Analytical Investigation of the Aberrations For the projector single-gap Magnetic Lens

دراسة تحليلية لزيوغ العدسة المغناطيسية المسقطية المنفردة

م.د.علي عبد الامير رشيد العزاوي
جامعة كربلاء ، كلية التربية للعلوم الصرفة، قسم الفيزياء
E-mail:aliphysics74@gmail.com

الخلاصة

في هذا البحث تم اجراء دراسة نظرية- حاسوبية لدراسة إمكانية طريقة التوليف في الحصول على عدسات مغناطيسية عديمة الدوران والتشويه. حيث تم وضع دالة هدف جديدة لتمثيل توزيع كثافة الفيض المغناطيسي المحوري للعدسات المغناطيسية الاحادية الفجوة. تم دراسة تأثير متغيرات الأمثلية التي تفرضها دالة الهدف، على الخواص المسقطية والأقطاب المعاد بناؤها المنتجة بواسطة مجالات التصوير. حيث شملت هذه الدراسة كل من مجالات التصوير المغناطيسية الاحادية الفجوة.

في الحقيقة، تعطي دالة الهدف المستخدمة اثنان من متغيرات الامثلية الهندسية هما سمك الفجوة S وقطر الفتحة D ومتغير امثلية فيزياوي واحد هو تهيج المجال التصويري NI . أظهرت النتائج بان المتغير NI يمكن أن يحذف من أجراء الأمثلية لأنه لا يؤثر على الخواص البصرية وكذلك الاقطاب المعاد بناؤها. بينما S وD لها أهمية معتبرة في تصميم العدسات المغناطيسية الثنائية الفجوة. إضافة إلى ذلك أوضحت النتائج، أن الطريقة الحالية يمكن أن تستخدم بشكل واسع لدراسة وتصميم العدسات المغناطيسية الأحادية الفجوة.حيث أمكن الحصول على صور عديمة الدوران والتشويه باختيار مناسب لقيم النسب بين فجوة وفتحة العدسة.

ABSTRACT

A theoretical-computational investigation for studying the synthesis for possibility to produce a rotation and distortion free magnetic lenses have been carried out. Where, a new target function put forward to approximating the axial magnetic fields of single-gap magnetic lenses. The influence of the optimation parameters araises from the proposed target function on the projector properties and the reconstructed polepeices of the produced imaging fields have been investigate. This investigation was covered the single -gap imaging magnetic fields.

In fact, the introduced target function gives two geometrical parameters namely the gap width S and bore diameter D and only one physical parameter which is the field excitation NI. The results have revealed that the parameter NI can be released from the optimition procedure since it gives no effect on the optical properties and hence the reconstructed polepieces. While the parameters S and D have a considerable important in designing single gap magnetic lenses. In addition, the results have clearly shown that, present technique can be widely used to design and investigate single gap magnetic lenses .Where, a rotation and distortion free images have been obtain by a suitable choice of the values of lens gap and bore ratios.

المقدمة

منذ اربعينات القرن المنصرم جرت محاولات عديده لاجل الحصول على صوره عديمة الدوران والتشويه في آن واحد وذلك باستخدام العدسة المزدوجة، حيث وضعت العدسة الثانية في بؤرة العدسة الاولى وتم تشغيل العدستين بصورة متعاكسة، فتمكن الباحث من الحصول على صورة عديمة الدوران والتشويه الشعاعي، ولكن التشويه الحلزوني بقى ملازماً لعمل هذه العدسة. بعد ذلك تم تصميم منظومة اسقاط (projector system) تتكون من عدستين مسقطيتين، حيث تعمل العدسة الثانية على تكوين تشويهاً وسادياً (punchsion) يقوم بتصحيح التشويه المستودعي (barriel) الذي تسببه العدسة الاولى، وباستخدام منظومة مشابهه ولكن عدساتها احادية القطب تمكن عدد من الباحثين من تصحيح التشويه الشعاعي والحصول على تشويه حلزوني قيمته 3% **[1]**. وباتباع اسلوب مشابه للسابقين كما ذكر في **[2]**، ومن بناء منظومة تعطي صوراً عديمة الدوران والتشويه الشعاعي وبتشويه حلزوني قليل جداً باستخدام ما يعرف بالعدسة المصححة (corrector lens). وفي عام (1981) تمكن الباحثان Al-Hilly و Mulveyسويةً من تصحيح التشويهين الشعاعي والحلزوني في آن واحد ولكنهما لم يتمكنا من التخلص من دوران الصورة. في الحقيقة يمكن اعتبار العام (1981) بانه التاريخ الذي قدمت فيه اول محاولة جدية للتخلص من التشويه الشعاعي والحلزوني في صورة عديمة الدوران. حيث صمم الباحثان **[3]** عدسة ثلاثية القطب ذات فتحات محورية غير متساوية تعطي في نقطة تشغيل معينة صوراً عديمة الدوران والتشويه. تبع ذلك **[4]**, الذي تمكن من الحصول على صور عديمة الدوران والتشويه الشعاعي والحلزوني في نقطة التكبير الاولى باستخدام عدسة مغناطيسية ثنائية الفجوة تتكون من عدستين مغناطيسيتين ثنائية القطب. بعد ذلك قدمت مجموعة من المحاولات الجدية مستخدمة اسلوب مشابه لما جاء في الدراسة الاخيرة، على سبيل المثال ذكر في **[5]**. من الملاحظ أن جميع هذه الدراسات كانت تتبع اسلوب التحليل (analysis) في الامثلية ولم يستخدم أي منها اسلوب التوليف. في الواقع هناك العديد من الدراسات التي تتبع اسلوب التوليف لكن معظمها يناقش العيوب الشيئية للعدسات المغناطيسية وليس العيوب المسقطية. عدا مجموعة قليلة مثل ما ذكر في كل من **[6] و[7]**، وهناك بحوث تناولت تصاميم كثيرة باستخدام الطرق العددية مثل ذلك استخدام طريقة Runge Kutta method وكما في المصادر المبين في كل من **[8] و [9].** وهناك من تصميم ادواة حاسوبية للعدسات الكهروستاتيكية مثل **[10]** و **[11]**.

تهدف الدراسة الحالية الى توليف (synthesis) عدسات مغناطيسية احادية الفجوة باستخدام دالة تحليلية معدة مسبقاً. اذ لم يسبق ان اجريت دراسة مشابهه لأجل هذا الهدف ولاهمية هذا النوع من العدسات الثلاثية في منظومة الاسقاط في المجهر الالكتروني. اذ يستخدم هذا النوع من العدسات في انتاج صور عديمة الدوران والتشويه الشعاعي والحلزوني على حد سواء وبذلك يمكن التخلص من اهم عيبين يلازمان عمل العدسات المسقطية. ومن خلال ذلك، معرفة اهمية تغير متغير امثلية معين يعود الى دالة الهدف على خواص العدسة نفسها الفيزياوية والهندسية.

دالة الهدف Target Function

في الجزء النظري ومن الحل لمعادلة لابلاس نحصل على توزيع المجال من توزيع الجهد وذلك باشتقاق الجهد الى z مع الضرب في سالب نفاذية الفراغ ($-\mu_o$) يمكن الحصول على العلاقة الاتية **[4]**:

$$B_z(r,z) = B_z(0,z) - \frac{r^2}{4} B_z''(0,z) + \frac{r^4}{64} B_o^{iv}(0,z) + ...(1)$$

في هذا العمل تم اعتماد دالة هدف ذات متغيرات امثلية تمثل المعلمات الهندسية والفيزياوية للعدسات المغناطيسية التقليدية، وكما هو موضح في العلاقة الاتية **[12]**:

$$B_z(z) = NI\mu_o \left\{ \frac{z + \frac{s}{2}}{\sqrt{\left(\frac{D}{3}\right)^2 + \left(z + \frac{s}{2}\right)^2}} - \frac{z - \frac{s}{2}}{\sqrt{\left(\frac{D}{3}\right)^2 + \left(z - \frac{s}{2}\right)^2}} \right\} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots(2)$$

يلاحظ من العلاقة اعلاه أن توزيع كثافة الفيض المغناطيسي المحوري $B_z(z)$ هي دالة لكل من سمك الفجوة الهوائية S، قطر الفتحة المحورية D وتهيج مجال التصوير NI. اذن لقيم محددة من S، D وNI يمكن تقريب مجال التصوير المحوري $B_z(z)$ على امتداد الفترة $zE \geq z \geq zs$ حيث ان zs وzE هي إحداثيات بداية ونهاية المحور البصري على التوالي. ومن الجدير بالذكر ان العلاقة (2) يمكن ان تستخدم لانتاج مجالات مغناطيسية منفردة (single) وكذلك مجالات مزدوجة (double) وذلك باختيار مناسب لقيم zs وzE. والشكل (1) يوضح مخطط انسيابي لكيفية الحصول على مجال تصويري منفرد او مزدوج.

وباستخدام قانون أمبير (Amper's law) يمكن اعادة كتابة العلاقة الاخيرة بالصيغة:

$$B_m L = \mu_o NI .....(3)$$

اذ B_m تمثل القيمة العظمى لكثافة الفيض المغناطيسي بوحدات Tesla وL الثابت الهندسي بوحدات meter. ومما يجدر ذكره هنا ان الثابت الهندسي L يرتبط بكل من عرض النصف W والبعد البؤري المسقطي لمجال التصوير من خلال العلاقتين التاليتين:

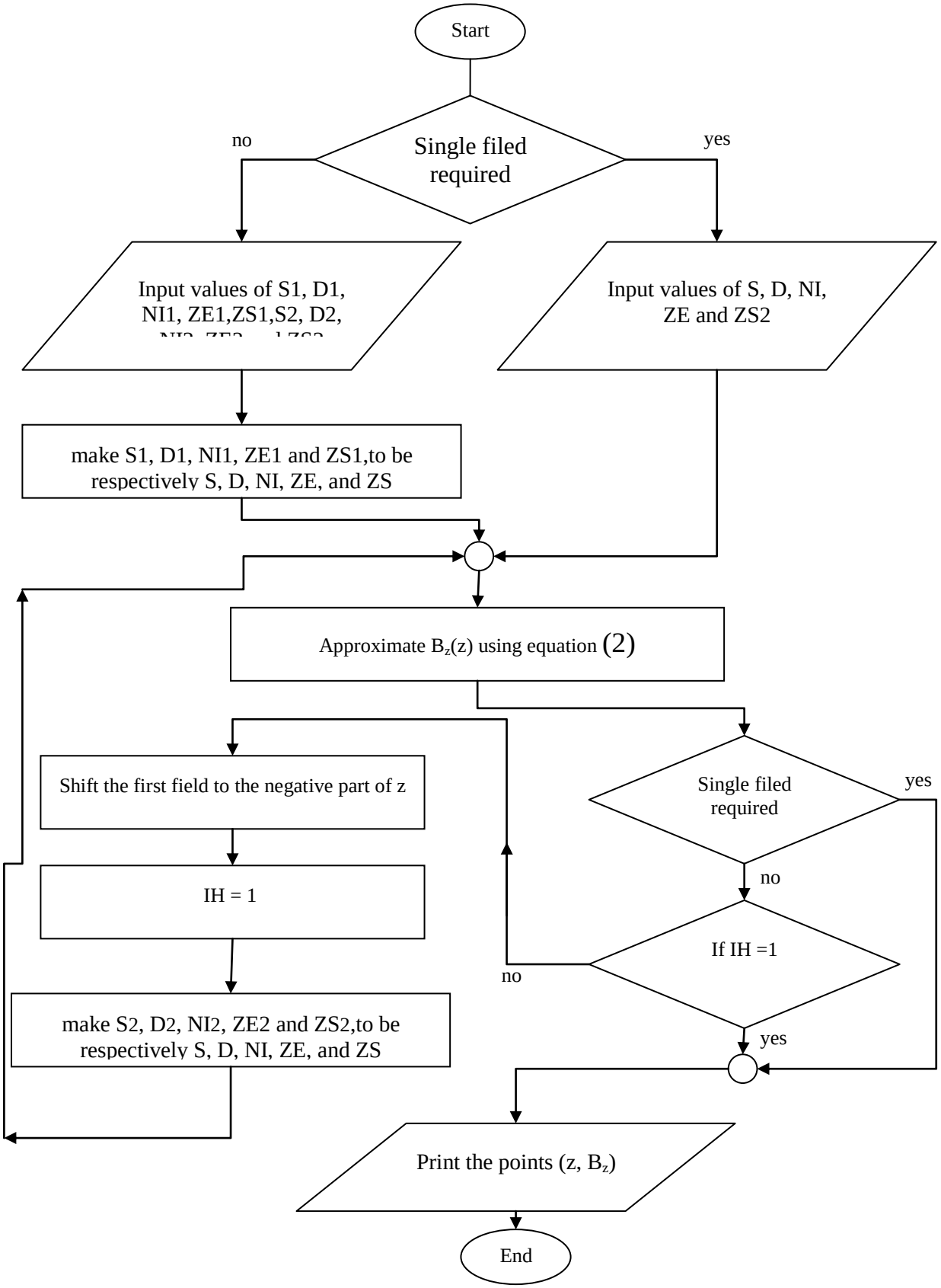
$$W = 0.97L.....(4)$$

$$(f_p)_{\min} = 0.5L.....(5)$$

معامل التشويه الشعاعي D_r يحسب باستخدام التكامل الآتي **[12]**:

$$D_r = \left(\frac{\eta}{128 V_r}\right) \int_{z_1}^{z_2} \left(\frac{3\eta}{V_r} B_z^{\,4} + 8B_z'^{\,2}\right) r_\alpha r_\gamma^3 - 4B_z^{\,2}(r_\gamma'^{\,2} r_\alpha r_\gamma + r_\gamma' r_\gamma^2 r_\alpha') \quad dz.....(6)$$

اذ ان r_α , r_γ هي حلول مستقلة خطية لمعادلة الشعاع المحوري. z_1 و z_2 هي حدود المجال.



الشكل (1): مخطط انسيابي لكيفية الحصول على مجال تصويري منفرد او مزدوج.

تحديد شكل القطب Polepiece Profile Determination

بما ان الجهد العددي المغناطيسي في أي نقطة في الفضاء يحدد بواسطة توزيعه المحوري فان اعادة بناء الاقطاب نظرياً ليست صعبة ولكنها عملياً مسألة معقدة، وهذا التعقيد يكمن في صعوبة الحصول على نتيجة دقيقة جداً لشكل القطب، وهذا واضح في علاقة متسلسلة القوى التي يكون فيها التوزيع المحوري دالة قابلة للاشتقاق 2(n-1) من المرات بالنسبة للمحور z، اذ ان n يمثل عدد الحدود المستعملة في متسلسة القوى. ان توزيع الجهد المحوري يعبرعنه عادةً بدلالة بيانات عددية او بدلالة دالة تحليلية معقدة، وبذلك فان المشتقات العليا تكون محسوبة عن طريق التقنيات العددية التي غالباً ما تكون غير دقيقة.

وقد اجريت عدة محاولات في هذا المجال للتغلب على صعوبة المشتقات العليا لتوزيع الجهد المحوري لها اهمية كبيرة في التصميم العكسي للحصول على شكل القطب الذي يتلاءم مع الشروط المحددة مسبقاً. وكانت هذه المحاولات غير دقيقة في التطبيقات العملية الى ان قدم **[13]**، تقنية خاصة للتغلب على هذه الصعوبة، حيث اقترح طريقة الشريحة التكعيبية (cubic spline method) لتكون حلاً دقيقاً وبسيطاً لمسألة بناء القطب بشكل تام. وهذه التقنية بُنيت على اساس تقسيم توزيع الجهد المحوري على امتداد محور العدسة الى عدد محدد من المناطق حيث يمثل الجهد المحوري في كل منطقة بواسطة تعبير خطي او تربيعي. وقد طُورت هذه الطريقة لتشمل تعابير الرتب العالية وحل مسألة التوليف بشكل منحني مستمر (continuous curve)، اي ان المشتقة الاولى والمشتقة الثانية للشريحة التكعيبية تكون مستمرة ويمكن استعمال الحدين الاول والثاني او ثلاثة حدود من متسلسلة القوى التي سوف تؤدي من حيث المبدأ الى إعادة تركيب القطب. اذن لتحديد شكل القطب يجب اولاً معرفة الجهد العددي المغناطيسي ولاجل ذلك تم اتباع الطريقة التي وضعت من قَبل **[14]**.

ويمكن ايجاد شكل القطب باستخدام التقنية التي استخدمت من قَبل **[13]**، في اعادة بناء اقطاب العدسة الكهروستاتيكية من اجل بناء أشكال الأقطاب المغناطيسية. استناداً الى هذه التقنية فان معادلة سطوح تساوي الجهد (الاقطاب في هذه الحالة) تعطى بالصيغة الاتية **[13] و [14]**:

$$R_P(z) = 2 \left[(V_z - V_p) / V''_z \right]^{1/2} \text{.....(7)}$$

اذ ان:

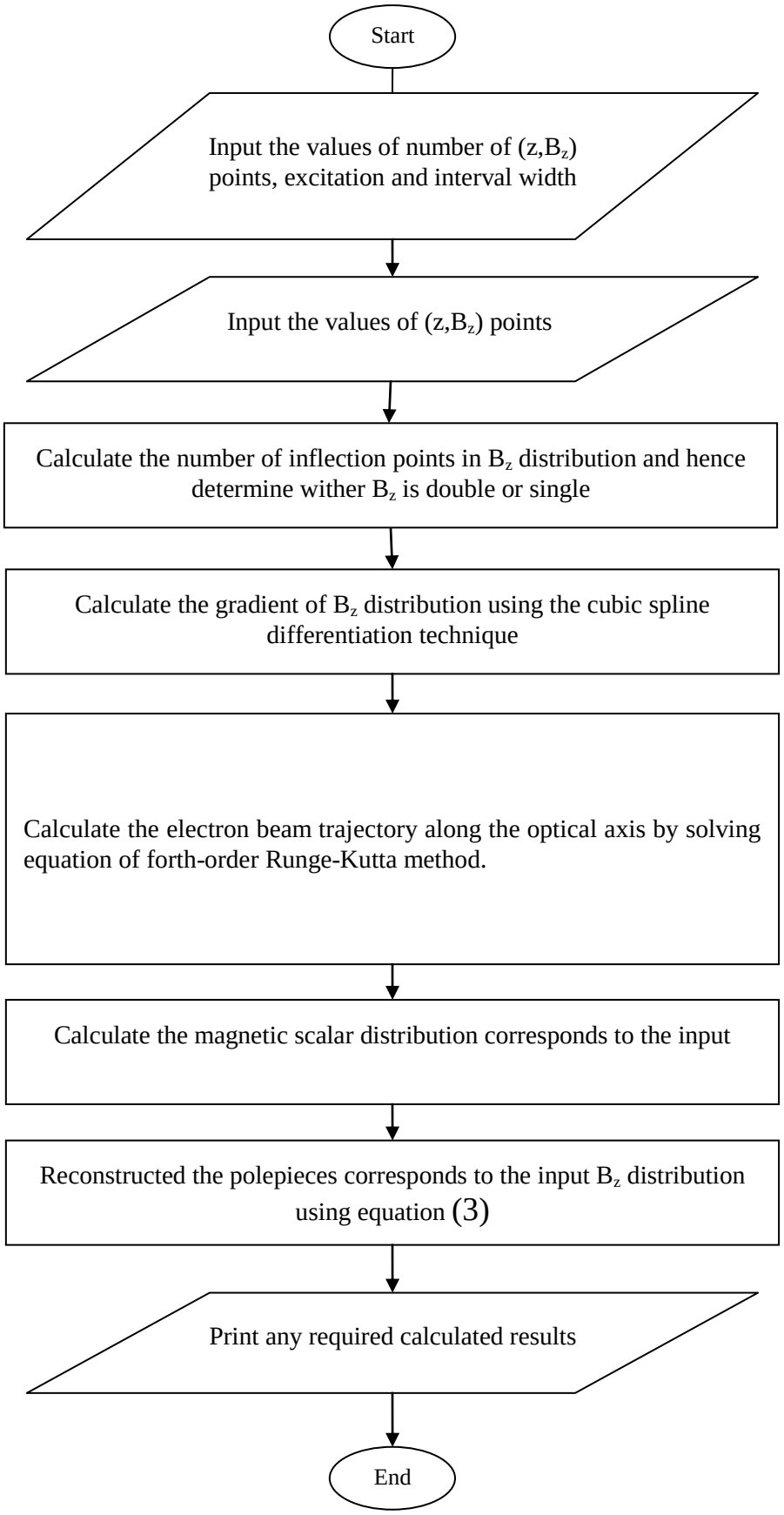
R_P : الارتفاع القطري للاقطاب.

V_z : الجهد العددي المغناطيسي.

V''_z: المشتقة الثانية للجهد V_z.

V_p : الجهد على اي سطح او قطب والذي يساوي (0.5 NI).

باستخدام تقنية الشريحة التكعيبية التفاضلية يمكن الحصول على قيم المشتقة V''_z المقابلة لقيم الجهد العددي المحوري V_z، اما V_p فيمكن ايجاده عن طريق حساب قيمة التكامل لكثافة الفيض المحوري B_z على امتداد محور العدسة ومن ثم تقسيم قيمة التكامل على $2\mu_o$. الشكل (2) يوضح بشكل عام خطوات الحصول على شكل القطب والخواص البؤرية المسقطية المقابلة له لكل توزيع B_z، ثم الحصول عليه في الفقرة السابقة.



الشكل (2): مخطط انسيابي لكيفية الحصول على الخواص المسقطية وشكل الاقطاب.

النتائج

ان دالة الهدف المستخدمة في هذا البحث لتمثيل توزيع كثافة الفيض المغناطيسي المحوري، تفرض ثلاث متغيرات امثلية هي NI, D, S. يتناول هذا الفصل دراسة تأثير كل من هذه المتغيرات على دالة الهدف نفسها، الخواص البصرية المسقطية لدالة الهدف وشكل الأقطاب المغناطيسية القادرة على توليد دالة الهدف. اضافة الى ذلك سيتم دراسة تأثير هذه المتغيرات في تكوين صور عديمة الدوران والتشويه بواسطة العدسات ثنائية الفجوة (ثلاثية الأقطاب). اذ ان من ميزات دالة الهدف المستخدمة في هذا البحث امكانية استخدامها في تمثيل المجال المغناطيسي لهذا النوع من العدسات المغناطيسية. ومن الجدير بالذكر ان هذه الدراسة تتعامل مع المجالات المغناطيسية المستقرة والمتناظرة محورياً، ويأخذ بنظر الاعتبار دراسة المناطق الخالية من وجود التيارات (current-free regions). اضافة الى ذلك تم التعامل مع الأقطاب المغناطيسية على انها ذات نفاذية نسبية عالية جداً (بحدود 10^6 او اكثر) وغير مشبعة مغناطيسياً. وكذلك تم اهمال تأثير اللاتناظر والشحنة الفراغية والتأثيرات النسبية في الحسابات.

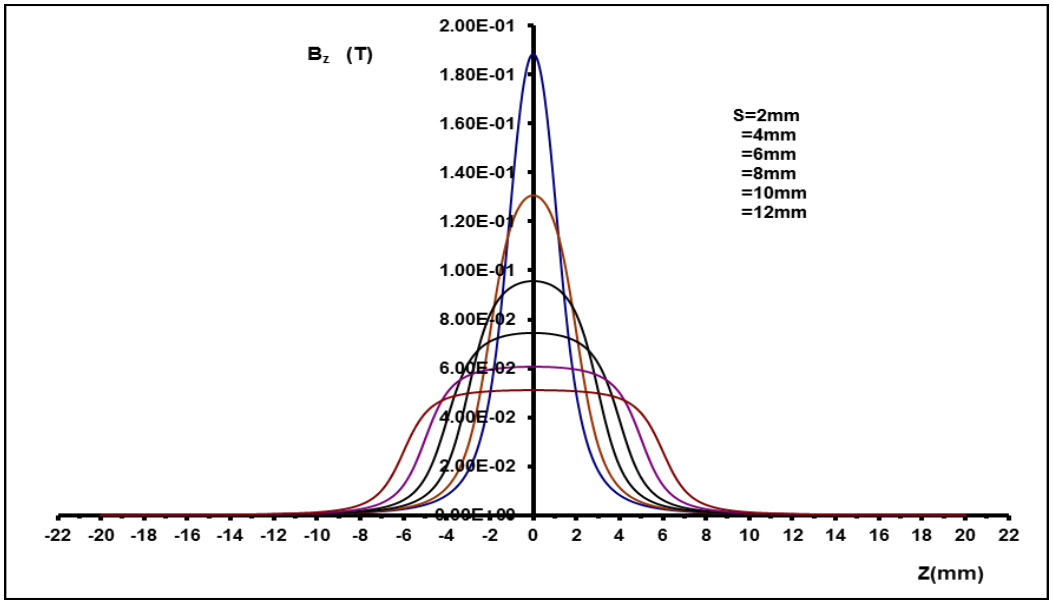
العدسة المنفردة Single Lens

في هذا المقطع سيتم دراسة تأثير متغيرات الامثلية الثلاثة المذكورة سابقاً لدالة هدف تعود لعدسة مغناطيسية منفردة واحدة.

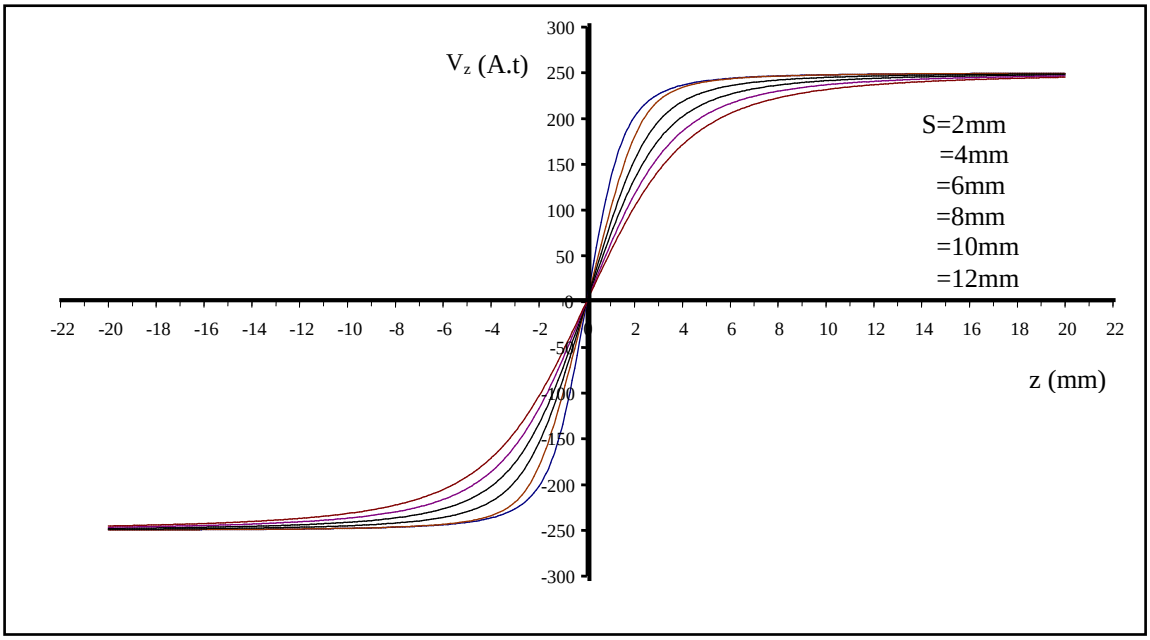
تأثير المتغير S :

لدراسة تأثير سمك الفجوة الهوائية تم اختيار ست قيم لهذا المتغير وهي (2,4,6,8,10,12) ملم، وتم تثبيت المتغيرات الاخرى عند القيم الآتية: NI=500A.t, D=4mm. يوضح الشكل (3) توزيعات كثافة الفيض المغناطيسي المحوري لكل قيمة من قيم S المشار اليها اعلاه على امتداد المحور البصري. يتبين من الشكل ان زيادة سمك الفجوة الهوائية يؤدي الى زيادة اتساع المجال المغناطيسي (اي زيادة عرض النصف W) مع انخفاض القيمة العظمى لـ B_{max} لهذا المجال تقليدياً هذا السلوك متوقع لان زيادة المسافة الفاصلة بين وجهي القطب يؤدي الى زيادة وحدة المساحة (unit area) لنفس خطوط الفيض المغناطيسي، وهو بالحقيقة تفسير للثبوت التقريبي لقيم $B_z(z)$ على مسافة واسعة من المحور البصري لقيم S العالية. الشكل (4) يوضح توزيعات الجهد العددي المغناطيسي V_z المقابل لكل توزيع B_z موضح في الشكل (3). بالحقيقة تغير توزريعات V_z على امتداد المحور البصري يمكن ان يفهم من خلال سلوك توزيعات B_z الموضحة في الشكل (3-1) على ضوء العلاقات السابقة. الشكل (5) يبين تغير البعد البؤري المسقطي f_P كدالة لاعلومة التهيج $NI/\sqrt{V_r}$. يوضح الشكل السلوك التقليدي لتغير منحنيات f_P الذي يأخذ بالتناقص السريع لقيم $NI/\sqrt{V_r}$ القليلة، ثم ما يلبث ان يقل هذا التناقص تدريجياً حتى يصل الى اقل قيمة له عند $NI/\sqrt{V_r}$ معينة تختلف من منحني الى اخر، بعد ذلك يعود هذا المنحني لياخذ بالزيادة التدريجية التي تزاداد شيئاً فشيئاً لتكون سريعة جداً عند $NI/\sqrt{V_r}$ العالية.

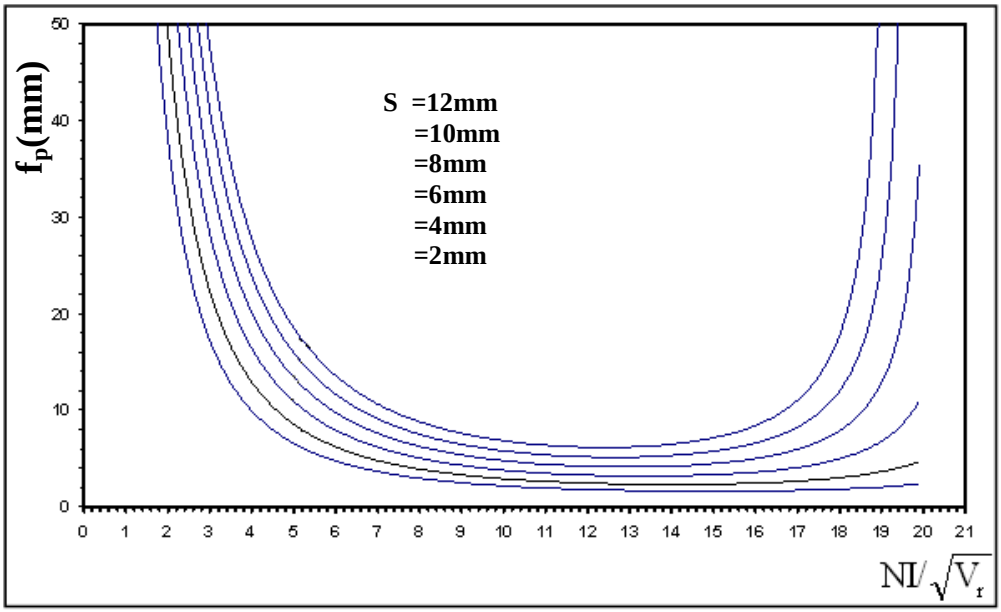
ان القيمة الصغرى للبعد البؤري المسقطي $(f_P)_{min}$ تتناسب طردياً مع سمك الفجوة الهوائية، مما يعني ان قوة كسر العدسة تقل بزيادة S والعكس صحيح، وعليه فان قوة التكبير لمجال التصوير تزداد مع نقصان سمك الفجوة الهوائية التي تفصل وجهي القطبين للعدسة المغناطيسية. ان تغير معامل التشويه الشعاعي D_r كدالة لاعلومة التهيج $NI/\sqrt{V_r}$ لكل قيمة من قيم S رسمت في الشكل (6)، ومنه يلاحظ ان كل منحني من منحنيات D_r يكون موجباً (اي تشويهاً وسادياً) ثم عند قيمة $NI/\sqrt{V_r}$ معينة يتلاشى ليصبح بعدها تشويها سالباً (اي تشويه برميلي). ومن الجدير ذكره ان هذه القيمة لاعلومة التهيج والتي يتلاشى عندها D_r هي نفسها التي تقع عندها نقطة التكبير تقريباً وايضاً يلاحظ بان هذه النقطة تزحف باتجاه قيم $NI/\sqrt{V_r}$ القليلة كلما زادت S.



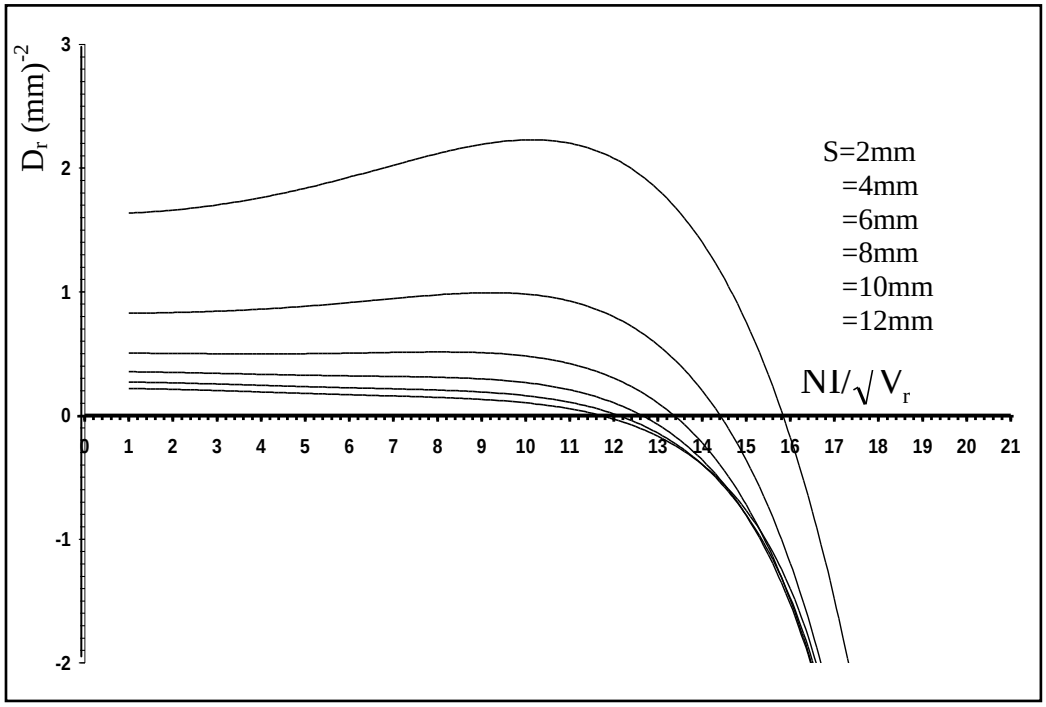
الشكل (3): توزيعات كثافة الفيض المغناطيسي المحوري B_z لقيم مختلفة من قيم S عند ثبوت NI, D.



الشكل (4): توزيعات الجهد المغناطيسي العددي V_z المقابل لكل توزيع B_z في الشكل (3).

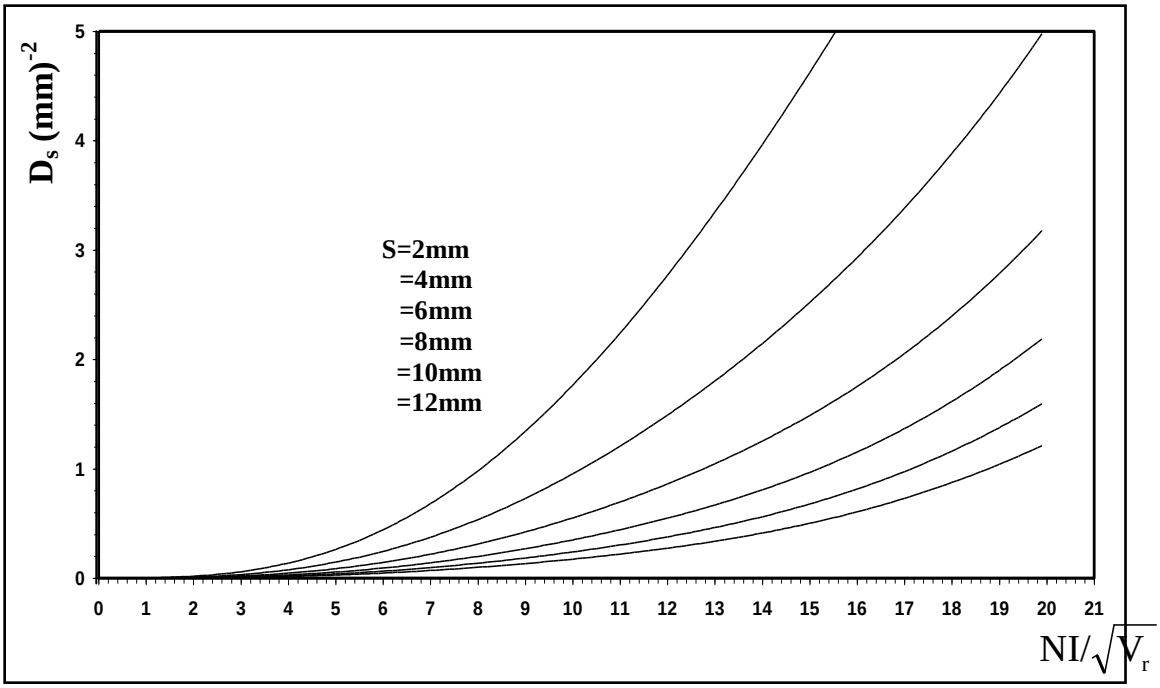


الشكل (5): تغير البعد البؤري المسقطي f_p كدالة لاعلومة التهيج لقيم S المختلفة عند ثبوت D وNI.

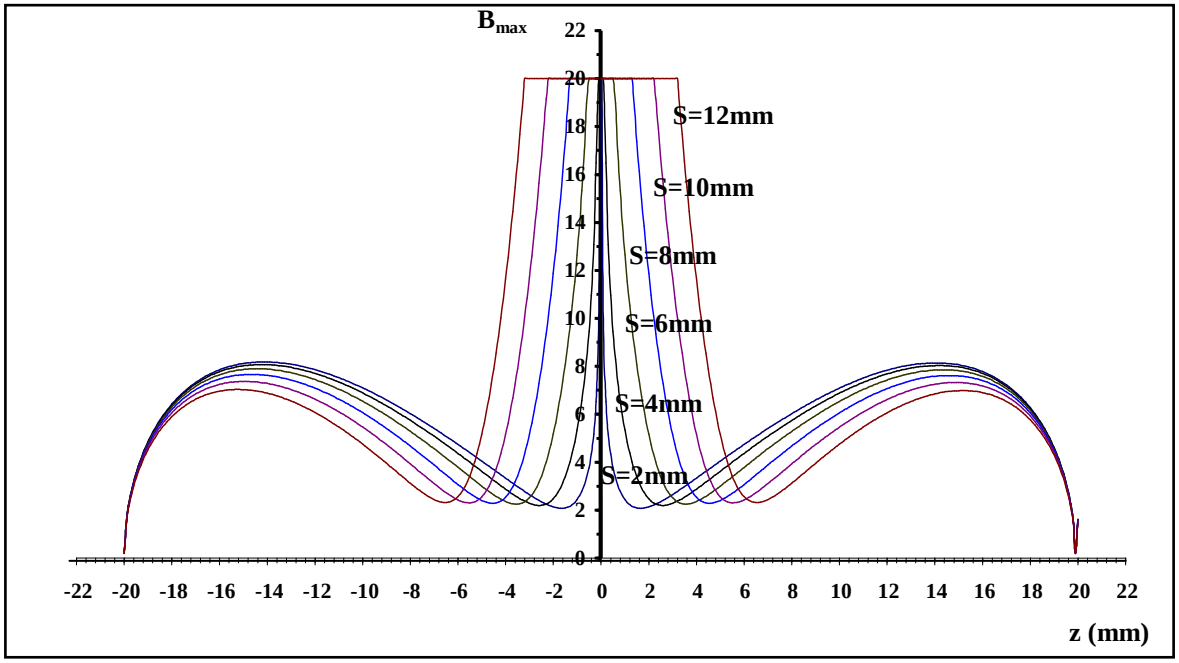


الشكل (6): تغير معامل التشويه الشعاعي D_r كدالة لاعلومة التهيج لقيم S المختلفة عند ثبوت D وNI.

معامل التشويه الحلزوني D_s المقابل لكل توزيع B_z متميز بقيمة S المختلفة موضحة في الشكل (7). ومنه يلاحظ ان كل منحني من المنحنيات يزداد بشكل سريع مع زيادة اعلومة التهيج، كما ان هذه الزيادة السريعة تقل مع زيادة عرض الفجوة الهوائية. ويمكن تعليل ذلك على ان زيادة S تؤدي الى نقصان انحدار المجال مما يؤدي الى نقصان التشويه الحلزوني بشكل عام. يوضح الشكل (8) الأقطاب المغناطيسية المعاد بناؤها والعائدة لقيم S المختارة. يلاحظ من الشكل ان هناك اختلاف بين قيم S وD المعطاة كبيانات ادخال (input data) وتلك التي يمكن تحديدها من الشكل. فهو يتراوح من 8% لقيم S وD ليصل الى40% عند القيم الواطئة لهذين المتغيرين.



الشكل (7): تغير معامل التشويه الحلزوني D_s كدالة لاعلومة التهيج لقيم S المختلفة عند ثبوت D وNI.



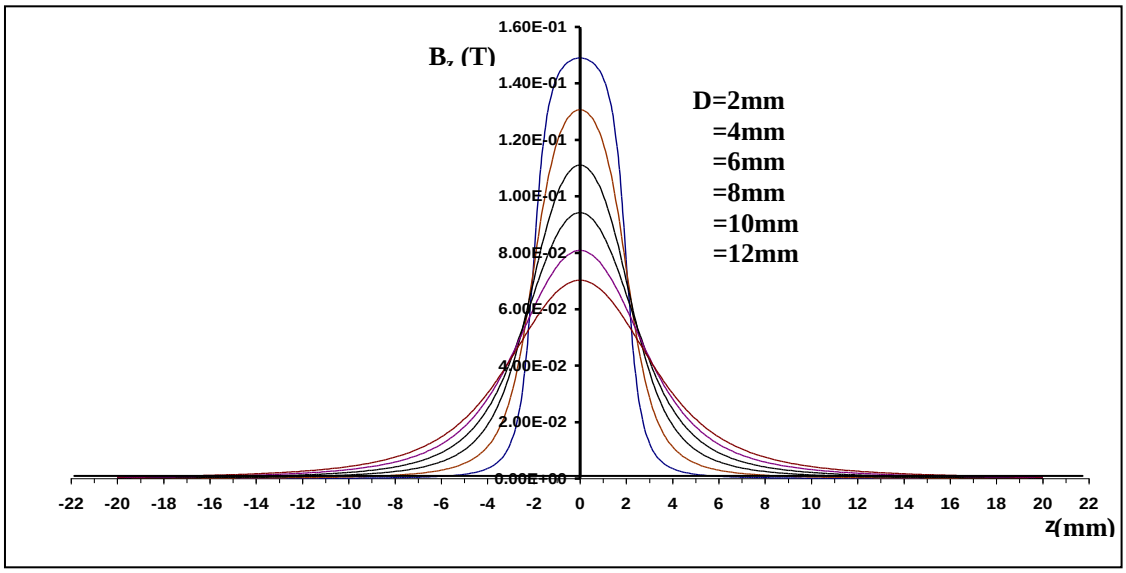
الشكل (8): الأقطاب المغناطيسية المعاد بناؤها لقيم S المختلفة عند ثبوت D وNI.

الجدول (1): بعض المتغيرات المحددة من العلاقات التجريبية (النظرية) ونظيراتها المحسوبة من البحث.

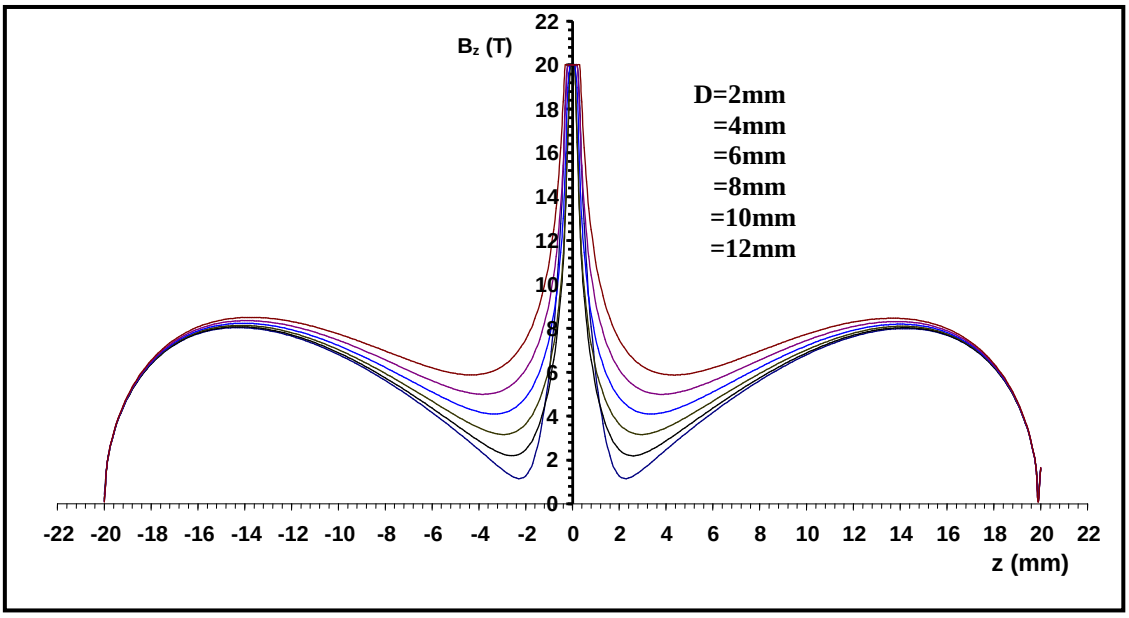
S	D	$S_{com.}$	$D_{com.}$	L	$(f_p)_{min}$ (mm)		W (mm)		B_{max} (T)	
(mm)					the.	com.	the.	com.	the.	com.
2	4	3.13	4.13	3.26	1.92	1.67	4.01	3.80	0.14	0.112
4	4	4.3	4.32	4.55	2.63	2.47	4. 73	4.75	0.23	0.21
6	4	7.1	4.49	6.78	3.70	3.58	7.74	6.49	0.08	0.09
8	4	9.2	4.66	8.78	4.74	4.94	9.02	8.88	0.06	0.08
10	4	11.1	4.77	10.75	5.66	5.53	11.09	10.23	0.05	0.07
12	4	13.4	4.43	12.88	6.78	6.42	12.94	12.67	0.04	0.06

تأثير المتغير (D):

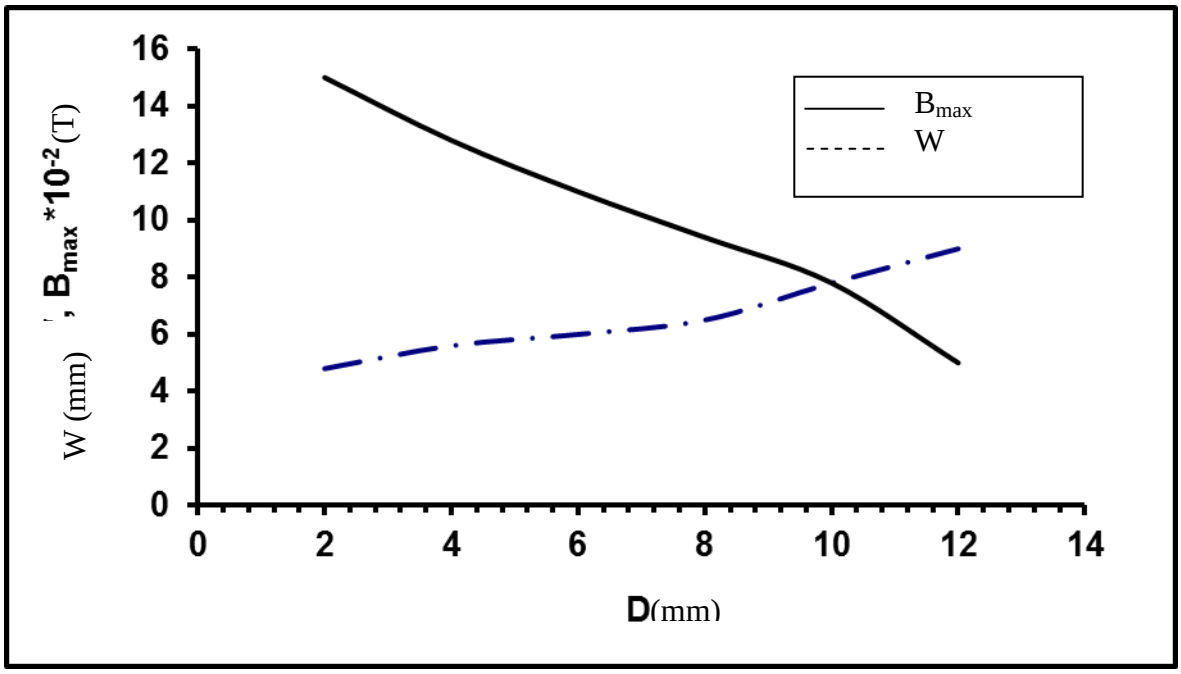
لاجل دراسة تأثير تغير قطر الفتحة المحورية D اختيرت القيم الآتية: (2,4,6,8,10,12) ملم وتم تثبيت قيم S وNI عند 4mm و 500 A.t على التوالي. يوضح الشكل (9) تغير توزيعات B_z لقيم D المختلفة على امتداد المحور البصري. من خلال الشكل يتبين ان تغير اشكال المجال بتغير قطر الفتحة المحورية D يختلف عن نظيره عند تغير سمك الفجوة الهوائية S بين القطبين. والسبب يتجلى بوضوح من الشكل (10). اذ يلاحظ ان شكل الأقطاب المعاد بناؤها في حالة تغير D يتخلف عن نظيره عن تغير S، وبالتالي فان الشكل العام للأقطاب القادرة على توليد التوزيعات الموضحة في الشكل (1) يختلف عن تلك التي يمكنها توليد التوزيعات في الشكل (9) وهو امر معروف تقليدياً. وعلى الرغم من ذلك فان السلوك العام لمعلمات مجال التصوير هو نفسه. اذ يلاحظ من الشكل (11) ان B_{max} يقل وW يزداد كلما زادت قيمة D وهو نفس الامر الذي تم الحصول عليه في المقطع السابق.



الشكل (9): توزيعات المجال المغناطيسي على امتداد المحور البصري لجميع قيم D المختارة عند ثبوت S وNI.



الشكل (10): اشكال الأقطاب المغناطيسية لكل توزيع B_z موضحة في الشكل (9).



الشكل (11): تغير معلمات المجال المغناطيسي B_{max} و W كدالة لقطر الفتحة المحورية D عند ثبوت S وNI.

يوضح الجدول (2) قيم بعض معلمات مجال التصوير لقيم D المختلفة، وهنا ايضاً يلاحظ ان هناك اختلاف بين قيم D المعطاة كبيانات ادخال وتلك التي يمكن تحديدها من الشكل (10)، اذ يتراوح هذا الفرق من0.08% الى9.5% . ومن الملفت للنظر ان قيم S المحددة من خلال الشكل (10) تتغير بتغير D على الرغم من كونها ثابته كبيانات ادخال عند القيمة S=4mm، بحيث ان الفارق يتراوح من15% ليصل الى 100% تقريباً. ان هذا الاختلاف بين قيم S وD المدخلة (input) وقيمتها كمخرجات (output) له نفس السلوك في كل من حسابات S وحسابات D، الا انه اكثر وضوح في حسابات سمك الفجوة الهوائية.

الجدول (2): بعض المعلمات الهندسية والفيزياوية لمجالات التصوير عند تغير قطر الفتحة المحورية.

D	S	$D_{com.}$	$S_{com.}$	L	$(f_p)_{min}$ (mm)		W (mm)		$(B)_{max}$ (T)	
(mm)					the.	com.	the.	com.	the.	com.
2	4	3.350	4.60	4.21	2.091	2.059	4.97	4.61	0.149	0.151
4	4	4.380	5.20	4.81	2.402	2.299	4.71	5.56	0.131	0.129
6	4	6.326	5.80	5.67	2.771	2.690	5.53	6.1	0.122	0.120
8	4	8.180	6.80	6.69	3.241	3.198	6.42	6.4	0.090	0.091
10	4	9.992	7.60	7.81	3.806	3.778	7.57	7.7	0.082	0.074
12	4	11.75	8.60	8.98	4.343	4.288	8.78	9.1	0.066	0.057

وبصورة عامة يمكن تثبيت الملاحظات الآتية:

1- عند تغير S وثبوت D كمدخلات فان قيمهما كمخرجات تختلف بحدود اقل بكثير من الحالة المعاكسة (أي عند تغير D وثبوت S).

2- عندما يكون احد المتغيرين في حالة تغير فان الفارق بين قيمه كمدخلات وقيمه كمخرجات يقل كلما زادت قيمه والعكس صحيح.

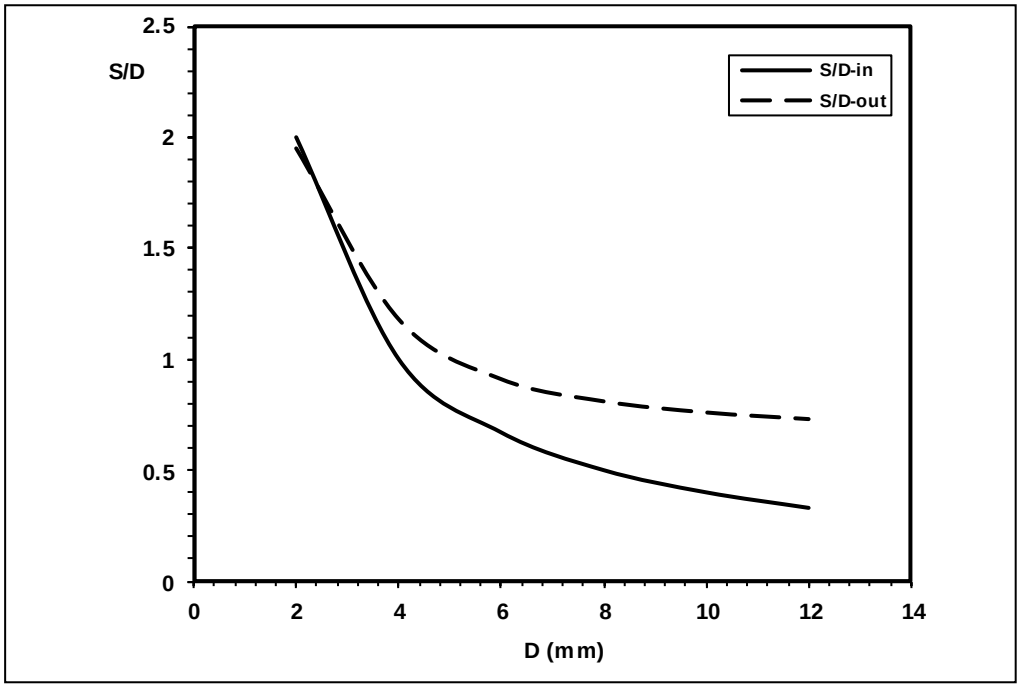
3- في حالة كون احد المتغيرين في حالة ثبات fixed فان الفارق بين قيمه كمدخلات ونظيرتها كمخرجات يزداد بزيادة قيم المتغير الذي في حالة تغير.

4- بصورة عامة يلاحظ ان الاختلاف يقل بزيادة النسبة S/D وفي كل من الحسابات الخاصة بسمك الفجوة S وقطر الفتحة المحورية D.

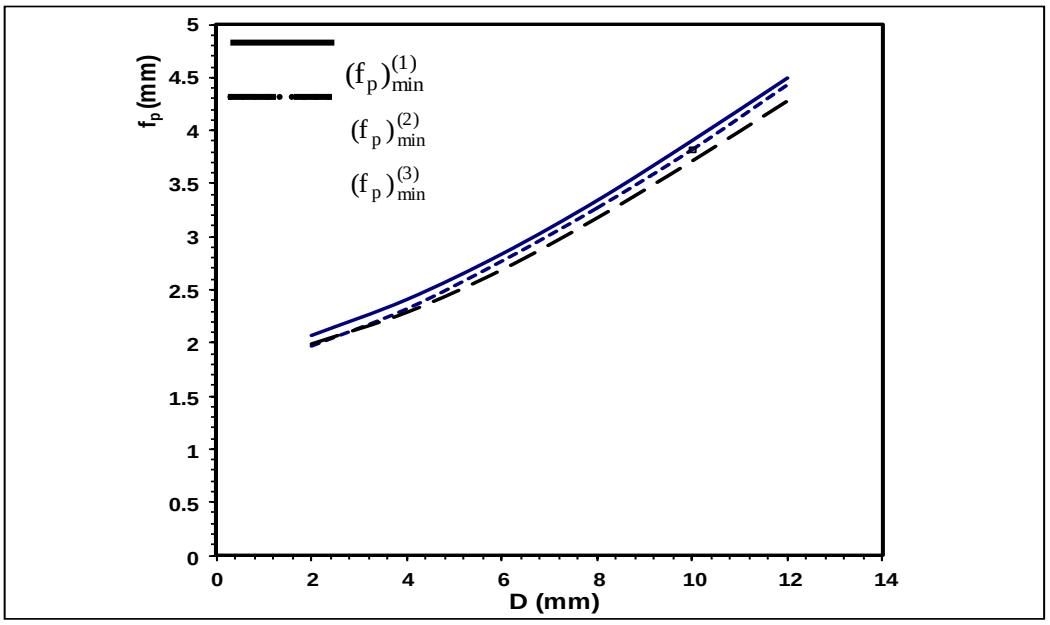
في الحقيقة يمكن تفسير ذلك وكما يأتي:

1- ان العلاقات الرياضية الخاصة بالثابت الهندسي L، القيمة العظمى لكثافة الفيض B_{max}، عرض النصف W، والقيمة الصغرى للبعد البؤري المسقطي $(f_p)_{min}$ هي معادلات رياضية تجريبية وضعت لمجال تصوير مستطيلي الشكل (rectangular shape) وهكذا مجال يمتاز بنسب S/D عاليه. وهذا ما يفسر التقارب بين قيم المعلمات عند زيادة النسبة S/D، لاحظ الشكل (12)، سواءً بزيادة S او نقصان D على حد سواء.

2- ان العلاقات الرياضية المشار اليها اعلاه كانت قد وضعت لأقطاب مغناطيسية تقليدية كالاسطوانية cylindrical او المخروطية conical او الكروية spherical. ولجميع هذه الاشكال تحسب S وكذلك D من نفس النقطة التي تكون عادة اخر نقطة في وجه القطب باتجاه المحور، في حين ان الامر يختلف لاشكال الأقطاب المعاد بناؤها في هذا البحث، اذ يلاحظ ان هناك نقاط تكون اقرب الى وجة القطب الاخر منه من النقطة التي تم حساب S وD عندها. وهذا يعني أن الأشكال الغير تقليدية للأقطاب المغناطيسية يجب أن تعامل بشكل اخر يختلف عن نظيره للأقطاب التقليدية. يوضح الشكل (13) تغير القيمة العظمى للبعد البؤري المسقطي لمجالات التصوير المحسوبة من البرنامج $(f_p)^{(1)}_{min}$، لقيم S وD المعطاة كبيانات ادخال $(f_p)^{(2)}_{min}$ ونظيراتها المحسوبة من الأقطاب المعاد بناؤها $(f_p)^{(3)}_{min}$.



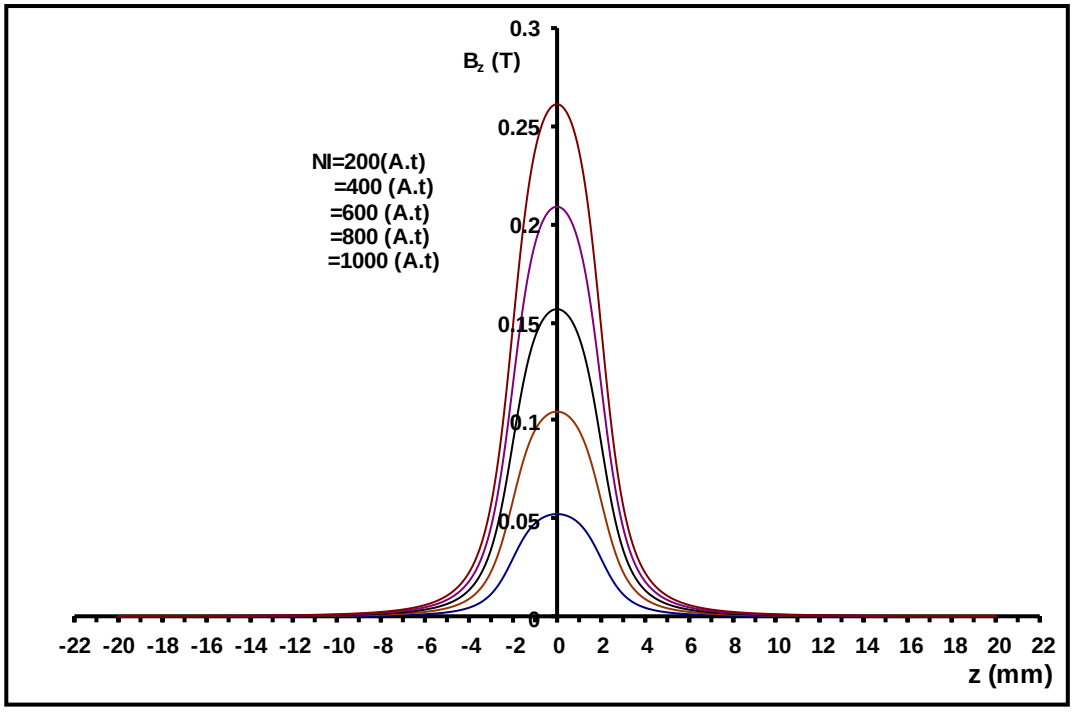
الشكل (12): تغير النسبة S/D المعطاة كبيانات ادخال $(S/D)_{inp}$ وتلك المحسوبه كنتيجة $(S/D)_{out}$ كدالة لقطر الفتحة المحورية D عند ثبوت S وNI.



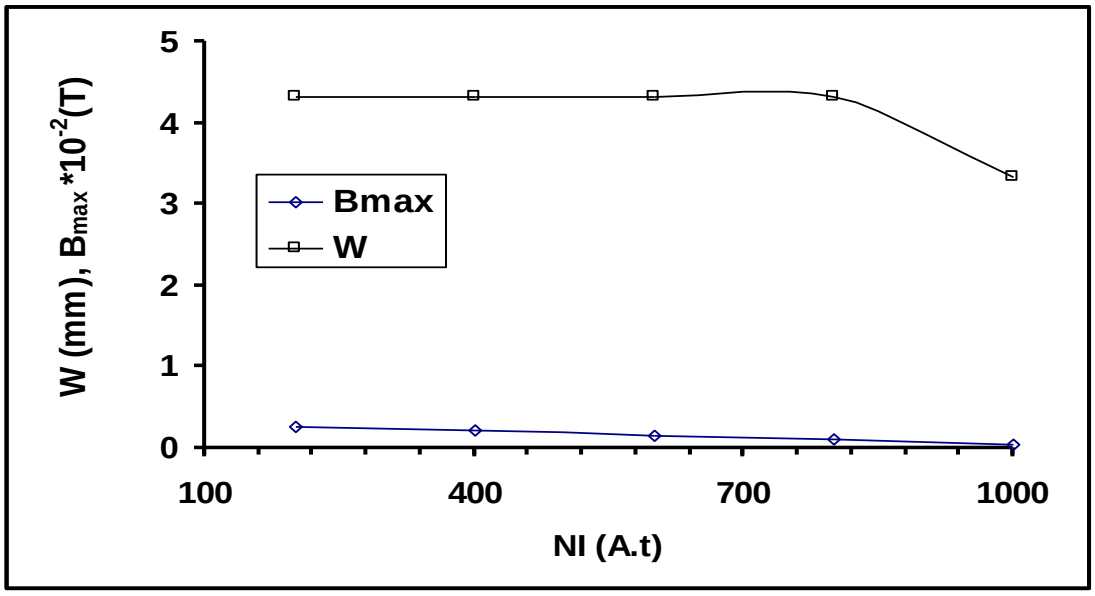
الشكل (13): القيم الصغرى للبعد البؤري المسقطي محسوبة من البرنامج $(f_p)^{(1)}_{min}$ ، لقيم S وD كبيانات ادخال $(f_p)^{(2)}_{min}$ ، وتلك المحسوبة من الأقطاب المعاد بناؤها $(f_p)^{(3)}_{min}$.

تأثير المتغير (NI):

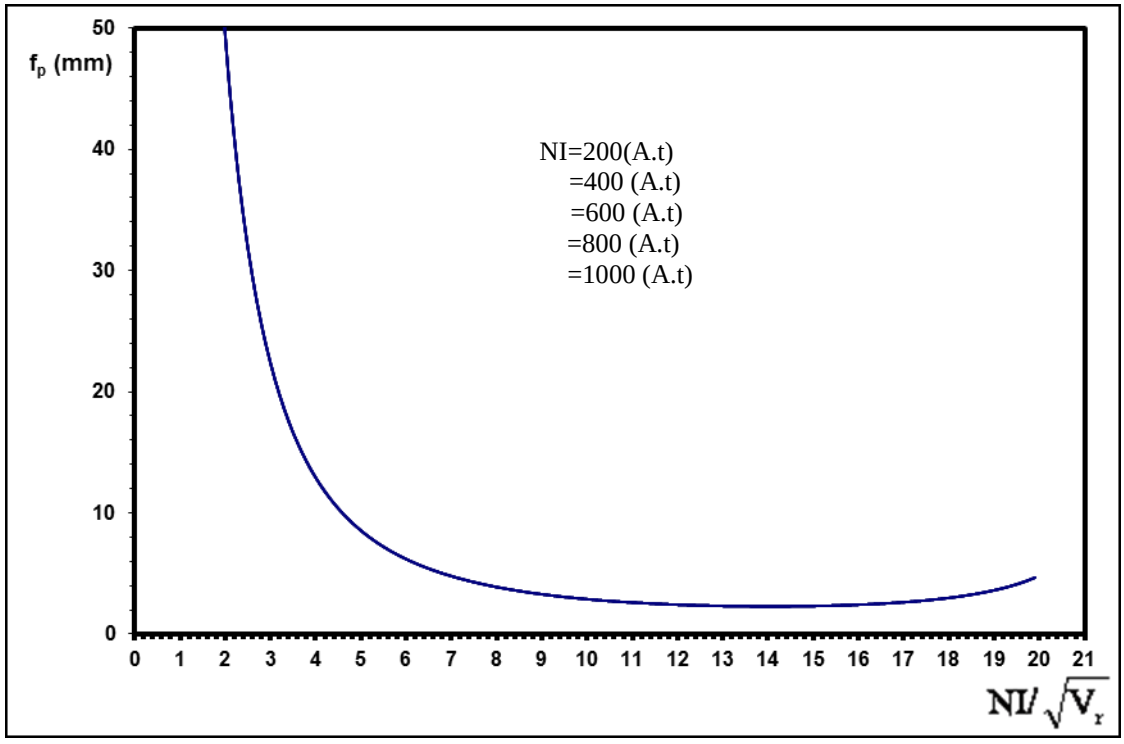
في هذا المقطع تم تثبيت S وD عند القيم 4 mm واختيرت القيم (200,400,600,800,1000) امبير. لفه لدراسة تأثير المتغير الفيزياوي NI على الخواص البصرية المسقطية لمجالات التصوير وكذلك شكل الأقطاب القادرة على توليدها. يبين الشكل (14) توزيعات كثافة الفيض المغناطيسي المحوري B_z لكل تهيج اعلاه. واضح من الشكل ان زيادة المساحة تحت منحني التوزيع تؤدي الى زيادة القيمة العظمى B_{max} لكن عرض النصف W يبقى ثابت لثبوت S وD كما هو موضح في الشكل (15). من المعروف أن ثبوت W يؤدي الى استقرار خواص المجال المغناطيسي التصويري عند قيمة محددة **[15]** ، لذا وبالاتفاق مع هذه النتيجة توضح الاشكال (16)، (17) و(18) هذه الحقيقة اذ يلاحظ أن f_p، D_r وD_s تبقى بدون تغير على الرغم من تغير قيم التهيج NI. هذه النتيجة بالحقيقة، يمكن ان ينظر لها من زاوية أخرى وهي أن اعلومة التهيج $NI/\sqrt{V_r}$ والمثبتة في حسابات هذا البحث عند القيمة 20 تؤدي الى ان سرعة الالكترونات تتغير بتغير NI للمحافظة على قيمة $NI/\sqrt{V_r}$ وهذا موضح في الشكل (19) الذي يبين ان ميل المنحي هو 20.



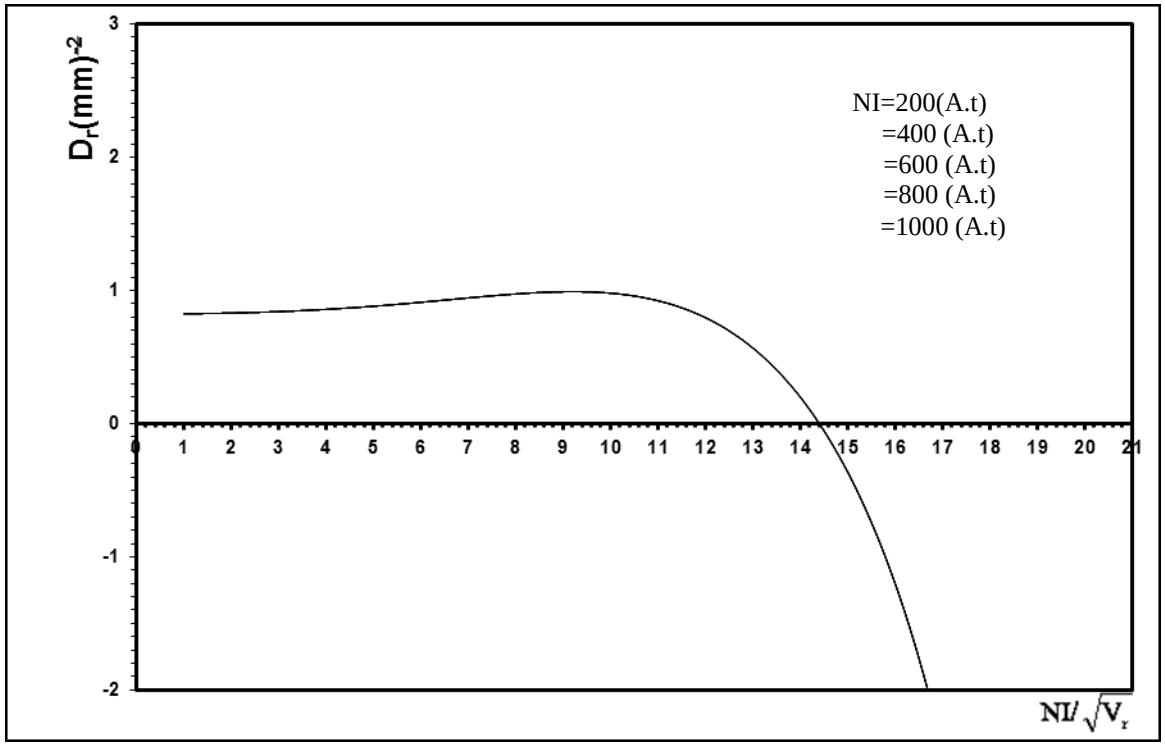
الشكل (14): توزيعات B_z لقيم NI مختلفة عند ثبوت قيم S وD.



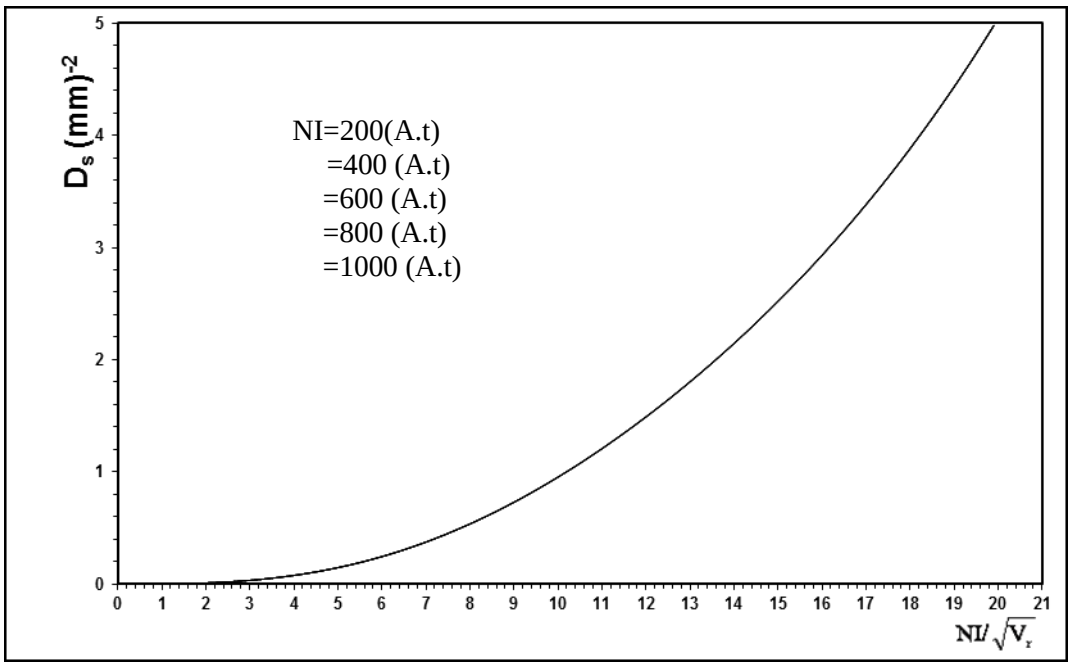
الشكل (15): تغير معلمات مجالات التصوير بتغير التهيج NI .



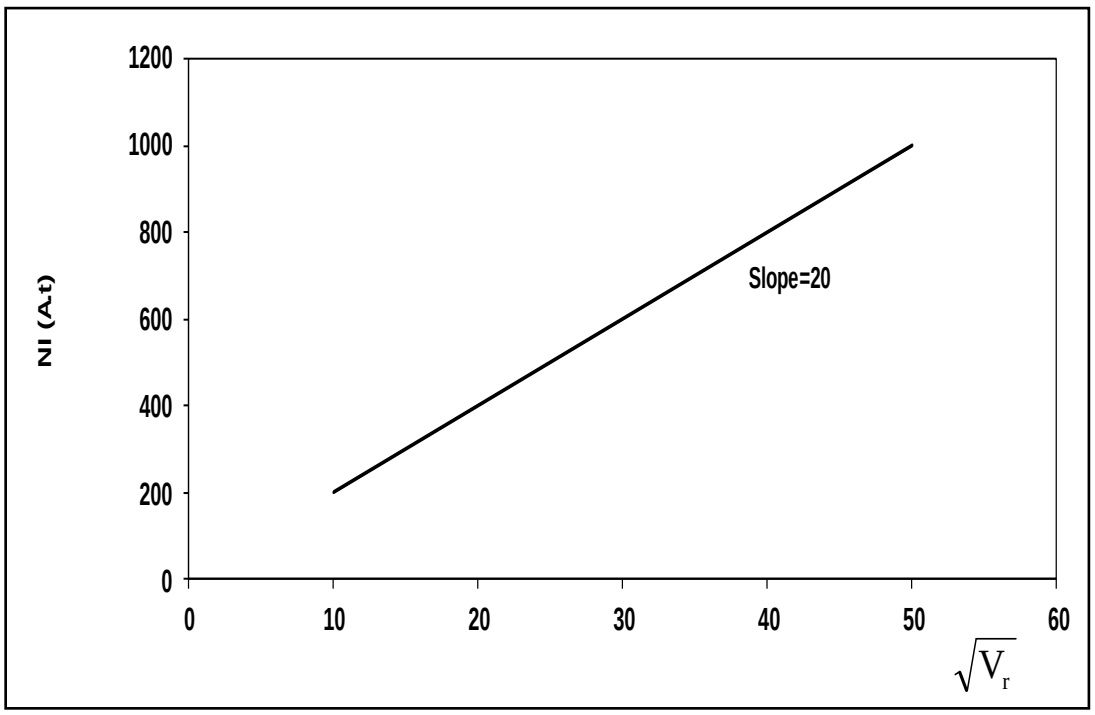
الشكل (16): تغير البعد البؤري المسقطي f_p كدالة للتهيج $NI/\sqrt{V_r}$ لقيم NI مختلفة.



الشكل (17): تغير معامل التشويه الشعاعي D_r كدالة لاعلومة التهيج $NI/\sqrt{V_r}$ لقيم NI مختلفة.



الشكل (18): تغير معامل التشويه الحلزوني D_s كدالة لاعلومة التهيج $NI/\sqrt{V_r}$ لقيم NI مختلفة.



الشكل (19): تغير سرعة الحزمة الالكترونية V_r كدالة للتهيج NI.

الاستنتاجات Conclusions

من خلال هذه الدراسة يمكن الحصول على جملة من الاستنتاجات التي يمكن تلخيصها بما يأتي:

1- عند استخدام أية دالة هدف تحليلية analytical target function لتمثيل أية دالة محورية مثل المجال المغناطيسي او الجهد العددي المغناطيسي او مسار الحزمة الالكترونية، يجب مراعاة ان يكون المجال المغناطيسي مساوياً الى الصفر او قريباً منه عند نهايات (terminals) المحور البصري. وخلاف ذلك فان جزءً من التهيج ستتم خسارته بالتالي ستزداد نسبة الخطأ في الحسابات ولايمكن الحصول على نتائج موثوق بها.

2- ان اي متغير امثلية optimization parameter تؤدي الزيادة او النقصان، على حد سواء، في قيمته الى زيادة خطوط الفيض المغناطيسي لنفس وحدة المساحة فان ذلك يؤدي الى زيادة قوة كسر العدسة المغناطيسية. اي نقصان قيمة البعد البؤري بالتالي زيادة تكبير المجال التصويري، والعكس صحيح ايضاً.

3- طالما كان تأثير تغير متغيرات الامثلية في شكل مجال التصوير متشابه فان تأثير تغيرها يؤدي الى نفس الأثر في الخواص البصرية للمجال، اي ان السلوك العام للخواص البصرية يكون متشابهاً.

4- قد يكون هناك تشابهاً بين أثر تغير مجموعة من متغيرات الامثلية في المجال التصوري ويؤدي الى نفس الأثر في الخواص البصرية، الا ان ذلك لا يؤدي بالضرورة الى تشابه في التأثير على الاقطاب المعاد بناؤها. على سبيل المثال هناك أثر متشابه لتغير سمك الفجوة الهوائية وقطر الفتحة المحورية على مجالات التصوير ولكن لهما أثر مختلف في الاقطاب المعاد بناؤها.

5- ان لسمك الفجوة الهوائية تأثيراً في مجالات التصوير وخواصها البصرية ومن ثم الاقطاب المعاد بناؤها اكبر حده من نظيره للفتحة المحورية عموماً.

المصادر

[1] Lambrakis E., Marai F. Z, and Mulvey T. (1977), "*Correction of Spiral Distortion in the Transmission Electron Microscope*".

[2] Al-Shwaikh, A., (1979), "*Magnetic Electron Lenses Based on the Uniformly Magnetized Ellipsoid"*, Ph.D. thesis, University of Aston in Birmingham, England.

[3] Tsuno, K., and Harada, Y., (1981a), "*Minimization of Spiral Distortion in Electron Microscope Through the use of a Triple-Pole Piece Lens*", J. Phys. E:Sci. Instrum., 14, 313-319.

[4] العبيدي، حسن نوري عبد الوهاب، (1991)، "*تصميم العدسات الكهرومغناطيسية*"، رسالة ماجستير/ كلية العلوم/ الجامعة المستنصرية.

[5] السعدي، عبد عون كاظم، (1996)، "*حسابات عن خواص العدسات المغناطيسية المزدوجة للمجهر الالكتروني النفاذ*"، أطروحة دكتوراه/ كلية العلوم/ الجامعة المستنصرية.

[6] Al-Jubori, W. J., (2001), "*Inverse Design of Asymmetrical Magnetic Lenses in the Absence of Magnetic Saturation*", Ph.D. Thesis, University of Al-Mustansiriyah, College of Science Baghdad, Iraq.

[7] Al-Batat, A. H. H., (2001), "*A Theoretical and Computational Investigation on Magnetic Lenses Synthesis*", Ph.D. Thesis, University of Al-Mustansiriyah, Baghdad, Iraq.

[8] Holcakova, R. and Marek, M. (2011), *"Innovative research in electron microscopes, analysis of magnetic field distribution of some types of magnetic lenses by FEM*", 10th International Conference on Environment and Electrical Engineering , pp.1-4, IEEE Journals.

[9] Humphries, S. (2011), "*Three-Dimensional Charged-Particle Optics And Gun Design*", field precision LLC, CRC press, Albuquerque, New Mexico U.S.A.

[10] Al-Obaidi, H. N.A. and Al-Azawy A. (2014), "*Visual Design Tool for Electrostatic Lenses"* , Journal of Advances in physics, Vol. 5, No.2.

[11] Al-Azawy A., (2016), *"A computer Aided Design Tool for Electrostatic Lenses"* Ph.D. thesis, University of Al-mustansiriyah, Collage of Education, Baghdad, Iraq.

[12] Hawkes, P. W. (1982), *"Magnetic Electron Lenses"*, (Springer- Verlag, Berlin).

[13] Szilagyi, M., (1984). "*Reconstruction of Electrodes and Polepieces from Optimized Axial Field Distributions of Electron and Ion Optical Systems*". Appl. Phys. Lett., 45, 499-501.

[14] Al-Obaidi, H. N. (1995), *"Determination of the Design of Magnetic Electron Lenses Operated Under Reassigned Magnification Conditions"*, Ph.D. Thesis, University of Baghdad, Iraq.

[15] Al-Obaidi, H. N., (1999), "*A New Analytical Mathematical Model for Approximating the Magnetic Filed of Symmetrical Lenses*", J. of Education. college, Al-Mustansririyah University, 3, 35-46.