

توصيف بعض الخصائص الفيزيائية والكيميائية للفوسفات الخام في منجم خنيفيس

الدكتور محمد غفر *

الدكتور حسام الركاد **

علي زهيري ***

(تاريخ الإيداع ٢٠٢٥ / ٦ / ١٢ - تاريخ النشر ٢٠٢٥ / ١٠ / ٢)

□ ملخص □

يتمتع خام الفوسفات بخصائص هامة أتاح استخدامها في تطبيقات صناعية مختلفة بم في ذلك السيطرة على التلوث البيئي، لذلك يغدو من الهام التقصي عن خصائصه النوعية كمؤشر للأداء المتوقع في هذه التطبيقات. تسلط هذه الدراسة الضوء على عدد من التقانات المطبقة لتوصيف خام الفوسفات في منجم خنيفيس فيزيائياً وكيميائياً وفلزيّاً باستخدام تقنيات مختلفة تشمل كلاً من حيود الأشعة السينية (XRD)، مطيافية الأشعة تحت الحمراء (FTIR)، المجهر الإلكتروني الماسح المزود بتقنية مطيافية تشتت الطاقة بالأشعة السينية (EDX) (FESEM). كما تم إجراء التحليل الوزني الحراري TGA والتحليل الحراري التفاضلي DTA، والمساحة السطحية النوعية بطريقة BET بالإضافة إلى المسامية للفوسفات الخام. أظهر التحليل الفلزي أن الفوسفات الخام مكون بشكل رئيس من الفلوروأباتيت مع وجود الغرافيت كطور فلزي ثانوي، كما أظهر التحليل العنصري EDX وجود محتوى عالٍ من السيليكا والألمنيوم مع كميات من الكالسيوم والحديد والمغنيزيوم.

الكلمات المفتاحية: الفوسفات الخام السورية، خصائص تركيبية، حيود الأشعة السينية XRD، طيف الأشعة تحت الحمراء FTIR، التحليل الحراري DTA/TGA، السطح النوعي BET، المجهر الإلكتروني الماسح FESEM/EDX.

* استاذ مساعد - قسم الكيمياء البيئية - المعهد العالي لبحوث البيئة - جامعة اللاذقية.

**مدرس - قسم الكيمياء - كلية العلوم - جامعة اللاذقية.

***طالب دكتوراه - قسم الكيمياء البيئية - المعهد العالي لبحوث البيئة - جامعة اللاذقية

Characterization of some physical and chemical properties of phosphate ore in the Khneifiss mine

Dr. Muhammad Ghafar*

Dr. Hussam Alrakad**

Ali Zhairy***

(Received 12/6/2025.Accepted 2/10/2025)

□ABSTRACT □

Phosphate ore possesses important properties that have enabled its use in various industrial applications, including environmental pollution control. Therefore, it is important to investigate its qualitative properties as an indicator of expected performance in these applications. This study highlights a number of techniques applied to characterize phosphate ore in the Khneifiss mine physically, chemically, and mineralogically using various techniques, including X-ray diffraction (XRD), Fourier-transform infrared spectroscopy (FTIR), Field emission scanning electron microscopy (FESEM) and Energy-Dispersive X-ray spectroscopy (EDX). Thermo Gravimetric Analysis (TGA), Differential Thermal Analysis (DTA), Specific Surface Area (SSA) analysis (BET), and porosity were also performed on the phosphate ore. Metallurgical analysis showed that the raw phosphate is primarily composed of fluoroapatite, with graphite as a secondary metal phase. Elemental analysis (EDX) revealed a high content of silica and aluminum, along with traces of calcium, iron, and magnesium.

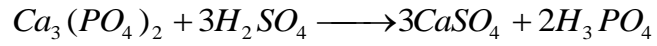
Key words: Syrian Phosphate Ore, Structural Properties, X-ray Diffraction (XRD), Fourier-transform infrared spectroscopy (FTIR), Thermal Analysis (DTA/TGA), Specific Surface Analysis (BET), Scanning Electron Microscopy (FESEM/EDX).

*PhD student - Department of Environmental Chemistry - Higher Institute for Environmental Research - Lattakia University.

**Associate Professor - Department of Environmental Chemistry - Higher Institute for Environmental Research - Lattakia University.

***Assistant Professor - Department of Chemistry – Faculty of science - Lattakia University.

عليه عمليات التجفيف والتنقية لإزالة الشوائب كالمواد العضوية والطين. يندرج الفوسفات الخام في ثلاثة أنواع رئيسية من الرواسب الطبيعية: صخور رسوبية (تشكل الرواسب البحرية الفوسفاتية كبرى الكميات المستغلة)، وصخور نارية (متأتية من الصخور البركانية الغنية بالفلور والأباتيت)، ورواسب جوانو (تتكوّن من مخلفات الطيور البحرية). تشمل عمليات معالجة خام الفوسفات مراحل متتابعة تبدأ بغسله لإزالة الشوائب غير المرغوبة، ثم فصله بالطرق الفيزيائية (كالتركيز بالتعويم)، وتُختتم بعملية التجفيف للحصول على خام بتركيز مرتفع من الفوسفور [٤,٥]. يعدّ الفوسفات الخام مصدرًا أساسيًا للفوسفور في الصناعة والزراعة؛ ففي الغالب يُحوّل قسم كبير من خام الفوسفات إلى حمض الفوسفوريك، إذ يعتبر حمض الفوسفوريك (H_3PO_4) أهم تطبيق صناعي لاستثمار خام الفوسفات وذلك لأنه من أهم المركبات المستخدمة في صناعة الأسمدة الفوسفاتية، ويتم تحضيره صناعياً في الغالب وفق ما يُعرف بالطريقة الرطبة. تقوم هذه الطريقة على معالجة الصخور الفوسفاتية بـحمض الكبريتيك المركز (H_2SO_4) عند درجات حرارة تتراوح بين ٧٥ و ٨٠ °م، مما يؤدي إلى إنتاج حمض الفوسفوريك وفق التفاعل الكيميائي الآتي [6]:



ويدخل بعد ذلك في إنتاج الأسمدة الفوسفاتية وزيت التلميع والمواد الكيماوية الأخرى، كما يُضاف إلى الأعلاف الحيوانية كمصدر للفوسفور النباتي والمعادن الأساسية لنمو الحيوانات. يحتوي خام الفوسفات عادةً على شوائب معدنية وغير معدنية مرافقة، فمن ناحية المعادن الرئيسية يظهر وجود معدن فلوروأباتيت (أباتيت فلوري) في البنية، وهو ما يعني أن الخام غني بأيونات الفلوريد، كما كشفت الدراسات السابقة لخامات الفوسفات في مناطق متعددة من العالم وجود نسب عالية من السيليكا (الكوارتز) والألمنيوم في الخام وتشمل الشوائب الأخرى أكاسيد الحديد، ومعادن الطين (الصلصال)، والأملاح الكربونية (مثل كربونات الكالسيوم) وبوجه عام، يقدر أن نسبة الفلور في الصخور الفوسفاتية التجارية تبلغ حوالي ٣-٤ %، في حين تكون شوائب أكاسيد الحديد والطين والسيليكا (كوارتز) هي المكون الأساسي لما تبقى من الخام [7,8].

وقد أجريت العديد من الأبحاث في الآونة الأخيرة بهدف دراسة استخدام خام الفوسفات في مجالات جديدة متصلة بالجهود المبذولة لإزالة الملوثات من المياه الصناعية ويفسر ذلك بأن لهذه الخامات سطح مشحون سلبياً عند درجات pH معتدلة إلى قاعدية و سطح مشحون ايجاباً عند درجات pH حمضية، ما يمنحها قدرة على جذب الأصبغة الكاتيونية والأنيونية [9]. كما أن بنيتها المسامية وقدرتها على التبادل الأيوني تعزز فعاليتها في إزالة الشوارد المعدنية من المحاليل المائية [10].

. وعلى الصعيد الوطني هناك عدد من الدراسات على الخام الفوسفاتي السوري، اقتصر اهتمامها على التركيب الكيميائي وعلى الاستفادة الاقتصادية منه في المجالات المعروفة المذكورة سابقاً. عملنا في هذه الدراسة على إجراء دراسة معمقة باستخدام تقنيات حديثة لمعرفة الاطوار الموجودة والخواص السطحية والثبات الحراري بغية استخدامه في مجالات جديدة كمعالجة المياه الصناعية وكما مادة اولية لتحضير الهيدروكسي اباتيت النانوي المعروف باستخداماته المتعددة، ومن هنا أتت أهمية هذه البحث.

٢. أهمية البحث وأهدافه:

ضمن اطار تمييز دور الخامات الطبيعية في التطبيقات الصناعية، تتجلى أهمية هذا البحث في التوصيف الشامل لخامة وطنية مهمه يمكن استخدامها في تطبيقات صناعية مختلفة.

ومن هنا أتت أهداف الدراسة من خلال التعرف على مكونات خام الفوسفات السوري باستخدام تقانات مختلفة (XRD, FTIR, TGA, DTA, BET, SEM, EDX). ليصار إلى بيان الاستخدام اللاحق لهذه الخامات في التطبيقات الصناعية بما في ذلك معالجة المياه من الملوثات.

٣. طرائق البحث ومواده:

١,٣. المواد المستخدمة:

الفوسفات الخام:

تم الحصول على عينات من الفوسفات الطبيعي من الشركة العامة للفوسفات من منجم خنيفيس في محافظة حمص (المنجم G8)، وتم ارفاق هذه العينات بالهوية الكيميائية بعد إجراء عدة تحاليل لها ضمن الشركة العامة للفوسفات وذلك وفق ما هو موضح في الجدول (١) تم طحن عينة الفوسفات الخام، واختيرت عينة الفوسفات الخام ذات حجم الحبيبي اقل من ٣٠٠ ميكرومتر لأغراض الدراسة.

جدول (١) النسب المئوية لمكونات الفوسفات (الشركة العامة للفوسفات)

المكون	P ₂ O ₅	CaO	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	MgO	F	Cl
النسبة المئوية	33.26	52	6	0.12	0.1	0.65	2.61	0.039

٣,٣. الطرائق والأجهزة:

حيود الأشعة السينية (XRD):

حيود الأشعة السينية يعد أكثر الطرائق شهرة في التوصيف البنائي للمواد المسامية، فهو يعطي ميزه أو بصمة تعرف زوايا ومسافات الذرة الداخلية وهو من أحسن الطرائق المتوفرة للكيميائيين الذين يتعاملون مع المواد، إذ أنه يعطي حالة التركيب البلوري وأطوار المادة الكلية، حيث تم تحليل العينات فلزياً بغية تحديد الأطوار الفلزية بشكل دقيق ومفصل باستخدام جهاز قياس انعراج الأشعة السينية بطريقة المسحوق (XRD Powder X ray Diffraction) من ماركة (Stoe stadi p, Germany) (هيئة الطاقة الذرية-دمشق)، تم توليد الأشعة باستخدام مصعد من النحاس بطول موجة $\lambda = 1.5406 \text{ \AA}$ ضمن مجال لزوايا الانعراج $(2\theta = 10^\circ - 90^\circ)$.

وتم حساب حجم الحبيبات البلورية D مقدرة بوحدة (nm) من العلاقة التالية:

$$D = \frac{0.96 \times \lambda}{\beta \times \cos \theta}$$

حيث λ طول موجة طيف النحاس (1.54060 \AA)، β متوسط طول عرض القمة،

θ زاوية الانعراج.

كما تم تفسير الطيف الناتج عن التحليل باستخدام البرنامج الحاسوبي High Score Plus.

طيف الأشعة تحت الحمراء (FTIR):

يعتبر طيف الأشعة تحت الحمراء من أشهر الطرائق استخداماً لتعريف وتحديد هوية المركبات العضوية واللاعضوية، وهو يستخدم عادة لمعرفة المجموعات الوظيفية على الجزيء، إذ أن هذه المجموعات تمتص ترددات معينة من الضوء في المنطقة تحت الحمراء. في هذا الإطار استخدم جهاز مطيافية الأشعة تحت الحمراء تحويل فورييه Fourier-transform infrared spectroscopy (FTIR) من ماركة (Nicolet 6700 FT-IR spectrometer, USA) (هيئة الطاقة الذرية-دمشق) وتم التحليل باستخدام KBr وكان الطيف المسجل ضمن المجال ($400-4000 \text{ cm}^{-1}$)

التحليل الوزني الحراري (TGA) والتحليل الحراري التفاضلي (DTA):

تُعطي الطرائق الحرارية معلومات عن فقدان الوزن، إضافة إلى معلومات كمية ونوعية عن تأثير الحرارة على العينة. يتضمن التحليل الحراري مجموعة من الآليات حيث تتضمن برمجة درجة الحرارة، بينما تتم مراقبة العينة بتابعية الزمن أو الحرارة، باستخدام جهاز التحليل الحراري ووزني من ماركة (LABSYSTM فرنسي الصنع إنتاج شركة SETARM) (كلية العلوم-جامعة اللاذقية)، أنجز التحليل الوزني الحراري (TGA) والتحليل الحراري التفاضلي (DTA) للعينات وذلك في جو من الأرجون في المجال $20-900^{\circ}\text{C}$ وبمعدل تسخين $10^{\circ}\text{C}/\text{min}$ وباستخدام جفئات بلاتين Pt، حيث حدد وزن العينة بدقة قبل التحليل.

السطح النوعي (BET):

أنجز امتزاز النيتروجين عند الدرجة 77K من مجال من الضغط النسبي 0.057 وحتى 0.994 حيث بدأ الامتزاز أولاً وتبعه الأنتراز (المج) حتى الضغط النسبي 0.046 لعينة الخام، حيث تعالج النتائج بعدها للحصول على منحني الامتزاز من أجل حساب المساحة السطحية النوعية للعينة بطريقة BET باستخدام جهاز (Quantachrome NOVA 2000e) (هيئة الطاقة الذرية-دمشق)

المجهر الإلكتروني الماسح (FESEM):

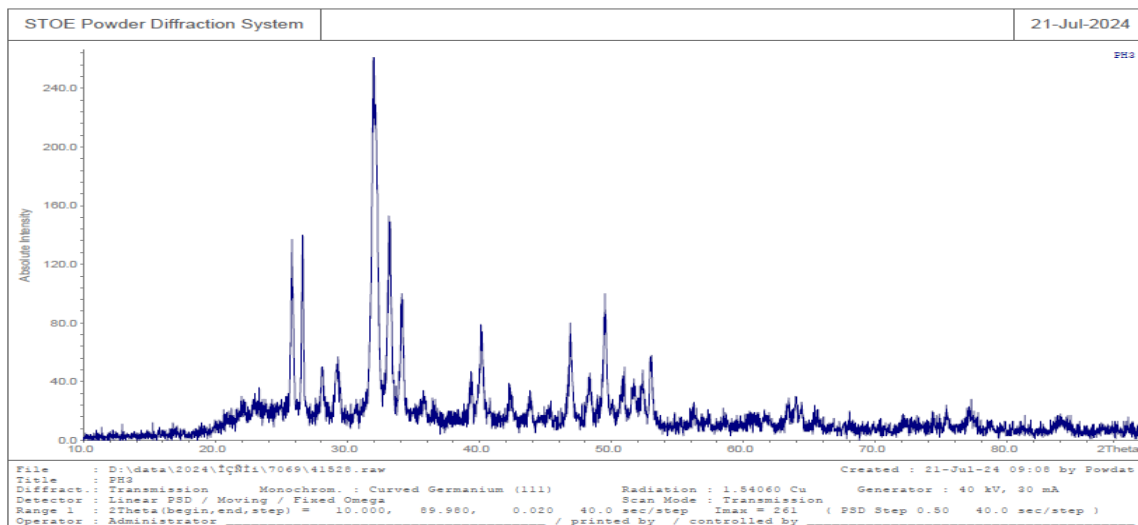
استخدم المجهر الإلكتروني الماسح المزود بتقنية مطيافية تشتت الطاقة بالأشعة السينية (FESEM-EDX)

(MAIA3- من نوع (Field emission scanning electron microscopy)، (جامعة إيران للعلوم والصناعة-إيران) للحصول على معلومات حول Tescan, Czech Republic مورفولوجيا السطح الخارجي، والتركيب المعدني (العنصري).

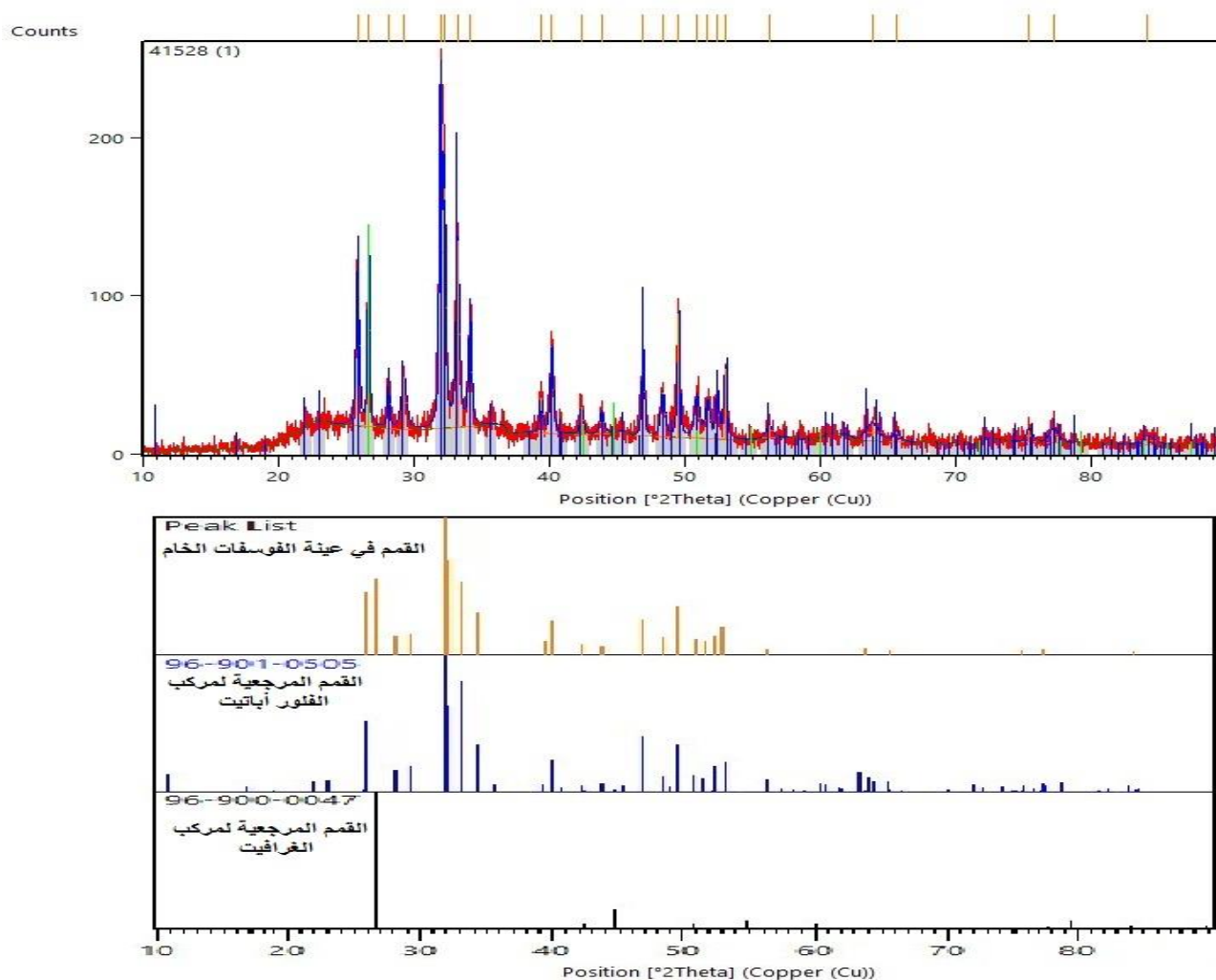
٤. النتائج والمناقشة:

٤.١. حيود الأشعة السينية (XRD):

أجري التحليل الهيكلي لعينة خام الفوسفات بواسطة حيود الأشعة السينية وتم تحديد هوية الأطوار الفلزية من خلال تحليل طيفو انعراج للعينة بالاستناد إلى قيم كل من زوايا الانعكاس (2θ) و التباعد الذري (d) وقيم قرائن ميللر (hkl) المأخوذة من طيف الانعراج الموضح في الشكل (٢)، حيث أظهرت النتائج أن العينة المدروسة تميزت بوجود طورين هما فلور أباتيت $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$ كفلز رئيس والذي تؤكد القمم الكثيفة بين $32.5-31.8$ [9,10,11] والغرافيت كفلز ثانوي كما هو موضح في الشكل (٣). كما تبين أن أبعاد الحبيبات كانت تساوي 32.125nm



الشكل (٢) طيف انعراج الأشعة السينية (XRD) لعينة الفوسفات الخام

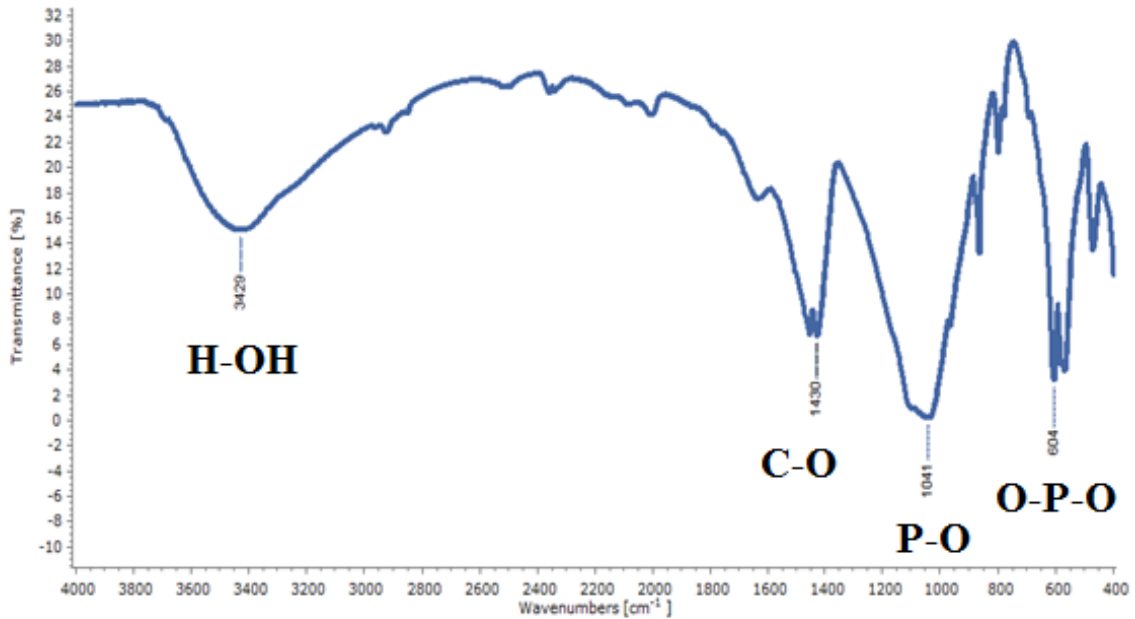


الشكل (٣) مقارنة طيف انعراج الأشعة السينية XRD للعينة مع الطيوف القياسية للفلوراباتيت والغرافيت على برنامج High Score Plus

٤, ٢. طيف الأشعة تحت الحمراء (FTIR):

يُبيد طيف الأشعة تحت الحمراء (FTIR) المقاس لعينة للفوسفات الخام عدة نماذج من الاهتزاز على المستوى الذري حسب القمم المشار إليها بالشكل (٤) والجدول (٢)، إذ تعود هذه القمم لمجموعه مركبات مكونه لخام الفوسفات:

حيث تظهر ذروة امتصاص عند القيمة (3429 cm^{-1}) وتشير هذه القمة إلى نموذج اهتزاز شدي (امتطاطي) متناظر لرابطة الهيدروجين مع مجموعة الهيدروكسيل (H-OH) تدل على وجود ماء الرطوبة (H_2O) في عينة الفوسفات. كذلك نلاحظ من الشكل (٤) وجود قمة عريضة عند (1041 cm^{-1}) والتي تتوافق مع وضع الاهتزاز الامتطاطي غير المتماثل للروابط (P-O)، وقمة عند (604 cm^{-1}) والتي تتوافق مع وضع الانحناء المتماثل للروابط (O-P-O) وهي تابعة لمجموعة الفوسفات PO_4^{3-} التابعة للفلوروأباتيت المكون للخام، وقمة عند (1430 cm^{-1}) تتوافق مع وضع الاهتزاز الامتطاطي غير المتماثل للروابط (C-O) التابعة لمجموعة الكالسيت (CO_3^{2-}) الموجود ضمن الخام. دلت هذه الدراسة أن طيف الأشعة تحت الحمراء للفوسفات يتطابق مع طيوف FTIR القياسية للفلوروأباتيت في دراسات سابقة [9,10,11,12]، مع الأخذ بعين الاعتبار وجود بعض القمم لبعض الشوائب الموجودة ضمن الخام وأهمها الكالسيت (CO_3^{2-}).



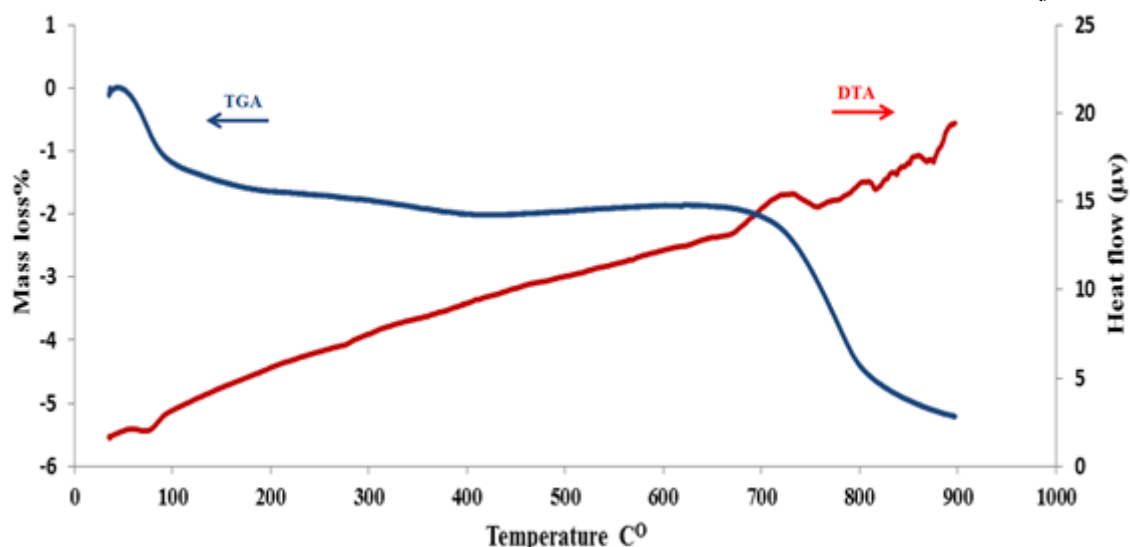
الشكل (٤) طيف الأشعة تحت الحمراء (FTIR) لعينة الفوسفات الخام

جدول (٢) قيم اهتزاز الروابط الموجودة في الفوسفات الخام مقارنة بالقيم المرجعية

المرجع	قيم اهتزاز الرابطة cm^{-1}			
	O-P-O	P-O	C-O	H-OH
[9,10,11,12]	٦٠٣-٥٧٣	١٠٩٢-١٠٤١	١٤٥٥-١٤٢٠	٣٤٣٠-٣٤٠٠
الدراسة الحالية	٦٠٤	١٠٤١	١٤٣٠	٣٤٢٩

٤, ٣. التحليل الوزني الحراري (TGA) والتحليل الحراري التفاضلي (DTA):

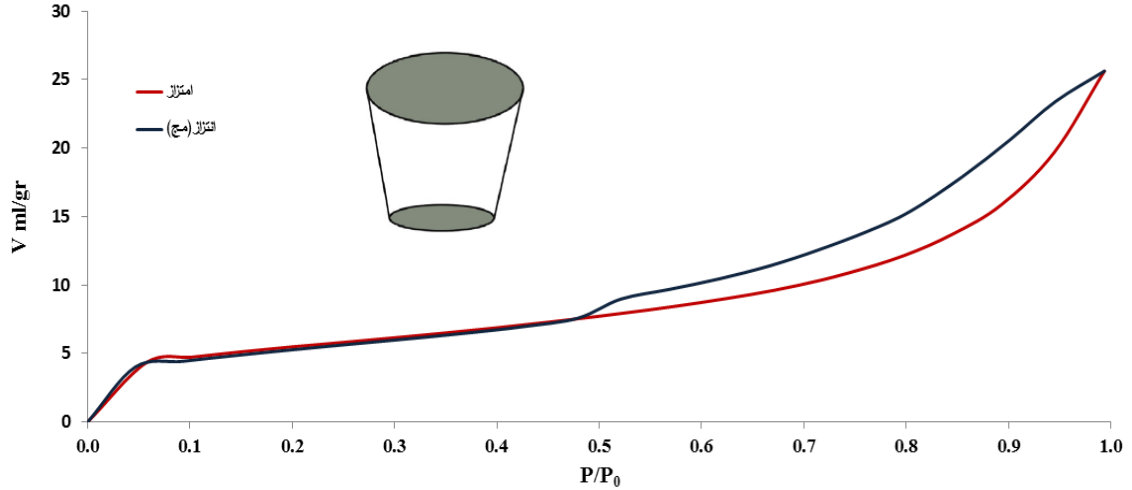
درس الثبات الحراري للفوسفات الخام باستخدام جهاز TGA/DTA. يبين الشكل (٥) منحنى التحليل الحراري الوزني للفوسفات الخام. يلاحظ من منحنى TGA انخفاض الوزن مع ارتفاع درجة الحرارة ويمكن تقسيم الفاقد الوزني على عدد من المجالات الحرارية. المجال الحراري ($50-150^{\circ}\text{C}$) فاقد وزني ١,٥% مرتبط بفقدان ماء الرطوبة والماء الممتز فيزيائياً يرافقه ظهور قمة ماصة للحرارة على منحنى Heat flow. وفقدان وزني ٠,٥% في المجال ($150-400^{\circ}\text{C}$) يعود الى فقدان ماء التبلور. أما التغير في المجال الحراري ($600-800^{\circ}\text{C}$) فيمكن أن يعزى إلى فقدان CO_2 كنتيجة لتفكك الكربونات، وترافقه قمة ناشرة للحرارة [١٣]، وبالتالي ويظهر خام الفوسفات ثباتاً حرارياً جيداً للبنية عند درجات الحرارة العالية تصل إلى 650°C ، وهذا يظهر على ضياعين في الكتلة مع كتلة متبقية مقدارها ٩٤%.



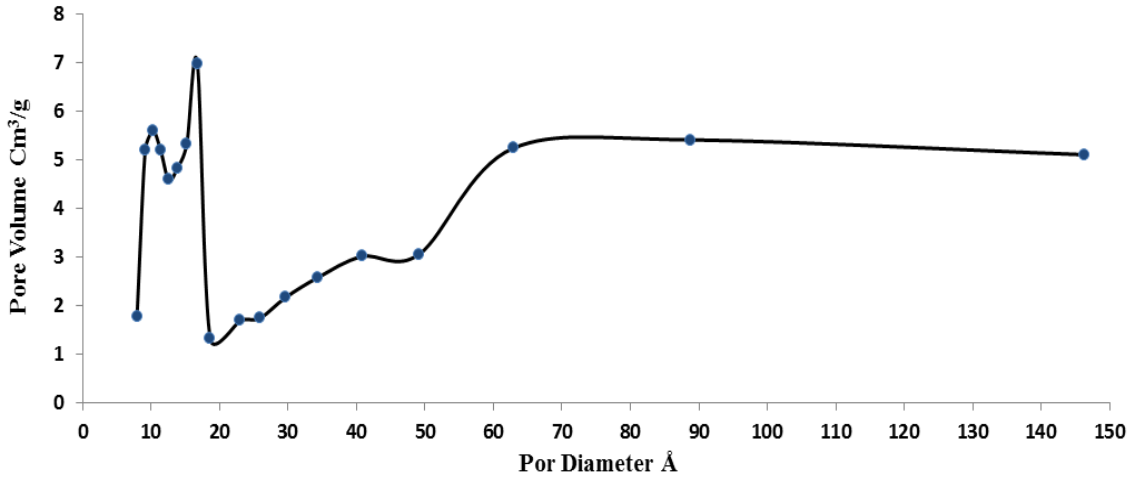
الشكل (٥) مخطط التحليل الحراري الوزني (TGA) والتحليل الحراري التفاضلي (DTA) لعينة الفوسفات الخام

٤,٤. السطح النوعي والمسامية:

يبين الشكل (٦) منحنى امتزاز الآزوت متساوي الدرجة على سطح العينة وهو من النوع الرابع وفق تصنيف (Sing) [١٤]، والذي يتميز بوجود الأنشطة التخلفية التي تشير إلى وجود ظاهرة التكاثر الشعري ضمن المسام والتي تدل على أن شكل المسام الغالب ضمن البنية وهو الشكل الاسطواني الظاهر كما هو موضح في الشكل (٦) [١٥]، وبعد رسم علاقة BET وإجراء الحسابات، تبين أن السطح النوعي للعينة الخام يبلغ $12.7\text{m}^2/\text{g}$ وهي مقاربة للسطح النوعي لخام الفوسفات من المغربي [٩]



الشكل (٦) منحنى امتزاز النيتروجين على خام الفوسفات

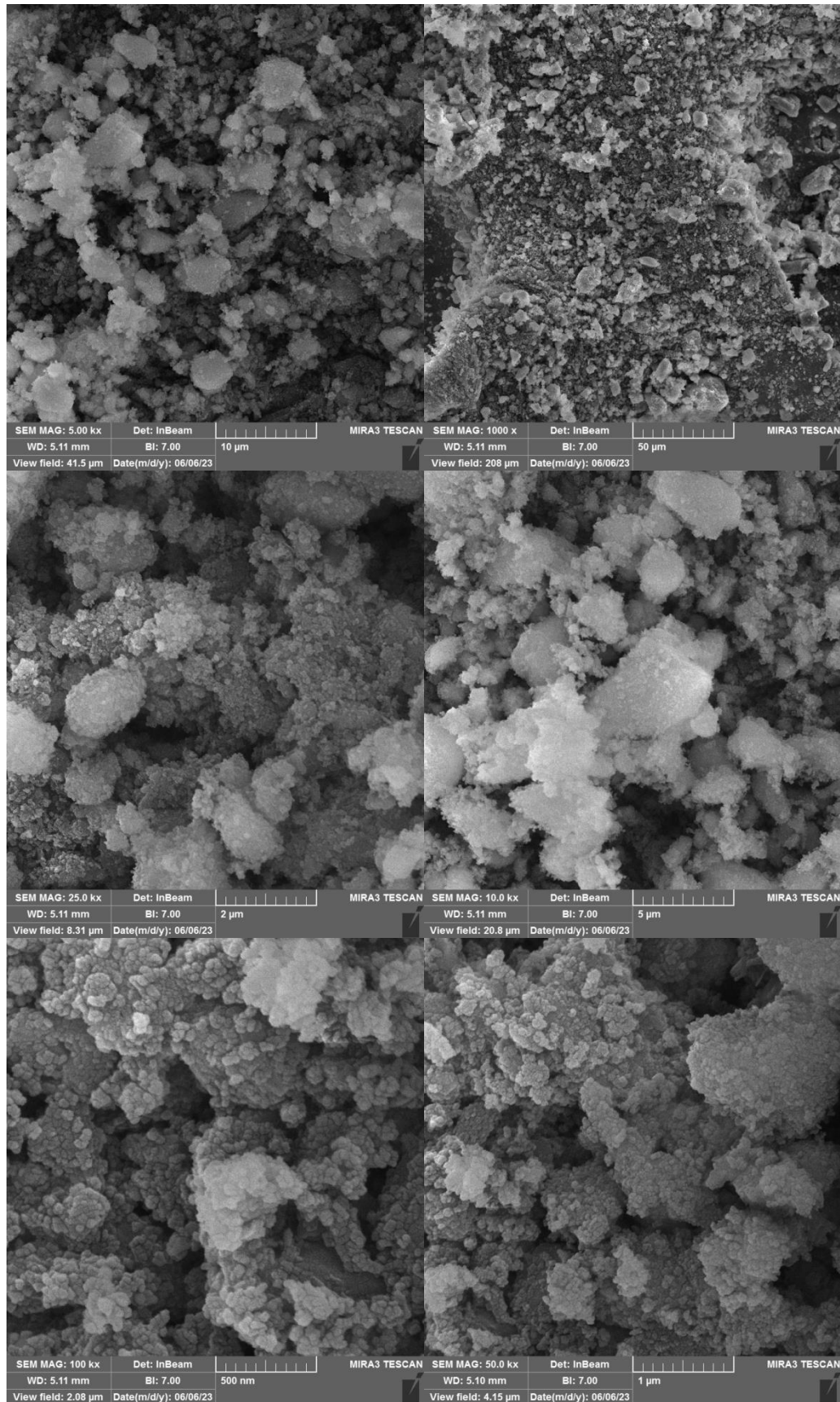


الشكل (٧) توزيع حجوم المسام على سطح خام الفوسفات

وعند تطبيق علاقة BJH لحساب نصف قطر المسام الوسطي الغالب في الشكل (٧) لوحظ وجود قمتين عند قيم أقل من 20Å (مسامات ميزو) بارتفاعات متفاوتة تدل على توزيع غير منتظم للمسام نتيجة للبنية غير المتجانسة، كما يظهر تسطح المنحنى عند القيم الأعلى (أكبر من 50Å) وهذا يعكس وجود مسام أوسع (مسامات ميكرو) لكن بحجم أقل نسبياً، ويعزى أن تكون هذه المسام ناتجة عن التكتلات أو الفراغات بين الجزيئات وليس جزءاً من البنية الفعلية لخام الفوسفات.

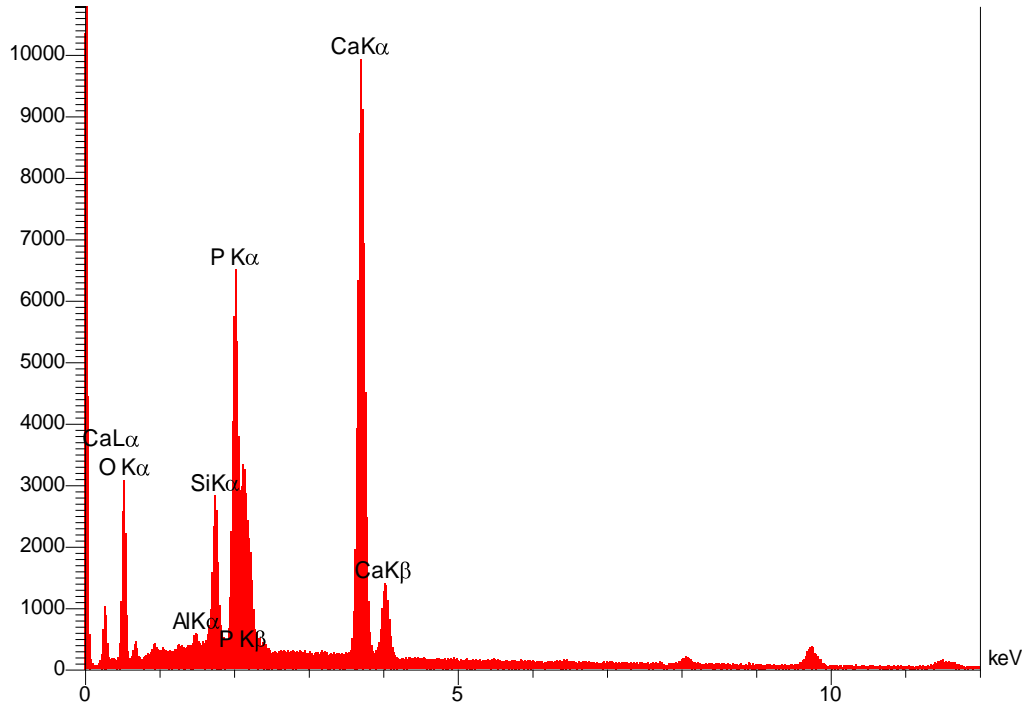
٤.٤. المجهر الإلكتروني الماسح (FESEM):

تم فحص مورفولوجية الفوسفات الخام عن طريق المجهر الإلكتروني الماسح المزود بتقنية مطيافية تشتت الطاقة بالأشعة السينية (FESEM). ويظهر الشكل (٨) صور (FESEM) لخام الفوسفات السوري بتكبيرات مختلفة أن العينة تتكون من جسيمات مسامية غير منتظمة، تميل بشدة إلى التكتل بشكل كروي، وهذا مطابق لما ذكر في مراجع سابقة [9,11,12,13]



الشكل (٨) صور SEM لخام الفوسفات الطبيعي السوري بتكبيرات مختلفة

من ناحية أخرى، يمثل الشكل (٩) طيف الأشعة السينية (EDX) المشتت من الطاقة التركيب الكيميائي للفوسفات الخام. في طيف EDX، تم إثبات النسب المئوية للمكونات الكيميائية الرئيسية، وهي الكالسيوم (Ca)، والفوسفور (P)، والأكسجين (O)، مع نسب قليلة من الألمنيوم (Al)، والسيليكا (Si) كما هو موضح في الجدول (٣).



الشكل 9 طيف EDX للفوسفات الخام

جدول (٣) نسب العناصر في الفوسفات الخام

العنصر	Ca	P	O	Al	Si
% النسبة الوزنية	32.87	22.63	33.91	2.13	3.46

٥. الاستنتاجات والتوصيات:

الاستنتاجات:

- أظهرت نتائج تحليل XRD أن خام الفوسفات مؤلف من فلوروأباتيت بشكل رئيسي و الغرافيت كفلز ثانوي، وهذا ما أكدته كذلك تحليل طيف الأشعة تحت الحمراء (FTIR) وصور المجهر الإلكتروني الماسح (FESEM).

- أظهرت نتائج TGA للفوسفات ثباتا حراريا جيدا للبنية عند درجات الحرارة العالية مع كتلة متبقية مقدارها 94%

- في طيف EDX، تم إثبات النسب المئوية للمكونات الكيميائية الرئيسية، وهي الكالسيوم (Ca)، والفوسفور (P)، والأكسجين (O)، مع نسب قليلة من الألمنيوم (Al)، والسيليكا (Si)

التوصيات:

• إمكانية استخدام الفوسفات الخام في عمليات امتزاز الملوثات العضوية واللاعضوية لتقليل سمية بعض الملوثات في المياه الصناعية.

• إمكانية استخدام الفوسفات في تطبيقات صناعية مختلفة نظراً لارتفاع نسبة أكسيد الفوسفور .

المراجع:

- [١] سعيد، ابراهيم. ٢٠٠٨، الفوسفات السورية ودورها في التنمية الاقتصادية. مجلة جامعة دمشق للعلوم الأساسية، المجلد (٢٤) العدد الأول.
- [٢] حبيب، ليلي. علوش، غياث. ناصر، رباب. ٢٠٠٨، استجابة الفت الزيتي للتسميد بالصخر الفوسفاتي والخلط مع الكبريت في النمو وامتصاص الفوسفور. مجلة جامعة دمشق للعلوم الأساسية المجلد (٢٤) العدد الأول.
- [٣] Idoine, N. E., Raycraft, E. R., Hobbs, S. F., Everett, P., Evans, E. J., Mills, A. J., ... & Shaw, R. A. (2024). World mineral production 2018-2022.
- [٤] El Bamiki, R., Raji, O., Ouabid, M., Elghali, A., Khadiri Yazami, O., & Bodinier, J. L. (2021). *Phosphate rocks: A review of sedimentary and igneous occurrences in Morocco. Minerals, 11*(10), 1137.
- [٥] Rizk, S. A. M. (2022). *Highlights on the beneficiation trials of the Egyptian phosphate ores. JES. Journal of Engineering Sciences, 50*(1), 1-21.
- [٦] Toama, H. Z. (2017). *World phosphate industry. Iraqi Bulletin of Geology and Mining, (7)*, 5-23.
- [٧] Ptáček, P. (2016). Mining and beneficiation of phosphate ore. In *Apatites and their Synthetic Analogues-Synthesis, Structure, Properties and Applications*. IntechOpen.
- [٨] Safi, M., Rao, M. B., & Rao, K. (2006). *High grade phosphate from syrian phosphate at eastern mines*.
- [٩] Bensalah, H., Bekheet, M. F., Younssi, S. A., Ouammou, M., & Gurlo, A. (2017). *Removal of cationic and anionic textile dyes with Moroccan natural phosphate. Journal of Environmental Chemical Engineering, 5*(3), 2189-2199.
- [١٠] Yaacoubi, H., Zidani, O., Mouflih, M., Gourai, M., & Sebti, S. (2014). *Removal of cadmium from water using natural phosphate as adsorbent. Procedia engineering, 83*, 386-393.
- [١١] Nikčević, I., Jekanović, V., Mitrić, M., Nedić, Z., Makovec, D., & Uskoković, D. (2004). *Mechanochemical synthesis of nanostructured fluorapatite/fluorhydroxyapatite and carbonated fluorapatite/fluorhydroxyapatite. Journal of Solid State Chemistry, 177*(7), 2565-2574.
- [١٢] Barka, N., Assabbane, A., Nounah, A., Laanab, L., & Aît Ichou, Y. (2009). *Removal of textile dyes from aqueous solutions by natural phosphate as a new adsorbent. Desalination, 235*(1-3), 264-275.

- [١٣] El Asri, S., Laghzizil, A., Alaoui, A., Saoiabi, A., M'Hamdi, R., El Abbassi, K., & Hakam, A. (2009). *Structure and thermal behaviors of Moroccan phosphate rock (Bengurir)*. Journal of thermal analysis and calorimetry, 95, 15-19.
- [١٤] Sing, K. S. (1985). *Reporting physisorption data for gas/solid systems with special reference to the determination of surface area and porosity (Recommendations 1984)*. Pure and applied chemistry, 57(4), 603-619.
- [١٥] Memon, A., Li, A., Memon, B. S., Muther, T., Han, W., Kashif, M., ... & Akbar, I. (2021). *Gas adsorption and controlling factors of shale: review, application, comparison and challenges*. Natural Resources Research, 30, 827-848.