

دراسة الخواص البنيوية والضوئية لفرايت الباريوم السداسي (نوع - M) المشاب ب بولمير البولي انلين باستخدام طريقتي IR- XRD

د. بدر الأعرج*

د. إبراهيم إبراهيم**

رواء سليم***

(تاريخ الإيداع 23 / 6 / 2019. قُبل للنشر في 26 / 9 / 2019)

□ ملخص □

تم تحضير الفرايت السداسي النقي $BaFe_{12}O_{19}$ والفرايت المتنوع الاستبدالات والمضاف إليه بولي أنيلين $Ba_{0.9}Zr_{0.1}Fe_{11.6}Cr_{0.2}Al_{0.2}O_{19} / PANI$ باستخدام طريقة sol-gel ، وتقانة البلمرة على التوالي. كشفت النتائج التي تم الحصول عليها باستخدام تقانة XRD على تشكل الجزيء النانوي هكسا فرايت من النوع M ذو بنية سداسية مع متوسط أبعاد الحبيبات حوالي 30.384 nm ، تم تسجيل طيف IR لهذه العينة في المجال cm^{-1} (400-4000) وحددنا في هذا المجال ترددات اهتزاز المواقع الرباعية والثمانية في بنية الفرايت السداسي : cm^{-1} (479.224 - 570.826) على الترتيب، علاوة على ذلك حددنا معامل التخامد، الامتصاصية للمركب المحضر.

الكلمات المفتاحية : فرايت الباريوم السداسي ، فرايت بولي انلين، طيف IR ، حزم الامتصاص

* أستاذ - قسم الفيزياء - كلية العلوم - جامعة تشرين - سورية.

** دكتور - قسم الهندسة الطبية - جامعة الأندلس - طرطوس - القدموس - سورية.

*** طالبة دكتوراه - الجسم الصلب - قسم الفيزياء - كلية العلوم - جامعة تشرين - سورية.

Studying structural and optical of PANI/doped M-type Barium Hexaferrite by mean of XRD and IR

Dr. Bader Alaraj^{*}
Dr. Ibrahim Ibrahim^{**}
Rawa.a Sleem^{***}

(Received 23 / 6 / 2018. Accepted 26 / 9 /2019)

□ ABSTRACT □

It was prepared ferrite hexagonal $BaFe_{12}O_{19}$ pure and ferrite substitutes and $Ba_{0.9}Zr_{0.1}Fe_{11.6}Cr_{0.2}Al_{0.2}O_{19}$ / PANI poly-aniline using sol –gel and polymerization technology methods respectively. The results obtained using XRD technology revealed the formation of the hexa - ferrite M-type with average grain size of about 30.384 nm .It has been determined the absorption bands at wave numbers in the range $479.224 - 570.826cm^{-1}$ of the tetrahedral and octahedral sites in the hexagonal ferrite . Moreover, the mean refractive and absorption parts were calculated.

Keywords: Barium hexaferrite - poly Aniline ferrite - IR – spectrum - absorption bands

^{*} Prof. at Physics Department, Faculty of Science, Tishreen University, Syria.

^{**} Doctor. at Al-Andalus University, Tartus, Al Qadmus, Syria

^{***} Postgraduate Student. at Physics Department, Faculty of Science, Tishreen University, Syria.

مقدمة

• المواد الفريتية

الفريت هو أحد أنواع المواد السيراميكية المغنطيسية التقنية، ويُعتبر أكسيد الحديد الثلاثي المكون الأساسي بالإضافة إلى عناصر معدنية أخرى (نيكل، منغنيز، كوبالت، نحاس، سيريوم...) [1].

• تصنيف الفريتات

يمكن تصنيف الفريتات وفقاً للبنية البلورية أو للخواص المغنطيسية.

• تصنيف الفريتات وفقاً للبنية البلورية

يمكن تقسيم الفريتات وفقاً للبنية البلورية بشكل رئيسي إلى ثلاثة أقسام رئيسية:

spinel ; garnet ; hexaferrite

• الفريتات ذات البنية السداسية Hexagonal structure

وهي فريتات تتكون من أكاسيد حديدية مغنطيسية ذات بنية سداسية، يمتلك هذا النوع من الفريتات عدداً من الصيغ العامة يُشار إليها بأحرف مثل (M, U, Y...), ومن أهمها $MFe_{12}O_{19}$ حيث M عبارة عن عناصر مثل الباريوم، الرصاص، أو الكوبالت. يُبين الجدول 1 أهم تراكيب الفريتات ذات البنية السداسية. يُستخدم هذا النوع من الفريتات كمغناط دائمة، وتتميز بامتلاكها حقل قاهر (قسري) عالي حيث تُستخدم في الترددات العالية جداً. تتشابه شبكة هذه الفريتات مع الفريتات سبينل بأيونات الأكسجين الموزعة وفق أنماط مُحددة [1,2,3,4].

الجدول 1: أهم صيغ الفريتات ذات البنية السداسية.

التركيب	التسمية
$MFe_{12}O_{19}$	M
$M_2Me_2Fe_{12}O_{22}$	Y
$MMe_2Fe_{16}O_{27}$	W
$M_3Me_2Fe_{24}O_{41}$	Z
$M_2Me_2Fe_{28}O_{46}$	X
$M_4Me_2Fe_{36}O_{60}$	U

يبين الجدول 2 عدد الأيونات التي تحتويها وحدة الخلية من الطور M ، وتحتوي وحدة الخلية السداسية على صيغتين من المركب المحضر .

الجدول 2 : الأيونات التي تحتويها وحدة الخلية .

types	O^{2-}	Fe^{3+}	Me
Ions number	38	24	2

ما الجدول 3 يبين توزيع أيونات $12 Fe^{3+}$ على المواقع مع اتجاهات السبين [5] :

الجدول 3 : يبين توزع أيونات Fe^{3+} 12.

Site	Geometry	Nr.of Fe^{3+} ions	Direction Spin
12K	Octahedral	6	Up
2a	Octahedral	1	Up
4f ₁	Tetrahedral	2	Down
4f ₂	Octahedral	2	Down
2b	Trigonal bipyramidal	1	Up

• مطيافية IR

تقسم منطقة تحت الأحمر إلى ثلاثة مناطق رئيسية وفق الجدول 4:

الجدول 4: يعرض طول الموجة والعدد الموجي مجالات الأشعة تحت الحمراء القريبة والمتوسطة والبعيدة.

range	Near infrared (NIR)	mid infrared (MIR)	Far infrared (FIR)
WL (μm)	0.78 – 2.5	2.5 - 50	50- 1000
$\bar{\nu}(cm^{-1})$	12850 - 4000	4000 -200	200- 10

عندما ترد الأشعة تحت الحمراء إلى وسط ما فإنها تعاني انعكاساً وامتصاصاً ونفوذاً من الوسط . وتعطى شدة الأشعة النافذة I من العينة بدلالة الشدة الواردة I_0 وفق علاقة بيير – لامبرت:

$$I=I_0\exp(-\alpha.d)$$

حيث α : معامل الامتصاص الخطي, d ثخانة العينة.

يحدث التفاعل بين الضوء وشحنات الوسط بسبب عملية امتصاص الطاقة في المادة وينتج عن هذا التفاعل استقطاب لشحنات الوسط.

ان هذا الاستقطاب يوصف عادة بثابت العزل الكهربائي المعقد للوسط الذي يعرف بالعلاقة

$$\varepsilon = \varepsilon' - i\varepsilon'' \quad \text{الآتية [6]:} \quad (1)$$

حيث ان ε : ثابت العزل الخيالي، ε' : الجزء الحقيقي لثابت العزل و ε'' : الجزء الخيالي لثابت العزل.

يمكن حساب ثابت العزل بوساطة حساب معامل الانكسار، اذ يرتبط ثابت العزل الكهربائي المعقد بمعامل الانكسار المعقد (N) بالعلاقة الآتية:

$$N = n - ik \quad (2)$$

$$\varepsilon = N^2 \quad (3)$$

حيث k : معامل التخامد ومن المعادلتين (1)، (3) يمكن ان نستنتج:

$$(n - ik) = \varepsilon' - \varepsilon'' \quad (4)$$

$$\varepsilon = (n^2 - k^2) - i(2nk)$$

بالاعتماد على المعادلة (4) يمكن كتابة ثابت العزل الحقيقي الخيالي بالشكل التالي [6]:

$$\varepsilon' = n^2 - k^2 \quad (5)$$

$$\varepsilon'' = 2nk \quad (6)$$

في المجال الجزئي $(400-4000)\text{cm}^{-1}$ من منطقة مجال تحت الأحمر المتوسط سنحدد الثوابت الضوئية وفق العلاقات التالية عند الورود الناظمي على العينة [7]:

$$\alpha = \frac{4\pi k}{\lambda} \quad (7)$$

$$L = \frac{1}{\alpha}; \text{absorption length} \quad (8)$$

حيث α : معامل الامتصاص الخطي ويقدر بـ cm^{-1} .

تعرف الانعكاسية R بأنها النسبة بين الشعاع الساقط إلى الشعاع المنعكس عند الحد الفاصل بين وسطين، يمكن حساب الانعكاسية بموجب قانون حفظ الطاقة ومن خلال معرفة كل من النفاذية T والامتصاصية A كالتالي [8]:

$$R+T+A=1 \quad (9)$$

$$T = \frac{I_t}{I_i} \quad (10)$$

حيث I_i و I_t شدتنا الضوء الوارد والضوء النافذ على الترتيب.

تعطى الامتصاصية A بدلالة النفاذية T [9-10]:

$$A = \text{Log}_{10} \left(\frac{1}{T} \right) \quad (11)$$

$$\alpha = 2.303 \frac{A}{d} \quad (12)$$

d=1mm ثخانة العينة المضغوطة بعد إضافة كمية بسيطة من بروميد البوتاسيوم KBr الذي يمنح العينة شفافية جيدة .

أهمية البحث وأهدافه:

تكمن أهمية وهدف البحث :

- دراسة تأثير استبدال أيونات الحديد بـ أيونات الكروم والألمنيوم واستبدال الباريوم بالزركونيوم في المركب $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ على خصائص البنيوية والضوئية باستخدام تقانة sol-gel .
- إضافة بوليمر البولي أنلين للمركب $\text{Ba}_{0.9}\text{Zr}_{0.1}\text{Fe}_{11.6}\text{Cr}_{0.2}\text{Al}_{0.2}\text{O}_{19}$ بواسطة البلمرة في الموقع .
- توصيف العينات باستخدام تقنيات (XRD , IR) .
- دراسة الخصائص البنيوية وتحديد الثوابت الضوئية α , k معامل الامتصاص الخطي و التخامد على الترتيب وذلك ضمن المجال $(400-4000)\text{cm}^{-1}$ للمركبات المحضرة.

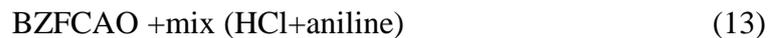
طرائق البحث ومواده

a- تحضير العينات بطريقة sol-gel :

نأخذ كميات محددة من كلوريدات المركبات حسب الحسابات التي أجريت للحصول على 11gr من BZFCO. نحل هذه الكلوريدات في بيشر يحتوي 100 ml من الماء المقطر، ويوضع على درجة حرارة 80°C مع وجود محرك مغناطيسي، و عند الغليان نضيف غرام واحد من حمض سيتريك أسيد، ويترك ليتبخر المحلول إلى 25ml ثم نطفئ التحريك، ونخرج المغناطيس ونزيد درجة الحرارة إلى 120°C عندما يتحول المحلول إلى بودرة و جل نزيد درجة الحرارة إلى 300°C حتى يتم الاحتراق بشكل كامل، ثم نطحن المسحوق الذي تم الحصول عليه في هاوون، نعالجه في درجة حرارة 1000°C لمدة 2h ساعة، ونتركه يبرد بحرارة الفرن بعد ذلك، نطحن المسحوق جيدا حتى نحصل على المسحوق حجم حبيباته صغير جدا من أبعاد الميكرومتر، ثم نجري قياس XRD للعينة لتأكد من أننا حصلنا على البنية المطلوبة [11, 12].

b- البلمرة في الموقع :

نحضر مزيج من منومير الأنيلين و حمض كلور الماء HCl بتركيز (1:1) 0.2M لتعديل الوسط، ويضاف المزيج لمركبات الهكسا فرايت المحضرة بطريقة sol - gel بنسبة (25% هكسافرايت و 75% أنيلين)، حسب المعادلة التالية .



نضع المزيج السابق في جهاز الاهتزاز للأموح فوق الصوتية (Sonification) لمدة 30min، ثم يضاف إلى المزيج السابق مع الاهتزاز (APS) 5.71 gr من امونيوم بير سولفات $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$ محلولاً في 0.2M(HCl) ثم نقوم بعملية البلمرة لمدة 24h ساعة بدرجة حرارة الغرفة . يغسل بعدها بكمض كلور الماء المحضر، ويعزل الناتج بالفلترتة بواسطة قمع بوخنر للتخلص من المواد اللاعضوية، من ثم يوضع في مجفئه ليجفف عند الدرجة 60°C لمدة 24 h.

النتائج والمناقشة

انعراج الأشعة السينية (XRD)

جرى استخدام جهاز قياس انعراج الأشعة-X (الموديل PW3710) وهو متوفر في مركز البحوث العلمية-دمشق . لإثبات هوية البنية البلورية، ودراسة الأبعاد البلورية للفرايت السداسي المحضر بطريقة السول-جل والفرايت السداسي المضاف إليه بولي أنيلين بطريقة البلمرة في الموقع. يوضح الشكل (1 a,b,c) مخططات انعراج الأشعة السينية ضمن المجال ($2\theta = 10^\circ - 70^\circ$) لكل من البولي أنيلين، BZFCO والمادة المركبة PANI/ BZFCO. يتبين من الشكل (1 a) البولي أنيلين لا يُبدي أي قمم حادة مما يدل على البنية اللابلورية، حيث يُظهر مخطط انعراج الأشعة السينية للبولي أنيلين قمة عريضة منتشرة على المجال ($15^\circ - 30^\circ$) والتي تتطابق مع نتائج الأبحاث [13,14,15].

كشفت تحليل حيود الأشعة السينية في الشكل (b 1) أن جميع قمم الحيود التي شوهدت في نمط XRD تتوافق جيداً مع النمط القياسي لفرايت الباريوم السداسي (JCPDS# 84-757) وبالتالي امتلاك المركب المحضّر مخبرياً بنية بلورية ذات قمم انعراج موضحة في الجدول 5 لـ BZFCO ، يتوافق أيضاً مع المخطط المرجعي لانعراج الأشعة السينية (JCPDS card No. 027-1030)، (JCPDS card No. 078-0131) ، وهذه القمم مميزة للبنية السداسية من النوع - M أحادي الطور المجموعة الفراغية (P63/mmc)، تم الحصول على الجزيئات باستخدام درجة حرارة تلييد عالية [16,25] .

يظهر مخطط انعراج الأشعة السينية (3c) للمادة المركبة PANI/ BZFCO وجود القمم البلورية المميزة لـ BZFCO نتيجة وجود المادة الفريتية في المادة المركبة موضحة في الجدول 6، وهذا ما يدل على بقاء البنية السداسية للـ BZFCO المغنطيسي على تماس مع البولي أنيلين المشكل للقشرة الخارجية ، حيث تخفي القمة المميزة للبولي أنيلين نتيجة تداخل الجسيمات الفريتية مع سلاسل البولي أنيلين [14] .

تم الحصول على بارامترات الشبكة البلورية a, c ، حسب c/a للمركب كنسبة محورية وحجم وحدة الخلية V من قيمة d_{hkl} المقابلة للقمم (200)، (107) وفق العلاقات التالية [17,18] :

$$\frac{1}{d^2} = \frac{4}{3} \left(\frac{h^2 + hk + k^2}{a^2} \right) + \frac{l^2}{c^2}$$

(14)

$$V = \frac{\sqrt{3}}{2} a^2 c$$

(15)

حيث a, c : ثوابت الشبكة البلورية θ : زاوية الانعراج ، d : المسافة بين المستويات البلورية ، λ : طول موجة الأشعة السينية.

وتحسبت الكثافة البلورية باستخدام الأشعة السينية (الكثافة النظرية) D_x من العلاقة [19,20,21] :

$$D_{X\text{-ray}} = \frac{NM}{N_A V} = \frac{2NM}{\sqrt{3} N_A a^2 c} \quad \text{kg.m}^{-3} \quad (16)$$

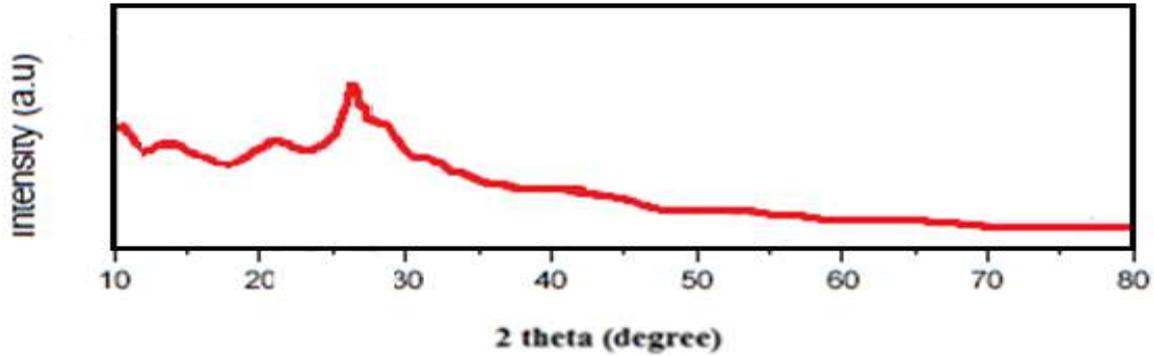
حيث N : عدد الجزيئات في وحدة الخلية وتساوي 2 في الفرايت السداسي ، M : الوزن الجزيئي للعينة، N_A : عدد أفوغادرو (Avogadro's number)، λ : طول موجة الأشعة السينية ، V : حجم وحدة الخلية .

وتم تحديد حجم الحبيبة من المستوي البلوري (114) باستخدام علاقة Debye-Scherre التالية [22]:

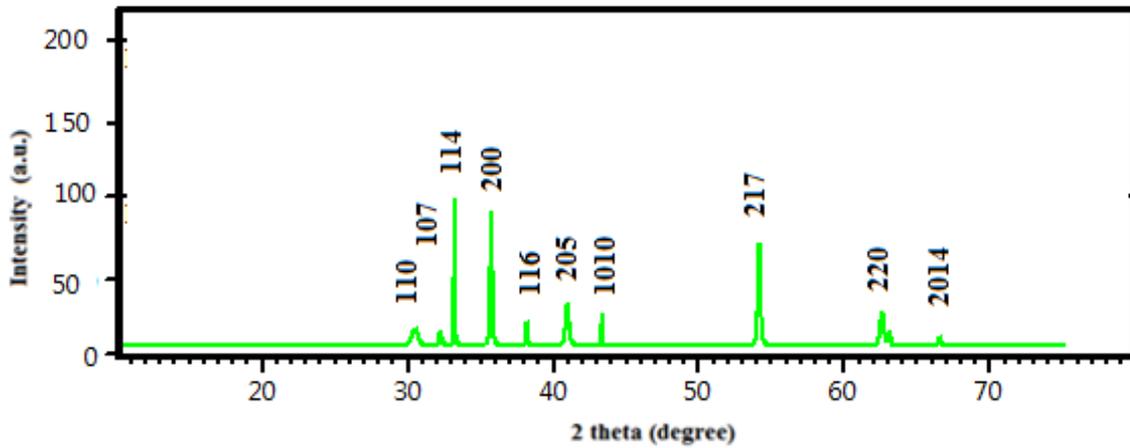
$$D_g = \frac{0.89\lambda}{\beta \cos \theta} \quad ; \lambda \text{ in nm} \quad (17)$$

حيث β : عرض القمة العظمى عند المنتصف، ويعطى بالراديان ، وسجلت النتائج الحسابية في الجدول 5 :

العينة	2θ	a Å	c Å	V	D_g Å	D_x (g / Å ³)	c/a
BZFCO	33.16	5.815	23.30	682.48	30.384	5.356	4.007
BZFCO/ PANI	33.47	5.768	23.59	679.93	30.686	5.376	4.090



الشكل (1a) : مخطط الانعراج XRD لمركب بولي انلين النقي.



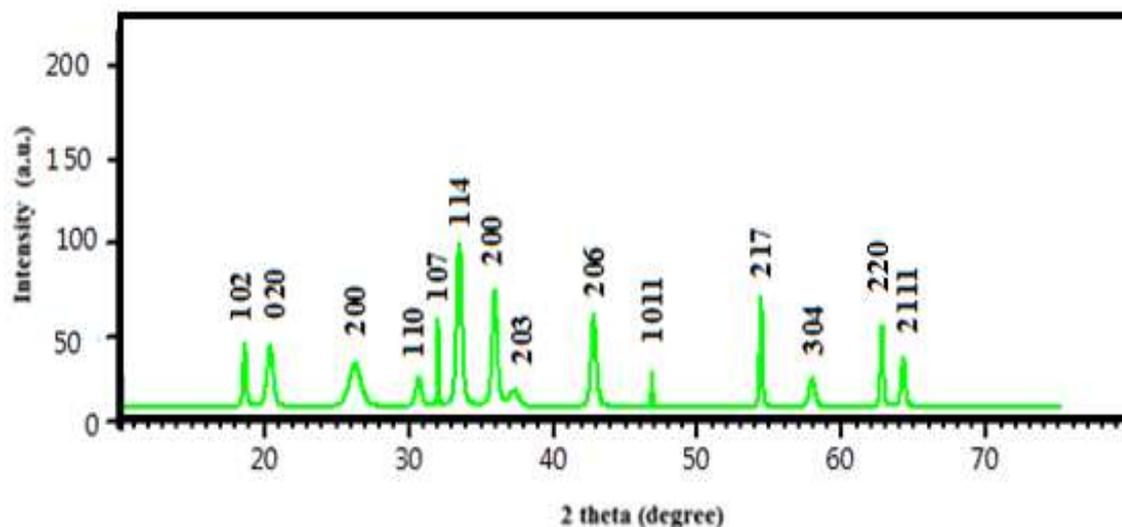
الشكل (1 b) : مخطط الانعراج XRD ↓



(شدة خطوط الحيود بدلالة ضعف زاوية الحيود)

جدول 5 يوضح قائمة القيم المتوافقة مع المخطط المرجعي لانعراج الأشعة السينية (JCPDS card No. 027-1030):

2θ Degree	hkl	FWHM (Deg)	d _(hkl) Å°
30.4600	110	0.4723	2.93230
32.2053	107	0.2362	2.77726
33.1647	114	0.0787	2.69908
35.6893	200	0.1574	2.51373
38.1309	116	0.1181	2.35819
40.9250	205	0.2755	2.20341
43.2904	1010	0.0787	2.08834
54.0946	217	0.1968	1.69398
62.5302	220	0.3149	1.48420
66.4621	2014	0.2362	1.40561



الشكل (1c) : مخطط الانعراج XRD ↓

25% BZFACO \equiv Ba_{0.9}Zr_{0.1}Fe_{11.6}Cr_{0.2}Al_{0.2}O₁₉

(شدة خطوط الحيود بدلالة ضعف زاوية الحيود)

جدول 6 يوضح قائمة القيم المتوافقة مع المخطط المرجعي لانعراج الأشعة السينية (JCPDS card No. 00-027-1029):

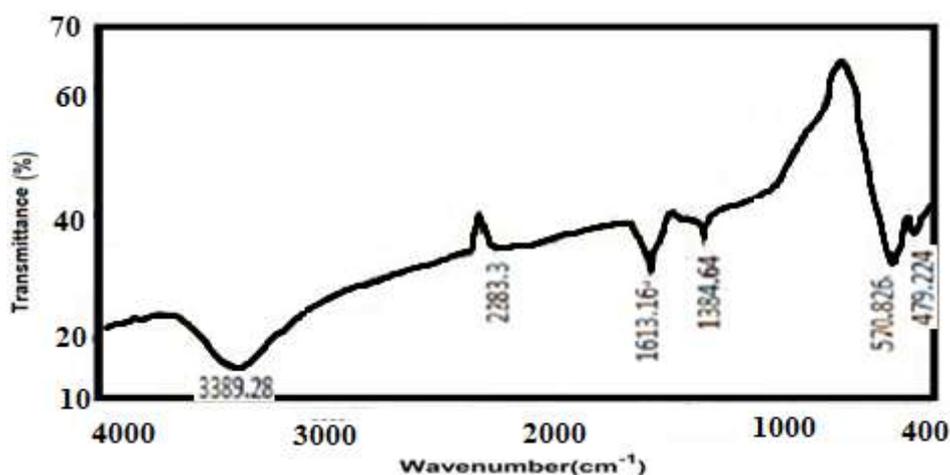
2θ Degree	hkl	FWHM (Deg)	d _(hkl) Å°
18.6318	102	0.2362	4.75853
20.3909	020	0.4723	4.35182
26.2585	200	0.9446	3.39117
30.6543	110	0.4723	2.91416
32.0035	107	0.0984	2.79431
33.4756	114	0.3936	2.67472
35.9248	200	0.3936	2.49779
37.2514	203	0.7872	2.41183
42.7802	206	0.3936	2.11205
46.8128	1011	0.1181	1.93908
54.3417	217	0.1968	1.68687
57.8729	304	0.4723	1.59206
62.7189	220	0.2362	1.48019
64.1853	2111	0.3149	1.44987

قياسات IR:

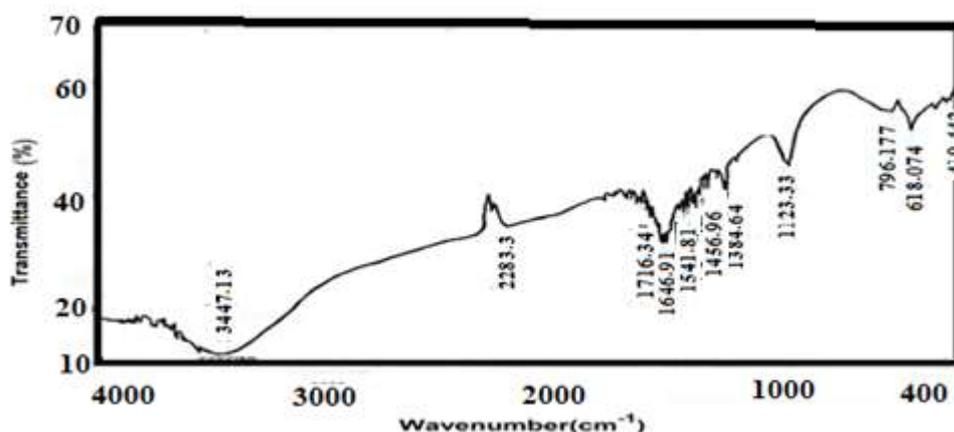
أخذت أطياف امتصاص أشعة IR تحت الحمراء لكل من العينات المحضرة باستخدام مقياس الطيف Jasco نوع FT/IR-460 PLUS الموجود في المخبر المركزي لكلية العلوم - جامعة تشرين ، الذي يعمل ضمن المجال cm^{-1} (400-4000). تُعزى عصابات الامتصاص ν_1 و ν_2 المتوضعة حول المواقع $570.826 cm^{-1}$ و $479.224 cm^{-1}$ إلى عصابات اهتزاز الشد (Stretching vibration bands) في المواقع رباعية وثمانية السطوح على التوالي [14]. تُظهر العصابات الرئيسية للبولي أنيلين في الشكل (2c)، تُعزى العصابات الرئيسية في الموقع

1296 cm^{-1} إلى انحناء الرابطة N-H، وفي الموقع 1240 cm^{-1} إلى أنماط شد الرابطة C-H الغير متماثل (Asymmetric C-H stretching modes) لحلقة البنزويدي.
تُعزى العصابة الشديدة حول الموقع 1121 cm^{-1} إلى الأنماط الاهتزازية $N=Q=N$ (حيث تُشير Q إلى حلقة الكينويدي)، والتي تُثبت تشكل البولي أنيلين خلال تفاعل البلمرة.
ترتبط القمة في الموقع 801 cm^{-1} باهتزازات الانحناء خارج مستوى الاتزان (Out of plane bending) للرابطة C-H [15].

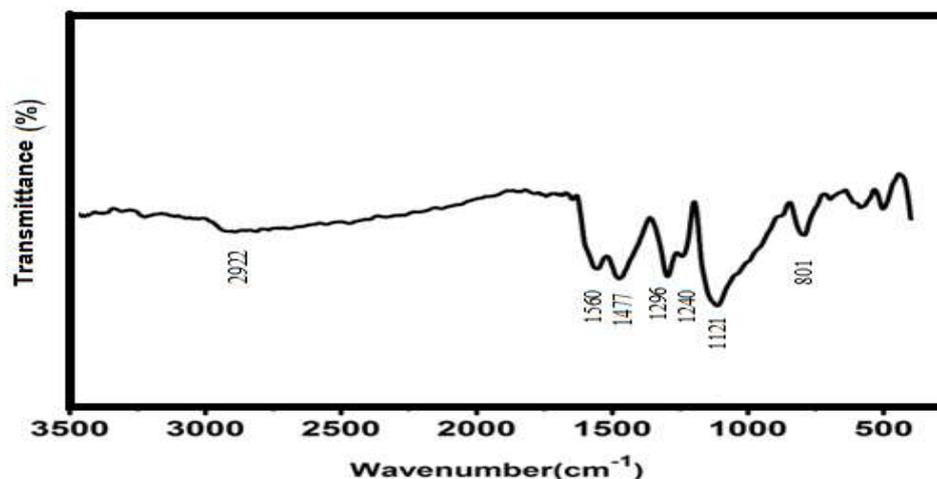
تُعزى العصابة المتوضعة حول الموقع 2922 cm^{-1} إلى الاهتزازات المرافقة للجزء NH_2^+ في الوحدة $\text{NH}_2^+\text{C}_6\text{H}_4^-$. إن القمم المميزة والمذكورة سابقاً تتشابه في كل من البولي أنيلين الصرف والمواد المركبة PANI/ BZFCO موضحة في الجدول 7. أيضاً القمة المتوضعة حول 1560 cm^{-1} تُعزى إلى أنماط اهتزازات شد الرابطة C=N في وحدة الكينويدي وكذلك العصابة المتوضعة حول 1477 cm^{-1} تعود إلى أنماط الشد للرابطة C=C في وحدة البنزويدي للبوليمير. يُبين الشكل (1b) أنزياح بسيط في مواقع هاتين القمتين ويعود هذا الانزياح إلى التأثير المتبادل بين المدار d للشاردة Fe^{3+} للجسيمات الفريتية والمدار الجزيئي π لسلاسل البولي أنيلين، وتدل هذه النتيجة على تشكل المادة المركبة PANI/ BZFCO بشكل ناجح [24].



شكل (2a): طيف IR لمركب الفرايت السداسي.



شكل (2b): طيف IR لمركب بولي أنيلين / الفأريت السداسي.



الشكل (2c) : طيف IR لمركب بولي أنيلين النقي.

الجدول 7: نتائج أطياف FTIR لكل من الفأريت السداسي والبولي أنيلين والماد المركبة. PANI/ BZFACO.

BZFACO (cm ⁻¹)	PANI/BZFACO (cm ⁻¹)	PANI (cm ⁻¹)	
-	3447.13	2922	Vibration associated with the NH ²⁺ part in the -C ₆ H ₄ NH ₂ ⁺ C ₆ H ₄ - group
-	1558.2	1560	C=N, C=C stretchings of the quinoid ring
-	1473.35	1477	C=C Stretchings of the benzenoid ring
-	1384.6	1296	N-H bending of the benzenoid ring
-		1240	Asymmetric C-H stretching modes of the benzenoid ring
-	1123.33	1121	Vibrational modes of N=Q=N
-	796.177	801	Bending vibrations of C-H

570.826	-	Tetrahedral sites
479.224	-	Octahedral sites

ويحتوي الجدول 8 على تردد الاهتزاز المميزة للمواقع الرباعية والثمانية المستخلصة من الطيف، النفوذية، الامتصاصية، معامل التخماد، معامل الامتصاص، و طول الامتصاص:

جدول 8: تردد الاهتزاز، النفوذية، الامتصاصية، معامل التخماد، معامل الامتصاص، و طول الامتصاص.

composite	$\bar{\nu}$ cm^{-1}	%T	A	k	α cm^{-1}	L cm
BZFCO	570.826	32.041	0.494	0.0015	11.383	0.087
	479.224	36.975	0.432	0.0016	9.951	0.100
PANI / BZFCO	618.074	44.221	0.354	0.0010	8.160	0.122
	419.442	48.246	0.316	0.0013	7.289	0.137

الاستنتاجات والتوصيات

- البنية البلورية لـ BZFCO موافقة لبنية الفرايت السداسي وتم تحديد أعلى شدة التي توافق قرائن ملر (114) والتي تشير إلى التوجه المنتظم لمكونات العينة الموافقة لهذا المستوي.
- بعد اضافة البوليمر وجد أنه شكل غلاف له فقد عازلي بسبب امتلاكه ناقلية كهربائية يحيط بمركب الهكسافرايت الذي بدوره يظهر فقد مغناطيسي بأليات التجاوب السبيني.
- ثوابت الشبكة البلورية Å (c= 23.30 , a=5.815) و متوسط أبعاد الحبيبات لمركب الهكسافرايت النقي حوالي 30.384nm وبعد إضافة البوليمر 30.686 nm.
- تهنز المواقع الرباعية والمواقع الثمانية في الفرايت السداسي المدروس بين cm^{-1} (400-600) كما تشير المراجع الخاصة بدراسة أطياف IR لأنواع مختلفة من الفرايت السداسي.
- يبلغ معدل معامل الامتصاص الخطي في مجال الترددات المختارة cm^{-1} (7.28- 11.38) بينما معامل التخماد بين (k=0.0010- 0.0016) على الترتيب.

المراجع

- [1] M. SHIMADA and S., Magnetics, IEEE Transactions on Magnetics, 35 ,1999, 3154.
- [2] I. WANE, A. BESSAUDOU et al, Thick barium hexaferrite (Ba-M) films prepared by electron-beam evaporation, Journal of Magnetism and Magnetic Materials, 211,2000,309.
- [3] Turchenko, V.A.; Trukhanov, S.V.; Balagurov, A.M.; Kostishyn, V.G.; Trukhanov, A.V.; Panina, L.V.; Trukhanova, E.L. Features of crystal structure and dual ferroic properties of $BaFe_{12-x}Me_xO_{19}$ (Me = In^{3+} and Ga^{3+} ; $x = 0.1-1.2$). J. Magn. Mater. 2018, 464, 139–147.
- [4] E. W. GORTER and E. DAVID, IEEE Transaction on Magnetic Materials, 104 ,1957,2252257.
- [5] Y. GOTO and K. TAKAHASHI, Japan Society of Powder and Powder Metallurgy , 17,1971, 197.
- [6] K.K.POHATGI-MULKERJEE., 1978 -“Fundamentals of Photochemistry”,Wiley Eastern Limited.
- [7] ROZA ABDUL-RAZAG AL-AGAR., 2003- Synthesis , characterization and conductivity evaluation of some new hetro cyclic polymers,M.Sc Thesis, Basrah University,P.59.
- [8]O.STENZEL, "ThePhysics of Thin Film Optical Spectra",Springer-Verlag Berlin Heidelberg ,Germany, 2005.
- [9] A.M.ABO EL ATA,S.M.ATTIA,D.EL KONY, A.H. HAMMADI, Spectral, initial magnetic permeability and transport studies of $Li_{0.5-0.5x}Co_xFe_{2.5-0.5x}O_4$ spinel ferrite , journal of Magnetism and Magnetic Materials,2005 ,295 ,p.28-36.
- [10] HEMEDA O.M.,ABD EL -ATI M. I, Spectral studies of $Co_{0.6}Zn_{0.4}Mn_xFe_{2-x}O_4$ at different soaking times . Materials Letters, 2001, Vol. 51,p.42-47.
- [11] X. MENG, Y. ZHU, S. XU, T. LIU, Facile synthesis of shell-core polyaniline/SrFe₁₂O₁₉ composites and magnetic properties· RSC Adv. 6 ,2016, 4946–4949.
- [12] A. OHLAN, K. SINGH, A. CHANDRA, S.K. DHAWAN, Microwave absorption behavior of core-shell structured poly (3,4-ethylenedioxy thiophene)-barium ferrite nanocomposites ,ACS Appl. Mater. Interfaces 2 ,2010,927–933.
- [13] S.N. Ezzati, M. Rabbani, J. Alloy. Compd., 646 ,2015, 1157–1164.
- [14] M. Al-Jallad, Y. Atassi, E. Mounif, M. Aressy, J. Appl. Polym. Sci., 132 ,2015, 41618–41624.
- [15] A.H. Elsayed, M.S. MohyEldin, Int. J. Electrochem. Sci., 6 ,2011, 206–221.
- [16]VARSHA C.CHAVAN, SAGAR E. HIRSATH,MAHESHKUMAR L. MANE and SURENDRA S. MORE., 2015- “Effect of Dy³⁺ substitution on the structural properties of barium hexaferrite nanoparticles” Journal of Chemical and Pharmaceutical Research, 7;4:675-678.
- [17] G.R. GORDANI,A.GHASEMI,A.SAIDI., 2014-Enhanced magnetic properties of sub-stituted Sr-hexa ferrite nanoparticles synthe sized by co-precipitation method,Ceram.Int.40:4945–4952.
- [18] PING XU,XIJIANG HAN, MAOJU WANG,J. Phys. Chem. C., -2007 , 111 ;16, 5866-5870.
- [19] MANJU SHARMA, S. C.KASHYAP, H.C. GUPTA., Physica B 448; 24–28,2014.
- [20] DAMING CHEN,YINGLI LIU, YUANXUN LI, KAI YANG,HUAIWU ZHANG., Journal of Magnetism and Magnetic Materials, 2013,337–338 ; 65–69.

- [21] K. PRAVEENA, M. BOUOUDINA, M. PENCHAL REDDY, S. Srinath, R. SANDHYA, SADHANA KATLAKUNTA., Journal of Electronic Materials, 2015- 44 ; 524-531.
- [22] D. GARMO'S. , "Materials and Processes in Manufacturing" Wiley, 10th Edition.
- [23] S.K. CHAWLA, R.K. MUDSAINIYAN, S.S. MEENA, S.M. YUSUF., 2014, Sol-gel synthesis, structural and magnetic properties of nanoscale M-type barium hexa ferrites $BaCo_xZr_xFe_{12-2x}O_{19}$, J. Magn. Mater. 2007- 350; 23-29.
- [24] J. LUO, P. SHEN, W. YAO, C. JIANG, J. XU, Synthesis and Characterization and microwave absorption properties of reduced graphene oxide/strontium ferrite/polyaniline nanocomposites, Nanoscale Res. Lett. 11, 2016, 141.
- [25] Abdul Raouf Al Dairy, Lina A. Al-Hmoud, and Heba A. Khatatbeh, Magnetic and Structural Properties of Barium Hexaferrite Nanoparticles Doped with Titanium, Symmetry 2019, 11, 732