

THE OBJECTIVE FOCAL PROPERTIES FOR MAGNETIC LENS BY GLASER AND GRIVET – LENZ MODELS WITH DIFFIRENT OPERATION MODES

الخواص البؤرية الشينية للعدسة المغناطيسية باستخدام أنموذجي كلازر وكرفت – لنز عند أنماط تشغيل مختلفة

حسين صالح حسن
جامعة النهرين / كلية الطب / قسم الفلسفة / فرع الفيزياء

// الخلاصة //

درس في هذا البحث الخواص البؤرية الشينية للعدسات الكهرومغناطيسية الثنائية القطب المتناظرة تحت ظروف انعدام التشبع المغناطيسي ، لأنموذجين رياضيين هما كلازر (Glaser) سنرمز له بالرمز (GL) وكرفت – لنز (Grivet-lenz) الذي سنرمز له بالرمز (GR) عند أنماط تشغيل واحدة بالاعتماد على طريقة التصميم العكسي (Inverse Design Method) . بالاستفادة من الأقطاب المعاد بناءها والمقابلة لتوزيعات المجال المغناطيسي المحوري لهذين الأنموذجين تم دراسة الخواص البؤرية الشينية للعدسة ومقارنتها مع بعضها لكلا الأنموذجين كل على انفراد ولجميع أنماط التشغيل: الصفري (Zero Magnification)، اللانهائي (Infinite Magnification)، الواطئ (Law Finite Magnification) والعالي (High Finite Magnification) وسنرمز لهم بالرموز (Z.M.)، (I.M.)، (L.M.)، و (H.M.) على التوالي، لإيجاد أفضل نمط تشغيل تعمل به هذه العدسة وبأفضل خواص بصرية . لقد أثبت البحث بأن تغيير نمط التشغيل لكل أنموذج على انفراد لا يؤثر على الخواص البؤرية للعدسة وكان لأنموذج كرفت – لنز أقل زيغ كروي وزيغ لوني وأعلى تكبير عما في أنموذج كلازر عند نفس القيمة لأعلومة التهيج .

ABSTRACT

In This work involve study the objective focal properties in double pole piece symmetrical magnetic lenses under absence magnetic saturation for two mathematical models Glaser's Bell shape model and Grivet – Lenz model at the same operation modes . By using magnetic pole piece reconstruction produces from axial magnetic flux density distribution for this models (Inverse design method) . Then study the objective focal properties and its comparative together for two models and for all operation modes .

The research proved that change the operation mode doesn't affected at the objective focal properties . The Spherical and Chromatic aberration at Grivet – Lenz model less than it's values in Glaser model , also the high value of magnification was in Grivet– Lenz model .

// المقدمة //

لا توجد منظومة بصرية خالية من الزيوغ مهما بلغت دقة تصميمها أو تصنيعها وهذا ما أثبتته (Scherzer) عام ١٩٣٦ باستحالة تصحيح كلا الزيغين الكروي واللوني ولذلك ظهرت ما تسمى بالأمتلية التي تهدف إلى تقليل الزيوغ وذلك بواسطة تحديد الأشكال الهندسية للأقطاب الكهربائية والمغناطيسية .⁽¹⁾ هناك طريقتان مختلفتان للأمتلية هي طريقة التحليل (Analysis method) وطريقة التوليف (Synthesis method) وتسمى أحيانا بطريقة التصميم العكسي (Inverse design method) وهي الطريقة المستعملة في بحثنا الحالي .^(1,2,3,4) في هذا البحث تم استخدام طريقة التوليف بتحديد الجهد (Synthesis by Potential Assigning) باستعمال برنامج مكتوب بلغة فورتران-90 من قبل (Al-Obaidi)⁽⁵⁾ لحساب توزيعات كثافة الفيض المغناطيسي المحوري (B_z) وشكل الأقطاب الناتجة لأنموذجي كلازر وكرفت – لنز . ويستعمل برنامج (M21)⁽⁶⁾ لحساب الخواص البؤرية الشينية : البعد البؤري الشيني (Objective Focal Length) F_o ، الزيغ الكروي C_s (Spherical aberration) والزيغ اللوني C_c (Chromatic aberration) لجميع أنماط التشغيل ولكل من أنموذج كلازر أناقوسي الشكل ويعطى بالمعادلة الآتية :⁽⁷⁾

$$B_z = \frac{B_m}{1 + \left(\frac{z}{a}\right)^2} \dots\dots\dots [1]$$

وأنموذج كرفت- لنز (Grivet-Lenz) ويعطى بالمعادلة الآتية:

$$B_z = \frac{B_m}{\cosh \left(1.317 \left(\frac{z}{a}\right) \right)} \dots\dots\dots [2]$$

حيث B_z هي كثافة الفيض المغناطيسي المحوري بوحدات (tesla) ، B_m هي القيمة العظمى لكثافة الفيض المغناطيسي بوحدات (tesla) ، Z هو البعد المحوري (أو طول العدسة) بوحدات (mm) ، و a هو نصف عرض النصف ويساوي ($a=W/2$) بوحدات (mm) .

(٢) الجزء النظري :

إن نتائج تطبيق برنامج (AI-Obaidi,1995) هي قيم المجال المغناطيسي المحوري (B_z) وتم استعمالها (إدخالها) في برنامج (M21) لكل قيمة تهيج (NI) للعدسة لغرض حساب الخواص البؤرية الشبئية للعدسات الثنائية القطب المتناظرة والنتائج من البرنامج يعطي الخواص الآتية : معامل الزيغ الكروي (C_s) ، معامل الزيغ اللوني (C_c) ، البعد البؤري الشبئي (F_o) ، المستوي الأساسي الشبئي (Z_p) ، مستوي الجسم (Z_o) (أو نقطة قطع الحزمة الإلكترونية لمحور Z عند $Z=0.0$) وقيمة المجال المغناطيسي المحوري (B_z) عند كل نقطة تقطع فيها الحزمة الإلكترونية المحور البصري للعدسة وجميعها كدالة لأعلومة التهيج $NI/\sqrt{V_r}$ ، حيث أن (V_r) هي فولتية التعجيل المصححة نسبياً⁽⁸⁾.

تستند طريقة التحليل إلى مبدأ المحاولة والخطأ حيث يضع المصمم مجموعة معينة من الأقطاب مع الملفات أو الملفات لوحدها كعدسة خالية من الحديد ثم يحاول أن يحسن أدائها عن طريق تحليل الخصائص البصرية مع تغيير المعلمات الهندسية للمنظومة مثل عرض الفجوة الهوائية ، قطر الفتحة المحورية للقطب ، والأبعاد الهندسية للأقطاب والملفات بالإضافة إلى تغيير المعلمات الفيزيائية للمنظومة مثل تهيج العدسة (NI) أو فولتية التعجيل (V) ، ... إلى أن يتم الحصول على تصميم أمثل للعدسة ، ونظراً للعدد اللانهائي من الأشكال الممكنة فإنه تعتبر هذه الطريقة بطيئة ومملة إلا أنها يمكن أن تعطي نتائج سريعة وموثوق بها إذا ما توفر تخمين معقول للتصميم قبل بدء العمل لذلك تعتبر طريقة التحليل طريقة كلاسيكية في تصميم العدسات الإلكترونية^(1,2,3).
أما طريقة التوليف فتدعى أحياناً بطريقة التصميم العكسي وتستند على حقيقة إن خواص الرتبة الأولى وزيوغ الرتبة الثالثة للعدسات ولأي منظومة بصرية تتحدد كلياً باستخدام بعض الدوال المحورية والتي تسمى بالدوال الشبئية⁽¹⁾ أو دوال الهدف مثل توزيعات كثافة الفيض المغناطيسي المحوري والجهد المغناطيسي العددي المحوري . إن هذه التوزيعات (المجال والجهد) ومشتقاتها تظهر في معادلة الشعاع المحوري وفي الصيغ الرياضية لمعاملات الزيوغ للعدسة الإلكترونية وبدلاً من إجراء التحليل لعدد كبير من أشكال الأقطاب المختلفة كما هو الحال في طريقة التحليل بهدف الوصول إلى التصميم الأمثل للعدسة فإنه يمكن للمصمم بطريقة التوليف أن يضع معياراً تعرف فيه المنظومة البصرية كشرط أولي ومن ثم يتم إيجاد توزيع مجال التصوير الذي يحقق هذا المعيار . أما المرحلة الأخيرة فهي إيجاد شكل القطب الحقيقي الذي يولد هذا المجال^(1,3).

(٣) النتائج والمناقشة:

في هذا البحث تم تثبيت متغيرات الأمثلية (نصف عرض النصف $a = 1$ mm) ، (القيمة العظمى لكثافة الفيض المغناطيسي $B_m = 1$ T) و (طول العدسة $Z = \pm 50$ mm) التي تظهر في دالتي كلازر وكرفت – لنز ، كما تم أخذ أعلومة تهيج العدسة ($NI/\sqrt{V_r} = 20$) . كان السبب في اختيار القيم أعلاه: ١- بالنسبة لاختيار القيمة ($B_m = 1$ T) وعدم أخذ قيمة أكبر من ذلك كان تجنباً لوصول العدسة إلى حالة الإشباع المغناطيسي لان البحث يدرس الخواص البؤرية الشبئية للعدسات الكهرومغناطيسية الثنائية القطب المتناظرة تحت ظروف انعدام التشبع المغناطيسي ، ٢- واختيار قيمة ($a = 1$ mm) فنحن نعلم بان زيادة عرض النصف يعني خواص غير جيدة للعدسة بقيم زيغ عالية وكلما كان عرض نصف المجال المغناطيسي (W) أو نصف عرض النصف (a) أقل كلما كانت خواص العدسة أفضل وزيوغها أقل و ٣- بالنسبة لاختيار القيمة ($NI/\sqrt{V_r} = 20$) فإن العدسة الشبئية تعمل بأفضل خواص عند هذه القيمة لأعلومة التهيج .

يوضح الشكل (1) توزيع كثافة الفيض المغناطيسي المحوري (B_z) لأنموذجي كلازر وكرفت - لنز عندما تكون القيمة العظمى لكثافة الفيض المغناطيسي ونصف عرض النصف ثابتين ($B_m=1\text{ T}$ و $a=1\text{ mm}$) على التوالي . يلاحظ من الشكل أن المساحة تحت المنحني لأنموذج كلازر اكبر من المساحة تحت المنحني لأنموذج كرفت- لنز، أي أن قيمة إثارة العدسة في أنموذج كلازر تساوي ($NI=2468.173\text{ A.t}$) وهي اكبر من قيمة إثارة العدسة لأنموذج كرفت-لنز التي تساوي ($NI=1898.253\text{ A.t}$) عند أعلومة التهيج ($NI/\text{SQRT}(V_r)=20$) ونتيجة لذلك فإن خطوط الفيض المغناطيسي التي تخترق الدائرة المغناطيسية والفجوة الهوائية لأنموذج كلازر تكون أكثر منها لأنموذج كرفت- لنز.

إن السبب في استخدام هذين الأنموذجين هو الشبه الكبير بين توزيع المجال المغناطيسي المحوري للعدسات المغناطيسية الثنائية القطب المتناظرة ومنحني هذين الأنموذجين ، إذ يمتاز توزيع المجال المغناطيسي لأنموذج كلازر ببطء انحداره وامتداده للمالانهاية بينما يكون أنموذج كرفت- لنز شديد الانحدار ويصل إلى الصفر عند مسافة محددة على المحور البصري ، وهذا ما لاحظناه عمليا في الشكل (1) وكذلك احتواء البنية الرياضية لهذين الأنموذجين على متغيرات أمثلية من ضمن المعلمات الهندسية والفيزيائية الضرورية والأساسية للعدسة⁽⁹⁾.

ويوضح الشكل (2) توزيع الجهد العددي المغناطيسي المحوري (V_z) المقابل لتوزيع المجال المغناطيسي المحوري (B_z) عندما تكون القيمة العظمى لكثافة الفيض المغناطيسي ونصف عرض النصف ثابتين ($B_m=1\text{ T}$ و $a=1\text{ mm}$) على التوالي . وعند أعلومة التهيج ($NI/\text{SQRT}(V_r)=20$) لأنموذجي كلازر وكرفت - لنز. من المعروف انه كلما ازداد عرض النصف قلت قوة كسر المجال المغناطيسي للحزمة الالكترونية وذلك لان زيادة عرض النصف تعني زيادة إثارة العدسة (NI) ونتيجة لذلك فإن الحزمة الالكترونية تحتاج إلى جهد معجل اكبر لكي تخترق توزيع المجال المغناطيسي الذي له عرض نصف كبير⁽⁹⁾.

يوضح الشكل (3) أشكال الأقطاب لأنموذجي كلازر وكرفت - لنز عندما تكون القيمة العظمى لكثافة الفيض المغناطيسي ونصف عرض النصف ثابتين ($B_m=1\text{ T}$ و $a=1\text{ mm}$) على التوالي. حيث نلاحظ إن فتحة القطب لأنموذج كلازر تمتد لمسافة (1 mm) على المحور البصري ، بينما تمتد لمسافة (12 mm) لأنموذج كرفت - لنز ، وكذلك نصف عرض الفجوة الهوائية في أنموذج كلازر يساوي (1 mm) وهو اكبر منها في أنموذج كرفت - لنز الذي يساوي (0.5 mm) ، بينما يكون نصف قطر الفتحة المحورية للقطب في أنموذج كلازر يساوي (2 mm) وهو اكبر منه في أنموذج كرفت - لنز الذي يساوي تقريبا (1 mm) . ومن الشكل (3) نلاحظ أيضا إن مجال الرؤية للعدسات (Field of view: الذي يعرف بأنه اكبر مساحة من الجسم يمكن رؤيتها على الشاشة) هي أكبر لأنموذج كرفت - لنز منها لأنموذج كلازر ، علما بان مجال الرؤية لا يتأثر بحجم العدسة أو عمل كثافة الفيض المغناطيسي بل يتحدد بسعة الفتحة المحورية لقطب العدسة لذلك يكون صاحب الفتحة المحورية الأصغر هو الأكبر في مجال الرؤية⁽¹⁰⁾.

كما يوضح الشكل (4 - a , b) مسار الحزمة الالكترونية داخل المجال المغناطيسي أي داخل العدسة لأنموذجي (a) كلازر و (b) كرفت - لنز ولجميع أنماط التشغيل ، ومنه نلاحظ أن لكل توزيع مجال مغناطيسي لأنموذجين هناك مسار للحزمة الالكترونية وهذا يعني أن الخواص البصرية لمساري الأنموذجين مختلفين⁽⁹⁾ . ويلاحظ من الشكل (4-a) لأنموذج كلازر إن مسارات الحزمة الالكترونية (التي ارتفاعها عن المحور $R=\pm 1\text{ mm}$) داخل المجال المغناطيسي تقطع المحور عند ($Z=+1\text{ mm}$) لكل من التكبيرين الصفري ($Z.M$) والعالي ($H.M$) بينما تقطع المسارات المحور عند ($Z=-1\text{ mm}$) لكل من التكبيرين اللانهائي ($I.M$) والواطي ($L.M$) . ونلاحظ من الشكل (4-b) لأنموذج كرفت - لنز بأن مسارات الحزمة الالكترونية (التي ارتفاعها عن المحور $R=\pm 1\text{ mm}$) داخل المجال المغناطيسي تقطع المحور عند ($Z=+0.3\text{ mm}$) تقريبا لكل من التكبيرين الصفري ($Z.M$) والعالي ($H.M$) بينما تقطع المسارات المحور عند ($Z=-0.3\text{ mm}$) تقريبا لكل من التكبيرين اللانهائي ($I.M$) والواطي ($L.M$) . وبذلك نستنتج بان قوة كسر العدسة (أو المجال) للحزمة الالكترونية سيكون أكبر في أنموذج كرفت - لنز عنه في أنموذج كلازر استنادا إلى موقع تقاطع مسار الحزمة الالكترونية مع المحور (أي حسب قيمة Z) .

في نمط التشغيل الصفري ($Z.M$) تتناقص قيم الخواص البصرية (F_o, C_s, C_c) أسيا مع $NI/\text{SQRT}(V_r)$ لكل من أنموذجي كلازر (GL) وكرفت - لنز (GR) ويكون هناك فرق واضح بين القيم لأنموذجين عند $NI/\text{SQRT}(V_r) < 10$ وتكون القيم في أنموذج كرفت - لنز أقل منها في أنموذج كلازر عند نفس القيمة لاعلومة التهيج $NI/\text{SQRT}(V_r)$ ، بينما تقترب القيم من بعضها البعض تدريجيا إلى حد كبير لكلا الأنموذجين عند قيم $NI/\text{SQRT}(V_r) > 10$ وهذا ما يوضحه الشكل (5 - a,b,c) . ويمكن الوصول إلى نفس النتيجة أعلاه لنمط التشغيل اللانهائي ($I.M$) وهذا واضح في الشكل (6 - a,b,c) ، كما إن النتيجة أعلاه تنطبق على نمطي التشغيل العالي ($H.M$) (كما في الشكل (7 - b,c) والواطي ($L.M$) (كما في الشكل (8 - b,c) في الزيج الكروي (C_s) والزيغ اللوني (C_c) .

لعدم تطابق قيم البعد البؤري في نمطي التشغيل النهائي العالي والواطي في كلا الأنموذجين لذلك لم يتم رسمها كدالة لأعلومة التهيج (لأنها ليست هدف من أهداف البحث) وإنما تم إيجاد قيم التكبير لكل أنموذج ثم تمت مقارنة التكبير بين الأنموذجين في نمط التشغيل الواطي الموضح في الشكل (7 - a) وجد أن قيم التكبير عند أنموذج كلازر اكبر منها لأنموذج كرفت - لنز عند نفس القيمة لاعلومة التهيج $NI/\text{SQRT}(V_r)$ وان قيم التكبير تقترب من بعضها البعض للأنموذجين لقيم أعلومة تهيج $NI/\text{SQRT}(V_r) > 10$. وعند مقارنة التكبير الحاصل في نمط التشغيل العالي بين الأنموذجين كما في الشكل (8 - a) وجد انه لا تقترب قيم التكبير من بعضها البعض إلا عند قيم أعلومة تهيج $NI/\text{SQRT}(V_r) > 20$. حيث إن قيم التكبير لأنموذج كرفت - لنز اكبر منها لأنموذج كلازر عند نفس القيمة لأعلومة التهيج $NI/\text{SQRT}(V_r)$.

استنادا إلى الشكل (9 - a) لأنموذج كلازر فان البعد البؤري الشبئي (F_o) متطابق تماما لنمطي التشغيل الصفري واللانهائي . كذلك فان البعد البؤري الشبئي (F_o) متطابق تماما لأنموذج كرفت - لنز حسب الشكل (9 - b) . ولان التكبير يعتمد على البعد

البؤري لذلك فإن التكبير لا يحدث في نمطي التشغيل الصفري واللانهائي (العلاقة عكسية بين البعد البؤري والتكبير) ، بينما يحدث التكبير في نمطي التشغيل الواطئ والعالي في كلا الأنموذجين . لذلك لم يتم رسم علاقة التكبير في هذه الحالة .
 وعند مقارنة الزيغ الكروي (C_s) والزيغ اللوني (C_c) لشروط التكبير المختلفة لأنموذجي كلازر وكرفت – لنز كما في الأشكال ($10 - a, b$) و ($11 - a, b$) وجد أن هناك تطابقاً لنمطي التشغيل الصفري واللانهائي مع بعضهما من جهة وتطابقاً لنمطي التشغيل العالي والواطئ مع بعضهما من جهة أخرى . بحيث يظهر منحنيين في مناطق الاختلاف من أصل أربعة منحنيات (لأنماط التشغيل الأربعة) وهذا الاختلاف لقيم $NI/SQRT(V_r) < 5$ ولكن لقيم $NI/SQRT(V_r) > 5$ يكون هناك تطابق كبير جداً للأربعة أنماط ، وتكون قيم الزيغ الكروي (C_s) والزيغ اللوني (C_c) في النمطين العالي والواطئ أكبر منها للصفري واللانهائي عند نفس القيمة لأعلومة التهيج $NI/SQRT(V_r)$ لكلا الأنموذجين .
 عند مقارنة التكبير الحاصل لنمطي التشغيل الواطئ والعالي لأنموذج كلازر كما في الشكل ($12 - a$) وجد إن التكبير في نمط التشغيل العالي أكبر بكثير من التكبير في نمط التشغيل الواطئ ويزداد الفرق بينهما أكثر في أنموذج كرفت – لنز كما في الشكل ($12 - b$) ويحدث ذلك بسبب قلة البعد البؤري في نمط التشغيل العالي عنه في نمط التشغيل الواطئ والذي يتناسب عكسياً مع التكبير .

(٤) الاستنتاجات:

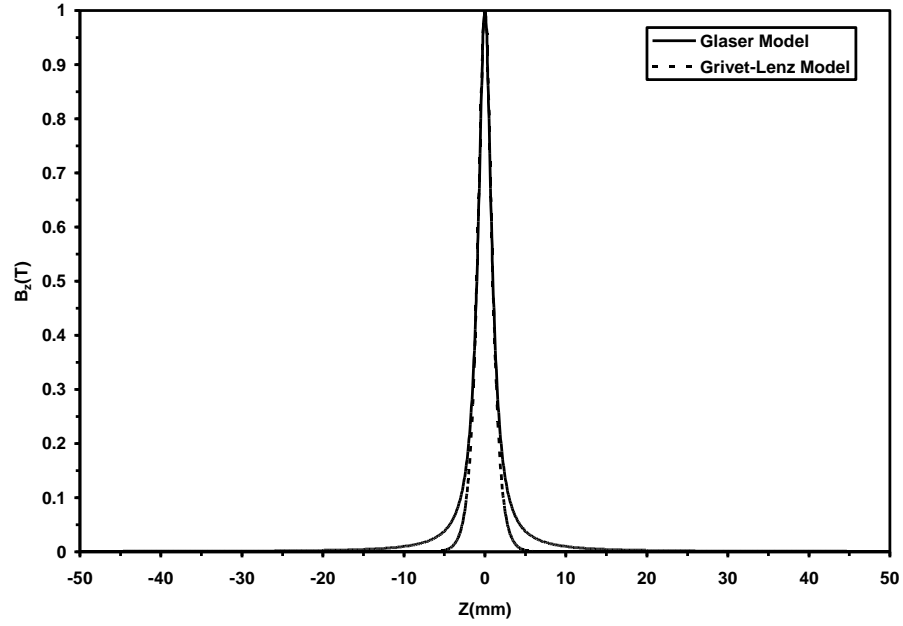
من خلال هذا البحث استنتج الآتي :

- ١- إن الخواص البؤرية الشبيهة بمتشابهة لجميع أنماط التشغيل لأنموذج الواحد .
- ٢- إن العدسة لها خواص بؤرية شبيهة بأقل زيغ كروي وزيغ لوني لأنموذج كرفت – لنز عنها لأنموذج كلازر بشكل ملحوظ عند نفس القيمة لأعلومة التهيج $NI/SQRT(V_r)$.
- ٣- إن العدسة لها خواص بؤرية شبيهة بأقل زيغ كروي وزيغ لوني بمقدار ملحوظ عند تشغيل العدسة بنمط التشغيل الصفري واللانهائي عنها للتشغيل العالي والواطئ عند قيمة أعلومة تهيج $NI/SQRT(V_r) < 5$.
- ٤- إن قوة كسر العدسة (أو المجال) للحزمة الالكترونية سيكون أكبر في أنموذج كرفت – لنز عنه في أنموذج كلازر استناداً إلى موقع تقاطع مسار الحزمة الالكترونية مع المحور ، فكلما كان الموقع قريب من مركز العدسة أو المجال (أي ضمن منطقة فعل العدسة) كلما كانت قوة كسر العدسة أكبر وبالعكس .
- ٥- لا يوجد تكبير في نمط التشغيل الصفري واللانهائي ، لأن البعد البؤري كبير جداً وبما إن التكبير يتناسب عكسياً مع البعد البؤري لذلك يكون التكبير صغير جداً أو صفر . بينما يوجد تكبير في نمطي التشغيل العالي والواطئ ، حيث يكون التكبير في نمط التشغيل الواطئ اصغر من التكبير في نمط التشغيل العالي عند نفس القيمة لأعلومة التهيج $NI/SQRT(V_r)$ لأن البعد البؤري في نمط التشغيل الواطئ أكبر من البعد البؤري في نمط التشغيل العالي ، كما إن التكبير عند أنموذج كرفت – لنز أكبر منها عند أنموذج كلازر .
- ٦- إن مجال الرؤية لا يتأثر بحجم العدسة أو عمل كثافة الفيض المغناطيسي بل يتحدد بسعة الفتحة المحورية للعدسة لذلك يكون صاحب الفتحة المحورية الأصغر هو الأكبر في مجال الرؤية ، أي هنا يكون أنموذج كرفت – لنز هو أكبر مجال رؤية من أنموذج كلازر .

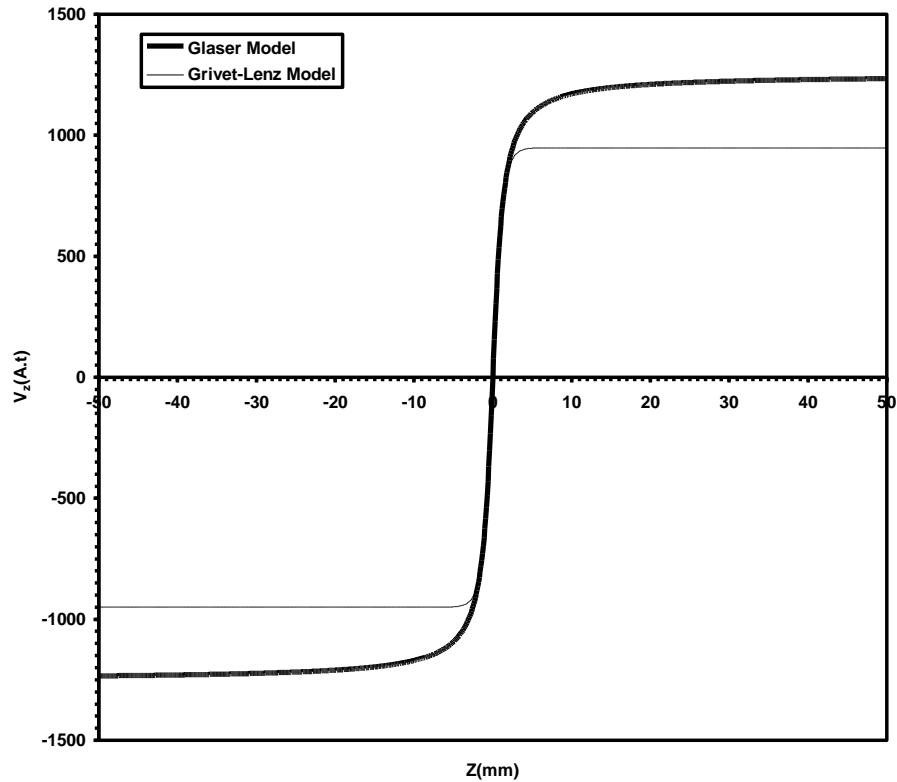
References/

(٥) المصادر/

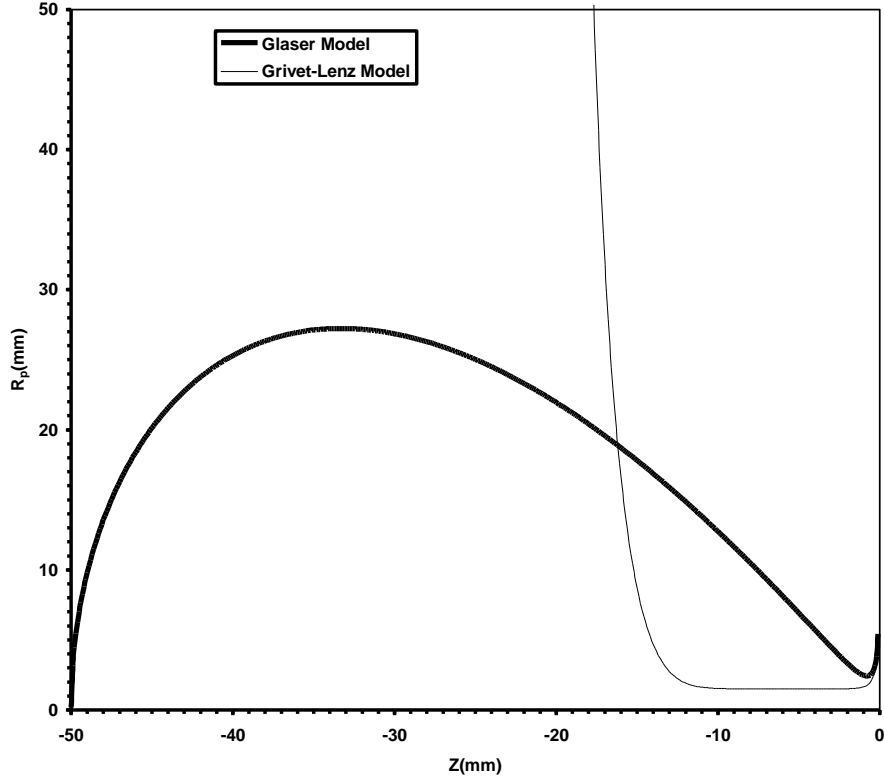
1. Szilagy, M., (1988) "Electron and Ion optics", Plenum Press: New York.
2. Szilagy, M., (1991) "Synthesis of Electron and Ion optical Columns", J.Vac.Sci.Tech.No.1, B1,(PP.2618-2621).
3. Plies, E. (1994), "Advances in Optical and Electron Microscopy", vol. 13, (Academic Press).
4. الشافعي، طالب محسن عباس، (2007)، " دراسة حاسوبية في تصميم عدسات المجهر الالكتروني النفاذ " ، أطروحة دكتوراه / كلية التربية/ الجامعة المستنصرية .
5. Al-Obaidi, H. N., (1995), "Determination of the Design of Magnetic Electron Lenses Operated Under Reassigned Magnification Conditions ", Ph.D. Thesis, University of Baghdad, Baghdad, Iraq.
6. Munro, E. (1975), " A Set of Computer Programs for Calculating the Properties of Electron Lenses". , University of Cambridge, Department of Engineering Report CUED/ B.Ele.TR45 .
7. Hawkes, P. W., (1972), "Electron Optics and Electron Microscopy", (Taylor and Francis Ltd., London).
8. Marai, F.Z. (1977)," Electron-Optical Properties of Single Pole Magnetic Electron Lenses ".Ph.D. Thesis, University of Aston in Birmingham, England, UK.
9. البطاط ، على هادي ، (1996) ، " التصميم العكسي للعدسات المغناطيسية باستخدام مجال مغناطيسي محدد " ، أطروحة ماجستير/ كلية التربية/ الجامعة المستنصرية .



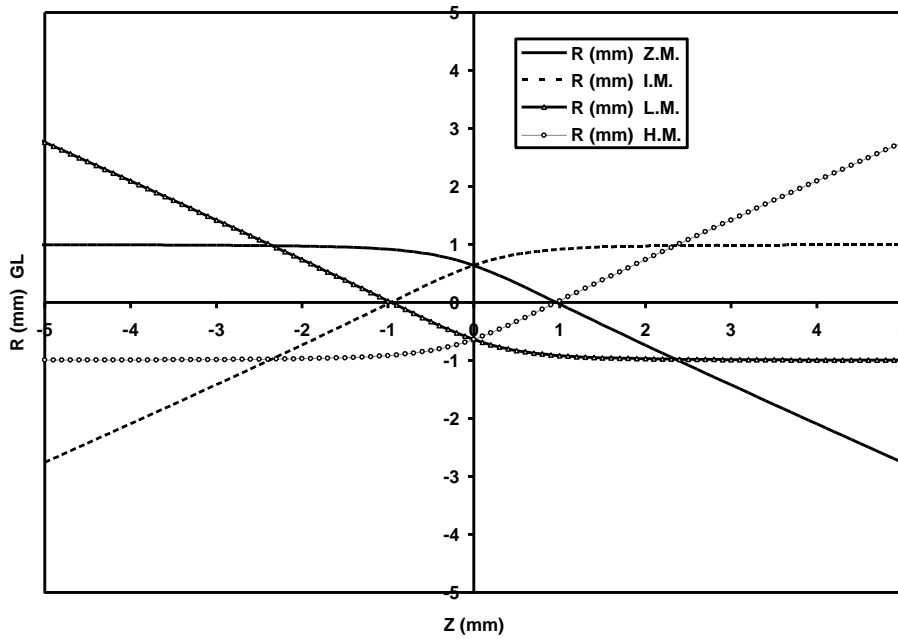
شكل (1) توزيع كثافة الفيض المغناطيسي المحوري (B_z) لأنموذج كلازر وكرفت- لنز عند $B_m=1T$ و $a=1mm$



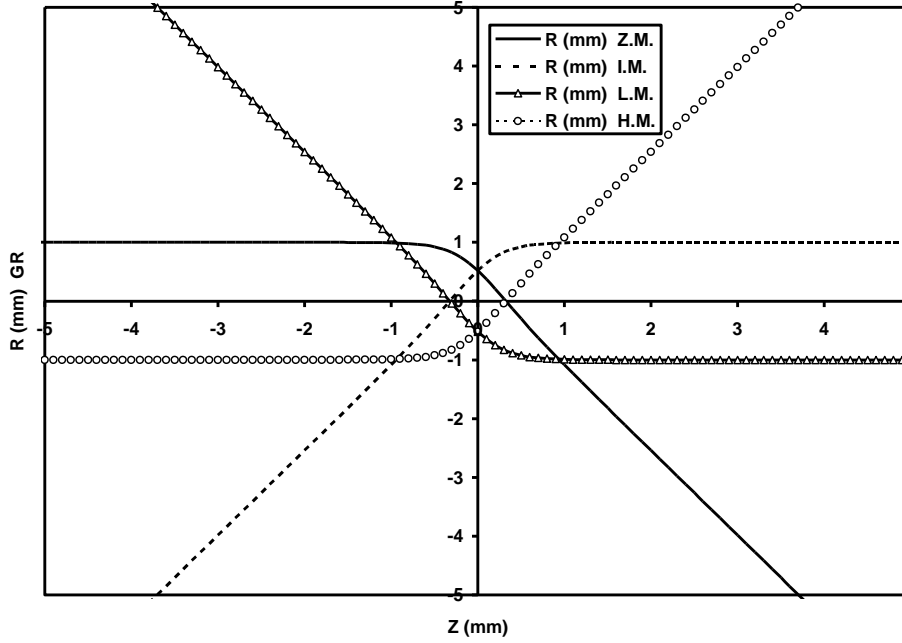
شكل (2) توزيع الجهد العددي المغناطيسي المحوري (V_z) لأنموذج كلازر وكرفت - لنز عند $B_m=0.1T$ و $a=1mm$



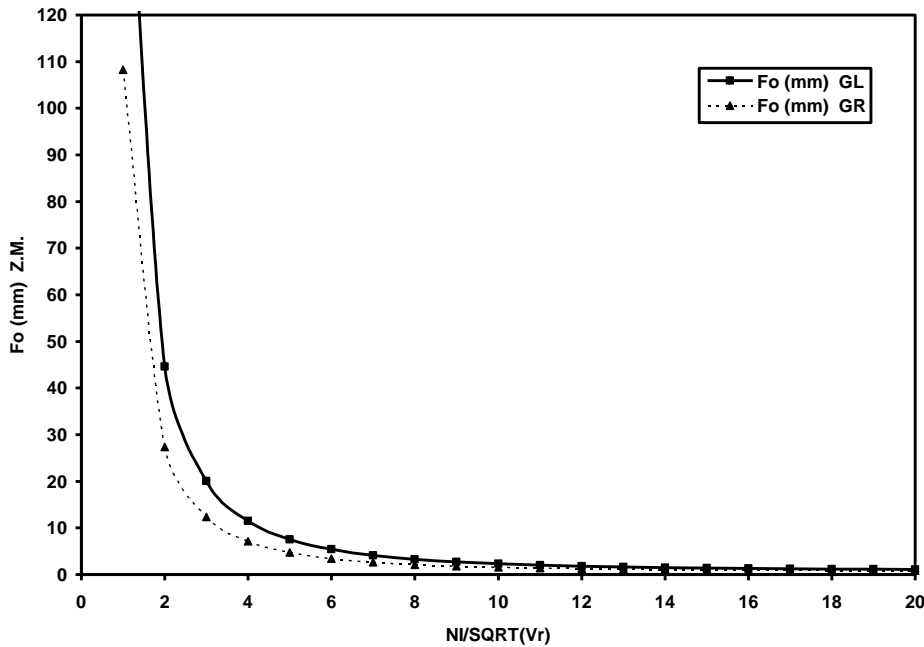
شكل (3) شكل الأقطاب لأنموذج كلازر وكرفت - لنز عند ($B_m=1T$ و $a=1mm$)



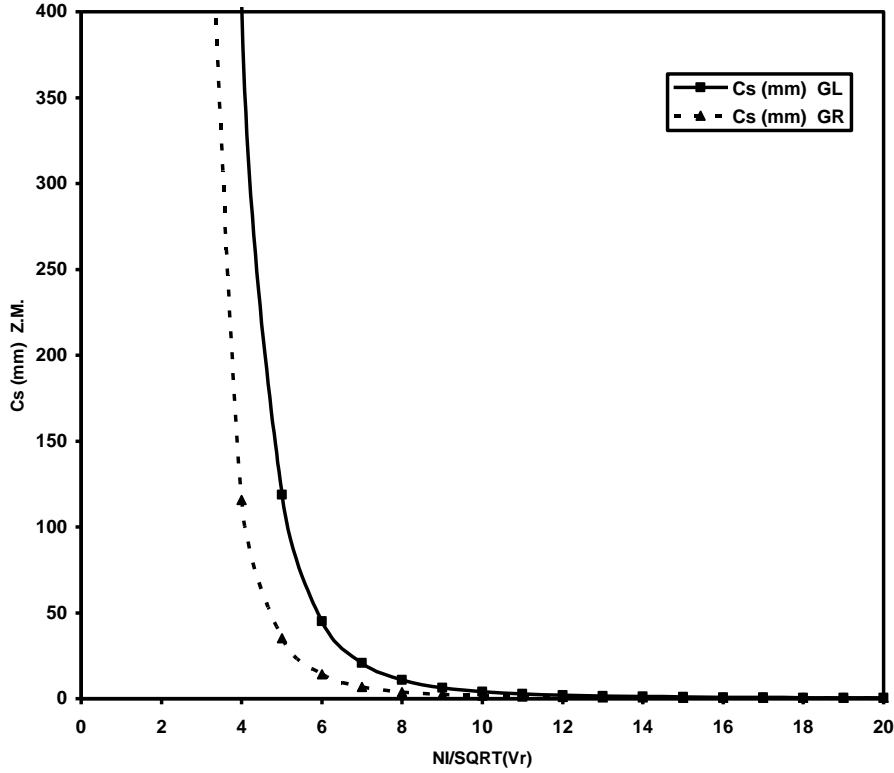
شكل (4 - a) مسار الحزمة الالكترونية داخل المجال المغناطيسي لأنموذج كلازر عند ($B_m=1T$ و $a=1mm$)



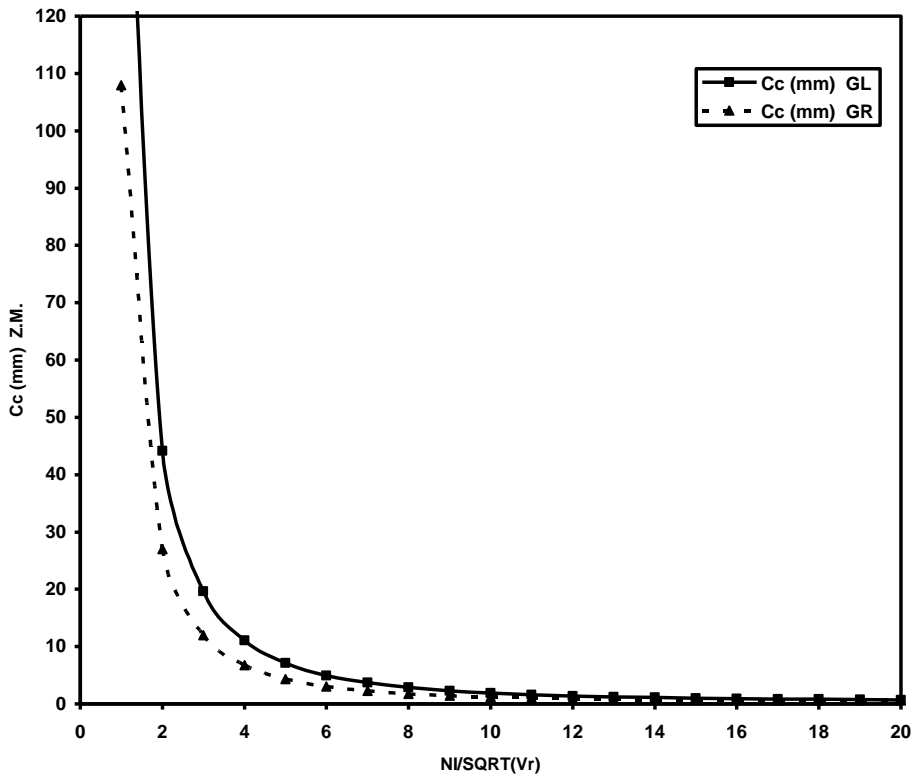
شكل (4 – b) مسار الحزمة الالكترونية داخل المجال المغناطيسي لأنموذج كرفت - لنز عند ($B_m=1T$ و $a=1mm$)



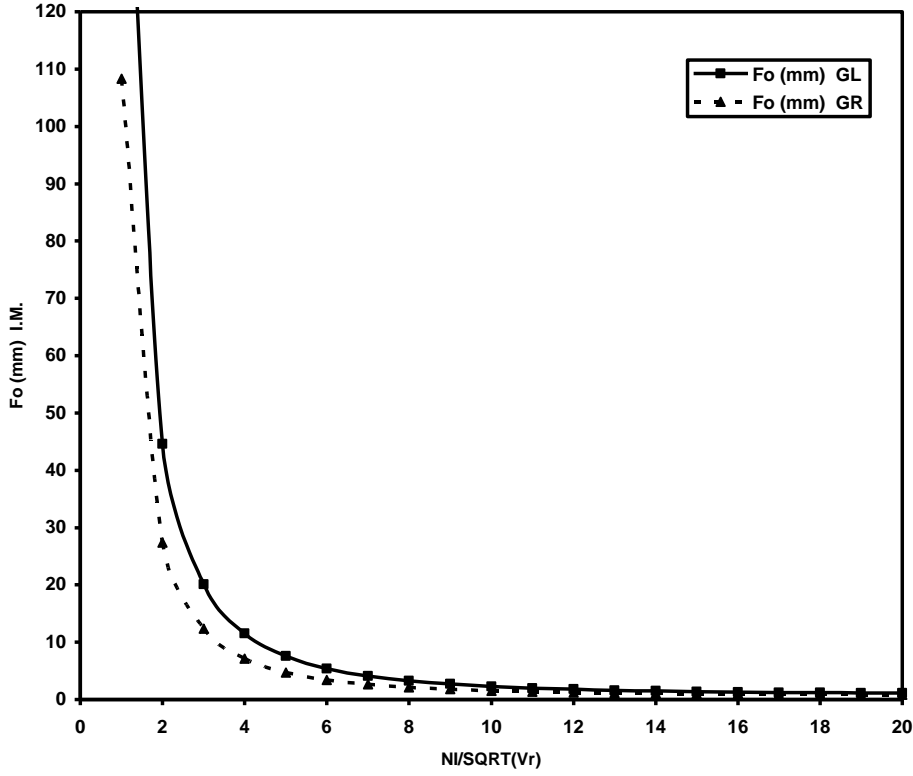
شكل (5 – a) البعد البؤري الشيني (F_o) لأنموذجي كلازر وكرفت - لنز كدالة لأعلومة التهيج عند نمط التشغيل الصفري



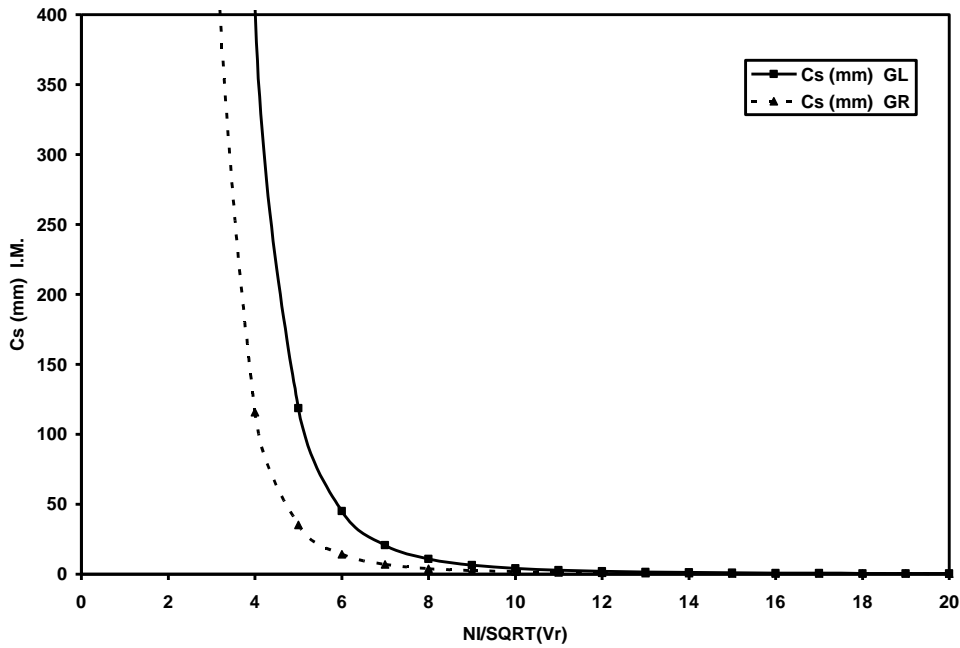
شكل (b - 5) الزيغ الكروي (C_s) لأنموذجي كلازر وكرفت - لنز كدالة لأعلومة التهيج عند نمط التشغيل الصفري



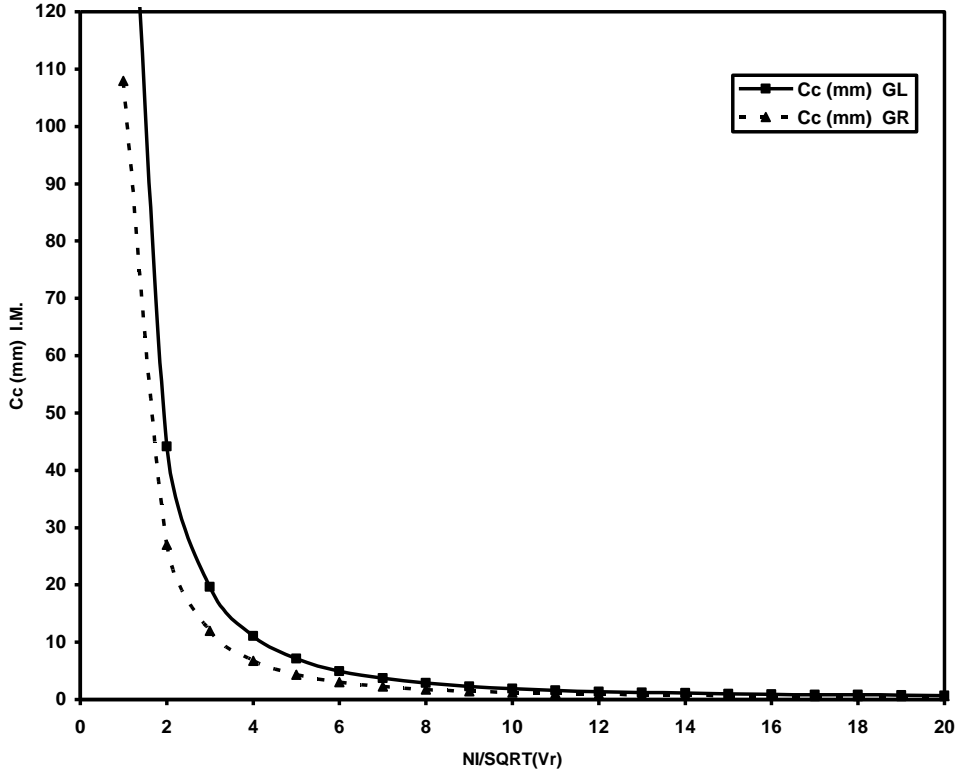
شكل (c - 5) الزيغ اللوني (C_c) لأنموذجي كلازر وكرفت - لنز كدالة لأعلومة التهيج عند نمط التشغيل الصفري



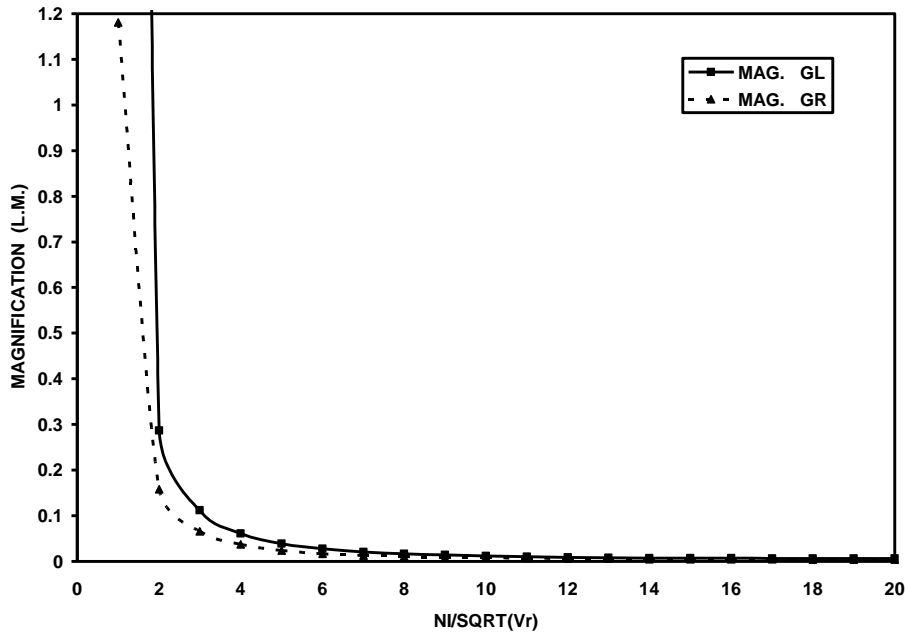
شكل (a - 6) البعد البؤري الشيني (F_o) لأنموذجي كلازر وكرفت - لنز كدالة لأعلومة التهيج عند نمط التشغيل اللانهائي



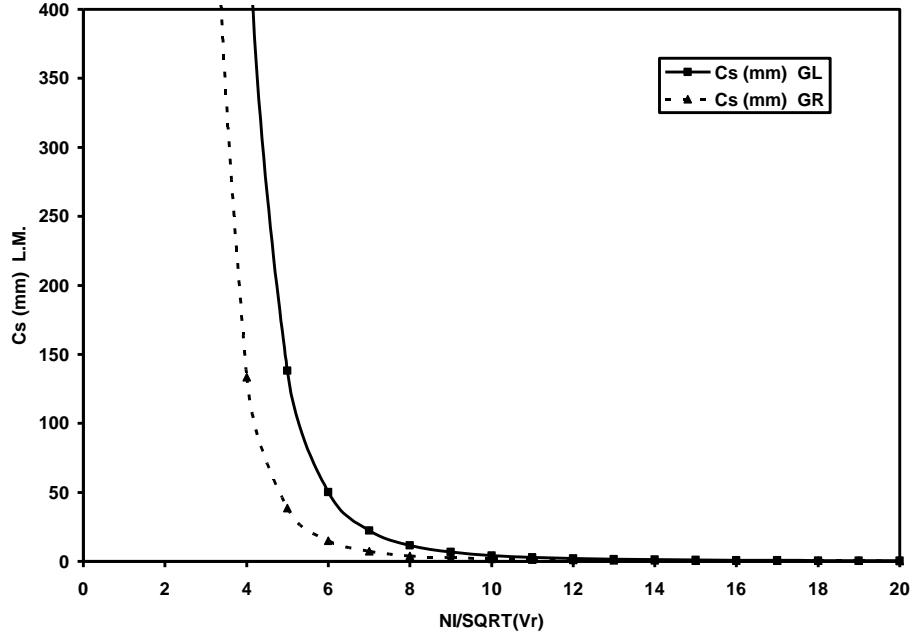
شكل (b - 6) الزيغ الكروي (C_s) لأنموذجي كلازر وكرفت - لنز كدالة لأعلومة التهيج عند نمط التشغيل اللانهائي



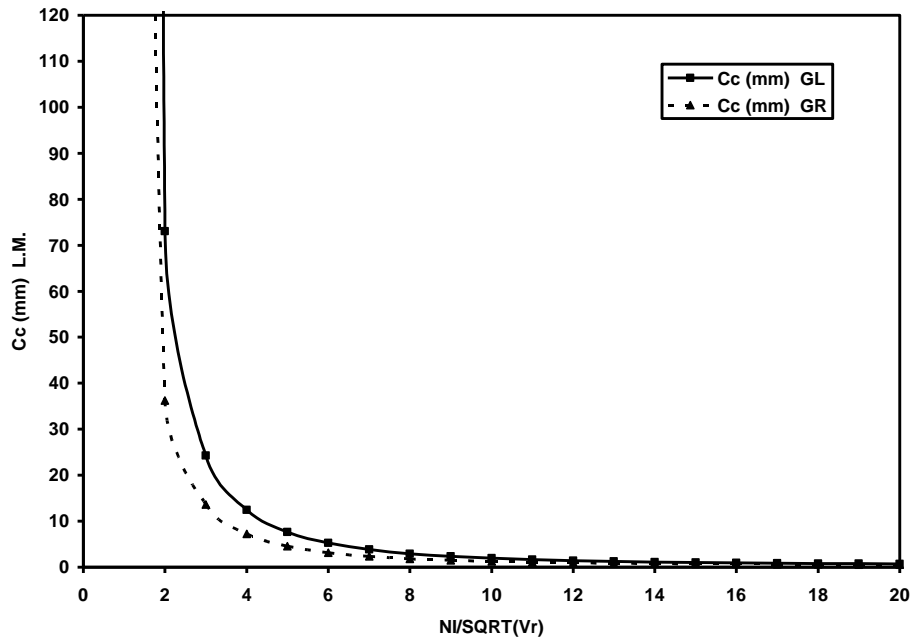
شكل (c - 6) الزيغ اللوني (C_c) لأنموذجي كلازر وكرفت - لنز كدالة لأعلومة التهيج عند نمط التشغيل اللانهائي



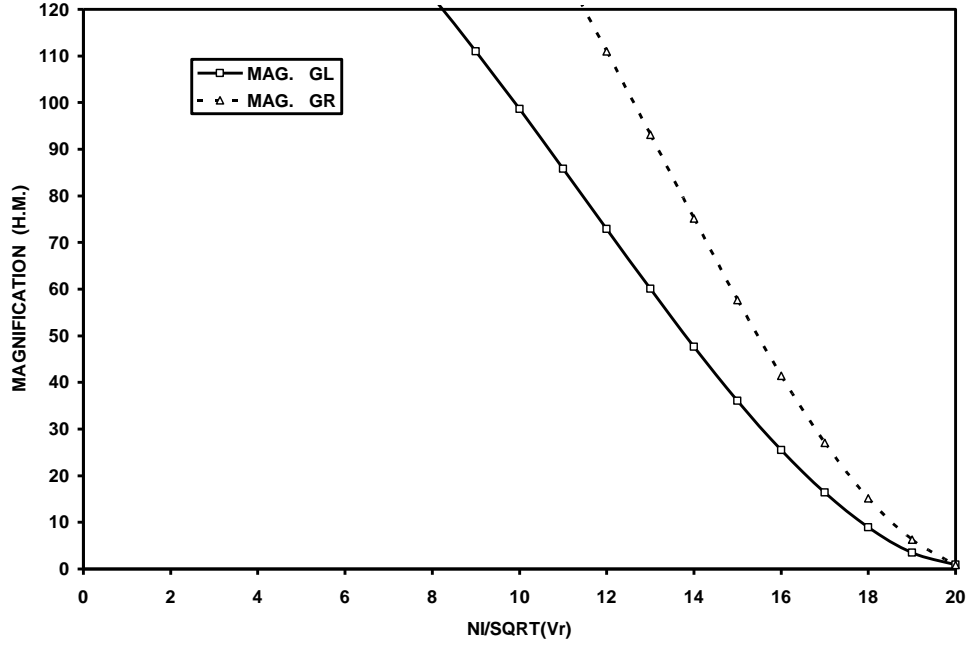
شكل (a - 7) مقارنة التكبير الحاصل في أنموذجي كلازر وكرفت - لنز كدالة لأعلومة التهيج عند نمط التشغيل الواطئ



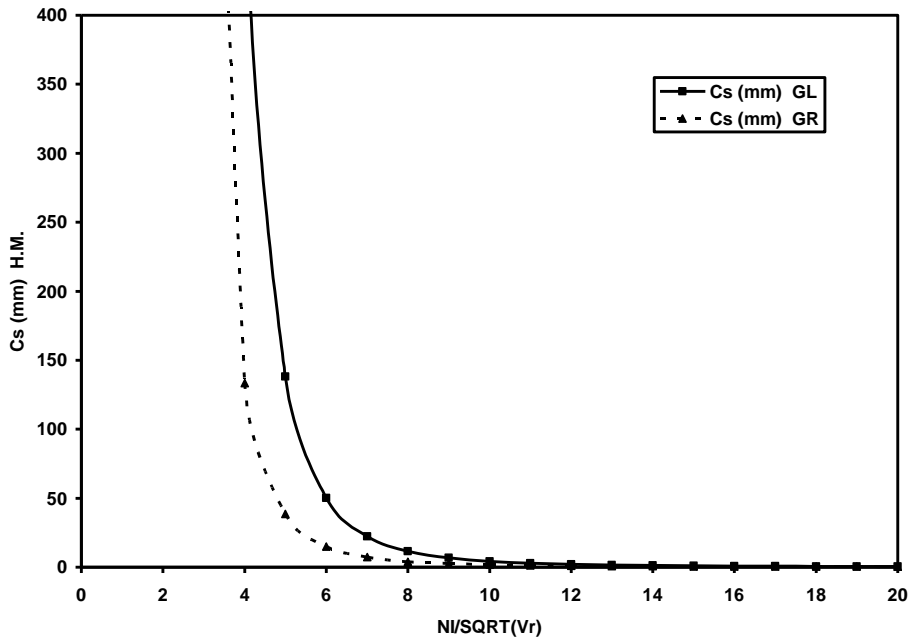
شكل (b - 7) الزيغ الكروي (C_s) لأنموذجي كلازر وكرفت – لنز كدالة لأعلومة التهيج عند نمط التشغيل الواطئ



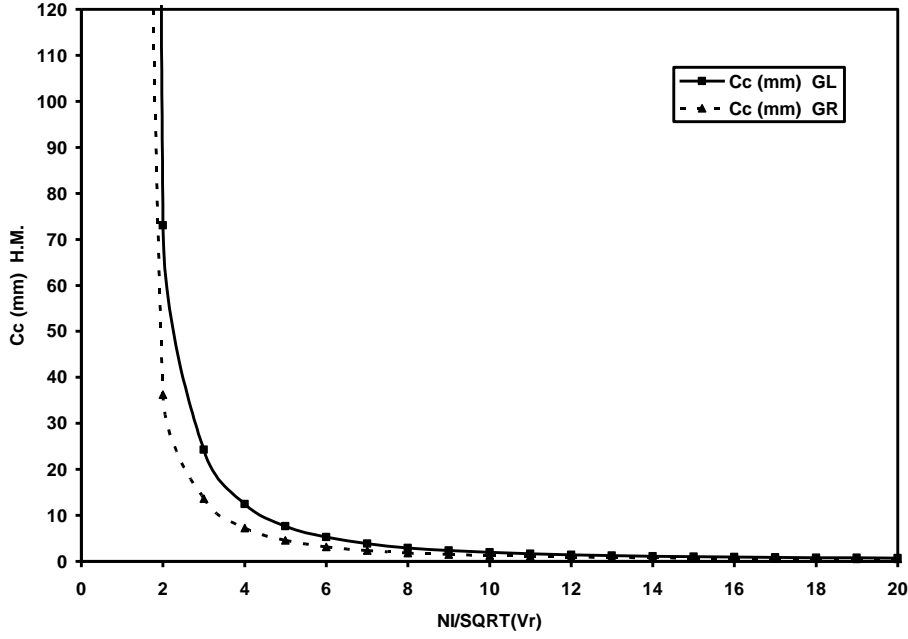
شكل (c - 7) الزيغ اللوني (C_c) لأنموذجي كلازر وكرفت – لنز كدالة لأعلومة التهيج عند نمط التشغيل الواطئ



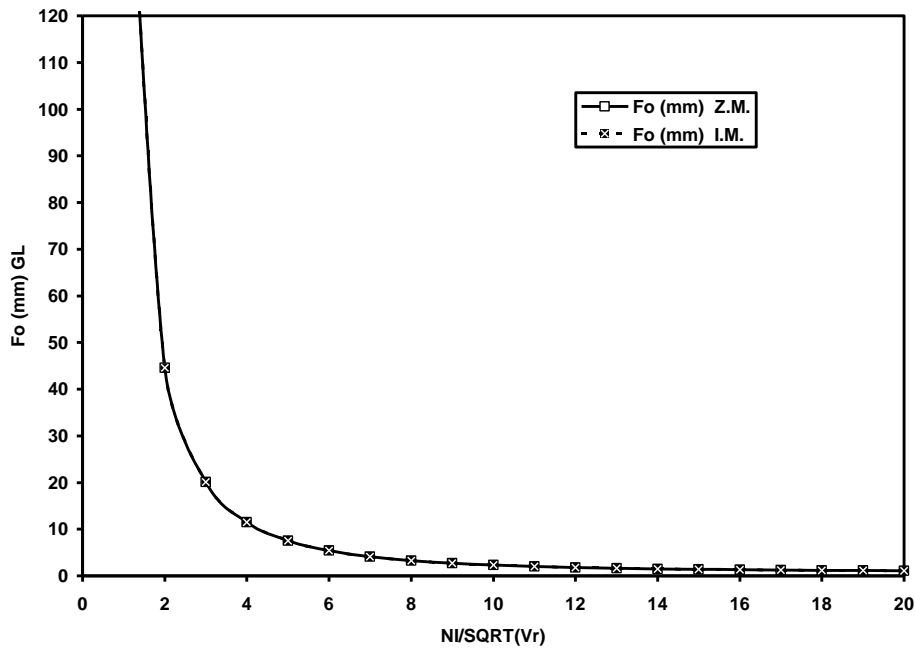
شكل (a - 8) مقارنة التكبير الحاصل في أنموذجي كلازر وكرفت – لنز كدالة لأعلومة التهيج عند نمط التشغيل العالي



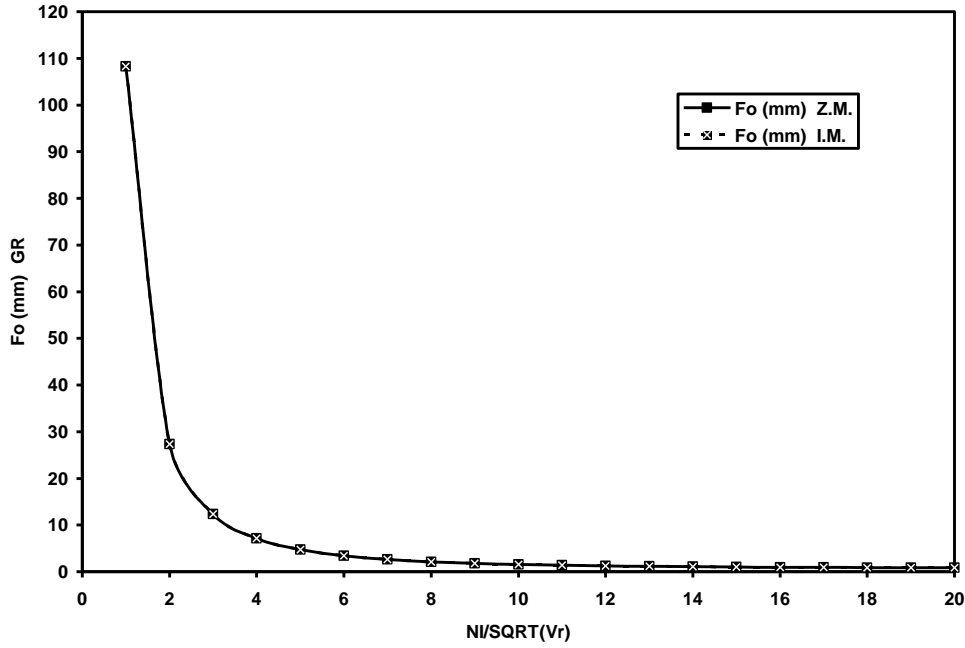
شكل (b - 8) الزيغ الكروي (C_s) لأنموذجي كلازر وكرفت – لنز كدالة لأعلومة التهيج عند نمط التشغيل العالي



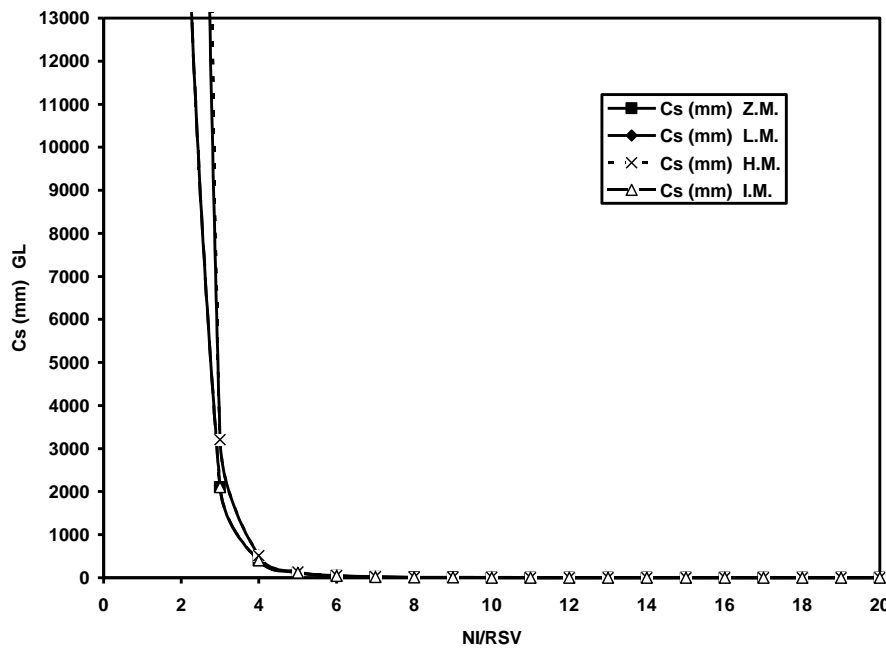
شكل (8 - c) الزيف اللوني (C_c) لأنموذجي كلازر وكرفت - لنز كدالة لأعلومة التهيج عند نمط التشغيل العالي



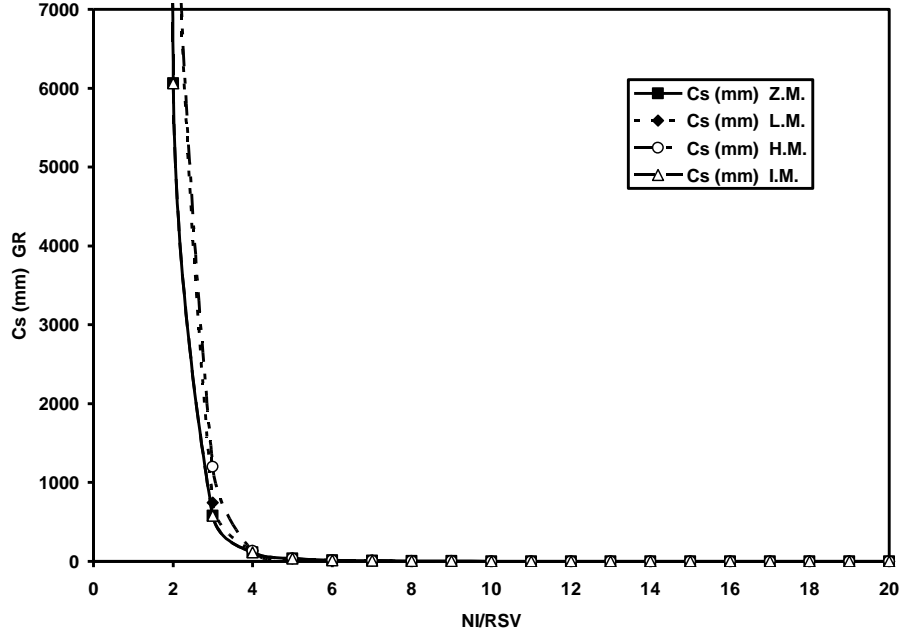
شكل (9 - a) مقارنة البعد البؤري الشيني (F_o) لأنموذج كلازر كدالة لأعلومة التهيج عند نمطي التشغيل الصفري والانهائي



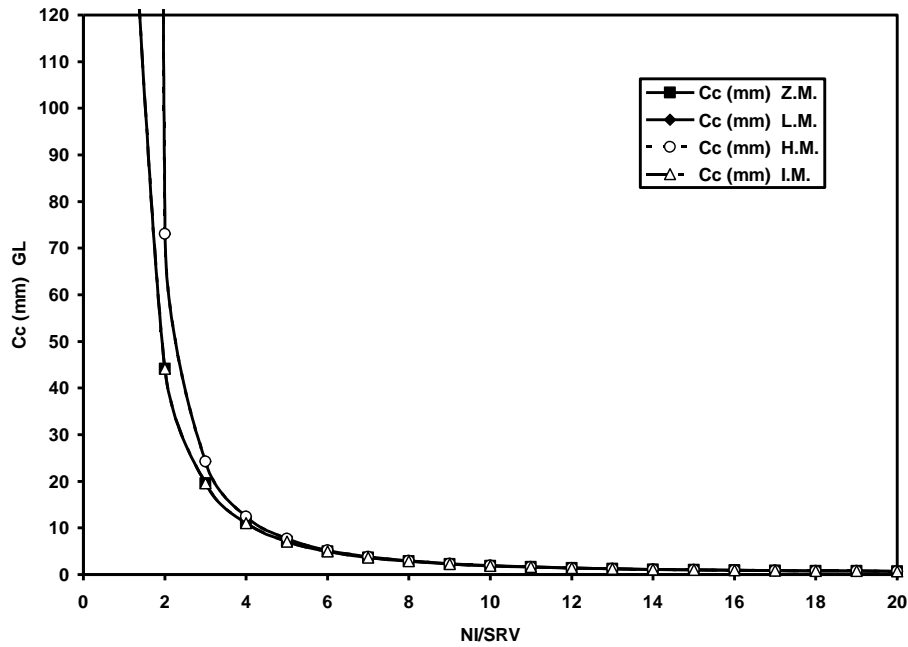
شكل (9 - b) مقارنة البعد البؤري الشيني (F_0) لأنموذج كرفت - لنز كدالة لأعلومة التهيج عند نمطي التشغيل الصفري واللاتهاني



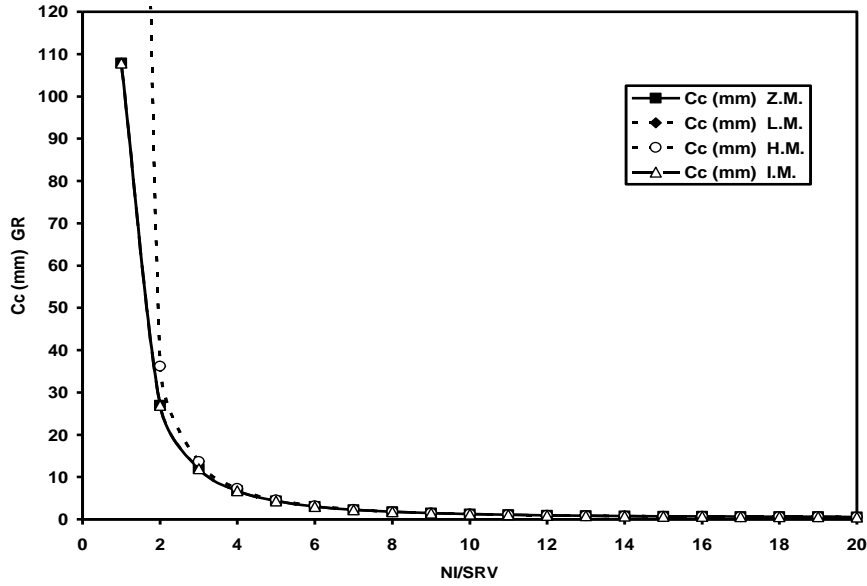
شكل (10 - a) مقارنة الزيغ الكروي (C_s) لأنموذج كلازر كدالة لأعلومة التهيج عند جميع أنماط التشغيل



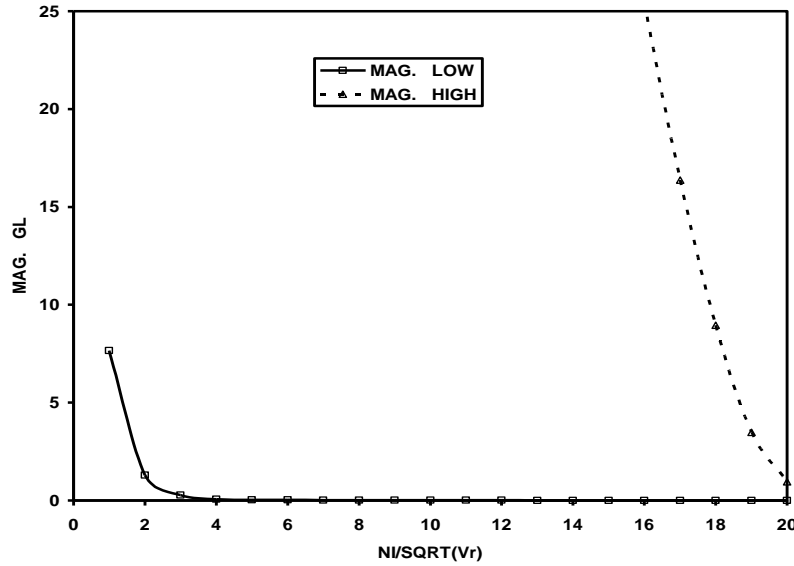
شكل (b - 10) مقارنة الزيغ الكروي (C_s) لأنموذج كرفت - لنز كدالة لأعلومة التهيج عند جميع أنماط التشغيل



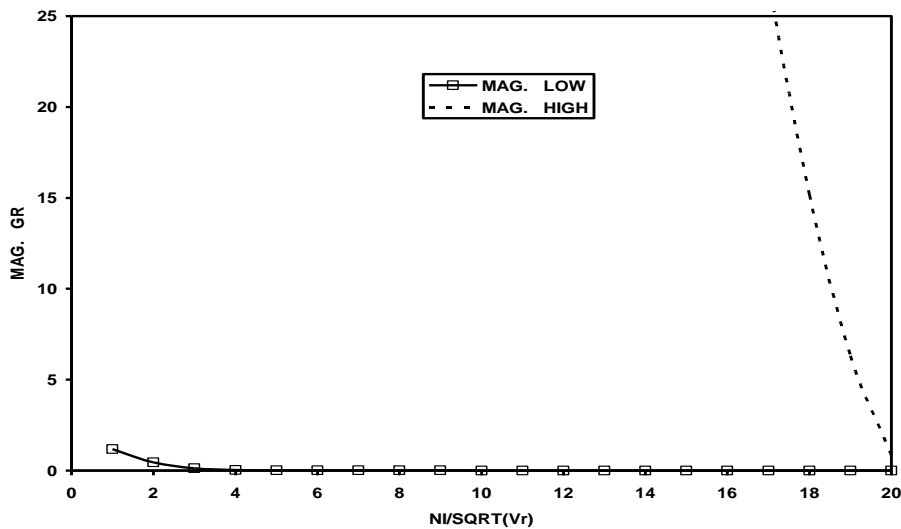
شكل (a - 11) مقارنة الزيغ اللوني (C_c) لأنموذج كلازر كدالة لأعلومة التهيج عند جميع أنماط التشغيل



شكل (b - 11) مقارنة الزيغ اللوني (C_c) لأنموذج كرفت - لنز كدالة لأعلومه التهيج عند جميع أنماط التشغيل



شكل (a - 12) مقارنة التكبير الحاصل لأنموذج كلازر كدالة لأعلومه التهيج عند نمطي التشغيل الواطئ والعالي



شكل (b - 12) مقارنة التكبير الحاصل لأنموذج كرفت - لنز كدالة لأعلومه التهيج عند نمطي التشغيل الواطئ والعالي