

Thermal Modeling for Studying Optical System Using Zemax Program

أنموذج حراري لدراسة الأنظمة البصرية باستخدام برنامج زيماكس

فاضل خدام فليفل¹ , رجاء عبد الأمير مدلول¹ , إيمان إبراهيم عوض² , رحيم كعيد كاظم³
¹ قسم الفيزياء- كلية العلوم- جامعة كربلاء , ² قسم الصحة البيئية - كلية العلوم التطبيقية- جامعة كربلاء
³ قسم الفيزياء - كلية العلوم- جامعة بابل

الخلاصة

تلعب الخواص البصرية للعدسات دورا مهما في تحديد كفاءة الأنظمة البصرية , في هذا البحث تم مناقشة تأثيرات التغير في درجات الحرارة والطول الموجي على كفاءة العدسات ومقارنة النتائج المخرجة باستخدام برنامج زيماكس مع النتائج التي تم حسابها بالاعتماد على مجموعة من المعادلات المستخدمة من قبل الباحثين لوصف تغير البعد البؤري ونصف قطر بقعة الطاقة كدالة لدرجة الحرارة بالاستفادة من المعلومات الوصفية المخرجة من برنامج زيماكس لأنواع الزجاج البصري المستخدم SK16,SK11,F₂,K₇ في عملية التصنيع الذي تضمن الأنواع التالية .

Abstract

The thermal properties of lenses play an important role in the performance of optical systems. The effects of temperature changes on lens performance are discussed. The comparison between the output results using Zemax and the results obtained from the analytical solution of the equations using by the researchers are performed for describing the change of focal length and the radius of spot energy as a function of temperature depending on the prescription output data from Zemax program for optical glass types using in manufacture process which is contained the following types SK₁₆,SK₁₁ ,F₂ , K₇ .

المقدمة

يتضمن إنتاج المنظومات البصرية مراحل متعددة أولها مرحلة التصميم وفيها يتم تحديد أنصاف أقطار السطوح والسمك والمسافات الفاصلة وفتحات العدسات, إما في عملية التصنيع يحدد نوع الزجاج المناسب للعدسة بحيث تكون المادة المحددة شفافة للمدى المطلوب من الطيف, والمرحلة الأخيرة هي تقييم انجازا لمنظومات البصرية إي تقييم نوعية الصورة المتكونة ويأتي هذا التقييم من الطرق المختلفة لفحص الأنظمة البصرية. غالبا ما تستخدم الأنظمة البصرية في بيئة ذات مدى مرتفع من الدرجات الحرارية, كما في المعدات التي تستخدم في الأغراض العسكرية والقياسات المساحية الضوئية وغيرها. إن ارتفاع درجة الحرارة يؤدي إلى تغير معامل انكسار معظم المواد تقريبا وبالنتيجة يتغير توزيع الطاقة في الصورة أيضا يحصل انحراف في بؤرة الصورة. يعتبر برنامج زيماكس واحدا من الوسائل المهمة^[1] الذي استخدم ولا يزال يستخدم في تحليل كفاءة الأنظمة البصرية في مثل هذه الظروف من خلال مقارنة النتائج المخرجة بواسطة هذا البرنامج مع حساب كفاءة الأنظمة البصرية اعتمادا على معادلات رياضية تحدد مقدار التغير في البعد البؤري للعدسات عند ارتفاع درجة الحرارة وكذلك تغير معامل الانكسار. بحث^[2] تأثير ارتفاع درجة الحرارة على كفاءة خلية شمسية وتبين نتيجة التمدد الحراري لمادة العدسة تغير معامل انكسارها وأيضا الشكل الهندسي, النقصان في معامل الانكسار أدى إلى زيادة البعد البؤري بينما تغير الشكل الهندسي أدى إلى انتشار أوسع للشدة في بقعة الطاقة. وقدم الباحثان^[3] دراسة في تصميم عدسة كاميرا حرارية استخدمت في جامعة طوكيو بينا تأثير درجات الحرارة خلال عملية التصميم. كما أجرى^[4] دراسة تضمنت كفاءة أنظمة الأشعة تحت الحمراء في درجات الحرارة المرتفعة والتغيرات التي تحصل في البعد البؤري طبقا إلى نوع المواد الداخلة في تصنيع العدسات واستخدمت في البحث تقنية Athermalization وتتميز هذه التقنية بأنها تحافظ على البؤرة دون تغير في أنظمة الأشعة تحت الحمراء لمدى واسع من درجات الحرارة. وتوصل الباحثان^[5] في دراستهما (تأثير تغير درجات الحرارة على الكاميرا الحرارية (الرقمية) المصممة لأعمال المساحات الضوئية وحسب موقع العمل أما في الطائرات أو أماكن الرصد الأرضي, أيضا في حالة خزن الكاميرا أو عند موقع العمل. باستخدام تقنية التداخل تم دراسة تغير طول المسار البصري من قبل^[6] كدالة لدرجة الحرارة للعديد من أنواع الزجاج في مدى درجات الحرارة (25°C - 180°C) مثل أكاسيد الزجاج, سيليكات الكالسيوم وسيليكات الألمنيوم وتبين إن طول المسار البصري يزداد بزيادة درجة الحرارة ولكافة النماذج المستخدمة. في بحث تقدم به^[7] لدراسة الخواص البصرية مثل التوصيلية الحرارية والحركية الحرارية ومعامل التمدد الحراري باستخدام مطياف العدسة الحرارية. وقدم^[8] دراسة توصل فيها إلى تغير معامل الانكسار للعدسة مع درجة الحرارة مما يؤدي إلى تغير قدرة العدسة مع درجة الحرارة وبالتالي تغير البعد البؤري.

يهدف هذا البحث إلى إيجاد التغيرات التي تحصل في الصورة التي تكونها منظومة بصرية تتكون من مجموعة من العدسات المختلفة الشكل، اعتماداً على توزيع الشدة في بقعة الطاقة Energy Spot بالإضافة إلى دراسة تحليلية لتغير البعد البؤري مع درجة الحرارة.

الجانب النظري

يستعمل برنامج زيماكس في تحليل وتصميم الأنظمة البصرية، يتميز بسهولة استعماله يحتوي على مجموعة من النوافذ النافذة الرئيسية: يتم من خلالها فتح، غلق وحفظ ملفات إدخال المعطيات الداخلة في تصميم النظام البصري. نافذة الإدخال: يمكن من خلالها إدخال المعلومات الذي يعتمد عليها النظام البصري المراد الحصول عليه في عملية التصميم مثل نصف قطر العدسة، سمك العدسة، نوع الزجاج، نوع السطح، نوع فتحة العدسة أيضاً يمكن إدخال المؤثرات مثل درجة الحرارة، الضغط، طول الموجي المستخدم. نافذة الاشتغال: نحصل على المخرجات من خلال هذه النافذة. حيث يتم رسم الأشكال المراد تصميمها بواسطة البرنامج وحسب المعطيات المدخلة، مثل دالة انتشار العدسة، الطاقة المتجمعة، شكل العدسة والأشعة الساقطة ببعدين أو ثلاثة أبعاد، الزيوغ الناتجة في هذا التصميم.

الجانب التحليلي:

يتغير البعد البؤري للعدسة مع تغير درجة الحرارة وفقاً للمعادلة التالية^[1]

$$\Delta f = -\gamma f \Delta T = -\left(\frac{dn/dT}{n-1} - \alpha_L\right) f \Delta T \dots \dots \dots (1)$$

γ = المعامل البصري- الحراري للعدسة

dn/dT = تغير معامل الانكسار مع درجة الحرارة

n = معامل انكسار العدسة

α_L = معامل التمدد الحراري للعدسة

f = البعد البؤري للعدسة

ΔT = تغير درجة الحرارة

عند الأخذ بنظر الاعتبار التغير الذي يحصل في طول الحافظة التي توضع فيها العدسة مع تغير درجة الحرارة

$$\Delta L = L \alpha_h \Delta T \dots \dots \dots (2)$$

L = طول الحافظة التي تثبت فيها العدسة

α_h = معامل التمدد الحراري للحافظة

اذن التغير الحاصل في البعد البؤري للنظام (العدسة + الحافظة) لا يغير في درجة الحرارة يساوي

$$\Delta z = \Delta L - \Delta f \dots \dots \dots (3)$$

$$\Delta z = L \alpha_h \Delta T - \left(-\frac{dn/dT}{n-1} + \alpha_L\right) f \Delta T \dots \dots \dots (4)$$

إذا كان البعد البؤري للعدسة مساوياً إلى طول الأنبوبة الحافظة وكلاهما صنعا من مادة واحدة عندئذ نحصل على

$$\Delta z = \left(\frac{dn/dT}{n-1}\right) f \Delta T \dots \dots \dots (5)$$

$$\frac{dn}{dT} = \frac{(n^2 - 1) D_0}{2n} \dots \dots \dots (6)$$

D_0 ثابت مقداره يعطى من برنامج زيماكس

تم مقارنة النتائج الحاسوبية باستخدام برنامج زيماكس مع النتائج المعطاة من المعادلات أعلاه اعتماداً على

$$R_{RMS} \approx \frac{D_{max}}{3} = \frac{\Delta z}{3f/\#} \dots \dots \dots (7)$$

D_{max} القيمة العظمى لقطر بقعة الطاقة

$f/\#$ العدد البؤري ويساوي البعد البؤري مقسوماً على قطر فتحة الإدخال

يبين الجدول أدناه مخرجات النظام البصري المعطاة بواسطة برنامج زيماكس

الزجاج البصري	SK ₁₆	SK ₁₁
معامل الانكسار n	1.6226076	1.563680
f (cm) البعد البؤري	-22.66658	26.93865
D ₀ الثابت	-2.3700×10 ⁻⁸	2.6500×10 ⁻⁶
F _# العدد البؤري	7.526475	8.945131

اعتمادا على المعادلات (5 و 6 و 7) تم حساب مقدار نصف قطر بقعة الطاقة في درجات الحرارة (20°C - 120°C) وتبين انه اقل بكثير من المقادير التي حصلنا عليها من استخدام برنامج زيماكس

$$\begin{aligned} \text{زجاج SK}_{16} \quad \frac{dn}{dt} &= 1.19878208 \times 10^{-8} \\ \Delta z &= 1.92912532 \times 10^{-8} f \Delta T \quad \dots\dots\dots (8) \\ \text{زجاج SK}_{11} \quad \frac{dn}{dt} &= 0.5300952 \times 10^{-6} \end{aligned}$$

$$\Delta z = 0.9404186 \times 10^{-6} f \Delta T \quad \dots\dots\dots (9)$$

النتائج والمناقشة

استخدم في هذا البحث برنامج زيماكس في دراسة تأثير درجة الحرارة على كفاءة نظام بصري يتكون من مجموعة من العدسات (عدسة لامة - مستوية، مقعرة الوجهين، مستوية محدبة) من خلال إيجاد العلاقة بين درجة الحرارة ونصف قطر البقعة (spot) التي تحدد مواقع الصورة. من خصائص هذا البرنامج يعطي حرية في اختيار عدد السطوح المناسبة وإنصاف اقطاروسمك العدسات التي يتكون منها النظام البصري نجاح عملية التصميم يعتمد على كمية الزيوغ الموجودة في النظام البصري ونصف قطر فتحة الإدخال.

Lens Data Editor						
Edit Solves Options Help						
Surf:Type	Comment	Radius	Thickness	Glass	Semi-Diameter	Conic
OBJ	Standard	Infinity	Infinity		Infinity	0.000000
1*	Standard	22.013600 U	3.259000 U	SK16	9.500000 U	0.000000
2*	Standard	-436.760400 U	6.007600 U		9.500000 U	0.000000
3*	Standard	-22.213300 U	1.000000 U	F2	6.000000 U	0.000000
STO*	Standard	20.291000 U	4.750400 U		6.000000 U	0.000000
5	Standard	79.683600 U	2.967100 U		8.500000 U	0.000000
6*	Standard	-18.395300 U	42.207800 U	SK16	9.500000 U	0.000000
IMA	Standard	Infinity	-		18.172700 U	0.000000

شكل (1) نموذج التصميم الأول

ZEMAX-EE - C:\Program Files\ZEMAX\SAMPLES\LENS.ZMX

File Editors System Analysis Tools Reports Macros Extensions Window Help

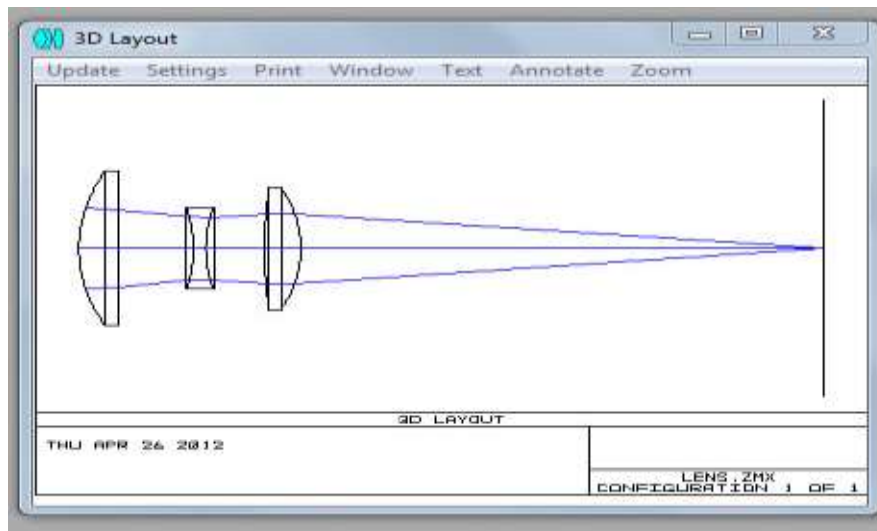
Lens Data Editor

Edit Solves Options Help

Surf	Type	Comment	Radius	Thickness	Glass	Semi-Diameter	Conic
OBJ	Standard		Infinity	Infinity		Infinity	0.000000
1*	Standard		22.013600 V	3.259000 V	SK11	10.500000 U	0.000000
2*	Standard		-436.760400 V	6.007600 V		10.500000 U	0.000000
3*	Standard		-22.213300 V	1.000000 V	K7	6.000000 U	0.000000
STO*	Standard		20.291000 V	4.750400 V		6.000000 U	0.000000
5	Standard		79.683600 V	2.957100 V		8.500000 U	0.000000
6*	Standard		-18.395300 V	42.207800 V	SK11	8.500000 U	0.000000
IMA	Standard		Infinity	-		18.172700 U	0.000000

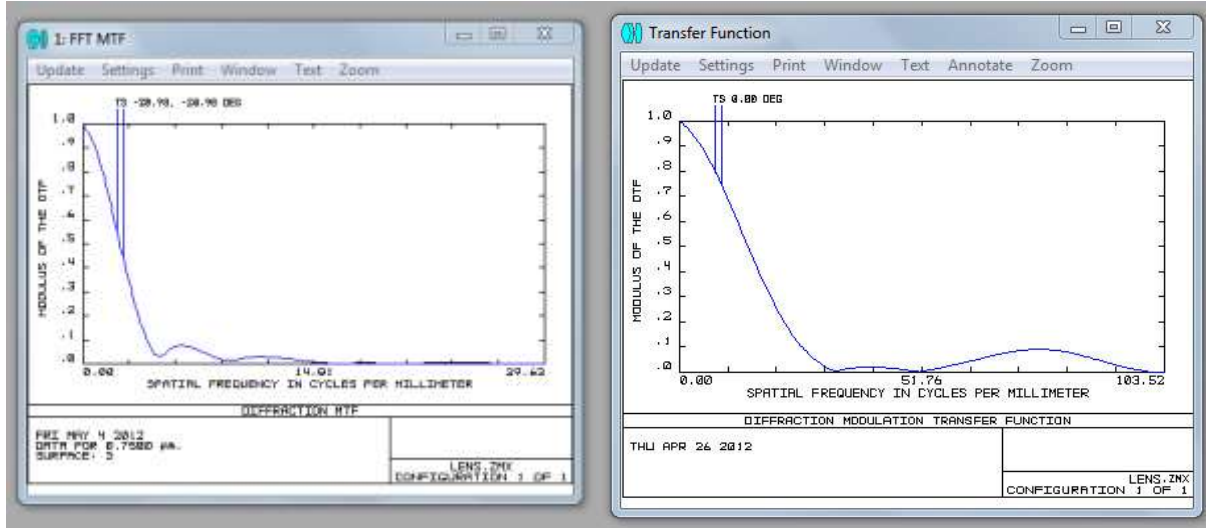
شكل (2) نموذج التصميم الثاني

يبين الشكلان (1) و (2) معطيات الإدخال للأنظمة البصرية المعتمدة في هذا البحث مثبت فيها عدد السطوح وإنصاف الأقطار والسبك بالإضافة إلى نوع الزجاج ونصف قطر فتحة الإدخال ومن الواضح لقد تم استخدام زجاج مختلف لكلا التصميمين لبيان مدى أهمية اختيار نوع الزجاج في عملية التصنيع كذلك دراسة تأثير نوع الزجاج على نصف قطر بقعة الطاقة

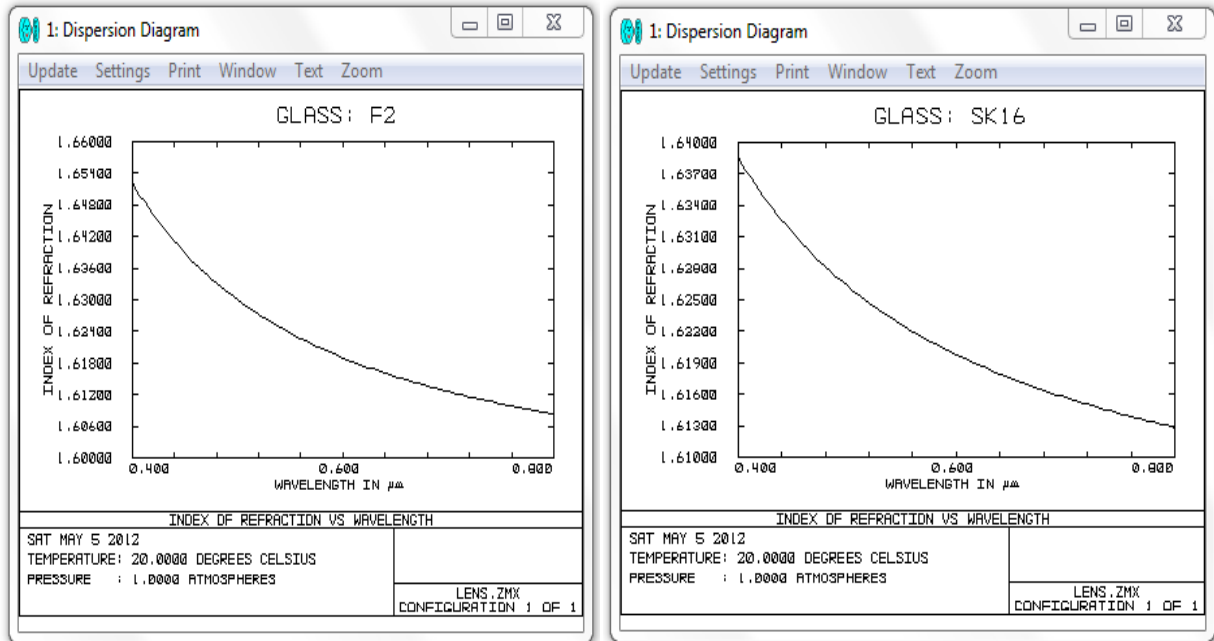


شكل (3) مكونات النظام البصري

الشكل (3) يعطي مخرجات البرنامج نتيجة إدخال المعلومات المشار إليها في جداول التصميم في الشكلين (1,2) التي تتكون من مجموعة عدسات مختلفة الأشكال (عدسة محدبة مستوية- عدسة مقعرة الوجهين -عدسة مستوية محدبة)



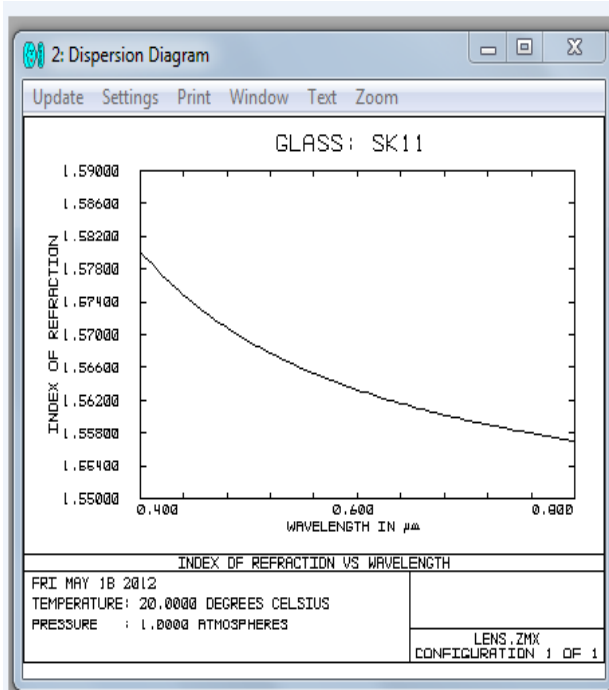
شكل (5) دالة الانتشار المعدلة للنموذج الثاني شكل (4) دالة الانتشار المعدلة للنموذج الأول يوضح الشكل (4) منحنى توزيع الشدة لصورة النموذج الأول بينما الشكل (5) يعطي منحنى توزيع الشدة لصورة النموذج الثاني ويتضح من مقارنة المنحنيين نجد أنهما لا يختلفان بالشكل ولكن صورة النموذج الأول أقل تباين من صورة النموذج الثاني لأن الشدة موزعة على مساحة أكبر.



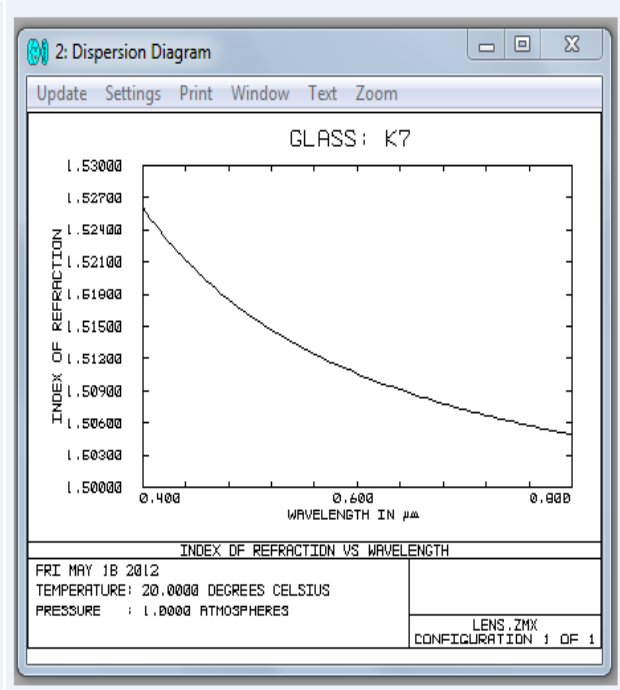
الشكل (7) معامل الانكسار دالة للطول الموجي للزجاج F₂

الشكل (6) معامل الانكسار دالة للطول الموجي للزجاج SK16

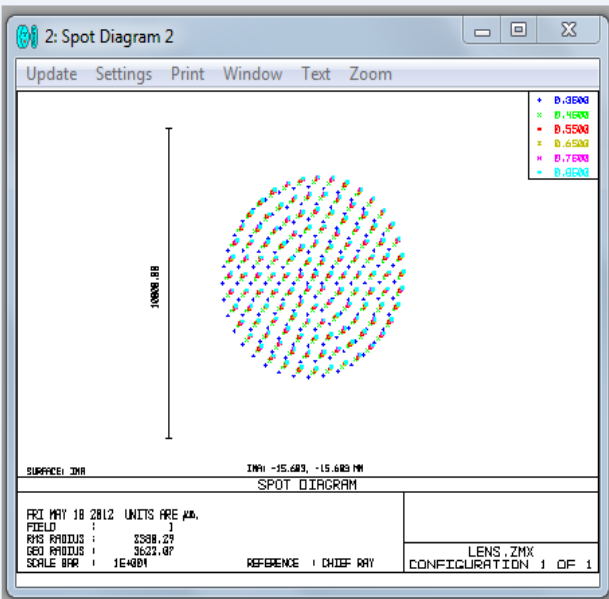
التغير في معامل الانكسار للأطوال الموجية (0.400-0.800 μm) في الشكليات أعلاه (6,7) يظهر تقارب واضح لكلا النوعين من الزجاج للأطوال الموجية المحددة وهذا يعطي سبب استخدام هذين النوعين من الزجاج في منظومة بصرية واحدة أيضا يعمم هذا الاستنتاج على الزجاج K₇ والزجاج SK₁₁ في الشكليات (8) و(9) اللذان يمثلان نموذج التصميم الثاني



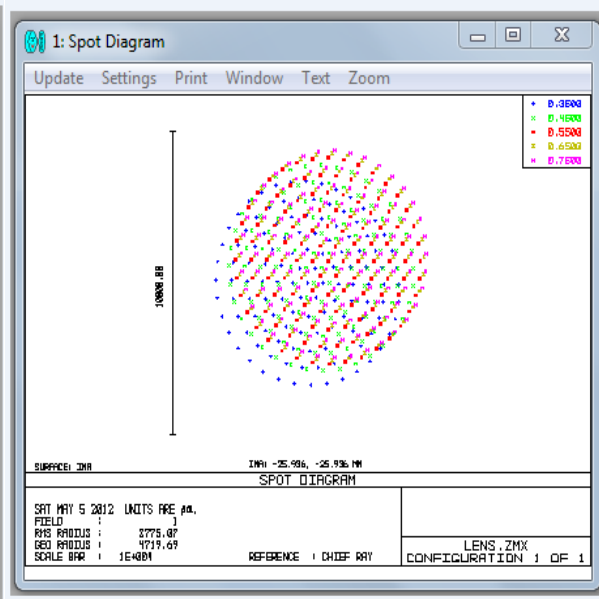
الشكل (9) معامل الانكسار دالة للطول الموجي
لزجاج SK₁₁



الشكل (8) معامل الانكسار دالة للطول الموجي
لزجاج K₇



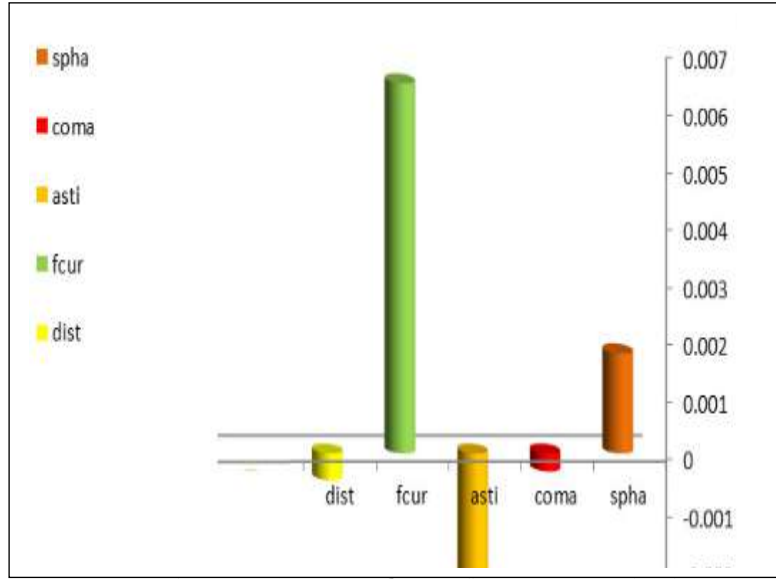
الشكل (11) بقعة الطاقة لنموذج التصميم الثاني



الشكل (10) بقعة الطاقة لنموذج التصميم الاول

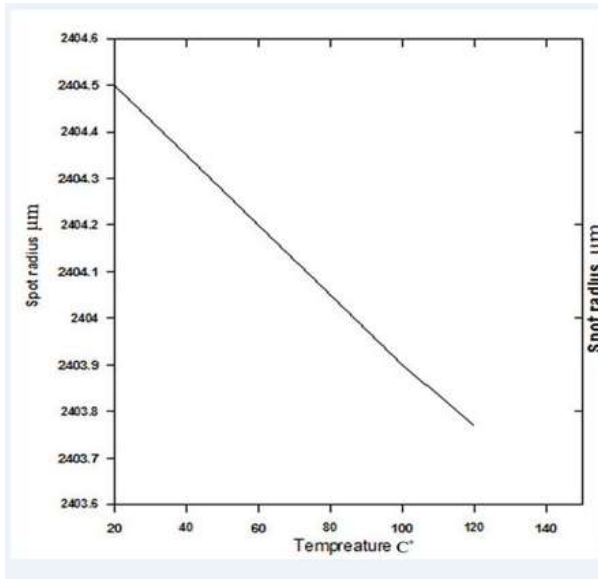
يبين الشكلين (10,11) بقعة الطاقة لكلا التصميمين. بقعة الطاقة تحدد موقع الصورة ويبدو ان تأثير زيادة الطول الموجي يؤدي الى زيادة نصف قطر البقعة بالإضافة الى ابتعاد الصورة عن المحور البصري مما يسبب ظهور الزيغ الهالي والاستجماتزم بينما نجد على العكس من ذلك في التصميم الثاني يقل نصف قطر بقعة الطاقة بزيادة الطول الموجي، اي لا يحصل ابتعاد عن المحور البصري ويعتمد شكل البقعة على نماذج تجمع الأشعة في مستوي البؤبؤ وعلى طول موجة الضوء المستخدم ويمكن تحديد البعد البؤري من موقع البقعة. يحدد نصف قطر البقعة اعتمادا على نصف قطرها الذي يساوي $(F/\# \times \lambda)$ ، وأحيانا يكون اصغر أو اكبر من نصف قطر أبري اعتمادا على نصف قطر فتحة الإدخال للعدسة. في هذا البحث تم استخدام فتحة العدسة الدائرية ونصف قطر (3mm) مما أدى إلى إنتاج بقعة طاقة بنصف قطر اكبر من نصف قطر أبري، وفي حالة مقدار نصف قطر فتحة العدسة اكبر من (3mm) لهاتين التصميمين شكل (2,1) يظهر تأثير الزيغ واضحا على كفاءة النظام البصري.

طول موجة الضوء المستخدم λ

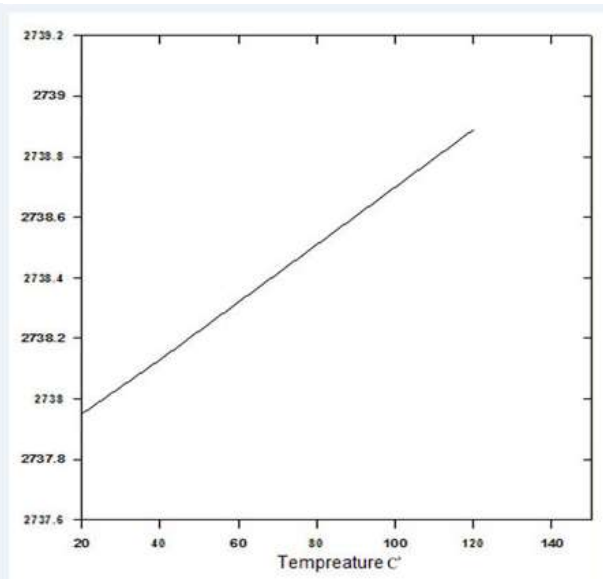


يوضح الشكل (12) كمية الزيوغ في النظام البصري للنموذج الاول

الذي تمت دراسة خصائصه في هذا البحث ومن الواضح ان نسبة الزيوغ ضمن المدى المسموح به بحيث لا تؤثر على نوعية الصورة المتكونة بشكل كبير. أيضا كمية الزيوغ في النموذج الثاني ضمن الحدود المسموح فيها.



شكل (14) نصف قطر بقعة الطاقة كدالة لدرجة الحرارة للنموذج الثاني



شكل (13) نصف قطر بقعة الطاقة كدالة لدرجة الحرارة للنموذج الأول

من المعروف ان درجة الحرارة تؤثر على خصائص العدسة مثل البعد البؤري ومعامل الانكسار ونصف قطر العدسة وغيرها. والشكلين (13 و 14) يوضحان تغير معدل نصف قطر بقعة الطاقة مع درجة الحرارة، نلاحظ كلما ازدادت درجة الحرارة نجد ان نصف قطر البقعة يزداد في الشكل (13) ويقل في الشكل (14) وبذلك فان نوع الزجاج المستخدم يحدد اتجاه زيادة حجم البقعة، أي نوع الزجاج المستخدم يؤثر سلباً أو إيجاباً على نوعية الصورة لذلك تم اختيار نوعين من الزجاج ولتصميم واحد في هذا البحث للدور الكبير الذي يلعبه نوع الزجاج في عملية التصميم وهذا يتفق مع الدراسات^[1] التي تؤكد أن درجة الحرارة تعمل على تقليل قدرة تحليل الأنظمة البصرية في حلة مقارنتها مع الشكل (13) أما الشكل (14) فتكون العملية معكوسة فلا يظهر تأثير درجة الحرارة على قدرة تحليل النظام البصري بصورة واضحة وهنا تكمن أهمية نوع الزجاج في الحفاظ على توزيع الطاقة في الصورة.

الاستنتاجات

تأثير زيادة درجة الحرارة على كفاءة الأنظمة البصرية ليس دائما سلبيا في حالة اختيار أنواع الزجاج الملائمة للتصميم البصري, أيضا النتائج التي تم الحصول عليها باستخدام المعادلات الرياضية التقريبية غير متطابقة مع النتائج المخرجة من برنامج زيماكس, النتائج التحليلية فيها نسبة خطأ يعتمد على مقدار الثابت (D_0) لكل من أنواع الزجاج البصري مما يشجع على أهمية اعتماد برنامج زيماكس في دراسة التصميم البصري والعوامل المؤثرة على كفاءة الأنظمة البصرية.

Reference

- [1] -Heidi Warriner Thermal Modeling in Zemax ,Opti.521,10-31-2010.
- [2] - Thorsten Schult , Martin Neubauer , Yannick Bessler, Peter Nitz, and Andreas Gombert, Temperature Dependence of Fresnel Lenses For Concentrating Photovoltaics , Fraunhofer Institute For Solar Energy Systems ,Germany, February ,22,2009.
- [3] -Ramsey Lundock and Takashi Ichikawa,AIR-C: Antarctic Infra-red Camera,Astronomical Institute, Tohoku University, Aramaki , Aoba-ku, Sendai 980-8578, Japan,2009.
- [4] -Jeffrey T daiker, Athermalization Techniques in Infrared Systems ,OPTI 521,December 6, 2010.
- [5] -M. J. Smith, E. Cope, The Effects of Temperature Variation on Single-Lens-Reflex Digital Camera Calibration Parameters, Faculty of Engineering, The University of Nottingham, Innovation Park, Triumph Road, Nottingham NG7 2TU, UK 2010.
- [6] -Steimacher, A.N. Medina, , A.C. Bento, J.H. Rohling, M.L. Baesso,V.C.S. Reynoso, S.M. Lima, M.N. Petrovich, D.W. Hewak, Temperature coefficient of the optical path length as a function of the temperature in different optical glasses, Journal of Non-Crystalline Solids 348 240–244,2004.
- [7] -M. L. Baesso , E. Pelisson, J. H. Rohling , A. N. Medina, A. C. Bento, L. C. M. Miranda ,S. M. Lima, J. A. Sampaio, T. Catunda, Temperature dependence of thermo-optical properties of optical glasses determined by Thermal Lens Spectrometry ,Analytical Sciences April 2001, Vol.17 Special Issue, The Japan Society for Analytical Chemistry2001.
- [8] -J. H. Burge, Optical Materials ,Focal length change due to temperature change: University of Arizona,pp-1- 10 ,2010