

# اصطناع بورات الألمنيوم $AlBO_3$ بطريقة الترسيب المشترك ودراسة خصائصه البنيوية

كندة محمود\*، إبراهيم أسعد اسماعيل\*\*

## ملخص البحث

تم في هذه الدراسة تحضير مركب بورات الألمنيوم ( $AlBO_3$ ) بطريقة الترسيب المشترك انطلاقاً من ملح نترات الألمنيوم  $Al(NO_3)_3 \cdot 9H_2O$  وحمض البور ( $H_3BO_3$ ) باستخدام هيدروكسيد الأمونيوم، حيث قمنا بتحضير المركب وترميده عند درجات حرارة مختلفة لتحديد درجة الحرارة الأفضل للحصول على البلورات المطلوبة ومن ثم دراسة البلورات الناتجة بمطيافية الأشعة السينية (X - Ray) و جهاز التحليل الحراري التفاضلي (DTA)، ومطيافية تحت الحمراء (IR) والمجهر الإلكتروني الماسح (SEM) وأظهرت النتائج تشكل المركب بدرجات حرارة منخفضة وبنيته البلورية من نمط الكالسييت وهو بنية رباعية ذات مجموعة تناظر فراغي R3c .

كلمات مفتاحية: الترسيب المشترك، بورات الألمنيوم،  $AlBO_3$ ، أكسيد مختلط.

(\* طالبة دكتوراه في الكيمياء اللاعضوية - قسم الكيمياء - كلية العلوم - جامعة البعث - حمص - سوريا.

\*\* أستاذ الكيمياء اللاعضوية في قسم الكيمياء - كلية العلوم - جامعة البعث - حمص - سوريا.

# Preparing $AlBO_3$ By Co-Precipitation method and studying of its structural properties

Kinda mahmoud\*, Ibraheem Ismaeel\*\*

## Abstract

In this research, the compound Aluminum borate ( $AlBO_3$ ) was prepared by Co-Precipitation method from Aluminum nitrate  $Al(NO_3)_3 \cdot 9H_2O$  and boric acid ( $H_3BO_3$ ) using solution of ammonium hydroxide ( $NH_4OH$ ), where we prepared the compound calcinated at different temperatures to determine the best temperature to obtain the required crystals then studying the crystals by X-ray spectroscopy (DTA), (IR) and scanning electron microscopy (SEM). The results showed the formation of the compound at relatively low temperatures and its crystalline structure of the calcite type, which is a tetragonal structure with  $R3c$  space group.

**Keywords:** aluminum borate,  $AlBO_3$ , Co-Precipitation method, mixed oxide.

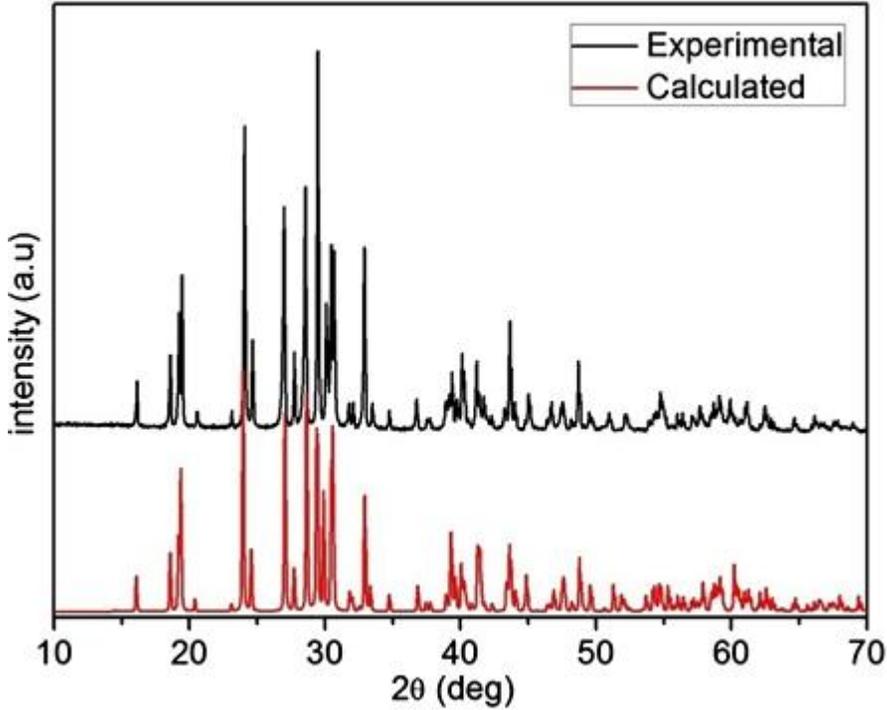
\*) PHD student, Department of chemistry-Faculty of science-Al-baath university Homs-Syria.

\*\*\*) professor of inorganic chemistry, Department of chemistry-Faculty of science-Al-baath university Homs-Syria.

## 1- مقدمة:

لعبت الأكاسيد المعدنية دوراً هاماً في مختلف المجالات العلمية وخاصة الكيمياء والفيزياء وعلم المواد الذي يهتم بدراسة تصنيع مواد جديدة ذات خصائص فريدة مقاومة للعوامل المختلفة واستخدامها في الصناعات التقنية الحديثة (الصناعات الفضائية والصناعات الالكترونية الدقيقة). وقد نال الألمنيوم اهتماماً خاصاً في الصناعات لما يتميز به من خفة في الوزن ومتانة عالية لذلك استخدم في صناعة أجسام الطائرات والمركبات الفضائية والمواد السيراميكية والزجاجية، وبغية تطوير خلائط ومركبات جديدة له فقد تم دراسة تحضير أكاسيد مختلطة للألمنيوم مع الكثير من العناصر الكيميائية ومنها البور الذي يتميز ببنية الكترونية مشابهة للألمنيوم وقادر على الدخول بسهولة ضمن الشبكة البلورية لمركبات الألمنيوم.

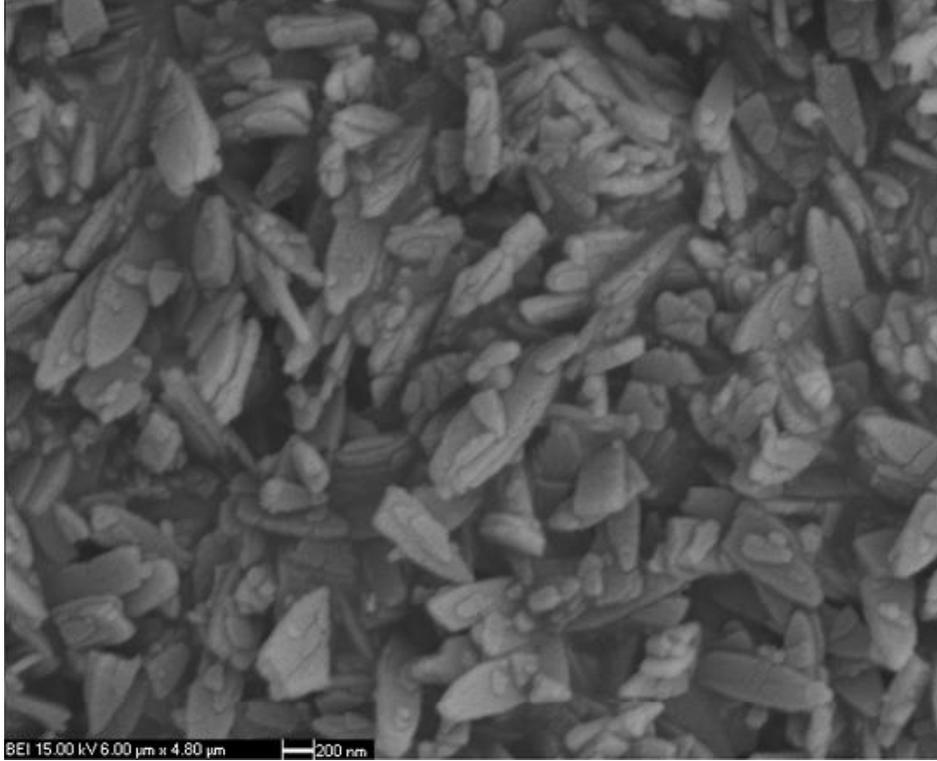
ومما شجع الباحثين أكثر على دراسة الأكاسيد المختلطة لعنصر البور هو استخدامه في عملية تقسية الخلائط المعدنية مما يسمح بالحصول على مواد عالية الصلابة والمتانة وبذات الوقت خفيفة الوزن. ومن هذه الدراسات التي تناولت تحضير مركبات البورات نذكر ما قام به الباحث (Kai Feng, 2011) بتحضير مركب بورات الألمنيوم والسيزيوم ( $Cs_2Al_2B_2O_7$ ) باستخدام طريقة الاصطناع الصلب وذلك انطلاقاً من كربونات السيزيوم ( $Cs_2CO_3$ ) وأكسيد الألمنيوم ( $Al_2O_3$ ) وحمض البور ( $H_3BO_3$ ) حيث تم مزج المكونات ورمدت حتى الدرجة ( $1000\text{ }^\circ\text{C}$ ) وتم توصيف المركب الناتج باستخدام تقنيات (XRD, IR) ويبين الشكل التالي مخطط (XRD) للمركب المحضر مقارنة مع المخطط الناتج عن البنية المتوقعة والمحسوب باستخدام برامج حاسوبية مختصة [1]:



الشكل (1) مخطط XRD لمركب بورات الألمنيوم والسيزيوم المحضر بطريقة الاصطناع الصلب مقارنة بالمخطط المحسوب نظرياً

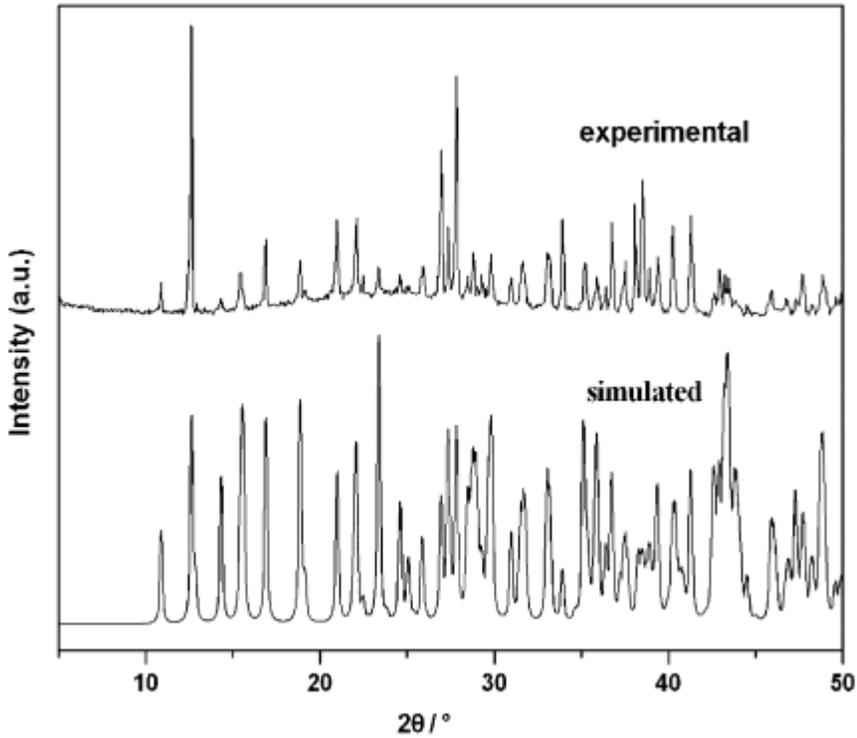
وتبين من خلال الدراسة أن المركب يتبلور وفق النمط البلوري أحادي الميل بمجموعة تناظر فراغية من النمط  $(P2_{1/c})$ .

بينما قام الباحث (A. Seyhun Kipcak, 2015) بتحضير مركب بورات النحاس  $(Cu(BO_2)_2)$  بطريقة الاصطناع الهدروحرارية وذلك انطلاقاً من أملاح كبريتات النحاس ورباعي بورات الصوديوم  $(Na_2B_4O_7)$  بوجود هيدروكسيد الصوديوم  $(NaOH)$  ولاحظ الباحث امكانية الحصول على بلورات تتراوح أبعادها ضمن المجال (75-100 nm) عند درجة حرارة  $(80\text{ }^\circ\text{C})$  داخل المفاعل ويبين الشكل التالي صورة المجهر المساح الالكتروني للمركب المحضر [2]:



الشكل (2) صورة المجهر الماسح الالكتروني لمركب بورات النحاس المحضر بالطريقة الهيدروحرارية

وتم تحضير مركب بورات الرصاص من قبل (Guo-Ming Wang, 2006) باستخدام الطريقة الهيدروحرارية انطلاقاً من خلاص الرصاص وحمض البور بوجود البيريدين والماء حيث حرك المزيد عند حرارة المخبر والجل الناتج تم نقله لمفاعل من التفلون وسخن حتى الدرجة (170 °C) لمدة ستة أيام ثم تم التبريد لدرجة حرارة المخبر والبلورات المتشكلة رشحت وغسلت وجففت وتم توصيفها باستخدام تقنيات (XRD, IR, TGA) والشكل التالي يبين مخطط (XRD) للمركب الناتج بالمقارنة مع المخطط المحسوب نظرياً:

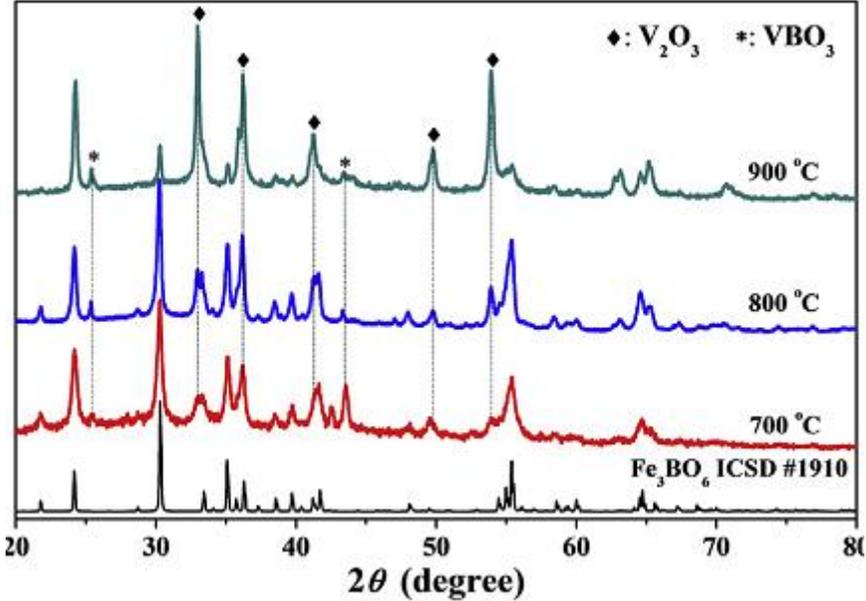


الشكل (3) مخطط XRD لمركب بورات الرصاص المحضر بالطريقة الهدروحرارية مقارنة بالمخطط المحسوب نظرياً

حيث تبين أن نمط التبلور أحادي الميل ولها الصيغة  $(\text{Pb}[\text{B}_8\text{O}_{11}(\text{OH})_4])$  ويتسخن المركب الناتج لدرجات حرارة أكبر من  $(400\text{ }^\circ\text{C})$  يبدأ بخسارة الماء ويتحول المركب لنمط غير بلوري [3].

كذلك حضرت بورات الفاناديوم  $(\text{VBO}_3)$  بطريقة الاصطناع الصلب من قبل الباحث (Xinxuan Zeng, 2020) انطلاقاً من مزج حمض البور مع مركبات مختلفة للفاناديوم وهي فاناديل اسيتيل اسيتونات، خماسي أكسيد الفاناديوم، فانادات الأمونيوم  $(\text{V}:\text{B}= 3:1)$ ، وينسب مزج مختلفة  $(\text{VO}_4, \text{V}_2\text{O}_5, \text{NH}_4\text{VO}_3, \text{VO}(\text{acac})_2)$   $(3:1.1, 3:1.2, 3:1.3, 3:1.4)$  وبعد المزج تم الترميد عند حرارة  $(700-900\text{ }^\circ\text{C})$  لمدة  $(10\text{ hr})$  بوجود تدفق من غازي الارغون والهيدروجين، وقد استخدم الباحث

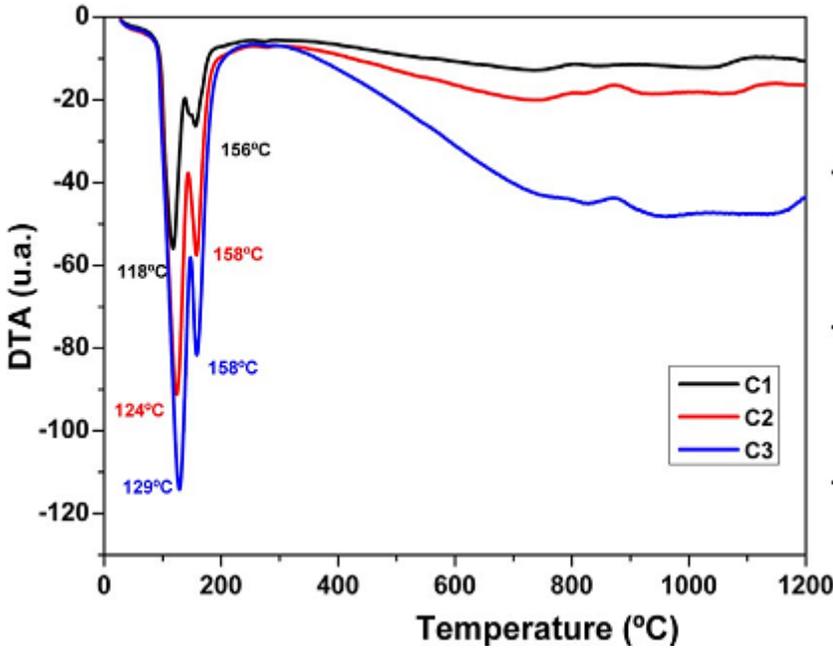
غاز الهيدروجين كعامل مرجع للفاناديوم لرقم أكسدة (+3). وقد تم توصيف المركبات الناتجة باستخدام تقنية (XRD) وبيئتها الشكل التالي [4]:



الشكل (4) مخططات XRD لمركب بورات الفاناديوم المحضرة بطريقة الاصطناع الصلب

أما فيما يخص مركب بورات الألمنيوم فقد كانت الدراسات التي تناولته شحيحة وتقوم جميعها بدون استثناء على طريقة الاصطناع الصلب والتي تعرف عالمياً بالطريقة السيراميكية حيث يتشكل من خلالها مواد عالية الكثافة تستخدم في صناعة السيراميك والزجاج والخزف فمثلاً قام الباحث (María F. Hernández, 2016) بتحضير بورات الألمنيوم بالاعتماد على طريقة الاصطناع الصلب انطلاقاً من أكسيد الألمنيوم وحمض البور حيث تم مزج المادتين بوجود الايتانول وتم السحق والتجانس باستخدام مطحنة خاصة ثم التجفيف عند الدرجة (110 °C) وبعد ذلك طبق ضغط قدره (100 Mpa) ليتشكل المنتج على شكل قرص ويتم ترميده عند درجات حرارة مختلفة. وتم توصيف الناتج بتقنيات (DTA, XRD, SEM).

لاحظ الباحث من خلال دراسته لمخطط التحليل الحراري التفاضلي أن مركب بورات الألمنيوم ( $Al_4B_2O_9$ ) يتشكل عند درجات حرارة في المجال ( $800-900\text{ }^\circ\text{C}$ ) وبترميد العينات عند درجات حرارة ( $1400\text{ }^\circ\text{C}$ ) يتشكل مركب بورات الألمنيوم ببنية جديدة ذات الصيغة ( $Al_{18}B_4O_{33}$ ). والشكل التالي يبين مخطط (DTA) للمركب المتشكل [5]:



الشكل (5) مخطط (DTA) لمركب بورات الألمنيوم المحضر بطريقة الاصطناع الصلب

وحضرت بورات الألمنيوم ( $Al_4B_2O_9$ ) من قبل الباحث (Yuming Liu, 2003) بطريقة الاصطناع الصلب من خلال مزج مسحوق الألمنيوم مع أكسيد البور ( $B_2O_3$ ) وبعد التجانس تم الترميد عند درجة حرارة ( $850\text{ }^\circ\text{C}$ ) لمدة ساعة واحدة بوجود تيار من غاز الأرجون الخامل وبعد التوصيف باستخدام تقنية (XRD) لاحظ الباحث أن المركب المتشكل يتبلور وفق النمط البلوري رباعي الميل أما صور

المجهر الماسح الالكتروني فقد بينت أن شكل البلورات ابري ذات أبعاد أقل من (1000 nm) [6].

## 2- مشكلة البحث:

يعد مركب بورات الألمنيوم  $AIBO_3$  من المركبات الهامة في الصناعات اللاعضوية لما يمتلكه من تطبيقات صناعية متعددة في كافة المجالات التكنولوجية في المجالات الطبية حيث تستخدم بورات الألمنيوم في صناعة الأطراف الصناعية والصناعات السنية [7] ويستخدم في معالجة المياه والصناعات السيراميكية [8,9] ويدخل في مكونات بناء المفاعلات النووية بسبب قدرتها على امتصاص النيوترونات [10] كما تستخدم بورات الألمنيوم في صناعة الطلاءات للكاثودات المستخدمة في الخلايا مما يزيد من كفاءة وعمر الخلايا [11,12].

ورغم هذه التطبيقات العديدة الا أن هذه المركب لم يحضر الا بطريقة الاصطناع الصلب ودرجات حرارة عالية.

## 3- أهمية وهدف البحث:

يهدف هذا البحث الى تحضير المركب  $AIBO_3$  بطريقة الترسيب المشترك بدءاً من محاليل نترات الألمنيوم (III) وحمض البور، واستخدام محلول من هيدروكسيد الأمونيوم ومن ثم دراسة بنيته البلورية و التغييرات البنيوية التي تطرأ على الجملة اثناء الحرق في محاولة لتحضير هذا المركب وفق أفضل الصفات وبأقل التكاليف الممكنة.

وبالتالي تكمن أهمية بحثنا من خلال العمل بتحضير المركب المذكور لأول مرة بطريقة الترسيب المشترك وعند درجات حرارة منخفضة مقارنة بطريقة الاصطناع الصلب.

#### 4- الجزء العملي:

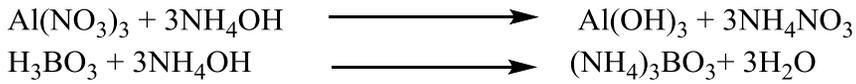
##### 4-1- التجهيزات والأدوات المستخدمة:

- ميزان تحليلي بدقة تصل إلى 0.0001 gr
- أدوات زجاجية مختلفة.
- بوتقات خزفية تتحمل درجات حرارة عالية.
- مجفف لتجفيف العينات من انتاج شركة (memmert).
- مرمدة لحرق العينات وهي ومن نوع (Carbolite) يصل مجالها حتى الدرجة  $1100^{\circ}C$ .
- جهاز انعراج الأشعة السينية للمساحيق X-Ray Powder Diffractometer من طراز Philips-PW-1840 كلية العلوم -قسم الفيزياء جامعة البعث.
- جهاز طيف ما تحت الأحمر IR-Spectrometer من شركة Jasco -جامعة البعث.
- جهاز التحليل الحراري التفاضلي لدراسة السلوك الحراري للعينات DTA من نوع Chimadzu جامعة تشرين.
- جهاز المجهر الالكتروني (SEM) هيئة الطاقة الذرية.
- هاون خزفي لطحن العينات للحصول على مسحوق ناعم قدر الإمكان.
- نترات الألمنيوم  $(Al(NO_3)_3 \cdot 9H_2O)$  من انتاج شركة (Himedia) (نقاوة 97%).
- حمض البور  $(H_3BO_3)$  من انتاج شركة (Himedia) (نقاوة 97%).
- هيدروكسيد الأمونيوم  $(NH_4OH)$  من انتاج شركة (Himedia) (نقاوة 25%).

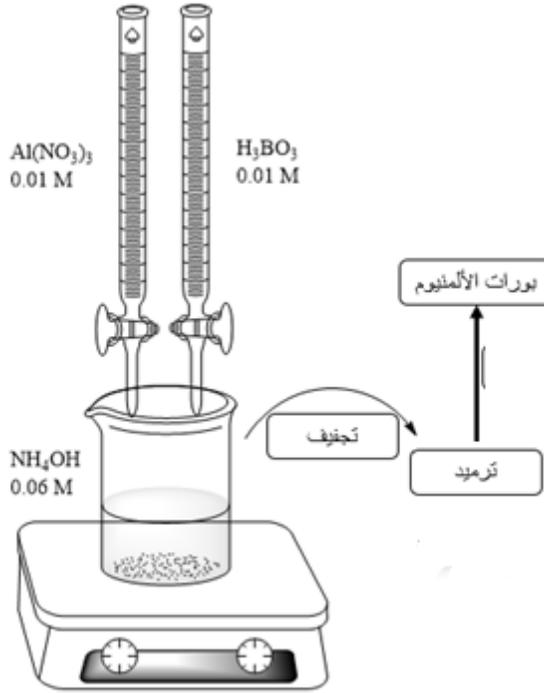
#### 4-2- طريقة العمل:

#### 4-2-1- تحضير الجملة :

- قمنا بتحضير محاليل مائية لكل من نترات الألمنيوم بتركيز (0.01M)، حمض البور (0.01M) وهيدروكسيد الأمونيوم (0.06M) حسب النسب الاستكيومترية لمعادلات التفاعل:



وضعنا كل من محلول نترات الألمنيوم  $\text{Al(NO}_3)_3$  وحمض البور  $\text{H}_3\text{BO}_3$  في ساحتين كل على حدة ومن ثم تم إضافة المحاليل قطرة قطرة وبنفس الوقت إلى المحلول القلوي مع التحريك المستمر أثناء عملية الإضافة تابعنا التحريك لمدة 15 دقيقة فصلنا على محلول كثيف معلق بلون أبيض يجفف عند الدرجة (105 °C) وبعد ذلك يرمد عند درجات حرارة مختلفة. الشكل التالي يبين طريقة العمل التي قمنا باتباعها:



الشكل (6) مخطط تحضير بورات الألمنيوم بطريقة الترسيب المشترك

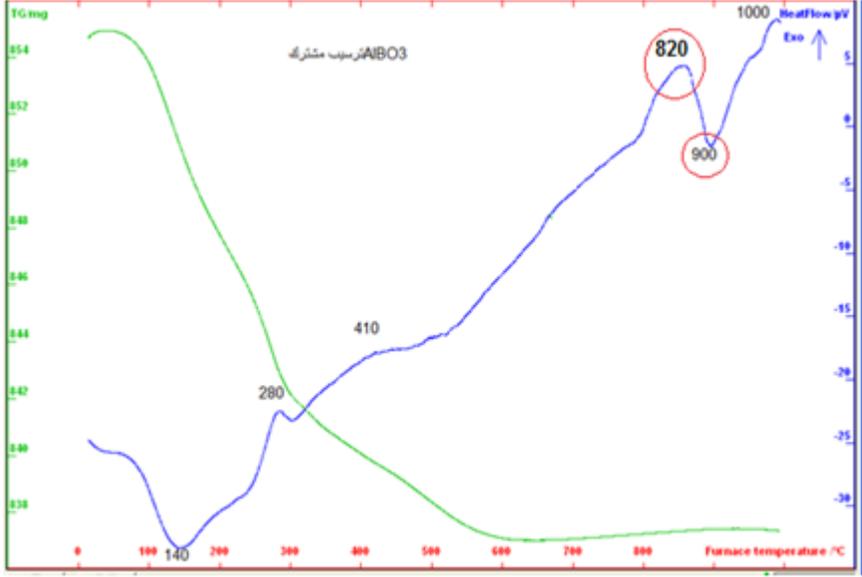
بعد ذلك تم توصيف العينات المحضرة باستخدام تقنيات XRD, DTA, IR.

## 5- النتائج والمناقشة:

### 5-1- دراسة السلوك الحراري باستخدام تقنية (DTA-TG):

ان دراسة المركب بتقنية DTA أعطت المنحني التالي حيث تم المسح في درجات الحرارة (0-1000 °C) درجة مئوية حيث تظهر أول قمة عند الدرجة (140 °C) وهي ماصة للحرارة تعود لخسارة الماء الفيزيائي، القمة الثانية ناشرة للحرارة عند الدرجة (280 °C) تعود لتشكل أوكسيد البور والقمة الناشرة للحرارة عند الدرجة (410 °C) لبدء تشكل أكسيد الألمنيوم، والقمة الناشرة للحرارة عند (820 °C) تعود لتشكل المركب، عند الدرجة (900 °C) قمة ماصة للحرارة تعود لتفكك المركب.

أما منحنى TG فيظهر انخفاض في الوزن مع ارتفاع درجة الحرارة نتيجة لخسارة الماء الفيزيائي والمتبلور، وبعد الدرجة (600 °C) نلاحظ ثبات في وزن العينة تترافق مع القمم الناشئة للحرارة مما يدل على بدء تشكل المركب.

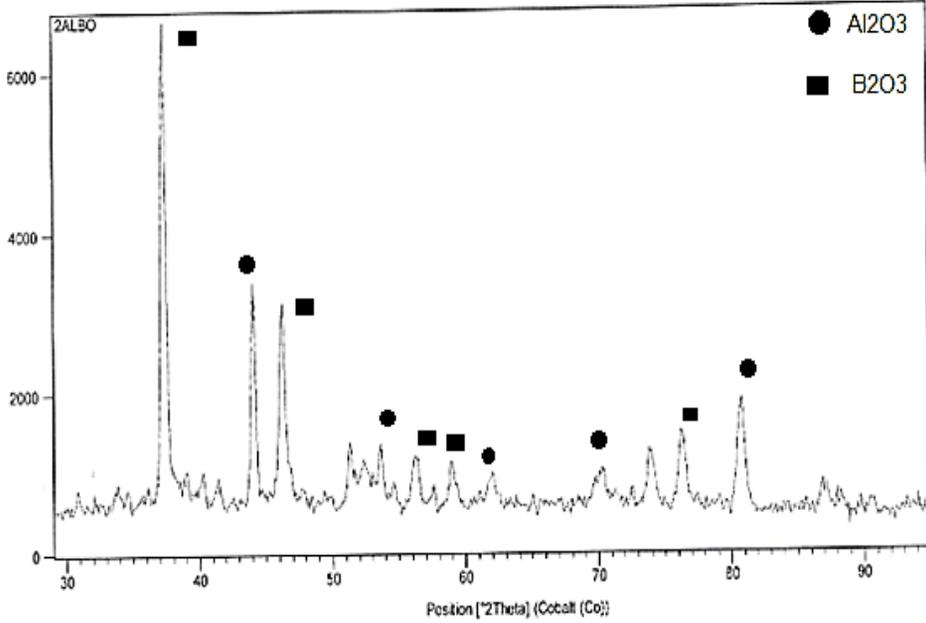


الشكل (7) مخطط DTA-TG لعينة AIBO<sub>3</sub> محضرة بطريقة الترسيب المشترك

## 5-2- دراسة مخططات الأشعة السينية:

بعد دراسة السلوك الحراري قمنا بترميد المسحوق المحضر عند درجات حرارة مختلفة (700-900 °C) لمدة ثلاث ساعات وقمنا بمقارنتها مع أطياف المركبات الأساسية المستخدمة في عملية التحضير لتتبين مدى اكتمال التفاعل. حيث يفسر ظهور قمم عائدة للمواد الأولية المستخدمة في الاصطناع لوجود آثار من المواد المتفاعلة وأن التفاعل لم يكتمل وهذا بدوره يؤثر على عملية التبلور من حيث سرعة نمو البلورة وشكلها.

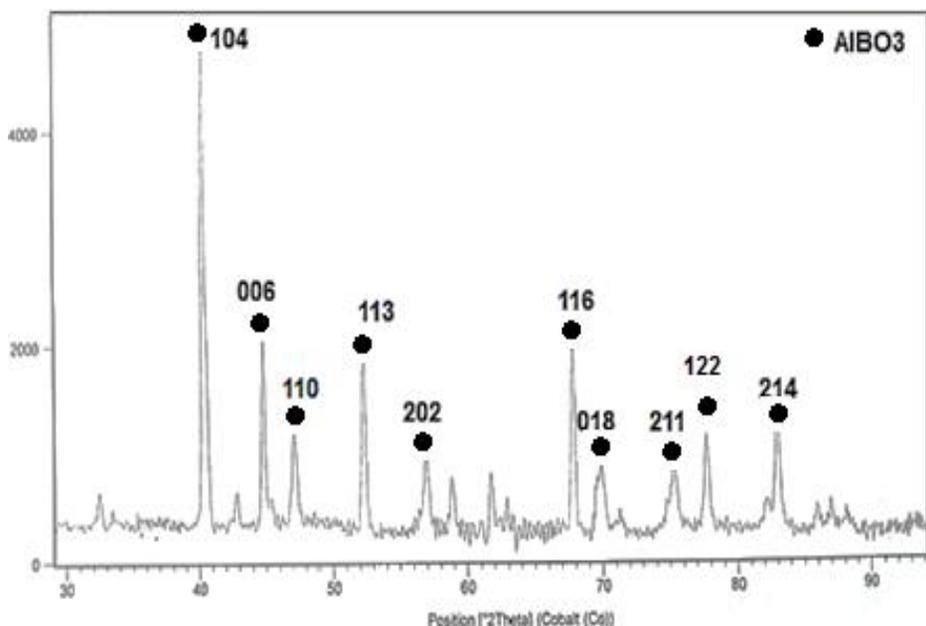
نلاحظ من المخطط للعينة المرمدة عند الدرجة ( $700\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) ولمدة (3 hr) وجود قمم تعود للأكاسيد الأولية فقط وبالتالي يمكن القول أن المركب لم يتشكل عند هذه الدرجة وأن المركب المطلوب يحتاج لدرجات حرارة أعلى.



الشكل (8) مخطط (XRD) الإصطناع غير مكتمل في الجملة ( $Al_2O_3-B_2O_3$ ) عند الدرجة ( $700\text{ }^{\circ}\text{C}$ )

يظهر المخطط للعينة المرمدة عند الدرجة ( $800\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) لمدة 3 ساعات قمم واضحة وحادة تعود للمركب بورات الألمنيوم بعد مقارنتها بالبطاقة المرجعية للمركب ذات الرقم (JCPDS No32-0004) والتي أظهرت تبلور المركب وفق البنية البلورية الرباعية وينتمي لمجموعة التناظر R3C وبناء عليه حسب قرائن ميلر وقمنا بحساب قيم البعد بين المستويات البلورية d وحساب الثوابت وفقاً لمعادلات نمط التبلور الرباعي القائم:

$$\frac{1}{d_{hkl}^2} = \frac{h^2 + k^2}{a^2} + \frac{l^2}{c^2}$$



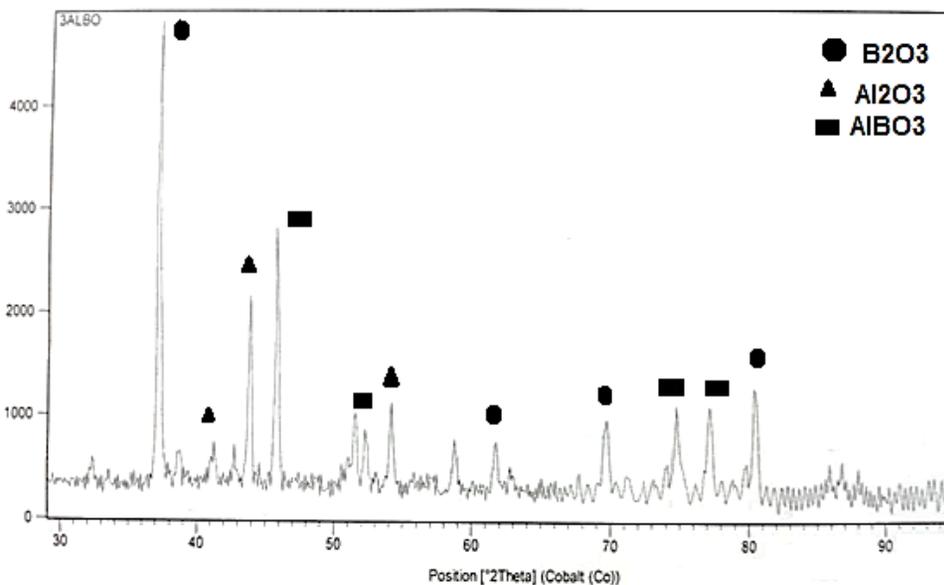
الشكل ( 9 ) مخطط (XRD) لعينة بورات الألمنيوم المرمدة عند الدرجة (800 °C)

يبين الجدول التالي قيم كل من زوايا الانعراج وقرائن ميلر الموافقة اضافة للبعد بين المستويات البلورية وقيمة (a):

الجدول ( 1 ) الحسابات البنيوية لمركب بورات الألمنيوم المحضر عند الدرجة (800 °C)

PEAK	2 $\Theta$	$\Theta$	h	k	l	a	d
1	40.32	20.16	1	0	4	4.186	2.810155
2	45.06	22.53	0	0	6	0	2.527618
3	47.13	23.565	1	1	0	3.425	2.422527
4	52.92	26.46	1	1	3	3.404	2.173606
5	56.15	28.075	2	0	2	4.276	2.057893
6	68.78	34.39	1	1	6	3.300	1.714697
7	70.09	35.045	0	1	8	3.694	1.686637
8	75.21	37.605	2	1	1	3.568	1.587147
9	78.21	39.105	1	2	2	3.506	1.535489
10	83.23	41.605	2	1	4	3.532	1.458316
$a=b = 3.269\text{\AA}^0$ , $c=15.165\text{\AA}^0$							

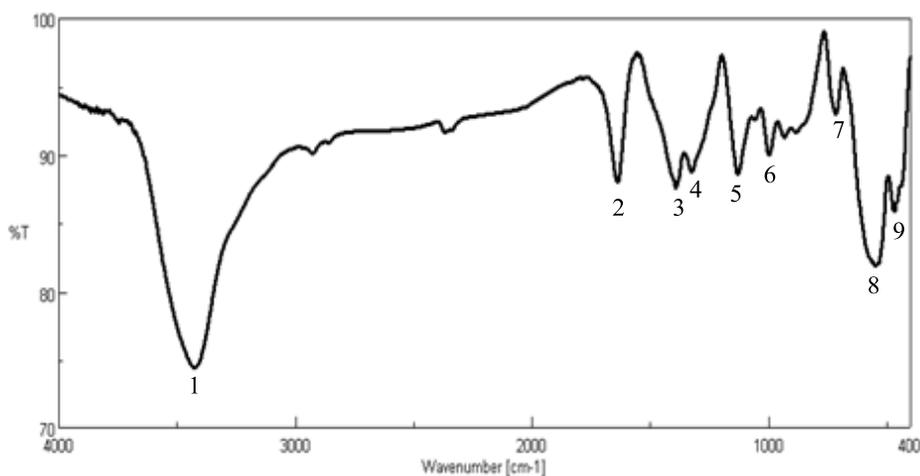
أما عند رفع درجة الحرارة الى (900 °C) نلاحظ من المخطط اختفاء بعض القمم التي تعود للمركب، وظهور عدة قمم بشدات مختلفة تعود لأوكسيد البور وأوكسيد الحديد وهو ما يدل على بدء تفكك المركب عند هذه الدرجة وهو ما يتفق مع نتائج مخطط (DTA) للمركب.



الشكل ( 10 ) مخطط (XRD) لعينة بورات الألمنيوم المرمدة عند الدرجة (900 °C)

### 3-5- دراسة طيف الأشعة تحت الحمراء:

تم تسجيل طيف (IR) للجلمة المحضرة بورات الألمنيوم والمرمدة عند درجة التشكل (800 °C) ويظهر الشكل التالي الطيف الناتج:



الشكل (10) طيف الأشعة تحت الحمراء لمركب بورات الألمنيوم المتشكل عند الدرجة (800 °C)

ويبين الجدول التالي عصابات الامتصاص في الطيف والأعداد الموجية الموافقة لكل منها:

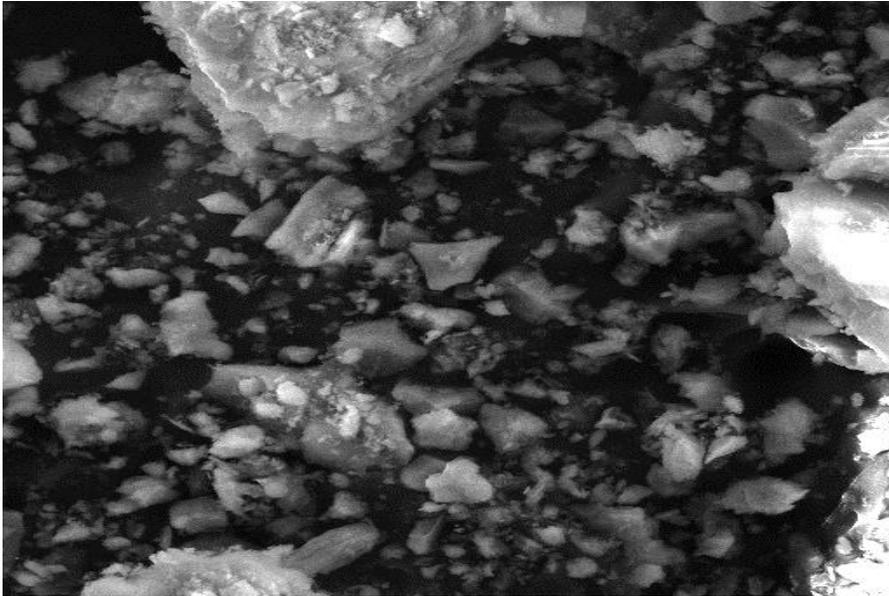
الجدول (2) عصابات الامتصاص في طيف (IR) لمركب بورات الألمنيوم

العدد الموجي cm <sup>-1</sup>	نمط الاهتزاز	عصابة الإمتصاص
3425	OH امتطاط غير متناظر للرابطة	1
1637	امتطاط غير متناظر للرابطة Al-O-B	2
1460-1200	امتطاط غير متناظر للرابطة B-O في BO <sub>3</sub>	3, 4
1000-1100	امتطاط غير متناظر للرابطة B-O في BO <sub>4</sub>	5
810-900	امتطاط غير متناظر للرابطة Al-O في AlO <sub>4</sub>	6
650-810	امتطاط غير متناظر للرابطة Al-O في AlO <sub>5</sub>	7
500-600	امتطاط غير متناظر للرابطة Al-O في AlO <sub>6</sub>	8, 9

يلاحظ من الأعداد الموجية الموافقة لعصابات الامتصاص أن الألمنيوم يتواجد في مركز رباعيات وسداسيات وثمانيات الوجوه ( $AlO_6$ ,  $AlO_5$ ,  $AlO_4$ ) بينما يتواجد البور في مركز مثلث مستوي ( $BO_3$ ) أو مركز رباعي وجوه ( $BO_4$ )

#### 5-4- نتائج المجهر الماسح الإلكتروني:

قمنا بدراسة مسحوق المركب الناتج بتقنية المجهر الماسح الإلكتروني وتظهر النتائج أن معظم البلورات صغيرة الحجم وأبعادها أقل من ( $20 \mu m$ ) والشكل التالي يبين صورة المجهر الماسح للعينة:



SEM MAG: 1.00 kx  
Scan speed: 6  
SEM HV: 20.00 kV

Det: SE  
SM: RESOLUTION

20  $\mu m$

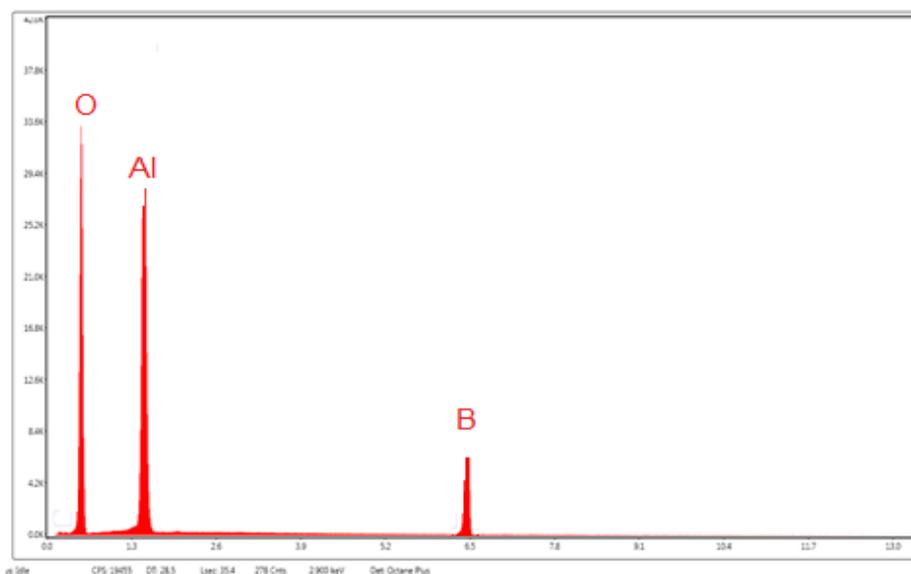
VEGA\\ TESCAN

Arab European University

N-ALKafri & A Obaid

#### الشكل (11) صورة المجهر الإلكتروني الماسح لعينة بورات الألمنيوم

وفي المخطط التالي المرافق لبيانات المجهر الإلكتروني مخطط EDX تظهر نسبة العناصر الموجودة في العينات ويظهر العناصر الأساسية في المركب ويظهر النسبة الأكبر لعنصر الأوكسجين O ثم الألمنيوم Al ثم البور B.



الشكل ( 12 ) مخطط EDX لنسبة لعناصر الموجودة في المركب

#### 6-الإستنتاجات:

تم تحضير المركب بورات الألمنيوم  $\text{AlBO}_3$  بطريقة الترسيب المشترك ابتداء من المواد الأولية نترات الألمنيوم وحمض البور باستخدام مطول قلوي من هيدروكسيد الأمونيوم ودراسة بنيته البلورية بتقنية التحليل الحراري التفاضلي وحيود الأشعة السينية والمجهر الإلكتروني الماسح أظهرت النتائج تشكل المركب عند درجة حرارة ( $800\text{ }^\circ\text{C}$ ) وتوافق نتائج كل من مخططات DTA والـ X-ray تم حساب البعد البلوري d من مخططات X-ray ومعادلات نمط التبلور الرباعي التي ينتمي إليها المركب وأظهرت نتائج المجهر الإلكتروني الماسح شكل ابري للحبيبات وحددت أبعادها **النانوية** ونسبة العناصر في العينة.

المراجع:

1. Feng K, Yin W, Yao J, Wu Y. structural characterization and optical properties of a new cesium aluminum borate,  $\text{Cs}_2\text{Al}_2\text{B}_2\text{O}_7$ . J Solid State Chem [Internet]. 2011;184(12):3353–6. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jssc.2011.10.023>
2. Kipca AS, Senberber FT, Yuksel SA, Derun EM. Synthesis, characterisation, electrical and optical properties of copper borate compounds. Mater Res Bull [Internet]. 2015;1–20. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.materresbull.2015.05.003>
3. Wang G, Sun Y, Yang G. Synthesis and characterization of a new layered lead borate. J Solid State Chem. 2006;179:398–403.
4. Zeng X, Kuang Q, Fan Q, Dong Y, Zhao Y, Chen S, et al. Electrochimica Acta Synthesis , structure , and electrochemical performance of  $\text{V}_3\text{BO}_6$  nanocomposite : A new vanadium borate as high-rate anode for Li-ion batteries. Electrochim Acta [Internet]. 2020;335:1–10. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2020.135661>
5. Hernández MF, Suárez G, Cipollone M, Conconi MS, Aglietti EF, Rendtor NM. Formation , microstructure and properties of aluminum borate ceramics obtained from alumina and boric acid. Ceram Int J. 2016;(November):1–8.
6. Liu Y, Li Q, Fan S. Self-catalytic growth of aluminum borate nanowires. Chem Phys Lett. 2003;375(April):632–5.
7. S. Decurtins, Crystal Chemistry of Boron-Bearing Mullite-Type Compounds, April 2011.
8. C C Tang 1,2, E M El ssfah1, J Zhang 1 and D F Chen, Morphology- and composition-controlled synthesis of aluminium borate nanowires without catalysts, Nanotechnology 17 (2006) 2362–2367.
9. H. W A D A , K. S A K A N E , T. K I T A M U R A , The

- reaction sequence in the synthesis of aluminium borate whiskers, journal of materials science 31 (1996) 537-544.
10. André Douy , Aluminium borates: synthesis via a precipitation process and study of their formation by DSC analysis, Solid State Sciences 7 (2005) 117–122.
  11. YeDonga ,XueDongb, LanLiaJinyu ,WuaLiwen ,YanaJiachenLiua ,AnranGuo ,Lightweight and thermally insulating aluminum borate nanofibrous porous ceramics, Ceramics International, Volume 47, Issue 15, 1 August 2021, Pages 21029-21037.
  12. Candace S. Seu, Victoria K. Davis, Jasmina Pasalic, and Ratnakumar V. Bugga, Aluminum Borate Coating on High-Voltage Cathodes for Li-Ion Batteries, Journal of The Electrochemical Society, 162 (12) A2259-A2265 (2015).

