

## العلاقة بين طولي القطب والذراع الحديدي في تصميم العدسة الإلكترونية المغناطيسية من نوع سنوركل

نعم اوانيس صاموئيل      محمد خيرى زكى عبد      عبد الله ادريس العبد الله

قسم الفيزياء/ كلية العلوم/ جامعة الموصل

p-ISSN: 1608-9391  
e-ISSN: 2664-2786

### Article information

Received: 4/7/2022  
Revised: 2/9/2022  
Accepted: 18/9/2022

DOI: 10.33899/rjs.2023.180290

### corresponding author:

نعم اوانيس صاموئيل

Neam.20scp10@student.uomosul.edu.iq

محمد خيرى زكى عبد

dr.mohammedkhayri@uomosul.edu.iq

عبد الله ادريس العبد الله

abdullahidrees@uomosul.edu.iq

### الملخص

تعتبر المنطقة ثنائية القطب من أهم العوامل في تحديد فعالية العدسة المغناطيسية. إن الموضع الأمثل للقطب وأهم جوانب عدسات الإلكترون المغناطيسية هي أغطية الحديد والتي تستخدم لدراسة التراكيز والخصائص البصرية لأجهزة العرض، حيث يزداد المجال المغناطيسي بسلاسة وبشكل موحد بأعلى قيمة ممكنة وبذروة واحدة فقط. أن الهدف الاساسي من هذه الدراسة هو لتحديد والتوصل الى علاقة تربط ما بين طول طرف الذراع الحديدي نسبة الى طول القطب المغناطيسي المحوري ( $Z$ )، حيث تم اختيار طرف القطب عند ( $Z = 0$  mm). من الناحية العملية، لوحظ أن الخصائص البصرية لعدسات الإلكترون قد ابدت تحسناً ملحوظاً عندما تم تغيير طول طرف الذراع الحديدي وطول القطب المغناطيسي وقد تم توصيف هذا التحسن في الخواص البصرية من المعادلة المستنتجة من الحسابات النظرية وذلك من خلال تمديد المسافة بين الذراع الحديدي ووجه القطب في الاتجاه المعاكس للملف كما لوحظ انه من الممكن زيادة أدائه وذلك عن طريق إزالة أو تقليل تسرب التدفق المغناطيسي بحيث أن المجال المغناطيسي المحوري سيرتفع بعد ذلك داخل العدسة في اتجاه يمنع ضياعها. يقع خيار المصممين عند اعداد العدسة على طول الذراع الحديدي بناءً على دراسات مستفيضة واختيار طول مناسب للقطب بحيث يحدد الوظيفة المرجوة من العدسة او ما يعرف بالمنظومة البصرية. في هذا العمل تم وضع علاقة تربط ما بين طول القطب وطول الذراع الحديدي، وتم استخدام برامج FEMM و MELOP للتحقق من أداء العدسة، والمجال المغناطيسي المحوري فضلا عن الخصائص البصرية البؤرية.

الكلمات الدالة: برنامج MELOP، برنامج FEMM، تصميم عدسة الغطس، عدسة الإلكترون المغناطيسي.

### المقدمة

تعتبر عدسة الإلكترون أهم مكون في المجهر الإلكتروني، الأنواع الثلاثة للعدسات الكهرومغناطيسية هي العدسات الكهروستاتيكية، والعدسات المغناطيسية الدائمة، والعدسات المغناطيسية. تعد العدسة الكهرومغناطيسية من أكثر أنواع العدسات الإلكترونية استخدامًا نظرًا لسهولة تشغيلها ودقتها وبساطتها في التصنيع وقلّة تكلفتها، في تركيز جميع الجسيمات المشحونة للشعاع المنبعث من نقطة واحدة في مستوى الجسم إلى نقطة ضبابية واحدة (Kadhem *et al.*, 2018).

العدسات المغناطيسية هي الأجهزة التي تنتج مجالًا قويًا داخل منطقة صغيرة، وتعزى الاختلافات بينها إلى تصميم وطبيعة الملفات والنير والقضبان المستخدمة في إنشاء المجال، باستثناء المسافة بين القطبين، التدفق في ظل العدسة المصممة جيدًا داخل منطقة المقرن أو الملف، والفجوة، ممثلة بشكل عام بالمسافة (S)، وقطر التجويف (D) لأنهما من سمات هذه العدسات (Hawkes, 2017).

تمت دراسة تطوير هندسة العدسة المغناطيسية على نطاق واسع، للتأكيد على أهمية كل معلمة من معلمات العدسة المغناطيسية نظريًا وعمليًا، حيث درس واين ومولفي تأثيرات فجوة الهواء على نسبة قطر التجويف (S/D) فقد اظهر ان تصغير الابعاد يؤثر في كثافة المجال للعدسة ولكن ليس بالضرورة يقلل من انحرافات العدسة (Mulvey and Yin, 1988)، ودرسها أيضا (Al-Khashab and Abbas (1997) ، وقام Clever (1980) بدراسة لتحسين الشكل القطبي للعدسات ثنائية القطب المتماثلة، بينما يفحص (Wenxiong, 1988) العدسات ثنائية القطب.

درس (Al-Khashab and Ahmed (2004) عدة مناهج لهندسة القطعة القطبية لعدسة الإسقاط المغناطيسي وتأثيرها على خطوط المجال المغناطيسي والخصائص البصرية للقطبين المزدوج والمفرد. درس الامير (Alamir (2004) الانحراف اللوني للعدسات المغناطيسية الخالية من الحديد. وناقش (Al-Abdullah and Al-Khashab (2006) اختيار الشكل الهندسي المناسب للملف الذي يحسن أداء العدسة المغناطيسية أحادية القطب مع دراسة حسابية نظرية لتحسين تناسق الأداء، حيث وجد ان لهندسة الملف تأثيراً مهماً على خصائص العدسة أحادية القطب المغناطيسية وبالتالي على نتائج الخواص البصرية للعدسة. كما وساهمت دراسة (Al-Khashab and Hijazi (2010) ، حيث توصلوا الى ان الشكل الهندسي لمنطقة القطب لها تأثير واضح على الخواص البصرية، وجد ان تأثير قطر الفتحة المحورية على البعد البؤري للعدسة وفي تحسين تصميم العدسات المغناطيسية والكهروستاتيكية مع معاملات انحراف منخفضة.

وقد ساهمت تقنية الإلكترون الحديثة والمتقدمة في ظهور العديد من التحسينات في تصميم العدسات للحصول على أداء بصري ودقة عالية في الخصائص البصرية وكثافة تدفق العدسة، حيث تم تصنيع عدسة أحادية القطب كعدسة مركبة من قبل الجميلي (Al-Jumayli (2010) ، كان الشحات مهتمًا بالخصائص البصرية للعدسات المغناطيسية أحادية القطب ذات الأشكال المختلفة (EL-Shahat *et al.*, (2016) تلاه عباس وصاحي، الذي درس الخصائص الموضوعية للأقطاب المزدوجة غير المتماثلة (Abaas and Sahi, 2017). تم عرض العدسة بواسطة نعمان، مثل طول فجوة الهواء، وكثافة التدفق المغناطيسي، والانحراف الكروي، وما إلى ذلك (Numan, 2018).

التصاميم الأساسية للعدسات الشبكية غير المتماثلة المستخدمة في SEM كعدسات شبكية: الأولى تسمى العدسة ذات الثقب أو العدسة المخروطية، حيث تكون العينة خارج العدسة ومجالها المغناطيسي، والثانية تحتوي على عينات صغيرة بما يكفي (عدة ملمترات فقط) لتتناسب داخل العدسة تسمى العدسة الغاطسة، بينما الثالثة هي فضاء الغمر الخاص بالعدسة، حيث تكون العينة خارج العدسة ولكن داخل مجالها المغناطيسي (Goldstein *et al.*, 2003).

تم اقتراح العدسة أحادية القطب (العدسة الغائرة) لأول مرة من قبل (Mulvey and Newman (1973) في SEM منخفض الجهد (Mulvey and Newman, 1973)، وتجمع هذه العدسة بين أفضل صفات العدسات ذات الثقب الغائر، ويمتد مجالها المغناطيسي الى ما وراء العدسة، ويصل الى العينة. تم إجراء بحث مكثف لتحسين هندسة عدسات الإلكترون المغناطيسية

ذات الأبعاد الهندسية المناسبة للعدسات ثنائية القطب المتماثلة (Cleaver *et al.*, 1980) والعدسات ثنائية القطب غير المتماثلة (Wenxiong, 1988).

أفضل العدسات الكهرومغناطيسية لها أكبر قيمة للمجال المغناطيسي المحوري وأضيق نطاقات عند منتصف القمة (Hawkes, 2017). نتيجة لذلك، توفر العدسات المغناطيسية الأقوى دائماً مسافات دقة أقصر، كما ذكر (Al-Obaidi, 2020) وكذلك اختتمه (Abd Alghane and Ahmed, 2021).

تم تحسين وتطوير العدسات عالية الجودة عن طريق تقليل الانحرافات وزيادة تركيز العدسة. في عام 1982، تم مساهمة Mulvey في تحسين المجهر الإلكتروني وأحدث تغييرات في هياكل العدسات الفردية، وكان شكل الذراع الحديدي يمثل تحدياً حقيقياً يؤدي إلى التحكم الحالي (Mulvey, 1982) نتيجة لذلك، فإن الغرض من الغطاء الحديدي هو تقليل تسرب التدفق المغناطيسي في نفس الوقت، ويتم تقليل المجال الشارد للعدسة والتركيز.

القوة المغناطيسية في فجوة بالقرب من سطح القطب. تابع هذا الموضوع (Al-Khashab and Abbas, 1991) لتحسين شكل قطب العدسة أحادية القطب الغير متماثلة ثم جاءت دراسة اهتمت بحساب توزيع المجال المغناطيسي المحوري والخواص البصرية والمسقطية للعدسات الأحادية القطب ذات اشكال مختلفة قام بها ثم طبق هذا التحدي ووصفه (Al-Abdullah, 1997) في تصميم صورتين للقطب. درست Al-Shamma هندسة العدسات الموضوعية المغناطيسية غير المتماثلة (Al-Khashab and Al-Shamma, 2019)، وتعرف هاتان الصورتان بالعدسة ذات الثقب والعدسة الغاطسة. في العدسة المغناطيسية غير المتماثلة، تم تحسين هيكل القطب الأساسي وهندسة الذراع الحديدي، ويمكن تطوير عدسات مجهر إلكتروني لذات قوى تحليل عالية وذلك باستخدام عدسة موضوعية مكثفة، حيث نفذها Al-Khashab and Al-Khalidi لأهميتهما في تحديد الخواص البصرية للعدسة المغناطيسية (Al-Khashab and Al-Khalidi, 2018).

لا يمكن إكمال تصميم العدسة الإلكترونية دون الاعتماد على الآلة الحاسبة الإلكترونية. في ظل كرنفال التطور الإلكتروني، أصبح من الممكن معرفة وحساب المجال المغناطيسي أو الكهربائي لأي عدسة مقترحة، وكذلك إمكانية إيجاد خواصها الضوئية بدقة متناهية، وتحديد خصائص العدسة وتشغيلها، كل ذلك يتم قبل تصنيعه.

طريقة العناصر المحدودة (FEM) هي تقنية عددية تستخدم في العديد من المجالات الهندسية والفيزيائية بالإضافة إلى المجالات العلمية الواسعة التي تتطلب حل المعادلات التفاضلية المعقدة (Mulvey, 1984).

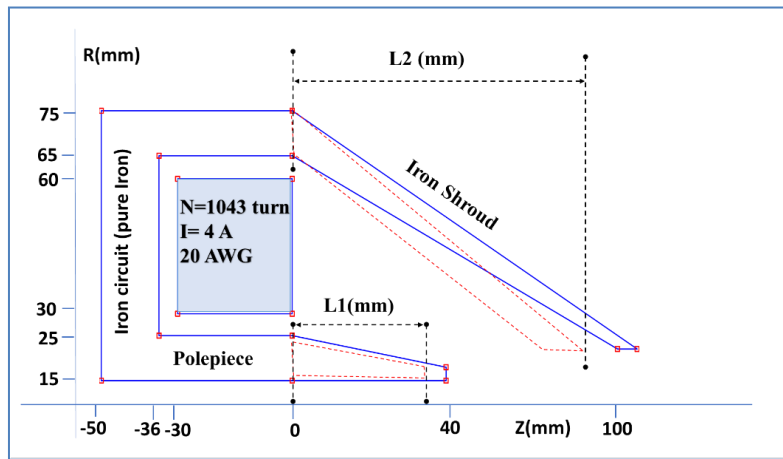
من المعروف أن عدسات Snorkel هي عدسات ضعيفة ولا تتحمل التيارات العالية أو التهيجات، ولكن من الممكن تحسين أدائها والقضاء أو تقليل تأثير تسرب التدفق المغناطيسي عن طريق التوصل الى علاقة بين طول الذراع الحديدي وطول القطب وهذا هو محور عملنا البحثي الحالي. في هذه الحالة، سوف يتم التحكم في اتجاه التدفق المغناطيسي داخل العدسة وبالتالي يمنعها من الضياع. يقع خيار المصممين عند اختيار العدسة على طول الذراع الحديدي بناءً على دراسات مستفيضة واختيار طول قطب مناسب يحدد الوظيفة المرجوة من العدسة او ما يعرف بالمنظومة البصرية يهدف العمل في هذا البحث إلى إيجاد علاقة تقريبية تربط ما بين طول القطب وطول الذراع الحديدي لمحور العدسة المغناطيسية، لغرض إمكانية تطبيق هذه الدراسة في اعتبارات تصميم هذا النوع من العدسات للحصول على أفضل النتائج نظرية قبل الولوج الى التطبيقات العملية.

تم استخدام برنامج (FEMM) الذي يستخدم طريقة العناصر المحدودة (FEM) في تصميم العدسات (Meeker, 2010)، حيث يتم حساب توزيع المجال المغناطيسي المحوري، وتستخدم هذه الطريقة بشكل اساسي لحساب المجالات المغناطيسية المحورية في العدسات المغناطيسية المتناظرة دورانيا والمستخدم في تركيز حزم الإلكترون (Lencová and Zláma, 2008).

هناك أنواع مختلفة من المحاكيات، في هذا البحث سيتم دراسة تصميم العدسة المغناطيسية غير المتماثلة باستخدام برنامج MELOP لحساب الخواص البصرية الإلكترونية من خلال توزيع المجال المغناطيسي المحوري (Al-Salih *et al.*, 2021).

## 2- اعتبارات التصميم:

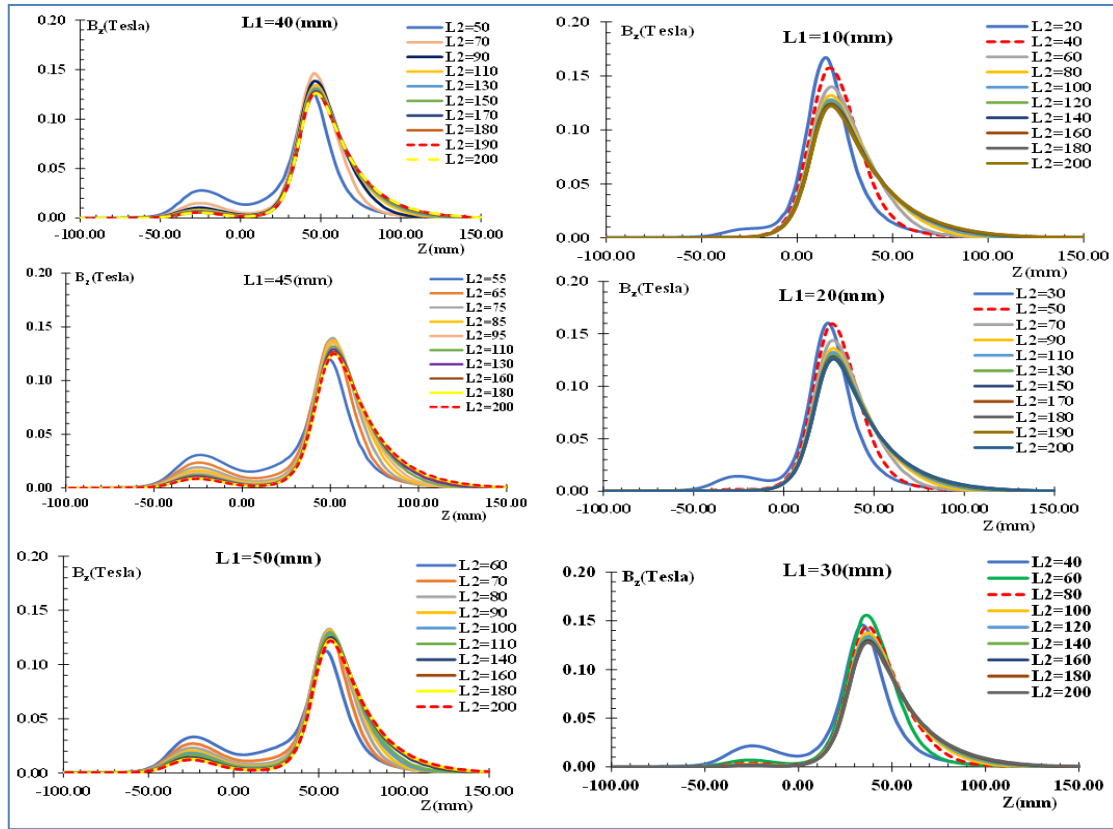
يهدف البحث إلى إيجاد علاقة رياضية بين موقع رأس الذراع الحديدي وموقع طرف القطب الذي يبدأ (حسب التصميم في هذا البحث) عند ( $Z = 0 \text{ mm}$ ) بالنسبة للمحور البصري لعدسة الغوص المغناطيسية. تم تصميم العدسة كما هو موضح في الشكل (1) ، يحتوي الملف ( $N = 1043 \text{ turn}$  و بسمك 20 AWG (حسب المقياس النوع الأمريكي) ويحمل تيار مقداره  $I = 4 \text{ A}$ )، محاطة بدائرة حديدية بتصميم هندسي يمثل عدسة من نوع سنوركل مع الأبعاد، حيث أن ( $L1$ ) يمثل الطول القطب الذي يبدأ عند ( $Z=10 \text{ mm}$ ) ويتغير للقيم ( $L1=10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45 \text{ \& } 50 \text{ mm}$ ) و يمثل ( $L2$ ) طول الذراع الحديدي الذي يبدأ عند ( $Z=20 \text{ mm}$ ) ويتغير للقيم ( $L2=20, 30, 40, \dots, 200 \text{ mm}$ ).



الشكل 1: تصميم عدسة سنوركل بمعاييرها وابعادها الهندسية

## حسابات المجالات المغناطيسية المحورية ومقارنتها:

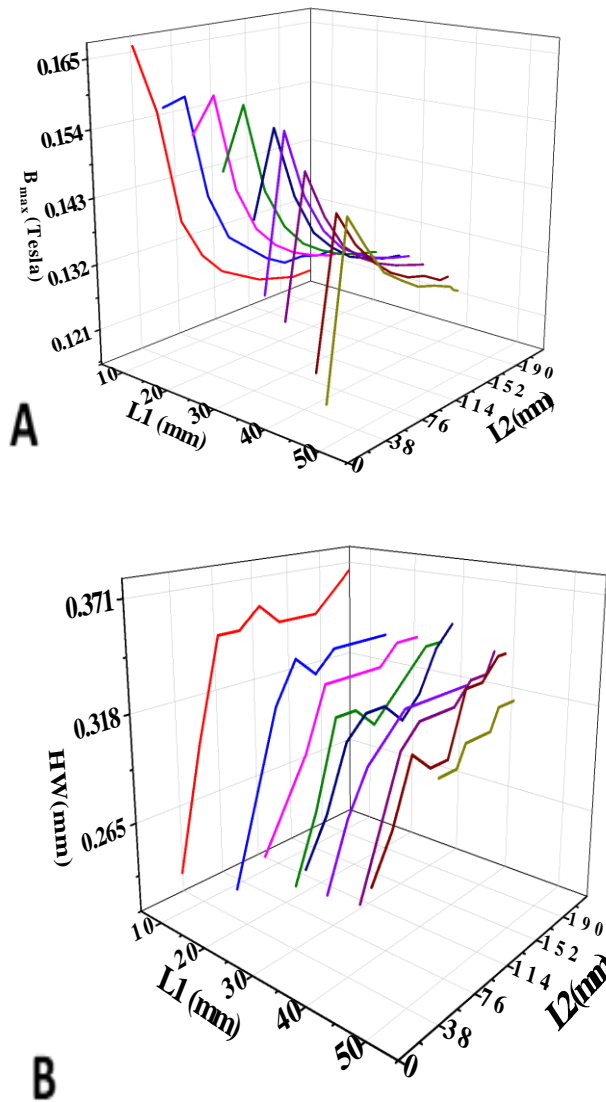
تم حساب توزيع المجال المغناطيسي المحوري ( $B_z$ ) باستخدام برنامج FEMM وبتهيح ثابت مقداره ( $NI = 4172 \text{ A-t}$ ) وقيم مختلفة للمسافات ( $L1$  and  $L2$ ) حيث تم اختيار قيم محددة للمتغير ( $L1$ ) تساوي ( $L1=10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45$  and  $50 \text{ mm}$ ) ولكل قيمة منها تم اختيار قيم للمتغير ( $L2$ ) تأخذ مدى يتراوح ( $L2=20, 30, 40, \dots, 200 \text{ mm}$ ) كلا المعلمين يبدأ حسابه من نقطة ( $Z = 0 \text{ mm}$ ) من المحور البصري كما هو موضح في الشكل (2)، الذي يعرض المجال المغناطيسي المحوري لبعض القيم المختارة، ويوضح هذا الشكل أيضاً أن المجال المحوري يحتوي في منحنى التوزيع على ذروتين، أحدهما يقع أسفل موقع الملف (ضمن المحور البصري  $Z$ ) والآخر يقع بين طرف القطب و رأس الذراع الحديدي، علاوة على ذلك، فقد وجد أن قيم الذروة الأولى تبدأ بالزيادة ثم تنخفض وتصل إلى مدى ثابت مع زيادة قيم ( $L1$  and  $L2$ )، في حين قيم الذروة الثانية تنخفض مع زيادة قيم ( $L1$  and  $L2$ ) وتصل أيضاً إلى مدى ثابت، يلاحظ من الشكل أيضاً، عندما كان طول القطب ( $L1=10, 20, 30, 40, 45, 50 \text{ mm}$ )، كانت احسن قيمة تم اختيارها عند ( $L2=40, 45, 50, 80, 190, 200 \text{ mm}$ ) على التوالي، عند اختيار الطول المناسب لوجه الذراع الحديدي نلاحظ ان كثافة المجال المغناطيسي بدأت تندفع باتجاه القطب كلما زاد طول الذراع الحديدي بعيداً عن منطقة الملف فتتجه خطوط تساوي الجهد إلى منطقة القطب مما يؤدي إلى تقليل التسريب في منطقة أسفل الملف ضمن المحور البصري ( $Z$ )، من الجدير بالذكر ان الذروة الثانية التي تقع أسفل الملف ضمن المحور البصري لها تأثير سلبي على أداء العدسة المغناطيسية وخواصها البصرية ولذلك يكون التصميم الأمثل بقيمة واحدة ذات أعلى قيمة للمجال ( $B_{max}$ ) مع اضيق نطاق عند منطقة المنتصف (HW)، (Hawkes, 2017).



الشكل 2: عرض للمجالات المغناطيسية المحورية لقيم مختلفة من المسافات (L1 and L2) محسوبة عند قيمة ثابتة من التهييج (NI=4172 A-t) بالموقع المتناسب من المحور البصري.

#### القيم العظمى وعرض النطاق للمجالات:

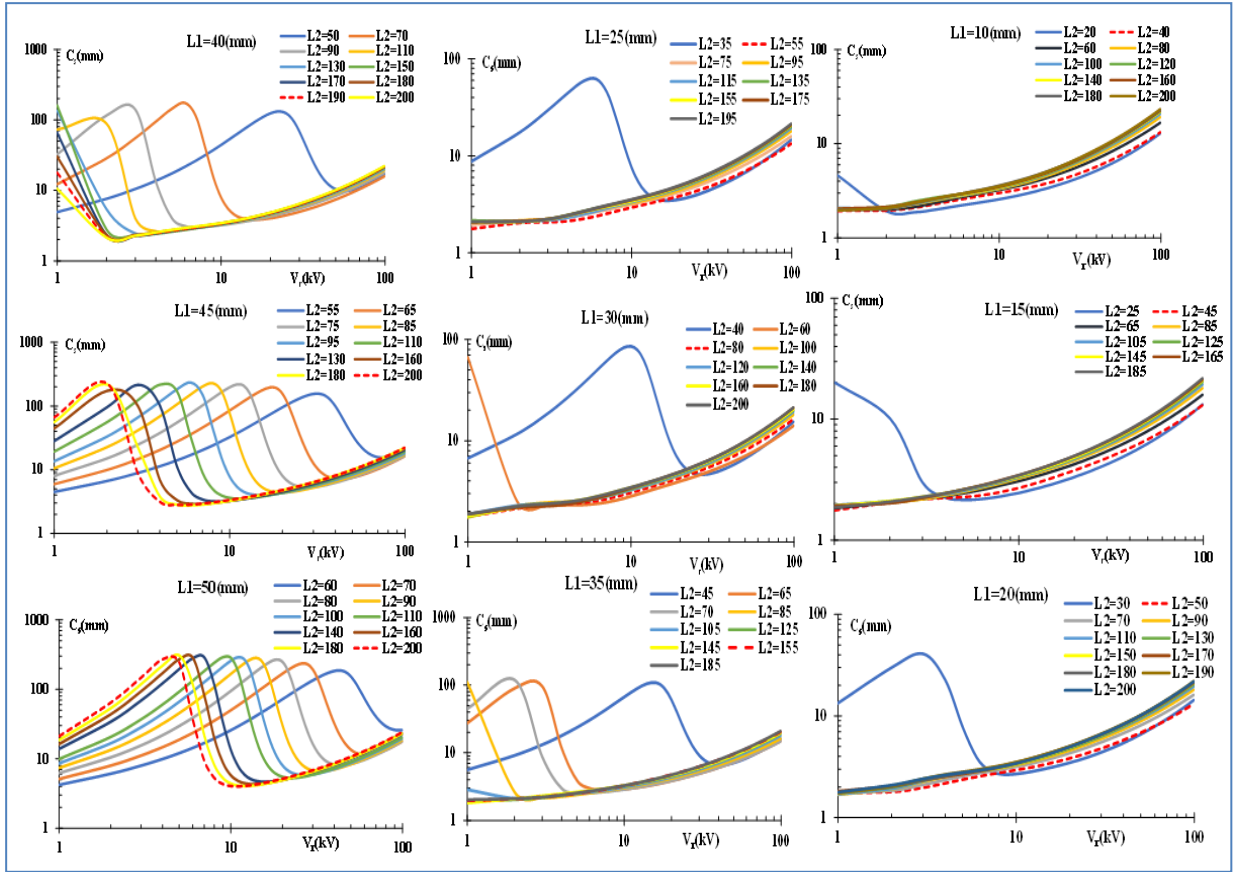
لأجل تحديد أفضل قيم هندسية للمتغيرات (L1 and L2) تم احتساب القيم العظمى لتوزيع المجال المغناطيسي ( $B_{max}$ ) وعرض نطاق المنحني (HW)، وتم عرض هذه القيم بالشكل (3) يوضح هذا الشكل ان اعلى قيم للمجال تتحسن عندما تزداد قيم العامل الهندسي (L2) مع زيادة (L1). وان هذه الزيادة في طول الذراع الحديدي تؤدي الى تقليل التسرب المغناطيسي من الدائرة الحديدية الى حد ما، وكذلك الحال مع عرض النطاق عند منتصف القمة وحسم القيمة المثلى للعامل الهندسي يكون من خلال دراسة الخواص البصرية للمجال حيث نلاحظ استقرار فيها (معاملات الزيوع).



الشكل 3: تغير القيمة العظمى للمجال  $B_{max}$  (A) وتغير عرض النطاق عند منتصف القمة HW (B) كدالة لتغير كل من (L1 and L2) محسوبة عند قيمة ثابتة من التهيج.

#### حساب الخصائص البصرية:

تم استخدام برنامج MELOP في حساب الخواص البصرية الالكترونية المغناطيسية حيث تعد معاملات الانحراف، في بصريات الجسيمات المشحونة، أحد العوامل الحاسمة الرئيسية التي تحدد كفاءة الأجهزة البصرية للجسيمات المشحونة. معاملات الانحراف الكروي ( $C_s$ ) واللوني ( $C_c$ ) والبعد البؤري ( $f_0$ ) هي المحددات الرئيسية لجودة الصورة (Read, 1969) وبما ان جميع هذه العوامل تأخذ نفس السوك عند تغييرها مع الجهد المعجل للحزمة الالكترونية فقد تم عرض تغير معامل الزيغ الكروي فقط كدالة للمفاضلة بين تأثير العوامل الهندسية المتمثلة بطول القطب المغناطيسي والذراع الحديدي. تم مقارنة قيم ( $C_s$ ) كدالة للجهد المتسارع المصحح نسبياً  $V_r$  للمدى (1 - 100 كيلو فولت)، حيث تم تغيير العامل  $L_2$  للمدى (20-200 mm) لكل قيمه من  $L_1$  التي تساوي (10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45 and 50 mm) كما موضح في الشكل (4)، حيث يلاحظ من هذا الشكل ان القيم المتلى لمعامل الزيغ الكروي ( $C_s$ ) تسجل عندما تكون قيم ( $L_2=40, 45, 50, 55, 80, 155, 190, 200$ )، المقابله لقيم ( $L_1=10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, \text{ and } 50$ ) على التوالي.



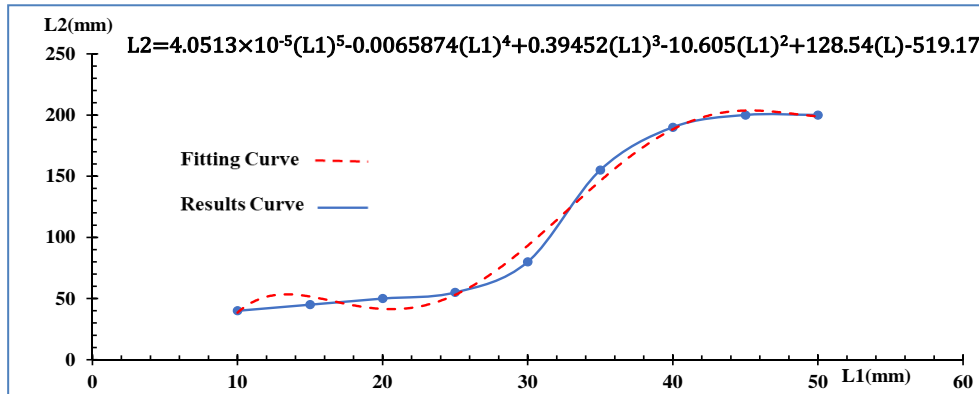
الشكل 4: قيم مختارة مختلفة لقيم الانحراف الكروي ( $C_s$ )

مقارنة للمعاملات الهندسية المثلى لكل من طولي القطب والذراع الحديدي واستنباط العلاقة الرياضية بينهما:

تمت مقارنة القيم المثلى من ( $L1$  and  $L2$ ) في كل مقارنة من الخواص البصرية اعلاه وتم رسمها بيانيا في الشكل (5) للوصول الى العلاقة التي تربط ما بين طول القطب المغناطيسي ( $L1$ ) وطول الذراع الحديدي ( $L2$ ) باستخدام نظام Excel حيث تم الحصول على المعادلة التالية:

$$L2 = 4.0513 \times (10)^{-5}(L1)^5 - 0.0065874(L1)^4 + 0.39452(L1)^3 - 10.605(L1)^2 + 128.54(L1) - 519.17$$

من خلال مقارنة النتائج التي حصلنا عليها عند تطبيقنا للمعادلة أعلاه مع القيم المثلى ( $L1$  and  $L2$ ) وجدنا نسبة تطابق مقبولة عمليا (90%) مع نسبة خطأ تتراوح (10%).



الشكل 5: منحني المعادلة الناتجة للعلاقة التي تربط ( $L1$  and  $L2$ ) في برنامج (Excel)

### النتائج والمناقشة

يقع خيار المصممين عند اختيار العدسة على طول الذراع الحديدي بناءً على دراسات مستفيضة واختيار طول قطب مناسب يحدد الوظيفة المرجوة من العدسة او ما يعرف بالمنظومة البصرية، تم في هذا البحث إيجاد علاقة تقريبية تربط ما بين طول القطب وطول الذراع الحديدي لمحور العدسة المغناطيسية، لغرض إمكانية تطبيق هذه الدراسة في اعتبارات تصميم هذا النوع من العدسات للحصول على أفضل النتائج نظرية قبل الولوج الى التطبيقات العملية، وتوصلنا الى العلاقة التي تربط بين المتغيرين (L1 and L2) كما يلي:

$$L2 = 4.0513 \times (10)^{-5}(L1)^5 - 0.0065874(L1)^4 + 0.39452(L1)^3 - 10.605(L1)^2 + 128.54(L1) - 519.17$$

بذلك يتم التوصل إلى تعزيز تصميم هذا النوع من العدسات.

### الاستنتاجات

في هذه الدراسة وجد ان زيادة طول القطب المغناطيسي يقلل من تسرب المجال المغناطيسي الذي يحصل في المحور البصري ويكون في موقع الملف ضمن ذلك المحور وان تقليل هذا التسرب سيؤدي الى تحسين القيمة العظمى للمجال المغناطيسي الاساسي (ومن ثم تتحسن الخواص البصرية الالكترونية) ووجد ايضا ان هذه الزيادة في طول القطب يجب ان يرافقها زيادة مناسبة ومحسوبة في الذراع الحديد حيث تم وضع علاقة تربط بين تغيير طول القطب المغناطيسي والذراع الحديدي في العدسات اللامتناظرة من نوع سنوركل.

### المصادر

- Abaas, T.M.; Sahi, Q.A. (2017). Design and study of the optical properties of electromagnetic lenses dual-polar analog using the program (EOD). *J. University of Babylon for Pure and Appl. Sci.*, **25**(6), 1991-1997.  
<https://www.journalofbabylon.com/index.php/JUBPAS/article/view/295>
- Abd Alghane, B.F.; Ahmad, A.K. (2021). Design of symmetric magnetic lenses with optimum operational conditions. *Al-Nahrain J. Sci.*, **24**(1), 30-38.
- Al-Abdullah, A.E.; Al-Khashab, M.A. (2006). The magnetization of the single polepiece magnetic electron lens using different coil models. *Raf. J. Sci.*, **17**(3), 37-46.  
<https://doi.org/10.33899/rjs.2006.43400>
- Al-Abdullah, A.E. (1997). The ultimate limits of asymmetrical magnetic electron lens design. M.Sc. Thesis, the University of Mosul, Mosul, Iraq
- Alamir, A.S.A. (2004). On the chromatic aberration of magnetic lenses with a field distribution in the form of an inverse power law ( $B(z) \propto z^{-n}$ ). *Optik*, **115**(5), 227-231.  
<https://doi.org/10.1078/0030-4026-00358>
- Al-Jumayli, F.A. (2010). Design and fabrication of a chroma corrected objective compound lens for low beam energies for scanning electron microscope. Doctoral dissertation, Ph. D. Thesis, University of Mosul, Iraq. 127p.
- Al-Khashab, M.A.; Ahmed, A.A. (2004). Some approaches to the projector lens pole piece geometry and their effect on magnetic flux lines. *Direct, Pure Sci.*, **31**(1), 22-29.  
[https://www.researchgate.net/publication/338653966\\_some\\_approaches\\_to\\_the\\_projector\\_lens\\_polepiece\\_geometry\\_and\\_their\\_effect\\_on\\_magnetic\\_flux\\_lines](https://www.researchgate.net/publication/338653966_some_approaches_to_the_projector_lens_polepiece_geometry_and_their_effect_on_magnetic_flux_lines)
- Al-Khashab, M.A.; Al-Shamma, M.T. (2019). Improvement of the optical performance of the geometrical parameters of snorkel magnetic lens. *Raf. J. Sci.*, **28**(1), 85-97.  
Doi: [10.33899/RJS.2019.159400](https://doi.org/10.33899/RJS.2019.159400)



- Al-Khashab, M.A.; Hujazie, N.S. (2010). Design of the objective magnetic and electrostatic lenses for low beam energies. *Direct, Pure Sci.*, **37**(2). <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.33645.64483>
- Al-Khashab, M.A.; Al-Khalidi, T. (2018). The effect of coils area's ratio and their separated distance on the optical performance of the condenser-objective magnetic lens. *Raf. J. Sci.*, **27**(1), 158-167. Doi: [10.33899/RJS.2018.141108](https://doi.org/10.33899/RJS.2018.141108)
- Al-Khashab, M.A.; Abbas, I.K. (1997). The limits of the electron optical parameters of the asymmetrical double polepiece magnetic objective lenses. *Mu'tah J. Research and Stud.*, **12**(3), 9-34. <https://search.emarefa.net/en/detail/BIM-395116-the-limits-of-the-electron-optical-parameters-of-asymmetrical>
- Al-Khashab, M.A.; Abbas, I.K. (1991). Optimized polepiece shape for asymmetrical single polepiece magnetic electron lenses. Modeling, Simulation, and Control, A. *AMSE Press*, **35**(3), 1-9.
- Al-Obaidi, H.N. (2020). Exploration of the resolving power for a magnetic lens using Glaser field distribution. *Optik*, **202**, 163644. <https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2019.163644>
- Al-Salih, R.Y.J.; Al-Abdulla, A.I.; Alkattan, E.M.A. (2021). Simple program for computing objective optical properties of magnetic lenses. *International J. Computer Appl. Technol.*, **66**(3-4), 254-259. <https://doi.org/10.1504/IJCAT.2021.120450>
- Cleaver, J.R.A.; JRA, C. (1980). "The Choice of Polepiece Shape and Lens Operating mode for Magnetic Objective Lenses with Saturated Polepieces".
- El-Shahat, S.S.; Al Amir, A.S.A.; Hassan, G.S. (2016). Studies on the effect of pole piece shape for the saturated single-pole magnetic lens. *ANGLISTICUM. J. Associat. Institute for English Language and American Stud.*, **3**. <https://www.researchgate.net/publication/273127756>
- Goldstein, J.; Newbury, D.E.; Joy, D.C.; Lyman, C.E.; Echlin, P.; Lifshin, E.; Sawyer, L.C.; Michael, J.R. (2003). "Scanning Electron Microscopy and X-Ray Microanalysis". 3<sup>rd</sup> ed. Kluwer Academic / Plenum Publishers. New York.
- Hawkes, P.W. (2017). "Principles of Electron Optics". Volume 2, Applied Geometrical Optics. 2-Academic Press (2017) Ch 36. 771p. Doi: <https://doi.org/10.1016/C2015-0-06652-7>
- Kadhem, W.J.; Naser, B.A.; Abbas, T.M. (2018). Optimization of asymmetrical magnetic lenses with the aid of EOD program. *International J. Engin. and Technol.*, **7**(4), 3591-3594. Doi: [10.14419/ijet.v7i4.19326](https://doi.org/10.14419/ijet.v7i4.19326)
- Lencová, B.; Zlámál, J. (2008). A new Program for the Design of Electron Microscopes. *Physics Procedia*, **1**(1), 315-324. <https://doi.org/10.1016/j.phpro.2008.07.111>
- Meeker, D. (2010). Finite element method magnetics. *FEMM*, **4**(32), 162. <https://www.femm.info/>
- Mulvey, T. (1984). "Magnetic electron lens II. Electron optical systems". SEM Ins., AMFO' Hare, Chicago, IL 60668-0507, USA, pp. 15-27.
- Mulvey, T.; Yin, H.C. (1988). Technical limits of saturated magnetic objective lens in TEM. *Inst. Phys. Conf. Ser.*, **1**(93), Ch. 1: 109-110.
- Mulvey, T. (1982). "Unconventional Lens Design, Properties of Magnetic Electron Lenses". ed. P.W. Hawkes (Berlin: Springer) pp. 359 – 412.
- Mulvey, T.; Newman, C.D. (1973). New electron optical systems for SEM and STEM scanning electron microscopy". Systems and Applications 1973, ed. W.C. Nixon, *Inst. Phys. Conf. Ser.*, **18**, 16-21.
- Numan, N.H. (2018). Theoretical study of geometrical properties and aberrations in doublet magnet lenses. *J. University of Babylon for Engineering Sci.*, **26**(8), 178-187. <https://www.iasj.net/iasj/download/d6ae052441f8ece7>

- Read, F.H. (1969). Accurate calculations of double-aperture electrostatic immersion lenses. *J. Physics E: Scient. Instrum.*, **2**(2), 165. Doi: 10.1088/0022-3735/2/2/311
- Wenxiong, C. (1988). The effect of the polepiece saturation on the electron optical properties of asymmetrical condenser objective lenses. *Scanning Microsc.*, **2**(3), 1283-1292.
- 

## **The Relationship Between the Lengths of the Pole and the Iron Arm in the Design of the Electronic Magnetic Snorkel Lens**

**Neam A. Samuel      Mohammed Kh. Zeki      Abdullah I. Alabdullah**  
*Department of Physics/ College of Science/ University of Mosul*

### **ABSTRACT**

The dipole region is one of the most important factors in determining the effectiveness of a magnetic lens. The optimum position of the pole and the most important aspect of magnetic electron lenses are the iron covers, which are used to study the concentrations and optical properties of the display devices, where the magnetic field increases smoothly and uniformly at the highest possible value and with only one peak. The main objective of this study is to determine and reach a relationship between the length of the tip of the iron arm relative to the length of the axial magnetic pole ( $Z$ ), where the pole tip was chosen at ( $Z = 0$  mm). In practice, it was observed that the optical properties of the electron lenses showed a significant improvement when the length of the tip of the iron arm and the length of the magnetic pole were changed. The opposite of the coil as it was noted that it is possible to increase its performance by removing or reducing the magnetic flux leakage so that the axial magnetic field will then rise inside the lens in a direction that prevents its loss. The designers' choice is when preparing the lens along the iron arm based on extensive studies and choosing an appropriate length of the pole that determines the desired function of the lens or what is known as the optical system. In this work, a relationship was established between the length of the electrode and the length of the iron arm, and FEMM and MELOP programs were used to verify the performance of the lens, the axial magnetic field as well as the focal optical properties.

**Keywords:** MELOP Program, FEMM Program, Snorkel lens design, Magnetic electron lens.