------مجلة علوم الرافدين، المجلد 24، العدد 2، ص91-100، 2013------

تأثير الشكل الهندسي للملف وموقعه على الأداء البصري للعدسة المغناطيسية اللا متناظرة

منى عبد الكريم الخشاب **رنا وليد الحيالي**

قسم الفيزياء

كلية العلوم

جامعة الموصل

(تاريخ الاستلام 2/ 10 /2012 ؛ تاريخ القبول 7 /11 / 2012)

الملخص

صممت عدسة مغناطيسية احادية القطب لا متناظرة وتم تهييجها باستخدام ملفات بأشكال هندسية مختلفة وذات مساحات متساوية مع تغيير مواقعها بالنسبة لقطب العدسة، وتمت احتساب خواصها البؤرية الشيئية وقدرة تحليلها ووجد ان الشكل الهندسي للملف وموقعه يلعبان دوراً كبيراً في تهييج قطب العدسة. وتم مقارنة الأداء البصري لهذه العدسات عند تهيج ثابت (NI=20 kA-t) وتبين ان العدسة L4 قد تفوقت وحققت أفضل النتائج بالمقارنة مع بقية العدسات.

الكلمات الدالة: عدسة شيئية لامتناظرة، الشكل الهندسي للملف وموقعه، الأداء البصري.

The Effect of the Geometrical Shape and Position of the Coil on the Optical Performance for Asymmetrical Magnetic Lens

Muna A. Al-Khashab **Rana W. Al-Hialey**

Department of Physics

College of Science

University of Mosul

ABSTRACT

Asymmetrical excited single pole magnetic lens has been designed, using different geometrical coils of equal areas and at different positions with respect to the lens pole.

The objective focal properties and its resolution were calculated. It was found that the geometrical shape of the coil and its position play an important role for exciting the lens pole.

It was noticed that the lens L4 at constant excitation (NI=20 kA-t) shows better results in comparison with the other lenses.

Keywords: Asymmetrical objective lens, the coil geometrical shape and position, the optical performance.

المقدمة

التطورات التكنولوجية والإمكانيات الحديثة للأجهزة الالكترونية البصرية من ضمنها المجهر الالكتروني ذات تأثير واضح ليس فقط على تصميـم العدسـات فحسب ولكن على الأداء البصري للأجهزة الالكترونية بشكل عام وبالتالي على قدرة تحليلها والتي تتحدد بالخواص البصـرية للعدسة الشيئية (Hawkes, 1972).

صممت العدسة المغناطيسية بأشكال هندسية مختلفة ووجد ان أقطاب العدسة الشيئية ذات تأثير كبير على تقليل الزيغين الكروي واللوني (Al-Obaidy, 1996). كما درس تأثير شكل وموقع الملف على الخواص البصرية للعدسة المغناطيسية الثنائية والاحادية القطب المتناظرة من قبل (Al-Khashab, 2001).

كمـــــا تـــم اســـــتقصاء الشـــكل الهندســـي الأمثل لأقطاب العدســـة الثنائيـــــة القطب المتناظـــرة من قبل (Cleaver, 1980) وللعدسة ثنائية القطب اللامتناظرة للباحث (Wenxiong, 1988).

ويمكن تقليل الزيوغ الشيئية في العدسة الالكترونية من خلال الحصول على كثافة فيض ذي ذروة عالية لشدة المجال المغناطيسي وعرض نصفي قليل (Mulvey, 1982)، كما أن توزيع كثافة الفيض المغناطيسـي المحوري للعدسة المغناطيسـية الأحادية القطب اللامتناظـرة يزداد ببطء حتى يصل قيمته العظمى عند وجه القطب ثم يقل بشكل حاد داخل تركيب القطب نفسه (Juma and Mulvey, 1980).

كمـا درس تأثيـر الشـكـل الهندسـي لوجـه قطـب العدسة الشـيئيـة المركبة من قبـل كـلٍ من (Abd-Hujazie, 2006) و(Al-Khashab and Al-Abdullah, 2006). وفي السـنوات القليـلـة المـاضيـة اُجريـت تجـارب نظريـة وعمليـة من قبــل (Al-Jumayli, 2010). فضـلاً عن (Al-Khashab and abd-Hujazie, 2010) الذي استخدم فيها عدسة مغناطيسية أحادية القطب وثنائية القطب بشكل مقطع مخروط ناقص ومتهيجة بملفات ذات مقطع عرضي مستطيل (Li Wen-ping ***et al***., 2009) الشكل مصممة للطاقات الواطئة.

يهدف البحث الجاري الى تصميم أربع نماذج من العدسات المغناطيسية الشيئية وايجاد تأثير شكل وموقع الملف لهذه العدسات على توزيع المجال المغناطيسي ومسار خطوط الفيض داخل تركيبها، لأجل تحسين الخواص البؤرية الشيئية وقدرة التحليل للعدسات المصممة للحصول على أفضل أداء بصري عند تهيج ثابت.

التصميم الهندسي والأداء البصري للعدسة

تعمل العدسة المغناطيسية الشيئية بتكوين الصورة الأولية للنموذج عن طريق تبئير الحزمة الالكترونية بعد اختراقها للنموذج، وتعاني هذه العدسة من عيوب أهمها معامل الزيغ الكروي (c_s) ومعامل الزيغ اللوني(c_c). ولتقليل قيمتي المعاملين يتم استخدام العدسة الأحادية القطب لأنها تتيح فرصة اكبر لوضع النموذج بالقرب من قطب العدسة أي عند أعلى ذروة للمجال المغناطيسي وهذا بدوره يقلل من قيمة الزيوغ، كما وتعد العدسة الشيئية من أهم عدسات المجهر الالكتروني لأنها تحدد قدرة تحليله (Hawkes, 1972)، حيث ان:

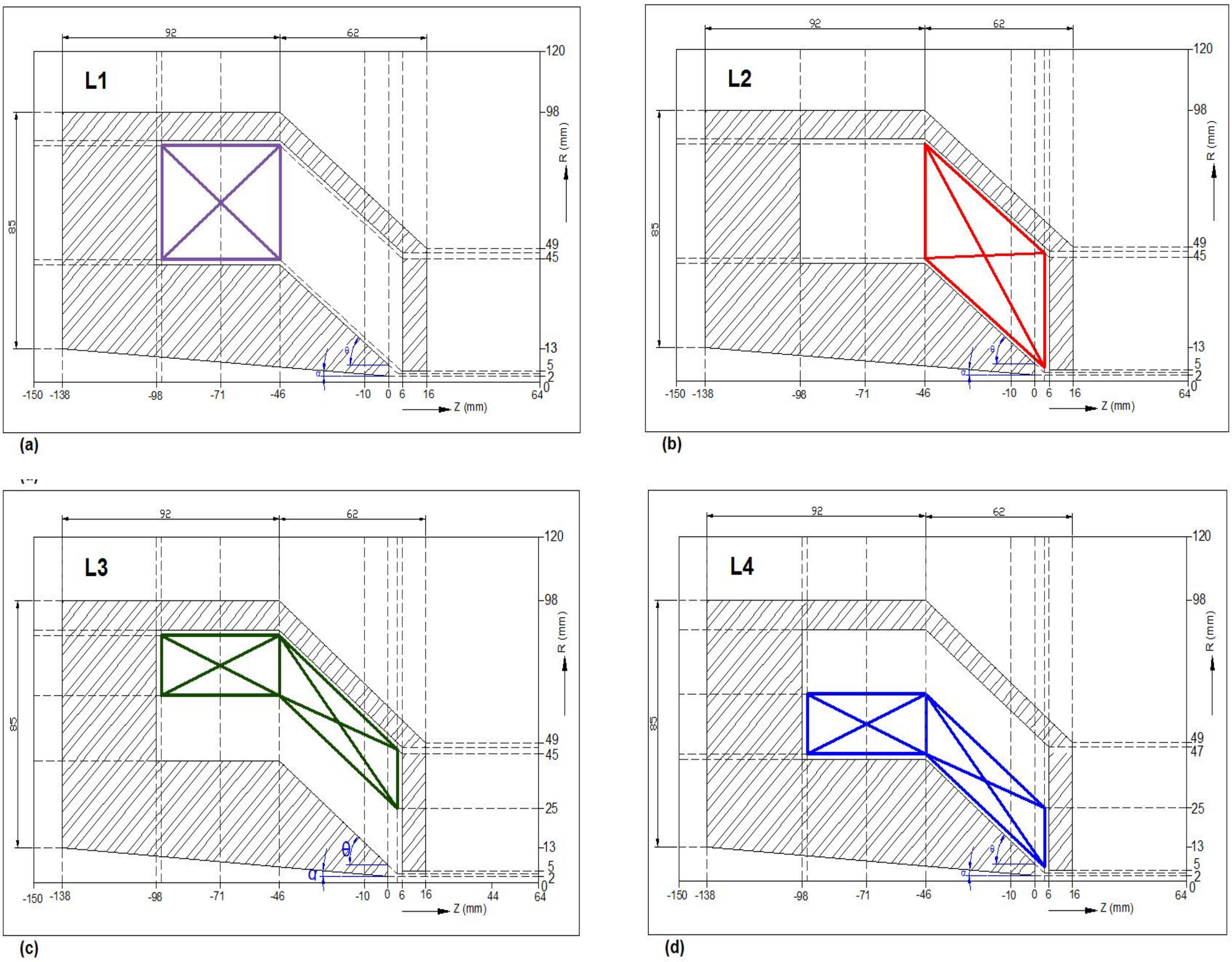
$$\delta_p = 0.71(c_s \lambda^3)^{1/4} \qquad \text{.......................... (1)}$$

δ_p مسافة التحليل وتتناسب عكسياً مع قدرة التحليل وλ الطول الموجي للإلكترون ويعطى بالعلاقة الاتية:

$$\lambda = (1.5/V_r)^{1/2} \quad \text{(nm)} \qquad \text{............................(2)}$$

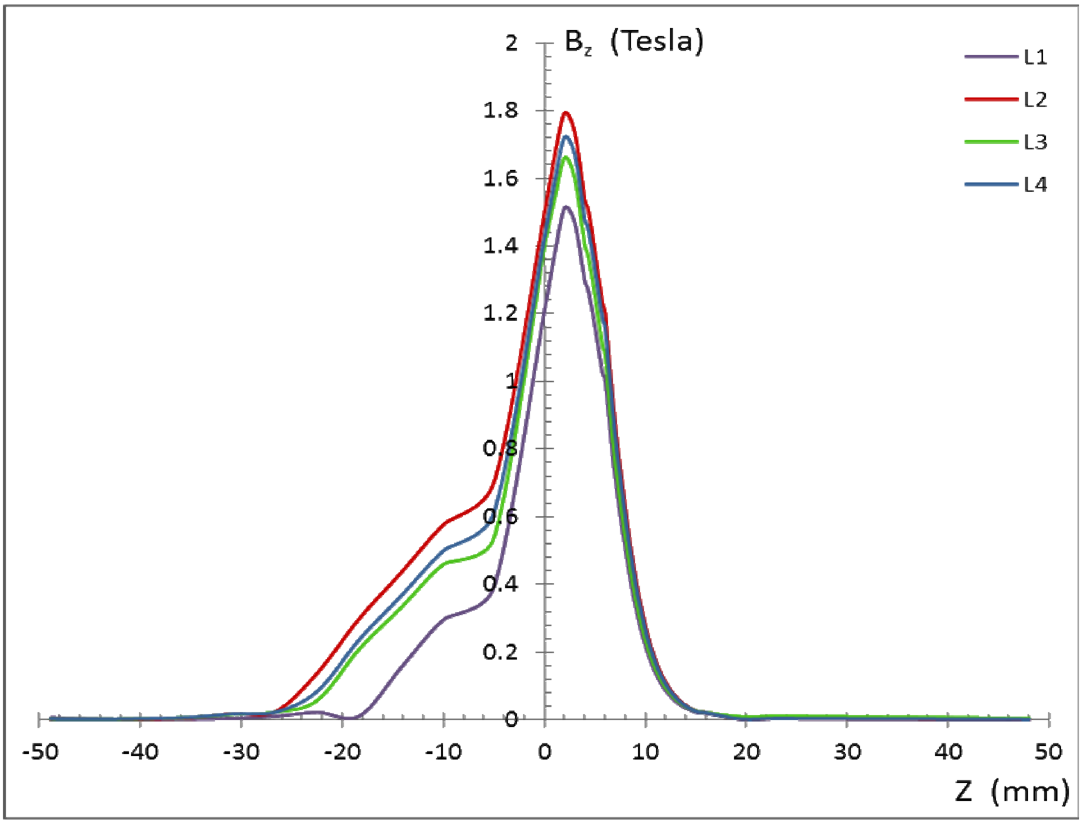
V_r فولتية التعجيل المصححة نسبياً.

لأجل دراسة تأثير شكل وموقع الملف على الأداء البصري للعدسة المغناطيسية الشيئية اللامتناظرة تم اقتراح أربعة نماذج من العدسات سميت (L1, L2, L3, L4) المتماثلة في شكل قطبها وجميع الابعاد الهندسية للحديد ومتساوية في مساحة الملف والمختلفة في شكل وموقع ملفاتها فضلاً عن توزيع خطوط المشبكات عليها كما هو موضح في الشكل(1). حيث نلاحظ في الشكل(1a) يكون المقطع العرضي للملف مستطيل ويقع بعيداً عن القطب نحو الداخل وأُطلق على هذه العدسة L1، وفي الشكل(1b) يكون المقطع العرضي للملف متوازي الأضلاع ويقع على جانبي القطب وقريباً من المحور البصري وسميت L2، أما في الشكل(1c) فيكون المقطع العرضي للملف مركباً من مستطيل ومتوازي أضلاع ويقع بعيداً عن المحور البصري وقطب العدسـة باتجاه الحزام الحديدي وتمثل L3، أما الشكل(1d) فيأخذ نفس الشكل السابق ولكن موقعه قريباً من المحور البصري وقطب العدسة واطلق على هذه العدسة L4.



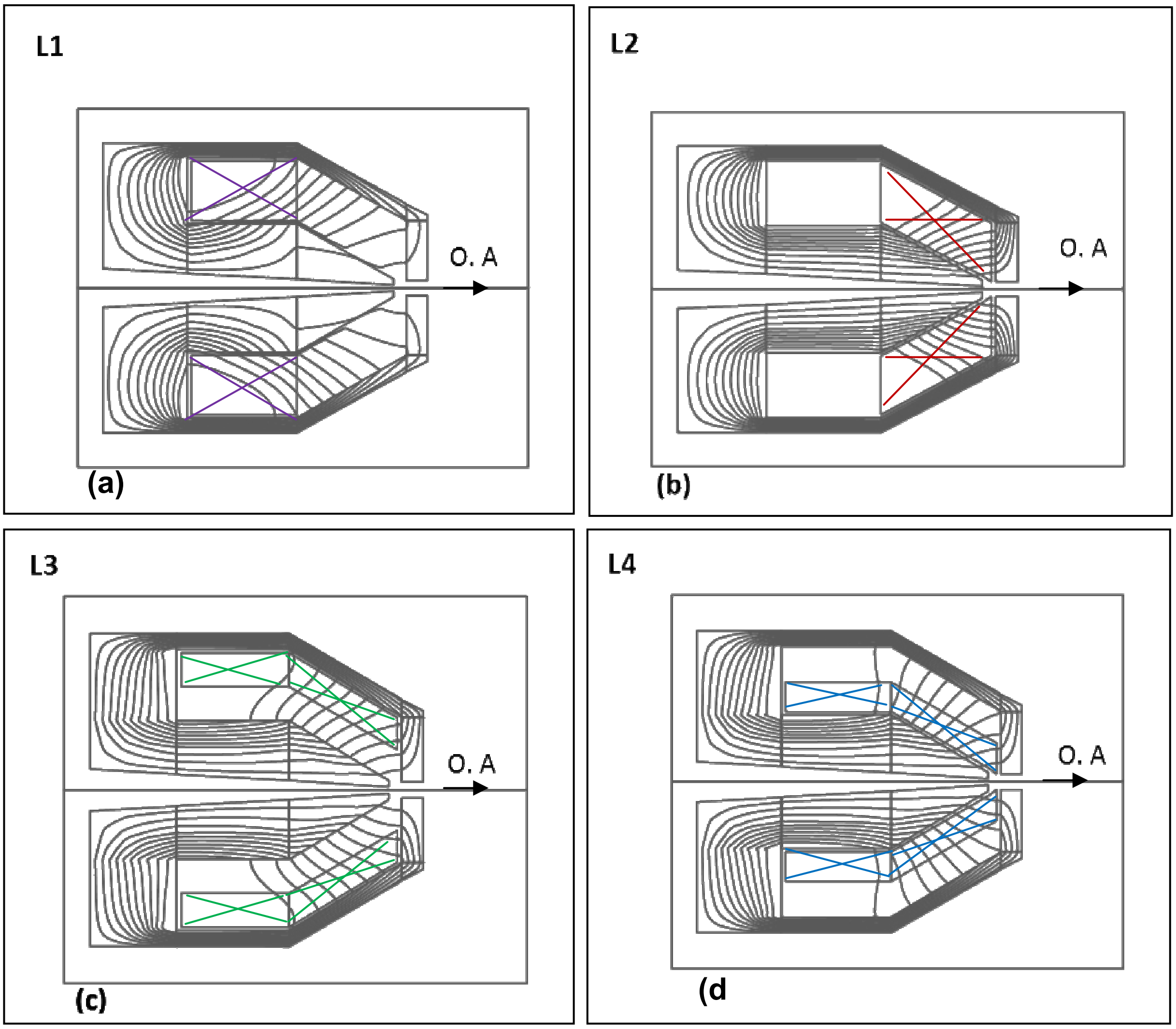
الشكل1: المخطط والأبعاد الهندسية للعدسات المغناطيسية ذات الملفات المختلفة (α=4°) و (Θ=38°).

تم استخدام برنامج AMAG (Lencovà, 1986) المعتمد على طريقة العناصر المتناهية و تم توزيع خطوط المشبكات لأجل دراسـ ـ ـ ـة الأداء البصـ ـ ـري للعدسات المقترحة، حيث تم احتسـ ـاب توزيع كثافة الفيض المغناطيسـ ـي المحوري (B_Z) لهذه العدسـ ـات عند قيم تهيجات مختلفة وتم اختيار أفضل قيمـ ـة تهيـ ـ ـ ـج تعمل بها العدسـ ـ ـ ـة وهي (NI=20 kA-t) كـ ـما هو موضـ ـح في الشـ ـكل(2). لقد حصلت العدسة L2 على أعلى ذروة للفيـ ـض المغناطيسي (B_m= 1.49 T) عند قطب العدسة (Z=0.0 mm) واقل عرض نصفي (H.W.) تليها العدسة L4 ثم L3 وأخيرا L1 .



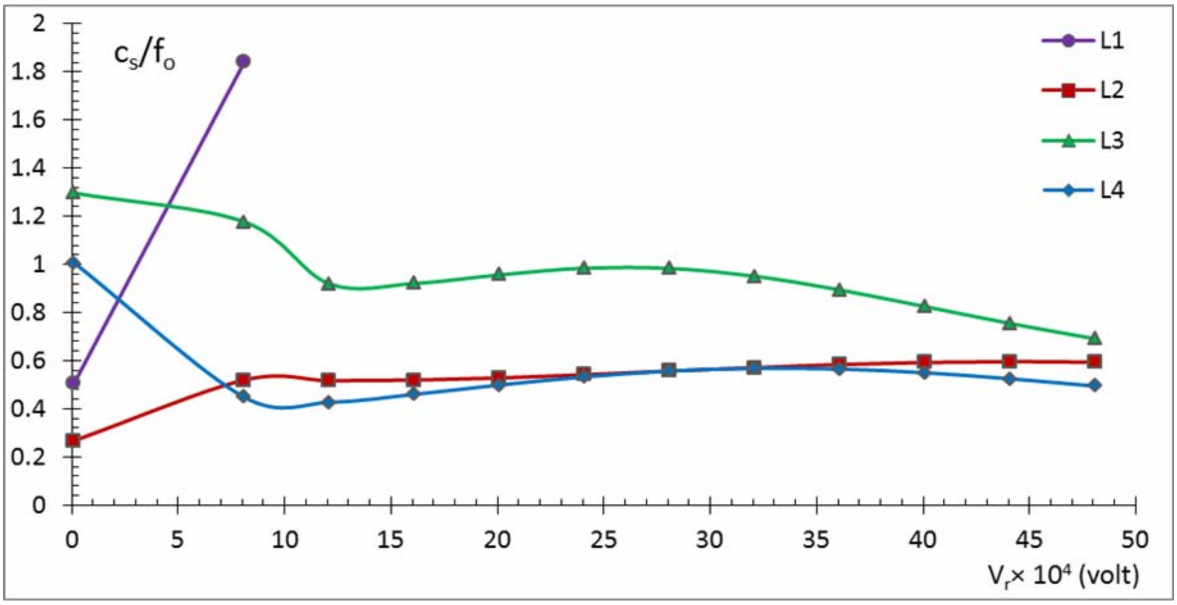
الشكل2: توزيع كثافة الفيض المغناطيسي المحوري للعدسات المغناطيسية اللامتناظرة ذات الملفات الهندسية المختلفة عند تهيج ثابت (NI=20 kA-t).

كما تم رسم خطوط الفيض المغناطيسي داخل التركيب الهندسي للعدسات أعلاه ذات الملفات المختلفة والمساحات المتساوية عند قيمة تهيج ثابتة (NI=20 kA-t) كما هو مبين في الشكل(3)، نلاحظ ان هذه الخطوط تكون متوازية تقريبا بشكل منتظم حول المحور البصري وتسقط عمودياً على سطح القطب المائل وتقترب من قمة بروز القطب كما حصل في العدستين L2 و L4 لاحظ الشكلين(3b) و(3d)، فضلاً عن ذلك نجد أن خطوط الفيض داخل قطب العدسة L4 متوازية تقريباً خلافاً لما هو عليه في العدستين L2 وL3 حيث تكون الخطوط متراكبة. أما الشكل(3a) نجد ان مسار خطوط الفيض يكون غير منتظم داخل تركيب العدسة L1 مما يدل على ان هذه العدسة لا تصلح عند تشغيلها بفولتيات التعجيل العالية بسبب حدوث تسرب بالفيض المغناطيسي، لذلك تعتبر العدسة L4 الأمثل بالمقارنة مع أداء بقية العدسات.



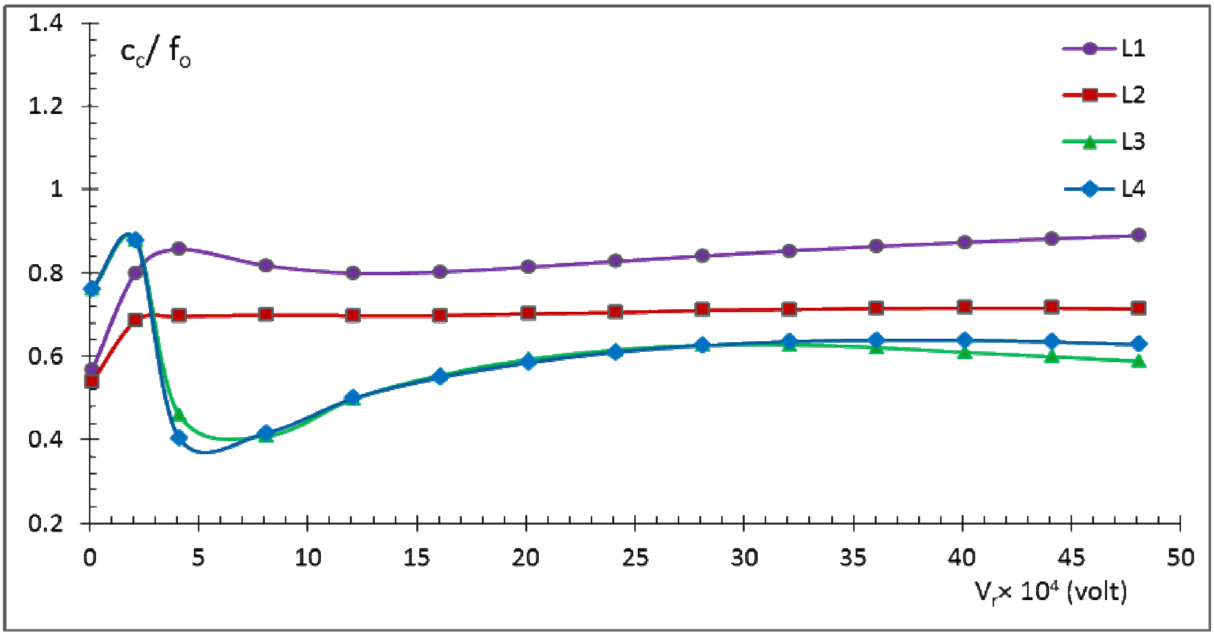
الشكل3: مسار خطوط الفيض المغناطيسي داخل تركيب العدسات المغناطيسية اللامتناظرة ذات الملفات الهندسية المختلفة عند تهيج ثابت (NI=20 kA-t).

كذلك تم إيجاد الخواص البؤرية الشيئية عند التكبير الصفري للعدسات قيد الدراسة باستخدام برنامج M21 (Munro,1975)، وتشمل البعد البؤري الشيئي بالإضافة الى معاملي الزيغين الكروي واللوني للعدسات المغناطيسية الآنفة الذكر عند تهيج ثابت (NI=20 kA-t). وتم احتساب التغير النسبي لمعامل الزيغ الكروي الى البعد البؤري الشيئي c_s/f_o بدلالة فولتية التعجيل المصححة نسبياً V_r كما نلاحـــــظ في الشـــكل(4)، وتبيـّــــن ان العدســـة L4 قد حققـت الافضلية في قيمة التغير النسبي لمعامل الزيغ الكروي بالمقارنة مع العدسة L2. اما العدسة L1 فان زيغها عالٍ بالمقارنة مع نتائج العدسات الاخرى.



الشكل4: التغير النسبي لمعامل الزيغ الكروي الى البعد البؤري الشيئي c_s/f_o للعدسات المغناطيسية ذات الملفات الهندسية المختلفة بدلالة فولتية التعجيل المصححة نسبياً V_r.

كما تم احتساب التغير النسبي لمعامل الزيغ اللوني الى البعد البؤري الشيئي c_c/f_o بدلالة الفولتية المصححة نسبياً V_r كما في الشكل(5)، حيث نلاحظ ان العدسة L2 قد حصلت على استقرارية في النتائج لمدى واسـع من فولتيات التعجيل. وان العدســتين L3 و L4 تتبادلان الأفضلية في قيمة التغير النسبي لمعامل الزيغ، ووجد أن العدسة L4 قد تفوقت على العدسة L3 عند فولتيات التعجيل الواطئة.



الشكل5: التغير النسبي لمعامل الزيغ اللوني الى البعد البؤري الشيئي c_c/f_o للعدسات المغناطيسية ذات الملفات الهندسية المختلفة بدلالة فولتية التعجيل المصححة نسبياً V_r.

لمعرفة العدسة المثلى لمجموعة العدسات المصممة، من الضروري ايجاد قدرة تحليلها، حيـث تـم احتساب قدرة التحليل باستخدام العلاقتين (1) و(2) أعلاه للعدسـات الآنفة الذكر عنـد قيمـة تهـيج ثابتـة (NI=20 kA-t). والجدول(1) يبين المقارنة بين الخواص البؤرية الشيئية للعدسات أعلاه فضلاً عـن قـدرة تحليلها عند ثبوت قيمة التهيج، نلاحـ ـظ إن العدسـ ـ ـة L4 قد تفوقت على جميع العدسـات أعـ ـ ـلاه حيـ ـث حققت تقريبـ ـا أعلـى ذروة في الفيض المغناطيسـ ـ ـي وأعلـ ـى قدرة تحليـ ـ ـل كما هـو موضـ ـ ـح في الجدول(1)، لـ ـ ـذلك تعد الأمثل بالمقارنة مع بقية العدسات المغناطيسية اللامتناظرة.

الجدول1: مقارنة الخواص البصرية للعدسات المغناطيسية ذات الأشكال الهندسية المختلفة للملفات عند ثبوت (NI=20 kA-t) و (Z=0.0 mm).ع

Lens	f_o(mm)	c_s(mm)	c_c(mm)	c_s/f_o	c_c/f_o	V_r(MV)	B_z(Tesla)	δ_p(nm)
L1	67.87	571.69	49.01	8.423	0.72	0.973	1.21	64.1790
L2	9.14	4.07	6.05	0.44	0.66	0.823	1.49	0.0410
L3	9.03	3.59	1.39	0.39	0.153	0.490	1.39	0.0413
L4	9.16	3.69	1.42	0.40	0.155	0.601	1.42	0.0283

وبمقارنة نتائج الخواص البؤرية الشيئية للبحث الحالي مع البحوث المنشورة عند (Z=0.0) وجد ان العدسة L4 قد حققت افضل قدرة تحليل عند تهيج ثابت كما هو موضح في الجدول(2A). كذلك احرزت العدسة ذاتها افضل قدرة تحليل عند كثافة تيار ثابتة σ التي تمثل نسبة التهيج الى مساحة الملف لاحظ الجدول(2B).

الجدول2 : مقارنة الخواص البؤرية الشيئية فضلاً عن قدرة التحليل للعدسة الفضلى L4 مع نتائج البحوث المنشورة عند (Z=0.0).

A

البحوث المنشورة (.Ref)	f_o(mm)	c_s(mm)	c_c(mm)	V_r (volt)	δ_p(nm)	NI(A-t)
(البحث الحالي) Lens L4	3.95	2.36	3.26	1900	0.06	1000
(Al-Khashab and Ahmed, 2011)	2.06	0.71	1.31	360	0.07	1000

B

البحوث المنشورة (.Ref)	f_o(mm)	c_s(mm)	c_c(mm)	V_r (MV)	δ_p(nm)	σ(A-t/cm^2)
(البحث الحالي) Lens L4	9.16	3.69	1.42	0.601	0.028	1000
(Al-Oaidy, 1996)	0.78	0.33	0.49	2	0.08	1000
(Alamir, 2000)	8.3	2.2	4.9	0.001	0.1	20000

الاستنتاجات

لقد وجد أن الشكل الهندسي للملف وموقعه قد لعب دوراً مهما في تقليل معاملي الزيغين الكروي واللوني مما ادى الى تحسين الخواص البؤرية الشيئية وقدرة التحليل للعدسات المغناطيسية اللامتناظرة.

وقد تبين أن العدسة L4 المتكونة من ملفين مساحة مقطع احداهما مستطيل الشكل والآخر متوازي الاضلاع والمحيط لمنطقة القطب قد تفوقت بأدائها البصري على جميع العدسات الاخرى. كما احرزت هذه العدسة قدرة تحليل تساوي (0.028 nm) عند تهيج ثابت (NI=20 kA-t) وعند كثافة تيار (σ=1000 A-t/cm^2).

المصادر

Alamir, A. S. (2000). High voltage and high current density objective lens. *Chinese J. Physics*, **38** (2-I), 139-145.

Abd-Hujaze, N. S. (2006). "Design of a compound lens (magnetic-electrostatic) for low voltage scanning electron microscopy". Ph. D. Thesis, The University of Mosul, Iraq.

Al-Khashab, M.A. (2001). New development of electron projector lens, *Eng. Technology*, **20** (10), 591-601.

Al-Khashab, M. ; Ahmad, A. (2011). The effect of magnetic lens structure insulation on its optical performance. *Dirasat Pure Sci*., **38** (2), 161-168.

Al-Khashab, M.; Abd-Hujazie, N. (2010). Design of the objective magnetic and electrostatic lenses for low beam energies. *Dirasat Pure Sci*., **37**(2), 85-95.

Al-Khashab, M. ; Al-Abdullah, A. (2006). The effect of the snout shape geometry of the polpiece on the objective lens parameters, *Dirasat Pure Sci*., **33** (1), 28-33.

Al-Jumayli, F. A. (2010). "Design and fabrication a chroma corrected objective compound lens for low beam energies for scanning electron microscope". Ph. D. Thesis, The University of Mosul, Iraq, (in Arabic).

AI-Obaidy, K. (1996). "Design of the high resolution lens for the electron microscope". M.Sc. Thesis, The University of Mosul, Iraq (in Arabic).

Cleaver, J.R.A. (1980). The choice of polepiece shape and lens operating mode for magnetic objective lenses with saturated polepiece. *Optik*. **57**, 9-34.

Hawkes, P.W. (1972). " Electron Optics and Electron Microscopy". Taylor and Francis, (London), 37p.

Juma, S.M. ; Mulvey, T. (1980). The axial field distribution of single polepiece lenses. *Inst. Phys. Conf. Ser*. 52, 59-60.

Lencovà, B. (1986). Program AMAG for computation of vector potential in rotationally symmetric magnetic electron lenses by the finite element method. *Inst., Sci. Instru., Czech. Acad. Brno,* (Czech), 1-58.

Li, Wen-ping ; Wu Jian; Zhou Zhen ; Gui Li-jiang ; Han, Li (2009). Practical integrated design of a condenser-objective lens for transmission electron microscope, IOP publishing *J. Physics.* Conf. Ser. **188** (012045).

Mulvey, T. (1982). "Magnetic Electron Lens Properties". ed. P. W. Hawkes (Berlin, Springer) Ch.3, pp. 119-160.

Munro, E. (1975). "A Set of Computer Program for Calculating the Properties of Electron Lenses". Cambridge Univ., Eng., Report CUED/B-ELECT/TR 45, pp.13-100.

Wenxiong, C. (1988). The effect of the polepiece saturation on the electron optical properties of asymmetrical condenser objective lenses, *Scanning Microscopy*, **2** (3), 1283-1292.