------مجلة علوم الرافدين، المجلد 27، العدد 1، ص 158-167، 2018------

تأثير نسبة مساحتي الملفين والمسافة الفاصلة بينهما على الأداء البصري في العدسة المغناطيسية المكثفة-الشيئية

منى عبد الكريم الخشاب **ثامر جمعة الخالدي**
قسم الفيزياء/ كلية العلوم/ جامعة الموصل

(أستلم 2013/11/19 ؛ قُبل 2014/1/ 20)

الملخص

تم تصميم العدسة المغناطيسية ثنائية القطب اللامتناظرة والتي تعمل بوصفها عدسة مكثفة-شيئية بخواص فضلى وذلك بتغيير النسبة بين مساحة مقطع ملفها الأول إلى مساحة مقطع ملفها الثاني عند ثبوت المسافة الفاصلة بينهما والحفاظ على شكليهما الهندسي، ثم تغيير المسافة الفاصلة بين الملفين عند ثبوت النسبة الفضلى بين مساحتي مقطعي الملفين للعدسة. والتي حققت أعلى ذروة فيض للمجال المغناطيسي وأقل معامل زيغ كروي عند فولتية التشغيل المصححة نسبياً (V_r=200 kV) والتهيج الثابت (NI=10.5 kA-t) بنمط العدسة المكثفة-الشيئية، وتم احتساب توزيع كثافة الفيض المغناطيسي ومسارات خطوط الفيض في تركيب العدسة وخواصها البؤرية لتشخيص العيوب وتحسين الأداء البصري للعدسة المكثفة-الشيئية.

الكلمات الدالة: العدسة المغناطيسية المكثفة-الشيئية، النسبة بين مساحتي الملفين، تحسين الأداء البصري، العدسة ثنائية القطب اللامتناظرة.

The Effect of Coils Area's Ratio and their Separated Distance on the Optical Performance of the Condenser-Objective Magnetic Lens

Muna A. Al-Khashab **Thamer J. Al-Khaldey**
Department of Physics/ College of Science/ University of Mosul

ABSTRACT

The work handles the design of an asymmetric double polepiece magnetic lens for the condenser-objective mode having optimum properties through the change of coils area's ratio and their separated distance, which leads to a highest flux density peak of the magnetic field with a lowest spherical aberration coefficient, at the relativistic corrected voltage (V_r=200 kV) and excitation of (NI=10.5 kA-t). The calculation has been made for the magnetic flux lines trajectories and optical properties to limit the defects in the lens and consequently improve the optical performance of the condenser-objective magnetic lens.

Keywords: The condenser-objective magnetic lens, coils area's ratio, improve the optical performance, asymmetric double polepiece magnetic lens.

المقدمة

إن أفضل تصميم للعدسة الكهرومغناطيسية ذات معاملات الزيوغ الواطئة يعد ذا أهمية كبيرة (Al-Khashab and Ahmed, 2011) في مختلف مجالات البصريات الالكترونية. وعند تصميم العدسة المكثفة-الشيئية فان

هنالك أموراً مهمة يجب أخذها بنظر الاعتبار، كشكل وحجم الملفات والقدرة على تبريدها (Mulvey, 1982) بالإضافة إلى الحفاظ على استقرارية التهيج العالي فيها، بكثافة تيار أعلى من واحد أمبير لكل مليمتر مربع (Podbrdsky, 1986). لذلك فقد اجريت دراسات حول تقليل الزيوغ إلى أوطأ ما يمكن للحصول على أفضل الخواص البصرية للعدسة التقليدية. فالعدسة الكهرومغناطيسية التي تمتلك أعلى ذروة فيض بأقل عرض نصفي للمجال المغناطيسي تنتج زيوغاً واطئة (Mulvey, 1982). وقد حاول الباحثون تحقيق أفضل شكل هندسي مع أبعاد هندسية مناسبة للعدسات الكهرومغناطيسية ثنائية القطب بأنواعها, المتناظرة التي قام بها (Cleaver, 1980) واللامتناظرة التي أجراها (Wenxiong, 1988).

ومع تطور تقنيات النانو أصبح من المهم تحسين قدرة التحليل(Resolving power) لعدسات المجهر الالكتروني وفق المعايير النانوية، ويتم ذلك بتقليل الزيوغ إلى أدنى حد ممكن في العدسة الشيئية (Li *et al*., 2009)، وتختلف العدسة المكثفة-الشيئية عن العدسة الشيئية التقليدية بوضع النموذج في منتصف الفجوة الهوائية (S). حيث تعترض الجهة الأمامية العليا للنموذج المجال الأمامي(Pre-field) وتعمل كعدسة مكثفة، وتعترض الجهة الخلفية السفلى للنموذج الجزء الخلفي للمجال (Post-field) وتعمل كعدسة شيئية (Ray, 2005). وللعدسة المكثفة-الشيئية أهمية في كلا المنظومتين (Krivanek *et al*., 2008) سواءاً الإضاءة أو التصوير. إذ يتعرض النموذج إلى مجال عالي جداً في العدسة المكثفة-الشيئية، لذلك يتأثر موقع النموذج بالمجال ضمن الفجوة الهوائية (Wenxiong, 1988)، ويسبب أثرا كبيراً في توليد الزيوغ (Tsuno and Smith, 1986).

يتضمن البحث الحالي تصميم عدسة مكثفة-شيئية ودراسة خواصها البصرية عند تغيير مساحة المقطع العرضي للملف الأول للعدسة نسبة إلى مساحة المقطع العرضي لملفها الثاني للحصول على أفضل شكل هندسي يحقق اقل زيوغ وأعلى قدرة تحليل ممكنة للعدسة في حالة تشغيلها بفولتية تعجيل مصححة نسبياً مقدارها(V_r=200 kV) وتهيج ثابت (NI=10.5 kA-t) عند شرط التكبير غير المحدود.

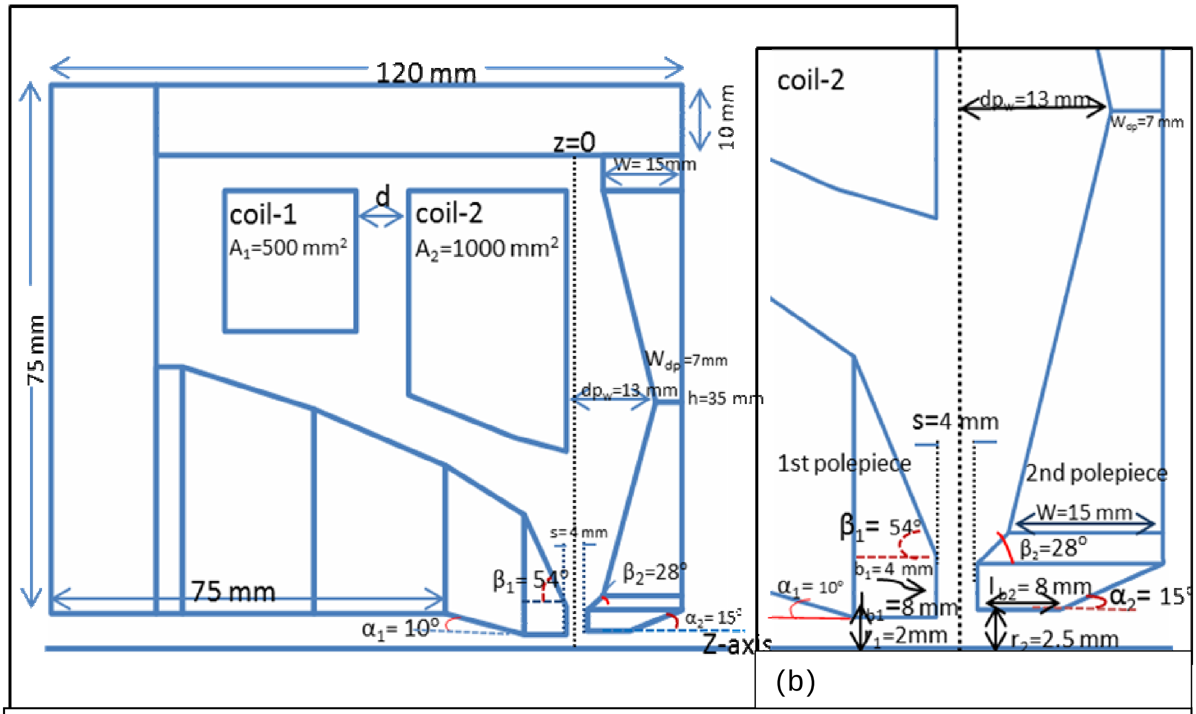
تصميم العدسة الكهرومغناطيسية المكثفة-الشيئية ثنائية القطب اللامتناظرة

إن تصميم العدسات الكهرومغناطيسية يتطلب تحديد الشكل الهندسي للقطب وشروط التشغيل المرافقة لها: فولتية التشغيل، مقدار التهيج، نمط التشغيل، والخواص البؤرية، فضلا عن الشكل والابعاد الهندسية المناسبين للملف (Al-Khashab and Al-Hialey, 2013).

وإن أفضل تقنية مستخدمة في تصميم العدسات الكهرومغناطيسية هي طريقة العناصر المتناهية (FEM) Finite Element Method, (Tsuno and Smith, 1986) التي استخدمها(Munro, 1975) ومن ثم (Lencova', 1986) والتي تعتمد صيغة التجزئة. إذ يتم تقسيم العنصر الواحد إلى أجزاء صغيرة جدا بشكل مشبكات (Meshes)، إضافة إلى طرق الاحتساب النظري والتحليل العددي.

فقد تم تصميم عدسات ثنائية القطب لامتناظرة متماثله في جميع معلماتها وأبعادها وأشكالها الهندسية باستثناء نسبة مساحة المقطع العرضي للملف الأول إلى مساحة المقطع العرضي للملف الثاني والمسافة الفاصلة بينهما التي تتغير مع تغيير العدسة المقترحة لتعمل عند فولتية (التعجيل) التشغيل المصححة نسبياً (V_r =200 kV) والتهيج الثابت (NI=10.5 kA-t) بنمط العدسة المكثفة-الشيئية، التي لا تحتاج إلى قيم تهيج عالية جدا. إذ أن شكل القطب الأول يكون مخروطياً ناقصاً, ارتفاع وجه القطب فيه (b_1= 4 mm) وزاوية ارتفاع راس القطب Taper angle ($\beta_1=54^o$) وزاوية فتحته المحورية ($\alpha_1=10^o$) والطول المحوري للقطب (l_{b1}=8 mm) ونصف قطره (r_1=2 mm). أما القطب الثاني فيكون ملتحما مع الذراع الحديدي وطوله المحوري (l_{b2}=8 mm) وزاوية ارتفاعه تساوي ($\beta_2=28^o$) وزاويته المحورية ($\alpha_2=15^o$), أما نصف قطره

فيكون(r_2=2.5 mm). ويفصل القطبين فجوة هوائية تساوي(S=4 mm), وبذلك فإن النسبة(S/D) الهندسية تبقى ثابتة (S/D= 0.89) وهي قيمة متوافقة مع المعايير المحددة في تصميم العدسات الثنائية القطب (Mulvey, 1982)**.** حيث أن معدل قطر العدسة [$D=(D_1+D_2)/2$]. وتمتلك العدسة ملفين: الملف الأول على شكل مستطيل، ومساحة مقطعه العرضي (A_1=500 mm^2). والملف الثاني ذو شكل رباعي أضلاعه غير متساوية بالطول وتتقاطع بزوايا مختلفة، ومساحة مقطعه العرضي (A_2=1000 mm^2)**.** والمسافة الفاصلة بينهما (d=10 mm) وان مجموع مساحتي المقطع العرضي للملفين يساوي (A=1500 mm^2) والتهيج الكلي للعدسة (NI=10.5 kA-t) بكثافة تيار (σ =7 A-t/mm^2) لكلا الملفين**.** وتتغير النسبة بين مساحتي المقطع العرضي للملفين من عدسة إلى أخرى بينما تبقى المسافة الفاصلة بينهما ثابتة في الجزء الأول من البحث. و تتغير المسافة الفاصلة بين الملفين عند إبقاء النسبة بين مساحتي مقطع الملفين ثابتا في الجزء الثاني من البحث. ويكون سمك الصفيحة الخلفية للعدسة ثابتاً(20 mm) وسمك الجزء الجانبي للدائرة المغناطيسية (10 mm)**.** أما الذراع الحديدي فيتوسطه تخصر(W_{dp}) بسمك (W_{dp} =7 mm) وسمك طرفيه العلوي والسفلي(W=15 mm)، كما هو موضح في الشكل (1).



الشكل 1: a- مخطط المقطع العرضي للنصف العلوي للعدسة الكهرومغناطيسية ثنائية القطب اللامتناظرة المصممة b- جزء مكبر لمنطقة القطبين.

يتألف البحث من جزئيين: الجزء الأول يختص بدراسة تأثير تغيير النسبة بين مساحة مقطع الملف الأول إلى مساحة مقطـع الملف الثاني مع إبقاء شكليهما الهندسي والمسافة الفاصلة بينهما ثابتةً، وأهمية تأثيرها في الخواص البؤريـة الـشيئية للعدسـة المكثفة-الشيئية المصممة. أما الجزء الثاني، فيهتم بتغيير المسافة الفاصلة بين ملفي العدسات مع الحفاظ على النـسبة الفـضلى بين مساحتي مقطعي الملفين ثابتةً وتأثيرها على الخواص البؤرية والأداء البصري للعدسات. وهذا المقترح سـيتم استقـصاءه ضمن هذا البحث لأول مرة في مجال البصريات الالكترونية. فقد تمت دراسة أفضل نسبة بين مساحتي مقطع الملفـين التـي تفصل بينهما مسافة محددة، عند وجود تخصر في الذراع الحديدي بعمق (dp_w=13 mm) اي البعد عن منتـصف الفجـوة

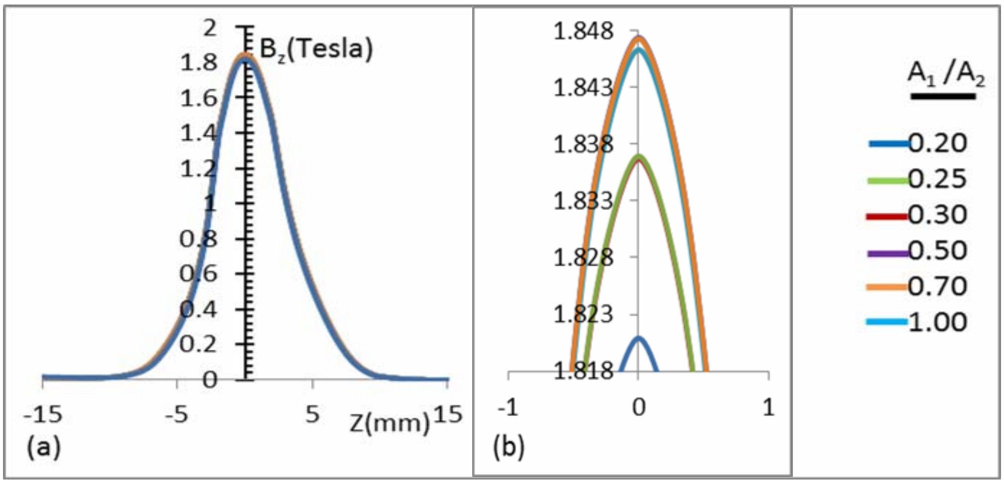
الهوائية، والارتفاع المناسب (Al-Khashab and Al-Khaldey, 2013) لموقعه (h=35 mm) اي البعد عن المحور البصري، وتحديد سمك طرفي الذراع الحديدي (W=15 mm)، مع أمثلية الخواص البؤرية المترافقة عند فولتية التشغيل المطلوبة (V_r=200 kV) للعدسة المكثفة-الشيئية عند شرط التكبير اللامحدود. وتمت معايرة جميع النتائج عند هذه الفولتية باستخدام المعادلة التالية:

$$n = (V_r / V_{original})^{1/2} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

حيث أن V_r فولتية التعجيل المصححة نسبياً (فولتية التشغيل) المطلوبة لمعايرة الخواص البصرية عندها وتساوي (200 kV). و ($V_{original}$) الفولتية التطبيقية (الأصلية) المصححة نسبياً التي تعطي الخواص البؤرية وتكون عندها كثافة المجال المغناطيسي بأعلى ذروتها في مركز العدسة (Z= 0.0) منتصف الفجوة الهوائية. و n يمثل معامل المعايرة.

الجزء الأول: تأثير النسبة بين مساحتي المقطع العرضي للملفين(A_1/A_2) على الخواص البؤرية الشيئية للعدسات المكثفة-الشيئية.

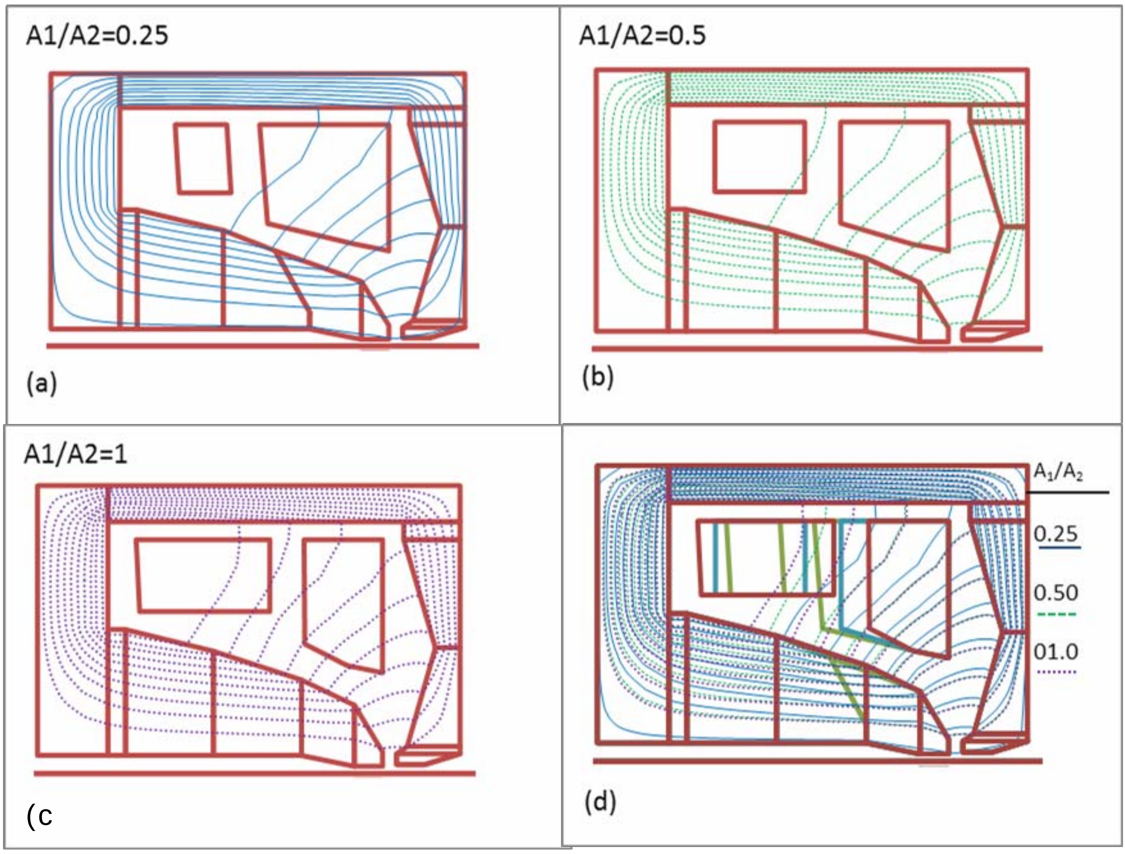
يتضمن هذا الجزء من البحث اختيار قيم مختلفة من نسبة مساحة مقطع الملف الأول إلى مساحة مقطع الملف الثاني(A_1/A_2=0.2, 0.25, 0.33, 0.4, 0.5, 0.66, & 1.0) لكل عدسة على التوالي، واستخدام برنامج AMAG (Lencova', 1986) لإيجاد توزيع كثافة المجال المغناطيسي لهذه العدسات المتماثلة في أبعادها الهندسية والمختلفة في النسبة بين مساحتي مقطعي ملفيها، عند تهيج ثابت (NI=10.5 kA-t). ويبين الشكل (2) ان العدسة ذات النسبة (0.5) بين مساحة مقطع ملفها الاول ومساحة مقطع ملفها الثاني تمتلك اعلى قيمة لذروة الفيض المغناطيسي واكثر انتظاماً للمجال من بقية العدسات وتتوسط الذروة منطقة الفجوة الهوائية فيها.



الشكل 2 : a- توزيع كثافة الفيض المغناطيسي للعدسات بتغيير النسبة بين مساحتي مقطعي الملف الأول والملف الثاني (0.2,0.25,0.3,0.5,0.7,& 1.0) وثبوت مجموع المساحتين ($1500\ mm^2$). عند التهيج الثابت (10.5 kA-t). b- جزء مكبر لتوزيع كثافة الفيض

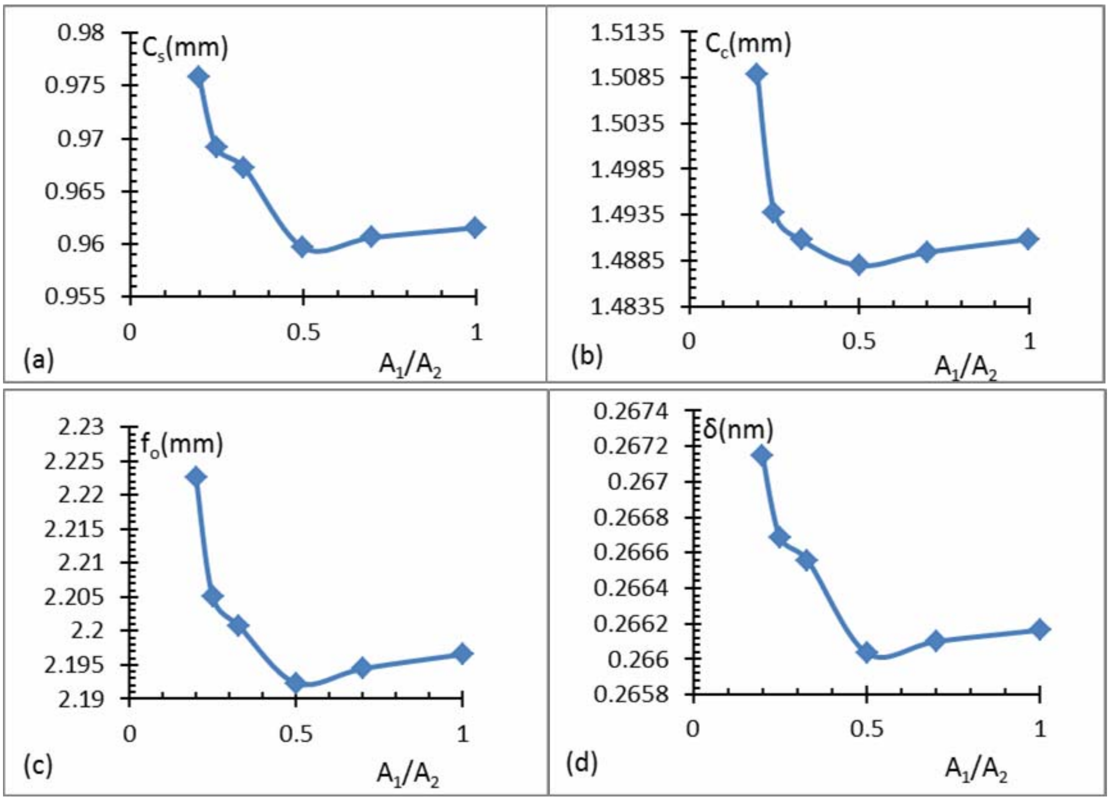
وتم احتساب مسارات خطوط الفيض المغناطيسي في تركيب العدسات أعلاه باستخدام برنامج FLUX (Murad, 1998) وتم اختيار ثلاث قيم منها (A_1/A_2=0.25, 0.5, & 1.0). كما هو موضح في الشكل (3)، حيث نلاحظ ان مسارات خطوط الفيض المغناطيسي للعدسة ذات النسبة (0.5) بين مساحتي مقطعي ملفيها في الشكل(3b) اكثر انتظاماً وتقارباً

الى الفجوة الهوائية التي يتوسطها (Z=0.0) النموذج المطلوب دراسة خواصه، بالمقارنة مع العدسات الاخرى التي يكون فيهما مسارات خطوط الفيض اكثر انحناءاً وابتعاداً عن الفجوة الهوائية، كما هو مبين في (3a و3c) من الشكل (3). كما ونلاحظ أن خطوط الفيض للعدسة ذات النسبة (0.5) بين مساحتي مقطعي ملفيها تقترب أكثر إلى المحور البصري، كما في الشكل (3d) الذي يظهر جزءاً مكبراً لمسارات خطوط الفيض المغناطيسي للعدسات المذكورة.



الشكل 3 : تغير مسارات خطوط الفيض المغناطيسي للنصف العلوي للعدسات الكهرومغناطيسية بتغيير النسبة بين مساحتي مقطعي الملف الأول والملف الثاني(a-: 1.0, b-:0.5, & c-:0.25) وثبوت مجموع المساحتين(1500 mm^2). عند التهييج الثابت(10.5 kA-t). و d- مقارنة بين مسارات خطوط الفيض للعدسات الثلاث.

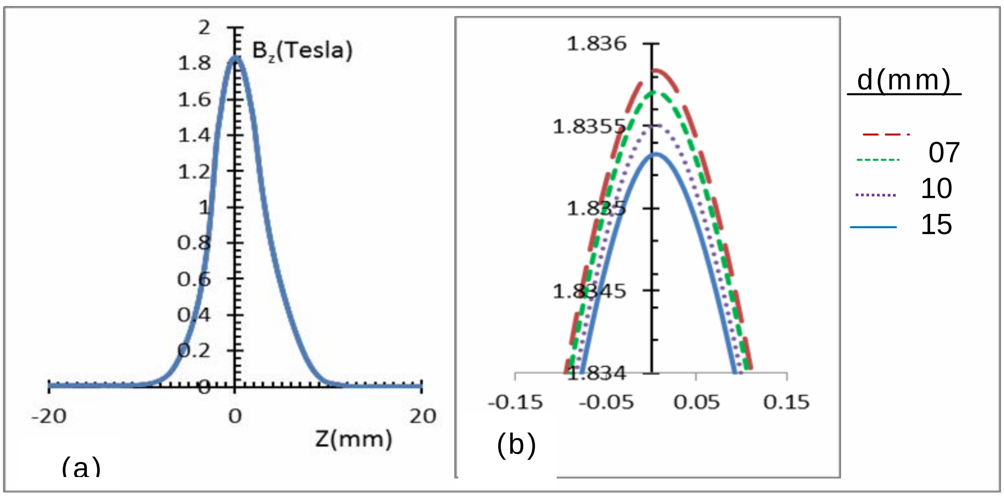
كما تم احتساب الخواص البؤرية الشيئية (معامل الزيغ الكروي C_s، معامل الزيغ اللوني C_c، ومعامل البعد البؤري الشيئي f_o) للعدسات باستخدام برنامج M21 (Munro,1975). وأجريت معايرة النتائج عند الفولتية التشغيلية المصححة نسبياً (V_r=200 kV) والتهييج الثابت (NI=10.5 kA-t)، وبمقارنة الخواص البؤرية الشيئية المبينة في الشكل (4) نلاحظ أن معامل الزيغ الكروي ينخفض بازدياد النسبة بين مساحتي مقطعي ملفي العدسة إلى حد معين (0.5) لتزداد زيادة نسبية ضئيلة بازدياد النسبة بين مساحتي مقطعي ملفي العدسة، وأن معامل الزيغ اللوني ومعامل البعد البؤري يتناقصان، بينما تتحسن قدرة التحليل بزيادة النسبة بين مساحتي مقطعي ملفي العدسة إلى الحد المعين(A_1/A_2=0.5).



الشكل 4 : تغير الخواص البؤرية الشيئية للعدسات الكهرومغناطيسية:(a - الزيغ الكروي، b- الزيغ اللـوني، c - البعـد البؤري، d - قـدرة التحليـل) بتغييـر النـسبة بـين مـساحتي مقطعـي الملـف الأول والملـف الثـاني (0.2,0.25,0.3,0.5,0.7,&1.0) وثبوت مجموع المساحتين ($1500\ mm^2$). عند التهيج الثابت (10.5 kA-t)

الجزء الثاني: تأثير تغيير المسافة الفاصلة(d) بين الملفين على الخواص البؤرية الشيئية للعدسات المكثفة-الشيئية.

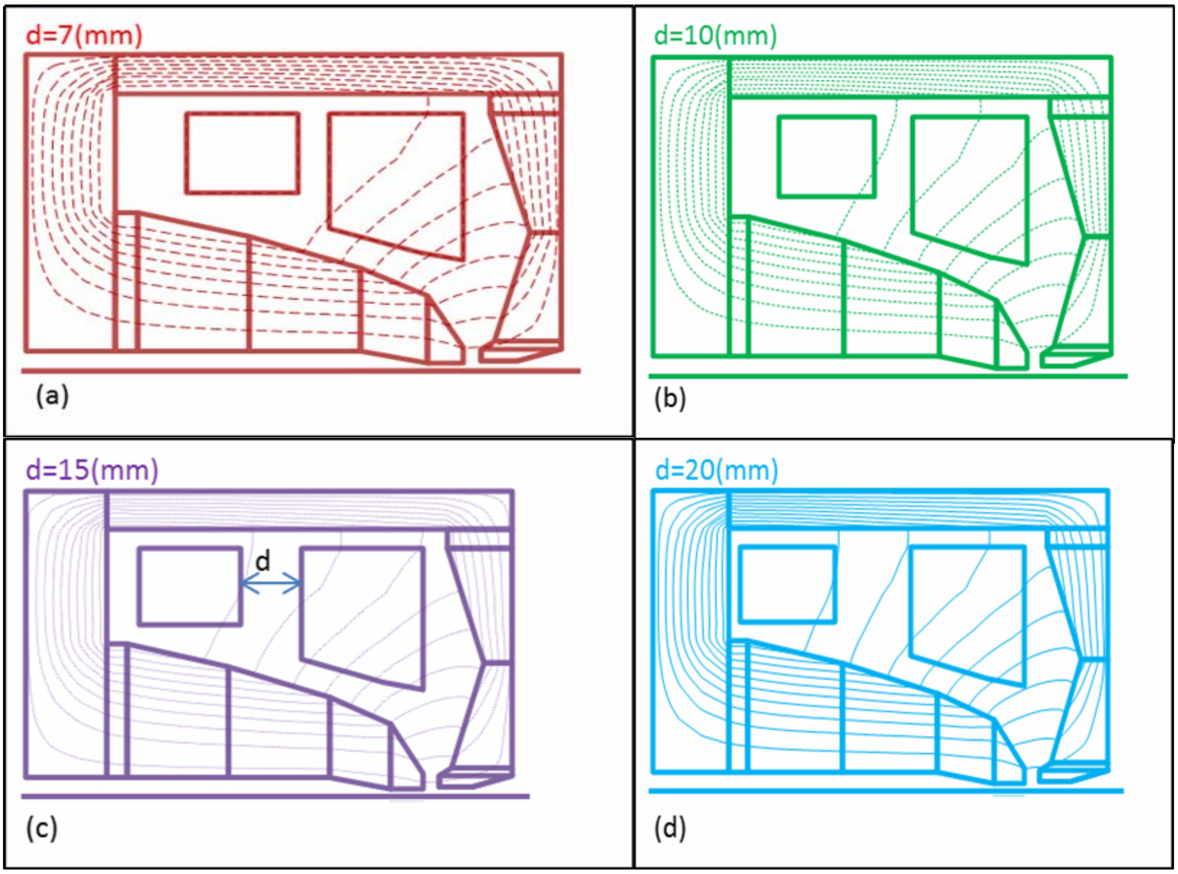
في الجزء الحالي من البحث ولغرض الحصول على سمات جيدة للعدسات، فقد تم تغيير المسافة الفاصـلة بـين ملفـي العدسات بحيث تكون{d= (7,10,15,& 20) mm}على التوالي. وتم احتساب توزيع كثافة المجال المغناطيـسي عنـد القـيم المختارة للمسافة الفاصلة بين ملفي هذه العدسات، والمبينة في الشكل (5). فوجـد أن ارتفـاع ذروة توزيـع كثافـة المجـال المغناطيسي تتناسب تناسباً عكسياً مع المسافة الفاصلة بين ملفي العدسات. (لاحظ الشكل 5b).



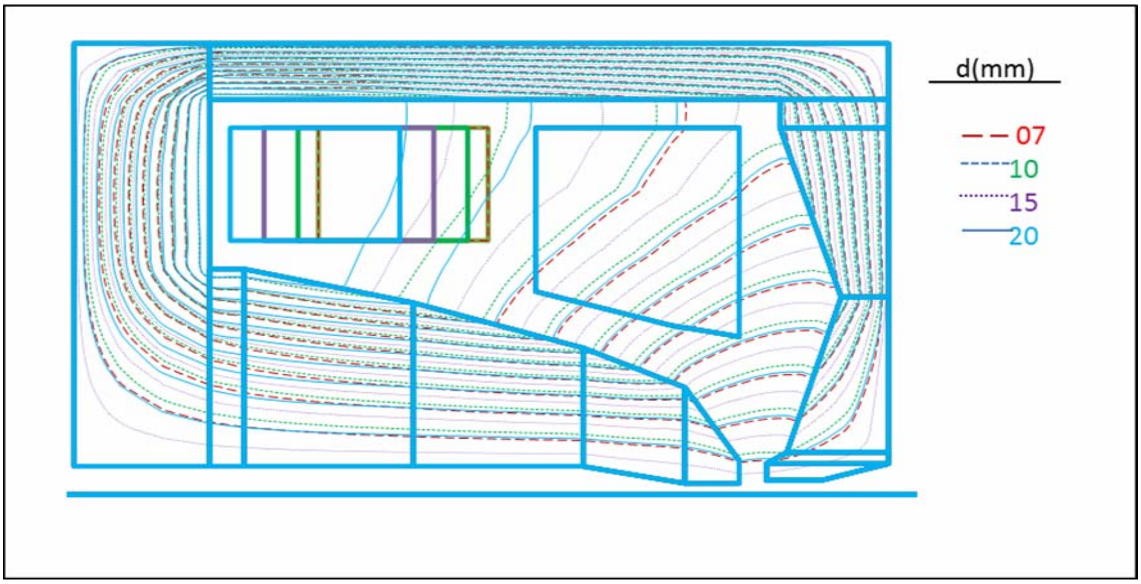
الشكل 5: a- توزيع كثافة المجال المغناطيسي للعدسات الكهرومغناطيسية بتغيير المسافة الفاصلة بين ملفي كل منها، عند التهيج الثابت(NI=10.5 kA-t). b- جزء مكبر لتوزيع كثافة الفيض المغناطيسي للعدسات.

وعند احتساب مسارات خطوط الفيض المغناطيسي نلاحظ ان خطوط الفيض تقترب من الفجوة الهوائية عنـدما تكـون المسافة الفاصلة بين الملفين صغيرة ويعمل الملفان كملف واحد، وتزداد خطوط الفيض المغناطيسي انتشاراً وابتعـاداً بزيـادة المسافة الفاصلة بين الملفين ويزداد التاثير السلبي للملف الصغير، كما في الشكل(6a). ونلاحظ ان العدسة ذات المسافة الفاصلة بين ملفيها (d=15 mm) تكون خطوط الفيض المغناطيسي فيها اكثر انتشاراً عند مقارنتها مع نظيراتهـا مـن العدسـات ذات المسافات المختلفة الفاصلة بين ملفيها، كما هو موضح في الشكل (6b).

وعند احتساب الخواص البؤرية الشيئية عند القيم المختلفة للمسافة الفاصلة بين ملفـي العدسـات (7,10,15,& 20) {d= mm} وجد أن أفضل الخواص البؤرية للمسافة الفاصلة تحققت عند قيمة اقل من (d=15 mm)، والشكل (7) يبين هـذه الخواص البؤرية الشيئية لهذه العدسات، حيث نلاحظ أن أوطئ قيمة لمعامل الزيغ الكروي تكون عند (d=15 mm) تقريباً كما هو واضح في الشكل (7a).



الشكل 6a: مسارات خطوط الفيض المغناطيسي للعدسات الكهرومغناطيسية بتغيير المسافة الفاصـلة بـين ملفـي كـل منها(a- 7 mm, b- 10 mm, c-15 mm, & d-20 mm) عند التهيج الثابت (NI=10.5 kA-t).



الشكل 6b: مقارنة مسارات خطوط الفيض المغناطيسي في تركيب النصف العلوي للعدسات الكهرومغناطيسية بتغيير المسافة الفاصلة بين ملفى كل منها،{d= (7,10,15,& 20) mm} عند التهيج الثابت(NI=10.5 kA-t).

وان معامل الزيغ اللوني يترافق مع البعدالبؤري في الزيادة بشكل نسبي بازدياد المسافة الفاصلة بين الملفين بمسافة تقترب من ابعاد الملف الاول كما في(7b و 7c) ولكن عندما تكون المسافة الفاصلة بين الملفين اقل من ابعاد الملف الصغير (d=15 mm) نجد عدم تاثر الخواص البؤرية الشيئية بالمسافة القليلة المتغيرة بين ملفي العدسات الكهرومغناطيسية وتكون لها قيماً منخفضة.

وبتطبيق المعايرة عند فولتية التعجيل المصححة نسبياً (V_r=200 kV) والتهيج الثابت (NI=10.5 kA-t) وشرط التكبير اللامحدود (Munro, 1975) ووضع النموذج في مركز الفجوة الهوائية (S) للعدسة قبل وصول المجال المغناطيسي إلى أعلى ذروته، تم أيجاد قدرة التحليل للعدسات من المعادلة التالية:

$$\delta = 0.71(C_s\,\lambda^3)^{1/4} \quad ..(nm) \;.....................(2)$$

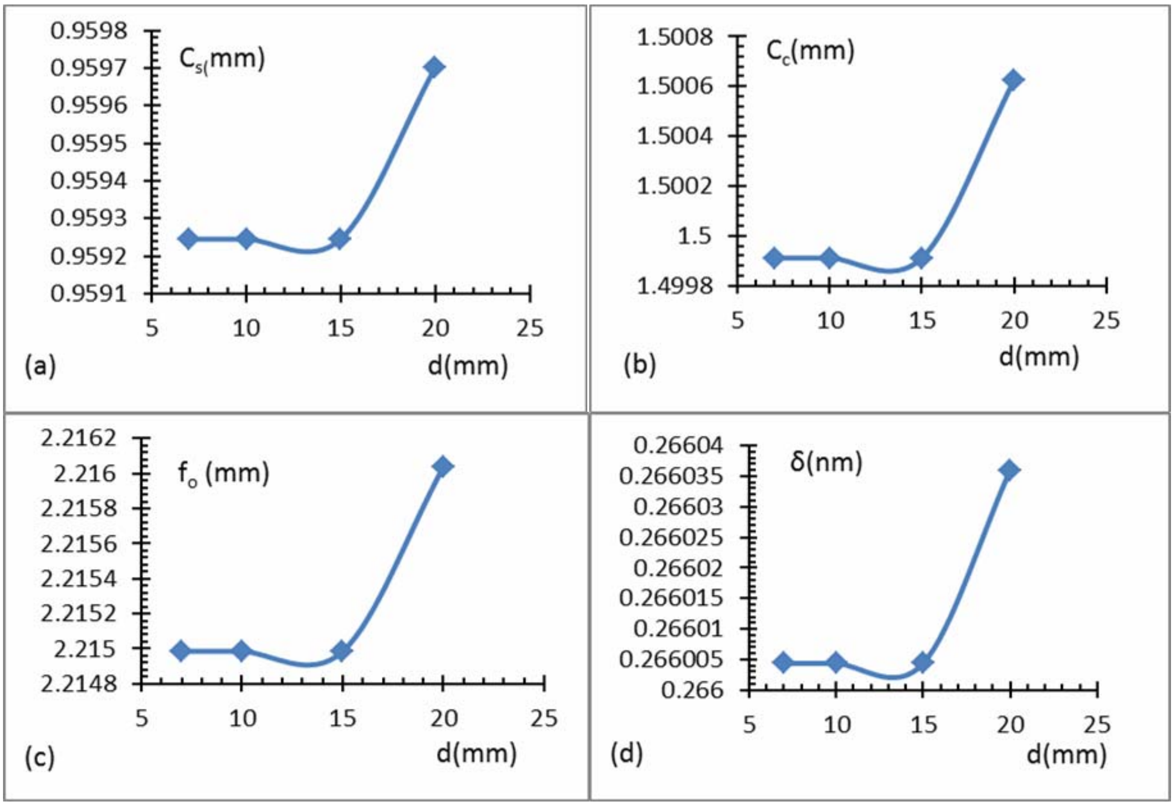
حيث λ يمثل الطول الموجي المرافق لفولتية التشغيل بوحدة النانومتر. ويحسب من العلاقة التالية:

$$\lambda = (1.5 / V_r)^{1/2} \quad ..(nm)\;.......................(3)$$

ووجد أن القيمة المثلى لقدرة تحليل العدسات الآنفة الذكر تكون (δ= 0.26 nm) عند المسافة (d≅15 mm) الفاصلة بين ملفيها ونسبة مساحة مقطع ملفها الأول إلى مساحة مقطع ملفها الثاني تساوي (0.5).

ونلاحظ ان لقدرة التحليل تحسناً واضحاً عند القيمة اعلاه مقارنة بالقيم الاخرى للمسافة الفاصلة بين ملفي هذه العدسات، كما هو موضح في الشكل (7d).

ومما تجدر الإشارة إليها أن العدسة الكهرومغناطيسية التي تمتلك أقل معامل زيغ كروي عندما يكون موقع ذروة الفيض المغناطيسي للعدسة في منتصف الفجوة الهوائية ويكون موقع النموذج قريبا جدا منه في اتجاه القطب الأول (القطب الرئيسي)، تكون العدسة الأفضل عند مقارنتها مع نظيراتها عند نفس الشروط التشغيلية. والتي سيتم تصنيعها عملياً في دراسات قادمة.



الشكل 7 : الخواص البؤرية الشيئية للعدسات الكهرومغناطيسية بتغيير المسافة الفاصلة بين ملفيها: (a-الزيـغ الكروي، b-الزيغ اللوني، c- البعد البؤري، d- قدرة التحليل) عند التهيج الثابت (NI=10.5 kA-t).

الاستنتاجات

تبين أن لنسبة مساحة مقطع الملف الأول إلى مساحة مقطع الملف الثاني والمسافة الفاصلة بينهما دور كبير في انتشار خطوط الفيض المغناطيسي في تركيب العدسة، والذي يلعب دوراً كبيراً سيما في المراحل الأولى من تصميم العدسة الكهرومغناطيسية لتحديد عيوب العدسة المصممة ومدى تسرب الفيض المغناطيسي في تركيبها، حيث يعمل الملفان كملف واحد عندما تكون النسبة بين مساحتي مقطعيهما صغيرة، وكذلك عندما تكون المسافة الفاصلة بينهما صغيرة. ويزداد تأثير الملف الأول (الصغير) بزيادة مساحة مقطعه نسبة إلى مساحة مقطع الملف الثاني (الكبير) فضلا عن زيادة المسافة الفاصلة بينهما.

كما وجد أن الخواص البؤرية الشيئية ترتبط ارتباطا وثيقا بالشكل الهندسي للعدسة أو أي جزء من أجزائها كشكل الملف وابعاده الهندسية الذي يؤثر على مقدار التمغنط في أقطاب العدسة الكهرومغناطيسية وتوزيع كثافة المجال المغناطيسي، الذي يزداد بتقليل المسافة الفاصلة بين الملفين. وقد تم الحصول على حالة مثلى للشكل الهندسي للعدسة المغناطيسية والتي انتجت الخواص البؤرية المطلوبة لتحقيق هدف البحث والغرض التطبيقي الذي لأجله تم تصميم العدسة.

المصادر

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

Al-Khashab, M.A.; Al-Hialey, R.W. (2013). The effect of the geometrical shape and position of the coil on the optical performance for asymmetrical magnetic lens. *Raf. J. Sci.*, **24**(2),100-109.

Al-Khashab, M.A.; Al-Khaldey, T.J. (2013). Design of iron shroud geometrical shape in the condenser-objective lens. *Raf. J. Sci.*, **to be published.**

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

Krivanek, O.L.; Corbin, G.J.; DEllby, N.; Elston, B.F.; Keyse, R.J.; Murfit, M.F.; Own, C.S.; Szilagyi, Z.S.; Woodruff, J.W. (2008). An electron microscope for the aberration – corrected era. *Ultramicroscopy*, **108**(3),179-195.

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

Li, Wen-ping; Wu, Jain; Zhou Zhen; Gui, Li-Jaing; Han, Li. (2009). Practical integrated design of a condenser–objective lens for Transmission Electron Microscope. *J. Physics*, Conference Series, **188**(2009), 012045.

Mulvey, T. (1982). "Magnetic Electron Lens Properties". ed. P.W. Hawkes, Berlin, Springer, Ch.5, pp. 359-412.

Munro, E. (1975). "A set of computer program for calculating the properties of electron lenses". Cambridge University, Eng. Dep., Report CHED/ B-ELECT/TR-45, pp.13-100.

Murad, W.M. (1998). Design of iron-free magnetic electron lenses. M.Sc. Thesis. University of Mosul, Iraq (in Arabic).

Podbrdsky, J. (1986). High current density magnetic electron lenses in modren electron microscope . *Scan. Electr. Microscope* /**III**, (887-896).

Ray, F.E. (2005). " Physical Principles of Electron Microscope". University of Alberta, Canada, Springer Science+Business Media, Inc. U.S.A.,Ch.3, 57 p.

Tsuno, K.; Smith, K.C.A. (1986). Optimization of objective lens shape for high resolution electron microscopes. *Proc. XIth Int.* Cong, on Electron Microscopy, Kyoto. 295-296.

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