

تأثير بعض المعلمات الهندسية على خواص عدسة مغناطيسية ثلاثية

د.سعدى رحيم عباس - صادق خيون عجيل
قسم الفيزياء-كلية التربية-الجامعة المستنصرية

المخلص

يهدف البحث الحالي أساسا بحساب الخواص المسقطيه لعدسه مغناطيسية مزدوجة (ثلاثية الأقطاب ،ثنائيه الفجوة) باستخدام أنموذج (Gray) المعروف في البصريات الالكترونية كداله هدف لتمثيل توزيع كثافة الفيض المغناطيسي المحوري للعدسة المغناطيسية المقترحة، تم دراسة تأثير المعلمات الأكثر تأثيرا على الخواص البصريه للحصول على صور خاليه من الدوران والتشويه، بينت النتائج بوضوح أن المعلم المهم هو قطر الفتحة المحورية (d) (axial bore diameter) في ألداله الرياضيه الحاليه له تأثير كبير على زيوغ العدسة والأقطاب المغناطيسية المعاد بناءها. مفاتيح العمل : البصريات الالكترونية، العدسات المغناطيسية المزدوجة، الخواص المسقطية، التشويه

Effect of Some Geometrical Parameters on Properties of a Triple Magnetic Lens

Abstract

The Present work aim at is mainly concern with compute the projector properties of the doublet (triple pole-piece or double air gap)magnetic lens by using of well-known magnetic field model in electron optics ,which is (Gray). This model is employed to approximate the axial magnetic flux density distribution of proposed magnetic lens. The influence of the most effective optimization parameters to obtaining a rotation and distortion free images has been studied .Results have clearly shown that the optimization parameter (d) the axial bore diameter in mathematical function has a considerable effect on the lens aberration, the reconstructed pole-pieces

١. المقدمة

تعد العدسة المغناطيسية المسقطية من أهم عدسات المجهر الالكتروني النفاذ بعد العدسة الشيئية إذ تقوم بتكبير الصورة التي تكونها العدسة الشيئية وتسقطها على شاشة المجهر الالكتروني. الأ أن 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 تش غيل 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 تهييج 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 (doublet lens) ولكي تكون الصورة التي تكونها العدسة المزدوجة خالية من الدوران يجب ان يكون التهييج 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 الثانية (أي $N_1 = N_2$)، وان التيار المستمر I_1 المار خلال لفات الملف في العدسة الأولى يساوي التيار I_2 المار في العدسة الثانية ولكن باتجاه معاكس (أي $I_1 = -I_2$).

أن منحنيات الخواص البؤرية المسقطية في العدسات المزدوجة تمتلك دورانين (two loops) مقارنة بنظيراتها من العدسات المنفردة وذلك لنفس فترة قيم اعلومة التهييج. حيث يسمى الدوران الأول عادةً بمنطقة التكبير الأولى (M_1) (first magnification region) ويسمى الدوران الثاني بمنطقة التكبير الثانية (M_2) (second magnification region) إن سبب نشوء هذين الدورانين يعود الى التفاعل المتغير (interaction variant) بين خواص العدسة الأولى وخواص العدسة الثانية اعتماداً على قيم توزيع مجاليهما وارتفاع الحزمة الالكترونية المارة خلالهما [العشاني، ٢٠٠٦].

كما ان العدسة المزدوجة يمكن ان تعطي صور عديمة التشويه (rotation distortion free) في منطقتي التكبير الأولى (M_1) والثانية (M_2) ضمن الدوران الاول والثاني. حيث ان معامل التشويه الشعاعي يتغير مع اعلومه التهييج اذ يقل معامل التشويه الشعاعي مع زيادة اعلومه التهييج ويصبح صفراً وهي ألقيمه التي يقع عندها $(F_p)_{min1}$ للعدسة المزدوجة وهي نقطه التكبير الاولى (M_1). وتكون قيم معامل التشويه الشعاعي في دوران الثاني أكثر تأثيراً بأي تغير يحصل في اعلومه التهييج، اذا تنخفض قيمتها من الموجب الى السالب بانحدار كبير وتصبح صفراً عند اعلومه تهييج اكبر من اعلومه تهييج التي تقع عندها $(F_p)_{min2}$ [ان حدود اعلومه التهييج في الدورانين الاول والثاني لمعامل التشويه الشعاعي هي نفسها حدود الدورانين للبعد البؤري المسقطي

[. الا ان المشكله التي تعانيها العدسه المزدوجه المسقطيه هي التشويه الحلزوني (spiral distortion) الذي يسبب تشويها غير متجانس في ابعاد الصور [عربو ٢٠٠٥]. هذا البحث تم الاعتماد على طريقه التوليف في اعاده بناء الاقطاب المزدوجه عديمه الدوران والتشويه ودراسه خواصها المسقطيه بتأثير قطر الفتحه المحوريه (d) بالاستفادة من الانموذج المقترح والذي استخدم كداله هدف للمجال المغناطيسي المزوج .

٢. الأنموذج المجال المغناطيسي : Magnetic Field Model

إن الأنموذج الرياضي المعتمد في هذا البحث هو أنموذج [Hawkes, 1982] Gray لتمثيل توزيع شدة المجال المغناطيسي المحوري $H_z(z)$ على طول محور العدسة و استعمل البحث لدراسة التصميم العكسي للعدسات المغناطيسية المزدوجه وصيغته الرياضية هي:-

$$H_z(z) = \frac{NI}{2s} \left[\tanh\left(1.318\left(\frac{s}{d}\right)\left(1 + \frac{2z}{d}\right)\right) + \tanh\left(1.318\left(\frac{s}{d}\right)\left(1 - \frac{2z}{d}\right)\right) \right] \quad (1)$$

وتم اعتماد كدالة هدف ذات متغيرات أمثلية (optimization variables) وهي المعلمات الهندسية و الفيزيائية الأساسية وهي عرض الفجوة الهوائية s (air gap width) و قطر الفتحة المحورية (فتحة دخول الإلكترونات) d (axial bore diameter) وإثارة العدسة NI (excitation of lens) والتي من خلالها يتحدد شكل العدسة المغناطيسية.

إن من الواضح ومن خلال الصيغة الرياضية إمكانية التحكم المباشر في شكل العدسة، إذ اثبت إنه عندما يكون توزيع كثافة الفيض المغناطيسي المحوري محصوراً داخل الفجوة الهوائية، فإن خواص العدسة البصرية تكون جيدة، لذلك فإن التحكم بشكل التوزيع سيكون بسيطاً ومباشراً. أما قطر الفتحة المحورية، فإن له تأثيراً مباشراً على شكل العدسة وعلى خواصها البصرية، وعلى مقدار ما يتدفق من فيض مغناطيسي خلال الفتحة المحورية للقطب. وقد تم الحصول على كثافة الفيض المغناطيسي المحوري باستعمال المعادلة (1)، ذلك من خلال ضرب شدة المجال المغناطيسي المحوري بنفاذية الفراغ μ_0 كما موضح بالصيغة الآتية:-

$$B(z) = \frac{\mu_0 NI}{2s} \left[\tanh\left(1.318\left(\frac{s}{d}\right)\left(1 + \frac{2z}{d}\right)\right) + \tanh\left(1.318\left(\frac{s}{d}\right)\left(1 - \frac{2z}{d}\right)\right) \right] \quad (2)$$

يلاحظ من العلاقة اعلاه أن توزيع كثافة الفيض المغناطيسي المحوري $B_z(z)$ هي دالة لكل من s, d و NI يمكن تقريب مجال التصوير المحوري $B_z(z)$ على امتداد الفترة $Z_s \leq z \leq Z_E$ حيث ان Z_s و Z_E هي إحداثيات بداية ونهاية المحور البصري على التوالي.

وباستخدام المعادلة $\left(B(z) = -\mu_0 \frac{dv(z)}{dz} \right)$ وأجراء التكامل للمعادلة (2) على طول المحور

البصري بالنسبة لإحداثي (z) يمكن الحصول على الجهد العددي المغناطيسي المحوري (V_z) تحليليا كما في المعادلة الآتية:

$$V_z(z) = \frac{NI}{2s} \left(\frac{d}{2*1.318} \right) \left[\ln \left(\cosh \left(\frac{1.318s}{d} + \frac{2*1.318z}{d} \right) \right) - \ln \left(\cosh \left(\frac{1.318s}{d} - \frac{2*1.318z}{d} \right) \right) \right] \quad (3)$$

كذلك فان المشتقة الأولى والثانية للجهد العددي المغناطيسي المحوري (v_z'),(v_z'') تم حسابهما تحليليا وحسب الصيغ الرياضية الآتية:-

$$V'_z(z) = \frac{NI}{2s} \left(\tanh \left(\frac{1.318s}{d} + \frac{2*1.318z}{d} \right) + \tanh \left(\frac{1.318s}{d} - \frac{2*1.318z}{d} \right) \right) \quad (4)$$

$$V''_z(z) = \frac{1.318NI}{sd} \left(\operatorname{sech}^2 \left(\frac{1.318s}{d} + \frac{2*1.318z}{d} \right) - \operatorname{sech}^2 \left(\frac{1.318s}{d} - \frac{2*1.318z}{d} \right) \right) \quad (5)$$

باستخدام الاجراء التولييفي (synthesis) في مجال البصريات الالكترونيه والايونيه للحصول على المجالات المغناطيسيه وبتحديد قيم متغيرات الامثليه الفيزيائيه والهندسيه والمبينه في الأنموذج الرياضي معادله (2) ودراسه الخواص البؤريه المسقطيه للعدسات الثنائيه والثلاثيه والتي تمت دراستها بالتفصيل .

٣. إعادة بناء القطب: Pole-piece Reconstruction

في الاجراء التولييفي يتطلب ايجاد شكل قطب العدسه المغناطيسيه الذي يولد المجال الامثل (optimum field). ان مساله اعاده بناء (reconstruction) اقطاب العدسه المغناطيسيه من المسائل المعقدة جدا في بصريات الجسيمات المشحونه. وهذا التعقيد يمكن تقليصه و يمكن اختزال مساله المغناطيسيه المستقرة (magneto static problem) الى الوضع الذي يتحدد فيه الجهد المغناطيسي العددي المحوري v_z(z) للعدسه المغناطيسيه في المنطقه المطلوب تحديدها كليا عن طريق استخدام الحل التحليلي لمعادله لابلاس (Al-Obaidi,1995) . ان شكل القطب الذي

يولد المجال الامثل يمكن أيجاده بالنسبة للمنظومات المتناظرة المحورية، فيكون الجهد العددي المغناطيسي او الكهربائي $V(R_p, z)$ ممكن حسابه من التوزيع المحوري لنفس الجهد $V_z(z)$ في العلاقة (6) لمفكوك متسلسلة قوى (power series expansion)

$$V(R_p, z) = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{(-1)^k}{(k!)^2} \left(\frac{R_p}{2} \right)^{2k} \frac{d^{2k}V(z)}{dz^{2k}} \quad (6)$$

حيث ان $R_p(z)$ هو الارتفاع القطري للقطب عن المحور البصري. بالحقيقه مشابه لنظريه الجهد الكهربائي (electrical potential) لذلك يمكن استخدام نفس التقنيه المقدمة من قبل (Szilagy, 1984) لإعادة بناء القطبان الكهربائي (electrodes) للعدسه الكهربائيه في اعاده بناء اقطاب العدسه المغناطيسيه . ووفقا لهذة التقنيه، ان معادله سطوح تساوي الجهد (equipotential surfaces) ، أي الاقطاب المغناطيسيه في هذه أالحاله يتم حساب ارتفاع القطب باستخدام الحدين الأول والثاني من متسلسلة القوى من المعادله (6) والتي تعطى بالعلاقه التاليه :-

$$R_p(z) = 2 \left[\frac{V_z(z) - V_p}{V_z'(z)} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (7)$$

حيث ان $R_p(z)$ هو الارتفاع القطري للقطب عن المحور البصري، $V_z''(z)$ هي المشتقه الثانيه لتوزيع الجهد المغناطيسي العددي الذي يتم حسابها تحليليا من المعادله (5)، V_p يمثل الجهد عند أي من نهايتي المحور البصري ويساوي نصف اثاره العدسه (0.5NI) في حالة العدسات ثنائيه القطب المتناظره. ويمكن حساب قيمته باستخدام قانون امبير (Amperes law) وذلك بايجاد المساحه تحت منحنى توزيع B_z على طول المحور البصري z ومن ثم تقسيم نتيجة ذلك على العامل $2\mu_0$. وعليه فان شكل القطب يمكن تحديده مباشرة من العلاقة (7).

٤. عيوب العدسات المغناطيسية: Defects of Magnetic Lenses

هنالك نتيجتان مهمتان يصفان نظرية العدسات المغناطيسية ، النتيجة الاولى البعد البؤري يتناقص مع زيادة كثافة الفيض المغناطيسي والنتيجة الثانية الحزمة الالكترونية (حزمة الجسيمات المشحونه) تدور بتأثير المجال المغناطيسي وهذا التدوير يتناسب بكل بساطة مع تكامل شدة المجال المغناطيسي [Orloff ;2009] . ولا يعتمد على توزيع المجال المغناطيسي. أن العيوب التي تعاني منها العدسة المغناطيسية هي التشويه بأنواعه وهنالك نوعان مهمان من التشويه اللذان يحصلان في الصور التي تكونها العدسة المسقطية وهما التشويه الشعاعي او القطري

(radial distortion) والتشويه الحلزوني (spiral distortion) وتسبب هذه العيوب في تشويه شكل الصورة دون التأثير على قدرة التحليل [Wishniter,1981]. 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 تستخدم عند القيمة الصغرى لبعدها البؤري للحصول على أعظم تكبير للصورة فأن التشويه الحلزوني سيكون عاليا عند هذه التهيجات.ولاجل تحسين جودة الصورة النهائية يجب العمل على الغاء او تقليص هذا التشويه ومن بين الطرائق التي استخدمت في تقليص التشويه الحلزوني هو استخدام العدسة المسقطية المزدوجة (doublet lens) ذات الصورة عديمة الدوران [Juma;1975] اذ تكون محصلة الدوران ككل مساوية للصفر. يحدث التشويه الشعاعي بسبب اختلف قوة كسر العدسة للحزمة الالكترونية المارة خلالها نحو المحور البصري ، اذ تزداد قوة الكسر هذه كلما ابتعدت الحزمة الالكترونية عن المحور البصري مسببة اختلافا في الابعاد البؤرية للعدسة وبالتالي اختلافا في تكبير الصورة بمساحة عن ذلك المحور حيث تكون الصورة منحرفة شعاعيا عن نقطة صورة كاوس (Gaussian image) ويسبب التشويه الشعاعي تغيرا في مساحة وشكل الصورة الحقيقية بينما التشويه الحلزوني يسبب تغيرا في شكل الصورة دون مساحتها . يعتمد كل من معامل التشويه الشعاعي (D_r) والحلزوني (D_s) على التصميم الهندسي للعدسة وتهيجها (NI) اذ يقل (D_r) بزيادة (NI) بينما يزداد (D_s) بزيادة (NI) [Liebmann, 1952]. اذ ان معاملي التشويه الشعاعي والحلزوني تعطى بالصيغة الاتية

$$D_r = \left(\frac{\eta}{128V_r} \right)_{z_1}^{z_2} \left[\left(\frac{3\eta}{V_r} B_z^2 + 8B_z'^2 \right) r_\alpha r_\gamma^3 - 4B_z^2 (r_\gamma^2 r_\alpha r_\gamma + r_\gamma' r_\alpha^2 r_\alpha') \right] dz$$

(8)

$$D_s = \int_{z_1}^{z_2} \left[\frac{3}{128} \left(\frac{\eta}{V_r} \right)^{3/2} r_\alpha^2 B_z^3 + \frac{1}{16} \left(\frac{\eta}{V_r} \right)^{1/2} r_\alpha^2 B_z \right] dz$$

(9)

اذا ان Z_1 و Z_2 تمثل النقاط المحورية في بداية ونهاية المجال المغناطيسي على التوالي . r_α ، r_γ حلول معادلة الاشعة المحورية ، η نسبة شحنة الالكترون الى كتلته و V_r تمثل فولتية التعجيل المصححة نسبيا. ان معادلة الاشعة المحورية هي

$$r'' + \frac{\eta}{8V_r} B_z^2(z)r = 0$$

(10)

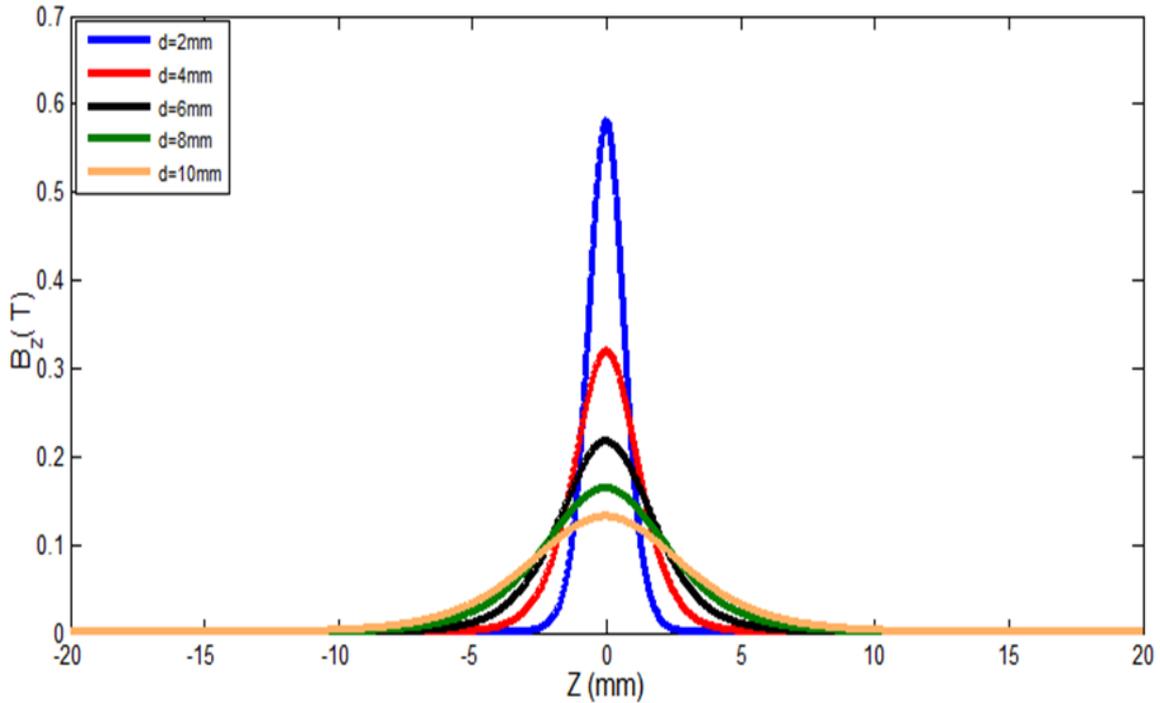
يتضح من العلاقة اعلاه ان زاوية الدوران لا تعتمد على البعد القطري عن المحور البصري، ولكن الحقيقة غير ذلك، اذ ان زاوية الدوران تكون اكبر للحزمة البعيدة عن المحور من تلك القريبة منه مسببة تشويهاً غير متجانس في الصورة يعرف بالتشويه الحلزوني .

5 . النتائج والمناقشه: Results and Discussion

تم استخدام أنموذج الرياضي (Gray) المعروف في البصريات الالكترونيه كدالة هدف لتمثيل توزيع كثافة الفيض المغناطيسي المحوري لعدسة مغناطيسية ثنائية القطب المتناظرة (عدسة منفردة) ودراسة خواصها البؤرية المسقطية ومن ثم إعادة بناء أقطابها المغناطيسية، حيث تفرض هذه الدالة في بنيتها الرياضية متغيرين هندسيين هما عرض الفجوة الهوائية بين القطبين (s) و قطر الفتحة المحورية للعدسة (d) إضافة الى متغير فيزيائي وهو إثارة العدسة (NI). تم دراسة تأثير أحد هذه المتغيرات (d) في تكوين صور عديمة الدوران والتشويه (rotation and distortion free images) بواسطة العدسات المزدوجة (doublet lenses). إن هذه الدراسة تتعامل مع المجالات المغناطيسية المستقرة والمتناظرة محوريا. لذا سيتم فقط حساب الخواص البصرية للعدسات المغناطيسية لظروف التكبير الصفري (zero magnification conditions) وتم الاخذ بنظر الاعتبار المناطق الخالية من التيارات (current- free regions) والتعامل مع الاقطاب المغناطيسية ذات النفاذية النسبية العالية جدا (بحدود 10^6 أو أكثر) وغير مشبعة مغناطيسيا. وتم اهمال تأثير اللاتناظر والشحنة الفراغية والتاثيرات النسبية. لغرض دراسة الخواص البصرية للعدسات المغناطيسية المزدوجة ذات الصور العديمة الدوران والتشويه سيتم دراسة خواص العدسة المنفردة ومن ثم مقارنتها مع خواص العدسة المزدوجة .

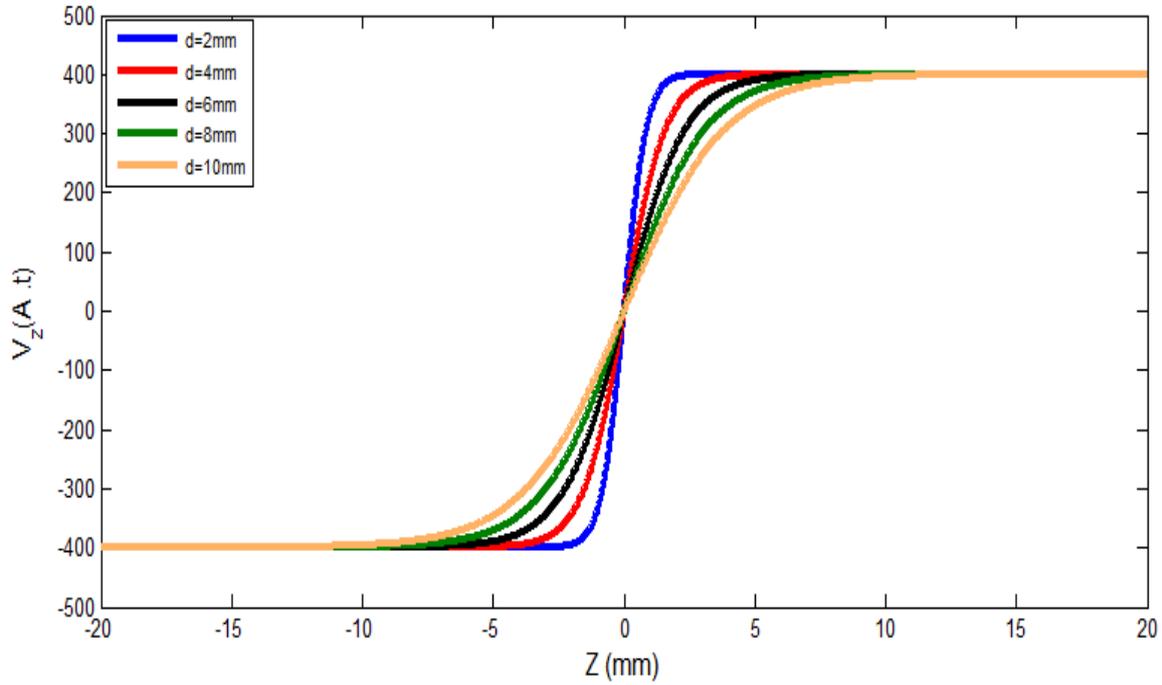
6 . العدسة المنفردة: Single Lens

لدراسة تأثير قطر الفتحة المحورية لدخول حزمة الالكترونات ($d=2,4,6,8,10$ mm) بثبوت قيم كل من اثاره العدسة ($NI=400A.t$) وسمك الفجوة الهوائية ($s=2mm$) وطول العدسة $L=40mm$ في حساب توزيعات المجال المغناطيسي المحوري B_z لقيم d المختلفة على امتداد المحور البصري وكما موضح في الشكل (1). من خلال الشكل يبين ان تغير اشكال المجال بتغير قطر الفتحة المحورية d يختلف عن نظيره عند تغير عرض الفجوة الهوائية s بين القطبين، كذلك يلاحظ ان القيمة العظمى لكثافة الفيض المغناطيسي المحوري B_{max} تقل مع زيادة الفتحة المحورية d، بينما تحصل زيادة مستمرة لقيمة عرض النصف w.

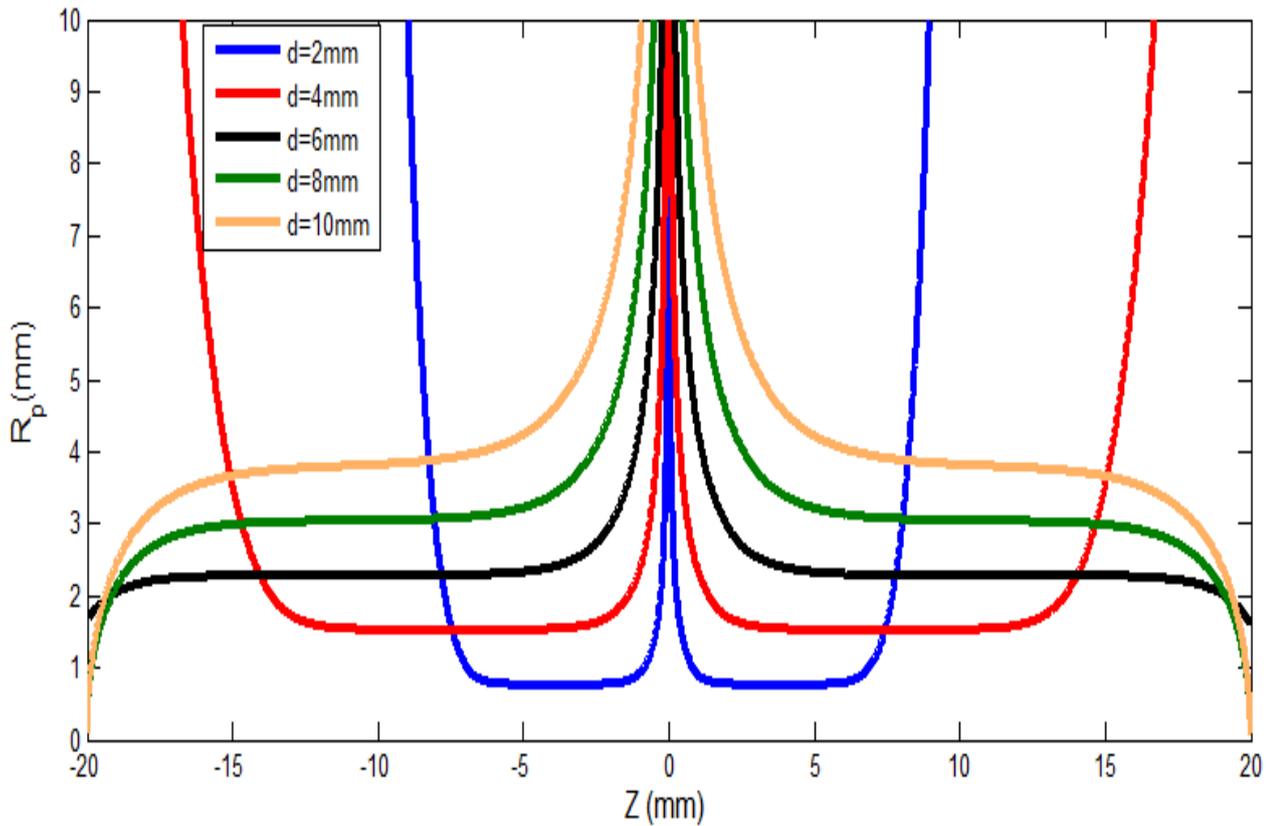


شكل (1) :توزيعات المجال المغناطيسي على امتداد المحور البصري لقيم d المختلفة بثبوت $NI=400A.t$, $s=2mm$, $L=40mm$

يوضح الشكل (2) تغير الجهد المغناطيسي العددي V_z على طول المحور البصري z ولقيم مختلفة لقطر الفتحة المحورية d ، ويلاحظ من الشكل ان قيمة الجهد تكون ثابتة عند اطراف العدسة ويتغير انحدار الجهد في المنطقة المحصورة $[-5,5]$ بحيث يقل الانحدار بشكل واضح مع زيادة قيم d ، وبسبب التغير في انحدار الجهد يتم اعادة بناء الاقطاب المغناطيسية المتناظرة ، حيث يبين الشكل (3) النصف العلوي للأقطاب المغناطيسية المعاد بناؤها ولقيم مختلفة لقطر الفتحة المحورية d والتي تتفق ابعادها الهندسية مع القيم المفروضة مسبقاً في الانموذج الرياضي لحساب المجال المغناطيسي المحوري.



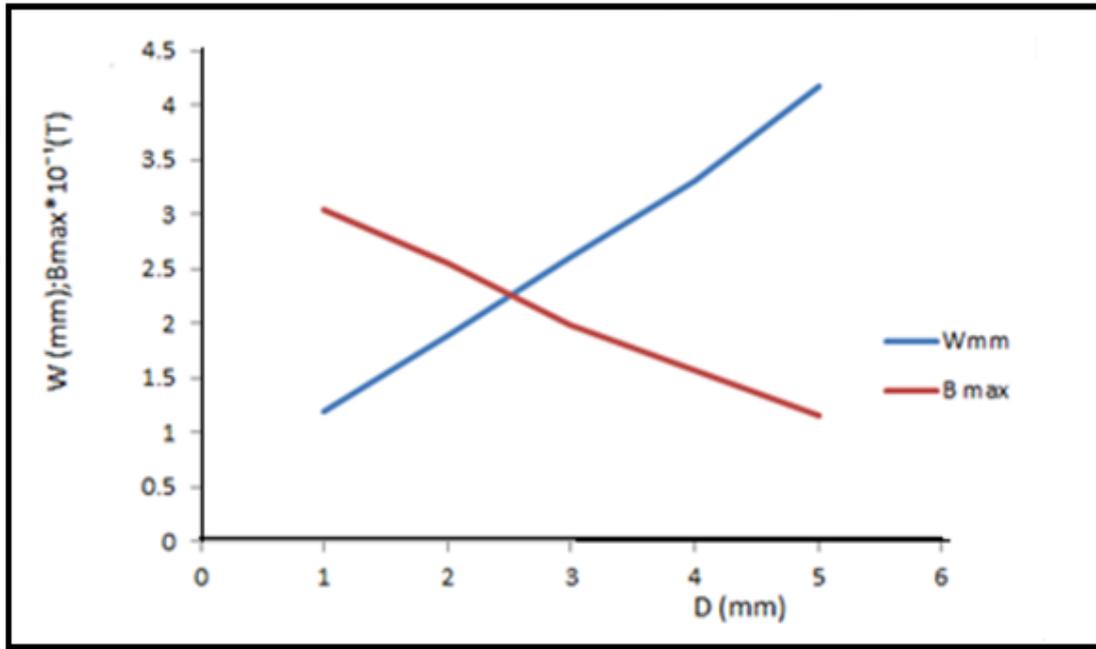
شكل (2): توزيعات الجهد العددي المغناطيسي على امتداد المحور البصري لقيم d المختلفة بثبوت $NI=400A.t$, $S=2mm$, $L=40mm$



شكل (3): اشكال الاقطاب المغناطيسية لكل توزيع B_z في الشكل (1) لقيم d المختلفة

اذ يلاحظ ان شكل الاقطاب المعاد بناؤها في حالة تغير d يختلف عما هو عليه بتغير s وبالتالي فان الشكل العام للأقطاب القادرة على توليد توزيعات المجال في الشكل (3) يلاحظ ان شكل

المجال المغناطيسي يتغير كثيرا لقيم d الكبيرة ، ويقتررب من شكل المجالات الناقوسية ، التي يمكن تمثيلها بأنموذج كلازر ألقاقوسي المعروف في مجالات بصريات الجسيمات المشحونة [Hawkes,1982]. كذلك يلاحظ أن القيمة العظمى لكثافة الفيض المغناطيسي المحوري B_{max} تقل مع زيادة الفتحة المحورية d ، بينما تحصل زيادة مستمرة لقيمة عرض النصف w كما موضح بالشكل (4)

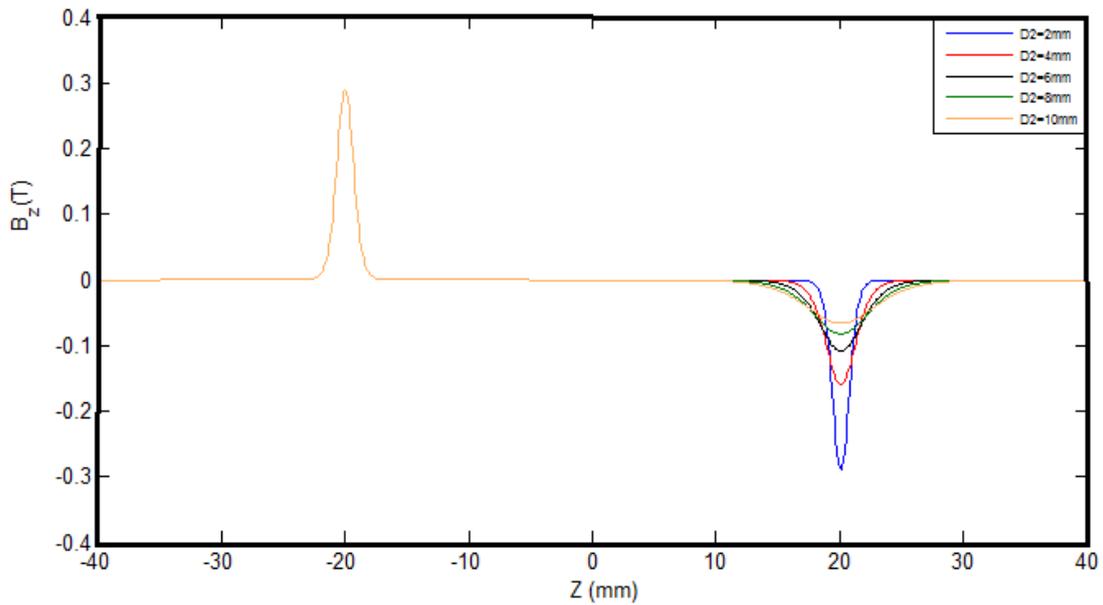


الشكل (4) :تغير القيمة العظمى لكثافة الفيض المغناطيسي (B_{max}) وعرض النصف (w) كدالة لقطر الفتحة المحورية d عند ثبوت $NI=400A.t, L=40mm, s=2mm$

٧. العدسة المغناطيسية المزدوجة: Doublet Magnetic Lens

لغرض دراسة خواص العدسة المسقطية ذات الصور العديمة الدوران والتشويه فقد اجريت الحسابات على عدسة مزدوجة اي ثنائية الفجوة الهوائية (double air –gap) فيتم تقسيم المحور البصري الى منطقتين ، المنطقة الأولى تمثل القيم الموجبة للمحور البصري والثانية تمثل القيم السالبة حيث تم استخدام أنموذج رياضي كدالة هدف لتمثيل المجال المغناطيسي العلاقة (١) لقيم z الموجبة عند قيم NI, d, s كمتغيرات امتلية محددة في حين يمكن استخدام قيم NI, d, s مرة اخرى لقيم z السالبة . ومن هذه التغيرات للمعلمات الهندسية الفيزيائية يتيح امكانية تغير الخواص للعدسة المزدوجة وأدائها التشغيلي لإحدى عدساتها المنفردة فقط . ان للعدسات المزدوجة ميزتين تشغيلية مهمة جدا هي .اولا:امكانية الحصول على صور خالية من الدوران (rotation –free) يجب ان يكون التهيج في العدستين متساو ومتعاكس $(NI)_1=(NI)_2$ [Juma,1975].

ثانيا:امكانية الحصول على صور خالية من التشويه الشعاعي (rotation distortion –free)
 (images في منطقتي التكبير الاولى (M1) والثانية (M2) ضمن الدورانين الاول والثاني (first
 and second loops) وان المشكلة الوحيدة التي تعانها العدسة المزدوجة هي التشويه الحلزوني
 (spiral distortion) والتي تسبب تشويها غير متجانس في ابعاد الصورة . سنحاول دراسة تأثير
 d كمتغير أمثلية لأحدى العدسات المنفردة فأن جزء من التشويه الحلزوني التي تسببه العدسة
 الاخرى يمكن التخلص منه بهذه العدسة. حيث اختيرت قيم NI_1, d_1, s_1 بحيث تكون على التوالي
 $400A.t, 4mm, 4mm$ وكذلك تم تثبيت NI_2, s_2 $400A.t, 4m$ - وتم اختيار قيم
 $d_2=2,4,6,8,10$ mm . لدراسة تأثير تغيير d_2 على الخواص المسقطية للعدسة المزدوجة
 الشكل (٥) يوضح توزيع كثافة الفيض المغناطيسي على امتداد المحور البصري للعدسة المزدوجة
 نلاحظ ان المجال المغناطيسي للعدسة الاولى يكون ثابتا بسبب ثبوت معلماته الهندسية
 (d_1, s_1) والفيزياوية (NI_1) بينما نلاحظ تغير مجال العدسة الثانية بسبب تغير قطر الفتحة المحورية
 d_2 فكلما زادت d_2 نلاحظ الاتساع المحوري لتوزيع B_z للعدسة الثانية



شكل (٥): توزيع B_z على امتداد المحور البصري للعدسة المزدوجة لقيم d_2 المختلفة

٨. الدوران الاول First Loop

ان دراسة قطر الفتحة المحورية d للخواص البؤرية المسقطية والتي هي (F_p, D_s, D_r) فأنها تسلك نفس السلوك العام للخواص البؤرية المسقطية للعدسة المزدوجة عند تغير سمك الفجوة الهوائية s وهذا التشابه الكبير في الحسابات منطقي طالما ان تغير المعلمات الهندسية لها نفس الاثر في المجال التصويري.

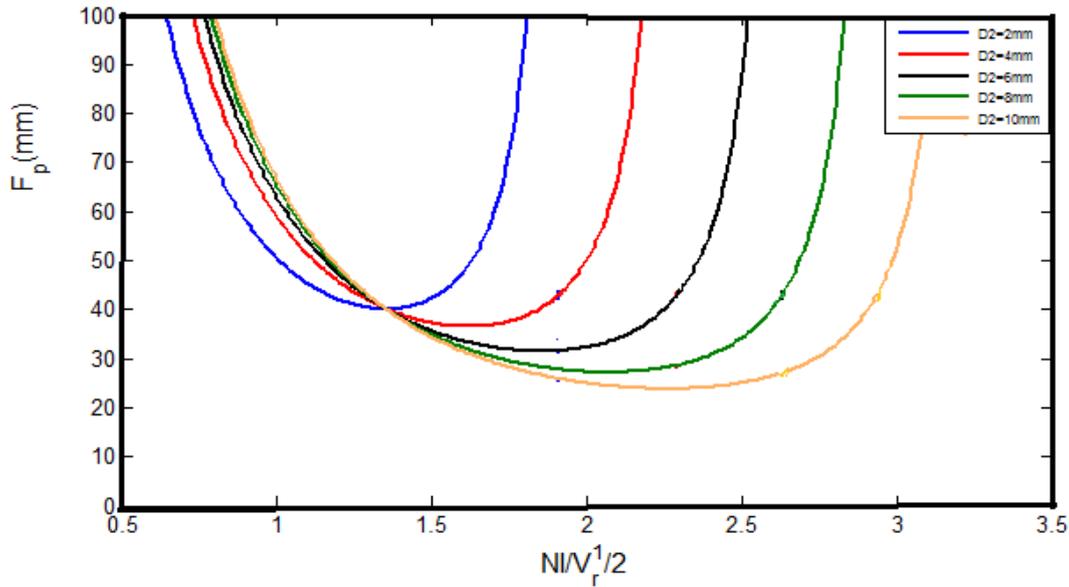
1.8. البعد البؤري المسقطي: Projector Focal Length

ان قيمة البعد البؤري المسقطي تعتمد على ميل الحزمة الالكترونية مع المحور البصري بعد اختراقها مجال العدسة المزدوجة لذا فأنها لاتعتمد على اتجاه المجال المغناطيسي في كلتا العدستين سواء اكانا متعاكسين او اتجاه واحد. يتكون منحنى البعد البؤري المسقطي F_p كدالة لاعلومة التهيج $NI/V_r^{1/2}$ للعدسة من دورانين (two loops) ، يلاحظ سلوك كل منحنى من منحنيات F_p حيث ان الانحدار السريع يتناقص مع زيادة $NI/V_r^{1/2}$ حتى يصل الى القيمة الصغرى $(F_p)_{min1}$ عند اعلومة تهيج تختلف من منحنى الى اخر بعد ذلك تبدأ الزيادة المتسارعة من جديد. يبين الشكل (٦) منحنيات البعد البؤري المسقطي للعدسة المزدوجة في منطقة الدوران الاولى $(0 \leq NI/V_r^{1/2} \leq 5)$ ، ويلاحظ من الشكل انه كلما ازدادت قيم d_2 فان القيمة الصغرى للبعد البؤري $(F_p)_{min1}$ تقل ، وترتفع باتجاه القيم العالية لاعلومة التهيج $NI/V_r^{1/2}$ ، ويعود السبب بذلك الى نقصان قيمة فولتية التعجيل V_r لان NI ثابتة عند القيمة $400A \cdot t$ كشرط تشغيلي اما السبب في نقصان قيمة البعد البؤري المسقطي $(F_p)_{min1}$ هو زيادة الفترة الزمنية للتلاحم (interaction) بين مسار الحزمة الالكترونية والمجال المغناطيسي كلما زادت d_2 . مما يؤدي الى زيادة انتشار للمجال المغناطيسي على طول المحور البصري.

في البصريات الالكترونية ، عندما تعمل العدسة المسقطية المزدوجة العديمة الدوران عند التهيجات الواطئة اي في منطقة الدوران الاول (منطقة التكبير العظمى الاولى) تحسب القيمة الصغرى للبعد البؤري المسقطي $(F_p)_{min1}$ نظريا من العلاقة (Juma, 1975):

$$(F_p)_{min} = \frac{f_{p1}f_{p2}}{(f_{p1} + f_{p2} - L)} \quad (11)$$

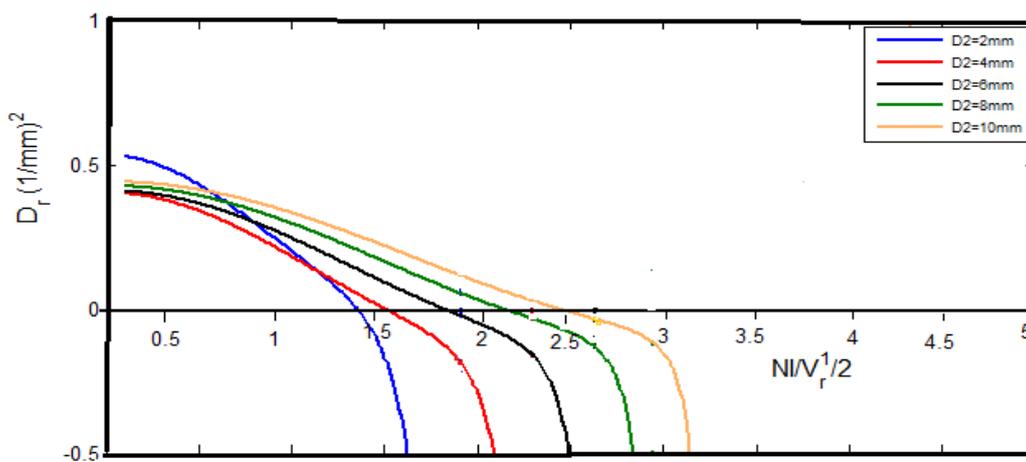
اذ ان f_{p1}, f_{p2} هما البعد البؤري المسقطي لكل من العدسة الاولى والثانية على التوالي . (L) المسافة بين مركزي العدستين .



شكل (6): تغير منحنى البعد البؤري المسقطي للعدسة المزوجة في الدوران الاول لقيم d_2 المختلفة كدالة لأعلومة التهيج $NI/V_r^{1/2}$

2.8. التشويه الشعاعي: Radial Distortion

تم رسم منحنيات معامل التشوية الشعاعي D_r الم ناظره لكل توزيع B_z بالشكل (٧) كدالة لأعلومة التهيج $NI/V_r^{1/2}$ في منطقة الدوران الاول ويلاحظ من الشكل ان التشوية الشعاعي D_r يصبح صفرا عند نفس اعلومة التهيج التي عندها القيمة الصغرى للبعد البؤري المسقطي $(F_p)_{min1}$ عندما تكون العدستان متطابقتان (اي مجالا العدسة المزوجة متناظرين) كذلك يلاحظ ان زيادة d_2 تؤدي الى زيادة اعلومة التهيج التي يتلاشى عندها D_r والتي تكون قريبة جدا لأعلومة التهيج التي تعطي القيمة الصغرى للبعد البؤري المسقطي لاحظ الجدول (١).

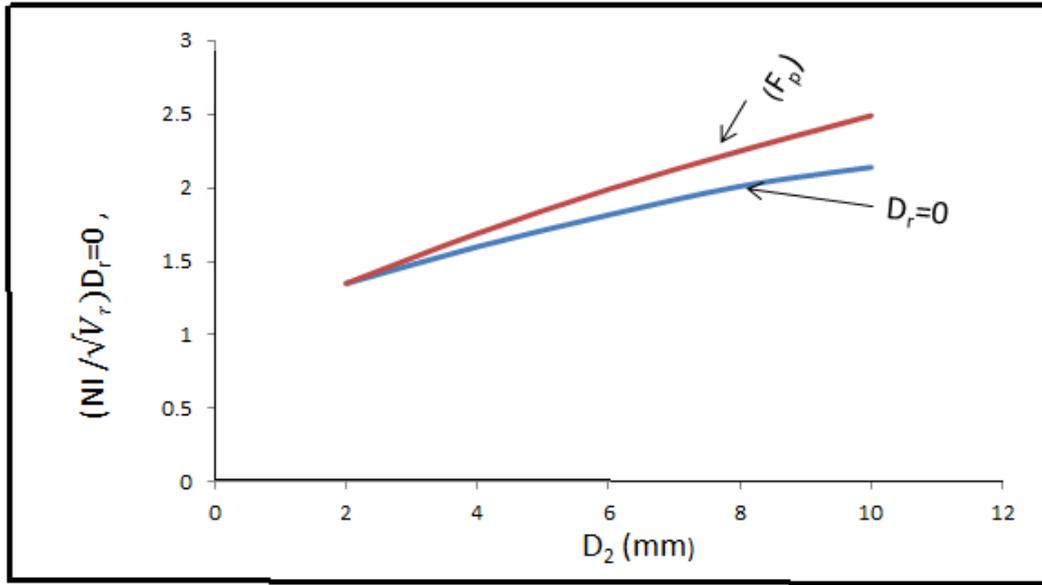


شكل (٧): تغير منحنيات D_r المقابلة لقيم d_2 المختلفة كدالة لأعلومة التهيج $NI/V_r^{1/2}$ للدوران الاول.

يلاحظ من الجدول (١) بزيادة D_2 ان f_{p1} تقل بينما f_{p2} تزداد وهناك تقارب بين $(F_p)_{min}$ المحسوبة ن البرنامج وتلك المحسوبة من العلاقة الرياضية (١١) ان زيادة الفتحة المحورية D_2 للعدسة الثانية تؤدي الى زيادة الاختلاف في شكل المجال التصويري للعدسة الثانية عن مجال العدسة الاولى ، وهذا الاختلاف يؤدي الى زيادة بين اعلمتي التهيج للعدستين . ومن المعروف ان اعلومة التهيج $NI/\sqrt{V_r}^{1/2}$ تقع عندها (M_1) هي نفسها التي يصبح عندها D_r صفر طالما كان مجالا العدسة المزدوجة متناظرين . وبذلك يوضح الشكل (٨) العلاقة بين اعلومة التهيج التي تقع عندها (M_1) منطقة التكبير الاولى وتلك التي يتلاشى عندها D_r كدالة لفتحة العدسة الثانية d_2 . ويلاحظ ان المنحنين يتباعدان عن بعضهما كلما زادت d_2 .

الجدول (1) بعض الخواص المسقطية للعدسة المزدوجة لقيم مختلفة من d_2

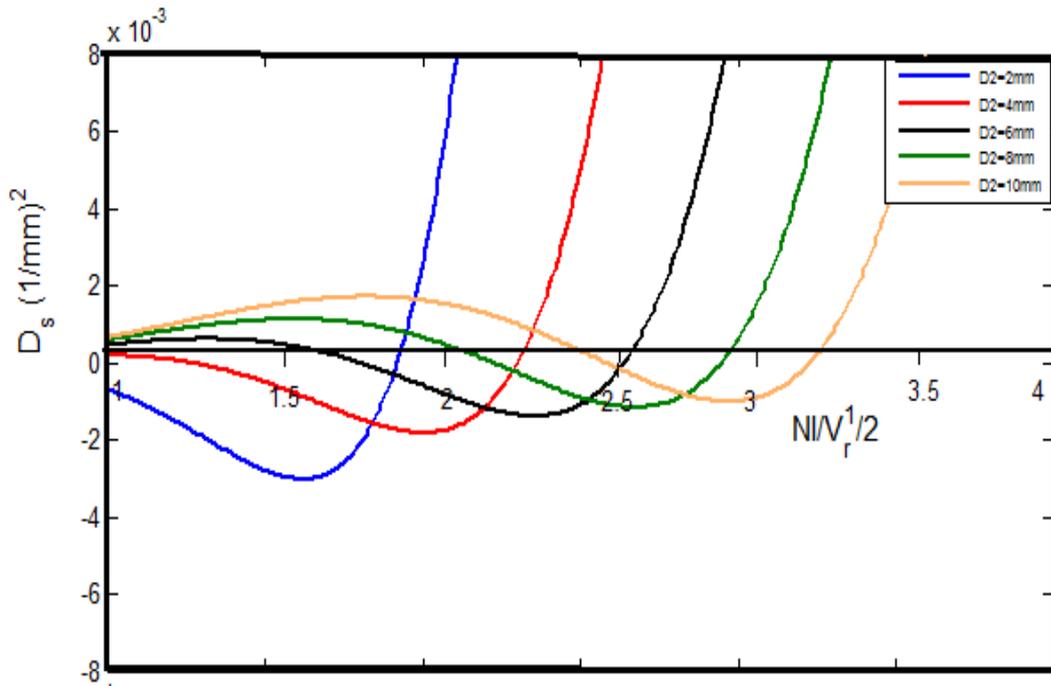
d_2	(fp_1)	(fp_2)	$(F_p)_{min1}(mm)$		$NI/\sqrt{V_r}$ at		
			the.	com.	$(F_p)_{min1}$	$D_r=0$	$D_s=0$
	(mm)						
2	40.22	40.22	40.00	40.11	1.35	1.35	0.58
4	28.02	51.89	36.44	36.53	1.62	1.6	1.25
6	21.55	58.94	31.36	31.46	1.85	1.85	1.85
8	17.27	62.62	27.17	27.2	2.07	1.01	2.42
10	14.28	64.57	23.73	23.82	2.28	2.14	2.68



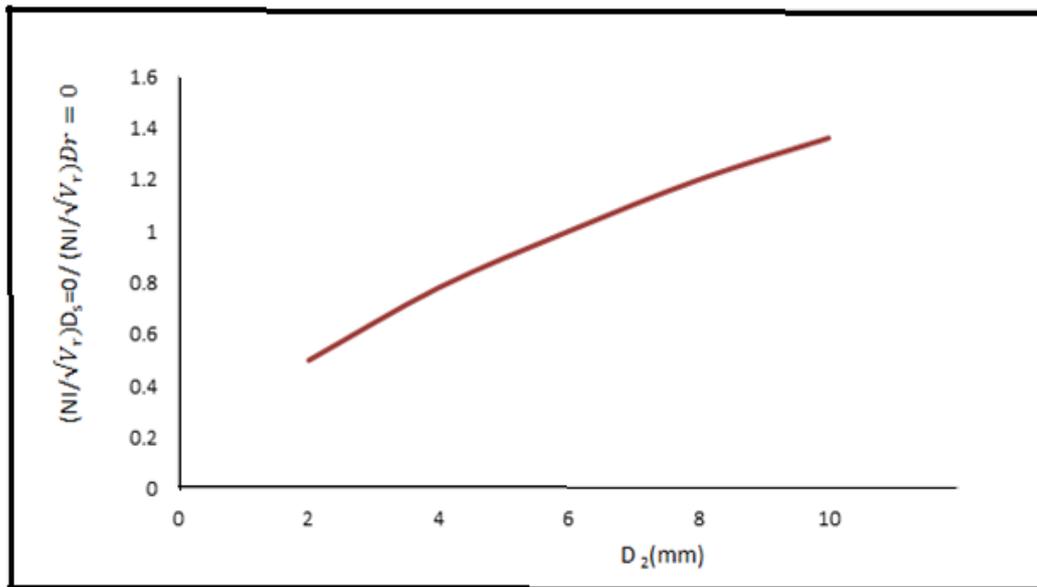
شكل (٨): تغير كل من اعلومة التهيج التي تعطي ($D_r=0$) وتلك التي يكون عندها التكبير اعظم ما يمكن كدالة ($M1$) لقطر الفتحة المحوري d_r

3.8. التشويه الحلزوني: Spiral Distortion:

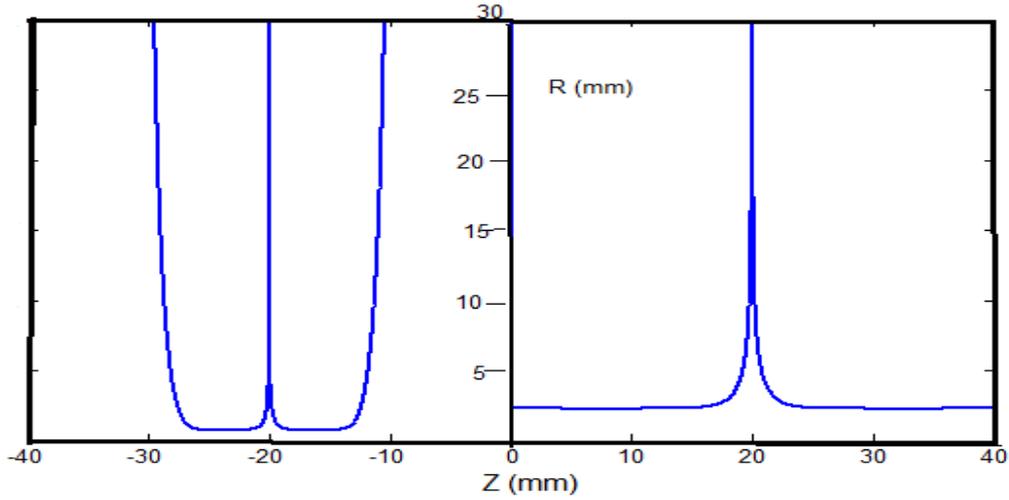
يوضح الشكل (٩) تغير منحنيات معامل التشوية الحلزوني D_s في منطقة الدوران الاول كدالة لأعلومة التهيج لكل توزيع B_z ولقيم d_2 المختارة ، اذ يلاحظ ان لكل منحنى قيمة صفرية لمعامل التشوية الحلزوني D_s تقع عند اعلومات تهيج مختلفة بحيث تندفع هذه القيمة الصفرية عند اعلومات تهيج عالية بزيادة قيم d_2 . كذلك يلاحظ ان زيادة d_2 تؤدي الى الحصول على معامل تشوية حلزوني صفري عند نفس اعلومة تهيج التي يحصل منها على تشوية شعاعي صفري وقريبة جدا من اعلومة تهيج التي نحصل منها على اقل قيمة للبعد البؤري المسقطي للعدسة المزدوجة لاحظ الجدول (١). يوضح الشكل (١٠) العلاقة بين النسبة بين اعلومة التهيج التي تعطي صور عديمة التشويه الشعاعي $D_r=0$ وبين اعلومة التهيج التي تعطي صوراً عديمة التشويه الحلزوني $D_s=0$ كدالة لقطر الفتحة المحورية حيث يوضح ان الاعدومتان يتساويان عندما تكون $d_2=6mm$ اي ان العدسة المغناطيسية التي تعطي صوراً عديمة الدوران وعديمة التشويه الشعاعي D_r وعديمة التشويه الحلزوني D_s عندما تكون قيم $d_2=6mm$ ويمكن ان نصفها بالمعلمات الهندسية التالية: $d_2=6mm$, $d_1=2mm$, $S_1=1mm$, $S_2=1mm$, $NI=400 A.t$ وهي موضحة بالشكل (١١).



شكل (9) :تغير منحنيات معامل التشويه الحلزوني D_s كدالة لعلومة التهيج لقيم d_2 المختلفة



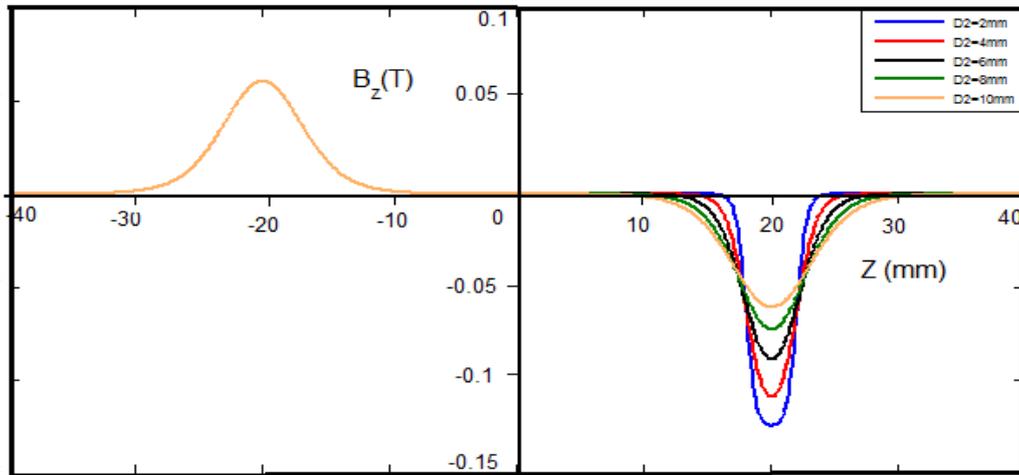
شكل (10) :تغير النسبة بين اعلومة التهيج التي يصبح فيها $D_s=0$ و $D_r=0$ كدالة لقطر الفتحة المحورية d_2



شكل (١١): العدسة المغناطيسية عديمة الدوران والتشويه

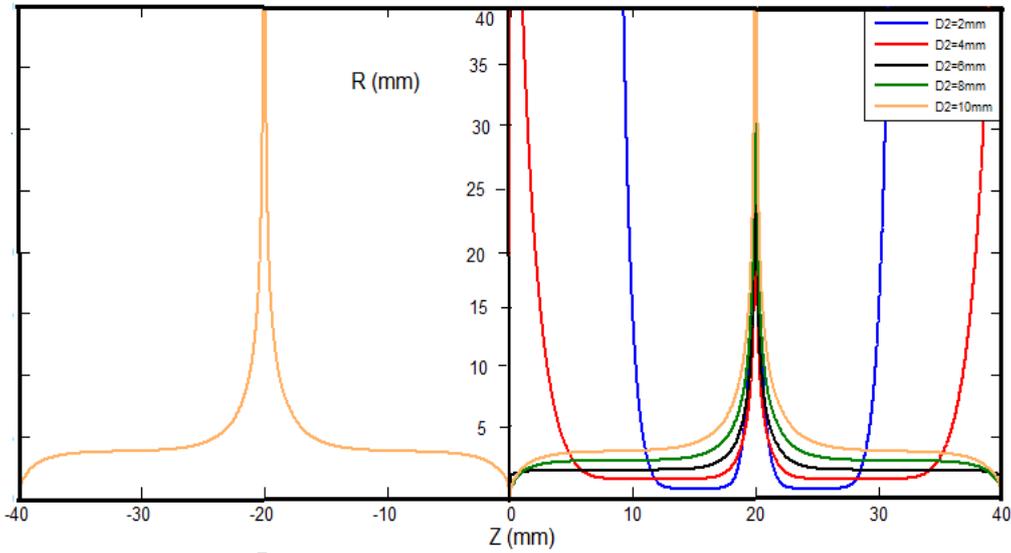
٩. الدوران الثاني: Second Loop

في هذا منطقة الدوران الثاني تم اختيار قيم $S_1, d_1, NI_1, S_2, NI_2$ على التوالي $400A.t, 4mm, 10mm, 4mm$ حيث تم استخدام القيم التالية لدراسة تأثير تغير قطر الفتحة المحورية للعدسة الثانية. $(d_2=2,4,6,8,10 \text{ mm})$ يلاحظ في الشكل (١٢) توزيعات B_z المقابلة لقيم المعلمات الهندسية والفيزيائية اعلاه. ومن الشكل يتبين اثر تغير الفتحة المحورية d_2 على شكل المجال المغناطيسي وخاصة مجال العدسة الثانية، فكلما زادت d_2 ازداد توسيع المجال على امتداد المحور البصري وانخفاض قيمته العظمى B_{max} وهي نتيجة متوقعة بسبب زيادة وحدة المساحة. الشكل (١٣) يبين الاقطاب المغناطيسية المعاد بناؤها والمقابلة لكل توزيع B_z بسبب تغير d_2 . ونلاحظ ذلك بوضوح من خلال الاشكال (١٤،١٥،١٦) توضح F_p, D_r, D_s كدالة لأعلومة التهيج $NI/V_r^{1/2}$ لقيم D_2 المختلفة.

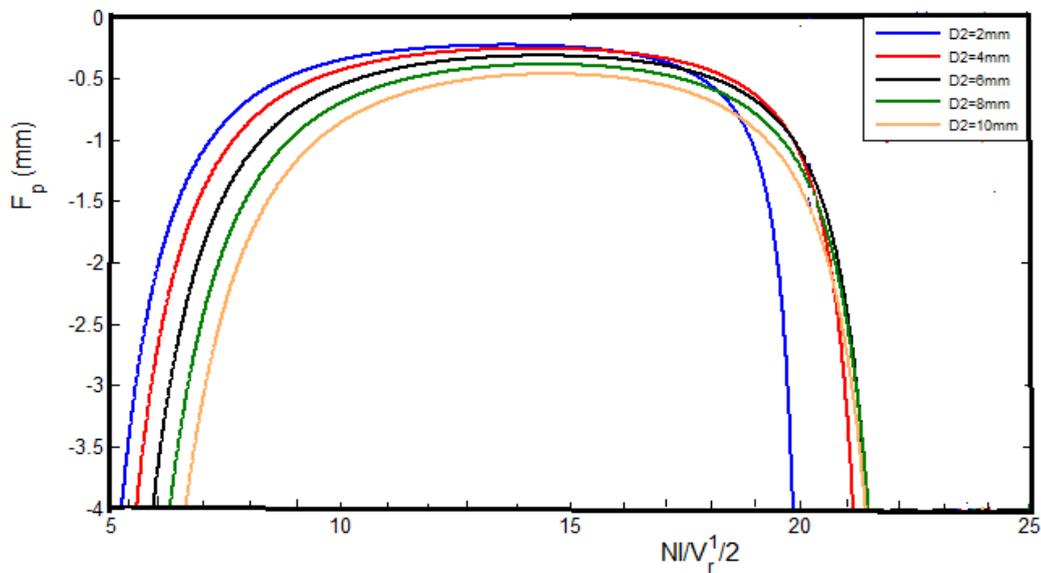


شكل (١٢): توزيعات المجال المغناطيسي B_z عند قيم مختلفة من d_2

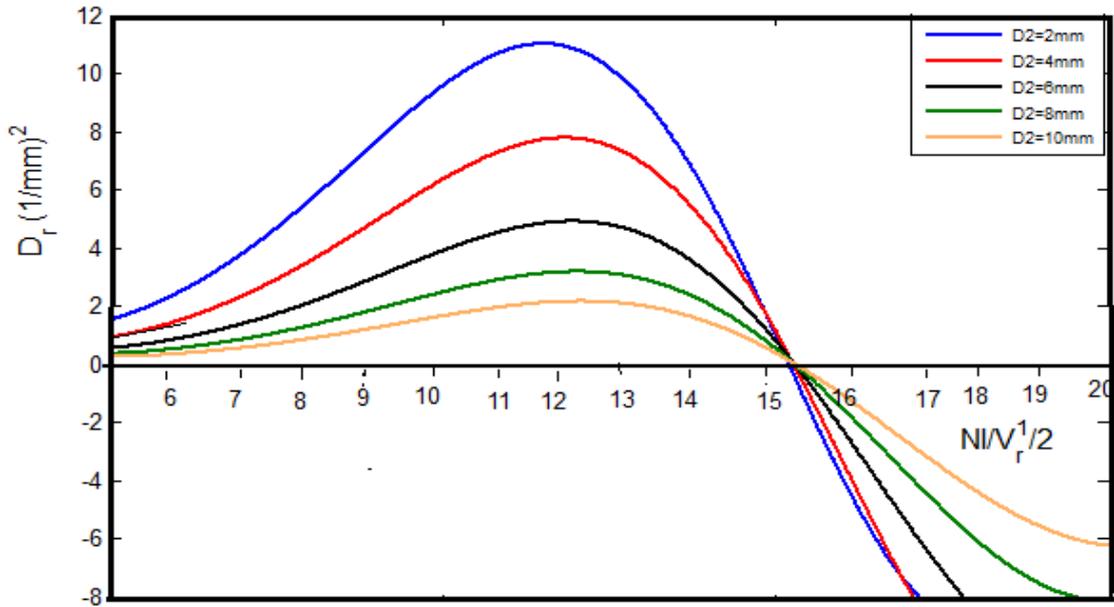
يوضح الشكل (١٣) الاقطاب المغناطيسية المعاد بناؤها والمقابلة لكل توزيع B_z والتابعة لقيمة محددة من d_2



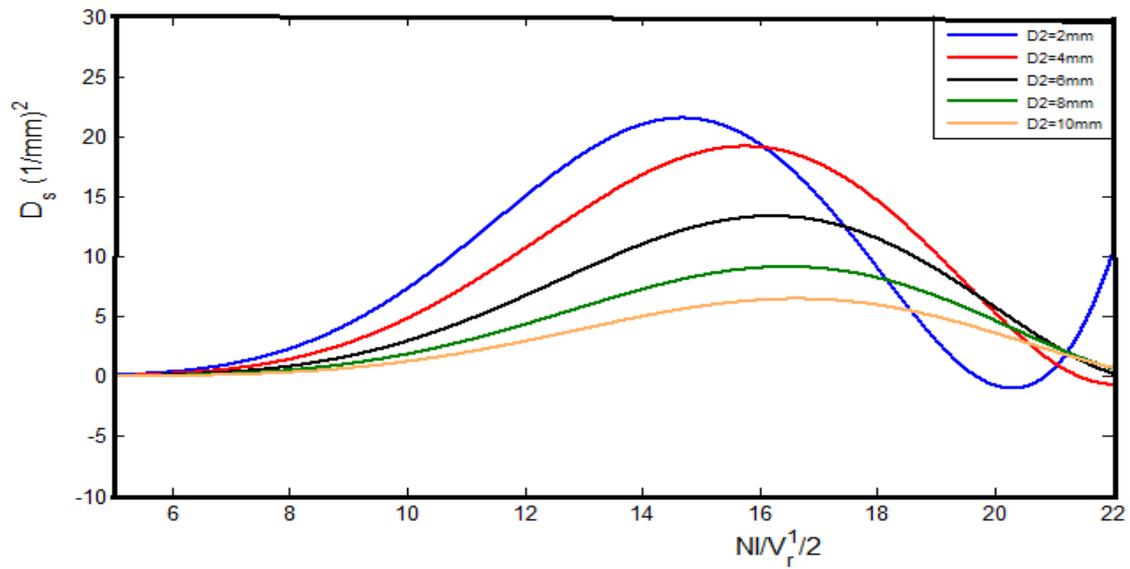
شكل (١٣) يوضح الاقطاب المغناطيسية المعاد بناؤها والمقابلة لكل توزيع B_z والتابعة لقيمة محددة من d_2 .



شكل (١٤) : منحنيات البعد البؤري المسقطي للعدسة المزدوجة للدوران الثاني كدالة لعلومه التهيح لقيم مختلفة من d_2



شكل (١٥): منحنيات D_r كدالة لأعلومة التهيج لقيم مختلفة من d_2



الشكل (١٦) منحنيات D_s كدالة لأعلومة التهيج لقيم مختلفة من D_2

١٠. الاستنتاجات

من خلال العدسة المنفردة الاولى والثانية المكونة للعدسة المزدوجة لنفس دالة الهدف المقترحة على طول المحور البصري حصلنا وبسهولة على صورة عديمة الدوران والتشويه في الدوران الاول عندما تكون قيم $D_1=2mm$ و $D_2=6mm$ ، $NI_1=-NI_2=400A.t$ ، $S_1=S_2=1mm$.

- Williams D. B.(2004)),"**Transmission Electron Microscope**",Plenum Press,
- Juma,S.M.(1975),"**Rotation free magnetic electron lenses**", Ph.D.Thesis, University of Aston in Birmingham, England,UK.A
- Hawkes, P. W. (1982), "**Magnetic Electron Lenses**", (Springer- Verlag, Berlin).
- Al-Obaidi, H. N.(1995)."**Determination of the design of magnetic electron lenses operated under preassigned magnification condition**" Ph.D. Thesis, University of Baghdad, Baghdad-Iraq
- Szilagy, M. (1984)., "**Reconstruction of Electron and Polepiece from Optimized Axial Field Distribution of Electron and ion Optical Systems**"., Appl. Phys. Lett., 45, 499-501.
- Orloff,M.(2009),"**Hand Book of Charged Particle Optics** ",second edition,by taylor and francis group ,London,New York
- Liebmann, G. (1952),"**Magnetic electron microscope projector lense**", Proc.Phys.Soc. **B65**, 94-108
- Wischnitzer, S., (1981). "**Introduction to Electron Microscopy**". 3rd ed, Pergamon Press.

المصادر العربية

- عربو، زينه طارق، (٢٠٠٥)، "تصميم عدسه مغناطيسيه مزدوجه مسقطيه ذات صوره عديمه الدوران في المجهر الألكتروني"، رساله ماجستير/كلية العلوم/جامعة الموصل.
- العمشاني محسن صلبوخ ارهيف، (٢٠٠٦)، "دراسة تحليلية لزيوغ العدسة المغناطيسية المسقطية"، أطروحة دكتوراه/ كلية العلوم/ الجامعة المستنصرية.