

Synthesis Of Compounds ($\text{Sr}_{3-x}\text{Yb}_x\text{Co}_{2-y}\text{Fe}_y\text{O}_7$, $\text{Sr}_{3-x}\text{Tb}_x\text{Co}_{2-y}\text{Fe}_y\text{O}_7$) Belonging To The Ruddlesden-Popper Series When $n=2$ By Partial Replacement Of Cobalt With Iron At The B Site And Partial Replacement Of Strontium With Rare Earth Elements At The A Site using the Ceramic Method

Dr. Ahmed Kalzyeh*

Dr. Muhammad Hicham Abazli**

Dr. Manar Hasan ***

Mirna Mouneer Saleh****

(Received 15 / 3 / 2023. Accepted 1 / 8 / 2023)

□ ABSTRACT □

The constant need for energy has led to the search for alternatives to produce it so that energy can be more efficient and environmentally friendly. Oxides are considered one of the most important pillars in the industrial revolution. Therefore, they received special attention from researchers, as a group of oxides were found to play an important role in industries, which are perovskite oxides and their derivatives, such as oxides belonging to the Ruddlesden-Popper series. This study aims to synthesize compounds $\text{Sr}_{3-x}\text{Yb}_x\text{Co}_{2-y}\text{Fe}_y\text{O}_7$, $\text{Sr}_{3-x}\text{Tb}_x\text{Co}_{2-y}\text{Fe}_y\text{O}_7$ using the ceramic method. Partial replacement of cobalt (Co) with element of (Fe) and partial replacement of strontium (Sr) with element of ytterbium (Yb) and element of terbium (Tb) in the series $\text{A}_{n+1}\text{B}_n\text{O}_{3n+1}$ when $n=2$ were studied. The results of X-ray diffraction (XRD) showed that the prepared oxides crystallized in a tetragonal (Tetragonal) structure within the crystal system $P4_2/mnm$. The samples were prepared at a temperature of 1050 °C for 48 hours.

Keywords: Thermal program, Ruddlesden-Popper , Perovskite, Partial Replacement.

Copyright



:Tishreen University journal-Syria, The authors retain the copyright under a CC BY-NC-SA 04

*Prof. Faculty of science- dep.of chemistry -Tishreen University-Lattakia-Syria.
Profahmad.kelzeia@gmail.com

** Prof. Faculty of science -dep.of chemistry -Tishreen University-Lattakia-Syria.
hishamabazli@gmail.com

*** Assistant Professor- Faculty of Science -Tishreen University-Lattakia-Syria.
manara.g.h@gmail.com

****Phd student- Faculty of Science-Tishreen University-Lattakia-Syria. mirnasaleh963@gmail.com

اصطناع المركبات ($Sr_{3-x}Tb_xCo_{2-y}Fe_yO_7$ ، $Sr_{3-x}Yb_xCo_{2-y}Fe_yO_7$) المنتمية لسلسلة رادلسدن بوير عندما $n=2$ بالاستبدال الجزئي للكوبالت بالحديد بالموقع B والاستبدال الجزئي للسترونسيوم بعناصر الأتربة النادرة بالموقع A بالطريقة السيراميكية

د. أحمد كلزية*

د. محمد هشام أبظلي**

د. منار حسن***

ميرنا منير صالح***


(تاريخ الإيداع 15 / 3 / 2023. قُبِلَ للنشر في 1 / 8 / 2023)

□ ملخص □

أدت الحاجة المستمرة للطاقة إلى البحث عن بدائل لإنتاجها لتكون أكثر كفاءة وصديقة للبيئة . وتعتبر الأكاسيد أحد أهم الركائز الأساسية في الثورة الصناعية لهذا لقيت عناية خاصة من قبل الباحثين فقد تم إيجاد مجموعة من الأكاسيد التي تلعب دوراً هاماً في الصناعات وهي أكاسيد البيروفسكيت ومشتقاتها مثل الأكاسيد المنتمية إلى سلسلة رادلسدن بوير .

تهدف هذه الدراسة إلى اصطناع المركبات $Sr_{3-x}Tb_xCo_{2-y}Fe_yO_7$ ، $Sr_{3-x}Yb_xCo_{2-y}Fe_yO_7$ باستخدام الطريقة السيراميكية. تم دراسة الاستبدال الجزئي للكوبالت (Co) بالعنصر (Fe) والاستبدال الجزئي للسترونسيوم (Sr) بعنصر الإيتربيوم (Yb) والعنصر ترييوم (Tb) في السلسلة $A_{n+1}B_nO_{3n+1}$ عندما $n=2$ أظهرت نتائج حيود الأشعة السينية XRD بأن الأكاسيد المحضرة تتبلور في بنية خلية عنصرية رباعية (Tetragonal) ومجموعة التناظر الفراغية $P4_2/mnm$ وحضرت العينات عند درجة الحرارة $1050\text{ }^\circ\text{C}$ لمدة 48 ساعة .

الكلمات المفتاحية : برنامج حراري ، رادلسدن بوير ، بيروفسكيت ، استبدال جزئي .

حقوق النشر : مجلة جامعة تشرين- سورية، يحتفظ المؤلفون بحقوق النشر بموجب الترخيص 

CC BY-NC-SA 04

* أستاذ في قسم الكيمياء - كلية العلوم - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية. Profahmad.kelzeia@gmail.com

** أستاذ في قسم الكيمياء - كلية العلوم - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية. hishamabazli@gmail.com

*** مدرسة - قسم الكيمياء - كلية العلوم - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية. manara.g.h@gmail.com

*** طالبة دكتوراه - قسم الكيمياء - كلية العلوم - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية. mirnasaleh963@gmail.com

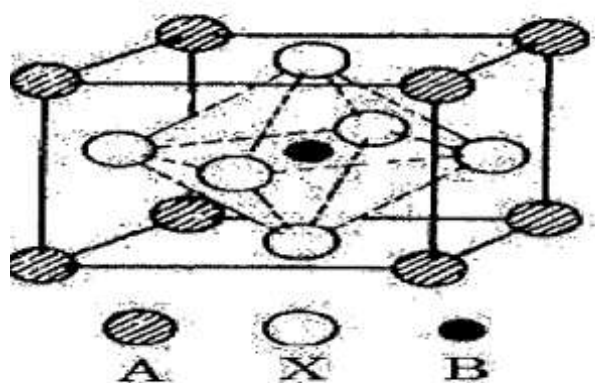
مقدمة:

يزداد الطلب العالمي على الطاقة بأشكالها المختلفة وتتجه الأنظار نحو مصادر الطاقة المتجددة بعيداً عن مصادر الطاقة التقليدية لما لها من أثر سلبي على البيئة والغلاف الجوي [1]. من مصادر الطاقة الواعدة أكاسيد البيروفسكيت . كونها تلعب دوراً هاماً في تكنولوجيا الصناعة ويتم استخدامها في المكثفات [2] والخلايا الكهروضوئية [3] وخلايا الوقود الصلبة [4].

البيروفسكيت:

تم استخدام كلمة بيروفسكيت لأول مرة من قبل العالم الألماني غوستاف روز في عام 1893 للإشارة إلى تيتانات الكالسيوم CaTiO₃ [5]

استخدام مصطلح بيروفسكيت لوصف جميع المركبات المماثلة للمركب CaTiO₃ [6] والممثلة بالصيغة ABX₃ حيث A كاتيون ذات نصف قطر أيوني كبير أما B كاتيون ذات نصف قطر أيوني صغير، X هي ذرة أكسجين في حالة الأكاسيد ولكنها قد تكون هالوجيناً أو نتروجيناً في حالات أخرى [7]. نظراً للتنوع الواسع من الخصائص لهذه المواد . تم التوجه الى مواد أخرى من مركبات البيروفسكيت والتي تسمى بمشتقات البيروفسكيتات .

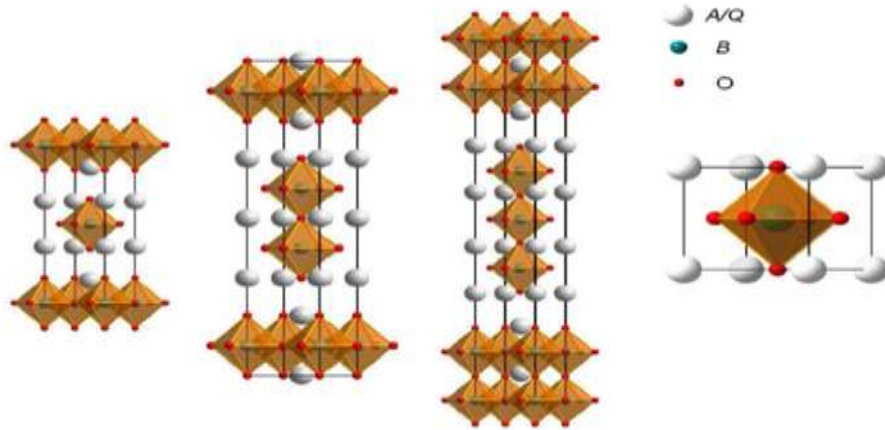


الشكل (1) الشكل العام لـ ABX₃

تعد الأكاسيد التي تنتمي الى سلسلة رادلسدن بوبر من مشتقات البيروفسكيت وتسمى بالبيروفسكيت ذات البنية الطباقية [8]. تشتق بنية رادلسدن بوبر من بنية البيروفسكيت ذو الصيغة العامة A_{n+1}B_nO_{3n+1} [9] ، تتكون سلسلة RP من طبقة ملح منفصلة ، تشير n إلى عدد الطبقات المشاركة ثنائية الأبعاد المتوضعة على طول المحور c ، في هذه الأطوار تكون A,B هي الكاتيونات والمحور الفاصل عبارة عن طبقة من AO ويتم تعويض طبقات البيروفسكيت على طول المحور a,b [10]

يتم اشتقاق سلاسل RP من طور البيروفسكيت الأصلي بإضافة طبقة من ملح AO على طول المحور c. عندما n=2 فان البنية البلورية لهيكل RP المثالي يتكون من خليتين بلوريتين ويمتلك تناظر رباعي الزوايا ومجموعة التناظر الفراغية P4₂/mnm مع ازدياد البارامتر c ممدود بدلاً من خلية الوحدة المشكلة لهيكل البيروفسكيت المثالي ومجموعة التناظر الفراغية Pm3m [11]

بالنسبة لمراحل RP يحتوي الموقع A على عناصر القلوية الترابية واللانثانيدات ، بينما الموقع B العناصر المعدنية الانتقالية .



يوضح الشكل (2) بنية رادلدن بوپر من اجل $n=1,2,3$ [12]

تم التحقق من المركب (K_2NiF_4) من هذه السلسلة عند $(n=1)$ [13] ، تحقق رادلدين وبوبر من بنية [14] $Sr_4Ti_3O_{10}$ ($n=3$) عام 1958 [15].

نتيجة الخصائص المميزة التي تمتلكها هذه الأكاسيد ، قامت العديد من الدراسات على هذه الأكاسيد نذكر منها : قام Manar Hassan وآخرون في اسبانيا عام 2019 باصطناع المركب $Eu_2SrCo_{1.5}Mn_{0.5}O_7$ عند درجة الحرارة $1200\text{ }^\circ\text{C}$. [16]

عام 2020 قام Qi Wang وآخرون في الصين بإصطناع المركب $Pr_2BaNiMnO_{7-8}$ عند درجة الحرارة $1000-1200\text{ }^\circ\text{C}$. [17].

عام 2019 قام Khalid Boulahya وآخرون في البرتغال باصطناع المركب $Eu_2SrCo_{1.5}Fe_{0.5}O_7$ عند درجة الحرارة $1250\text{ }^\circ\text{C}$. [18]

أهمية البحث وأهدافه:

أهمية البحث :

تأتي أهمية البحث نظراً للخصائص المميزة التي تمتلكها هذه الأكاسيد وتطبيقاتها التكنولوجية وخصائصها الكهربائية والمغناطيسية والحفزية ، إذ تلعب مركبات البريوفسكيت دوراً هاماً في تكنولوجيا الصناعة وتستخدم في المجال الطبي وخلايا الوقود الصلبة وخلايا الكهروضوئية

أهداف البحث :

اصطناع المركب $Sr_{3-x}Yb_xCo_{2-x}Fe_xO_7$ $Sr_{3-x}Tb_xCo_{2-x}Fe_xO_7$ باستخدام الطريقة السيراميكية. تم دراسة الاستبدال الجزئي للكوبالت (Co) بالعنصر (Fe) والاستبدال الجزئي للسترانسيوم (Sr) بعنصر الإيتريبيوم (Yb) وعنصر التربيوم (Tb) في السلسلة $A_{n+1}B_nO_{3n+1}$ عندما $n=2$.

دراسة المركبات الناتجة بتقنية الأشعة السينية XRD للتأكد من بنيتها وأنها تنتمي الى سلسلة رادلدن بوپر .

طرائق البحث ومواده:

- الأجهزة والأدوات المستخدمة :
- 1- ميزان وزني حساس (TE 64-Sartorius) مجال حساسيته (10 mg -60 mg) .
- 2- فرن ترميد (Carbolite,BAMFORD,SHEFFIEJD,ENGLAND,S30 2AU) ، في مخبر الدراسات العليا - كلية العلوم - جامعة تشرين .
- 3- جهاز XRD جهاز انعراج الأشعة السينية (X-ray diffractometer) في هيئة الطاقة الذرية في دمشق
- 4- هاون عقيق .

المواد المستخدمة :

كربونات السترانسيوم ، أكسيد الحديد ، أكسيد التيربيوم ، أكسيد التريبوم ، هيدروكسيد الكوبالت .

طريقة العمل :

تم تحضير العينات وفق الخطوات التالية :

- 1- الطريقة السيراميكية (Ceramic method).
- تم اصطناع العينات بطريقة تفاعل الحالة الصلبة (Solid state reaction) الطريقة السيراميكية وفق المراحل التالية:
- 1- تم تجفيف المواد الأولية ووزن العينات المراد دراستها وفق نسب موضحة في الجدول (1) .
- 2- طحنت العينات في هاون العقيق .
- 3- تم تسخين العينات داخل فرن الترميد وفق البرنامج الحراري الوارد في النتائج.
- دراسة الأكاسيد الناتجة بمطيافية انعراج الأشعة السينية (XRD):
- أجريت قياسات الانعراج بالأشعة السينية بطريقة المساحيق على جهاز الانعراج للأشعة السينية في هيئة الطاقة الذرية في دمشق.

النتائج والمناقشة:

تحضير العينات المدروسة :

تم اصطناع المركبات التالية :

الجدول (1) النسب الستوكيومترية للمركبات المتشكلة :

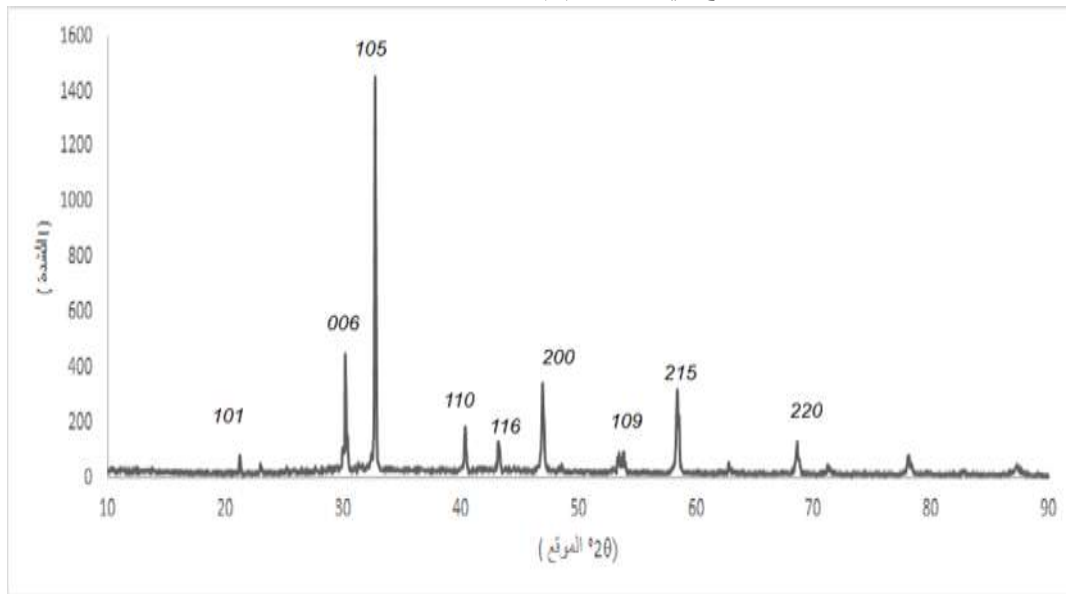
Sr _{3-x} Yb _x Co _{2-y} Fe _y O ₇	Sr _{3-x} Tb _x Co _{2-y} Fe _y O ₇
(x =0.5 , y =1) Sr _{2.5} Yb _{0.5} CoFeO ₇	(x =0.5 , y =1) Sr _{2.5} Tb _{0.5} CoFeO ₇
(x =0.5 , y =0.5) Sr _{2.5} Yb _{0.5} Co _{1.5} Fe _{0.5} O ₇	(x =0.5 , y =0.5) Sr _{2.5} Tb _{0.5} Co _{1.5} Fe _{0.5} O ₇
(x =0.2 , y =1) Sr _{2.8} Yb _{0.2} CoFeO ₇	(x =0.2 , y =1) Sr _{2.8} Tb _{0.2} CoFeO ₇

تم اصطناع المركبات Sr_{3-x}Yb_xCo_{2-y}Fe_yO₇ ، Sr_{3-x}Tb_xCo_{2-y}Fe_yO₇ بالطريقة السيراميكية وفق البرنامج الحراري الوارد في الجدول (2):

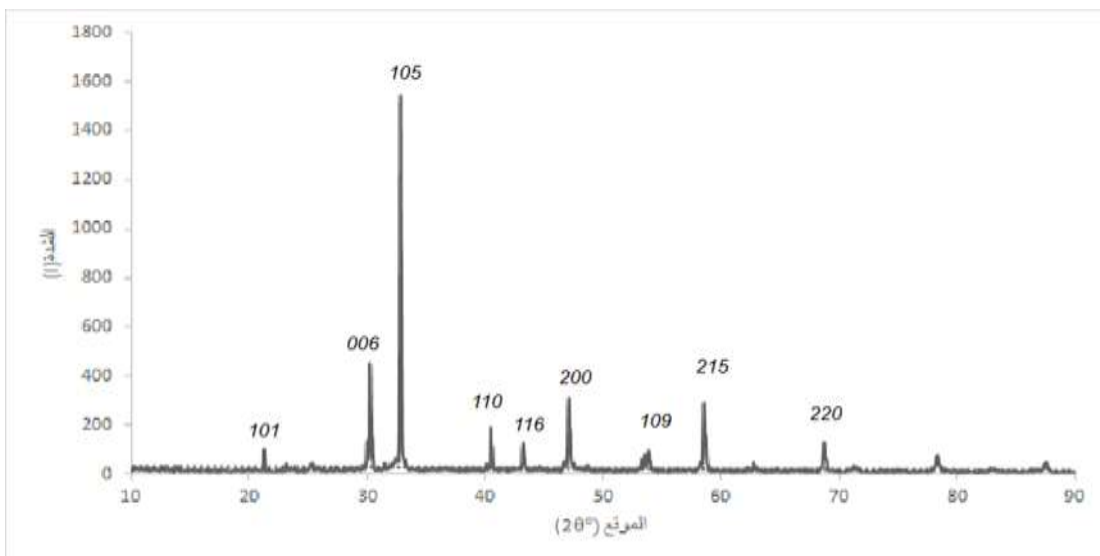
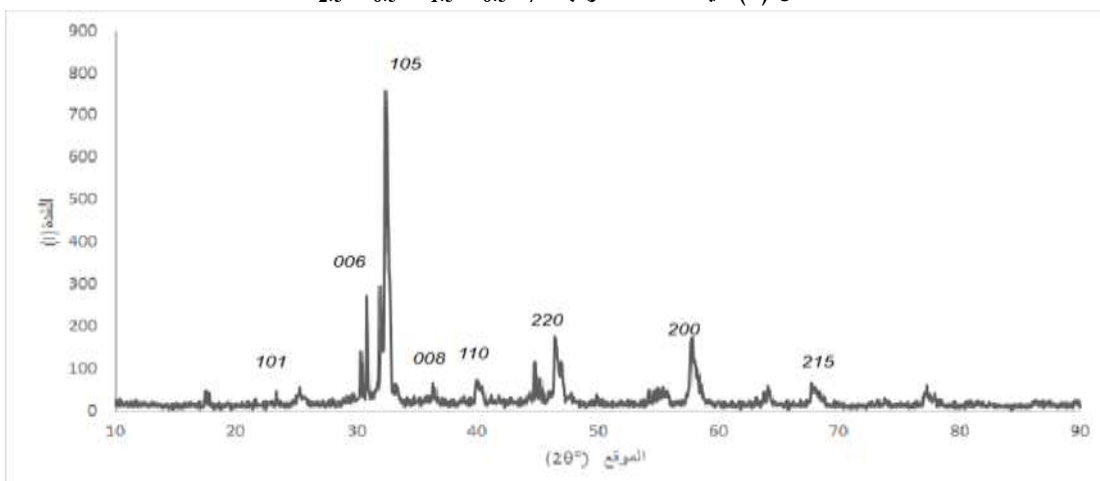
الجدول (2) البرنامج الحراري لتحضير $Sr_{3-x}Tb_xCo_{2-y}Fe_yO_7$ ، $Sr_{3-x}Yb_xCo_{2-y}Fe_yO_7$

عدد مرات الطحن والكبس	الزمن	درجة الحرارة المثوية
	2 ساعة	100/105
1	3 ساعة	700
2	48 ساعة	900
5	48 ساعة	950
5	48 ساعة	1050

أظهرت نتائج الدراسة من خلال مخططات حيود الأشعة السينية (الشكل 7-6-5) لكل مركب بالاعتماد على برنامج High Score Plus بأن المركبات تتشكل عند درجة الحرارة $1050^{\circ}C$ لمدة 48 ساعة (الشكل 8) وفق النظام الرباعي (Tetragonal $p4_2/mnm$) كما حصل فاقد الوزني بعد التسخين عند الدرجة $1050^{\circ}C$ حيث تم التأكد من خلال الفاقد الوزني على أن كربونات السترانسيوم قد تفككت والسبب في ذلك يعود نتيجة الطحن والكبس والتسخين والتكليس للمركبات عدة مرات كما هو موضح في الجدول (2).



الشكل (3) طيف XRD للمركب $Sr_{2.5}Tb_{0.5}CoFeO_7$

الشكل (4) طيف XRD للمركب $Sr_{2.5}Tb_{0.5}Co_{1.5}Fe_{0.5}O_7$ الشكل (5) طيف XRD للمركب $Sr_{2.8}Tb_{0.2}CoFeO_7$ الجدول (3) قرانن ميلر وبارمترات وخلية الوحدة وعرض القمة عند المنتصف للمركب $Sr_{2.5}Tb_{0.5}CoFeO_7$

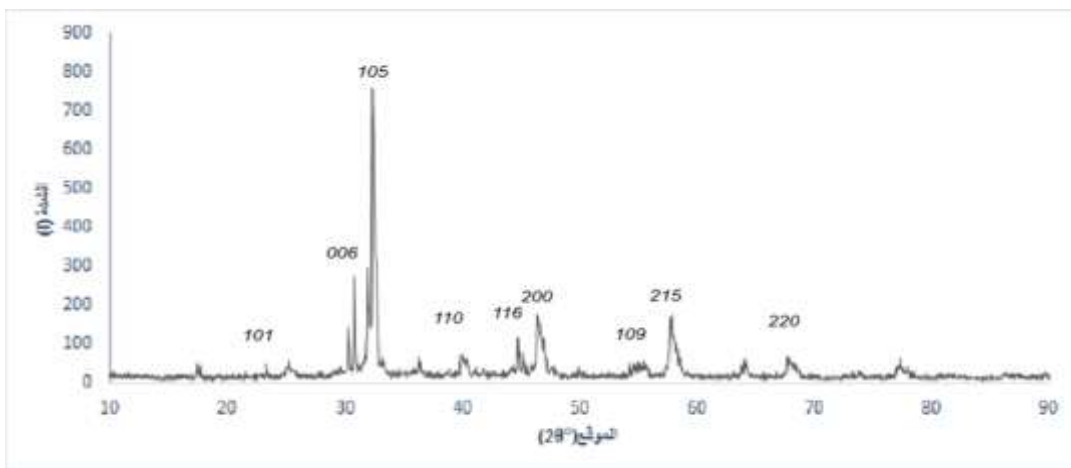
c(A°)	a(A°)=b(A°)	hkl	Rel. Int. [%]	FWHM	Height [cts]	d-spacing [A]	2θ(deg)
		101	4.97	0.139	60.393	4.185	21.230
		006	30.89	0.121	375.693	2.958	30.212
		105	100	0.138	1216.206	2.735	32.743
21.13	3.929	110	12.7	0.390	154.411	2.233	40.383
		116	8.39	0.209	102.013	2.093	43.217
		200	25.81	0.207	313.952	1.934	46.966
		109	5.33	0.397	64.770	1.713	53.493
		215	23.05	0.244	280.302	1.580	58.408
		220	7.87	0.165	95.684	1.368	68.593

الجدول (4) قرائن ميلر وبارامترات وخلية الوحدة وعرض القمة عند المنتصف للمركب $Sr_{2.5}Tb_{0.5}Co_{1.5}Fe_{0.5}O_7$

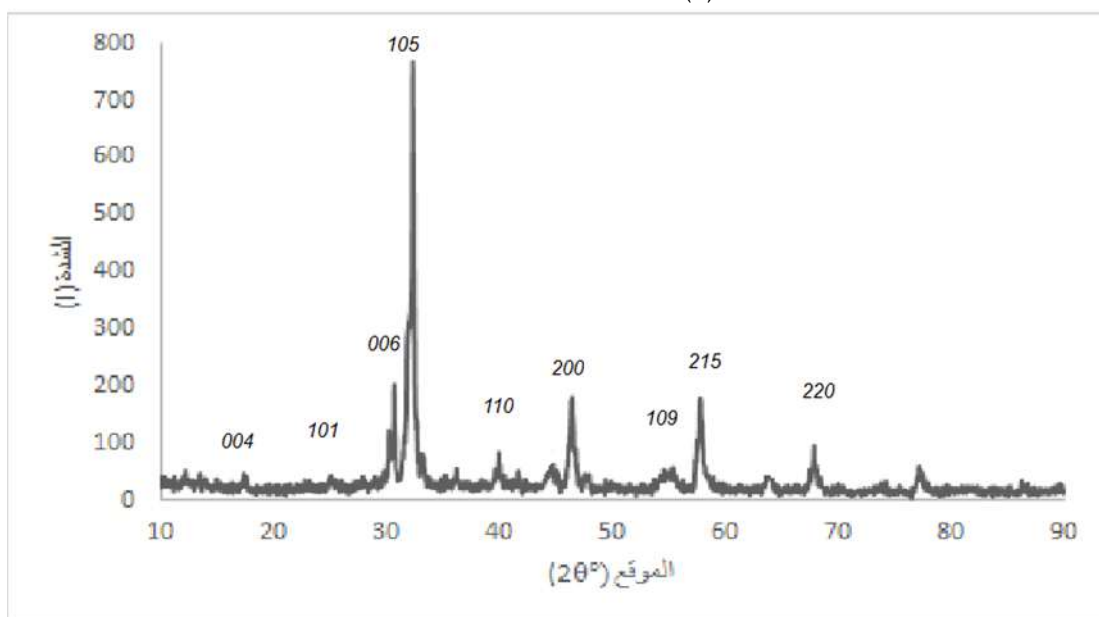
c(A°)	a(A°)=b(A°)	hkl	Rel. Int. [%]	FWHM Left [°2Th.]	Height [cts]	d-spacing [?]	Pos. [°2Th.]
		101	6.66	0.096	76.856	4.183	21.237
		006	36.18	0.125	417.568	2.957	30.215
		105	100	0.120	1154.05	2.728	32.830
21.21	3.41	110	12.02	0.148	138.744	2.227	40.491
		116	9.2	0.161	106.216	2.093	43.225
		200	24.64	0.213	284.378	1.930	47.064
		109	6.63	0.375	76.562	1.702	53.841
		215	22.63	0.168	261.130	1.576	58.553
		220	9.69	0.142	111.799	1.365	68.752

الجدول (5) قرائن ميلر وبارامترات وخلية الوحدة وعرض القمة عند المنتصف للمركب $Sr_{2.8}Tb_{0.2}CoFeO_7$

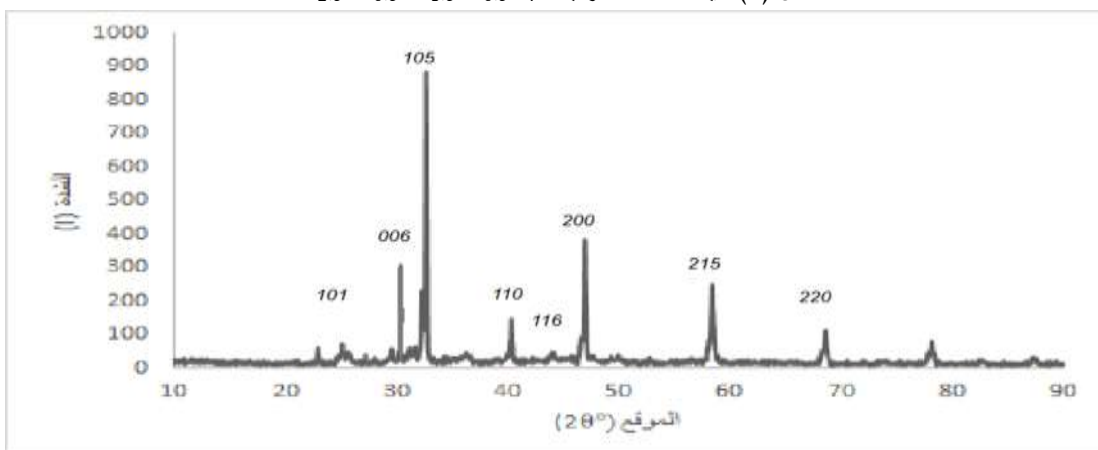
c(A°)	a(A°)=b(A°)	hkl	Rel. Int. [%]	FWHM Left [°2Th.]	Height [cts]	d-spacing [?]	Pos. [°2Th.]
		101	22.0	0.542	48.039	3.550	25.00718
		006	12.3	0.392	26.908	2.970	30.27904
		105	100	0.477	218.005	2.731	32.65153
		008	8.9	0.374	36.208	2.478	35.63201
19.20	3.159	110	18.1	0.342	39.401	2.226	40.51377
		200	45.0	0.372	98.110	1.924	47.23747
		215	43.2	0.418	94.071	1.572	58.73337
		220	19.7	0.381	42.925	1.358	69.12365



الشكل (6) طيف XRD للمركب $Sr_{2.5}Yb_{0.5}CoFeO_7$



الشكل (7) طيف XRD للمركب $Sr_{2.5}Yb_{0.5}Co_{1.5}Fe_{0.5}O_7$



الشكل (8) طيف XRD للمركب $Sr_{2.8}Yb_{0.2}CoFeO_7$

الجدول (6) قرائن ميلر وبارامترات وحدة الخلية وعرض القمة عند المنتصف للمركب $Sr_{2.5}Yb_{0.5}CoFeO_7$

c(A°)	a(A°)=b(A°)	hkl	Rel. Int. [%]	FWHM Left [°2Th.]	Height [cts]	d- spacing [?]	Pos. [°2Th.]
		101	6.7	0.236	37.393	3.526	25.17101
		006	36.0	0.157	201.875	2.896	30.84853
		105	100	0.297	561.099	2.753	32.39353
20.4	3.53	110	7.0	0.598	39.293	2.258	39.91602
		116	9.8	0.245	54.780	2.021	44.7803
		200	25.8	0.516	144.727	1.9566	46.40873
		109	5.7	0.524	32.125	1.655	54.20385
		215	25.3	0.468	142.016	1.593	57.79017
		220	7.1	0.551	39.926	1.379	67.80608

الجدول (7) قرائن ميلر وبارامترات وحدة الخلية وعرض القمة عند المنتصف للمركب $Sr_{2.5}Yb_{0.5}Co_{1.5}Fe_{0.5}O_7$

c(A°)	a(A°)=b(A°)	hkl	Rel. Int. [%]	FWHM Left [°2Th.]	Height [cts]	d- spacing [?]	Pos. [°2Th.]
		004	3.0	0.313	22.593	5.002	17.730
		101	2.05	0.472	13.952	3.531	25.218
		006	22.9	0.344	156.241	2.942	30.830
19.43	3.75	105	100	0.194	683.367	2.758	32.445
		110	7.7	0.136	53.268	2.250	40.033
		200	21.8	0.182	149.064	1.9528	46.505
		109	3.4	0.266	23.363	1.656	c
		215	22.6	0.207	154.586	1.594	57.823
		220	10.7	0.112	73.424	1.380	67.890

الجدول (8) قرائن ميلر وبارامترات وحدة الخلية وعرض القمة عند المنتصف للمركب $Sr_{2.8}Yb_{0.2}CoFeO_7$

c(A°)	a(A°)=b(A°)	hkl	Rel. Int. [%]	FWHM Left [°2Th.]	Height [cts]	d- spacing [?]	Pos. [°2Th.]
		101	5.6	0.230	46.806	3.539	25.157
		006	3.8	0.236	31.578	2.867	31.22044
		105	100	0.080	828.951	2.736	32.72108

17.20	3.185	110	14.1	0.302	116.543	2.233	40.38692
		116	2.6	0.150	21.892	2.050	44.16635
		200	42.1	0.082	349.182	1.935	46.95813
		215	27.1	0.117	224.610	1.579	58.41673
		220	11.5	0.084	95.116	1.367	68.63028

من مقارنة الجداول يلاحظ أنه عندما يتم الاستبدال الجزئي للكوبالت بالحديد وبنفس الوقت الاستبدال الجزئي للسترانسيوم بالايتربيوم والترييوم اختلاف في قيم بارامترات الخلية (a,b,c) مقارنة مع المركب الأساسي Sr₃Co₂O₇ [19] والمركب Sr₃CoFeO₇ [20] بسبب اختلاف أنصاف أقطار الذرات مما يؤدي إلى اختلاف على المحور c ومن مقارنة نتائج جداول المركبات Sr_{3-x}Yb_xCo_{2-y}Fe_yO₇ ، Sr_{3-x}Tb_xCo_{2-y}Fe_yO₇ يلاحظ أن بارامترات الخلية تختلف عند الإثابة بعنصر الايتريبيوم والترييوم يعزى ذلك الى اختلاف أنصاف أقطار العنصرين حيث أن $r_{Tb}^0=1.77$ ، $r_{Yb}^0=1.76$ وذلك مقارنة مع المركبات [21] Gd₂SrCo₂O₇ والمركب [17] Eu₂SrCo_{1.5}Mn_{0.5}O₇ .

الاستنتاجات والتوصيات:

الاستنتاجات :

المركبات المصنعة Sr_{3-x}Tb_xCo_{2-y}Fe_yO₇ ، Sr_{3-x}Yb_xCo_{2-y}Fe_yO₇ تتبلور وفق النظام الرباعي (Tetragonal p4₂/mmn) عند درجة الحرارة 1050°C لمدة 48 ساعة .

نلاحظ عندما يتم الاستبدال الجزئي للكوبالت بالحديد وبنفس الوقت الاستبدال الجزئي للسترانسيوم بالايتربيوم والترييوم اختلاف في قيم بارامترات الخلية بسبب اختلاف في أنصاف أقطار الذرات .

نلاحظ اختلاف بارامترات الخلية ومواقع القمم عند الاستبدال الجزئي للسترانسيوم بالايتربيوم والترييوم بسبب اختلاف انصاف أقطار العنصرين .

التوصيات :

- 1- إمكانية إجراء دراسة المحتوى الأوكسجيني لدراسة تأثير زيادة ونقصان الأكسجين على البنية البلورية .
- 2- إجراء قياسات فيزيائية للمركبات ومقارنة تأثير الاستبدال الجزئي للموقع A,B في البنية البلورية على هذه الخصائص .
- 3- دراسة تأثير الاستبدال الجزئي للمواقع A,B بعناصر أخرى .

References:

- [1]. A. C. Larson and R. B. Von Dreele, " General structure analysis system(GSAS)", Los Alamos national report laur, USA (2000) 86-748.
- [2].H. Bali, and B. Raveau, Mat. Chem.and Phys., 8 (1983) 469.
- [3]. A. Kunioka and Y. Sakai, Solid-State Electronics, 8 (1965) 961.
- [4]. N. Q. Minh, Ceramic fuel cells, J. Am. Ceram. Soc. 76 (1993) 563.
- [5]. T. Laniri, Structures Electroniques, Optiques et Magnétiques des Composés de Type Pérovskite AMnO₃ (A=Ca, Sr et Ba) : Etude de premier principe, diplôme de magister, Université Abdelhamid Ibnbadis. Mostaganem, 2014.
- [6]. L. Djoudi, Synthèse et propriétés d'oxydes mixtes à base de Lanthane, Aluminium et Nickel, thèse de doctorat, Université Mohamed Khider. Biskra, 2016.

- [7]. A. N. Doral, "Semiconductor Physics and devices", Irwin, USA, (1992).
- [8]. M. Matvejeff. SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF SOME RUDDLESSEN-POPPER AND SPINEL TYPE OXIDES, Inorganic Chemistry Publication Series Espoo 2007 No.8.
- [9]. Ruddlesden, S.N.; Popper, P. The compound $Sr_3Ti_2O_7$ and its structure. Acta Crystallogr. 1958, 11, 54–55.
- [10]. Lei Yan, H. N., Craig A. Bridges, Paul A. Marshall, Joke Hadermann, *Unit-Cell-Level Assembly of Metastable Transition-Metal Oxides by Pulsed-Laser Deposition*. Angewandte Chemie, 2007. 46.
- [11]. M. Matvejeff. SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF SOMERUDDLESSEN-POPPER AND SPINEL TYPE OXIDES. Inorganic Chemistry Publication Series . Espoo, 2007 ,No.
- [12]. M. Seppanen and M. H. Tikkanen, Acta Chem. Scand. A30 (1976) 389.
- [13]. PLIETH, K. B., D, DIE STRUKTUR DES KALIUMNICKEL-FLUORIDS.
- [14]. RUDDLESSEN, S. P., P, The compound $Sr_3Ti_2O_7$ and its structure. ACTA CRYSTALLOGRAPHICA, 1958. 11(1): p. 54-55.
- [15]. Popper, S. N. R. a. P., New compounds of the K_2NiF_4 type. ACTA CRYSTALLOGRAPHICA, 1957. 10(8).
- [16]. M. Hassan ,D.Gil ,J.Romero ,A.Herrero ,S.Marin ,U.Amador. Exploring the physical properties of $Eu_2SrCo_{1.5}Mn_{0.5}O_7$; anew $n=2$ member of the Ruddiesden-Popper series $(Eu,Sr)_{n+1}(Co,Mn)_nO_{3n+1}$. Journal of Materials Chemistry . Spain,2019.
- [17]. Q. Wang, J. Hou, Y. Fan, Xiu-an Xi, J. Li, Y. Lu, G. Huo, L. shao, X.-Zhu Fu, and J.Li Luo. $Pr_2BaNiMnO_{7-\delta}$ double-layered Ruddlesden-Popper perovskite oxides as efficient cathode electrocatalysts for low temperature proton conducting solid oxide fuel cells. Journal of Materials Chemistry A . *Chem. A*, 2020.
- [18]. K. boulahya, D.MUÑOZ, A. Gómez-Herrero, M. T. Azcondo and U. Amador, *J. Mater.* $Eu_2SrCo_{1.5}Fe_{0.5}O_7$ a new promising Ruddlesden–Popper member as cathode component for intermediate temperature solid oxide fuel cells. Journal of Materials Chemistry A. *Chem. A*, 2019.
- [19]. S.E.Dann and M.T.Weller. Structure and Oxygen stichionetry in $Sr_3Co_2O_{7-y}$ ($0.94 \leq y \leq 1.22$) . JOURNAL OF SOLIDSTATE CHEMISTRY 115,499-507 (1995).
- [20]. S. Suttiruengwong and W. Sricharussin. Physical Properties of $Sr_3Fe_{2-x}Co_xO_{7+\delta}$ ($x = 0 - 1.0$) as SOFC Anode. Advanced Materials Research Vols. 93-94 (2010) pp 549-552.
- [21]. P. Hickey . Structural studies of layered transition metal oxides . UNIVERSITY OF SOUTHAMPTON . October 2009 .