

تصميم ودراسة منظومة ارسال ليزر النديميوم ياك ذي الطول الموجي (1.06 μm)

تسليم حسن محمود العزاوي*

استلام البحث 10، كانون الثاني، 2012
قبول النشر 8، أيلول، 2013

الخلاصة:

في هذا البحث تم تصميم ودراسة منظومة ارسال ليزر النديميوم- ياك ذي الطول الموجي (1.06 μm)، وبتكبير X5 و انفراجية قليلة، اذ تمت العمليتان بدرجة حرارة المختبر، اذ استعملت الرزمة التصميمية البصرية (ZEMAX) للدراسة التصميمية لهذه المنظومة و تقويم ادائها و مناقشتها من خلال بعض مخرجات (ZEMAX) مثل قياس البقعة المضيئة من خلال RMS و مخطط الاشعة و مخطط تجمع الطاقة الهندسي و مقدار الانحراف البؤري. ثم دراسة تأثير مجال الرؤية في المخرجات السابقة (عمل المنظومة) بدرجة حرارة المختبر .

الكلمات المفتاحية: Transmitter , optical system , Beam expander

المقدمة:

الإرسال مراحل النضج و تطوير التقنية باتجاه الحجم الصغير و التكلفة المعتدلة. وتسمى النبائط الليزرية المستعملة في قياس المسافات القصيرة معيّنات المدى. ويستعمل المساحون هذه النبائط للحصول على المعلومات المطلوبة لتصميم الخرائط، كما يستعملها العسكريون لحساب المسافات المؤدية إلى الأهداف العسكرية، ومن الاستعمالات العسكرية الأخرى لليزر استعملها في نبيطة توجيه تسمى معيّنة الأهداف. وفي هذا الاستعمال تُوجّه حزمة ليزرية من النبيطة إلى الهدف. وتتبع الصواريخ وقذائف المدفعية والمتفجرات المزودة بكاشفات الأحزمة الليزرية الحزمة المنعكسة، وتضبط اتجاهاتها لضرب النقطة التي تشير إليها الحزمة [6] .

نظرا لأهمية منظومات الارسال الليزرية وما أظهرت الأجهزة الحديثة من استعمالات متعددة لمنظومات الارسال الليزرية ومنها مسح المحيطات (Oceanography) [2,1]، والتخطيط الزلزالي (Seismology) [2,1]، و المسوحات الجغرافية [2,1] (Cartography)، وتعين مدارات التوابع الأرضية [2,1] (Satellite orbits)، و الزحف القاري (Continental shifts) [3,2] و التحركات الجليدية في القطب (Arctic) [3,2] (movement)، فضلا عن سلسلة واسعة النطاق في مجال الأسلحة [3,2]. إن تصميم منظومات الليزر يختلف باختلاف نوع الليزر (الطول الموجي)، و طاقته واستعماله. اذ استعمل ليزر الياقوت (Ruby Laser) العامل بالطول الموجي (0.693)μm في تصنيع منظومة إرسال ليزرية، إلا إن محدودية استعماله بمعدل تكرارية عالية وإشعاعه المرئي حددت من إمكانية استعماله لقياس المدى أو تأثير الأهداف بدقة (Designator) [4,3].

يستعمل العاملون في مجال المياني أحزمة الليزر- باعتبارها خيوطا عديمة الوزن - لرص جدران وأسقف المباني ومد أنابيب المياه والمجاري. وتستعمل أجهزة تسمى الجيروسكوبات الليزرية أحزمة الليزر لتقصي التغيرات التي تطرأ على الاتجاهات.

بعد ذلك تم استعمال ليزر النديميوم- ياك (Nd:YAG) بالطول الموجي (1.06)μm كبديل ملائم في تصنيع منظومات الإرسال الليزرية وذلك لقابليته على العمل بمعدل تكرارية عال و لانبعائه بمديات الأطوال الموجية تحت الحمراء القريبة غير المرئية والتي جعلته مناسباً من الناحية التعبوية لاستعماله في تقدير المدى. و في حقبة الثمانينيات قامت فيزياء الأشعة تحت الحمراء بالكشف عن مدى واسع من التطبيقات الفيزيائية في الفضاء، إذ ان من الممكن بناء منظومة الأشعة تحت الحمراء لتزويد علماء الفلك بمعلومات أو بيانات عن السماء عند أطوال موجية لأشعة تحت الحمراء [6,5] ، ونتيجة لذلك وصلت تقنية تصميم منظومات

تستعمل الليزر في قياس المسافات، اذ يمكن تحديد بُعد أي جسم بقياس الزمن الذي تستغرقه نبضة من ضوء الليزر للوصول إلى الجسم والانعكاس عنه عائدة إلى مصدرها.

وفي عامي 1969 و 1971م، وضع الرواد الأمريكيون نبائط مزودة بمرايا، تسمى العاكسات الليزرية، على سطح القمر. وباستعمال ليزر مدفوع بقدرة عالية، قاس العلماء المسافة بين الأرض والقمر - أكثر من 383,000 كم - بهامش خطأ قدره 5 سنتيمترات. وقد أجروا القياس بتسليط ضوء الليزر من تلسكوب على الأرض إلى العاكسات

$$\lambda = \theta \pi d_1 \dots\dots\dots (1)$$

θ : زاوية الانفراجية ، d_1 : عرض الحزمة الاولي عند التخصر ، λ : الطول الموجي .
و في حالات عدم إمكانية تغير عرض الحزمة الخارجة من المرنان الليزري نتيجة الوضع الهندسي له، هذا يعني إذا أخذنا التخصر الاولي d_1 الخارج من الليزر و أسقطناه على موسع الحزمة فسوف نحصل على عرض حزمة مقداره d_2 على وفق المعادلة الآتية :

$$d_2 = d_1 (f_2 / f_1) \dots\dots\dots (2)$$

d_1 : عرض الحزمة الاولي عند التخصر ،
 d_2 : عرض الحزمة عند الهدف
 f : البعد البؤري، f_1 : البعد البؤري للعدسة الاولي ، f_2 : البعد البؤري للعدسة الثانية .
و على وفق الفرض $f_2 > f_1$ ، نستطيع في النهاية الحصول على d_2 اكبر من d_1 ، عند استعمال موسع الحزمة مع العدسة نستطيع تركيز الحزمة الليزرية في بقعة صغيرة جدا وذات شدة عالية على مساحة الهدف للحصول على انعكاسية ذات شدة عالية و خصوصا في الليزر التنبضية و بذلك يمكن زيادة و تقليل قطر الحزمة الليزرية . كذلك يمكن استعمال موسع الحزمة بوصفه مرشحا لطاقة النبضة من خلال تحديد شكل النبضة بحيث يكون توزيع الطاقة أكثر انتظاما و يطلق عليه في هذه الحالة بالمرشح الفضائي Spatial Filter . يتم اختيار العدسات و المواد التي تصنع منها اعتمادا على الطول الموجي و قدرة الليزر المستعملة في منظومة الارسال ، كذلك يجب معرفة نفاذية و انعكاسية مادة العدسة للطول الموجي قبل استعمالها .

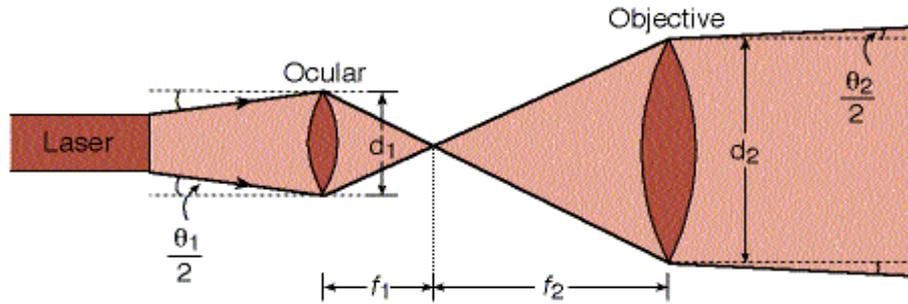
على القمر. وبإمكان حزمة الليزر الموجهة عبر مسافات بعيدة الكشف عن الحركات الأرضية الصغيرة، إذ يساعد ذلك الجيولوجيون المعنيون بنظم الإنذار الزلزالية [7] .



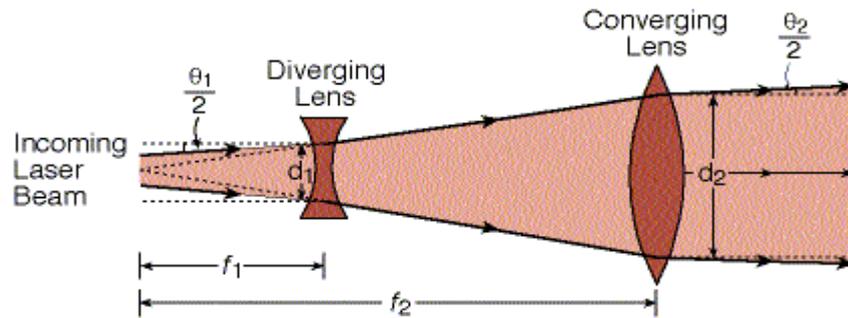
شكل (1) الية قياس المسافة بين الارض والقمر [7]

اذ نلاحظ من الشكل (1) كيف يتم قياس المسافة إلى القمر، اذ يمكن قياسها بدقة باستعمال حزمة ليزر ترسل من الأرض، ثم ترتد (تنعكس) الحزمة عن عاكس ليزري موضوع على القمر، وتعود إلى الأرض حيث لا يزيد هامش الخطأ عن 5سم.

وفي اغلب منظومات الإرسال يستعمل موسع الحزمة للحصول على حزمة متوازية بانفراجية قليلة و لمسافات بعيدة لذلك يعد ضروريا في الكثير من التطبيقات الصناعية والعسكرية خصوصا في قياس المسافات والمديات البعيدة للمحافظة على شدة اضاءة مقبولة [8, 9] ، وفقا للمعادلة [6]:-



(أ)



(ب)

شكل (2) موسع الحزمة الليزرية نوع (أ) كلبر و (ب) غاليليو [11,10]

بالعملية التصميمية أو تحليل النتائج تم إدخال البيانات الأساسية للتصميم هي:

1- فتحة الإدخال Entrances Pupil كان 50 mm

2- الطول الموجي Wavelength اذا استعمل ليزر النديميوم ياك ذي الطول 1.06 μm

3- مجال الرؤية Field of View اذا كانت زاوية مجال الرؤية صفر درجة للمنظومة الرئيسية

4- نوع الزجاج المستعمل (Borosilicate Crown Glass)

5- نوع السطح Surface Type قياسي (Standard) ، او متوازي (Paraxial) ، او

مرايا او عدسات او غير ذلك وبحسب متطلبات التصميم، كما في الجدول (1).

جدول (1) المدخلات

Surf: Type	Radius	Thickness	Glas s	Semi-Diameter
OBJ	Standard	Infinity		Infinity
STO	Standard	Infinity v	BK7	Infinity
2	Standard	Infinity v	250.000000	Infinity
3	Standard	Infinity	5.000000	BK7
4	Standard	Infinity v	10.000000	Infinity
5	Paraxial		25.000000	Infinity
IMA	Standard	Infinity		Infinity

النتائج والمناقشة

و بواسطة الحزمة البصرية (ZEMAX) سنعرض المخرجات و نناقشها، لاختبار عمل المنظومة. اذا تم الحصول على تكبير مقداره 5X، وبأبعاد اصغر للمنظومة، وتكلفة اقل ، وكفاءة اعلى. وعند مقارنة مخرجات المنظومة من جدول المخرجات النهائي بعد اجراء عملية المثالية (optimization) وكما موضح بالجدول الاتي:

جدول (2) المخرجات

Surf: Type	Radius	Thickness	Class	Semi-Diameter
OBJ	Standard	Infinity		0.000000
STO	Standard	203.687911 V	BK7	50.000000
2	Standard	-1215.719715 V		49.767577
3	Standard	Infinity	BK7	12.219082
4	Standard	42.203382 V		11.566329
5	Paraxial			11.519240
IMA	Standard	Infinity		0.140413

Oper #	Srf#	Wav#	Hx	Hy	Px
1 (REAY)	5	1	0.000000	0.000000	0.000000
2 (DMFS)					
3 (BLNK)			Start of default merit function.		
4 (BLNK)			No default air thickness boundary constraints.		
5 (BLNK)			No default glass thickness boundary constraints.		
6 (BLNK)			Operands for field 1.		

و يوجد أكثر من نوع لتصميم موسعات الحزمة يتم فيها توظيف عدسات أو مرايا وهي تستعمل لتغطية اغلب التطبيقات و التصاميم على وفق نوع التطبيق. و في بحثنا هذا تم استعمال موسع الحزمة نوع غاليليو الذي يتكون من عدستين الأولى شبيبة موجبة و الأخرى عدسة عينية سالبة، لأنه يكون اقصر من تصميم كبلر بسبب استعماله لعدسات سالبة علما إن قوة التكبير لهما هي نفسها. و يحسب معامل التكبير M من المعادلة الاتية [12] :

$$M = \frac{D_{out}}{D_{in}} = \frac{f_{out}}{f_{in}} = \frac{\theta_{out}}{\theta_{in}}$$

(3)

اذ إن:-

D_{in} : قطر الحزمة الداخلة ،

D_{out} : قطر الحزمة الخارجة

f_{in} : البعد البؤري لعدسة الدخول ،

f_{out} : البعد البؤري للعدسة الخارجة

θ_{in} : انحرافية الحزمة الداخلة ،

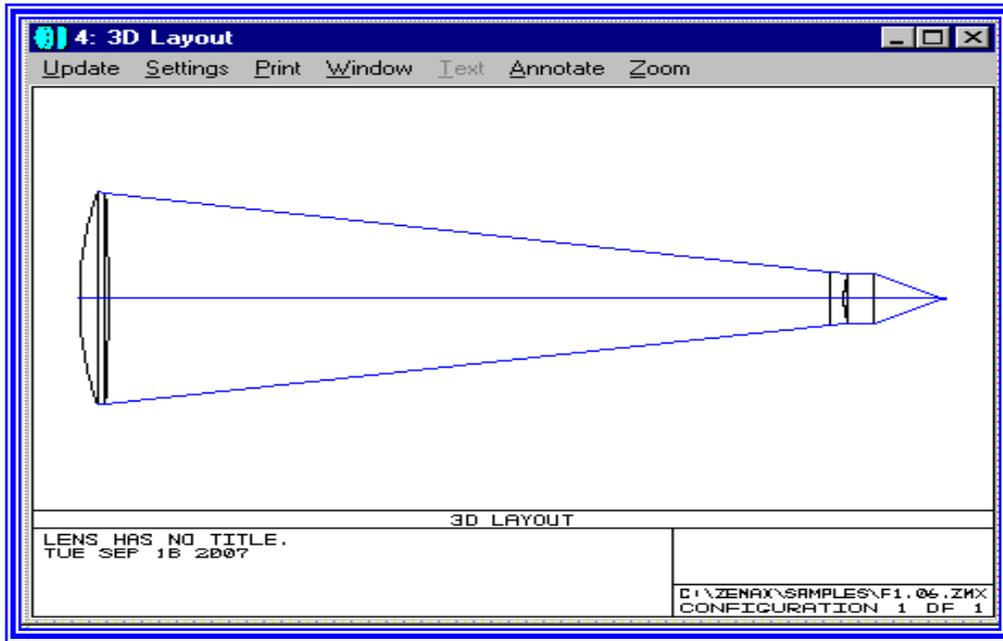
θ_{out} : انحرافية الحزمة الخارجة

وإذا تطلب الأمر استعمال عدسات مفردة في مثل هذه المنظومات فان أفضل تصميم لمثل هذه المكونات هي العدسات الهلالية لتقليل الزيغ الكروي الناتج [12]، و أيضا هذا ما استندنا عليه خلال عملية التصميم البصري للمنظومة.

المواد و طرائق العمل:

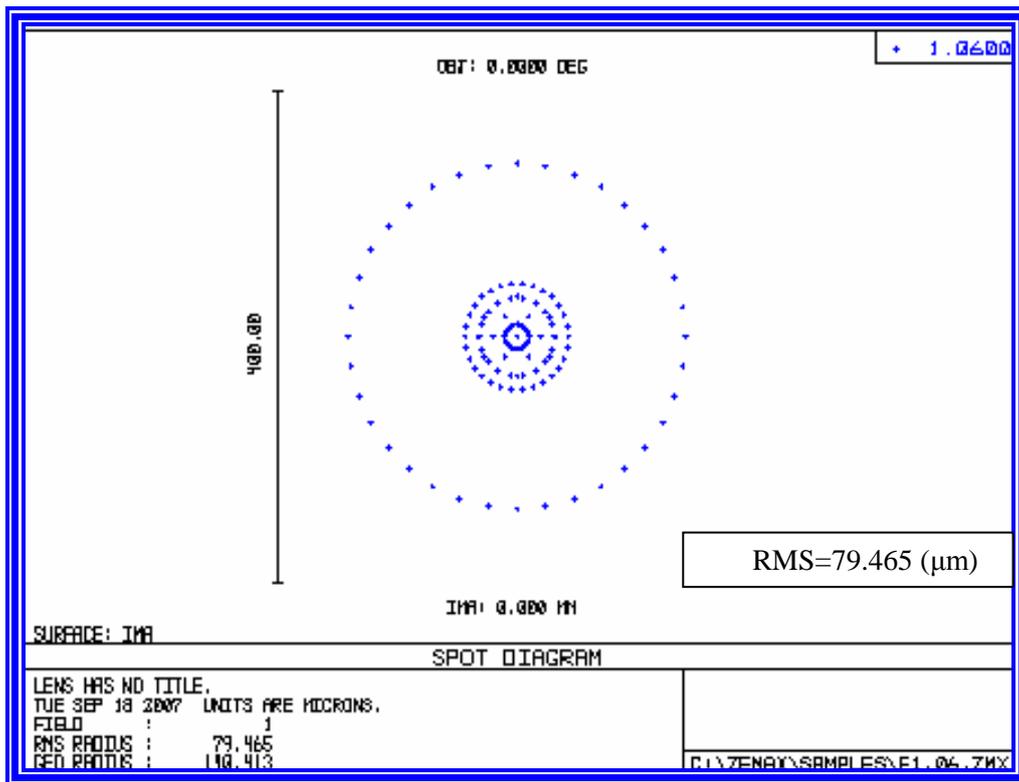
تصميم مرسل الحزمة الليزرية (μm) 1.06

ان المرسل المصممة نوع غاليليو و بعدستين نوع BK7 (Borosilicate Crown Glass)، وبمسافة فاصلة بينهما 250 mm، قبل البدء



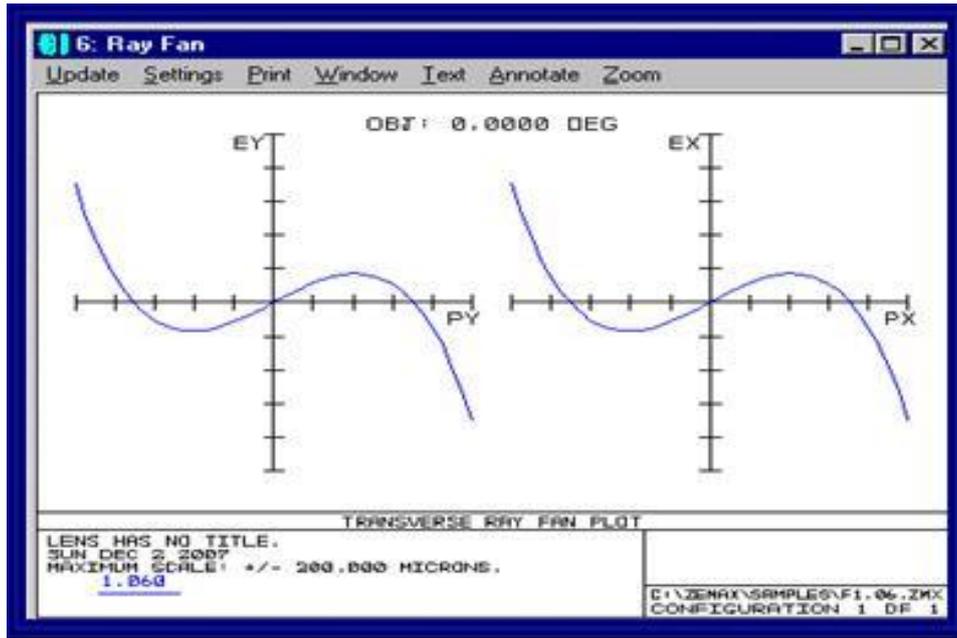
شكل (3) مخطط (Layout) لمنظومة الارسال ($1.06 \mu\text{m}$) بدرجة حرارة المختبر

نلاحظ من الجدول 2 العامود الخامس والشكل (3) ان التكبير الحاصل على قطر الحزمة الليزرية هو (X5) مع الحفاظ على الانفراجة القليلة.



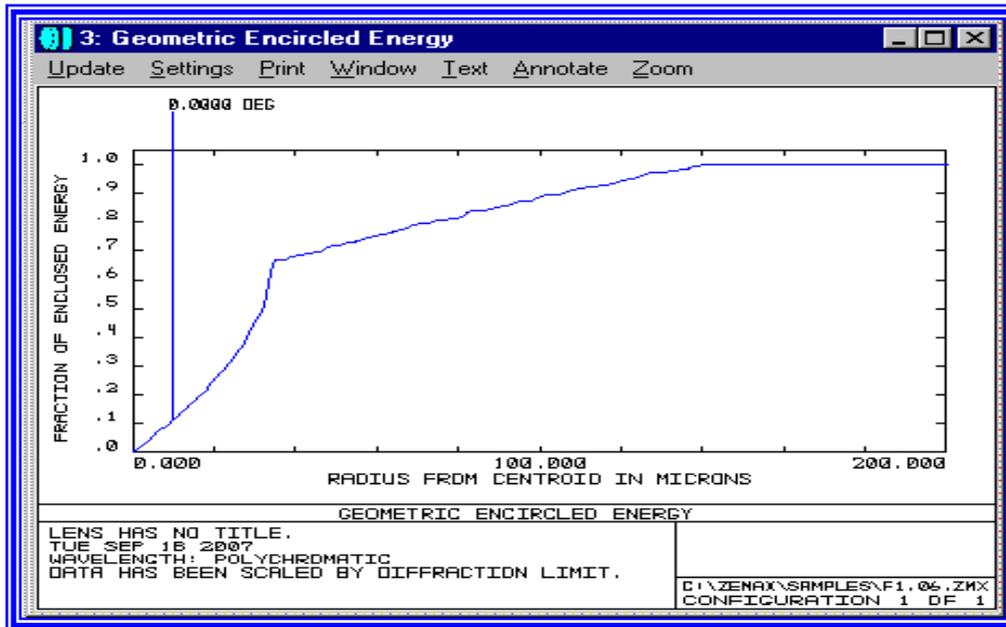
شكل (4) حجم البقعة المضيئة لمنظومة الارسال بدرجة حرارة المختبر

نلاحظ من الشكل(4) ان حجم البقعة المضيئة مقدارها ($79.465 \mu\text{m}$)



شكل (5) مخطط الاشعة لمنظومة الارسال بدرجة حرارة المختبر

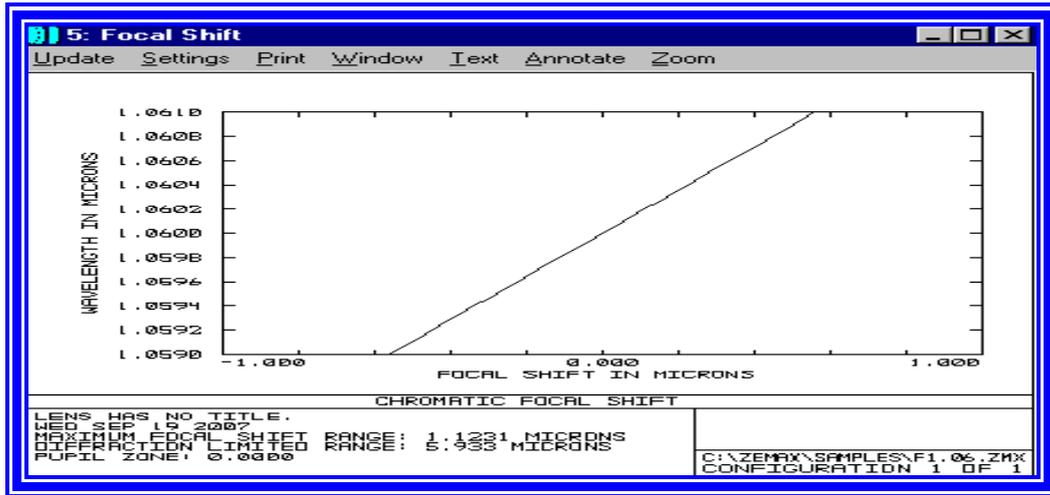
نلاحظ من الشكل (5) عدم وجود خطأ بؤري في المنظومة المصممة، ذلك لأستعمالنا Paraxial في الادخال.



شكل (6) مقدار الطاقة المتجمعة في البقعة المضيئة لمنظومة الارسال بدرجة حرارة المختبر

الطاقة التي استلمتها و بذلك يكون التشتت اقل ما يمكن. واذ نلاحظ من الشكل (6) ان منحنى الطاقة صغير و ان نصف قطر عند 80% من الطاقة الكلية تكون قيمته (77 μm).

اذ ان الشكل (6) يمثل مخططا لمقدار الطاقة المتجمعة في مستوى الصورة من التصميم البصري فكلما يكون ميل المنحنى صغيرا (أي ان نصف القطر صغير عند 80% من الطاقة الكلية) فهذا يعني ان المنظومة قد ركزت كمية اكبر من



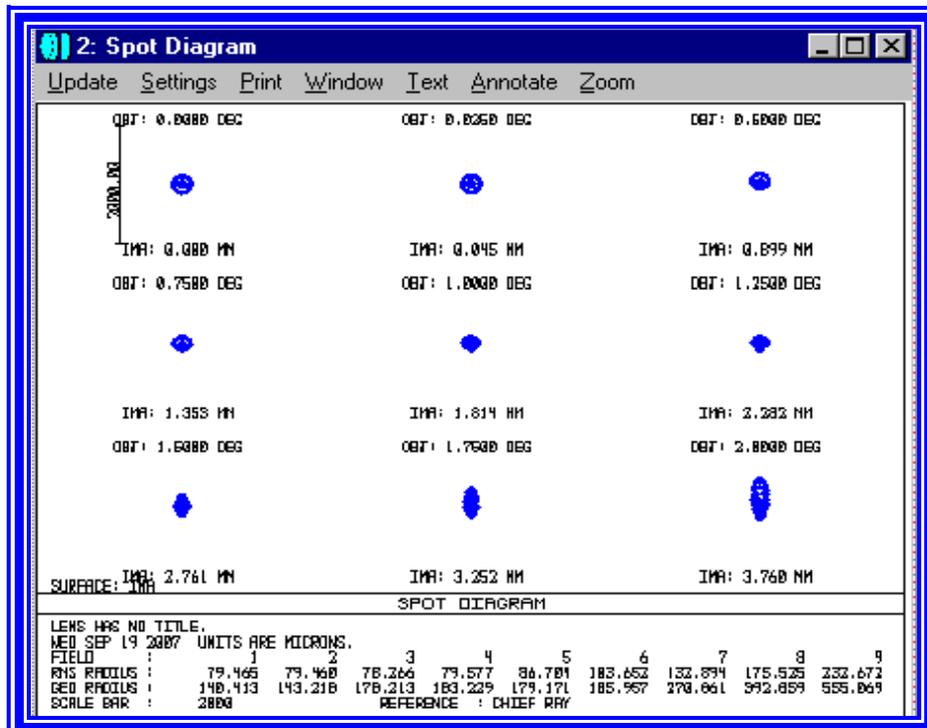
شكل (7) مقدار الانحراف البؤري للمنظومة بدرجة حرارة المختبر

التصميم، اما مقدار الانحراف البصري (الازاحة البؤرية) فكان مقداره (1.1231 μm). تأثير مجال الرؤية على المنظومة (الارسال) لليزر النديميوم 1.06 مايكرومتر بدرجة حرارة المختبر وبعد ذلك سندرس تأثيرات مجال الرؤية على المنظومة المصممة و ذلك من خلال تقسيم مجال الرؤية الى قيم مختلفة، اذ ستكون المدخلات ثابتة فقط سنقوم بادخال القيم الاتية لمجال الرؤية (0, 0.25, 0.5, 0.75, 1, 1.25, 1.5, 1.75, 2) درجة حرارة المختبر. وسنعرض وندرس المخرجات اللاتي ستتأثر بمجال الرؤية فقط و نناقشها.

نجد من الشكل (7) مقدار الازاحة البؤرية لمنظومة الارسال بدرجة حرارة المختبر (1.1231 μm)

الاستنتاجات :

من خلال النتائج السابقة يتضح ان التصميم قد حقق متطلبات المصمم، اذ ان مقدار حجم البقعة المضئية اصبح (79.465 μm) اي ان الحزمة الليزرية قد توسعت بمقدار X5 مع الحفاظ على الانفراجة القليلة، كما انه لا يوجد خطأ بؤري، كما اصبحت الطاقة المتجمعة عند 80% من نصف القطر بمقدار (77 μm) مما يدل على جودة



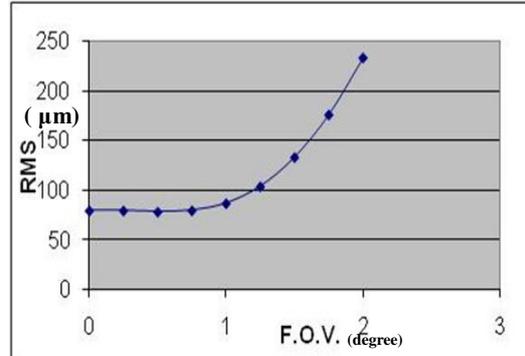
تلخيص الرسم السابق بإدراج قيم هذه الحجوم مع قيم مجال الرؤية بالجدول الآتي:

شكل (8) حجم البقعة المضئية بوجود مجال الرؤية لمنظومة الارسال بدرجة حرارة المختبر ويمكن

جدول (3) تغير قيم حجم البقعة المضيئة مع تغير قيم مجال الرؤية

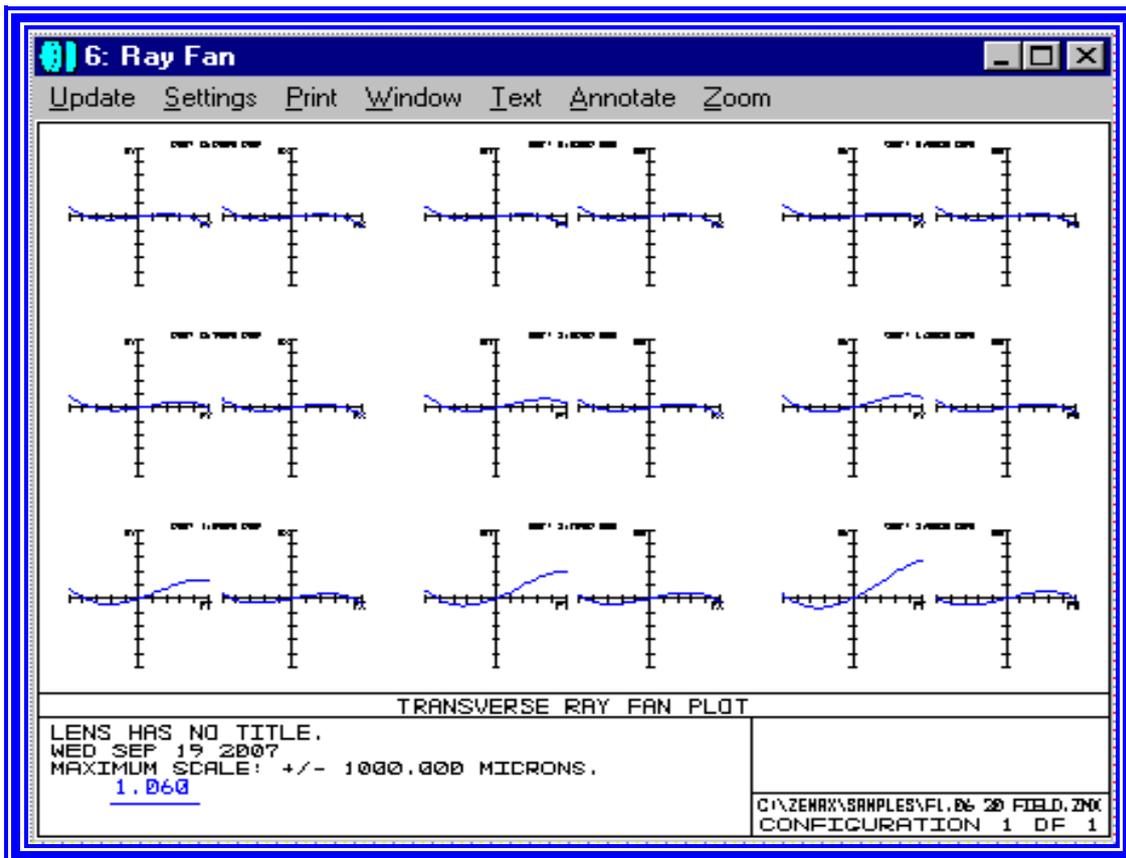
Filed of View (degree)	0	0.25	0.5	0.75	1	1.25	1.5	1.75	2
RMS (μm)	79.465	79.460	78.266	79.577	86.701	103.652	132.894	175.525	232.672

ويمكن توضيح الجدول السابق برسم هذه القيم برسم بياني توضيحي:



نلاحظ من الشكل (9) ان التغير في حجم البقعة المضيئة يبقى تقريبا ثابت ضمن المدى (0-0.75) درجة، و يزداد زيادة واضحة بزيادة مجال الرؤية ضمن المدى (1-2) درجة، اذ يبدأ تأثير المجال واضحا في اداء المنظومة لانها خارج التصميم . هذا يعني ان مدى عمل المنظومة من دون اي تصحيح ضمن المدى (0-0.75) درجة.

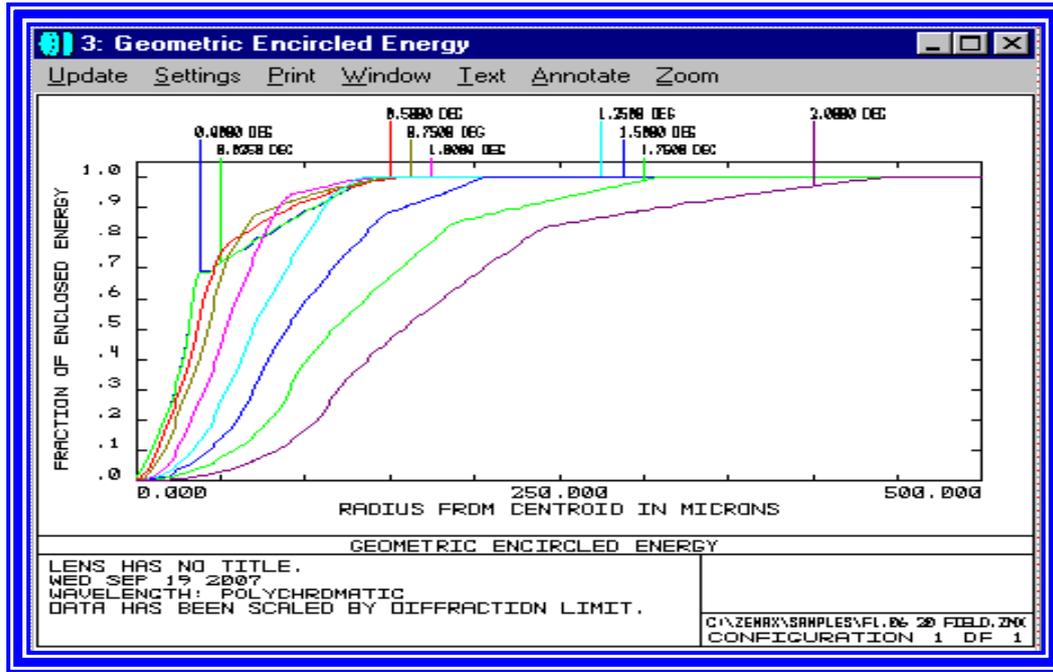
شكل (9) تغير قيم حجم البقعة المضيئة مع تغير مجال الرؤية لمنظومة الارسال بدرجة حرارة المختبر



شكل (10) مخطط الاشعة بوجود مجال الرؤية لمنظومة الارسال بدرجة حرارة المختبر

في المدى (1.25 الى 2) درجة تحتاج المنظومة الى اعادة تصحيح بؤري.

ونلاحظ من الشكل (10) زيادة الزيغ بزيادة مجال الرؤية، وهذا يعني ان المنظومة المصممة تعمل بصورة جيدة ضمن المدى (0 الى 1) درجة، اما



شكل (11) مخطط الاشعة بوجود مجال الرؤية لمنظومة الارسال

نلاحظ من الشكل (11) تباين منحنى الطاقة بزيادة مجال الرؤية و ان نصف القطر عند 80% من الطاقة الكلية يتباين مع قيم مجال الرؤية المختلفة، ويمكن توضيح هذه القيم بالجدول الاتي:

جدول (4) تغير قيم نصف القطر عند 80% من قيمة الطاقة الكلية في البؤرة مع تغير قيم مجال الرؤية لمنظومة الارسال

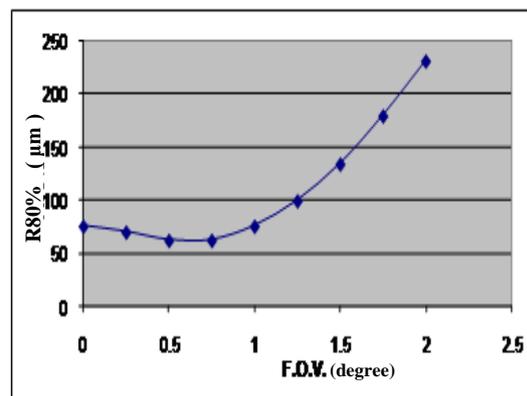
F.O.V. (degree)	0	0.25	0.5	0.75	1	1.25	1.5	1.75	2
R80% (μm)	75.5	70	62.2	62.2	75.5	99.4	134	179.3	231

(1). هذا يعني ان المنظومة ضمن المدى (0 الى 1) درجة لا تحتاج الى تصحيح وتعمل بصورة جيدة، ثم يبدأ بالزيادة بزيادة مجال الرؤية ضمن المدى (1.25 الى 2)، مما يدل على ان المنظومة تحتاج الى اعادة تصحيح بؤري. اما مقدار الازاحة البؤرية ($1.1231 \mu\text{m}$) فثابت ولم يتغير بتأثير مجال الرؤية.

الاستنتاجات :

عند ادخال مجال الرؤية على التصميم البصري: قياس البقعة المضيئة يبقى ثابتا تقريبا ضمن المدى (0 الى 0.75) درجة ثم يبدأ بالزيادة مع زيادة مجال الرؤية، هذا يعني ان المنظومة تعمل ضمن المدى (0 الى 0.75) بصورة جيدة. وتعمل المنظومة بصورة جيدة وبدون زيغ ضمن المدى (0 الى 1) درجة، ثم يزداد الزيغ بزيادة مجال الرؤية. ان نصف قطر البقعة المضيئة عند 80% من الطاقة الكلية يقل ثم الى (1) درجة، ثم يزداد مع زيادة مجال الرؤية، هذا يعني ان المنظومة صممت وعيرت ضمن هذا المدى فهي تعمل بصورة جيدة

و يمكن رسم قيم الجدول السابق برسم بياني توضيحي :



شكل (12) علاقة مجال الرؤية (F.O.V.) مع R80% لمنظومة الارسال بدرجة حرارة المختبر

نلاحظ من الشكل (12) والجدول ان نصف القطر يقل ضمن المدى (0 الى 0.75) درجة، ثم يرجع الى قيمته الاصلية ($75.5 \mu\text{m}$) عند درجة

ISSN1054-660X 19(6) : 1201 - 1206.

7. Paul H. Merritt and John R. Albertine .2012. Beam control for high-energy laser devices, Opt. Eng. 52(2): 021005.
8. Katzman M.1987. "Laser Satellite Communications", Englewood cliffs, Prentice - Hall Inc., New Jersey, 239.
9. Chun-Hao Li and Ming-Jong Tsai .2009. 3D laser trimming technology for regulating embedded thick – film carbon on a random access memory module, Mater. Process. Tech. 209: 2057-2067.
10. Oispd. 1996. "The Photonics Design and Applications Hand Book", Laurin Publishing co. , Inc., Forty – second ,306.
11. Carlos J. Zapata-Rodriguez and Miguel A. Porras .2008. focused laser beams with a dispersive beam expander, Opt. Exp. 16 (26) : 22090 - 22098.
12. Smith W. J. 1966. "Modern Optical Engineering", McGraw-Hill Book, third edition, New York, 603.

و دون تصحيح ميكانيكي او كهربائي. الازاحة البؤرية ثابتة بوجود و بزيادة مجال الرؤية .

المصادر:

1. محمد علي عامر . 2012. علم الجيوفيزياء، وزارة النفط والمعدن، هيئة المساحة الجيولوجية والثروات المعدنية، 1-2 .
2. Al-Shymari A. H. .2001. "Design and Construction of a Laser Range-Finder at 10.6 μm " Ph.D. Thesis, School of Applied Science, Technology University, Baghdad, Iraq.
3. Sasani M. Ghamsari .2007. A simple approach to designation of the intracavity resonator for second harmonic Nd: YAG laser, Opt. Laser Technol. 39: 225-230.
4. Corcoran V. F. .1980. "CO₂ Laser Devices and Applications", SPIE 227: 54 -66.
5. Lee T.J. 1985. "A Camera for Infrared Astronomy and it is Performance on the 3.8M UKIR Telescope", Infrared Phys. 29 (2-4) : 175 - 184 .
6. Chun-Hao Li and Ming-Jong Tsai .2009. "Implementation of a Diode-Pumped Nd:YAG Laser" ,

Design and study for transmitter system of laser Nd-YAG (1.06 μm)

*Tasneem H. Mahmood**

*University of Baghdad, College of Science for Women, Department of Physics.

Abstract:

In this research , design and study a (beam expander) for the Nd – YAG laser with (1.06 μm) Wavelength has been studied at 5X zoom with narrow diversion in the room temperature. by using (ZEMAX) to study the system. Evaluate its performance via (ZEMAX) outputs, as bright Spot Diagram via (RMS), Ray Fan Plot, Geometric Encircled Energy and the value of Focal shift. Then study the effect of field of view on the outputs in the room temperature.