

Correlation Between Mechanical Properties of Garnet Ferrite Crystal $Dy_3Fe_5O_{12}$ with their IR Data

Dr. Ibrahim Ali*

(Received 29 / 5 / 2023. Accepted 2 / 10 /2023)

□ ABSTRACT □

This research aims to prepare samples of garnet ferrite $Dy_3Fe_5O_{12}$ doping with Ni – content ($x=0.00;0.15; 0.25; 0.35; 0.45; 0.50$) using the ceramic method. Then, we used the Nelson Riley method for determining lattice parameter **a** which has an important role to estimate the theoretical X-ray density and the stiffness modulus. In addition, the IR spectra have been taken and their data correlated with the mechanical properties of these samples.

It was shown that the pure spin magnetic percentage of nickel at the expense of the dysprosium ion.

Keywords: Garnet ferrite-Nelson Riley Method- mechanical properties

Copyright



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

*Associate Professor, Department of physics- Faculty of science-Tishreen University-Lattakia-Syria.
ibraheemali@gmail.com

الربط بين الخصائص الميكانيكية

لبلورة الفرايت العقيقي $Dy_3Fe_5O_{12}$ مع بيانات IR

د. إبراهيم علي*

(تاريخ الإيداع 29 / 5 / 2023. قُبِلَ للنشر في 2 / 10 / 2023)

□ ملخص □

يهدف هذا البحث إلى تحضير عينات من الفرايت العقيقي $Dy_3Fe_5O_{12}$ المشاب بالنيكل عند النسب Ni- content (x=0.00;0.15; 0.25; 0.35; 0.45; 0.50) بالطريقة السيراميكية، ثم استخدام طريقة Nelson Riley لتحديد بارامتر الشبكة a الذي يدخل في تحديد الكثافة النظرية للعينة المحضرة وفي تحديد معاملات الصلابة. علاوة على ذلك، اخذت أطياف IR ثم ربطت بياناتها مع الخصائص الميكانيكية لهذه العينات. وتبين تناقص العزم المغناطيسي السبيني الصرف مع زيادة نسبة النيكل على حساب ايون الديسبيروسيوم.

الكلمات المفتاحية: فرايت عقيقي - طريقة Nelson Riley - خصائص ميكانيكية.

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



حقوق النشر

CC BY-NC-SA 04

* أستاذ مساعد - قسم الفيزياء - كلية العلوم - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية. ibraheemali@gmail.com

مقدمة:

الفرايت عبارة عن خليط أكاسيد المعادن مع الحديد الثلاثي التكافؤ كمكون أساسي له

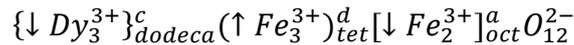
1- الفرايت العادي ذي البنية المكعبية (السينيل) وصيغته AB₂O₄ حيث A معدن ثنائي التكافؤ.

2- الغارنيت وصيغته M₃Fe₅O₁₂.

3- السداسي (مواد سيراميكية) وصيغته AB₁₂O₁₉.

ويعتمد توزيع الأيونات في الفرايت على طريقة التحضير ودرجة حرارة المعالجة وكذلك على نصف قطر الأيون المعدني والتوزيع الإلكتروني للأيونات، بالإضافة الى الطاقة الالكتروستاتيكية للشبكة البلورية. وتلعب أيونات Fe³⁺ الدور الرئيس في الصفة المغناطيسية للفرايت المدروس.

وبيّنت الدراسات السابقة [1, 2, 3] أن الفرايت العقيقي يتبلور ببنية مكعبة، ويأخذ الصيغة الكيميائية Dy₃Fe₅O₁₂ وتحتوي وحدة الخلية الابتدائية على ثماني صيغ من هذه الصيغة الكيميائية، أي تحتوي على 24 أيوناً من Dy³⁺ و40 أيوناً من Fe³⁺ و96 أيوناً من O²⁻، وبالتالي يكون مجموع الأيونات في وحدة الصيغة 160 أيوناً. تتوزع أيونات الفرايت العقيقي على مواقع اثنا عشرية dodecahedral رمزها c، ومواقع ثمانية الوجوه octahedral رمزها a، ومواقع رباعية الوجوه tetrahedral رمزها d كما في الصيغة التالية حيث تشير لأسهم إلى اتجاه السبين [4,5]:



تعبّر ثوابت المرونة لمادة ما عن استجابتها للإجهاد المطبق عليها أو الاجهاد اللازم للحفاظ على الحالة الموجودة بها المادة حيث تحدد بيانات المرونة مقاومة المادة لشروط الاجهادات والانفعالات المتنوعة. وتشير هذه البيانات الى قوى الترابط بين الذرات او الايونات المكوّنة لهذه المادة.

تستخدم المعاملات التالية في التطبيقات الهندسية [6,7]:

1. **ثوابت الصلابة (C_{ij}) stiffness modulus**: وتعبّر عن قياس صلابة المادة، وتشير القيم الكبيرة لهذه الثوابت الى حجم الطاقة المصروفة لتشوه الجسم الصلب، أي تشير الى قساوة الجسم الصلب. ونحصل على قيمة هذه الثوابت في البلورة المكعبية بقسمة متوسط ثوابت قوة المرونة K_{av} بين الذرات المهتزة في المواقع الرباعية، والثمانية الى بارامتر الشبكة البلورية a.

$$C_{11} = \frac{K_{av}}{a} \quad (1)$$

$$K_{tet} = 7.62 \times M_A \times v_{tet}^2 \times 10^{-6}; \frac{N}{m^2} \quad (2)$$

$$K_{oct} = 10.62 \times (M_B/2) \times v_{oct}^2 \times 10^{-6}; \frac{N}{m^2} \quad (3)$$

$$K_{av} = \frac{K_{tet} + K_{oct}}{2} \quad (4)$$

حيث M_A و M_B الكتلة المولية لكاتيونات المواقع الرباعية والثمانية، و v_{tet} و v_{oct} العدد الموجي للمواقع الرباعية والثمانية على الترتيب [8].

2. **معامل الانضغاط الحجمي (B) bulk modulus**: ويشير الى الاجهاد σ مع التغير النسبي للحجم أي:

$$B = \frac{1}{3}(C_{11} + 2C_{12}) \quad (5)$$

ويمكن أن تتساوى C_{11} مع C_{12} في البلورات المتماثلة المناحي.

3. **معامل القص (G) rigidity modulus**: تعطي علاقته بدلالة سرعة الموجة المرنة المستعرضة في البلورة V_t وكثافة المادة المأخوذة بالأشعة السينية d_{X-ray} :

$$G = d_{X-ray} V_t^3 \quad (6)$$

4. **نسبة بواسون (p) Poisson ratio**: هي النسبة بين الانفعال الاقفي إلى الانفعال الطولي:

$$p = \frac{(3B - 2G)}{(6B + 2G)} \quad (7)$$

5. **معامل يونغ (E) Youngs modulus**: النسبة بين الاجهاد المطبق والانفعال المتولد:

$$E = 2G(1 + p) \quad (8)$$

6. **السرعات الموجية المرنة الطولية V_l ، والعرضية V_t ، والمتوسطة V_m** :

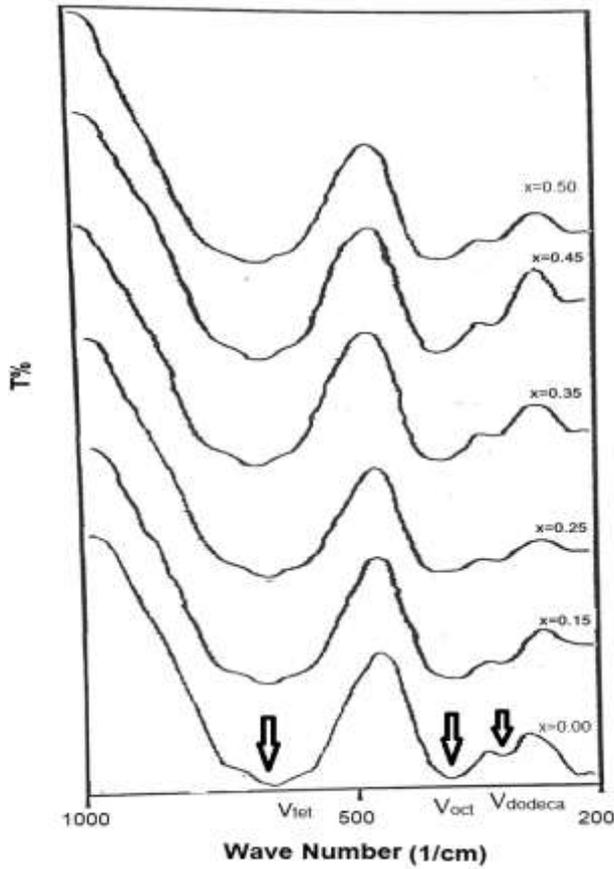
$$V_l = \left(\frac{C_{11}}{d_{X-ray}}\right)^{1/2} \quad (9)$$

$$V_t = \frac{V_l}{\sqrt{3}} \quad (10)$$

$$V_m = \frac{1}{3} \left(\frac{2}{V_l^3} + \frac{1}{V_t^3}\right)^{-1/3} \quad (11)$$

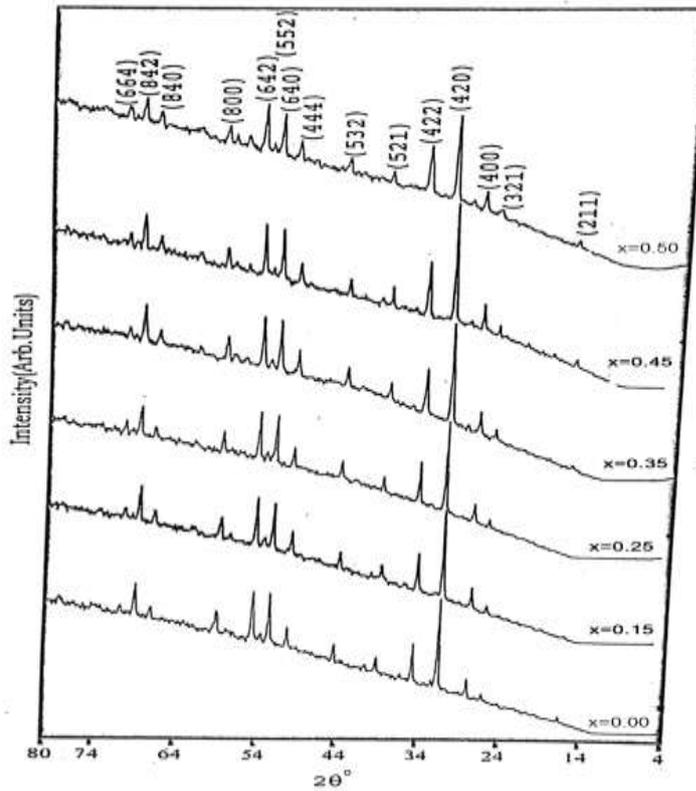
7. **درجة حرارة ديبي (θ_D) Debye temperature**: هي الدرجة الموافقة للاهتزاز الاعظمي للشبكة البلورية. وتعطى بدلالة متوسط العدد الموجي للموقعين الرباعي والثماني، وثابت بولتزمان k_B ، وسرعة الضوء C وثابت بلانك h بالعلاقة:

$$\theta_D = \frac{hcv_{av}}{k_B} \quad (12)$$



أهمية البحث وأهدافه:

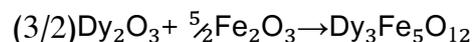
- تكمُن أهمية البحث في النقاط التالية:
- 1- تحديد بارامتر الشبكة باستخدام طريقة Nelson Riley للعينات المحضرة $Dy_3Fe_5O_{12}$ المشابهة بالنيكل.
 - 2- أخذ أطياف IR (الموضحة في الشكل المجاور) لهذه العينات ثم ربط بياناتها مع الخصائص الميكانيكية.
 - 3- تقدير درجة حرارة ديباي للمواقع المهتزة بطريقتين.
 - 4- تحديد مقدار تحمل هذه العينات الى الاجهادات الخارجية أثناء الاستخدام.



الشكل 2: XRD للفرايت المدروس

طرائق البحث ومواده:

تم تحضير العينة $Dy_3Fe_5O_{12}$ على هيئة مسحوق متجانس ناعم بخلط مسحوق الأوكسيدات Fe_2O_3, Dy_2O_3 ذات النقاوة 99% وفق التفاعل الآتي:

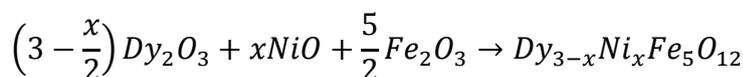


لتحضير عينة وزنها 7 غرامات نضرب هذا الوزن بالكسر الوزني لكل أوكسيد لتحديد الوزن اللازم من كل أوكسيد على حدة كما في الجدول 2.

بعد أن نأخذ الأوزان المطلوبة نقوم بطحنها في بوتقة عقيقه للحصول على مسحوق ناعم للغاية. وتليد الخليطة عند درجة حرارة 1423K لمدة ست ساعات في بوتقة سيليكيا باستخدام فرن كهربائي، ويتم تبريده ببطء إلى درجة حرارة الغرفة. ثم نكرر عملية الطحن للحصول على مسحوق ناعم.

بعد ذلك ضمنت القيم في الجدول 2.

معادلة تفاعل الحالة الصلبة لمكونات العينة:



عندما نريد تحضير عينة وزنها 7 g نضرب هذه القيمة بالوحدات الوزنية للحصول على الوزن المطلوب من كل أوكسيد. وبنفس الطريقة نحسب من اجل كل نسبة x داخله في العينة.

جدول 1: أوزان الأكاسيد المطلوبة بالنسبة لجميع العينات المدروسة

X	المركب	الوزن من كل أكسيد بالغمات			W _{tot}
		NiO	Dy ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	
0.00	Dy ₃ Fe ₅ O ₁₂	0	559.500	399.25	958.7500
0.15	Ni _{0.15} Dy _{2.85} Fe ₅ O ₁₂	11.2035	531.525	399.25	941.9785
0.25	Ni _{0.25} Dy _{2.75} Fe ₅ O ₁₂	18.6725	512.875	399.25	930.7975
0.35	Ni _{0.35} Dy _{2.65} Fe ₅ O ₁₂	26.1415	494.225	399.25	919.6165
0.45	Ni _{0.45} Dy _{2.55} Fe ₅ O ₁₂	33.6105	475.575	399.25	908.4355
0.50	Ni _{0.50} Dy _{2.50} Fe ₅ O ₁₂	37.345	466.250	399.25	902.8450

النتائج والمناقشة:

تحديد بارامتر الشبكة a: تم تحديد بارامتر الشبكة بواسطة المعادلتين (14) و (15) علماً أن $\lambda = 1.5411 \text{ \AA}$ [9].

بالرسم البياني بين بارامتر الشبكة المحسوب عند كل قمة في طيف الانعراج وفق قانون براغ، وقيم تابع Nelson Riley f(θ) المحسوبة وفق المعادلة (15):

$$2d_{hkl}\sin\theta = n\lambda \quad (13)$$

$$a = d_{hkl}(h^2 + k^2 + l^2)^{1/2} \quad (14)$$

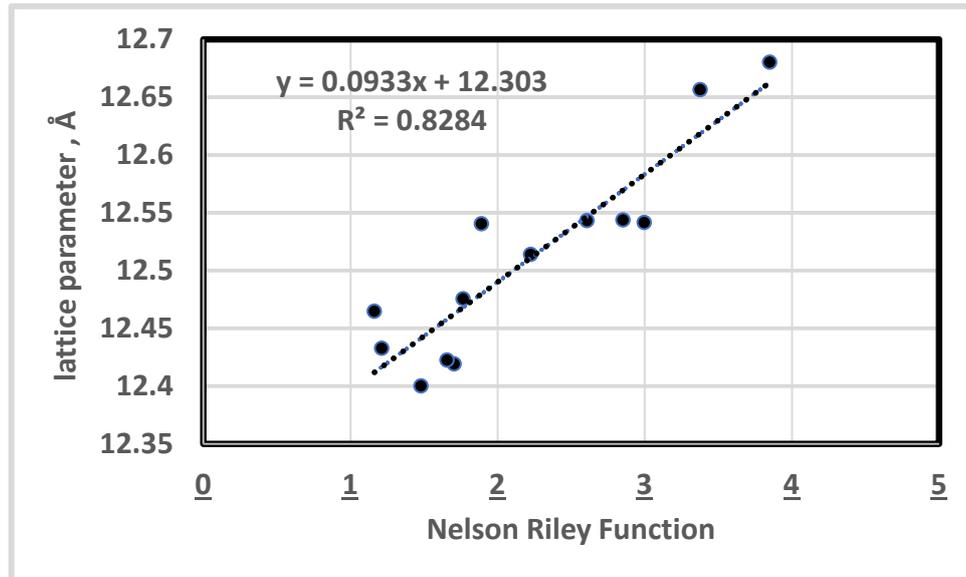
$$f(\theta) = \frac{1}{2} \left(\frac{\cos^2 \theta}{\theta} + \frac{\cos^2 \theta}{\sin \theta} \right) \quad (15)$$

جدول 2 يحتوي على الأوزان المطلوبة من كل أكسيد عند النسبة $x=0.15$ ، والوحدات الوزنية U_i والأوزان المطلوبة من كل أكسيد لتشكيل عينة وزنها 7g:

oxides	Dy_2O_3	NiO	Fe_2O_3
WO _i (gr) i=1,2,3	373.00	74.69	159.70
Required weight from each oxide	$W_1=(3-x/2)W_{O,1}$ $W_1=531.5250$	$W_2=xW_{O,2}$ $W_2=11.2035$	$W_3=5/2W_{O,3}$ $W_3=399.2500$
W _{tot}	W_{tot}=W₁+W₂+W₃=941.25 gr		
$U_i=W_i/W_{tot}$	$U_1 = 0.01189$	$U_2=0.5642$	$U_3 = 0.416$
$7U_i$	0.10168	3.96785	2.93045

جدول 3: يحتوي على القيم المأخوذة من مخططات أشعة - X.

(hkl)	d, Å	θ°	f(θ)	a, Å
400	3.17	14.0650	3.8507	12.6800
420	2.83	15.7963	3.3782	12.6561
422	2.56	17.5134	2.9972	12.5413
431	2.46	18.2498	2.8544	12.5435
521	2.29	19.6582	2.6091	12.5428
532	2.03	22.3022	2.2261	12.5137
444	1.81	25.1896	1.8921	12.5400
640	1.73	26.4422	1.7677	12.4752
552	1.69	27.1186	1.7048	12.4189
642	1.66	27.6501	1.6573	12.4223
800	1.55	29.8019	1.4804	12.4000
840	1.39	33.6559	1.2140	12.4325
842	1.36	34.5015	1.1626	12.4646



الشكل 3: ثابت الشبكة مقدراً بـ Å بتابعة قيم تابع Nelson Riley f(θ)

يمثل تقاطع المستقيم الحاصل مع المحور الشاقولي بارامتر الشبكة $a=12.30 \text{ \AA}$.
 وتم حساب العزم المغناطيسي السبيني μ_s بدلالة عزم مغنطون بور μ_B من العلاقة
 $\mu_s = gM_s\mu_B$ حيث $g=2$ عامل لاندي للحركة السبينية، M_s السبين الكلي للإلكترونات الفردية غير المترابطة في المدارات الفرعية الخارجية [11,10].

جدول 4: توزيع الكاتيونات الداخلة في تركيب الفرايت العقيقي

x	Cation Distribution	M_{tet}	M_{oct}	$\mu_s (\mu_B)$
0.00	$\{Dy_3 \downarrow\}(Fe_2 \uparrow)[Fe_3 \downarrow]$	0.0000	279.25	10.00
0.15	$\{Dy_{2.85} \downarrow\}(Fe_{0.15} \uparrow)[Ni_{0.15}Fe_{4.85} \downarrow]$	8.3775	279.676	9.40
0.25	$\{Dy_{2.75} \downarrow\}(Fe_{0.25} \uparrow)[Ni_{0.25}Fe_{4.75} \downarrow]$	13.9625	279.96	9.00
0.35	$\{Dy_{2.65} \downarrow\}(Fe_{0.35} \uparrow)[Ni_{0.35}Fe_{4.65} \downarrow]$	13.9625	279.96	8.60
0.45	$\{Dy_{2.55} \downarrow\}(Fe_{0.45} \uparrow)[Ni_{0.45}Fe_{4.55} \downarrow]$	25.1325	280.53	8.20
0.50	$\{Dy_{2.50} \downarrow\}(Fe_{0.50} \uparrow)[Ni_{0.50}Fe_{4.50} \downarrow]$	27.9250	280.67	8.00

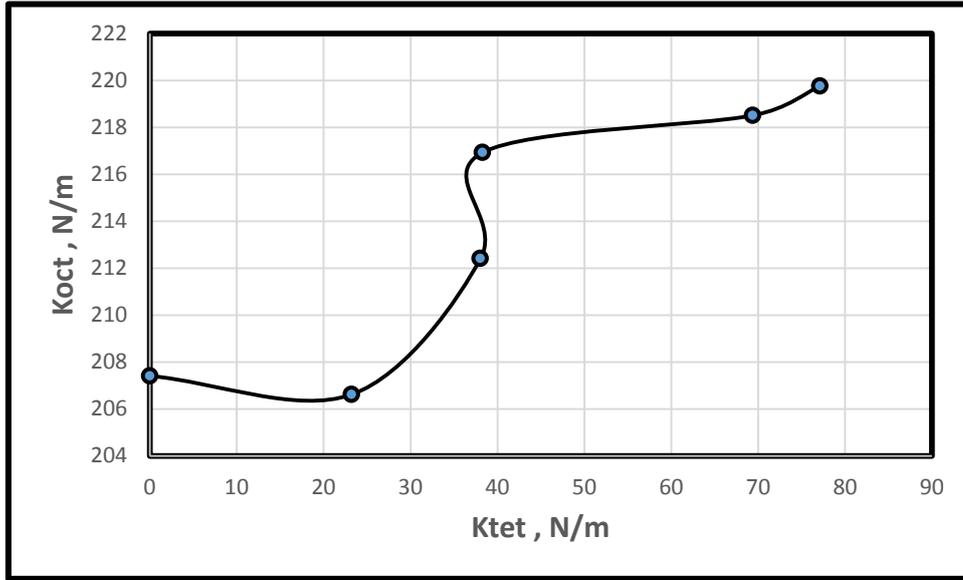
تم حساب ثابتتي القوة في الموقعين الرباعي والثماني من المعادلات (1 - 4):

جدول 5: العدد الموجي مقدراً بـ cm^{-1} للمواقع الرباعية والثمانية، وثابتتي قوة المرونة في الموقعين الرباعي والثماني .

x	V_{tet}, cm^{-1}	V_{oct}, cm^{-1}	V_{av}, cm^{-1}	$K_{tet}, N/m$	$K_{oct}, N/m$	$K_{av}, N/m$
0.00	597	374	485.5	0.00	207.41	103.70
0.15	603	373	488.0	23.21	206.61	114.91

0.25	598	378	488.0	38.05	212.41	125.22
0.35	600	382	491.0	38.30	216.92	127.61
0.45	602	383	492.5	69.40	218.50	143.95
0.50	602	384	493.0	77.11	219.76	148.43

لدراسة سلوك ثابتي القوة في الموقعين الرباعي والثماني رسمنا $K_{oct} = f(K_{tet})$ كما في الشكل 2:



الشكل 4: ثابت القوة في الموقع الثماني بدلالة ثابت القوة في الموقع الرباعي

نلاحظ من هذا الشكل أنه توجد علاقة خطية بين الثابتين بعد القيمة $K_{tet}=40$ N/m ويرجع ذلك الى زيادة كتلة النيكل في المواقع الثمانية مع زيادة كتلة الحديد في المواقع الرباعية حسب صيغة الفرايت.

جدول 6: يتضمن قيم المعاملات الميكانيكية في المعادلات (1 - 12)

B, GPa	V_l , m/s	V_t , m/s	V_m , m/s	G, GPa	ρ	E, GPa	θ_D°
84.31	3509.18	2026.02	1558.41	28.1	0.48	83.1760	699.32
93.43	3726.70	2151.61	1655.00	31.14	0.48	92.1744	702.92
101.81	3913.65	2259.54	1738.01	33.94	0.48	100.4624	702.92
103.75	3974.71	2294.80	1765.13	34.58	0.48	102.3568	707.24
117.04	4247.43	2452.25	1886.23	39.01	0.48	115.4696	709.40
120.68	4326.38	2497.84	1921.29	40.23	0.48	119.0808	710.12

الاستنتاجات والتوصيات:

نستنتج من هذا العمل النقاط الرئيسية التالية:

- يبلغ بارامتر الشبكة للعينة الأولى عند النسبة $x=0.00$ القيمة $a=12.30\text{\AA}$
- حددت سرعة الأمواج المرنة الطولية والعرضية كمتوسط بالقيمتين $V_t =$ و $V_l = 3949.69\text{ m/s}$
- 2280.95 m/s ، أي أن الأمواج الطولية أسرع من الأمواج العرضية .
- يتناقص العزم المغناطيسي السبيني الصرف مع زيادة نسبة النيكل على حساب ايون الديسبيروسيوم.
- حددت درجة حرارة ديباي الموافقة للاهتزاز الاعظمي للبلورة بالقيمة $\theta_D=705.23$ درجة مئوية.

References:

- [1] SHINDE S.S, crystal structure and magnetic interactions of ferrites, International Journal of Science and Research,2319-7064,2015.
- [2] AKTHER HOSSAIN and et., structural AC and DC magnetic properties of spinel ferrite, ScienceDirect, Elsevier, 2007
- [3] SALLY MAHMOUD DEWIDAR, effect of substitution of transition elements ions on physical properties of some ferrites, Master Thesis, Tanta Uni.,2007
- [4] YATTINAHALLI S.S., KAPATKAR S.B., MATHAD S.N., structural and mechanical properties of a nano-ferrite, Adv.Sci. Focus, Vol.2, No 1, 2014
- [5] Angila Maria Merals. Evaluation of the Substituting Cation on the Structural and Morphological Properties of the new garnet, No26-85, November 14,2019.
- [6] NguyetThiThuyDao,DouongPhucNguyen and HienDucThan.Preparation and study of ferrite Garnet $R_3Fe_5O_{12}$ ($R=Y,Gd,Dy$) nanoparticles.Vol:15 No:2(2012) Natural Sciences.
- [7] J.M.D.Coey, "Magnetism and Magnetic Materials" Cambridge University Press, (2009).
- [8] **A.A. Sattar, H.M.Elsayed .A.M. Faramway** , comparative study of structure and magnetic properties of micro – and nano-sized $Gd_x Y_{3-x} Fe_5O_{12}$ garnet ferrite, ELSEVIER, Journal of magnetism and magnetic material ,2016.
- [9] **Majid Niaz Akhtar, et**, Al doped spinel and garnet nanostructured ferrite for microwave frequency C and X – band applications, ELSEVIER, Journal of physics and chemistry of solids ,2018.
- [10] **H.Dawoud et al.**, A structural Study of Cu-Zn Ferrites by Infrared Spectra ,J. Al-Aqsa Unv., 10 (S.E.)2006
- [11] Al-aaraj B.,Ali I., Myia M., Calculations in saturation magnetism of Dy- garnet ferrite, Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies,(6),(44). 2022