أمثلية العدسات المغناطيسية المزدوجة عديمة الدوران والتشويه باستخدام الأنموذج الكاوسي

هبة كامل جعفر

طالب محسن عباس ، فؤاد عطية مجيد

fouadalajeeli@yahoo.com Dr.talib_mohsen@yahoo.com

كلية التربية للعلوم الصرفة – جامعة بابل

الخلاصة

تم في هذا البحث إجراء محاكاة حاسوبية تصف إحدى طرائق أمثلية العدسات الالكترونية. تركزت هذه الدراسة على إيجاد التصميم الأمثل لأقطاب العدسات المغناطيسية المزدوجة عديمة التشويه والدوران وذلك عن طريق استخدام احد نماذج المجال المغناطيسي المعروفة في البصريات الالكترونية (الأنموذج الكاوسي) كدالة هدف لتمثيل المجال المغناطيسي المحوري.

الكلمات الدالة : البصريات الالكترونية ،العدسة الالكترونية ،العدسة المغناطيسية المزدوجة.

Abstract

In the present work, a computational simulation has been introduced to describe one of the optimization methods of electron lenses. This study concentrates to find optimum design of polepieces of free rotation and distortion doublet magnetic lenses by using one of magnetic field models that which known in electron optics (Gaussian Model), as target function for the axial magnetic field.

Key ward: Electron Optics, Electron Lens, Doublet magnetic lens

١.المقدمة

إن إحدى المشاكل التي تواجه مسالة إيجاد تصاميم هندسية معينة للعدسات الالكترونية المغناطيسية بمعاملات زيوغ صغيرة جداً هي اعتماد خواص هذه العدسات على عدد كبير من المتغيرات الهندسية والفيزياوية ، وتدعى عملية الوصول الى التصميم الهندسي والفيزياوي المرغوب فيه بأقل زيوغ بالامثلية ، وهنالك نوعان مختلفان من طرق الامثلية هما طريقة التحليل وطريقة التوليف. في هذه الدراسة تم الاعتماد على طريقة التوليف لإعادة بناء أقطاب العدسات المغناطيسية المزدوجة عديمة الدوران والتشويه ودراسة خواصها البصرية المسقطية لاستخدامها كعدسات مسقطية في المجاهر الالكترونية النفاذة ، وذلك عن طريق استخدام الأنموذج الكاوسي (Gaussian Model) كدالة هدف ولأول مرة لتمثيل المجال المزدوج للعدسة المغناطيسية المزدوجة.

تعد العدسة المغناطيسية المسقطية من أهم عدسات المجهر الالكتروني النفاذ بعد العدسة الشيئية اذ تقوم بتكبير الصورة التي تكونها العدسة الشيئية وتسقطها على شاشة المجهر الالكتروني. لكن هذه العدسة تعاني من عيوب تحدث تشويها في الصورة المتكونة فيها لكنها لا تؤثر على قدرة تحليل المجهر[Williams, 2004] . إن من أهم العيوب التي تظهر على الصورة عند تشغيل هذه العدسة بالإضافة الى دورانها حول المحور البصري هما التشويه الشعاعي (radial distortion) والتشويه الحلزوني (spiral distortion) . ويعتبر التشويه الحلزوني من العيوب الخاصة بالعدسات المغناطيسية بسبب دوران الصورة بشكل غير متساو على امتداد نصف قطر الفتحة المحورية للعدسة ويزداد بشكل طردي مع تهيج العدسة، وبما ان العدسة المسقطية تعمل عند القيمة الصغرى لبعدها البؤري للحصول على أعظم تكبير للصورة فان التشويه الحلزوني سيكون عالياً عند هذه التهيجات، ولأجل تحسين جودة الصورة النهائية يجب العمل على إلغاء أو تقليص هذا التشويه ، ومن بين الطرائق التي استخدمت في تقليص التشويه الحلزوني هو استخدام العدسة المسقطية المزدوجة (double lens) ولكي تكون الصورة التي تكونها العدسة المزدوجة

خالية من الدوران يجب ان يكون التهيج في العدستين متساوٍ ومتعاكس أي $(NI)_1=-(NI)_2$ [Juma,1975] .
ولتحقيق هذا الشرط فان عدد لفات الملف في العدسة الأولى يساوي ذلك في العدسة الثانيــة (أي $N_1=N_2$)، وان التيار المستمر I_1 المار خلال لفات الملف في العدسة الأولى يساوي التيار I_2 المار في العدسة الثانيــة ولكن باتجاه معاكس (أي $I_1= - I_2$).

أن منحنيات الخواص البؤرية المسقطية في العدسات المزدوجة تمتلك دورانين مقارنة بنظيراتها من العدسات المنفردة وذلك لنفس فترة قيم اعلومة التهيج، حيث يسمى الدوران الأول عادةً بمنطقــة التكبيــر الأولى ويسمى الدوران الثاني بمنطقة التكبير الثانية إن سبب نشوء هذين الدورانين يعود الى التفاعل بــين خواص العدسة الأولى وخواص العدسة الثانية اعتماداً على قيم توزيع مجاليهما وارتفاع الحزمة الالكترونية المارة خلالهما. [العمشاني،٢٠٠٧]

لغرض الحصول على عدسات مسقطية مزدوجة خالية من التشويه الحلزوني في منطقة الــدوران الأولى يجب ان تكون كثافة الفيض المغناطيسي للعدسة الأولى اقل من كثافة الفيض المغناطيسي في العدسة الثانية، بينما في منطقة الدوران الثانية يجب أن تكون كثافة الفيض المغناطيسي في العدسة الثانية اقل مــن الأولى، كذلك للحصول على تشويه شعاعي صفري يجب وضع العدسة الثانية في بــؤرة العدســة الأولــى [السعدي،١٩٩٥] .

منذ أربعينات القرن الماضي جرت محاولات عديدة لأجل الحصول على صوره عديمة الــدوران والتشويه في آن واحد وذلك باستخدام العدسة المزدوجة وان أولى هذه المحاولات كانت على يد Hillier عام ١٩٤٦، حيث وضعت العدسة الثانية في بؤرة العدسة الأولى وتم تشغيل العدستين بصورة متعاكسة، فــتمكن الباحث من الحصول على صورة عديمة الدوران والتشويه الشعاعي، ولكن التشويه الحلزوني بقى ملازمــاً لعمل هذه العدسة. في الحقيقة يمكن اعتبار العام ١٩٨١ بأنه التاريخ الذي قدمت فيــه أول محاولــة جديــة للتخلص من التشويه الشعاعي والحلزوني في صورة عديمة الدوران، حيث صمم الباحثــان [Tsuno and Harada, 1981 a:b] عدسة مزدوجة ثلاثية القطب ذات فتحات محورية غير متساوية تعطي فــي منطقــة الدوران الاولى صوراً عديمة الدوران والتشويه الشعاعي وبتشويه حلزوني نســبته ٠,٠٧ %. تبــع ذلــك [العبيدي،١٩٩١] الذي تمكن من الحصول على صور عديمة الدوران والتشويه الشعاعي والحلزونــي فــي منطقة الدوران الأولى فقط باستخدام عدسة مغناطيسية مزدوجة تتكون من عدستين مغناطيسيتين ثنائية القطب الاسطواني. بعد ذلك قدمت دراسات عديدة مستخدمة أسلوب مشابه لما جاء في الدراســة الأخيــرة ولكــن العدستين إحداهما ثنائية القطب والأخرى أحادية القطب كالاسطواني [السعدي، ١٩٩٦] ، الكــروي [زيــن العابدين، ١٩٩٧] ، المخروطي بوجه مستوي، [الشمري، ٢٠٠٢] وبأقطاب متنوعة [الســعدي وآخــرون، ٢٠٠٩] ، بحيث تمكنوا من الحصول على عدسات مسقطية مزدوجة خالية من الدوران والتشويه في منطقتي الدوران الأولى والثانية.

من الملاحظ أن جميع هذه الدراسات كانت تتبع أسلوب التحليل في الامثلية ولم يســتخدم أي منهــا أسلوب التوليف. في الواقع ظهرت في الآونة الأخيرة دراسات حديثة تناولت موضــوع تصــميم عدســات مسقطية مزدوجة عديمة التشويه والدوران باستخدام طريقة التوليف وذلك باقتراح بعض الدول الرياضــية التي تمثل مجال او وجهد العدسة المزدوجة كدول هدف للوصول للأقطاب المغناطيسية عديمــة الــدوران والتشويه انظر على سبيل المثال [العمشاني ,٢٠٠٦] ، [Al-duodi,2010].

٢.دالة الهدف:

تم في هذا البحث استخدام احد نماذج المجال المغناطيسي المعروفة في حقل البصريات الالكترونية كدالة هدف وهو الأنموذج الكاوسي (Gaussian Model) والشكل الرياضي له هو [Szilagyi,1988] :

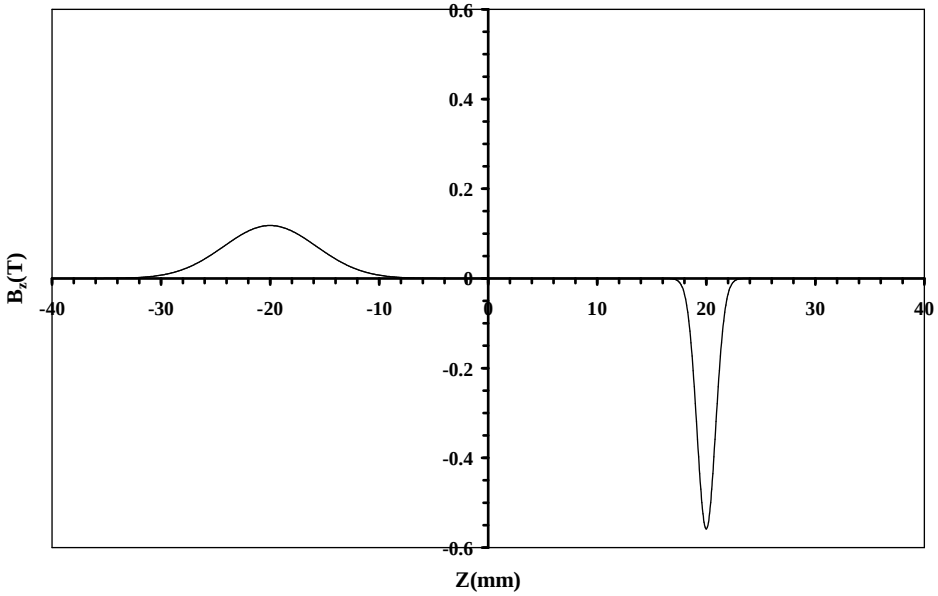
$$B(z)=B_{max}\exp[-(2z/W)^2 \ln 2] \qquad (1)$$

يلاحظ من العلاقة أعلاه إن هذا النموذج يمثل توزيع كثافة الفيض المغناطيسي المحوري لعدسة منفردة ثنائية القطب متناظرة ، وهو دالة لعرض نصف المجال المغناطيسي المحوري (W) والقيمة العظمى لكثافة الفيض المغناطيسي المحوري (B_{max}) اللذان يمثلان متغيرات أمثلية يمكن من خلالهما تغير شكل المجال. في هذه الدراسة تم استخدام النموذج أعلاه لتمثيل المجال المغناطيسي المحوري لعدسة مغناطيسية مزدوجة لدراسة الخواص البصرية المسقطية وإعادة بناء الأقطاب المغناطيسية المزدوجة عديمة الدوران والتشويه وذلك باستخدام بعض البرامج الحاسوبية المكتوبة بلغة (Fortran-90) والمعدة لهذا الغرض. وللحصول على مجال مغناطيسي على امتداد المحور البصري للعدسة المزدوجة باستخدام العلاقة (1) تم تقسيم المحور البصري إلى منطقتين، المنطقة الأولى تمثل القيم السالبة للمحور البصري (مجال العدسة المنفردة الأولى) والمنطقة الثانية تمثل القيم الموجبة (مجال العدسة المنفردة الثانية) بحيث تعمل كل منطقة بمعزل عن الأخرى. بعبارة أخرى تم تمثيل دالة الهدف لقيم z السالبة عند قيم معينة W، B_{max} في حين يمكن ان يتم استخدام قيم W، B_{max} مرة أخرى مختلفة او متشابهه لقيم z الموجبة. في الحقيقة هذا الوضع يتيح إمكانية تغير خواص العدسة المزدوجة عن طريق تغيير المتغيرات الفيزيائية لإحدى عدساتها المنفردة فقط.

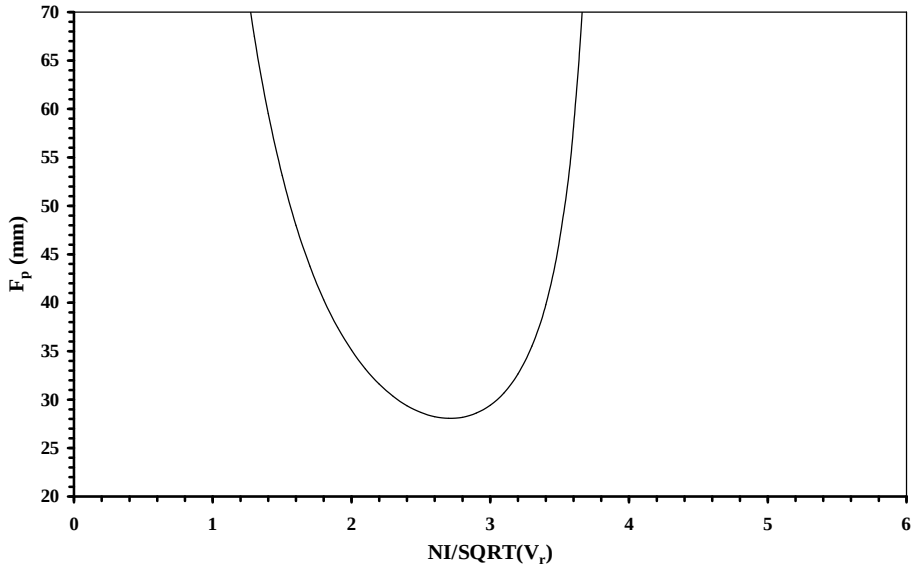
٣.النتائج والمناقشة

يوضح الشكل (١) توزيع كثافة الفيض المغناطيسي على امتداد المحور البصري للعدسة المزدوجة عند قيم عرض النصف والقيمة العظمى لمجال العدسة الأولى والثانية (B_{max1}=0.1181T ، W_1=10mm) ، (B_{max2}=0.5585T، W_2=2mm)على التوالي ، بحيث تم المحافظة على تهيج متساوي(NI=1000) ومتعاكس للعدسة المزدوجة (NI_1=-NI_2) وهو شرط الحصول على عدسة خالية من الدوران ، كما يلاحظ ايضاً أن طول العدسة هو (80mm) و المسافة بين مركزي المجالين (40mm) . تم استخدام المجال المغناطيسي المحوري المبين في الشكل (١) لحساب الخواص المغناطيسية المسقطية للعدسة المزدوجة حيث توضح الإشكال (٢) ، (3) و (4) منحنيات البعد البؤري المسقطي (F_p) ، معامل التشويه الشعاعي (D_r) ومعامل التشويه الحلزوني (D_s) كدالة لاعلومة التهيج NI/SQRT(V_r) عند منطقة الدوران الأول $0.01 \le NI/SQRT(V_r) \le 4.5$. يلاحظ من الإشكال إن للعدسة قيمة صغرى للبعد البؤري المسقطي تعمل عندها لتعطي أعظم تكبير كذلك يلاحظ ان منحنيات التشويه الشعاعي والحلزوني تقل بزيادة اعلومة التهيج ويعود السبب في ذلك الى النقصان في قيمة فولتية التعجيل (V_r) لان قيم التهيج (NI) ثابتة عند القيمة (1000 a.t) كشرط تشغيلي . كذلك يلاحظ من الأشكال ان التشويه الشعاعي يصل الى قيمته الصفرية عند نفس أعلومة التهيج التي يتلاشى عندها التشويه الحلزوني NI/SQRT(V_r)=2.9 والتي تكون قريبة جداً لاعلومة التهيج التي تعطي القيمة الصغرى للبعد البؤري المسقطي NI/SQRT(V_r)=2.7 وبالتالي الحصول على صورة مكبرة وخالية من الدوران والتشويه في منطقة الدوران الأولى. يوضح الشكل (٥) مقطع عرضي للنصف العلوي للأقطاب المغناطيسية للعدسة المزدوجة عديمة الدوران والتشويه أما الشكل (٦)

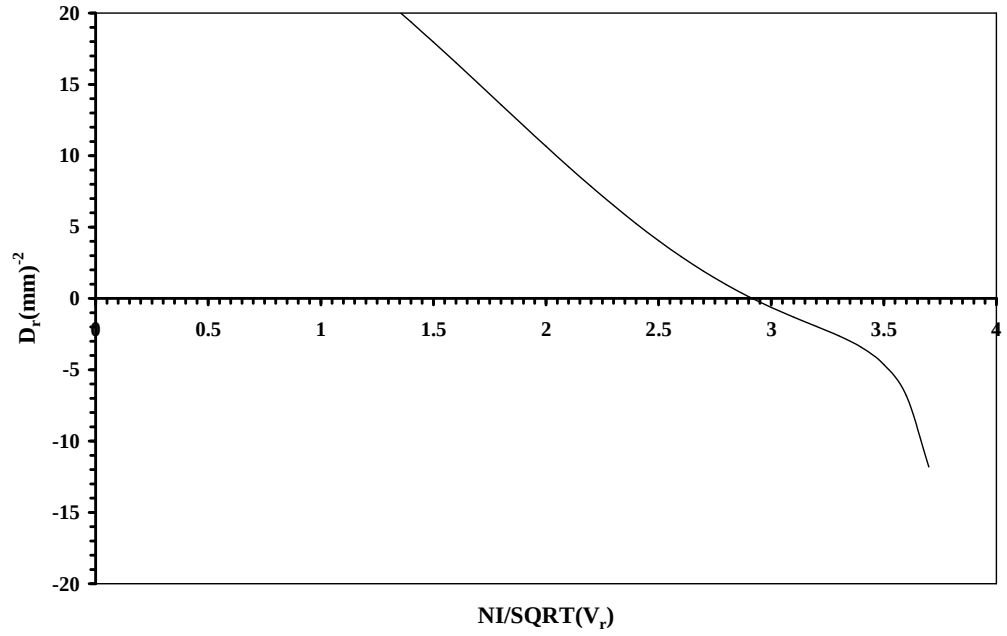
فيوضح نفس الأقطاب بثلاثة أبعاد ، ويلاحظ من الشكلين إن أقطاب العدسة الأولى تختلف عن أقطاب العدسة الثانية بسبب اختلاف مجالها المغناطيسي .



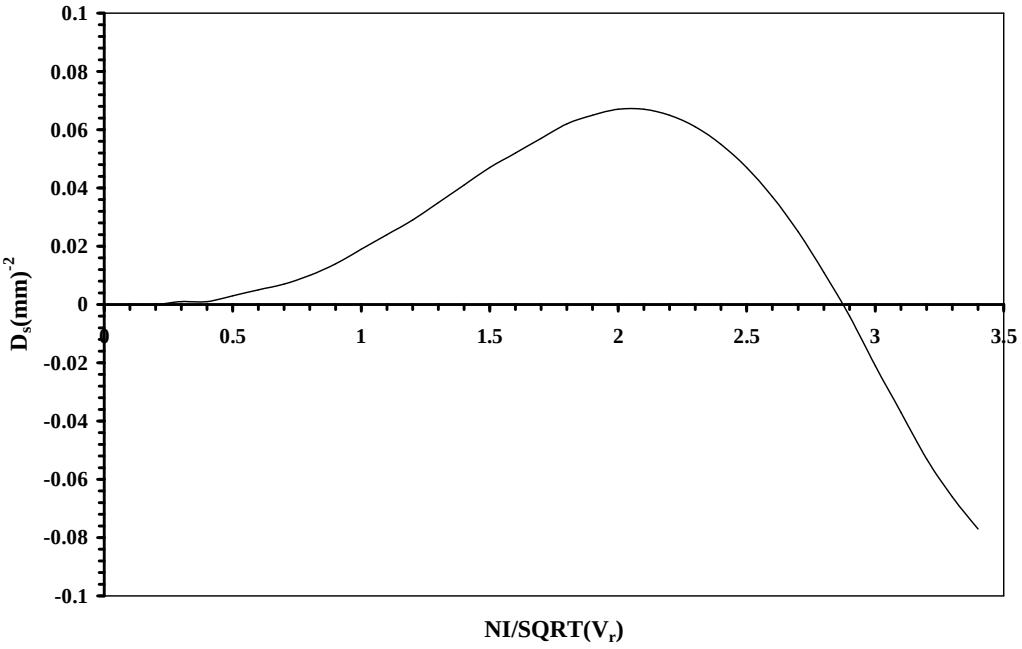
(١): توزيع كثافة الفيض المغناطيسي المحوري للعدسة المزدوجة.



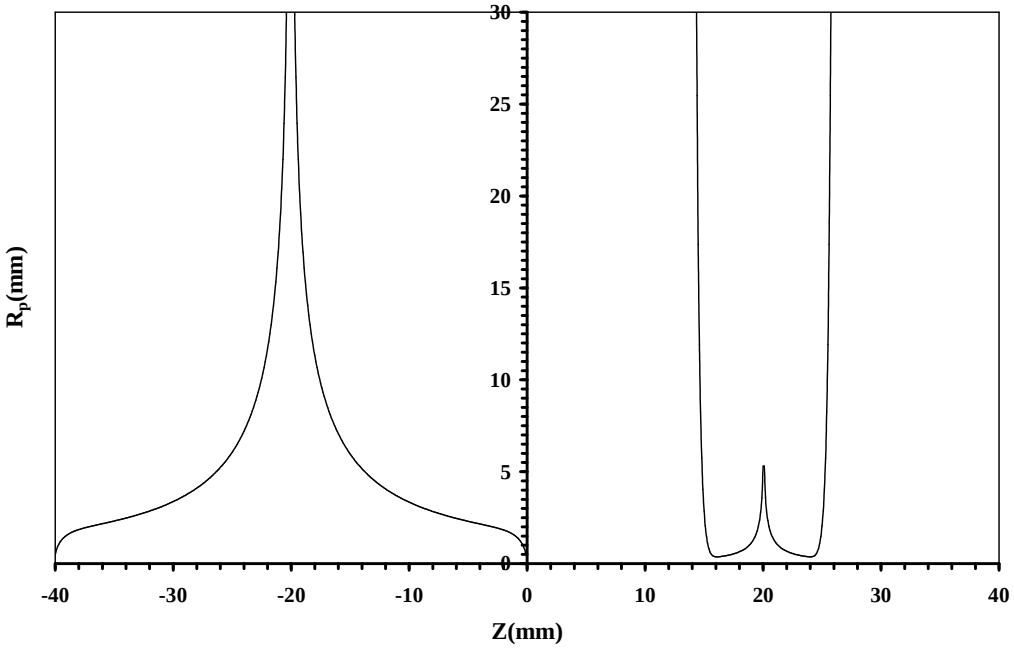
الشكل (٢): تغير البعد البؤري المسقطي F_p كدالة لاعلومة التهيج ($NI/SQRT(V_r$



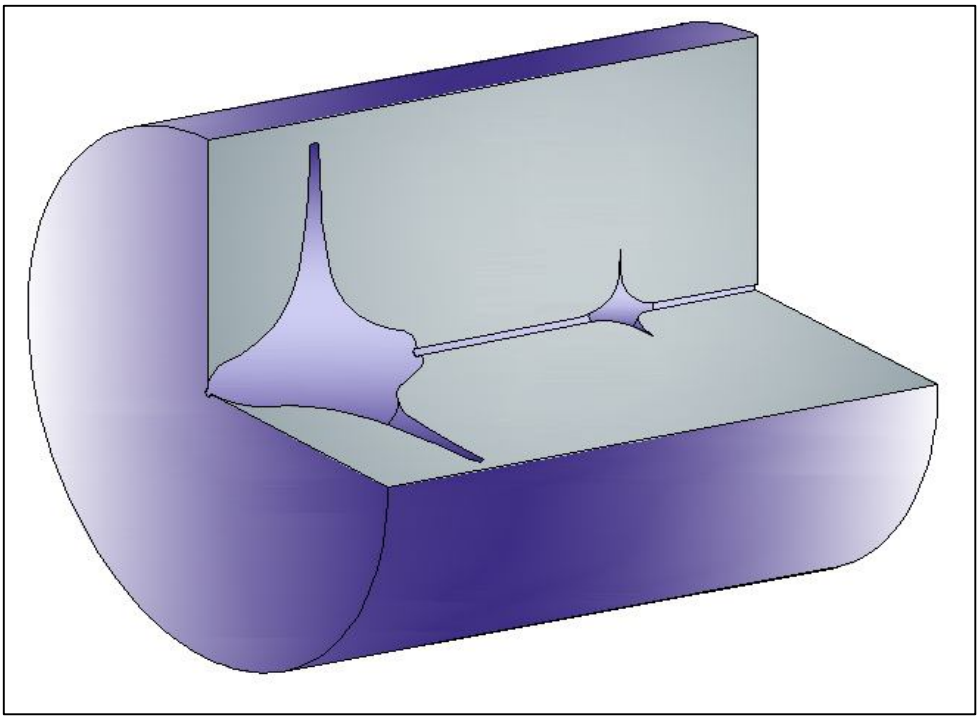
الشكل(٣): تغير معامل التشويه الشعاعي D_r كدالة لاعلومة التهيج NI/SQRT(V_r)



الشكل(٤): تغير معامل التشويه الحلزوني D_s كدالة لاعلومة التهيج NI/SQRT(V_r)



الشكل (٥): المقطع العرضي للنصف العلوي للأقطاب المغناطيسية للعدسات المسقطية المزدوجة عديمة الدوران والتشويه .



الشكل (٥): المقطع العرضي للنصف العلوي للأقطاب المغناطيسية للعدسات المسقطية المزدوجة عديمة الدوران والتشويه .

٤.الاستنتاجات

إن أهم ما يمكن استنتاجه من خلال هذه الدراسة يمكن إجماله بالنقاط آلاتية :

١. إمكانية استخدام احد نماذج المجال المغناطيسي المعروفة في بصريات الالكترونية (الأنموذج الكاوسي) كدالة هدف في تقنية التوليف وبكفاءة عالية لإعادة بناء الأقطاب المغناطيسية للعدسات المسقطية المزدوجة عديمة الدوران والتشويه.

٢. تم الحصول على تشويه شعاعي وحلزوني صفري عند نفس أعلومة التهيج وقريبة جدا من اعلومة التهيج التي تعمل بها العدسة عند اقل قيمة لبعدها البؤري المسقطي (أعظم تكبير)، وبالتالي الحصول على صورة مكبرة وخالية من الدوران والتشويه.

٣. عند استخدام مجال مغناطيسي مزدوج من مجالين يمثلان كل مجال عدسة ثنائية القطب تم الحصول على أقطاب مزدوجة تعطي صوراً عديمة الدوران والتشويه في منطقة الدوران الأولى فقط .

المصادر

زين العبدين ، فاتن شكور، (١٩٩٧)، "عدسة مسقطية ثلاثية بأقطاب كروية وذات صور عديمة التشويه والدوران " ، رسالة ماجستير/ كلية التربية / الجامعة المستنصرية.

السعدي عبد عون كاظم، الشمري بان علي، الشافعي طالب محسن، السعدي سعدي رحيم ،(٢٠٠٩)، "تصميم عدسة الكترونية عديمة التشويه والدوران"، مجلة جامعة بابل للعلوم التطبيقية، المجلد (17)، العدد (1)، ٧٢-٧٨ .

السعدي، عبد عون كاظم ، (١٩٩٦)، " حسابات عن خواص العدسات المغناطيسية المزدوجة للمجهر الالكتروني النفاذ"، أطروحة دكتوراه/ كلية العلوم/ الجامعة المستنصرية.

الشمري، بان علي ناصر،(٢٠٠٢)، "دراسة التشويه للعدسات المسقطية في المجهر الإلكتروني النفاذ"، رسالة ماجستير/كلية العلوم/ جامعة بابل. .

العبيدي، حسن نوري عبد الوهاب، (١٩٩١)، " تصميم العدسات الكهرومغناطيسية" ، رسالة ماجستير/ كلية العلوم/ الجامعة المستنصرية.

العمشاني، محسن صلبوخ، (٢٠٠٦)، " دراسة تحليلية لزيوغ العدسة المغناطيسية المسقطية" ، أطروحة دكتوراه/ كلية العلوم/ الجامعة المستنصرية.

Al-duodi E. H. (2010), *"Design of Electron Magnetic Lenses with Aid of a Modified Mathematical Field Formula*", Ph.D. Thesis, University of Al-Mustansiriyah, Baghdad, Iraq.

Hillier J. (1946), "*A study of Distortion in Electron Microscope Projection Lenses*"., J. Appl. Phys. 17, 411-419.

Juma S. M. (1975), *"Rotation Free Magnetic Electron Lenses*", Ph.D. Thesis, University of Aston, Birmingham, England, UK.

Szilagyi M. (1988), "*Electron and Ion Optics*", (Plenum Press: New York).

Tsuno, K. and Harada Y. (1981a), "*Minimization of Radial and Spiral Distortion in Electron Microscopy through the Use of a Triple Polepiece Lens*" J. Phys. E:Sci. Instrum., 14,313-319

Tsuno K. and Harada Y. (1981b),"*Elimination of Spiral Distortion Electron in Microscopy using an Asymmetrical Triple Polepiece Lens*", J. Phys. E:Sci. Instrum., 14,955-960

Williams D. B. (2004),"*Transmission Electron Microscope*", Plenum Press.