

تصميم ودراسة الخواص البصرية للعدسات الكهرومغناطيسية ثنائية القطب

المتناظرة باستخدام برنامج (EOD)

قتيبة احمد ساهي

طالب محسن عباس

جامعة بابل / كلية التربية للعلوم الصرفة / قسم الفيزياء

quah903@yahoo.com

Dr.talib_mohsen@yahoo.com

الخلاصة

في هذا البحث صممت ودرست الخواص البصرية الشبئية للعدسات الالكترونية الكهرومغناطيسية من نوع ثنائية القطب متناظر وذلك باستخدام برنامج (EOD)، اذ درس تأثير قطر الفتحة المحورية لهذه العدسات على البعد البؤري الشبئي ومعاملات الزيوغ (الكروي واللوني). لقد وجد أن الخواص البصرية الشبئية تتحسن بشكل ملموس كلما قلت قيم قطر الفتحة المحورية لهذه العدسات.

الكلمات المفتاحية : عدسة الكترونية، البعد البؤري الشبئي، الزيغ الكروي، الزيغ اللوني.

Abstract

In this research, was designed and studied the objective focal properties to the magnetic electron lenses from type a symmetrical double Polepiece by using a program (EOD software) and studied the effect of axial bore diameter for it on the focal length and aberration coefficients (spherical and chromatic), It has been observed that the objective focal properties to improve and significantly as lower axial bore diameter.

Key words: Magnetic electron lens, focal length, spherical aberration.

١. المقدمة

تعد العدسة الكهرومغناطيسية احدى انواع العدسات الالكترونية وأكثرها استخداماً في بناء المجاهر الالكترونية النفاذة والمساحة، اذ تمتاز بسهولة الصنع ودقة العمل وقلة التكاليف وتمتاز ايضاً بقدرتها التحليلية العالية ولا تحتاج الى فولتيات عالية لتشغيلها كما في العدسة الكهرومغناطيسية بالإضافة الى ان المغناطيس الكهربائي الذي يعد الاساس في عملها أكثر ملائمة من المغناطيس الدائم، لإمكانية تغيير قيمة المجال المغناطيسي بوساطة تغيير مقدار التيار المار بالملف، او تغيير عدد لفاته [الطي، ١٩٩٠].

تصنف العدسات الكهرومغناطيسية الى ثلاثة انواع رئيسية وهي العدسة الخالية من الحديد، العدسة احادية القطب والعدسة ثنائية القطب، وهناك عدسات لها أكثر من قطبين تدعى بالعدسة ثلاثية القطب [العبيدي، ١٩٩١]. تتكون العدسة الكهرومغناطيسية ثنائية القطب من ملف دائري مصنوع من سلك نحاسي معزول كهربائياً. وتعتمد فكرة عملها على مرور تيار كهربائي مستمر في الملف الدائري الذي يولد مجالاً مغناطيسياً متناظر محورياً يعمل على حرف الجسيمات المشحونة المارة خلاله نحو محور الملف. ولغرض زيادة القيمة العظمى لكثافة الفيض المغناطيسي والحصول على مجال شديد محصور في منطقة صغيرة، يحاط الملف بغلاف من مادة (فيرومغناطيسية) ذات نفاذية مغناطيسية عالية مثل الحديد المطاوع، وتدعى المنطقة الصغيرة التي يتركز فيها المجال المغناطيسي بالفجوة الهوائية، التي تقع بين قطعتي حديد تمثلان قطبين مغناطيسيين اللذين يتم من خلالهما دخول الحزمة الالكترونية وخروجها [الشافعي، ٢٠٠٢]، عندما يكون قطر الفتحة المحورية لاحد القطبين مماثلاً لقطر فتحة القطب الاخر تدعى العدسة بالعدسة ثنائية القطب المتناظرة، ويكون موقع المجال المغناطيسي المحوري لهذه العدسة متناظراً مع المستوى الوسطي للفجوة الهوائية واعظم قيمة للمجال تظهر في منتصف الفجوة [الشافعي، ٢٠٠٧]. وتصبح هذه العدسة غير متناظرة عندما يكون قطر فتحتي القطبين غير متساو مسبباً بأن يكون توزيع المجال المغناطيسي المحوري غير متناظر على جانبي القيمة العظمى. تعاني العدسات الكهرومغناطيسية من عدد من العيوب الأساسية التي تدعى بالزيوغ. ويعرف

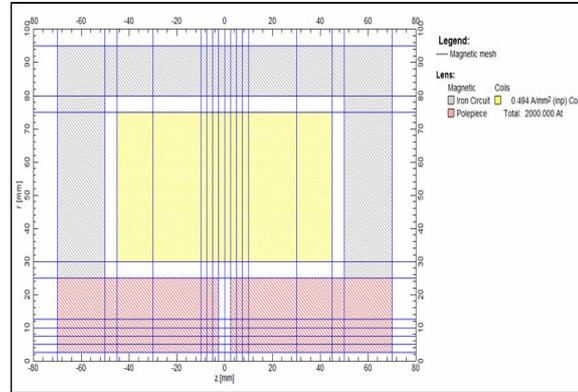
الزيبغ بأنه فشل العدسة في تجميع حزمة الجسيمات المشحونة المنبعثة من نقطة واحدة في مستوى الجسم الى نقطة واحدة في مستوى الصورة. وتؤدي هذه العيوب إلى ظهور الصورة بشكل غير واضح أو مشوه [الواسطي، ٢٠١٢].

تعد الزيوغ في بصريات الجسيم المشحون من العوامل الأساسية التي تحدد جودة الأجهزة البصرية للجسيمات المشحونة. إن أهمية كل زيغ ينشأ تبعاً لوظيفة العدسة، فعندما تستخدم العدسات الكهرومغناطيسية كعدسات شبيئية في المجهر الإلكتروني يكون كل من الزيغ الكروي والزيغ اللوني المحددات الأساسية لجودة الصورة المتكونة بواسطة هذه العدسات [المحنا، ٢٠١٥].

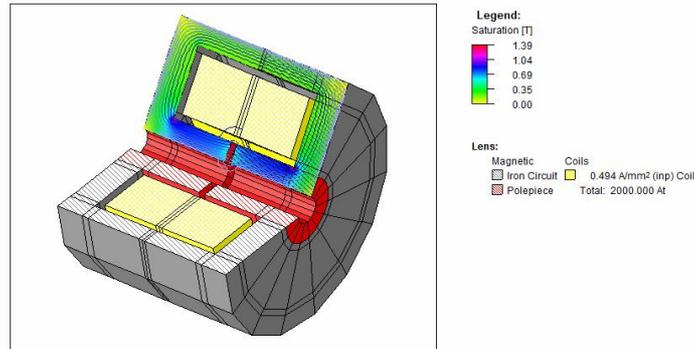
٢. تصميم العدسة:

استخدم برنامج (EOD) [Lencova,2009] والمعتمد على طريقة العناصر المتناهية (FEM) لتصميم عدسة كهرومغناطيسية ثنائية القطب المتناظرة، اذ حددت ابعاد العدسة وتوزيع خطوط المشبك (mesh) عليها لغرض حساب المجال المغناطيسي المحوري وخواصها البصرية الشبيئية.

يبين الشكل (١) مقطعاً عرضياً للنصف العلوي للعدسة الكهرومغناطيسية ثنائية القطب المتناظرة المصممة في هذه الدراسة ان لهذه العدسة ملفاً دائرياً عدد لفاته (N) ومساحة مقطعة (4500 mm²) وتخرق محور الملف قطبان مغناطيسيان من الحديد المطاوع قطر كل منهما (D=5 mm) بحيث تكون فجوة هوائية بينهما عرضها (S=5 mm) والتي يتجمع فيها المجال المغناطيسي المحوري B_z عند مرور تيار كهربائي مستمر (I) في الملف الدائري، ويحاط الملف وقطعتي القطب بدائرة من الحديد المطاوع لمنع نسرب المجال المغناطيسي خارج العدسة. تم تشغيل العدسة بإثارة الملف عند قيمة (NI=2000 A.turn) وبالتالي تم حساب كثافة التيار عند قيمة (σ=0.494 A/mm²). اما الشكل (2) فيبين العدسة الكهرومغناطيسية ثنائية القطب المتناظرة المصممة بثلاثية الابعاد (3D).



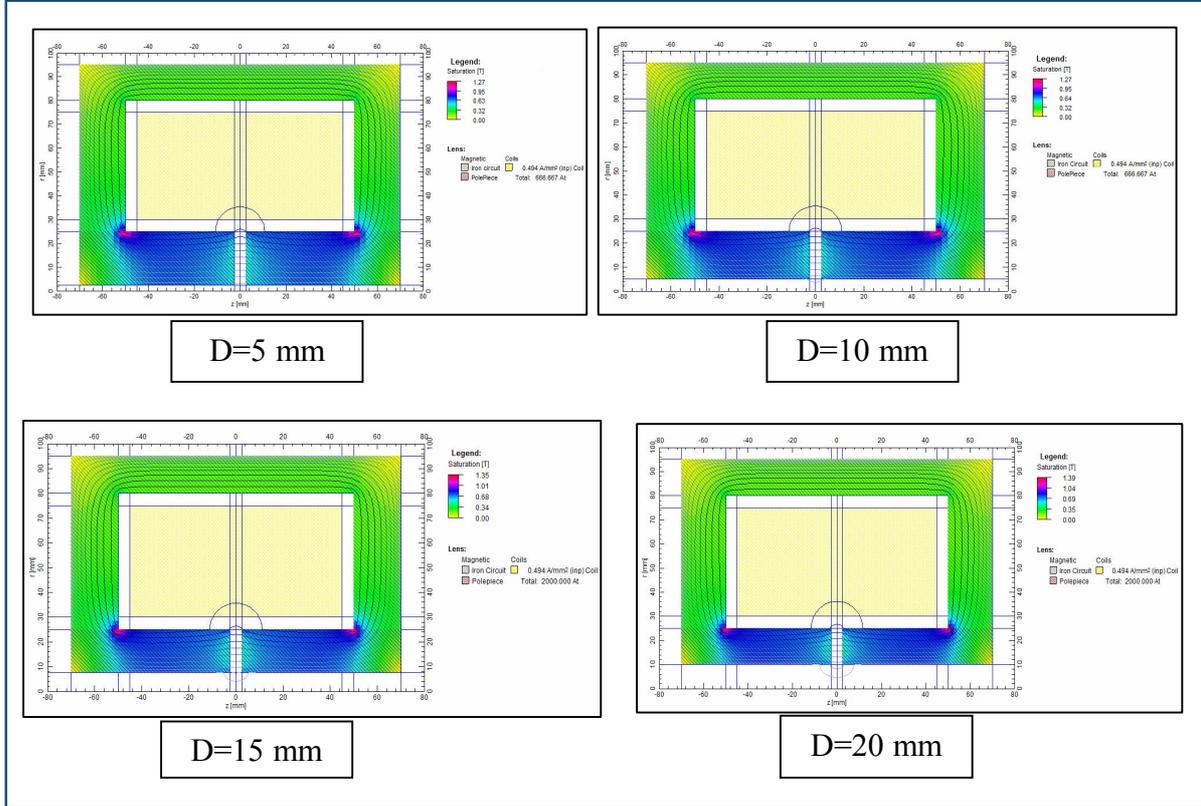
الشكل (١) مقطع عرضي للنصف العلوي للعدسة الكهرومغناطيسية ثنائية القطب المتناظرة المقترحة.



الشكل (٢) العدسة الكهرومغناطيسية ثنائية القطب المتناظرة المقترحة ثلاثية الابعاد (3D)

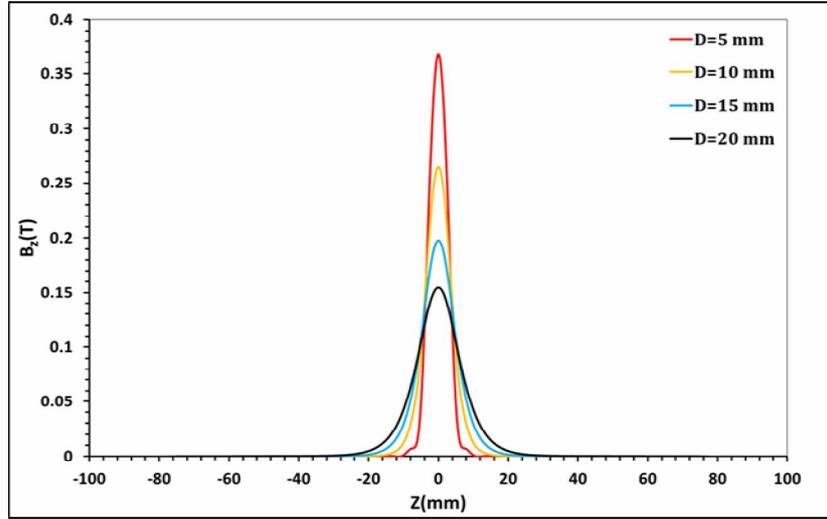
٣. النتائج والمناقشة

لدراسة تأثير قطر الفتحة المحورية للعدسة (D) على المجال المغناطيسي المحوري B_z ومسار الحزمة الالكترونية وبالتالي على البصرية الشيئية للعدسة الكهرومغناطيسية استخدمت قيم مختلفة لقطر الفتحة المحورية للعدسة وهي (D=5,10,15,20 mm) وكما مبين بالشكل (٣).

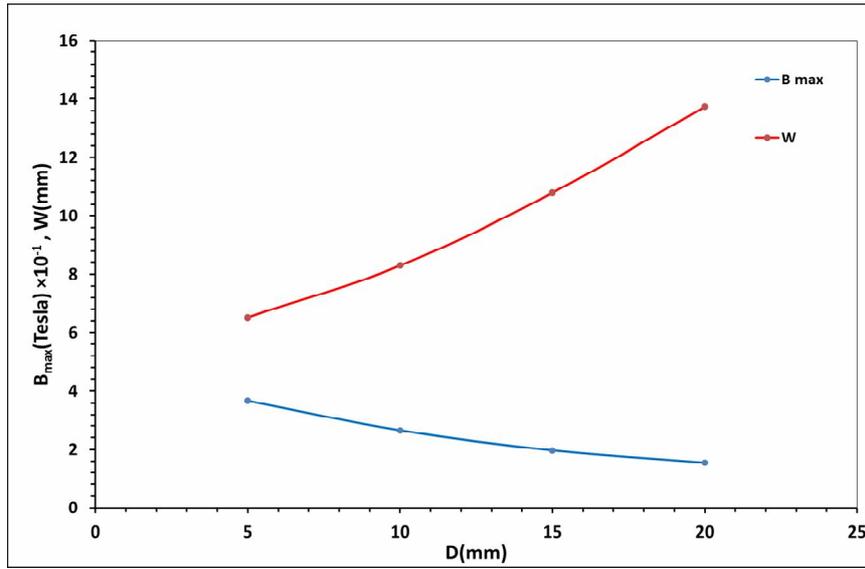


الشكل (٣) التصميم الهندسية المقترحة للعدسات الكهرومغناطيسية ثنائية القطب المتناظرة وقيم مختلفة لقطر الفتحة المحورية (D)

يبين الشكل (٤) توزيعات كثافة الفيض المغناطيسي المحوري (B_z) للعدسات الكهرومغناطيسية ثنائية القطب المتناظرة على امتداد المحور البصري (Z) وقيم مختلفة لقطر للفتحة المحورية (D=5,10,15, 20mm) وبثبوت قيمة الفجوة الهوائية (S=5mm) ويلاحظ من الشكل ان زيادة قطر الفتحة المحورية (D) يسبب النقصان في القيمة العظمى لكثافة الفيض المغناطيسي (B_{max}) وزيادة في قيم عرض نصف المجال (W) وكما مبين بالشكل (٥)، ويفسر ذلك على ان زيادة قطر الفتحة المحورية يؤدي الى زيادة المساحة التي ينتشر بها المجال المغناطيسي خلال قطبي العدسة مما يقلل من قيمة المجال المغناطيسي المتمركز في الفجوة الهوائية بين القطبين.

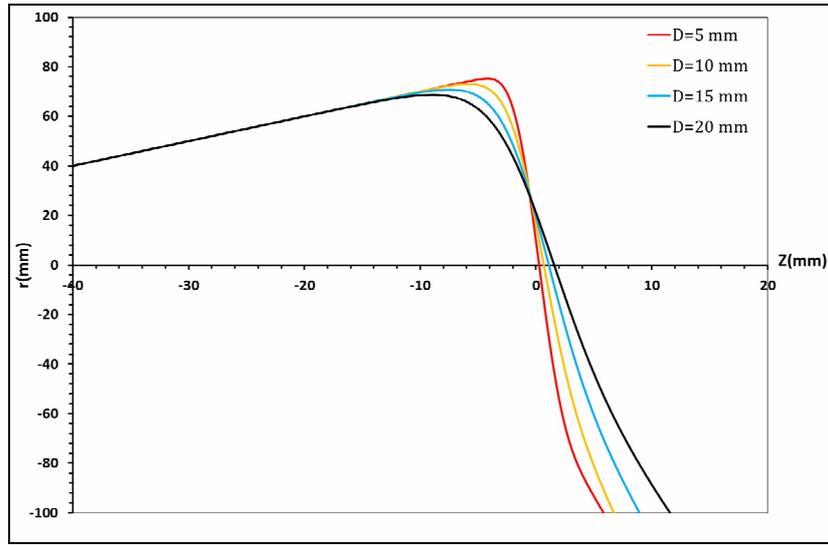


الشكل (٤) منحنيات توزيع كثافة الفيض المغناطيسي المحوري (B_z) عند قيم متغيرة للفتحة المحورية (D) وبثبوت قيمة الفجوة الهوائية (S).



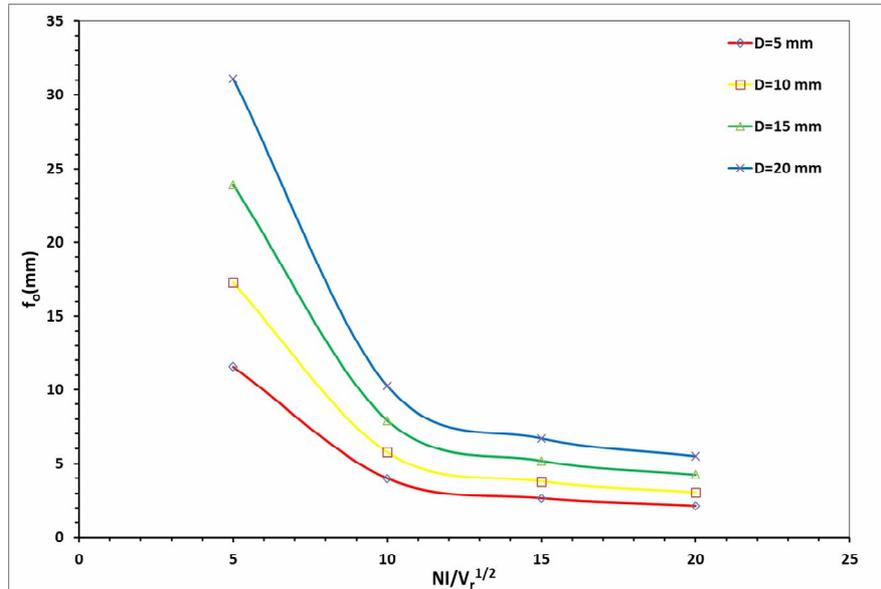
الشكل (٥) تغير القيمة العظمى لكثافة الفيض المغناطيسي (B_{max}) وعرض نصف المجال (W) مع قطر الفتحة المحورية لقطبي العدسة الكهرومغناطيسية (D)

يبين الشكل (٦) مسارات الحزم الالكترونية عند قيم مختلفة لقطر الفتحة المحورية (D) بثبوت عرض الفجوة الهوائية (S=5 mm)، ويلاحظ من الشكل ان زيادة قطر الفتحة المحورية يؤدي الى النقصان في انحدار مسار الحزمة الالكترونية لحظة دخول الحزمة مجال العدسة ويعود السبب في ذلك الى الانخفاض في قيم المجال المغناطيسي المحوري في الفجوة الهوائية بين القطبين.

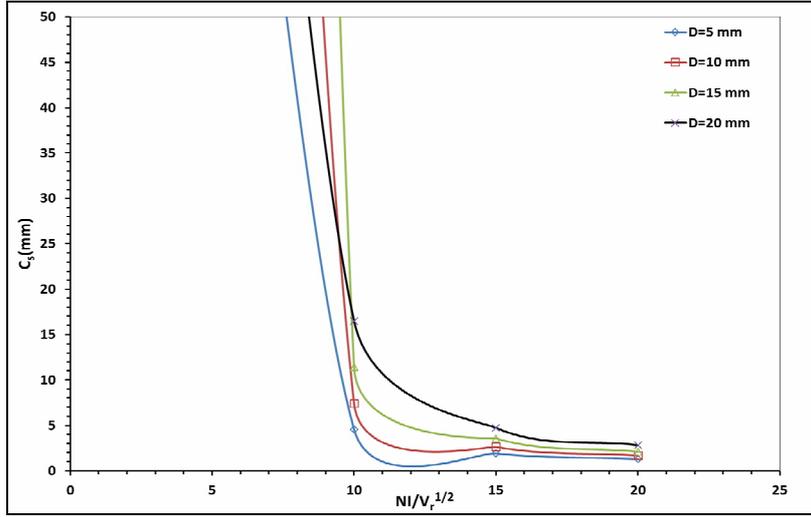


الشكل (٦) منحنيات مسار الحزم الالكترونية عند قيم مختلفة لقطر الفتحة المحورية (D) بثبوت عرض الفجوة الهوائية (S)

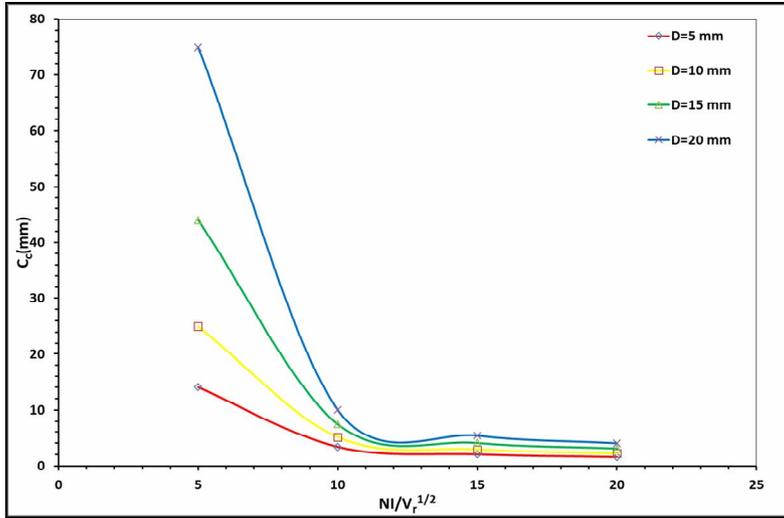
تبين الاشكال (٩،٨،٧) منحنيات البعد البؤري الشبئي (f_0)، معامل الزيغ الكروي (C_s) ومعامل الزيغ اللوني (C_c) على التوالي كدالة لأعلومة التهيج $NI/V_r^{1/2}$ ولقيم مختلفة لقطر الفتحة المحورية (D) وبثبوت عرض الفجوة الهوائية (S)، ويلاحظ من الاشكال ان قيم البعد البؤري الشبئي ومعاملات الزيوغ تقل كلما تزداد قيم اعلومة التهيج ولجميع قيم (D) ويعود السبب في ذلك الى النقصان في قيم فولتية التعجيل المصححة نسبياً (V_r) والمؤثرة على سرعة الالكترونات فنقل طاقتها الحركية مما يؤدي الى زيادة مدة التفاعل بين المجال المغناطيسي والحزمة الالكترونية. يبين الشكل (١٠) تأثير زيادة قطر الفتحة المحورية (D) على قيم البعد البؤري الشبئي (f_0)، معامل الزيغ الكروي (C_s) ومعامل الزيغ اللوني (C_c) وعند اعلومة تهيج ثابتة ($NI/V_r^{1/2}=20$)، وجد ان هذه القيم تزداد كلما ازدادت قيم (D) وكما هو مبين في الجدول (1) بسبب النقصان في انحدار مسار الحزمة الالكترونية لحظة دخولها للعدسة .



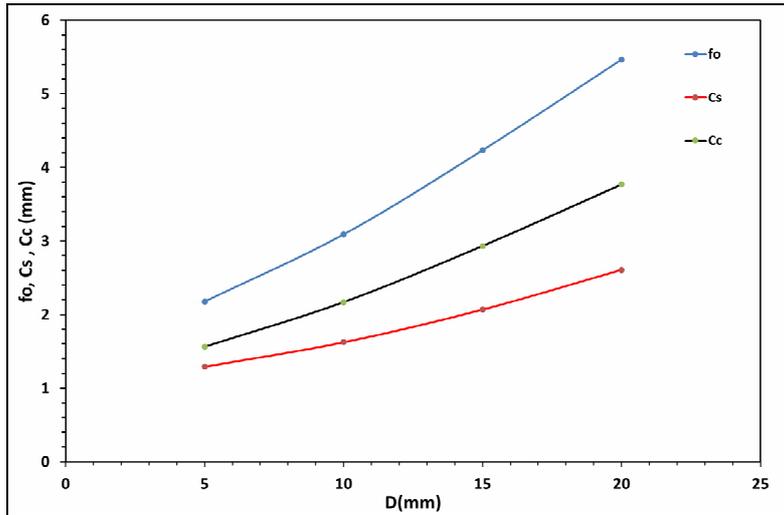
الشكل (٧) منحنيات البعد البؤري الشبئي (f_0) كدالة لأعلومة التهيج $NI/V_r^{1/2}$ ولقيم مختلفة لقطر الفتحة المحورية (D)



الشكل (٨) منحنيات معامل الزيف الكروي C_s كدالة للأعلومة التهيج $NI/V_r^{1/2}$ ولقيم مختلفة لقطر الفتحة المحورية (D)



الشكل (٩) منحنيات معامل الزيف اللوني (C_c) كدالة للأعلومة التهيج $NI/V_r^{1/2}$ ولقيم مختلفة لقطر الفتحة المحورية (D)



الشكل (١٠) تغير قيم البعد البؤري الشبئي (f_0) ، الزيف الكروي (C_c) ومعامل الزيف الكروي (C_s) مع قطر الفتحة المحورية (D) عند اعلومة التهيج $NI/V_r^{1/2}=20$.

الجدول (١) : تغير قيم الخواص البصرية الشينئية مع قطر الفتحة المحورية (D)

D(mm)	f_0 (mm)	C_s (mm)	C_c (mm)
5	2.177	1.291	1.563
10	3.09	1.623	2.17
15	4.234	2.068	2.933
20	5.466	2.608	3.769

الاستنتاجات

١. تزداد القيمة العظمى لكثافة الفيض المغناطيسي المحوري (B_{max}) كلما قلت قيم قطر الفتحة المحورية (D) للعدسة ويصاحب ذلك نقصان في عرض النصف (S).
٢. تقل قيم البعد البؤري الشينئي (f_0) ومعاملات الزيوغ (C_c, C_s) كلما قلت قيم قطر الفتحة المحورية (D) وتصبح العدسة ذات خواص بصرية شينئية جيدة ويعود السبب في ذلك الى نقصان عرض نصف المجال المغناطيسي (W).
٣. الحصول على عدسات كهرومغناطيسية ذات خواص بصرية شينئية جيدة باستخدام برنامج (EOD) بدقة عالية.

المصادر

- الحي، شذى محمد علي، ١٩٩٠، "المجهر الإلكتروني"، وزارة التعليم العالي والبحث العلمي، جامعة بغداد.
- الشافعي، طالب محسن عباس، ٢٠٠١، "التسرب المغناطيسي خلال فتحات اقطاب العدسات المغناطيسية" رسالة ماجستير، كلية العلوم، جامعة بابل.
- الشافعي، طالب محسن، ٢٠٠٧، "دراسة حاسوبية في تصميم عدسات المجهر الإلكتروني النفاذ" اطروحة دكتوراه، كلية التربية، الجامعة المستنصرية.
- العبيدي، حسن نوري عبد الوهاب، ١٩٩١، "تصميم العدسات الكهرومغناطيسية"، رسالة ماجستير، كلية العلوم، الجامعة المستنصرية.
- المحنا، سارة معين شهاب، ٢٠١٥، "دراسة الخواص البصرية للعدسات المغناطيسية المزدوجة باستخدام طريقة التوليف" رسالة ماجستير، كلية التربية للعلوم الصرفة، جامعة بابل.
- الواسطي، هبة كامل جعفر، ٢٠١٣، "اعادة بناء اقطاب العدسات المغناطيسية المزدوجة عديمة الدوران والتشويه بطريقة التصميم العكسي باستخدام نماذج المجال المغناطيسي"، رسالة ماجستير، كلية التربية للعلوم الصرفة، جامعة بابل.
- Lencova and J. Zlamal, 2009, " Electron Optical Design Program " Czech Republic.