed at 50 mol. % BaF_2 with AlF_3.

d A	I/I1	hkl	d A	I/I1	hkl
4.96	20	013	2.092	16	019
4.27	10	110	2.060	20	028
4.12	14	014	2.054	18	134
3.55	100	104	2.029	5	223
3.27	17	006	1.998	4	036
3.01	15	016	1.940	4	119
2.919	12	122	1.892	11	029
2.633	13	017			
2.584	25	200			
2.505	3	031			
2.478	7	026			
2.458	8	008			
2.403	5	203			
2.335	30	018			
2.284	30	213			
2.254	20	131			
2.230	16	126			
2.216	35	108			
2.176	17	009			
2.122	15	035			

FORM M-2
N

شكل البطاقة الصادرة من ملف البيانات الصادر من J.C.P.D.S

الشكل II-05 أول فهرس صدر بواسطة: *American Society for testing materials* [15]

وباستخدام هذه الملفات يمكن التعرف على المواد سواء كانت مواد نقية أو مخاليط، ففي حالة المواد النقية يكون التعرف عليها سهلا بفحص الفهرس أما في حالة المخاليط فهو أكثر صعوبة، فعند التمكن من معرفة المكون الأول يتم فصل بقية الانعكاسات ثم يتم زيادة شدة الانعكاس الأقوى حتى تصبح قيمتها 100 ثم يتم إجراء نفس الخطوات لمعرفة المكون الثاني، وهكذا.

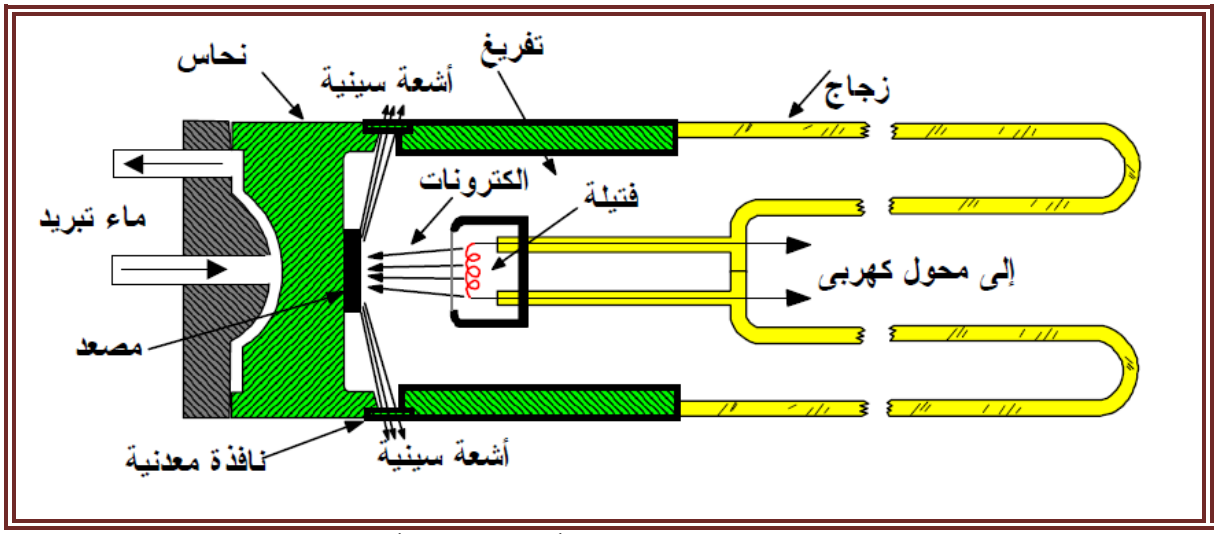
II-2-4- توليد الأشعة السينية

يتم توليد الأشعة السينية بواسطة جهاز عبارة عن أنبوبة مفرغة تحتوي على مصعد (هدف) ومهبط، فعند تسخين المهبط بواسطة فتيلة، كما هو مبين (أنظر الشكل II-06) تنبعث منه إلكترونات يتم تعجيلها نحو المصعد بواسطة فرق الجهد العالي المطبق بين المصعد والمهبط. تصطدم الالكترونات المعجلة بالمصعد وتتولد أشعة سينية تنبعث منه لتخرج من فتحة جانبية (نافذة) عبارة عن غشاء رقيق من معدن. وحيث أن معظم طاقة الالكترونات المعجلة تفقد عند الاصطدام بالمصعد على شكل طاقة حرارية (99 % طاقة حرارية و1 % لتوليد أشعة) يجب أن يصنع المصعد من معدن له درجة انصهار عالية ويجب أن يكون ذو كتله كبيرة لإطالة عمر التشغيل. يتم تبريد المصعد بواسطة دائرة تبريد (مائية) للتخلص من الحرارة المتولدة الزائدة. ويكون فرق الجهد بين المهبط والمصعد كبيرا ويتراوح بين 1 و50 كيلو فولت (وأحيانا أكثر من ذلك) [10].

II-2-4-1- مكونات أنبوبة الأشعة السينية

تعتبر أنبوبة الأشعة السينية (X-Ray tube) هي جهاز لتوليد الأشعة السينية عن طريق تسريع الإلكترونات إلى طاقة عالية بواسطة مجال كهروستاتيكي وجعلها تضرب هدفًا معدنيًا إما في أنبوبة تحتوي

على غاز منخفض الضغط أو كما هو الحال في الأنابيب الحديثة، في فراغ عالي. ويصنع الهدف مصنوع من معدن ثقيل (عادة يكون التنجستن) ومدعوم بقطب موجب معدني ضخم (انظر الرسم التوضيحي الذي يوضح أنود النحاس المبرد بالسوائل الشكل II-06). يتم إنتاج شعاع الإلكترون عن طريق تسخين الكاثود بخيوط التنجستن البيضاء الساخنة. حيث يقوم المحول بتزويد الأنبوبة بالجهد العالي، غالبًا تكون 100 KV [16].



الشكل II-06 مخطط توضيحي لأنبوبة توليد الأشعة السينية [10].

وتتكون الأنبوبة من:

- **أنبوبة زجاجية مفرغة من الهواء** ويوجد بها المهبط (Cathode) وبه الفتيلة من التنجستن والهدف أو الأنود (Anode).
- **المهبط أو الكاثود (Cathode)** هو قطب سالب الشحنة وبه الفتيلة التي تسخن لتعرضها لفرق جهد فتتولد الالكترونات وتنطلق نحو الأنود بسرعة عالية بفعل الجهد العالي بين القطبين بالأنبوبة الأنود والكاثود الذي يكون بين 20 KV إلى 150 KV.
- **الهدف (المصعد أو الأنود) (Anode)** هو قطب موجب الشحنة يجذب الإلكترونات من الكاثود الذي به الهدف الفلزي المصنوع من معدن ضخم وثقيل، عادة يكون التنجستن الذي يحول الطاقة الحركية للإلكترون القادم من الكاثود بسرعة كبيرة إلى نوعين أخرين من الطاقة هما الأشعة السينية وطاقة حرارية (99 % طاقة حرارية و1 % لتوليد أشعة السينية).

II-2-5- خصائص الأشعة السينية

أهم خصائص الأشعة السينية، والتي ساهمت في توضيح طبيعتها وفي تطور استعمالها في شتى المجالات، أنها:

- تنساب بخط مستقيم وبسرعة مساوية لسرعة الضوء.
- لا تتأثر بوجود حقل مغناطيسي أو حقل كهربائي وهذا ما يدل على أنها لا تحمل أي شحنة كهربائية.

- يتغير طول موجتها، بحسب طبيعة معدن المهبط، بين جزء من عشرة من الأنجستروم Å ومئة أنجستروم Å (0.1 Å <λ< 100 Å).
- تؤثر على أفلام التصوير.
- تسبب فلورة أو فسفرة بعض الأجسام [12].

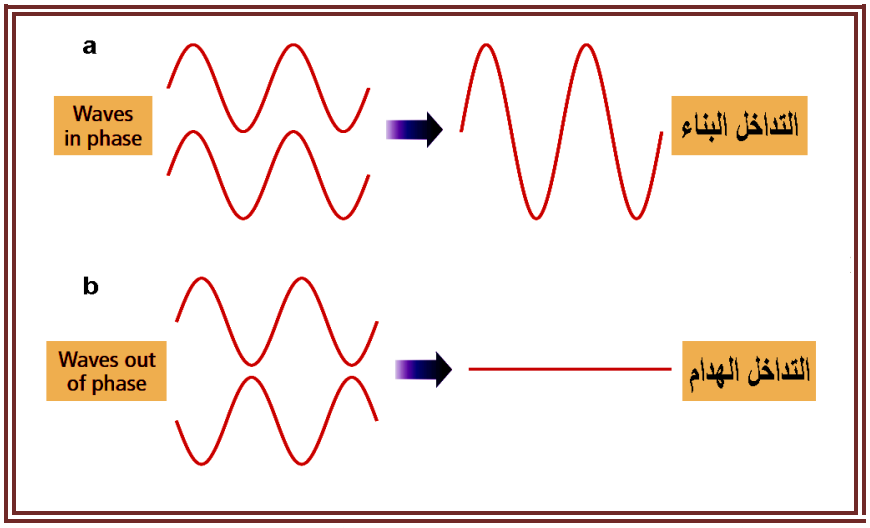
II-6-2- انعراج الأشعة السينية (X-Ray diffraction)

هو انحراف الأشعة السينية عن اتجاهها بفعل ذرات المادة (في البلورة) ومقدارها يمكن من معرفة ترتيب وطبيعة الذرات في البلورة [11]

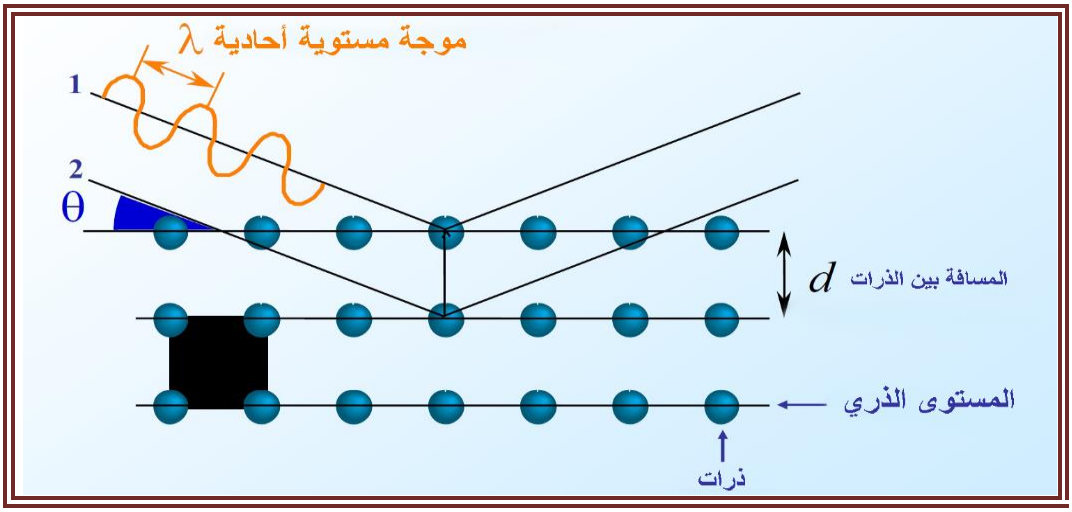
II-6-2-1- مبدأ انعراج الاشعة السينية

يتم انعراج الأشعة السينية عند انعكاسها على مسطحات شبكية تحتوي على عدد من الذرات المكونة للبلور. ويحصل الانعكاس، حسب قوانين الانعكاس العادية، حيث أن قسمًا من حزمة الأشعة السينية ينعكس والقسم الباقي يكمل طريقه لينعكس على مسطحات أخرى. وبالتقاء الإشعاعات المنعكسة تحدث ظاهرة التداخل المعروفة في حقل البصريات الفيزيائية والتي أثبتت في تجربة لاوي عام 1912. وأن طبيعة الأشعة السينية هي نفس طبيعة الضوء العادي مع فارق طول الموجة [12].

وظاهرة التداخل هي عملية تتحد من خلالها الموجات لتنتج إما زيادة أو نقصانًا في السعة (الشدة) اعتمادًا على المدى الذي يتم فيه فصل الحد الأقصى للموجات المجمعة (انظر الشكل II-07 والشكل II-08) [17].



الشكل II-07 موجات الضوء التي تشغل نفس الفضاء تتعرض للتداخل، وتتحد لتنتج موجات ذات شدة أكبر (*a*) أو أقل (*b*)، اعتمادًا على الفصل بين الحدود القصوى والدنيا [18].



الشكل II-08 الموجتان 1 و2 يتداخلان بشكل بناء إذا اختلاف مسارهما $\delta = n\lambda$ [19]

II-2-6-2- قانون براغ

تمكن "براغ" من فرض نموذج بسيط للتركيب البلوري يمكن بواسطته معرفة اتجاه انعراج الأشعة السينية من البلورة بعد سقوطها عليها، وفي هذا النموذج افترض براغ أن المستويات المختلفة التي تتكون من ذرات البلورة يمكن أن تعكس الأشعة السينية ويبين (الشكل II-09) الطريقة التي استنتج بها "براغ" قانونه على الصورة:

$$n\lambda = 2d_{hkl}\sin\theta \qquad (01\text{-II})$$

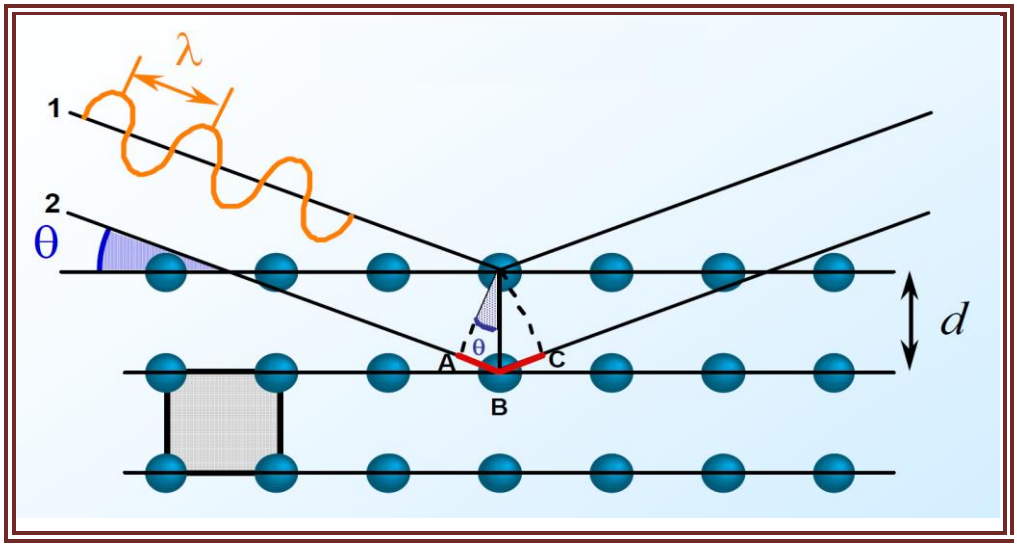
حيث: θ زاوية سقوط الأشعة

λ الطول الموجي للأشعة

n عدد صحيح يسمى "رتبة الانعكاس"

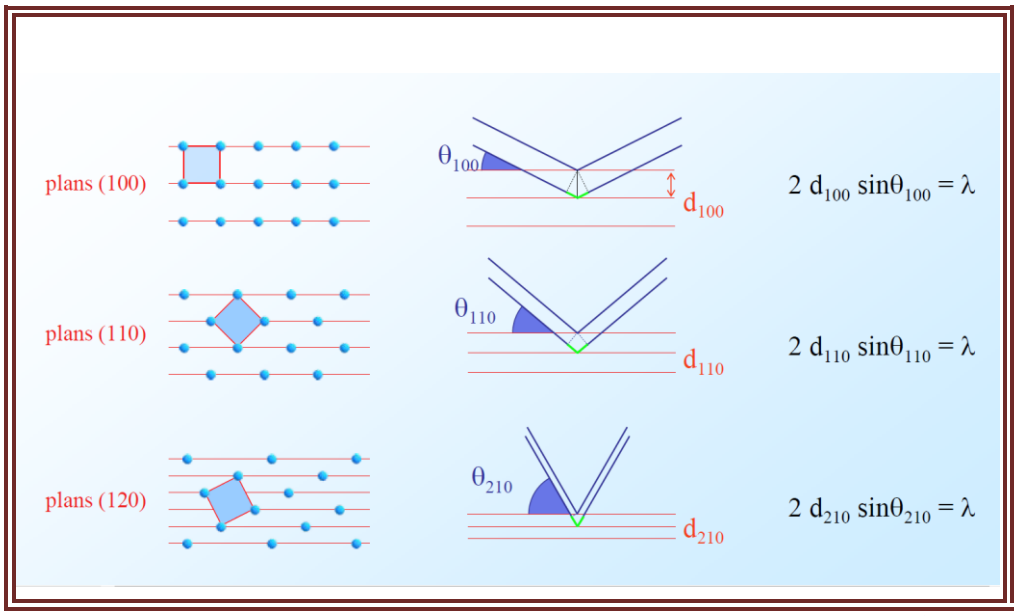
d_{hkl} المسافة الشبكية لمجموعة المستويات (hkl)

وتجدر الإشارة إلى أن معادلة براغ تم استنتاجها على أساس الترتيب الدوري للتركيب البلوري دون اعتبار لنوع الذرات أو ترتيبها في المستويات العاكسة، وهما العاملان المؤثرات فقط في شدة الانعكاسات المناظرة لقيم n المختلفة. أما النتيجة المهمة المباشرة لمعادلة براغ فهي أن تكون المتباينة $\lambda \leqslant 2d_{hkl}$ شرطاً أساسياً لحدوث "انعكاسات براغ" (Bragg Reflections)، وهذا يوضح السبب في عدم ملاءمة الضوء العادي لدراسة التركيب البلوري. ويفيد تطبيق معادلة براغ في إيجاد أبعاد خلية الوحدة للشبيكة البلورية[8].



الشكل II-09 رسم توضيحي يبين كيفية استنتاج قانون براغ [19].

إن قياس المسافات الشبكية في الشكل أدناه (الشكل II-10) من خلال تغيير اتجاه البلورة فيما يتعلق بشعاع الأشعة السينية، حيث يمكن قياس عدة d_{hkl}



الشكل II-10 يوضح العلاقة بين المسافات الشبكية d_{hkl} وتغير اتجاه البلورة [19].

II-2-7- الطرق التجريبية لانعراج الأشعة السينية المستخدمة

من أجل التحديد الهيكلي للمواد الصلبة الجزيئية، يعتمد الدارسون على طرق انعراج للأشعة السينية تمت تجربتها سابقا ومع تطور هذه التقنية، توسع نطاق تطبيقاتها لتشمل البوليمرات والبروتينات والجزيئات الكبيرة.

ولا يحدث الانعراج أو الانعكاس للأشعة السينية إلا إذا توافقت قيم λ، θ وحققت معادلة براغ: $n\lambda = 2d_{hkl}\sin\theta$، بمعنى أنه بصفة عامة لا تنعكس حزمة من الأشعة السينية إذا سقطت على بلورة

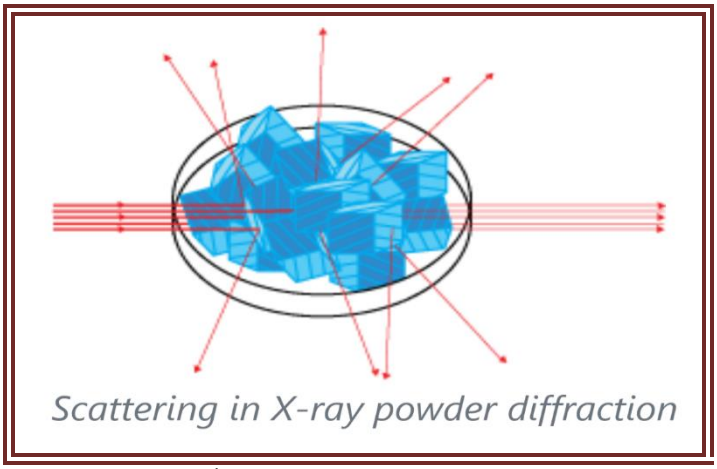
بأي زاوية اختيارية. ومن الناحية التجريبية يجب أن يتوافر مدى متصل من قيم λ أو θ وفي جميع الطرق التجريبية لانعراج الأشعة السينية يتوافر ذلك. وفيما يلي بعض الطرق الشائعة الاستعمال:

- **طريقة لاوي *(Laue Method)***
- **طريقة البلورة الدوارة *(Rotating Crystal Method)***
- **طريقة المسحوق أو طريقة ديباى وشيرار *(Debye-Scherrer Method)***

والطريقة الأخيرة هي مبدأ لعمل جهاز انعراج الأشعة السينية في المسحوق لذلك ارتأينا أن نفصل فيها قليلا.

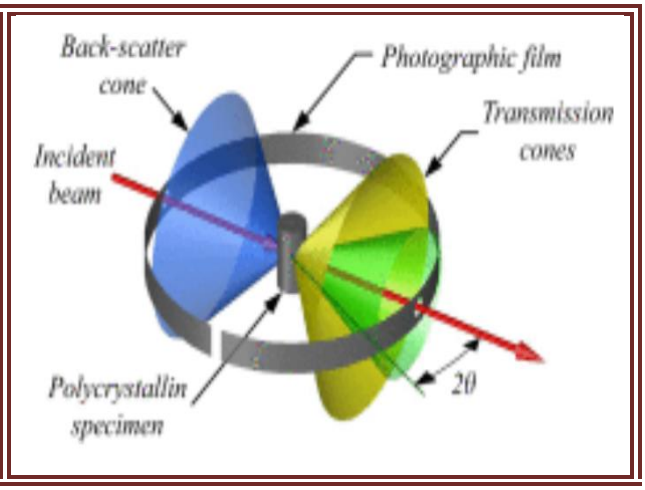
II-2-7-1- طريقة المسحوق (طريقة ديباى وشيرار)

وهذه الطريقة مناسبة للدراسات التطبيقية ولا تشترط أن تكون البلورة أحادية، وفيها تسقط حزمة من الأشعة السينية أحادية الطول الموجي على مسحوق مادة متبلورة، ويكون توزيع اتجاهات حبيبات المسحوق في مدى مستمر تقريباً حيث إن كلا منها تعتبر بلورة صغيرة، ويتحقق قانون براغ بالنسبة لعدد منها (الشكل II-11) [8].



الشكل II-11 التشتت في مسحوق الأشعة السينية

يمثل (الشكل II-12) رسما توضيحياً لطريقة المسحوق وفيه تسقط حزمة ضيقة من الأشعة السينية أحادية الموجة على مسحوق من المادة المتبلورة موضوع في أنبوبة شعرية من الزجاج رقيقة الجدار، وقد يكون المسحوق لأكثر من مادة متبلورة، وقد يكون سلكا رفيعا لفلز أو سبيكة حجم حبيباته صغير. ويحدث الانعراج من مستويات البلورات الصغيرة المكونة للمسحوق والتي تعمل زاوية θ وتحقق قانون براغ.



الشكل II-12 رسم توضيحي لطريقة ديباي وشيرر [20]

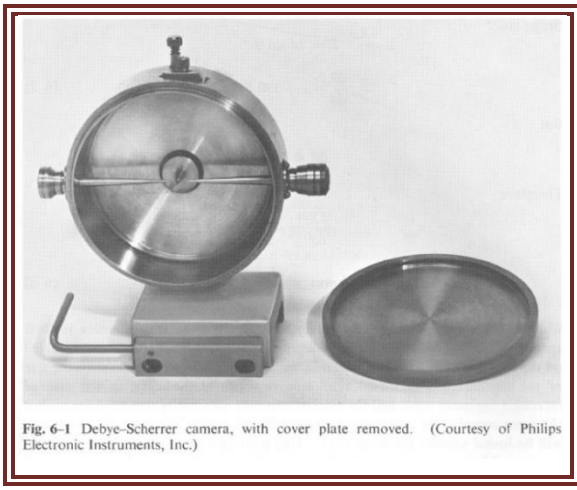


Fig. 6–1 Debye–Scherrer camera, with cover plate removed. (Courtesy of Philips Electronic Instruments, Inc.)

الشكل II-13 كاميرا ديباي-شيرر

ويمثل (الشكل II-14) صورة لانعراج الأشعة السينية من مسحوق. وتأخذ الأشعة الحائدة من العينة مسارات تنطبق على رواسم مجموعة من المخروطات، وينطبق محور كل مخروط على الأشعة الساقطة، والزاوية نصف الرأسية لكل مخروط تساوي 2θ حيث θ هي زاوية براغ وتقطع المخروطات الفيلم في مجموعة من الدوائر متحدة المركز [21].

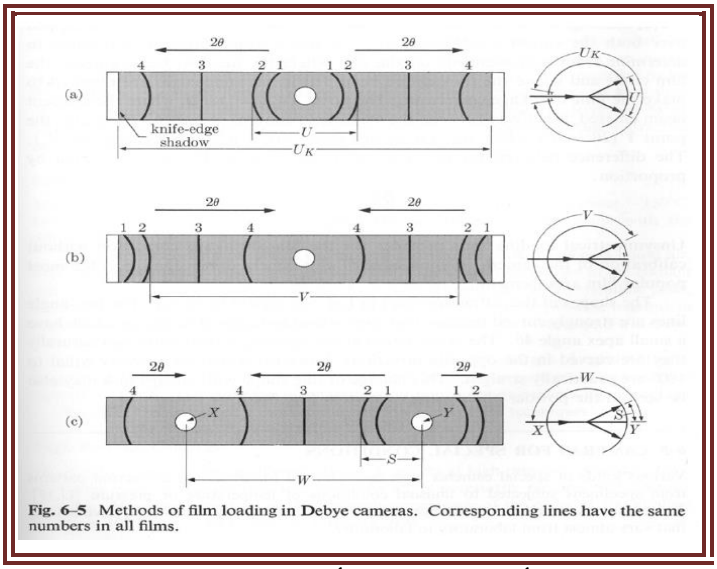


Fig. 6–5 Methods of film loading in Debye cameras. Corresponding lines have the same numbers in all films.

الشكل II-14 أمثلة لانعراج الأشعة السينية في المسحوق

II-2-7-2- جهاز انعراج الأشعة السينية

جهاز انعراج الأشعة السينية *XRD* يحلل الحالات البلورية في الظروف العادية، وهذه الطريقة غير مدمرة للعينة، حيث يتم انحراف الأشعة السينية التي تركز على عينة مثبتة على محور مقياس الطيف (مقياس الزوايا)، ويتم قياس التغيرات في شدة الأشعة السينية المنعرجة وتسجيلها ورسمها مقابل زوايا دوران العينة، يشار إلى النتيجة باسم نمط انعراج الأشعة السينية للعينة [22].

يتيح تحليل الكمبيوتر لمواضع الذروة والشدة المرتبطة بهذا النمط، الذي يسمح بإجراء التحليل النوعي على أساس ارتفاع الذروة أو منطقة الذروة وتحديد ثابت الشبكة و/أو تحديد الإجهاد للعينة، كما يمكن استخدام زوايا الذروة لتحديد أقطار الجسيمات ودرجة التبلور [22].

الشكل II-15 جهاز الانعراج الآلي

ويتكون جهاز انعراج الأشعة السينية من:

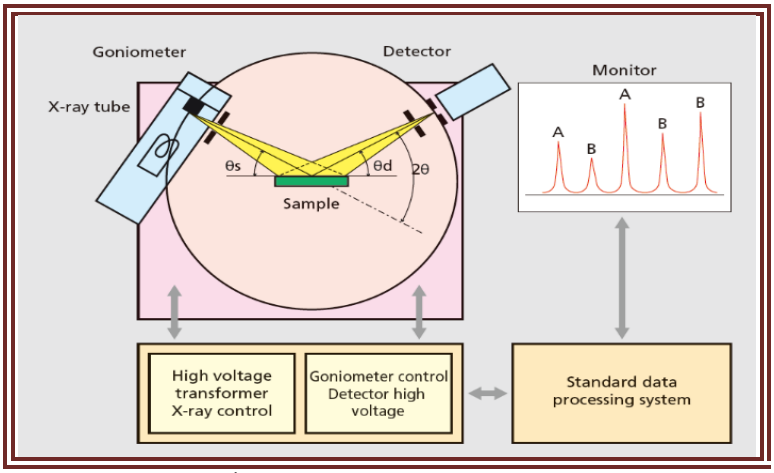
مولد أشعة سينية عالي الثبات: حاليا يتم إنتاج مولدات أشعة سينية عالية الأداء والثبات، مع استقرار جهد الأنبوب وتيار الأنبوب حيث لا يتأثر هذا الاستقرار أثناء تذبذب جهد المصدر أو درجة الحرارة المحيطة، مما يضمن موثوقية عالية للبيانات حتى أثناء التشغيل الطويل للحصول على البيانات.

مقياس الزوايا العمودية عالي الدقة: يوفر معدل السرعة العالية وإمكانية استنساخ الزوايا عالية الدقة قياسًا سريعًا وبيانات موثوقة للغاية، حيث تسمح وحدة مقياس الزوايا للجهاز من تحليل العينات في حالات مختلفة.

كاشف الأشعة السينية: يتم إجراء الضبط الصفري للمحاور وإعداد الجهد العالي لكاشف الأشعة السينية وإعداد خط الأساس وإعداد عرض النافذة تلقائيًا ويتم حفظ بيانات الضبط المرتبطة تلقائيًا.

نظام معالجة البيانات: يتم التعامل والتحكم في الأدوات ومعالجة البيانات من خلال جهاز كمبيوتر متوافق مع جهاز الانعراج الالي، ويكون مزود ببرنامج تشغيل موجود على محرك أقراص ثابت كبير السعة، ليتيح إجراء عمليات حسابية تحليلية عالية السرعة في بيئة ويندوز سهلة الاستخدام.

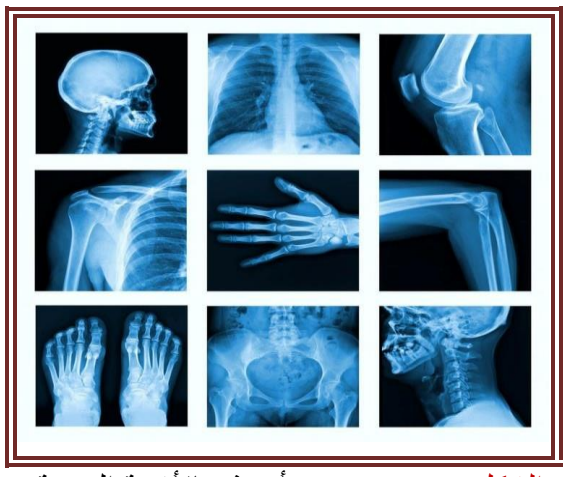
هيكل للحماية من الأشعة السينية: يتم تثبيت الباب الأمامي على بكرات توجيه لإتاحة فتح الباب بلمسة خفيفة للغاية، وسلس لسهولة وضع / تغيير العينات والمرفقات، كما يضمن المزلاج المغناطيسي إغلاقًا جيدا للباب، ولزيادة ضمان السلامة، يتم تنشيط آلية قفل الباب تلقائيًا كلما تم إنشاء الأشعة السينية [22].



الشكل II-16 رسم تخطيطي لجهاز انعراج الأشعة السينية [22].

II-2-8- استعمالات الأشعة السينية

تستعمل الأشعة السينية في عديد من المجالات المختلفة: ففي المجال الطبي تعطي صوراً واضحة للعظام التي تظهر باللون الأبيض (أنظر الشكل II-17)، في حين يظهر الهواء والأنسجة باللون الأسود، وذلك اعتماداً على اختلاف امتصاص العظام للأشعة السينية عن امتصاص الأنسجة.



الشكل II-17 صور مأخوذة بالأشعة السينية

وفي الصناعة استعملت لقياس سمك المواد والكشف عن عيوبها من تشققات وغيرها، ومراقبة الجودة والنوعية في صناعة السبائك المعدنية والقطع المستخدمة في السيارات والطائرات وغيرها.

أما في علم المواد فيستفاد من انعراج الأشعة السينية لمعرفة وجود تناظر معين في الأجسام الصلبة البلورية، وكانت تلك بداية انطلاقة جبارة في دراسة خواص الأجسام الصلبة والتركيب البلوري؛ ومعرفة التركيب الذري العنصري للمواد.

وفي مجال الأمن تستعمل لمراقبة حقائب المسافرين في المطارات والموانئ بحثاً عن أسلحة أو قنابل.

وتستعمل الأشعة السينية في مجال الفن لتعرّف أساليب الرسامين والتمييز بين اللوحات الحقيقية واللوحات المزيَّفة [18].

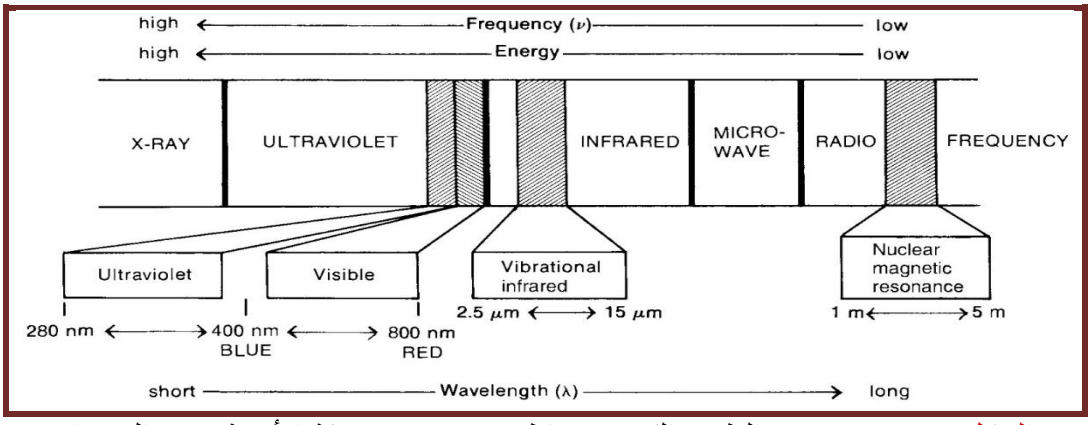
II-3 مطيافية الأشعة تحت الحمراء

II-3-1- مقدمة

يعتبر التحليل الطيفي بالأشعة تحت الحمراء وسيلة مفيدة للدراسات الهيكلية الجزيئية والتعرف والتحليل الكمي للمواد. تكمن ميزة هذه التقنية في قابليتها للتطبيق الواسع على مشاكل مختلفة في كل من الحالة الصلبة والحالة السائلة.

يُستخدم التحليل الطيفي بالأشعة تحت الحمراء في الكثير من العلوم الكيميائية والفيزيائية والبيولوجية والصيدلة ...إلخ وفي العديد من التطبيقات التكنولوجية [23].

ينصب الاهتمام بالجزء الاهتزازي من منطقة الأشعة تحت الحمراء، الذي يتضمن إشعاعًا بأطوال موجية λ بين 2.5 µm و25 µm، يوضح الشكل II-18 علاقة منطقة الأشعة تحت الحمراء بالمناطق الأخرى المدرجة في الطيف الكهرومغناطيسي [24].



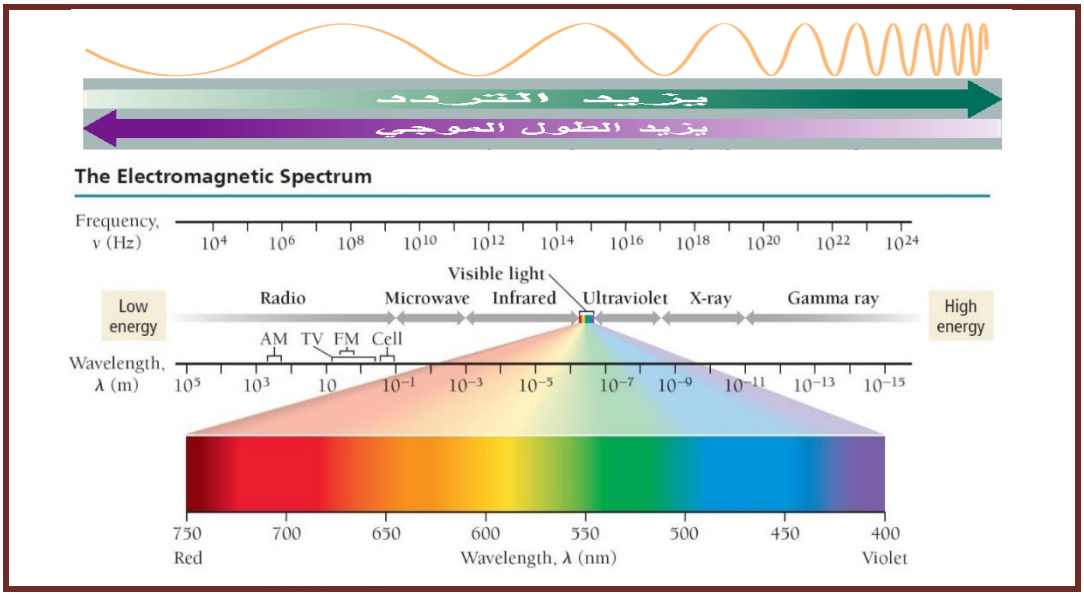
الشكل II-18 جزء من الطيف الكهرومغناطيسي يوضح علاقة الأشعة تحت الحمراء الاهتزازية بأنواع الإشعاع الأخرى [24].

وتعد التحاليل الطيفية الاهتزازية جزءًا لا يتجزأ من تحليل بعض أهم العمليات في الكيمياء الفيزيائية: الاهتزازات الجزيئية. في حين أن هناك العديد من التقنيات التجريبية المختلفة المستخدمة لتحليل تلك الاهتزازات، ومن بينها FTIR [25].

II-3-2- تعريف الأشعة تحت الحمراء

الأشعة تحت الحمراء هي المنطقة التي تقع بين الأشعة الحمراء في الأشعة المرئية، وطيف الموجات القصيرة (المايكروويف) في الطيف الكهرومغناطيسي، وبذلك تكون طاقة الأشعة تحت الحمراء أقل من طاقة الأشعة الحمراء كما يكون ترددها أقل من الأشعة الحمراء، ولكن طاقتها وترددها أعلى من أشعة المايكروويف (أنظر الشكل II-19).

وهذه الأشعة هي أشعة حرارية، وتنبعث من المصباح الحراري، أو من تسخين أي جسم، ولا يمكن رؤيتها بالعين المجردة، ولكن يمكن التصوير بها في الظلام الدامس، لأنها تعتمد على الاشعاع الحراري المنطلق من الأجسام [26].



الشكل II-19 الطيف الكهرومغناطيسي [18].

إن الحرارة التي نشعر بها عندما نضع يدنا بالقرب من جسم ساخن هي الأشعة تحت الحمراء، حيث أن جميع الأجسام الدافئة، بما في ذلك الأجسام البشرية، تبعث ضوء الأشعة تحت الحمراء، على الرغم من أن ضوء الأشعة تحت الحمراء غير مرئي لأعيننا، إلا أن مستشعرات الأشعة تحت الحمراء يمكنها اكتشافه وغالبًا ما يتم استخدامها في تقنية الرؤية الليلية لمساعدة الأشخاص على "الرؤية" في الظلام [18].

II-3-3- مطيافية الأشعة تحت الحمراء (IR Spectroscopy)

هي تقنية للتحليل الكيميائي وتحديد الهيكل، تعتمد على المبادئ التي تحدث فيها الاهتزازات الجزيئية في منطقة الأشعة تحت الحمراء من الطيف الكهرومغناطيسي. إن المجموعات الوظيفية لها ترددات امتصاص مميزة، تتراوح الترددات الأكثر أهمية من 2.5 µm إلى 16 µm، ومع ذلك، في التحليل الطيفي للأشعة تحت الحمراء من الشائع استخدام مقلوب الطول الموجي، وبالتالي سيصبح هذا النطاق يتغير من 4000 إلى 625 cm^{-1}، تتركز أمثلة الاهتزازات النموذجية على 2900 cm^{-1} للتمدد C-H في الألكانات، و1600 cm^{-1} للتمدد N-H في مجموعات أمينية، و2200 cm^{-1} للتمدد C≡C في الألكينات.

ويوجد في مطياف الأشعة تحت الحمراء مصدر لضوء الأشعة تحت الحمراء، يغطي النطاق الترددي الكامل للجهاز، والذي ينقسم إلى حزمتين متساويتين الشدة، يتم تمرير شعاع واحد عبر العينة ويتم استخدام الآخر كمرجع يتم مقارنة الأول على أساسه، عادة ما يتم الحصول على الطيف على شكل رسم بياني يوضح قمم الامتصاص، مرسومًا مقابل الطول الموجي أو التردد، يمكن أن تكون العينة غازية أو سائلة أو صلبة.

II-3-4- مبدأ مطيافية الامتصاص للأشعة تحت الحمراء

إن ذرات الجزيء تتحرك وتهتز باستمرار في أوضاع مختلفة، فهي تعمل كبصمة للجزيء، قد تتحرك شعاعيًا وهذا ما يسمى بالتمدد، يمكن القيام بذلك بشكل متماثل أو غير متماثل، وقد يكون التغير بين ذرتين حول ذرة مشتركة، وهو ما يسمى بالإنحناء، يمكن القيام بذلك في مستوي مشترك مثل المقص أو التأرجح، أو خارج المستوي مثل الاهتزاز أو الالتواء.

هذا السلوك المرتبط بالجزيء يتم الكشف عنه باستخدام مطيافية أو التحليل الطيفي الاهتزازي بالأشعة تحت الحمراء IR، ويمكن تطبيقه فعليًا على أي حالة من العينات تقريبًا، غالبًا ما تكون أطوال الرابطة وزوايا الرابطة في الجزيء غير ثابتة ولكنها قد تهتز وقد تتغير أطوال الروابط بشكل متماثل أو غير متماثل وقد تنحني الروابط أو تنحني مع الآخرين وفي مستويات مختلفة [27].

يستعمل طيف امتصاص الأشعة تحت الحمراء للتعرف على المجموعات الوظيفية للمركبات العضوية، حيث يتم التعرف على هذه المجموعات من خلال مواقعها في طيف الأشعة تحت الحمراء وبالتالي إعطاء صورة تقريبية لبنية المركب المراد الكشف عنه. ويؤدي امتصاص الأشعة تحت الحمراء إلى انتقالات اهتزازية للذرات المكونة للجزيء. حيث ينشأ عن الحركة الاهتزازية للذرات بالنسبة لبعضها البعض تغير دوري في:

- طول الروابط الكيميائية.
- الزوايا بين هذه الروابط.

وتتوقف طاقة الأشعة الممتصة لأي من الحركات الاهتزازية في الجزيء على:

- نوع الذرات
- طبيعة الروابط الكيميائية المتضمنة في الحركة الاهتزازية.

لذا فإنه بتحليل طيف الامتصاص للأشعة تحت الحمراء يمكن معرفة طاقة الامتصاص، ومنها يمكن معرفة نوع الذرات والروابط الموجودة في الجزيء (المجموعات الوظيفية) بالتحليل النوعي، وعليه يعتبر طيف الأشعة تحت الحمراء أحد الوسائل المألوفة لتشخيص المجاميع الوظيفية.

تقاس أطياف الأشعة تحت الحمراء عن طريق معرفة طول موجة الأشعة λ التي تمتصها مادة ما ويعتبر الميكرومتر µm وحدة قياس الطول الموجي. كما يمكن قياس هذه الأطياف بواسطة وحدات التردد التي يعبر عنها بالعدد الموجي cm^{-1} عند دراسة الأشعة تحت الحمراء [28].

يتم اختيار استخدام العدد الموجي للتحليل الطيفي للأشعة تحت الحمراء (بدلاً من الأطوال الموجية أو الترددات أو الطاقات) لتوفير نطاق له عرض كبير (بحيث يكون الفرق بين القمتين أكثر وضوحًا) ويمتد على مجموعة من القيم المعقولة التي لا تحتوي على أعداد كبيرة جدًا أو صغيرة جدًا (يصعب تصورها). الهدف هو أن تكون قادرًا على مقارنة القيم بسهولة.

$$\bar{\nu}(cm^{-1}) = \frac{1}{\lambda(cm)} \qquad (02\text{-II})$$

$$\nu(Hz) = \bar{\nu}c = \frac{c(cm/\sec)}{\lambda(cm)} \qquad (03\text{-II})$$

ويتضح من العلاقة (03-II) أنها توجد علاقة طردية بين العدد الموجي $\bar{\nu}$ والتردد ν.

II-3-5- عملية امتصاص الأشعة تحت الحمراء

يصدر مطياف الأشعة تحت الحمراء جميع ترددات الأشعة تحت الحمراء ذات الأهمية في وقت واحد حيث تكون المنطقة القريبة من الأشعة تحت الحمراء 14000-4000 cm^{-1}، ومنطقة منتصف الأشعة تحت الحمراء هي 4000-400 cm^{-1}، ومنطقة الأشعة تحت الحمراء البعيدة هي 400-10 cm^{-1}، وفي التحليل الطيفي للامتصاص، يتم الحصول على طيف الأشعة تحت الحمراء عن طريق رسم الشدة (الامتصاصية أو النفاذية) مقابل العدد الموجي، والذي يتناسب مع فرق الطاقة بين القيمة الدنيا وحالات الاهتزازات المثارة.

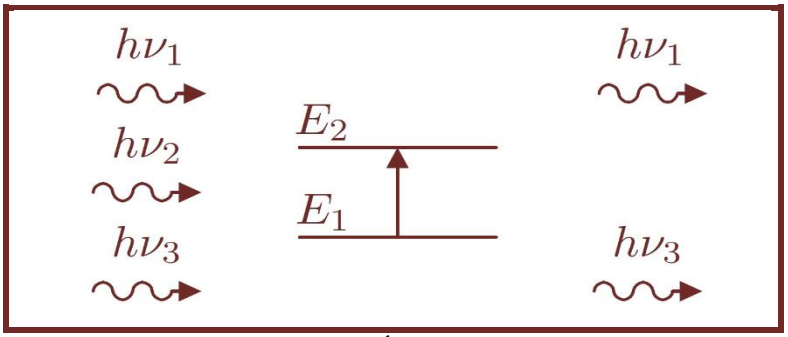
هناك مكونان مهمان لعملية امتصاص الأشعة تحت الحمراء هما تردد الإشعاع وعزم ثنائي القطب الجزيئي، يمكن وصف تفاعل الإشعاع مع الجزيئات من حيث حالة الرنين حيث يتطابق تردد الإشعاع المتذبذب المحدد مع التردد الطبيعي لوضع الاهتزاز، ومن أجل نقل الطاقة من فوتون الأشعة تحت الحمراء إلى الجزيء عن طريق الامتصاص، يجب أن يتسبب الاهتزاز الجزيئي في حدوث تغيير في العزم ثنائي القطب للجزيء. هذه هي قاعدة الاختيار المألوفة لمطياف الأشعة تحت الحمراء، والتي تتطلب تغييرًا في العزم ثنائي القطب أثناء الاهتزاز ليكون IR نشطًا [29].

إن عزم ثنائي القطب μ، للجزيء هو دالة على حجم الشحنات الذرية (e_i) ومواقعها (r_i)، ويعطى بالعلاقة [29]:

$$\mu = \sum e_i r_i \qquad (04\text{-II})$$

II-3-6- امتصاص طيف الأشعة تحت الحمراء والانتقال بين مستويات الطاقة

عند مرور الأشعة تحت الحمراء على المادة فإن جزيئات المادة يمكن يتم امتصاص الفوتون الذي تساوي طاقته الطاقة المطلوبة للجزيء للانتقال من حالة الطاقة المنخفضة إلى الحالة المثارة وسيتم تحويل طاقته إلى طاقة اهتزازية، يوضح الشكل II-20 مخططًا لهذه الظاهرة: حيث يتم امتصاص فقط الفوتون الذي تساوي طاقته $h\nu_2$ والمساوية للطاقة الانتقالية E1 – E2، لذلك سيكون الفوتون الممتص مفقودًا في الإشعاع المنبعث وبالتالي فإن طيف الأشعة تحت الحمراء هو طيف امتصاص [30].

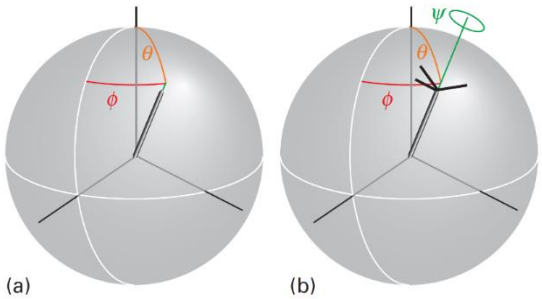


الشكل II-20 امتصاص الأشعة تحت الحمراء [30].

II-3-7- أنواع الاهتزازات الجزيئية

الأوضاع العادية للاهتزازات الجزيئية

يمكن أن تتحرك كل ذرة على طول أي من المحاور الثلاثة المتعامدة (x, y, z). لذلك، فإن العدد الإجمالي لهذه الحركات في جزيء يتكون من N ذرة هو 3N. تتوافق ثلاثة من هذه الحركات مع حركة مركز كتلة الجزيء، لذا فإن هذه الحركات الثلاثة تتوافق مع الحركة الانتقالية للجزيء ككل. وعمليات الحركات المتبقية هي 3N-3 أنماط "داخلية" للجزيء تترك مركز كتلته دون تغيير. ولأن هناك حاجة إلى ثلاث زوايا لتحديد اتجاه الجزيء غير الخطي في الفضاء (أنظر الشكل II-21)، لذلك تترك ثلاثة من عمليات الحركات الداخلية 3N-3 جميع زوايا الروابط وأطوال الروابط دون تغيير ولكنها تغير اتجاه الجزيء ككل. وبالتالي، فإن عمليات الحركات الثلاثة هذه هي عبارة عن تناوب، وهذا يترك عمليات 3N-6 حركة لا تغير مركز كتلة الجزيء ولا اتجاه الجزيء في الفضاء. إن هذه الحركات 3N-6 هي أوضاع اهتزازية. ويعطي حساب مشابه لجزيء خطي، والذي يتطلب زاويتين فقط لتحديد اتجاهه في الفضاء، 3N-5 على أنه عدد الأوضاع الاهتزازية [31].



الشكل II-21 زوايا توجيه الجزيء [31]

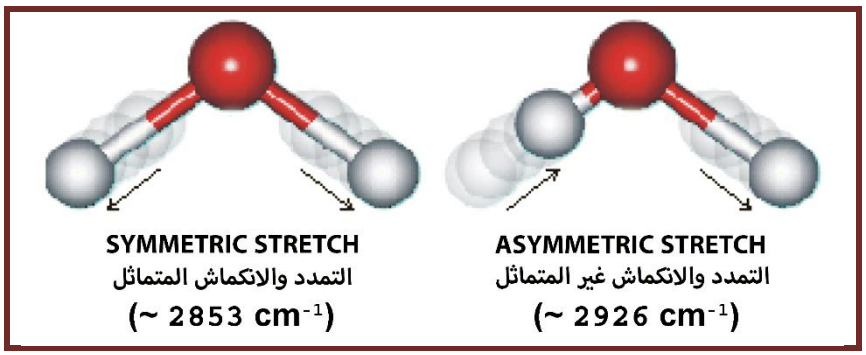
(a) يتطلب توجيه الجزيء الخطي تحديد زاويتين (لمحوري خط الطول وخط العرض).
(b) يتطلب توجيه الجزيء غير الخطي تحديد ثلاث زوايا (لمحاوره خط الطول وخط العرض وزاوية تحريف الزاوية السمتي حول هذا المحور).

طرق التمدد والانحناء

أبسط أنواع أو أنماط للحركة الاهتزازية في الجزيء الذي يعمل بالأشعة تحت الحمراء، تلك التي تؤدي إلى الامتصاص، هي أنماط التمدد والانحناء، تقدم الرسوم التوضيحية في الشكل II-22 والشكل II-23 الأنماط العادية للاهتزاز لمجموعة الميثيلين حيث تحدث اهتزازات التمدد غير المتماثلة عند ترددات أعلى من اهتزازات التمدد المتماثلة، أيضًا تحدث اهتزازات التمدد عند ترددات أعلى من اهتزازات الانحناء. في أي مجموعة من ثلاث ذرات أو أكثر، اثنتان منها على الأقل متطابقتان، هناك وضعان للتمدد: متماثل وغير متماثل. فمثلا تؤدي مجموعة الميثيل إلى ظهور اهتزاز تمدد متماثل عند حوالي $2872\ cm^{-1}$ وامتداد غير متماثل عند حوالي $2962\ cm^{-1}$ [24].

- **الاهتزاز بالتمدد والانكماش (Stretching)**

ينشأ الاهتزاز بالتمدد والانكماش بين ذرتين مرتبطتين معا، ويكون هذا التمدد والانكماش على نفس محور الرابطة بين الذرتين أي تغيير المسافة بين الذرتين دون تغيير المحاور بين الزوايا أو الروابط (أنظر الشكل II-22). ويمكن تشبيه هذا الاهتزاز بين ذرتين في جزيء ما بحركة كرتين متصلتين بنابض بحيث يمكن لهذا النابض أن يسمح للذرتين أن تبتعدا عند شد السلك وتقتربا عند تركه.



الشكل II-22 الاهتزاز بالتمدد والانكماش المتماثل وغير المتماثل

وينقسم الاهتزاز بالتمدد والانكماش الى نوعين:

1- **تمدد وانكماش اهتزازي معزول *(Isolated Stretching)*.**

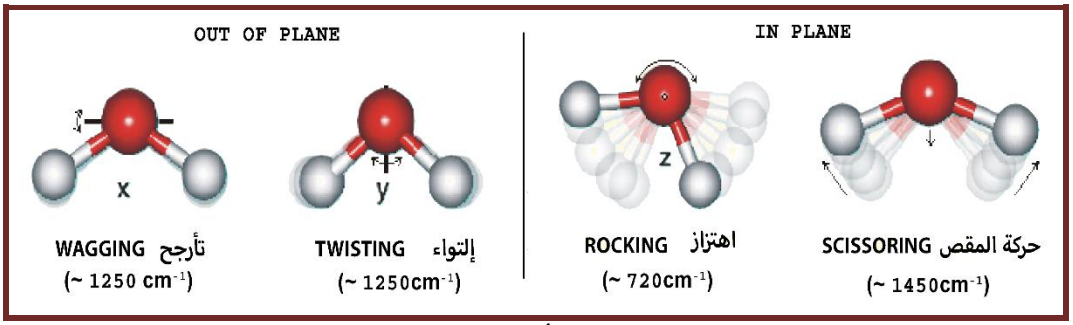
2- **تمدد وانكماش اهتزازي مزدوج *(Coupled Stretching)***

وهنا يحدث نوعين من التمدد والانكماش الاهتزازي المزدوج:

- **تمدد وانكماش مزدوج متماثل *(Symmetrical Stretching)***
- **تمدد وانكماش مزدوج غير متماثل *(Asymmetrical Stretching)***

- **الاهتزاز بالانحناء (Bending)**

هذه الترددات يتغير فيها زوايا الروابط (الزاوية بين الرابطتين)، مما يؤدي إلى حركة الذرات في اتجاه آخر غير اتجاه محور الرابطة، وقد تكون حركة الذرات في مستوى الرابطتين أو خارج مستوى الرابطتين، وينقسم الاهتزاز بالانحناء الى أربعة أنواع (أنظر الشكل II-23):



الشكل II-23 يوضح أنواع الاهتزاز بالإنحناء

- اهتزاز (Rocking)
- حركة المقص (Scissoring)
- تأرجح (Wagging)
- إلتواء (Twisting)

II-3-8- المناطق المميزة في طيف الأشعة تحت الحمراء

يقسم مخطط طيف الأشعة تحت الحمراء إلى قسمين:

- القسم الأول: العدد الموجي > 1500 cm^{-1} وتسمى **منطقة بصمة الأصابع** (fingerprint region).
- القسم الثاني: العدد الموجي < 1500 cm^{-1} وتسمى **منطقة الزمر الوظيفية** (functional groups region).

❶ منطقة بصمة الأصبع

هي نتيجة لحركة الذرات واهتزازها في الجزيء، وبسبب اختلاف كتلة الذرات وقوة الروابط بينها تكون الحركات والاهتزازات مختلفة من جزيء لآخر وهو ما يعرف بالبصمة التي تميز كل جزيء عن الآخر أي أن كل جزيء له بصمة اهتزازية خاصة به، وتظهر عند العدد الموجي الأصغر من 1500 cm^{-1} وتكون محتوية على عدد كبير من الامتصاصات فتصبح معقدة ويصعب تمييز كل القمم التي بها لتراكمها مع بعضها.

❷ منطقة الزمر الوظيفية

هي المنطقة التي يكون فيها العدد الموجي أكبر من 1500 cm^{-1} وبها المجموعات أو الزمر الوظيفية وهي مجموعات محددة من الذرات ضمن الجزيئات، مسؤولة عن خواص الجزيئات وعن سلوكها في التفاعلات الكيميائية مع غيرها من الجزيئات. وتتبع نفس المجموعة الفعالة نفس الطريقة في التفاعلات الكيميائية المميزة لها، بغض النظر عن حجم الجزيء المرتبطة به [32].

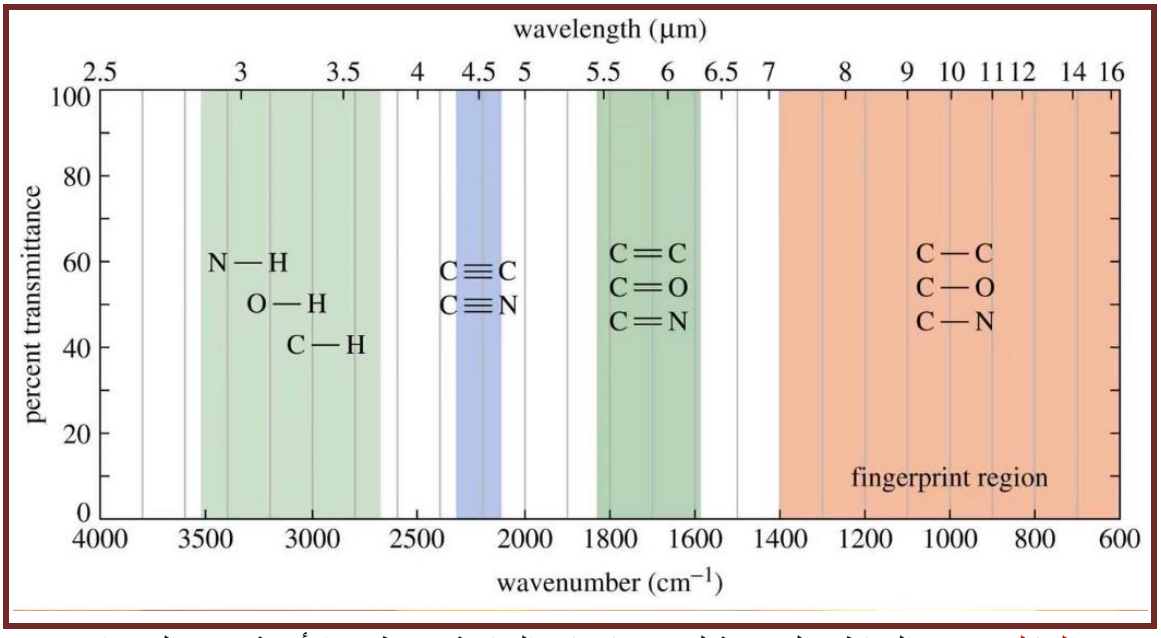
II-3-8-1- استخدامات طيف الأشعة تحت الحمراء

الاستخدام الأول: كل نوع من الروابط له تردد واهتزاز طبيعي مختلف، وكل رابطين من نفس النوع من الروابط في مركبين مختلفين في بيئتين مختلفتين قليلاً، فلا يوجد جزيئين لهيكل مختلف لهما نفس نمط امتصاص الأشعة تحت الحمراء، أو طيف الأشعة تحت الحمراء. وبالرغم من أن بعض الترددات الممتصة في الحالتين قد تكون هي نفسها، لكن لن يكون أطياف الأشعة تحت الحمراء (أنماط الامتصاص) متطابقة في أي حال من الأحوال.

وبالتالي، يمكن استخدام طيف الأشعة تحت الحمراء للجزيئات بقدر ما يمكن استخدام بصمة الإصبع للبشر.

النتيجة: **بمقارنة أطياف الأشعة تحت الحمراء لمادتين يعتقد أنهما متطابقتان، يمكنك إثبات ما إذا كانتا متطابقتين في الواقع. إذا تزامنت أطياف الأشعة تحت الحمراء الخاصة بهم الذروة مع الذروة (الامتصاص مع الامتصاص)، في معظم الحالات ستكون المادتان متطابقتين.**

الاستخدام الثاني: والأكثر أهمية لطيف الأشعة تحت الحمراء هو تحديد المعلومات الهيكلية حول الجزيء. وتم معرفة امتصاص كل نوع من الروابط (H-N، H-C، H-O، N-C، N=C، O=C، O-C، C-C، C=C، C≡C، C≡N، وما إلى ذلك) بشكل منتظم فقط في أجزاء صغيرة معينة من منطقة الأشعة تحت الحمراء الاهتزازية. يمكن تحديد نطاق صغير من الامتصاص لكل نوع من أنواع الروابط، حيث أن خارج هذا النطاق، تكون الامتصاصات عادةً بسبب نـــوع آخر من الروابـط. على سبيل المثـــال، أي امتصـــاص في النطـــاق $3000 \pm 150\ cm^{-1}$ يكون دائمًا تقريبًا بسبب وجود رابطة H-C في الجزيء، عادةً ما يرجع الامتصاص في النطاق $1715 \pm 100\ cm^{-1}$ إلى وجود رابطة O=C (مجموعة كاربونيل) في الجزيء. ينطبق نفس النوع من النطاق على كل نوع من أنواع الروابط. كما يوضح (الشكل II-24) [24].



الشكل II-24 المناطق التقريبية للإمتصاصات الشائعة في طيف الأشعة تحت الحمراء

II-3-8-2- تحويل فوريه للأشعة تحت الحمراء (FTIR)

إن التحليل الطيفي بالأشعة تحت الحمراء حيث تكون أجهزة الكمبيوتر جزءًا من الجهاز الطيفي وتستخدم تحويلات فوريه لتمكين منحنى الشدة مقابل رقم الموجة ليتم رسمه بحساسية عالية جدًا. وقد سمح ذلك بالحصول على أطياف في منطقة الأشعة تحت الحمراء البعيدة، في السابق كان من الصعب الوصول إلى أطياف في هذه المنطقة حيث تم حجب الدقة من خلال نسبة الإشارة إلى الصوت كونها عالية جدًا لحل الأطياف الاهتزازية و/أو الدورانية للجزيئات الصغيرة في طورها الغازي.

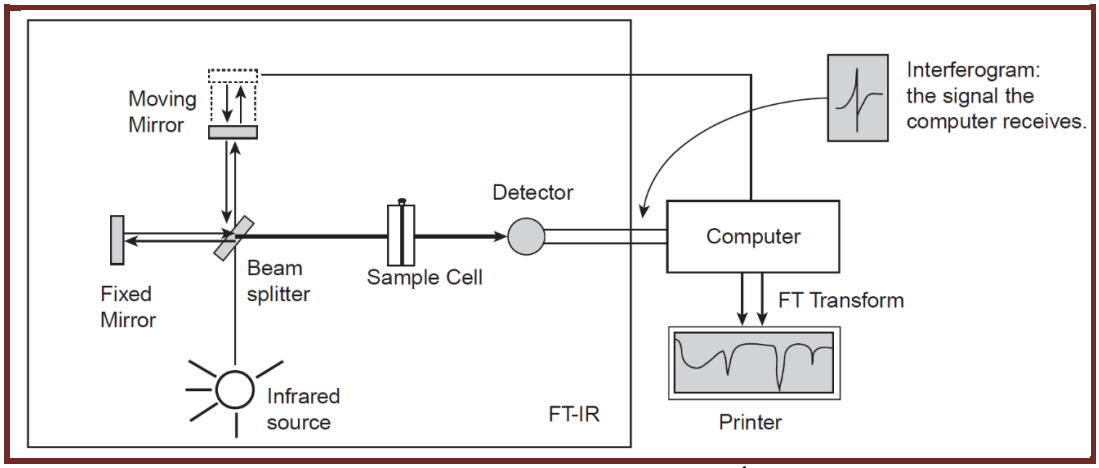
II-3-8-3- مطياف تحويل فوريه للأشعة تحت الحمراء (FTIR)

يظهر في الشكل II-25 الرسم التخطيطي لـ FTIR الذي يستخدم جهاز التداخل لمعالجة الطاقة المنبعثة إلى العينة. في جهاز التداخل، تمر طاقة المصدر عبر فاصل الحزمة (أو مقسم الحزمة)، وهي مرآة

موضوعة بزاوية 45 درجة للإشعاع الوارد، مما يسمح للإشعاع الوارد بالمرور عبره لكنه يفصله إلى حزمتين متعامدين، أحدهما غير منحرف والآخر موجه عند زاوية 90 درجة. تذهب الحزمة الموجة عند 90 درجة كما في الشكل، إلى مرآة ثابتة وترجع إلى فاصل الحزمة (أو مقسم الحزمة)، يذهب الشعاع غير المنحرف إلى مرآة متحركة ويعود أيضًا إلى فاصل الحزمة (أو مقسم الحزمة). تتسبب المرآة المتحركة في اختلاف طول المسار الذي يعبره الشعاع الثاني، فعندما يلتقي الشعاعان عند فاصل الحزمة (أو مقسم الحزمة)، يتداخلان، لكن الاختلافات في طول المسار (محتوى الطول الموجي المختلف) للحزمتين يتسبب في تداخلات بناءة ومدمرة. يُطلق على الحزمة الناتجة التي تحتوي على أنماط التداخل هذه اسم مخطط التداخل. حيث يحتوي هذا المخطط التداخل هذا على كل الطاقة الإشعاعية القادمة من المصدر ولها نطاق واسع من الأطوال الموجية.

يتم توجيه مخطط التداخل الناتج عن الجمع بين الحزمتين نحو العينة بواسطة فاصل الحزمة. أثناء مرورها عبر العينة، تمتص العينة في نفس الوقت جميع الأطوال الموجية (الترددات) التي توجد عادة في طيف الأشعة تحت الحمراء الخاص بها. تحتوي إشارة مخطط التداخل المعدلة التي تصل إلى الكاشف على معلومات حول كمية الطاقة التي تم امتصاصها عند كل طول موجي (تردد). يقارن الكمبيوتر مخطط التداخل المعدل بشعاع ليزر مرجعي للحصول على معيار للمقارنة. يحتوي مخطط التداخل النهائي على جميع المعلومات في إشارة مجال زمني واحد، وهي إشارة لا يمكن للإنسان قراءتها. يجب تنفيذ عملية رياضية تسمى تحويل فورييه بواسطة الكمبيوتر لاستخراج الترددات الفردية التي تم امتصاصها وإعادة بناء ورسم ما نعرفه على أنه طيف الأشعة تحت الحمراء النموذجي.

تعمل أدوات FTIR الموصولة بالكمبيوتر في وضع شعاع واحد للحصول على طيف للمركب الذي يتم تحليله. إن الطيف المطروح مطابق بشكل أساسي لذلك الذي تم الحصول عليه من أداة التشتيت التقليدية ذات الشعاع المزدوج [24].



الشكل II-25 مطياف الأشعة تحت الحمراء مزود بتحويلات فورييه FTIR [24].

II-3-9- تطبيقات الأشعة تحت الحمراء

بالإضافة إلى مطيافية الأشعة تحت الحمراء تُستعمل تقنية الأشعة تحت الحمراء في التطبيقات العسكرية والطبية والصناعية والزراعية والكيميائية وفي الأرصاد الجوية وغيرها، كما يزداد استعمال هذه التقنية في تطبيقات الحياة اليومية مثل التحكم عن بعد بأجهزة التلفاز والفيديو وتبادل المعطيات بين الهواتف الخَلوية وفي الحواسيب [33].

أ- الأرصاد الجوية

تستعمل الأقمار الصناعية الخاصة بالطقس كاميرات الأشعة تحت الحمراء لرسم خرائط أنماط الغيوم، حيث تُصدر المواد التي تقع درجة حرارتها بين 200 و300K مقادير كبيرة من الأشعة تحت الحمراء، ولكنها ليست ساخنة إلى درجة تُصدر فيها ضوءاً مرئيا، ففي حين تبلغ درجة حرارة الأرض 300K تقريباً، في حين تكون الغيوم المرتفعة أبرد (قرابة 250K)، فإذا وضع كاشف للأشعة تحت الحمراء في ساتل متزامن المدار، فيمكنه بسهولة تَحسُس هذه الفروقات وإعطاء صورة عن الأنماط لدرجات الحرارة [33].

ب- التطبيقات العسكرية والفضائية

لعل أكثر التقنيات العسكرية المعروفة هي سايدويندر Sidewinder للصواريخ جو-جو، التي تكشف الإشعاع الصادر عن الغازات المنطلقة من الطائرات النفاثة، وكذلك الأنظمة المحمولة جواً التي تكشف من مسافات بعيدة الإشعاع الصادر بكمية كبيرة عن إطلاق الصواريخ العابرة للقارات. كما استعملت أنظمة الأشعة تحت الحمراء لضمان استقرار (stabilizing) الأقمار بتحسُّس الأفق الأرضي، وفي تطبيقات الرؤية الليلية وفي كشف الغازات [33].

ت- أجهزة التصوير بالأشعة تحت الحمراء المحمولة

استعملت أجهزة التصوير بالأشعة تحت الحمراء المحمولة في العديد من المجالات من بينها تصوير مواضع المناطق المشتعلة في حرائق الغابات، فالأشعة ذات الأطوال الموجية الأطول - في طيف الأشعة تحت الحمراء الصادر - أفضل اختراقاً للدخان من الضوء المرئي، ومن ثَمَّ يمكن تحديد أطراف الحرائق.

ث- الاتصالات اللاسلكية

في الاتصالات اللاسلكية بالأشعة تحت الحمراء يرسل ثنائي مصدر للضوء LED أو ثنائي ليزري نبضات من الأشعة، يستقبلها كاشف ضوئي، لتتم معالجتها واستخلاص المعلومات التي تتضمنها. فيما يلي بعض تطبيقات الاتصالات اللاسلكية بالأشعة تحت الحمراء [33]:

- أجهزة الاتصالات augmentative.
- أنظمة قفل السيارات car locking.
- الحواسيب (الفأرة ولوحة المفاتيح).
- أنظمة الملاحة.

الخـــــاتمـــــة

تعرضنا في هذا الفصل الى ثلاث نقاط اساسية بخصوص التقنيات والوسائل التي تم استعمالها وقد تمثلت في:

- تقنيات فصل الخلائط وقد تطرقنا إلى طريقتين هما الترسيب والغربلة.
- دراسة مطيافية الأشعة السينية والطرق التجريبية لانعراجها في البلورات، والتي تمكن أي دارس سواء في تحسين النوعية لمنتج ما أو معرفة الحالة البلورية للمادة الصلبة وكذلك العديد من عمليات التناظر المتنوعة التي تنبني عليها البلورة ومصدر شكلها وخصائصها الفيزيائية والكيميائية. إحدى هذه الخصائص هي قدرة البلورة على انعراج الأشعة السينية، وقد أدى اكتشاف هذه الظاهرة منذ أكثر من 100 عام إلى دراسة أصلها والقوانين التي تحكمها، والتي بدت مرتبطة ارتباطًا وثيقًا بترتيب الذرات داخلها. وهكذا فقد أصبح انعراج الأشعة السينية هو الأسلوب الذي لا يزال يسمح حتى اليوم بدراسة العلاقة بين الخصائص البنيوية للمواد الصلبة البلورية واستكشاف بنية الجزيئات، حتى أكثرها تعقيدًا.
- دراسة مطيافية الأشعة تحت الحمراء والاهتزازات التي تحدثها داخل المادة بالامتصاص للترددات المناسبة لها وكيفية معرفة ذلك عن طريق المناطق المميزة في الطيف الناتج.

مراجع الفصل الثاني

[1] https://www.uoanbar.edu.iq/eStoreImages/Bank/4714.pdf, Consulté le 24/03/2022.

[2] https://www.researchgate.net/profile/Ali-Albakaa-3/publication/338224434_trayq_alfsl_alkymyayy/links/5e08dba092851c8364a47bb4/trayq-alfsl-alkymyayy, Consulté le 24/03/2022.

[3] https://www.britannica.com/science/separation-and-purification/Exclusion-and-clathration, Consulté le 24/03/2022.

[4] https://www.siyavula.com/read/science/grade-7/separating-mixtures/07-separating-mixtures?id=toc-id-4", Consulté le 24/03/2022.

[5] https://wstyler.com/particle-analysis/test-sieves/test-sieve-accessories/, Consulté le 30/05/2022.

[5] https://mawdoo3.com/طرق_فصل_المخاليط #cite_note-IFK9xysw4J-3, Consulté le 24/03/2022.

[7] د. اسكندر منيف، " بنية المادة الكثيفة: البلورات"، الهيئة الوطنية للأولمبياد العلمي السوري، دمشق 2013.

[8] سعود بن حميد اللحياني، " فيزياء الجوامد"، جامعة أم القرى كلية العلوم التطبيقية شعبة الفيزياء الطبية، المملكة العربية السعودية.

[9] Pierre Gravereau, "Introduction à la pratique de la diffraction des rayons X par les poudres", ICMCB-CNRS, Université Bordeaux 1, France, 2012.

[10] يسري مصطفى، " فيزياء الحالة الصلبة ـ الجزء الأول"، جامعة السابع من ابريل، ليبيا، 2015.

[11] ميرفانا ياسر سلامة، "معجم الفيزياء التعريفات العلمية"، دار صفاء للنشر والتوزيع الأردن، 2016.

[12] أ. د. محمود نصر الدين، " الأشعة السينية وبعض تطبيقاتها"، الهيئة العربية للطاقة الذرية، تونس 2008.

[13] ALEXI ASSMUS, "Early History of X Rays: The discovery of X rays in 1895 was the beginning of a revolutionary change in our understanding of the physical world.", Beamline, Stanford Linear Accelerator Center (SLAC), 1995.

[14] B. Freyer, And others, " The rotating-crystal method in femtosecond X-ray diffraction", Max-Born-Institut f¨ur Nichtlineare Optik und Kurzzeitspektroskopie, 12489 Berlin, Germany, 2011.

[15] ع. نعيمة، م. سليمان، "علم البلورات والأشعة السينية"، دار الفكر العربي، مصر، 2005.

[16] "oxford dictionary of science", sixth edition, Oxford University Press, United Kingdom, 2010.

[17] https://opentextbc.ca/chemistry/chapter/10-6-lattice-structures-in-crystalline-solids/?fbclid=IwAR18ec3fGW2cHdMX-hbYXbrq_Y8YKMNbdktEJZJT3Fn6VEPGP9FH_bdjJ2Y, Consulté le 30/05/2022.

[18] NIVALDO J. TRO, "CHEMISTRY A Molecular Approach", Third Edition, Pearson Education United States of America, 2018.

[19] Anne-line AUZENDE, "Techniques Analytiques en Sciences de la Terre Quelques techniques de la Minéralogie", Biogéomédia, UNIVERSITE PARIS 7 denid diderot.

[20] Mahmood Aliofkhazraei, and others, "Handbook of Modern Coating Technologies Advanced Characterization Methods", sciencedirect, Book, 2021

[21] شارل كيتل، "المبادئ الأساسية في فيزيقا الجوامد"، ترجمة يوسف ليتو يوسف، محمد شحاتة فرج، مكتبة النهضة المصرية، 1962

[22] "New Concept in Multifunction X-Ray Diffractometry for the 21st Century: Shimadzu X-ray Diffractometer XRD-7000", Shimadzu Corporation, Japan, 2015.

[23] Mitsuo Tasumi, Akira Sakamoto, "Introduction to Experimental Infrared Spectroscopy Fundamentals and Practical Methods", The University of Tokyo, Japan, 2014.

[24] Donald L. Pavia, Gary M. Lampman, George S. Kriz, James R. Vyvyan, "INTRODUCTION TO SPECTROSCOPY", Fourth Edition, Brooks/Cole, USA, 2009.

[25] Tony Rizzuto, "Technical Note Vibrational Spectroscopy Infrared vs Raman", StellarNet, Inc, USA, 2017.

[26]https://drive.google.com/uc?export=download&id=1AnJhg7F5xhkd_rMngpPjEnPw2Fzk0mKp, Consulté le 10/04/2022.

[27] Ulf Oreborn, " IR spectroscopy for vibrational modes: A semi-classical approach based on classical electrodynamics and modern quantum mechanics", Independent thesis Basic level (degree of Bachelor), Linnaeus University Sweden, 2018.

[28] عادل عباس حسن مُجوّه، تركي صالح عبد الله الخليوي، "تجارب في التحليل الآلي"، الطبعة الأولى، جامعة الملك سعود، المملكة العربية السعودية، 2010.

[29] Peter Larkin, "Infrared and Raman Spectroscopy Principles and Spectral Interpretation", Elsevier USA, 2011.

[30] Vincent Mazet, "Développement de méthodes de traitement de signaux spectroscopiques : estimation de la ligne de base et du spectre de raies", Université Henri Poincaré - Nancy 1, France, 2005).

[31] Peter Atkins and Julio de Paula, "Elements of Physical Chemistry", Fifth Edition, W. H. Freeman and Company, 2009.

[32] https://ar.wikipedia.org/wiki/مجموعة_وظيفية, Consulté le 30/05/2022.

[33] http://arab-ency.com.sy/tech/details/524, Consulté le 30/05/2022.

الفصل الثالث:

النتائج ومناقشتها

III- النتائج ومناقشتها

III-1- مقدمة

الجبس المتواجد بمنطقة الفولية، بلدية الرقيبة ولاية الوادي، هو خليط بنسب غير ثابتة لثلاث مكونات أساسية هي الأنهدريت $CaSO_4$، الرمل SiO_2 والكالسيت $CaCO_3$[1].

وفي هذا الفصل سيتم عرض وتحليل ومناقشة النتائج المتحصل عليها للعديد من التجارب المخبرية التي تهدف إلى تحسين نوعية الجبس وذلك بمحاولة فصل الجبس عن الرمل باستخدام تقنيات فصل كيميائية وفيزيائية، كما اخترنا لمعرفة نسبة فصل هذين المركبين عن بعضهما تقنية الأشعة السينية لأنها طريقة غير متلفة للمادة، وكذلك تقنية مطيافية الأشعة تحت الحمراء، وهذا هو المتوفر حاليا، لإنجاز هذا العمل.

III-2- تحضير العينات

في البداية تم تقسيم هذا العمل لمرحلتين:

❶ **المرحلة الأولى:** تم أخذ عينة للحجر الجبسي (أنظر الشكل III-01) دون أي تمييز من منطقة الفولية (بلدية الرقيبة ولاية الوادي)، بهدف تحسين نوعية الجبس الناتج فتمت الخطوات التالية:

* **تحضير العينة:**

الخطوة الأولى: بعد طحن العينة جيدا بالهاون (أنظر الشكل III-02) تم وضعها في علبة (أنظر الشكل III-03)، ثم وزنها فوجد أنها تساوي 34.14غ.

الشكل III-01 تحضير عينة من الحجر الجبسي لمنطقة الفولية
(a) عينة لحجر جبسي من منطقة الفولية، (b) طحن العينة في الهاون
(c) وضع الجبس المرحي في علبة

الخطوة الثانية: تم أخذ كميات مختلفة حسب الحاجة من العينة المطحونة لإجراء التجارب التالية عليها:

- العينة (A) لاستعمالها كمرجع وتمرر على XRD.
- العينة (N) لاستعمالها كمرجع وتمرر على XRD.
- العينة (C) تستخدم لعملية الترسيب لفصل الجبس عن الرمل.
- العينة (P) تستخدم لعملية الغربلة لفصل الجبس عن الرمل.

الخطوة الثالثة: تم اجراء تجارب للعينات حسب ما هو مبرمج لكل عينة فتم ما يلي:

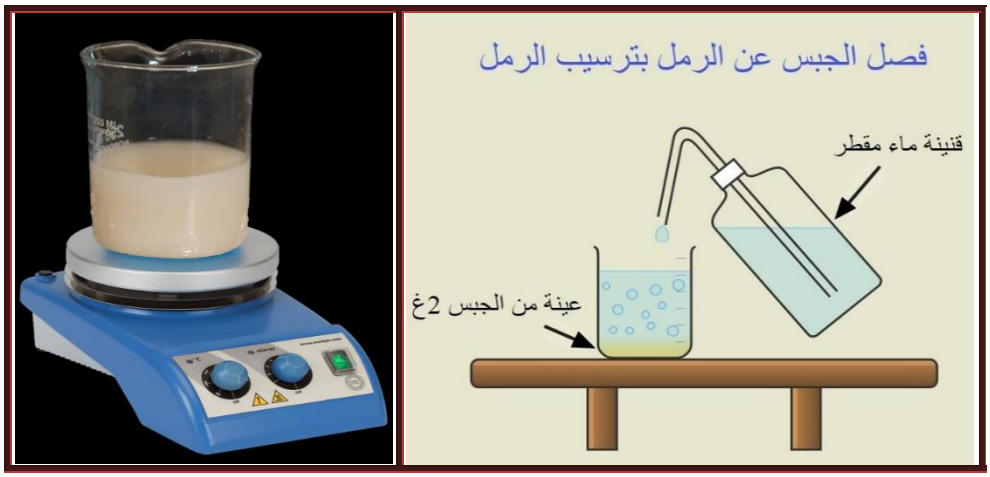
- **العينة (A):** تركت هذه العينة كمرجع، وتم تمريرها على جهاز الأشعة السينية للحصول على مخطط الانعراج، كما تم أخذ عينة أخرى ولم تتم عليها أي عملية لاستعمالها كمرجع ثان لزيادة التأكد من النتائج وتمت تسميتهما **"العينة (N)"**.
- **العينة (C):** هذه العينة تمت عليها عملية الترسيب من أجل فصل الجبس عن الرمل لأن كثافة الرمل مختلفة عن كثافة الجبس، إضافة إلى أن الرمل لا يذوب في الماء عكس الجبس الذي لديه قابلية الذوبان في الماء، وكانت العملية كما يلي:

طريقة التحضير:

يتم وضع العينة (C) في دورق Beaker ويضاف إليها الماء المقطر (الشكل III-02) ويوضع الدورق على جهاز الرج والتسخين (Magnetic Stirrer) (الشكل III-03)، يتم إيقاف العملية بعد ما يظهر أن الجبس اختلط جيدا بالماء، وبعد فصل الماء في كل مرة (الشكل III-04) وتجفيف الناتج بالمجفف (الشكل III-05) نستخلص ما يلي:

- الناتج (C2) هي الترسبات الناتجة بعد ثوان من إيقاف العملية، حيث يتم فصلها عن الماء وتجفف.
- الناتج (C1) يتم ترك الماء المفصول عن الترسبات الأولى، لبضع دقائق، فتترسب جميع الجزيئات الدقيقة بالماء، ويتم فصلها وتجفيفها وترميزها بـ C1.
- الناتج (C3) هو الناتج عن تجفيف الماء المتبقي (هو الجبس المذاب في الماء).

بعد اكتمال عملية الترسيب تم أخذ النواتج (C1)، (C2) و(C3)، وتم تمريرهم على الأشعة السينية للحصول على مخططات الانعراج لمعرفة مكونات كل ناتج.



الشكل III-02 وضع العينة (C) في دورق يضاف إليها الماء المقطر

الشكل III-03 وضع الدورق على جهاز الرج والتسخين

الشكل III-04 عملية فصل الماء لتبقى في الدورق المادة المترسبة فقط

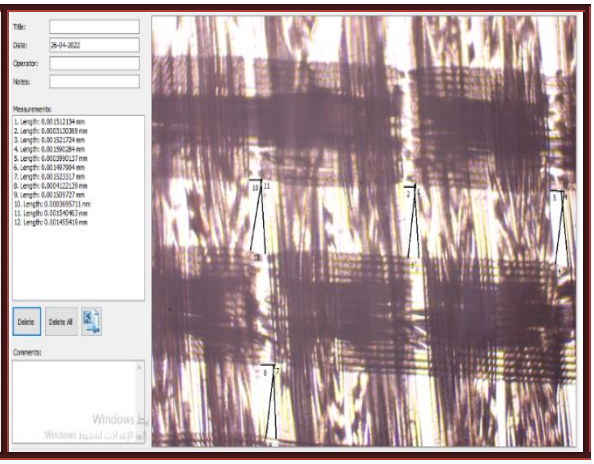
الشكل III-05 وضع كل العينات C1، C2 وC3 في المجفف

❖ **العينة (P):** هذه العينة تمت عليها عملية الغربلة، من أجل فصل الجبس عن الرمل، لأننا نعتقد أن الجبس الذي هو على شكل مسحوق أبيض ناعم يمكنه المرور من أي غربال عكس الرمل المكون من ثاني أكسيد السيلكون SiO_2، وهو على شكل حبيبات أكبر حجما وبالتالي ستبقى في أعلى الغربال، وكانت العملية كما يلي:

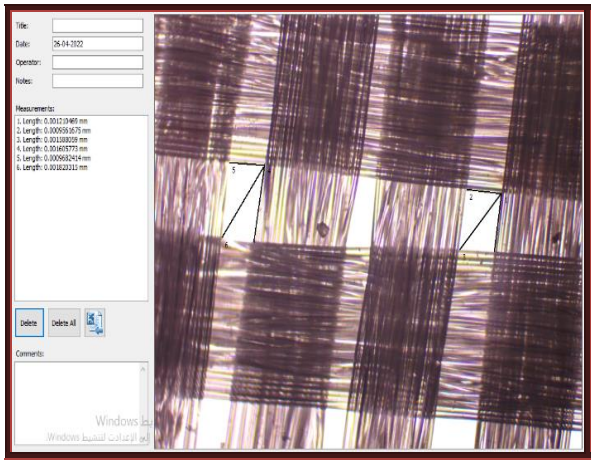
طريقة الغربلة: تم تحضير غربالين لهذه العملية، حيث تمت الغربلة الأولى بالغربال الأول (الشكل III-06) ومساماته أدق من الغربال الثاني (الشكل III-07).

- أولا تم وضع العينة (P) في الغربال الأول (مقاسات فتحاته عرضها حوالي $0.4\mu m$ وطولها حوالي $1.5\mu m$)، الموجود فوق دورق Beaker (الشكل III-08) فتوقعنا أن ينزل مسحوق الجبس من الغربال الأول وتبقى حبيبات الرمل فوقه، وبعد انتهاء هذه العملية كان الناتج مسحوق ناعما داخل الدورق وحبيبات متبقية فوق الغربال الأول.
- ثانيا وضع المتبقي من الغربلة السابقة على الغربال الثاني وتمت الغربلة بنفس الطريقة، وبما أن فتحاته أكبر من الغربال الأول فقد كان الهدف هو التقليل من الكمية الكبيرة الباقية فوق الغربال الأول (المعتقد أنها رمل وبها جبس) فنتج عنها مسحوق ناعم داخل الدورق وحبيبات متبقية فوق الغربال الثاني.
  - الناتج (P1): مسحوق أبيض ناعم داخل الدورق ناتج عن الغربال الأول.
  - الناتج (P2): مسحوق أبيض ناعم داخل الدورق ناتج عن الغربال الثاني.
  - الناتج (P3): حبيبات تبقت فوق الغربال الثاني.

بعد اكتمال عملية الغربلة تم أخذ الناتج (P1)، (P2) و(P3)، وتم تمريرهم على الأشعة السينية للحصول على مخططات الانعراج لمعرفة مكونات كل ناتج.



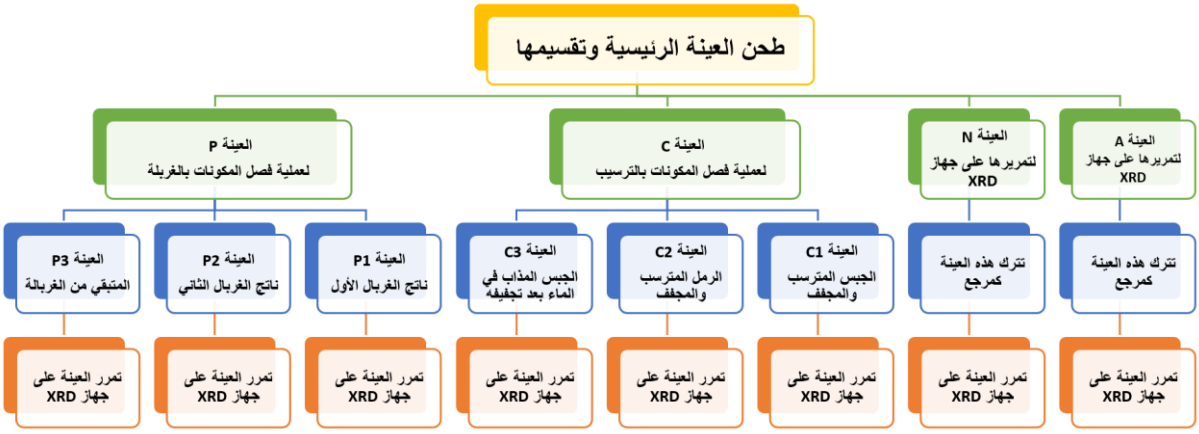
الشكل III-06 صورة بالمجهر الضوئي للغربال الأول تظهر مقاسات فتحاته المقدرة بالتقريب $1.5\mu m \times 0.4\mu m$



الشكل III-07 صورة بالمجهر الضوئي للغربال الثاني تظهر مقاسات فتحاته المقدرة بالتقريب $1.6\mu m \times 1\mu m$

الشكل III-08 غربلة العينة (D)

وللإلمام بجميع خطوات المرحلة الأولى تم انشاء مخطط شامل لهذا الغرض (أنظر الشكل III-09)



الشكل III-09 مخطط يوضح جميع خطوات المرحلة الأولى.

❷ **المرحلة الثانية:** في هذه المرحلة تم أخذ عينات لمقارنة جبس الفولية مع جبس ذو جودة عالية، ومستعمل في المنطقة وهو جبس أولاد جلال، والهدف هو رفع نوعية الجبس محل الدراسة، فكانت الخطوات التالية:

* **تحضير العينات:**

الخطوة الأولى: تم إحضار عينتين من السوق، الأولى لجبس أولاد جلال والثانية لجبس الفولية، وهما كالتالي:

❖ **العينة (F):** وهي لجبس أولاد جلال (أنظر الشكل III-10)، وتمرر كما هي على XRD، بهدف معرفة مكوناتها واستعمالها للمقارنة.

الشكل III-10 جبس أولاد جلال

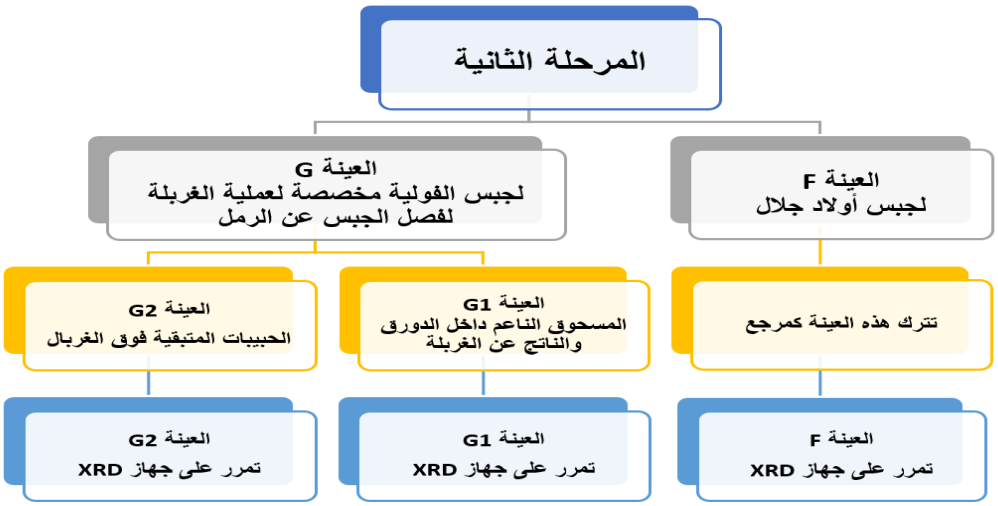
❖ **العينة (G):** وهي لجبس الفولية، وقد تم استعمالها في عملية الغربلة بغية فصل الجبس عن الرمل، فتم تحضير غربال رقيق لهذه العملية حيث أن مقاسات فتحاته عرضها حوالي $0.4\mu m$ وطولها حوالي $1.5\mu m$ وهو نفس الغربال الأول المستعمل في المرحلة الأولى (الشكل III-06) و(الشكل III-08).

طريقة الغربلة: تمت الغربلة بنفس الطريقة المذكورة في المرحلة الأولى ولكن بالغربال الأول فقط وكان الناتج كالتالي:

- الناتج (G1): مسحوق أبيض ناعم داخل الدورق ناتج عن الغربلة.
- الناتج (G2): حبيبات تبقت فوق الغربال.

وبعد اكتمال عملية الغربلة، تم أخذ العينات (F)، (G1) و(G2)، وتم تمريرهم على الأشعة السينية للحصول على مخططات الانعراج، لمعرفة مكونات كل ناتج.

ولحوصلة جميع خطوات المرحلة الثانية قمنا بإنجاز المخطط أدناه (الشكل III-11)



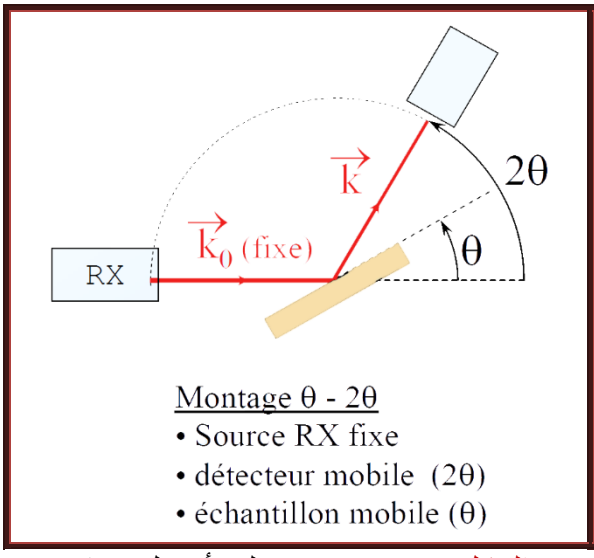
الشكل III-11 مخطط يوضح جميع خطوات المرحلة الثانية.

III-3- نتائج إنعراج الأشعة السينية

لقد تم استخدم جهاز PROTO AXRD Benchtop powder diffraction للحصول على مخططات الانعراج للأشعة السينية (الشكل III-12)، وهو ذو تركيبة $(\theta - 2\theta)$ (الشكل III-13)، كما يستخدم مجموعة واسعة من الأنودات لضمان أفضل قمم انعراج للأشعة السينية على المواد (الأنودات المتاحة: Cu، Cr، Co وMo).

توضع العينات على شكل مسحوق كل واحدة في حامل للعينة، تتعرض عينات المسحوق في هذا الجهاز لحزمة من الأشعة السينية XRD أحادية اللون لتوليد نمط انعراج الأشعة السينية، وهذا النمط يوفر معلومات بنيوية للمادة، وفي هذه الحالة يتم تسليط حزمة أشعة سينية خاصة بالنحاس ذات الطول الموجي: $\lambda_{k_\alpha} = 1.54251$ Å، في مجال قيم الزوايا $2\theta \in [10° - 80°]$، إضافة إلى أن جهاز الانعراج الآلي متصل بجهاز حاسوب مدمج به برنامج لقراءة وتسجيل النتائج تلقائيا في ملف الكتروني يظهر على الشاشة في شكل مخطط "Pattern".

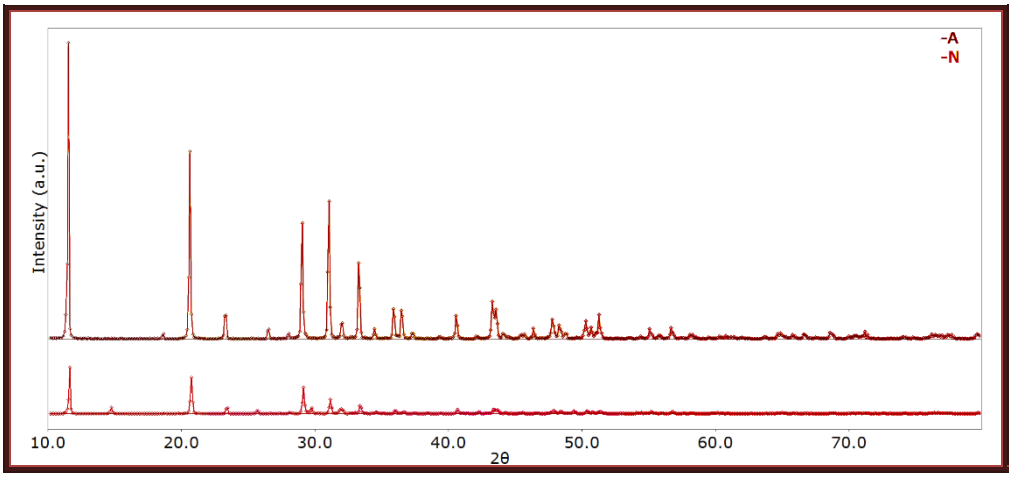
الشكل III-12 جهاز الانعراج الآلي للأشعة السينية PROTO AXRD Benchtop powder diffraction



الشكل III-13 توضيح لمبدأ عمل جهاز الانعراج الآلي ذو التركيبة $(\theta - 2\theta)$

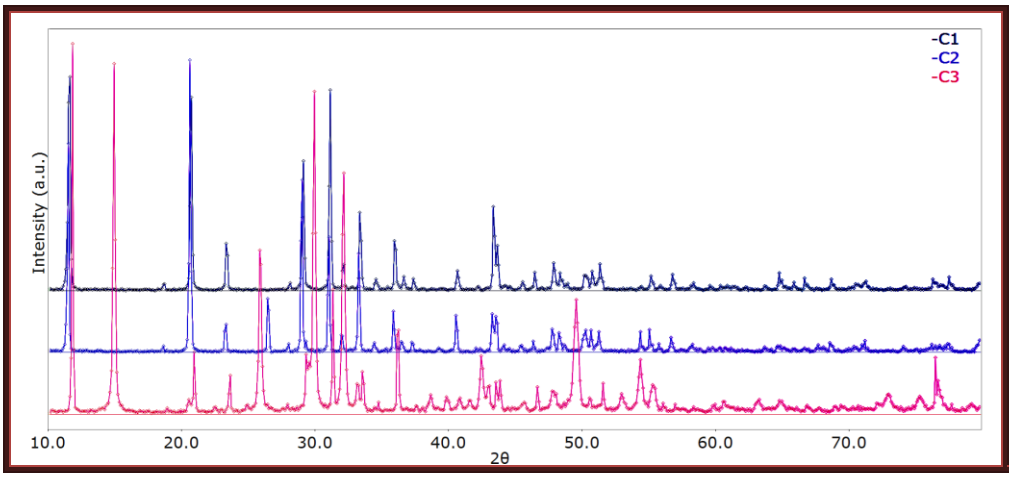
III-3-1- النتائج المتحصل عليها في المرحلة الأولى

❖ **<u>العينتين (A) و(N):</u>** والشكل التالي III-14 يوضح مخطط انعراج الأشعة السينية للعينتين اللتين اعتبرناهما كمرجع



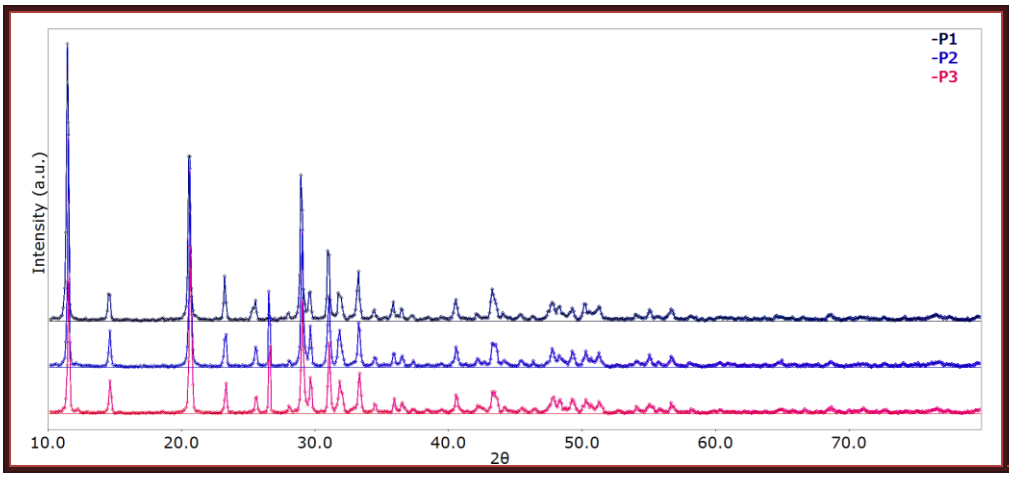
الشكل III-14 مخطط الانعراج للعينتين (A) و(N)

❖ العينة (C): كما ذكرنا سابقا فان هذه العينة تمت عليها عملية الترسيب ونتج عنها 03 مكونات (نواتج): (C1)، (C2) و(C3)، ولمعرفة مكونات كل ناتج قمنا بتحليلهم بواسطة تقنية انعراج الأشعة السينية فتحصلنا على المخططات المدرجة في الشكل III-15.



الشكل III-15 مخطط الانعراج لنواتج الترسيب (C1)، (C2) و(C3).

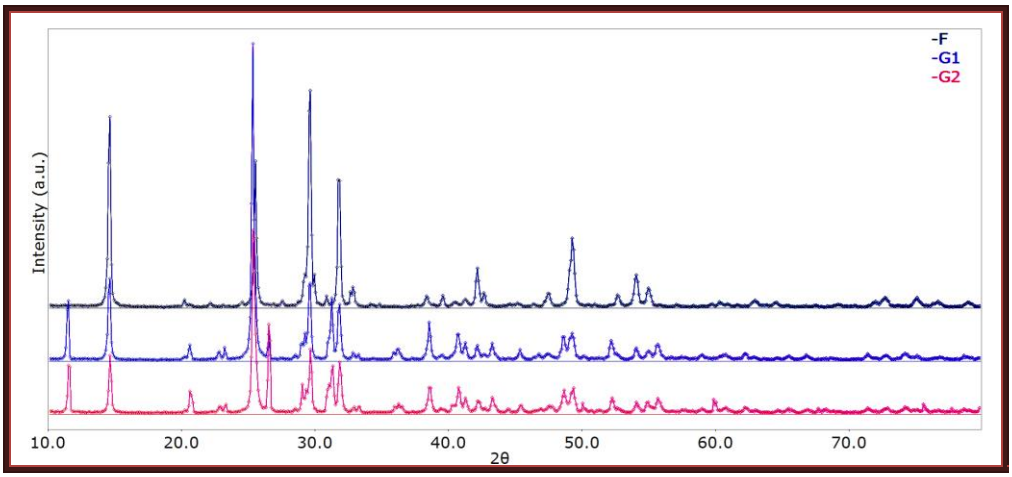
❖ **العينة (P):** بعد غربلة هذه العينة بغربالين، تحصلنا على ثلاث مكونات (P1)، (P2) و(P3)، والشكل III-16 يبين مخططات انعراج الأشعة السينية لهذه النواتج.



الشكل III-16 مخطط الانعراج للعينات الناتجة عن الغربلة (P1)، (P2) و(P3).

III-3-2- النتائج المتحصل عليها في المرحلة الثانية

ان تحليل العينات (F)، (G1) و(G2) على الأشعة السينية مكننا من الحصول على مخططات الانعراج كما هو موضح في الشكل III-17.



الشكل III-17 مخطط الانعراج للعينات (F)، (G1) و(G2).

III-4- تحسين النتائج المتحصل عليها للأشعة السينية

III-4-1- تحسين نتائج الانعراج باستخدام طريقة ريتفلد Rietveld

تحسين ريتفيلد (Rietveld Refinement) هي تقنية وصفها هوغو ريتفيلد لاستخدامها في توصيف المواد البلورية، إذ ينتج عن انعراج الأشعة السينية لعينات المسحوق مخطط يتميز بقمم ذات شدة معينة في مواضع معينة، بحيث يمكن استخدام ارتفاع وعرض وموقع هذه الانعكاسات لتحديد العديد من جوانب بنية المادة.

وتستخدم طريقة (Rietveld) نهج المربعات الصغرى من خلال برامج حاسوبية تقوم بهذه المهمة، لتحسين ملف مخطط الانعراج النظري حتى يتطابق مع مخطط الانعراج التجريبي، فيمكن أن تتم معاينة التوافق بصريا بينهما ومعرفة مدى نجاح عملية التحسين. كان إدخال هذه التقنية في الحسابات خطوة مهمة إلى الأمام في تحليل الانعراج لعينات المسحوق، فهي قادرة على التعامل بشكل موثوق مع الانعكاسات المتداخلة بشدة.

لقد تم تنفيذ هذه الطريقة لأول مرة في عام 1967، وتم الاعلان عنها في عام 1969 في حالة انحراف النيوترونات أحادية اللون [2].

ومن أجل حدوث التوافق بين المنحنيين يجب أن يتقارب معامل التوافق (GoF) من الواحد، والذي يعطى بالعلاقة التالية [3،1]:

$$GoF = \frac{R_{wp}}{R_{exp}} \qquad (01\text{-III})$$

حيث: R_{wp} : عامل موثوقية الشكل الجانبي الموزون (Weighted Profile Reliability) الذي يعطى بالعلاقة التالية [4]:

$$R_{wp} = \left[\sum_i w_i[y_i(obs) - y_i(calc)]^2 \Big/ \sum_i w_i[y_i(obs)]^2\right]^{1/2} \qquad (02\text{-III})$$

حيث: $y_i(obs)$ هي الشدة المشاهدة في النقطة i

$y_i(calc)$ هي الشدة المحسوبة في النقطة i

w_i عامل التوزين Weighing للنقطة i

إن التعبير الموجود في البسط هو القيمة التي يتم تصغيرها أثناء تحسين Rietveld، فإذا تم حذف الخلفية فإن$y_i(obs)$ هي الكثافة الصافية بعد الحذف، ولكن إذا تم تحسين الخلفية فمن المحتمل أن تتضمن $y_i(obs)$ و$y_i(calc)$ [مساهمة الخلفية. في هذه الحالة الأخيرة، ستنتج الخلفية العالية تلقائيًا قيمة R_{wp} منخفضة، لأن جزءًا كبيرًا من الكثافة يتم حسابه بواسطة وظيفة الخلفية، وبالتالي، فإن مقارنة قيم R من أنواع مختلفة من تجارب انعراج المسحوق يمكن أن تكون مضللة للغاية.

من الناحية المثالية، يجب أن يقترب R_{wp} النهائي من القيمة الصفر.

أما R_{exp} فهو عامل الموثوقية المتوقع وهو اختصار لـ Expected Reliability Factor ويعطى بالعلاقة التالية [4]:

$$R_{exp} = \left[(N - P) \Big/ \sum_i^N w_i y_i(obs)^2\right]^{1/2} \qquad (03\text{-III})$$

حيث: N هو عدد النقاط في طيف انعراج المسحوق المشاهد

P هو عدد الوسائط المحسنة

يعكس R_{exp} جودة البيانات (أي إحصائيات العد)، وهكذا فإن النسبة GoF بين R_{wp} وR_{exp} التي يتم الاستشهاد بها في كثير من الأحيان، يجب أن تقترب من 1، مع العلم أنه يمكن:

- إذا تم "الإفراط في جمع البيانات" (أي أن الأخطاء لم تعد تهيمن عليها إحصائيات العد)، فسيكون R_{exp} صغيرًا جدًا وGoF لبنية محسنة بالكامل أكبر بكثير من 1.
- وعلى العكس من ذلك، إذا كانت البيانات "غير مجمعة بشكل كافٍ" (أي تم جمعها بسرعة كبيرة جدًا)، فسيكون R_{exp} كبيرًا ويمكن أن يكون GoF أقل من 1.
- يمكن أن تنشأ قيم غريبة لـ GoF أيضًا من البيانات التي تم حسابها بشكل غير صحيح.
- يعد الحصول على R_{wp} النهائي في تحسين خالٍ من الهيكل مؤشرًا جيدًا على أفضل توافق مع ملف البيانات التي يمكن الحصول عليها، ويجب أن يقترب منه R_{wp} في تحسين Rietveld (البنيوي) [4].

III-4-2- تحسين النتائج المتحصل عليها للأشعة السينية للعينات

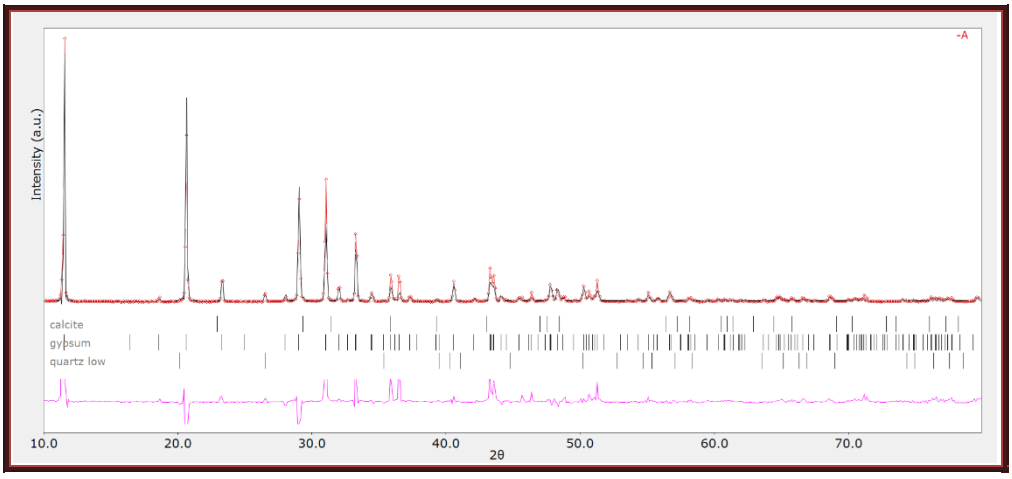
في عملية التحسين يتم استعمال برنامج من ضمن البرامج العديدة التي تعالج معطيات ملفات انعراج الأشعة السينية بطريقة ريتفيلد (Rietveld)، ومن بين هاته البرامج "Rex Powder diffraction" [5]، إذ يمكن الحصول على دقة أكبر من خلال ملاءمة نمط الانعراج بالكامل بما هو متوقع لمزيج من المكونات.

هذا البرنامج كغيره من البرامج التي تستعمل في معالجة مخططات الانعراج لـ XRD، يعتمد على قواعد بيانات لأنماط الانعراج للعينات المدروسة اثناء تحضيرنا لعملية تحسين النتائج بطريقة ريتفلد استعنا بملفات (.cif) الخاصة بالأطوار الموجودة، وهي مودعة لدى قاعدة البيانات المفتوحة في علم البلورات (Crystallography Open Database)، والتي تأسست سنة 2003.

III-4-2-1 تحسين النتائج المتحصل عليها في المرحلة الأولى

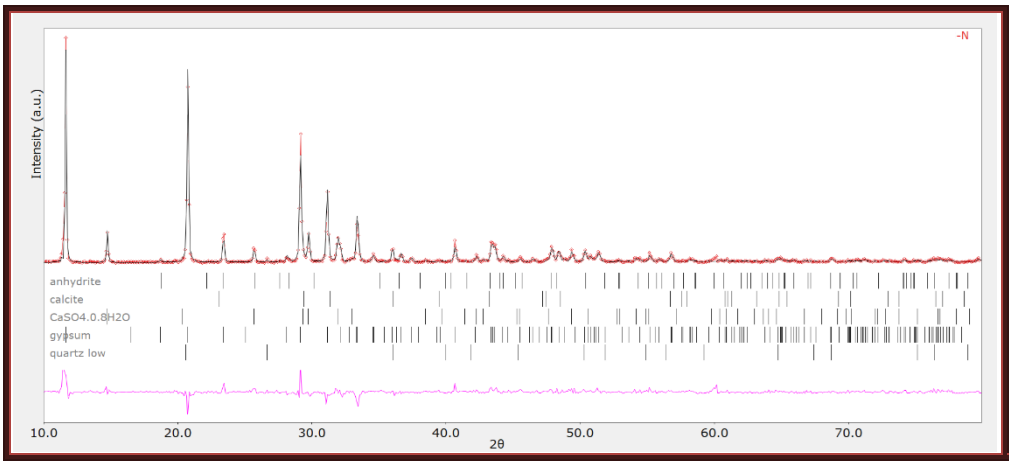
❖ **العينة (A):** كما ذكرنا انفا فان عملية التحسين لمخطط الانعراج المتحصل عليه لهذه العينة تمت بالاعتماد على ملفات قواعد البيانات للمركبات المحتمل وجودها في هذه المادة، وهذا بهدف الوصول للمكونات الحقيقية من جهة ونسبة كل مركب في هذه العينة من جهة أخرى.

عند التوصل لأفضل نتيجة في عملية التحسين والمتمثلة في المطابقة بين المخطط التجريبي ومخططات الانعراج المنبثقة من قواعد البيانات (هذا ما يمثل الأساس الذي تعتمد عليه طريقة التحسين لريتفيلد)، حينها نتوقف ونعتبر هذه النتيجة نهائية ويوضح عملية التحسين بمخطط الانعراج للعينة (A) (الشكل III-18)



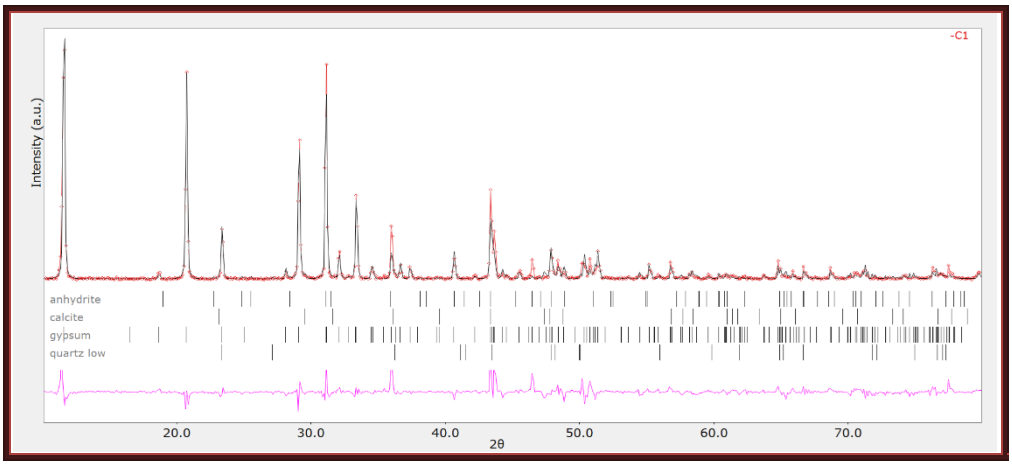
الشكل III-18 عملية التحسين لمخطط الانعراج للعينة المرجع (A).

❖ **العينة (N):** تمت عملية التحسين لمخطط الانعراج المتحصل عليه لهذه العينة، والمخطط التالي يوضح ذلك (الشكل III-19)

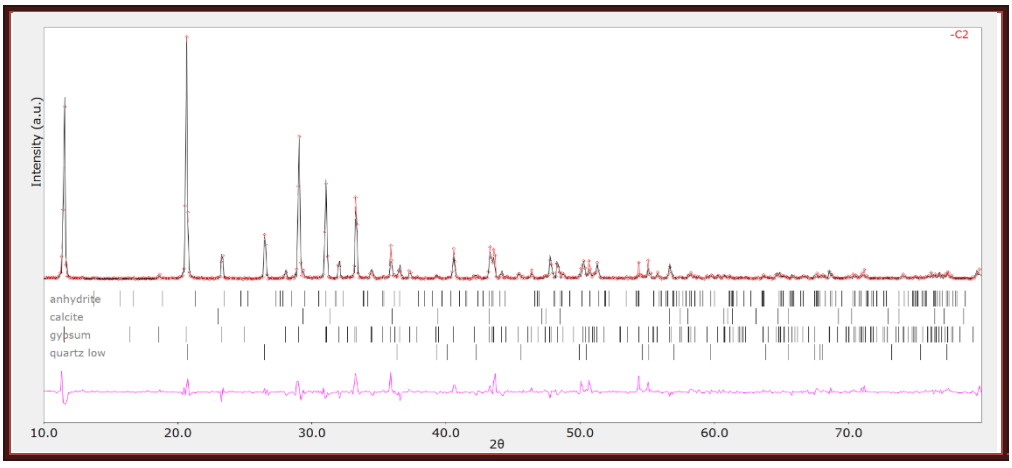


الشكل III-19 عملية التحسين لمخطط الانعراج للعينة المرجع (N).

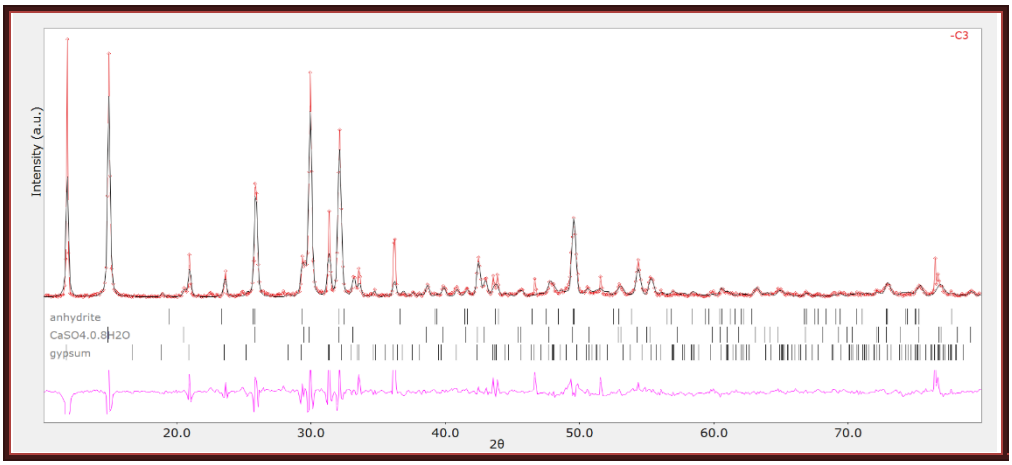
❖ **العينة (C):** تمت عملية التحسين لمخططات الانعراج المتحصل عليها للعينات الثلاثة (C1)، (C2) و(C3)، والمخططات التالية تبين ذلك (الأشكال III-20، III-21 وIII-22)



الشكل III-20 عملية التحسين لمخطط الانعراج للعينة (C1).

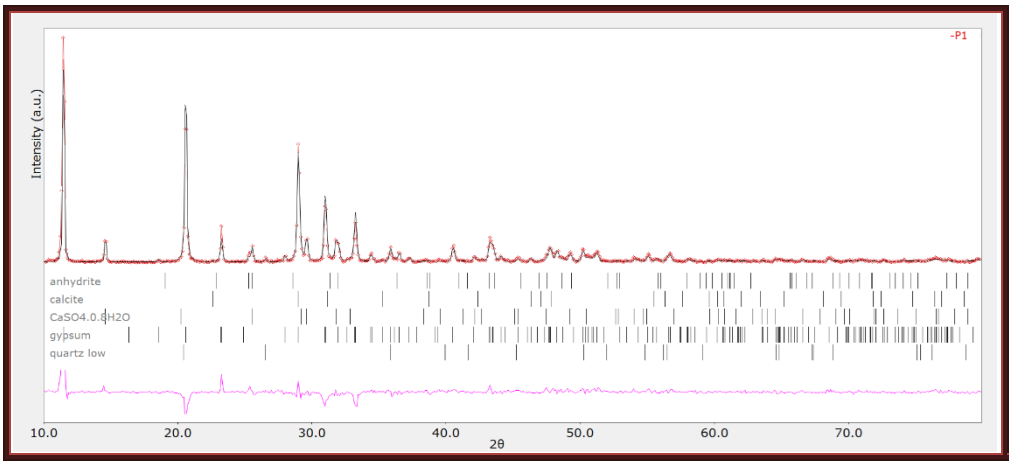


الشكل III-21 عملية التحسين لمخطط الانعراج للعينة (C2).

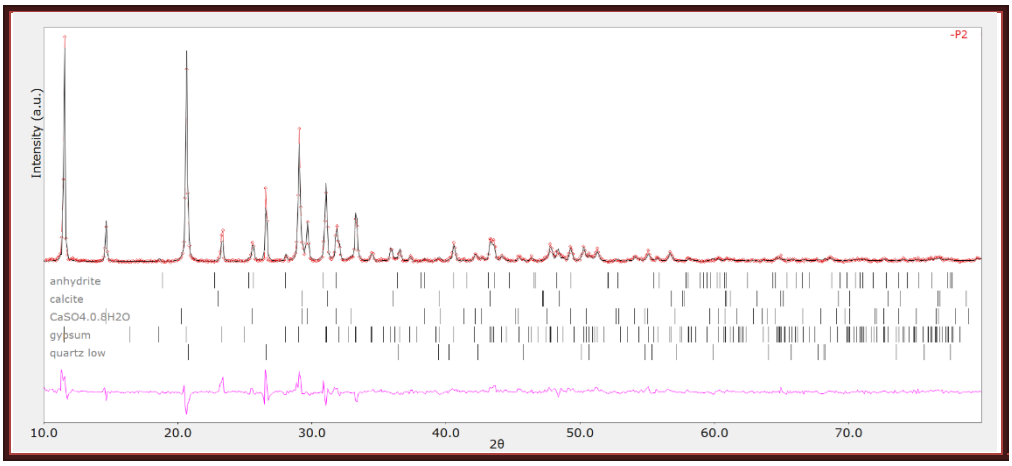


الشكل III-22 عملية التحسين لمخطط الانعراج للعينة (C3).

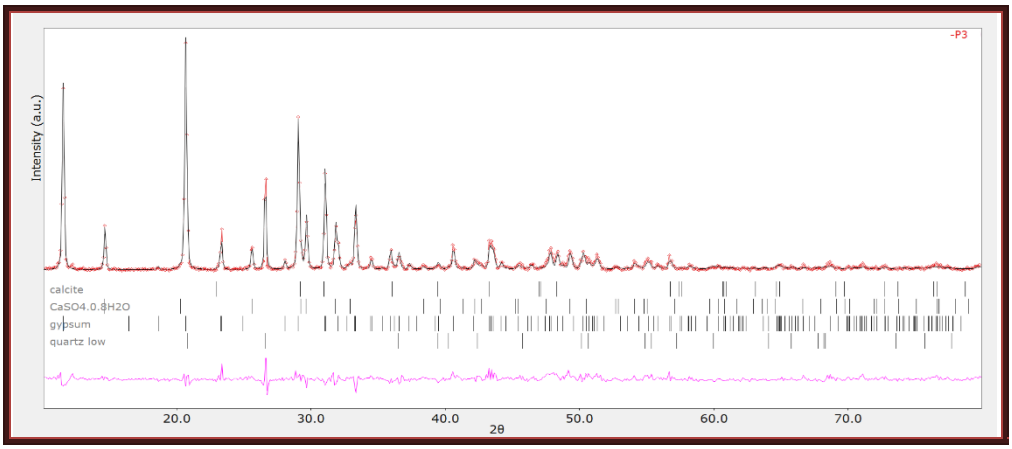
❖ **العينة (P):** قمنا كذلك بعملية التحسين لمخططات الانعراج المتحصل عليها للعينات (P1)، (P2) و(P3)، والمخططات التالية تبين ذلك (الأشكال من III-23 إلى III-25)



الشكل III-23 عملية التحسين لمخطط الانعراج للعينة (P1).



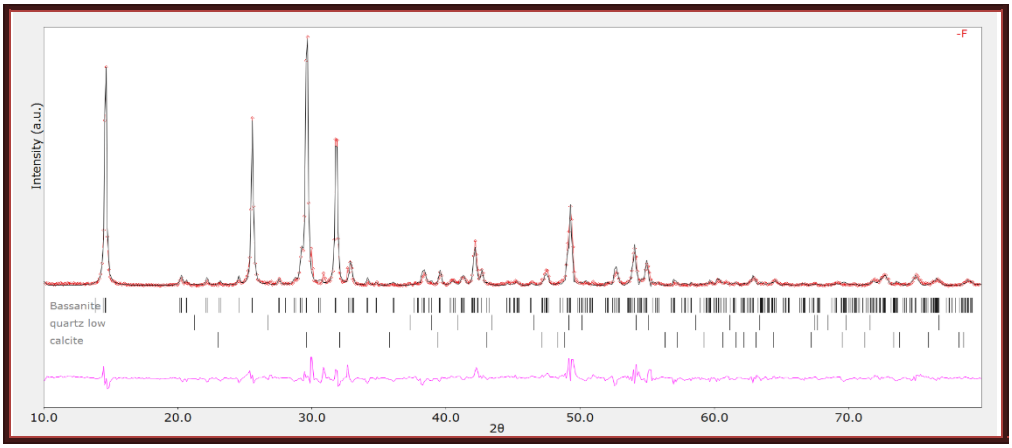
الشكل III-24 عملية التحسين لمخطط الانعراج للعينة (P2).



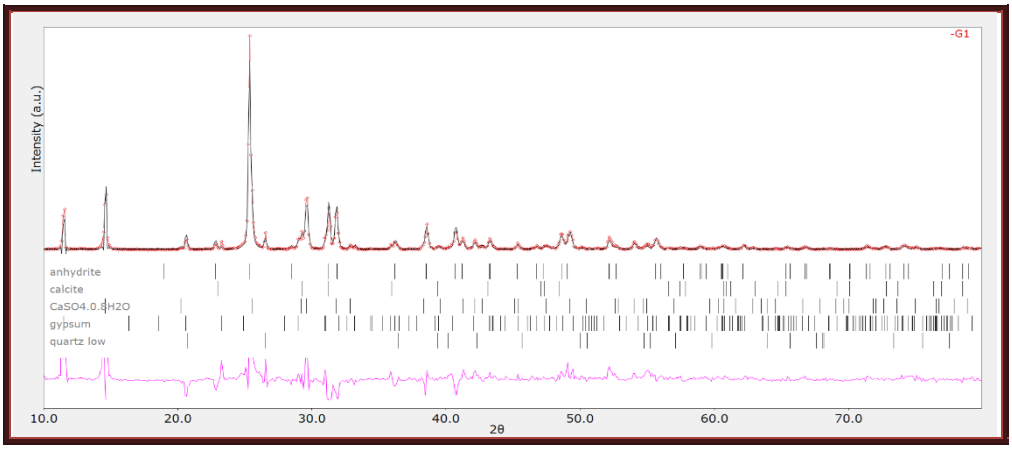
الشكل III-25 عملية التحسين لمخطط الانعراج للعينة (P3).

III-4-2-2 تحسين النتائج المتحصل عليها في المرحلة الثانية

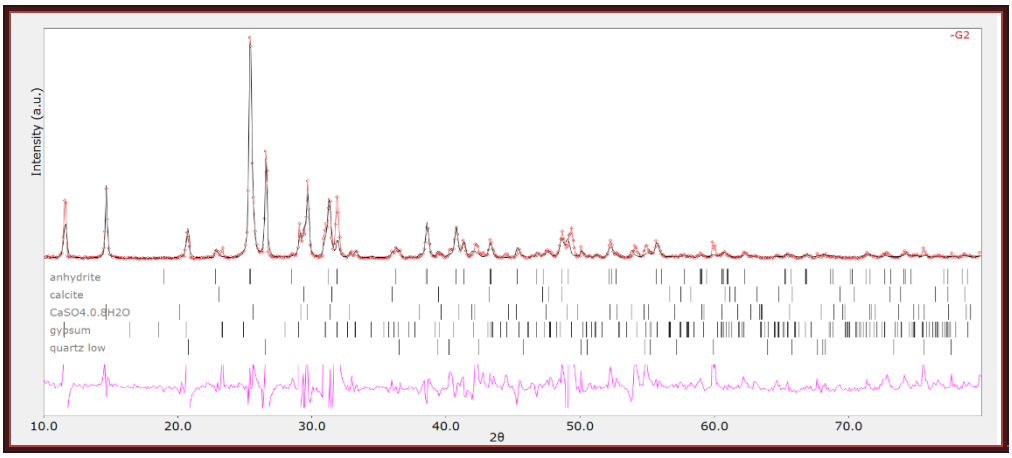
تمت عملية التحسين لمخططات الانعراج المتحصل عليها للعينات (F)، (G1) و(G2)، والمخططات الموضحة في الأشكال (III-26، III-27 وIII-28) تبين ذلك.



الشكل III-26 عملية التحسين لمخطط الانعراج للعينة (F).



الشكل III-27 عملية التحسين لمخطط الانعراج للعينة (G1).



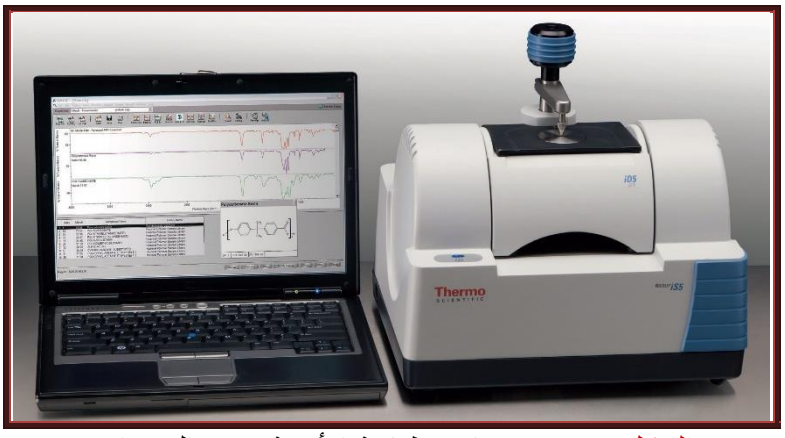
الشكل III-28 عملية التحسين لمخطط الانعراج للعينة (G2).

III-5- النتائج المتحصل عليها للأشعة تحت الحمراء (FTIR)

III-5-1- الجهاز المستعمل لمطيافية للأشعة تحت الحمراء (FTIR)

في هذه الدراسة تم تسجيل طيف الأشعة تحت الحمراء للعينات المدروسة بواسطة جهاز ذو الخواص التالية (الشكل III-29):

- النوع: Spectrometer Nicolet iS5
- الشركة: Thermo Scientific
- مجال العدد الموجي: $4000\ cm^{-1}$ - $525\ cm^{-1}$



الشكل III-29 جهاز مطيافية الأشعة تحت الحمراء.

III-5-2- النتائج المتحصل عليها للأشعة تحت الحمراء (FTIR)

تم استعمال مطيافية الأشعة تحت الحمراء لدراسة ومعرفة المواد المكونة للعينات التي تم تحضيرها في المرحلتين المذكورتين أعلاه من هذا الفصل، وذلك بمعرفة الترددات الممتصة التي تظهر في مخططات طيف FTIR، والتي يمكن التعرف عليها من خلال الجدول أدناه (الجدول III-01) الذي يوضح ترددات الأشعة تحت الحمراء التي تمتصها الروابط المتضمنة في عينة الجبس.

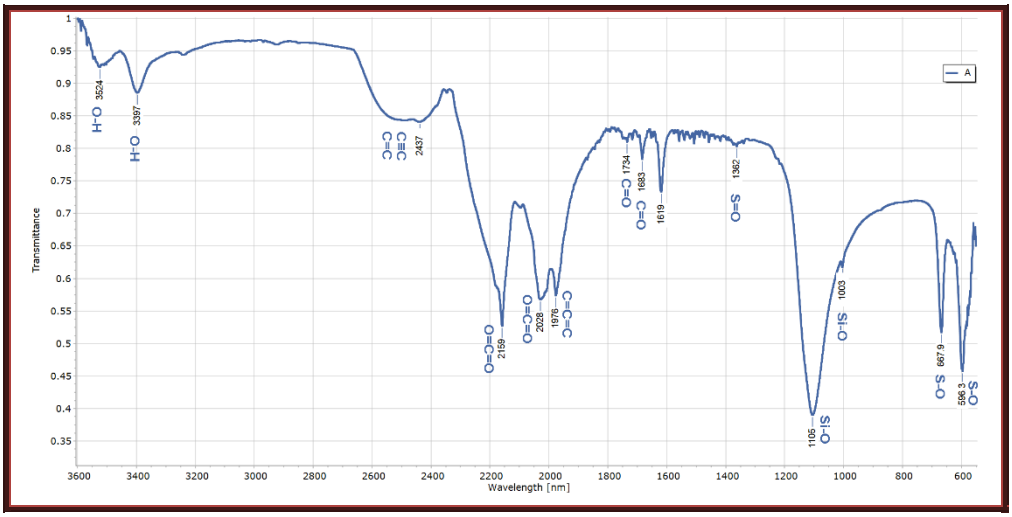
الجدول III-01 جدول يلخص الاعداد الموجية والروابط الكيميائية الموجودة في عينات الجبس الموافق لها في مطيافية الأشعة تحت الحمراء

Wavenumber cm^{-1}	Functional group	
3350-3450	O-H Carbohydrates	[7]
3522-3400	O-H Stretching	[8]
3300-2500	O-H Stretching (strong, broad)	[6]
2500-2100	C=C, C≡C	[7]
2400-2000	O=C=O Stretching Carbon dioxide	[6]
2000-1900	C=C=C Stretching allene	[6]
1730-1740	C=O Ester fatty acid group	[7]
1685-1666	C=O Stretching (strong)	[6]
1632-1558	Ca region	[9]
1372-1335	S=O Stretching (strong), Sulfonate	[6]
1140-1080	S-O Stretching	[8]
1100-950	Si-O Stretching	[8]
900-700 (880 ± 20)	C-H Bending (strong)	[6]
669, 597	S-O Bending	[8]

ونتائج هذا المسح للعينات كانت كما يلي:

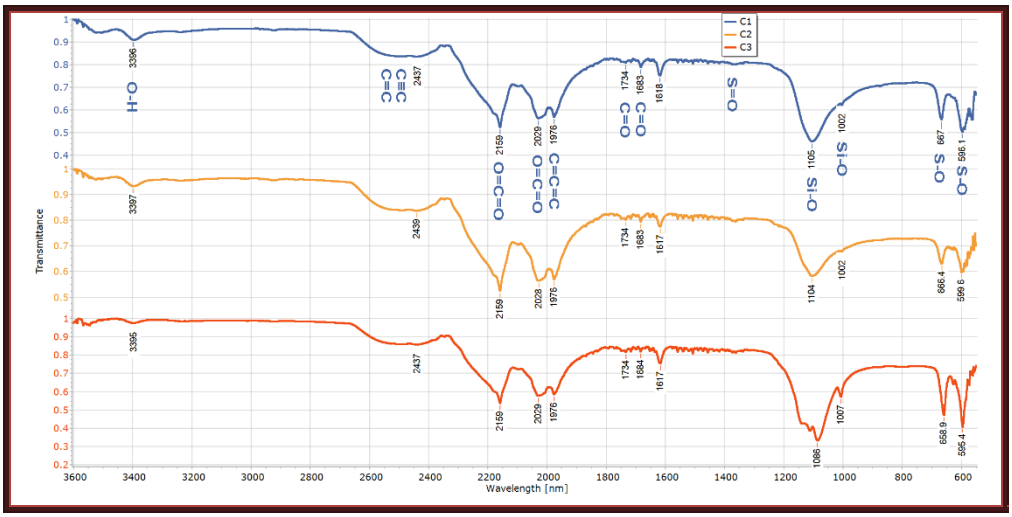
III-5-2-1 النتائج المتحصل عليها لـ FTIR في المرحلة الأولى

❖ **العينة (A):** تم تمرير هذه العينة على الأشعة تحت الحمراء وتم تسجيل النتيجة الموضحة في (الشكل III-30).



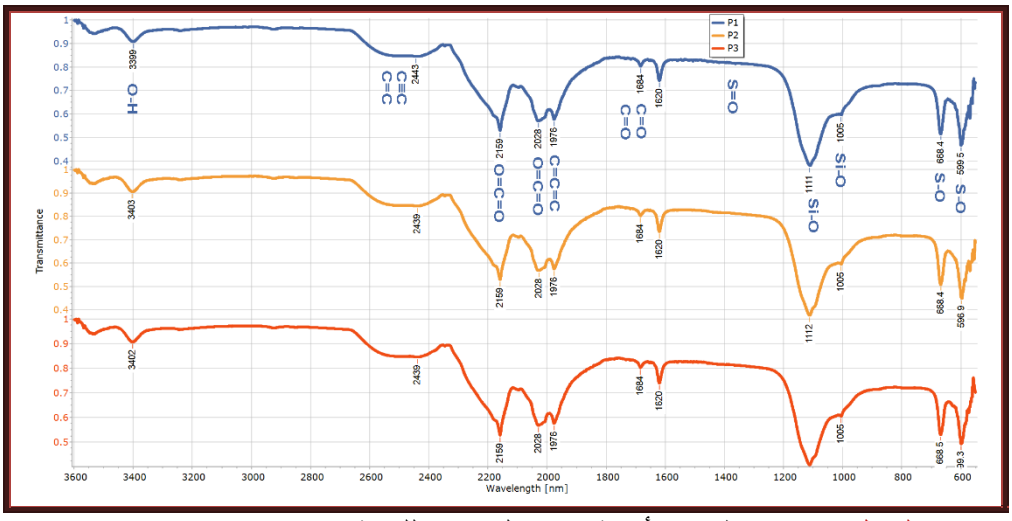
الشكل III-30 طيف الأشعة تحت الحمراء للعينة (A).

❖ **العينة (C):** هذه العينة تمت عليها عملية الترسيب وكان الناتج: (C1)، (C2) و(C3)، حيث تم تمريرهم على الأشعة تحت الحمراء للحصول على الأطياف التالية (الشكل III-31).



الشكل III-31 طيف الأشعة تحت الحمراء للعينات (C1)، (C2) و(C3).

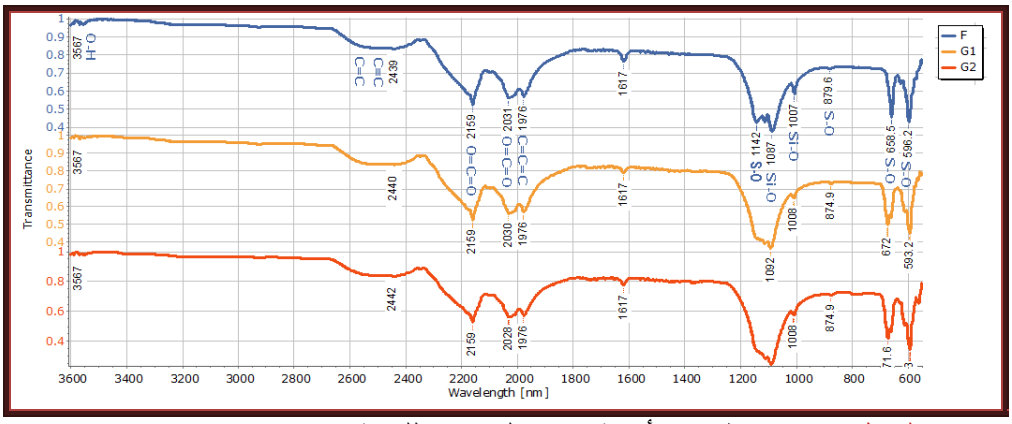
❖ **العينة (P):** تمت عملية الغربلة على هذه العينة وكان الناتج: (P1)، (P2) و(P3) حيث تم تمريرهم على الأشعة تحت الحمراء للحصول على الأطياف التالية (الشكل III-32).



الشكل III-32 طيف الأشعة تحت الحمراء للعينة (P1)، (P2) و(P3).

III-2-2-5 النتائج المتحصل عليها لـ FTIR في المرحلة الثانية

بعد تحليل العينات (F)، (G1) و(G2) بواسطة مطيافية الأشعة تحت الحمراء تحصلنا على الاطياف التالية (الشكل III-33):



الشكل III-33 طيف الأشعة تحت الحمراء للعينة (F)، (G1) و(G2).

III-6- مناقشة النتائج

III-6-1- مناقشة النتائج المتحصل عليها للأشعة السينية

بعد اكتمال عملية التحسين للمخططات المتحصل عليها من جهاز الانعراج الآلي، قمنا باستخراج النتائج النهائية من هذه المخططات المحسنة في جداول تتضمن الأطوار ونسب عوامل الثقة.

❖ **نتائج المرحلة الأولى:** تم تلخيص مخططات الانعراج بعد التحسين لهذه المرحلة في الجدول التالي:

الجدول III-02 ملخص النتائج للمرحلة الأولى يتضمن نسبة الأطوار وعوامل الثقة للعينات

العينة	نسبة تواجد الأطوار %							عوامل الثقة %		
	$CaSO_4.\frac{1}{2}H_2O$	$CaSO_4$	SiO_2	$CaCO_3$	$CaSO_4.2H_2O$	$CaSO_4.0{,}8H_2O$		Rp	Rwp	Rexp
المرجع A			1.5	1	97.5			24.27	30.97	8.11
المرجع N		1.11	0.42	0.05	85.51	12.91		18.26	26.77	17.61
العينة C1		0.44	3.18	3.64	92.74			24.63	37.45	16.88
العينة C2		0.35	7.62	0.78	91.25			21.31	32.91	17.87
العينة C3		1.01			22.73	76.26		25.26	34.73	10.98
العينة P1		1.71	0.67	2.42	85.00	10.20		20.42	27.08	15.23
العينة P2		1.10	8.78	0.94	75.66	13.52		17.78	25.62	15.97
العينة P3			10.61	1.73	73.03	14.63		16.29	25.03	16.79

أهم الملاحظات التي يمكن أن تستنتج من المرحلة الأولى لنتائج التجارب المدرجة بالجدول III-02 هي:

* يشكل الجبس أو أحد مكوناته الرئيسية نسبة مرتفعة جدا وهي أكثر من 90%، والعينة المرجع A يشكل بها الجبس 97.5% ولا يمثل الرمل سوى 1.5%، أما العينة المرجع N فيشكل بها الجبس وأنواعه أكثر من 98% ولا يمثل الرمل سوى 0.42%.

* في حالة العينات نواتج الترسيب (C1) و(C2) مع وجود فارق بسيط بينهما إلا أن نسبة الرمل بقيت موجودة فيهما، أما في حالة الجبس المذاب في الماء كليا ويمثله الناتج (C3) فقد اختفى الرمل كليا منه.

* في حالة الغربلة تم استعمال غربالين، بالغربال الأول الأكثر دقة (مسامات أصغر أبعادا) نتجت عنه العينة (P1) ونسبة الرمل بها قليلة جدا (حوالي 0.5%)، أما ناتج الغربال الثاني الأقل دقة وتمثله العينة (P2) فنسبة الرمل به تكاد تصل 9%، وهذه النسبة غير بعيدة عن النسبة المتبقية بالعينة (P3) والتي تساوي في هذه الحالة 10.61%.

❖ **نتائج المرحلة الثانية:** تم تلخيص مخططات الانعراج بعد التحسين لهذه المرحلة في الجدول التالي:

الجدول III-03 ملخص النتائج للمرحلة الثانية يتضمن نسبة الأطوار وعوامل الثقة للعينات

العينة	نسبة تواجد الأطوار %						عوامل الثقة %		
	$CaSO_4.\frac{1}{2}H_2O$	$CaSO_4$	SiO_2	$CaCO_3$	$CaSO_4.2H_2O$	$CaSO_4.0,8H_2O$	Rp	Rwp	Rexp
العينة F	74.51		2.71	22.78			16.20	24.63	8.42
العينة G1		53.66	2.85	2.89	9.36	31.24	18.15	25.26	8.42
العينة G2		43.06	15.91	5.28	15.42	20.33	19.84	28.51	8.07

أهم الملاحظات التي يمكن أن تستنتج من المرحلة الثانية لنتائج التجارب المدرجة بالجدول III-03 هي:

* في حالة العينة (F)، والتي تمثل منتوج تجاري محترف والمعروف باسم "جبس أولاد جلال"، يظهر بالجدول أنه تم تحويل جميع الجبس وباحترافية عالية إلى الباسانيت (Bassanite) والمعروف بجص أو جبس باريس. وهذا أهم ما يميز هذا المنتوج، أما المكونات الأخرى فعدم وجودها أفضل من وجودها (وهما الرمل SiO2 وكربونات الكالسيوم CaCO3 والمعروفة بالكالسيت أو الطباشير).

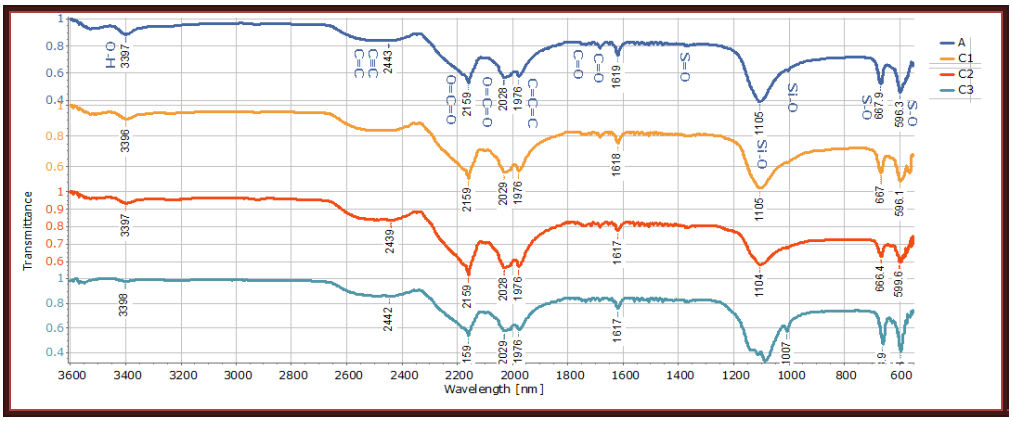
* بالنسبة للعينة ((G) التي تمت غربلتها ونتج عنها (G1) و(G2)) والتي تمثل جبس الفولية المنتج بطرق بدائية، يظهر لنا الجدول أن عملية الكلسنة لم تتم بطريقة صحيحة فجزء يمثل حوالي 50% قد انتزع منه الماء كليا وأصبح أنهيدريت Anhydrite (CaSO4) وهو ما يسمى "الجبس المحترق الميت" (Dead burnt plaster)، وجزء أنتزع منه الماء بشكل آخر مختلف عن الشكل الصحيح، وبقي جزء لم تصله الحرارة ولم ينتزع منه الماء أصلا.

* أما فيما يخص الغربلة لهذا المنتج (جبس الفولية) فهو يقلل من وجود نسبة الرمل في الجبس كما يظهره لنا الجدول حيث أن نسبته في العينة (G1) أقل من 3% بينما نسبته في العينة (G2) المتبقية من الغربلة تمثل حوالي 16%.

III-6-2- مناقشة النتائج المتحصل عليها للأشعة تحت الحمراء (FTIR)

❖ **نتائج المرحلة الأولى:** تم جمع أطياف الأشعة تحت الحمراء في هذه المرحلة إلى مجموعتين كل مجموعة تحتوي على المرجع ونواتج التجربة فكانت كما يلي:

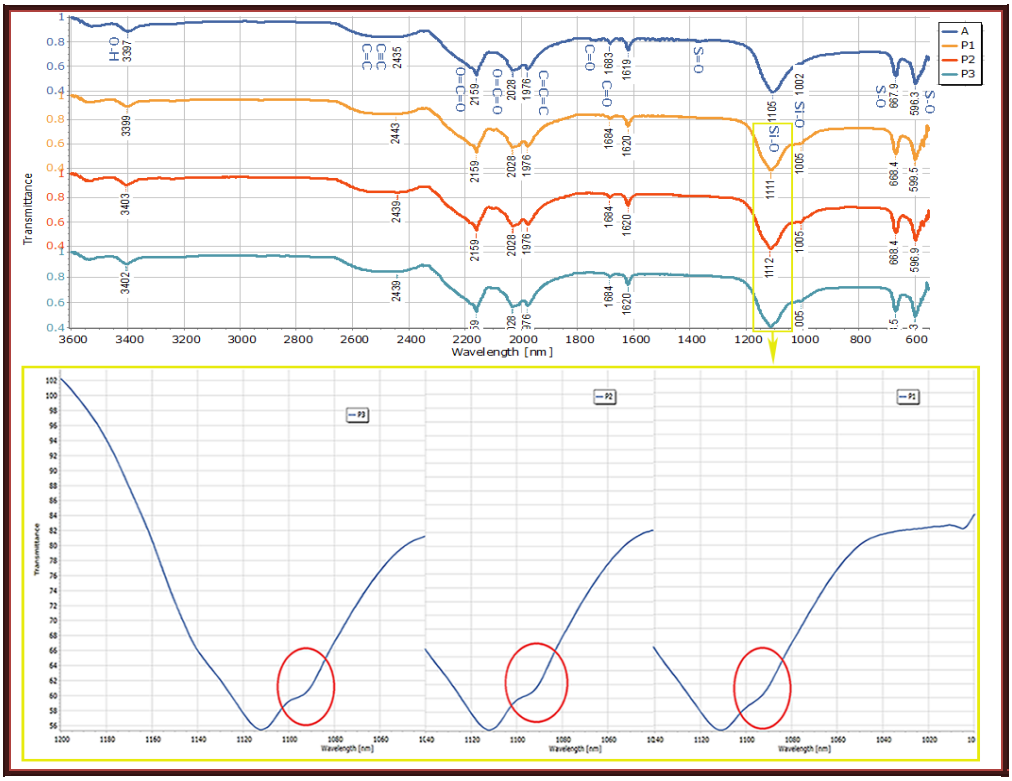
- المجموعة الأولى تضم (A-C1-C2-C3).



الشكل III-34 طيف الأشعة تحت الحمراء للعينات (A-C1-C2-C3).

يتضح من الشكل III-34 بأن الروابط الموجودة بالعينة المرجع (A) والمتمثلة في O-H لوجود الماء أما روابط الكربون، الكالسيوم وكذلك الكبريتات مع الأكسيجين كل على حدى فيرجع لوجود كبريتات الكالسيوم وهو الجبس، في حين أن الروابط Si-O تدل على وجود الرمل، وهذه الروابط جميعها موجودة في العينات الناتجة عن الترسيب. إن الفارق الملاحظ بالنسبة للعينة (C3) عند العدد الموجي 3397 cm^{-1} أين توجد الزمرة الوظيفية للرابطة O-H التي تظهر ضعيفة مقارنة بالعينات الأخرى وهذا راجع لنقص نسبة الماء في هذه العينة بسبب تبخيره بالمجفف.

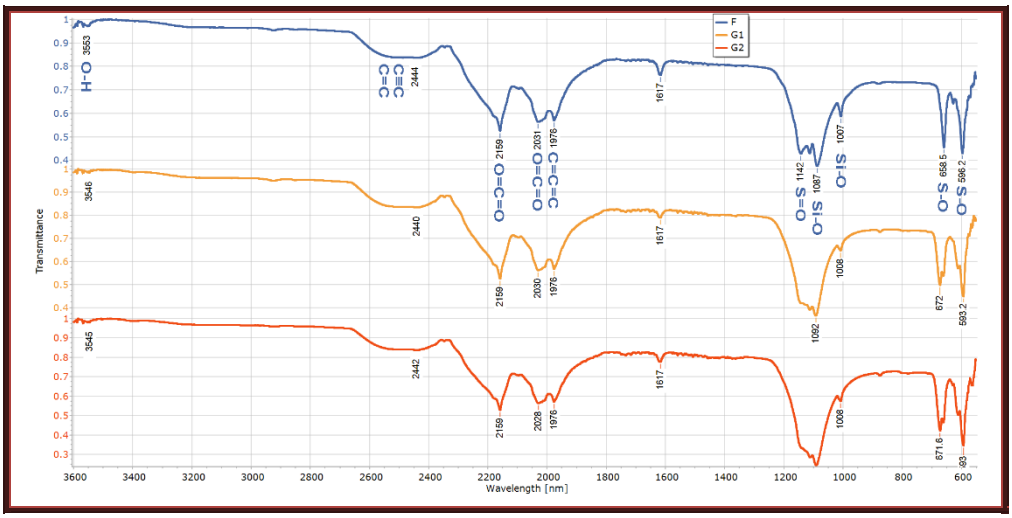
- المجموعة الثانية تضم (A-P1-P2-P3)



الشكل III-35 طيف الأشعة تحت الحمراء للعينات (A-P1-P2-P3).

يلاحظ من الشكل III-35 أن العينات الناتجة عن الغربلة وهي (P1)، (P2) و(P3) لا يظهر فارقا كبيرا بينهم سوى في امتصاص العينة الأخيرة لطيف الأشعة تحت الحمراء الذي يظهر أكثر عند العدد الموجي $1094\ cm^{-1}$ والذي يمثل رابطة SiO_2 (أي الرمل)، وهذا ما يدل على أن العينة (P3) وهي المتبقي من الغربلة يوجد بها نسبة من الرمل أكثر من العينات الأخرى.

❖ **نتائج المرحلة الثانية:** تم جمع مخططات طيف الأشعة تحت الحمراء في هذه المرحلة وهي تضم عينة جبس أولاد جلال (F) ونواتج الغربلة لعينة جبس الفولية (G1) و(G2) فتحصلنا على الشكل التالي (أنظر الشكل III-36):



الشكل III-36 طيف الأشعة تحت الحمراء للعينات (F-G1-G2).

في هذا الشكل يظهر أن العينات الثلاث (F)، (G1) و(G2) تمتلك نفس الروابط وبالتالي لهم نفس المكونات، ويبقى الفارق الوحيد عند العدد الموجي $3550\ cm^{-1}$ أين توجد الرابطة O-H حيث يظهر أن الامتصاص ضعيف جداً عند هذه الرابطة بالنسبة للعينتين (G1) و(G2) وهو ما يدل على نقص نسبة مكون الماء في جبس الفولية مقارنة بجبس أولاد جلال.

الخـلاصة

في هذا الفصل تمت ملامسة الواقع العلمي المادي من خلال تجارب كلها مفيدة فقد تم إعداد مخطط مرحلي يبتدأ بتحضير العينات بطريقة جيدة مرورا باستعمال الوسائل المختلفة وهذا لدراسة المادة عن قرب ومعرفة مكوناتها والتركيب البنيوي لها ومعالجة ذلك عن طريق الأجهزة المتوفرة، لقد استخدمنا جهازي الانعراج الآلي للأشعة السينية ومطيافية الأشعة تحت الحمراء FTIR، حيث استطعنا معالجة النتائج التي تحصلنا عليها واستخلاص معلومات جد قيمة فيما يخص مسح التركيب البلوري للعينات، سواء كان التحسين لمخططات الأشعة السينية أو تحديد بعض الروابط الجزيئية للأطوار المشكلة لمادة الجبس.

مراجع الفصل الثالث

[1] ن. باي، م. بن ساسي "دراسة تأثير المعالجات الحرارية على مادة الجبس في منطقة الفولية بالوادي"، مذكرة ماستر، جامعة الوادي الجزائر (2021).

[2] https://en.wikipedia.org/wiki/Rietveld_refinement#cite_note-obit-1, Consulté le 26/05/2022.

[3] ف. أ. حسين قادر، ف. م. طعمة عباس، " تحضير المركب ($Ba_{1-x}Sr_xTiO_3$) النانوي بطريقة السول- جل ودراسة خصائصه التركيبية"، مجلة ابن الهيثم للعلوم الصرفة والتطبيقية، المجلد 29 العدد (1)، جامعة بغداد، 2016.

[4] McCusker L. B, and others, "Rietveld refinement guidelines", International Union of Crystallography, J. Appl. Cryst, (1999). (32),36-50., Printed in Great Britain, 1999.

[5] https://www.rexpd.org/, Consulté le 26/05/2022.

[6] https://www.sigmaaldrich.com/DZ/fr/technical-documents/technical-article/analytical-chemistry/photometry-and-reflectometry/ir-spectrum-table, Consulté le 26/05/2022.

[7] Mauro Mecozzi and others, " Monitoring of marine mucilage formation in Italian seas investigated by infrared spectroscopy and independent component analysis", Springer Science+Business Media, Italy, 2011.

[8] Sara Palacio and others, "Gypsophile Chemistry Unveiled: Fourier Transform Infrared (FTIR) Spectroscopy Provides New Insight into Plant Adaptations to Gypsum Soils", Article in PLoS ONE, Volume 9, Issue 9, Spain, 2014.

[9] Sweta Sinha and others, "Calcium oxide (CaO) nanomaterial (Kukutanda twak Bhasma) from egg shell: Green synthesis, physical properties and antimicrobial behaviour", Materials Today: Proceedings, October 2020

الخاتمة العامة

تم في هذا العمل المتكون من شقين التطرق إلى دراسة نظرية ودراسة تجريبية للجبس، ففي الدراسة النظرية تمت معرفة منشئه وتراكيبه ومختلف مراحل تطوره وأهم شيء تمت معرفته هي خصائصه التي ساهمت في فك الاشكال المطروح في هذا الموضوع. إن منشأ هذا العمل هو دراسة عامة وتطوير لهذه الثروة بالمنطقة إذ أنها لازالت تشهد ركودا في هذا المجال، ولعل هذا الاسهام يمكن أن يعطي دفعة قوية للنهوض بهذا القطاع فقد تبين في الدراسة التجريبية أن الجبس في هذه المنطقة لم يكن عيبه في جودته بل العيب في طريقة معالجته، ولمن يبتغي الحصول على الجودة المطلوبة يجب عليه انتهاج الطرق العلمية لذلك.

فقد تمت الاستعانة في هذا العمل بتقنية انعراج الأشعة السينية على المساحيق، ومطابقة المخططات التجريبية مع مخططات قواعد البيانات من خلال التحسين باستعمال طريقة ريتفيلد واستعمال برنامج REX Powder Diffraction، كما تم استعمال تقنية الأشعة تحت الحمراء FTIR التي سمحت لنا بالتعرف على مختلف الأطوار في جبس منطقة الفولية، وبالتالي تم تسليط الضوء على كيفية تحسين هذا المنتج لمنافسة غيره. لقد أظهرت النتائج بأن معالجته بالطرق التقليدية كان نتاجه تشكل ما يقارب 50% لمادة الملح اللامائي والذي يسمى بـ "الجبس المحترق الميت" (Dead Burnt Plaster)، والحل لهذا المشكل يكون في تسخين الجبس ضمن ظروف منظمة بدقة ليفقد ثلاثة أرباع الماء المكون له للحصول على ما يسمى "جبس باريس".

هذه النتائج الجد هامة المتوصل إليها، كانت تدفعنا لتحقيق آفاق وأمنيات أخرى منها:

- ✓ تطبيق نتائج هذه الدراسة للحصول على منتج لجبس الفولية يقارب إلى حد كبير جبس باريس.
- ✓ دراسة عامة لكيفية إعادة تدوير المخلفات الجبسية، التي بالتأكيد لها نتائج إيجابية كبيرة في مختلف المجالات، البيئية والاجتماعية والاقتصادية فهي حتما ستكون ضرورية.

لذلك نأمل أن يؤخذ كل هذا بعين الاعتبار في المستقبل.

الملاحـــق

الملحق الأول

الملف cif للطور : $CaSO_4.2H_2O$

```
data_9013165
loop_
_publ_author_name
'Comodi, P.'
'Nazzareni, S.'
'Zanazzi, P. F.'
'Speziale, S.'
_publ_section_title
;
High-pressure behavior of gypsum: A single-
crystal X-ray study
Locality: Valle di Caramanico, Abruzzo, Italy
Note: P = 0.25 GPa
;
_journal_name_full 'American Mineralogist'
_journal_page_first 1530
_journal_page_last 1537
_journal_paper_doi 10.2138/am.2008.2917
_journal_volume 93
_journal_year 2008
_chemical_formula_sum 'Ca H4 O6 S'
_chemical_name_mineral Gypsum
_space_group_IT_number 15
_symmetry_space_group_name_Hall '-C 2yc'
_symmetry_space_group_name_H-M 'C 1 2/c 1'
_cell_angle_alpha 90
_cell_angle_beta 114.13
_cell_angle_gamma 90
_cell_length_a 6.282
_cell_length_b 15.175
_cell_length_c 5.673
_cell_volume 493.548
_diffrn_ambient_pressure 2.5e+05
_exptl_crystal_density_diffrn 2.317
_cell_formula_units_Z 4
_cod_depositor_comments
;
Z inserted to be consistent with given formula
Water oxygen atoms renamed so that they are
treated as oxygens
miguel
;
_cod_original_formula_sum 'Ca S O6 H4'
_cod_database_code 9013165
loop_
_symmetry_equiv_pos_as_xyz
x,y,z
1/2+x,1/2+y,z
x,-y,1/2+z
1/2+x,1/2-y,1/2+z
-x,y,1/2-z
1/2-x,1/2+y,1/2-z
-x,-y,-z
1/2-x,1/2-y,-z
loop_
_atom_site_label
_atom_site_fract_x
_atom_site_fract_y
_atom_site_fract_z
_atom_site_U_iso_or_equiv
Ca 0.00000 0.16970 0.25000 0.00900
S 0.00000 0.32850 0.75000 0.00700
O1 0.08400 0.27200 0.59200 0.01200
O2 0.20000 0.38300 0.91400 0.01300
O3 -0.21100 0.06600 -0.08100 0.02000
```

الملف cif للطور: $CaSO_4$

```
data_5000040
loop_
_publ_author_name
'Cheng, G C H'
'Zussman, J'
_publ_section_title
;
The crystal structure of anhydrite (Ca S O4)
;
_journal_name_full 'Acta Crystallographica
(1,1948-23,1967)'
_journal_page_first 767
_journal_page_last 769
_journal_paper_doi 10.1107/S0365110X63001997
_journal_volume 16
_journal_year 1963
_chemical_formula_structural 'Ca S O4'
_chemical_formula_sum 'Ca O4 S'
_chemical_name_mineral Anhydrite
_chemical_name_systematic 'Calcium sulfate'
_space_group_IT_number 63
_symmetry_cell_setting orthorhombic
_symmetry_Int_Tables_number 63
_symmetry_space_group_name_Hall '-A 2a 2a'
_symmetry_space_group_name_H-M 'A m m a'
_cell_angle_alpha 90
_cell_angle_beta 90
_cell_angle_gamma 90
```

_cell_formula_units_Z 4
_cell_length_a 6.991
_cell_length_b 6.996
_cell_length_c 6.238
_cell_volume 305.1
_refine_ls_R_factor_all 0.11
_cod_database_code 5000040
loop_
_symmetry_equiv_pos_as_xyz
x,y,z
-x,y,-z
1/2-x,y,z
1/2+x,y,-z
-x,-y,-z
x,-y,z
1/2+x,-y,-z
1/2-x,-y,z
x,1/2+y,1/2+z
-x,1/2+y,1/2-z
1/2-x,1/2+y,1/2+z
1/2+x,1/2+y,1/2-z
-x,1/2-y,1/2-z
x,1/2-y,1/2+z
1/2+x,1/2-y,1/2-z
1/2-x,1/2-y,1/2+z
loop_
_atom_site_label
_atom_site_type_symbol
_atom_site_symmetry_multiplicity
_atom_site_Wyckoff_symbol
_atom_site_fract_x
_atom_site_fract_y
_atom_site_fract_z
_atom_site_occupancy
_atom_site_attached_hydrogens
_atom_site_calc_flag
Ca1 Ca2+ 4 c 0.75 0. 0.346 1. 0 d
S1 S6+ 4 c 0.25 0. 0.155 1. 0 d
O1 O2- 8 g 0.25 0.171 0.015 1. 0 d
O2 O2- 8 f 0.08 0. 0.298 1. 0 d
loop_

الملف cif للطور : $CaSO_4$-0.8H_2O

data_2020133
loop_
_publ_author_name
'Abriel, W.'
_publ_section_title
;
Calcium Sulfat Subhydrat, Ca S O4 (H2 O).8
;
_journal_name_full 'Acta Crystallographica C
(39,1983-)'
_journal_page_first 956
_journal_page_last 958
_journal_volume 39
_journal_year 1983
_chemical_formula_sum 'Ca H1.6 O4.8 S'
_chemical_name_systematic 'Ca S O4 (H2 O).8'
_space_group_IT_number 152
_symmetry_space_group_name_Hall 'P 31 2"'
_symmetry_space_group_name_H-M 'P 31 2 1'
_cell_angle_alpha 90
_cell_angle_beta 90
_cell_angle_gamma 120
_cell_formula_units_Z 3
_cell_length_a 6.968
_cell_length_b 6.968
_cell_length_c 6.41
_cell_volume 269.529
_citation_journal_id_ASTM ACSCEE
_cod_data_source_file
Abriel_ACSCEE_1983_238.cif
_cod_data_source_block H1.6Ca1O4.8S1
_cod_depositor_comments
;
Marking attached hydrogen atoms.
Antanas Vaitkus,
2017-03-27
;
_cod_original_cell_volume 269.5287
_cod_original_formula_sum 'H1.6 Ca1 O4.8 S1'
_cod_database_code 2020133
loop_
_symmetry_equiv_pos_as_xyz
x,y,z
-y,x-y,z+1/3
-x+y,-x,z+2/3
y,x,-z
-x,-x+y,-z+1/3
x-y,-y,-z+2/3
loop_
_atom_site_label
_atom_site_type_symbol
_atom_site_fract_x
_atom_site_fract_y
_atom_site_fract_z
_atom_site_occupancy
_atom_site_U_iso_or_equiv
_atom_site_attached_hydrogens
Ca1 Ca+2 0.5424 0 0.8333 1 0.0 0
S1 S+6 0.5481 0 0.3333 1 0.0 0
O2 O-2 0.3693 0.8731 0.1897 1 0.0 0
O1 O-2 0.5952 0.8564 0.4656 1 0.0 0
O3 O-2 0.9143 0 0.8333 0.8 0.0 2

الملف cif للطور : SiO_2

data_1526860
loop_
_publ_author_name
'Tucker, M.G.'
'Dove, M.T.'
'Keen, D.A.'
_publ_section_title
;
A detailed structural characterization of quartz on heating through the
alpha - beta transition
;
_journal_name_full 'Mineralogical Magazine (1969-)'
_journal_page_first 489
_journal_page_last 507
_journal_volume 65
_journal_year 2001
_chemical_formula_sum 'O2 Si'
_chemical_name_systematic 'Si O2'
_space_group_IT_number 152
_symmetry_space_group_name_Hall 'P 31 2"'
_symmetry_space_group_name_H-M 'P 31 2 1'
_cell_angle_alpha 90
_cell_angle_beta 90
_cell_angle_gamma 120
_cell_formula_units_Z 3
_cell_length_a 4.9019
_cell_length_b 4.9019
_cell_length_c 5.3988
_cell_volume 112.346
_citation_journal_id_ASTM MNLMBB
_cod_data_source_file
Tucker_MNLMBB_2001_1782.cif
_cod_data_source_block O2Si1
_cod_original_cell_volume 112.3458
_cod_original_formula_sum 'O2 Si1'
_cod_database_code 1526860
loop_
_symmetry_equiv_pos_as_xyz
x,y,z
-y,x-y,z+1/3
-x+y,-x,z+2/3
y,x,-z
-x,-x+y,-z+1/3
x-y,-y,-z+2/3
loop_
_atom_site_label
_atom_site_type_symbol
_atom_site_fract_x
_atom_site_fract_y
_atom_site_fract_z
_atom_site_occupancy
_atom_site_U_iso_or_equiv
O1 O-2 0.413 0.2711 0.2172 1 0.0
Si1 Si+4 0.4673 0 0.3333 1 0.0

الملف cif للطور :$CaSO_4$-0.5H_2O

data_global
_chemical_name_mineral 'Bassanite'
loop_
_publ_author_name
'Ballirano P'
'Maras A'
'Meloni S'
'Caminiti R'
_journal_name_full 'European Journal of Mineralogy'
_journal_volume 13
_journal_year 2001
_journal_page_first 985
_journal_page_last 993
_publ_section_title
;
The monoclinic I2 structure of bassanite, calcium sulphate hemihydrate
;
_database_code_amcsd 0006909
_chemical_formula_sum 'Ca2 S2 O9 H2'
_cell_length_a 12.0350
_cell_length_b 6.9294
_cell_length_c 12.6705
_cell_angle_alpha 90
_cell_angle_beta 90.266
_cell_angle_gamma 90
_cell_volume 1056.649
_exptl_crystal_density_diffrn 2.737
_symmetry_space_group_name_H-M 'I 1 2 1'
loop_
_space_group_symop_operation_xyz
'x,y,z'
'1/2+x,1/2+y,1/2+z'
'-x,y,-z'
'1/2-x,1/2+y,1/2-z'
loop_
_atom_site_label
_atom_site_fract_x
_atom_site_fract_y
_atom_site_fract_z
_atom_site_U_iso_or_equiv
Ca1 0.00000 0.50000 0.00000 0.01153
Ca2 0.50000 0.01100 0.00000 0.01153
Ca3 0.23800 0.19900 0.16770 0.01153
Ca4 0.22170 0.16500 0.66480 0.01153

S1	-0.00160	0.49900	0.24930	0.00950
S2	0.22470	0.16400	0.91830	0.00950
S3	0.22820	0.18500	0.41460	0.00950
O1	0.12700	0.21100	0.98400	0.01140
O2	0.12500	0.23000	0.47300	0.01140
O3	0.07400	0.61600	0.31500	0.01140
O4	0.07500	0.62000	0.81600	0.01140
O5	0.19600	0.04400	0.33200	0.01140
O6	0.20500	-0.01500	0.85800	0.01140
O7	0.05700	0.36600	0.17800	0.01140
O8	0.05800	0.37600	0.67300	0.01140
O9	0.27200	0.35900	0.36100	0.01140
O10	0.23800	0.31700	0.83800	0.01140
O11	0.31900	0.16100	0.99100	0.01140
O12	0.30800	0.10300	0.49100	0.01140
Wat1	0.00000	0.84300	0.00000	0.08106
Wat2	0.95300	0.00400	0.35300	0.08106

الملف cif للطور: $CaCO_3$

```
JCPDS Card No. 86-23
loop_
 _publ_author_name
 _publ_author_address
'Terada J.'
;
Tokyo Shibaura Electric Co. Ltd.
Matsuda Research Laboratory
Kanagawa-Kawasaki
Japan
;
_chemical_formula_structural          b-CaCO3
_chemical_formula_sum                 [CO3]Ca
_chemical_name_mineral                calcite
_chemical_compound_source             ?
_chemical_name_structure_type         Ca[CO3],hR30,167
_chemical_formula_weight              100.1
_chemical_melting_point               ?
_publ_section_title
'Crystal Structure of the Ba, Sr and Ca Triple Carbonate'
_journal_coden_ASTM                   JUPSAU
_journal_year                         1953
_journal_volume                       8
_journal_page_first                   158
_journal_page_last                    164
_journal_language                     English
_cell_length_a                        4.9811
_cell_length_b                        4.9811
_cell_length_c                        17.0214
_cell_angle_alpha                     90
_cell_angle_beta                      90
_cell_angle_gamma                     120
_cell_volume                          365.7
_cell_formula_units_Z                 6
_symmetry_Int_Tables_number           167
_symmetry_space_group_name_H-M        'R-3c h'
loop_
 _atom_site_label
 _atom_site_Wyckoff_symbol
 _atom_site_symmetry_multiplicity
 _atom_site_fract_x
 _atom_site_fract_y
 _atom_site_fract_z
 _atom_site_occupancy
O1 e 18 0.257 0 0.25 ?
Ca1 b 6 0 0 0 ?
C1 a 6 0 0 0.25 ?
```

ملخص

هذا العمل هو دراسة عامة لجبس منطقة الفولية بولاية الوادي، ومحاولة لتحسين هذا المنتج الذي يبدو قليل الجودة، فتم القيام بخطوات لفصل الجبس عن الرمل بطريقتين هما الترسيب والغربلة، كما تمت المقارنة بين جبس الفولية وجبس أولاد جلال وفي كل حالة يتم استعمال تقنية انعراج الأشعة السينية XRD وتقنية مطيافية الأشعة تحت الحمراء FTIR. لقد بينت النتائج أن طريقة الترسيب لم تعطي للجبس نقاء تاما من الرمل وإنما تقلل من وجوده، إلا في حالة الانحلال الكلي للجبس في الماء فهو يعطي نتائج أفضل، أما في حالة الفصل بالغربلة فقد تم استعمال غربالين فتحاتهما: $\emptyset_1 = 0.4\mu m \times 1.5\mu m$ و$\emptyset_2 = 0.95\mu m \times 1.86\mu m$، وقد أعطت طريقة الفصل بالغربال الأول ذو المسامات الأدق نتائج إيجابية وأحسن بكثير من نتائج المتحصل عليها بالغربال الثاني. أما النتائج المتحصل عليها بمقارنة جبسي أولاد جلال والفولية فكانت ذات أهمية بالغة لوجود اختلاف في النتائج راجع لطريقة معالجة كل منهما.

الكلمات المفتاحية: الجبس، انعراج الأشعة السينية، مطيافية الأشعة ما تحت الحمراء، $CaSO_4$، SiO_2.

Abstract

This work is a general study of the gypsum of the Foulia area in the Wilaya of El Oued, and an attempt to improve this product, which appears to be of have poor quality, some steps. were taken to separate gypsum from sand by two methods, namely sedimentation and sifting. Furthermore, a comparison was made between Foulia gypsum and Ouled Djalal gypsum, in each case, XRD diffraction and Infrared spectroscopy were used in the characterization. The results showed that the sedimentation method did not give purify the gypsum from sand, but rather reduced its presence, except in the case of total dissolution of gypsum in water, which gives better results. In the case of separation by sifting, two sieves were used, with their openings: $\emptyset_1 = 0.4\mu m \times 1.5\mu m$ and $\emptyset_2 = 0.95\mu m \times 1.86\mu m$, The separation method with the first sieve with finer pores gave positive results and much better than the results obtained by the second sieve. As for the results obtained by comparing Ouled Djalal and Foulia gypsums, were of great importance because there was a difference in the results due to the treating method of each of them.

Key Words: Gypsum, X-Ray Diffraction, Infrared Spectroscopy, $CaSO_4$, SiO_2.