

دراسة مقارنة لتصميم الياف بصرية من السليكا المطعمة للتطبيقات المختلفة

محمد عبدالله حسين

قسم الفيزياء، كلية العلوم . جامعة كركوك

mohdphy@yahoo.com

تاريخ قبول البحث: 2011/2/8

تاريخ استلام البحث: 2010/12/1

الخلاصة

الهدف من هذا البحث هو تصميم الياف بصرية لغرض توضيفها في الاستخدامات العملية المختلفة ودراسة خواصها التالية: الزاوية الحرجة، الفتحة العددية، التردد العياري، عدد الانمط، المساحة الفعالة وجميعها دالة للطول الموجي، وبتثبيت مادة الغلاف ذات معامل الانكسار الاصغر وتغيير مادة اللب ذات معامل الانكسار الاكبر فقد تم اختيار ثلاثة انواع من مواد السليكا المطعمة : 1.0 m/o F+99.0 m/o SiO₂ , 7.9 m/o GeO₂+92.1 m/o SiO₂ , 16.9 m/o Na₂O+32.5 m/o B₂O₃+50.6 m/o SiO₂ وحساب معامل الانكسار دالة للطول الموجي باستخدام معادلة سيليمير، وباختيار مناسب لمادتي القلب والغلاف تم تصميم نوعين من الليف البصري بالاخذ بنظر الاعتبار نوافذ الاتصالات فان الليف الاول القلب له من مادة 1.0 m/o F+99.0 m/o SiO₂ والغلاف من مادة 16.9 m/o Na₂O+32.5 m/o B₂O₃+50.6 m/o SiO₂ والليف الثاني القلب له من مادة 7.9 m/o GeO₂+92.1 m/o SiO₂ يستخدم كليف استقبال لكبر الفتحة العددية له اما الليف الثاني القلب له من مادة 1.0 m/o F+99.0 m/o SiO₂ يمكن استخدامه كليف ارسال لصغر الفتحة العددية له.

الكلمات الدالة : الياف البصرية ، تطبيقات الياف البصرية ، تصميم الياف البصرية ، وظيفه الياف البصرية

Comparing Study To Design Optical Fiber From Doped Silica For Different Application

Mohammed Abdullah Husein

Department of Physics, College of Science - University of Kirkuk

Received date: 1/12/2010

Accepted date: 8/2/2011

Abstract

The purpose of this research is to design optical fibers which can be used for different of practical applications and study its characteristics :critical angle ,numerical aperture ,normalized frequency ,number modes ,effective area .which are all function of wavelength .fixing the cladding material which has the smaller refractive index and varying the core material which has a larger refraction index ,three types of doped material was chosen : 16.9 m/o Na₂O+32.5 m/o B₂O₃+50.6 m/o SiO₂ ,7.9 m/o GeO₂+92.1 m/o SiO₂ ,1.0 m/o F+99.0 m/o SiO₂and calculating the refractive index as function of wavelength using selimer equation and by a proper choice of the core and clad materials ,two type of optical fibers were designed .considering the communication windows ,the first fiber has core material of : 16.9 m/o Na₂O+32.5 m/o B₂O₃+50.6 m/o SiO₂ and a clad of 1.0 m/o F+99.0 m/o SiO₂as receiving fiber clad to its large numerical aperture and the second fiber has a core material of 7.9 m/o GeO₂+92.1 m/o SiO₂and cladding material of 1.0 m/o F+99.0 m/o SiO₂this can be used as transmitting fiber due to its small numerical aperture .

Keyword :Optical fibers , Optical fiber applications , Optical fibers design.

المقدمة

الهدف من صناعة الليف البصري هو نقل الموجات الكهرومغناطيسية ويعتمد هذا من جهة على صفات من تردد وطول موجي وعلى الطاقة التي تحملها الموجة ومن جهة اخرى يعتمد على الصفات البصرية لمكونات الليف البصري ومنها معامل الانكسار الذي يعطى بدلالة الصفات الكهربائية والمغناطيسية للمادة. يكون الليف البصري على العموم اسطواناني الشكل كاسلك او القابلو لبه من مادة شفافة عازلة كالسليكا او البلاستيك يستخدم طدايل لنقل الموجة الضوئية ويدعى ايضا دليل الموجة البصري ،حيث يصطدم الشعاع الضوئي الذي يسقط عند مقطع مدخله فيتقيد ضمن جدرانه الداخلية وهكذا يضطر للبقاء داخله حتى يعبر خلاله الى المكان المنشود ،عمله هذا يعتمد من حيث الاساس الفيزيائي على ظاهرة الانعكاس الداخلي الكلي (TIR) حيث يتحقق ذلك اذا كان لب الليف (Core) من مادة شفافة عازلة ذات معامل انكسار (n_1) يحيط به مادة شفافة صلبة عازلة اخرى بمعامل انكسار (n_2) اقل من معامل انكسار مادة اللب تدعى هذه الطبقة بالغللاف (Clad) ويحيط اللب والغللاف مادة واقية تدعى بالغطاء (Jacket) للمحافظة على سلامة الليف ومتانته فيبدو وكأنه سلك او قابلو كهربائي محوري [1].

ان اول تصميم لتركيب مغلف كدليل للموجة جاء عام (1966) ليتمثل اول ليف بصري يستخدم كوسط للاتصالات الضوئية ،في البداية كان التوهين عالي جدا ويصل الى حوالي (1000 dB/Km) وفي عام (1970) تم تقليل التوهين الى (5 dB/Km) ومن ثم تم تقليله الى (0.2 dB/Km) سنة (1970) [2] . وفي عام (1983) انخفض التوهين ليصبح (0.1 dB/Km) والسبب في ذلك يعود الى التطور الهائل في تقنيات التصنيع وحسن اختيار المواد وتنقيتها اثناء تصنيع الاليف [3] .

يعد الليف البصري من الوسائل المهمة في العديد من التطبيقات لما يمتاز به من مواصفات عديدة منها صغر حجمه وقابليته على نقل كميات كبيرة من المعلومات وعدم تداخل المعلومات المنقولة في الليف البصري وكذلك ضمان امن وسلامة الاشارة المنقولة في الليف [4] .فضلا عن عدم تاثره بالمجالات الخارجية .

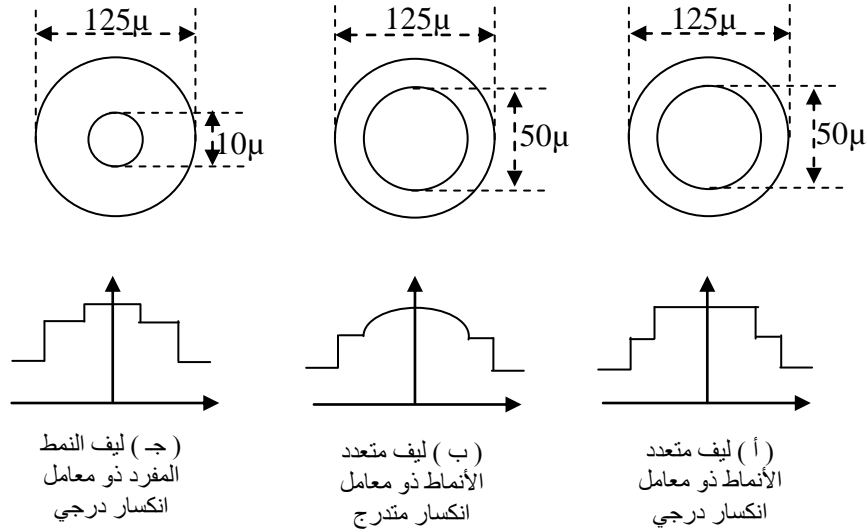
ونظرا لدقة استخدامات الليف البصري في المجالات البحثية والطبية والصناعية فان للفتحة العددية للليف البصري دور كبير في استلام كمية الضوء التي تنتقل بواسطة الليف البصري كما تعتبر مقياس لقابلية الليف البصري على تجميع الضوء من المصادر الضوئية [1]. لذلك فان الفتحة العددية لكل من ليف الاستلام وليف الارسال تختار بحيث توفر افضل اقتران وبشكل دقيق لضمان النقل الافضل لاشارة الليزر بمعنى النقاط اكبر كمية من الاشعة الساقطة على نهايته كما يستخدم الليف البصري في نقل واستلام الاشارة المنعكسة عن جسم دوار (Rotator) لقياس معدل جريان مائع [5] .

الجزء النظري

Types of Optical Fibers

انواع الاليف البصرية

فاذا ما اعتمدنا على شكل معامل الانكسار فان الاليف تصنف بانها ذات معامل انكسار درجي Step-Index او ذات معامل انكسار متدرج Graded-Index وكلاهما متعدد الانماط كما في الشكل أ، ب فضلا عن وجود صنف اخر هو ليف ذو معامل انكسار درجي منفرد النمط كما في الشكل ج ،وبالتالي يعتمد على كيفية توزيع صفات اللب البصرية عبر مقطعه .الشكل (1) يوضح هذا الاختلاف ويبين ابعاد كل نوع [1] .



الشكل (1) الانواع المختلفة من الاليف البصرية مع نماذجها البصرية

يتميز النوع الاول من الاليف البصرية بالتغير الحدي المفاجئ لمعامل الانكسار لللب الليف عند الحد الفاصل بينه وبين غلافه ويدعى هذا النوع بالليف ذو معامل الانكسار الدرجي Step-Index Fiber اما النوع الاخر فيتميز بكون معامل الانكسار لللب الليف يتغير بشكل تدريجي حتى غلافه ويدعى وفق هذا الوصف بالليف ذو معامل الانكسار المتدرج Graded-Index Fiber ينتمي الى النوع الاول صنفان من الاليف البصرية ويأتي هذا التقسيم على اساس عدد انماط التذبذب التي يمكنها المرور عبر الليف فقد يسمح بمرور نمط تذبذب واحد للحزمة الضوئية الساقطة عند مدخله ويدعى بليف النمط المفرد Single mode Fiber اما الصنف الثاني فيسمح لعدة انماط تذبذب بالمرور خلاله ويدعى بليف متعدد الانماط Multimode Fiber [1].

Properties of Optical Fiber

خواص الاليف البصرية

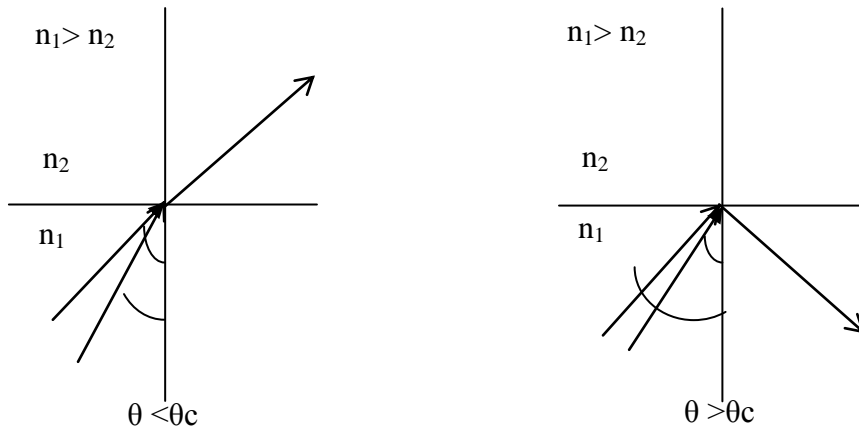
1- الزاوية الحرجة: Critical angle

تعرف الزاوية الحرجة على انها زاوية السقوط في الوسط الاول والتي تقابل زاوية انكسار في الوسط الثاني مساوية ل 90° ويشترط ان يكون معامل انكسار الوسط الاول اكبر من معامل انكسار الوسط الثاني لانه في هذه الحالة سوف يبتعد الشعاع المنكسر عن العمود المقام ليحقق زاوية 90° ويتطبيق قانون سنيل snells law نجد ان [6].

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$$

اذ تمثل n_2, n_1 معاملات انكسار كل من الوسط الكثيف والوسط الاقل كثافة على التوالي .

فاذا مرت الاشعة من وسط كثيف الى وسط اقل كثافة بحيث $n_1 > n_2$ وكانت زاوية السقوط اكبر من الزاوية الحرجة سيعاني الشعاع الساقط انعكاسا كلياً عند الحد الفاصل بين الوسطين وينعكس كلياً الى الوسط ذاته وكما مبين بالشكل (2) وتدعى هذه الظاهرة بالانعكاس الداخلي الكلي [1].



الشكل (2) الانعكاس عند الحد الفاصل بين سطحين

2- الفتحة العددية: Numerical Aperture

يتطلب اقتران الضوء في اللب البصري وقوع شعاع ضمن زاوية معينة تدعى زاوية القبول ويعبر عن قدرة تجميع الضوء بجيب زاوية القبول والذي يطلق عليه فتحة النفوذ العددية وهي مقياس لقابلية الليف البصري على تجميع الضوء عند ربط المصادر الضوئية الى الليف [1]ويمكن التعبير عنها بالعلاقة التالية :

$$NA = n_o \sin \theta_a$$

ضمن قانون سنيل: θ_a ان الفتحة العددية للليف الضوئي هي جيب زاوية القبول

$$n_o \sin \theta_a = n_1 \sin(90 - \theta_c) \dots \dots \dots (1)$$

$$n_o \sin \theta_a = n_1 \cos \theta_c \dots \dots \dots (2)$$

$$\cos \theta = \sqrt{1 - \sin^2 \theta}$$

$$n_o \sin \theta_a = n_1 \sqrt{1 - \sin^2 \theta_c} \dots \dots \dots (3)$$

$$\sin \theta_c = n_2 / n_1$$

$$n_o \sin \theta_a = n_1 \sqrt{1 - (n_2 / n_1)^2} \dots \dots \dots (4)$$

$$\sin \theta_a = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$

$$NA = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$

3- التردد العياري: Normalized Frequency

هواحد المعالم المهمة في الاليف الضوئية حيث يحدد عدد الانماط (Nm) المنتشرة داخل الليف الضوئي عن طريق التحكم بالقطر ويوصف بالعلاقة التالية [1]:

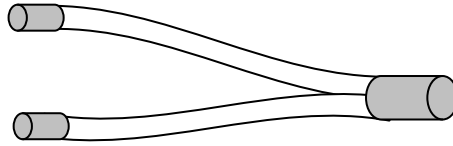
$$V = \frac{2\pi a}{\lambda} (n_1^2 - n_2^2)^{1/2}$$

من هذه العلاقة نجد ان V يتناسب مع الفرق بين معاملتي انكسار القلب والقشرة ولذلك كلما كان الفرق صغيرا كان عدد الانماط Nm قليلا حيث ان:

$$N_m = V^2 / 2$$

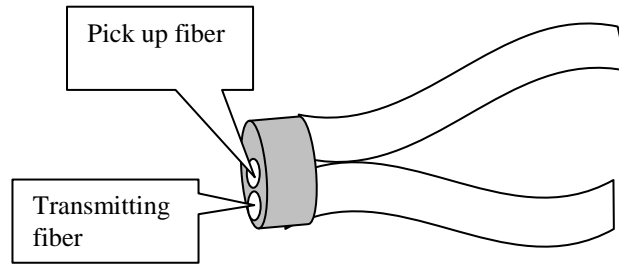
التقنيات المستخدمة في ارسال واستلام الاشارة

- عند استخدام الليف البصري في نقل المعلومات يجب التأكد من الاشارة المستلمة هي بنفس مواصفات الاشارة المرسله ولتحقيق هذا الهدف يجب استخدام تقنيات معينة في ارسال واستلام الاشارة وكما يلي [5] :
1. ليف ضوئي على شكل قابلو (cable) : جاهز Y-Coupler والموضح في الشكل (3) حيث يكون الذراع الاول كوحدة ارسال والذراع الثاني كوحدة التقاط.



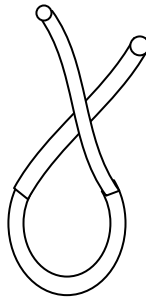
الشكل (3) يبين الليف نوع Y-Coupler يستخدم كوحدة ارسال

2. ليف ضوئي على شكل Y-Coupler (تصميم مختبري) : يتكون من ليفين منفردين احدهما يكون كوحدة ارسال والاخر كوحدة استلام كما في الشكل(4).



الشكل (4) يبين الليف نوع Y-Coupler يستخدم كوحدة استقبال

3. ليف منفرد: في هذه التقنية يعمل الليف المنفرد كوحدة ارسال واستلام في نفس الوقت بالاعتماد على امكانية ان المعلومات لا تتقاطع داخل الليف الضوئي اذا ما انتقلت في اتجاهين متعاكسين كما في الشكل(5).



الشكل (5) يبين ليف منفرد

Theoretical Calculation

الحسابات النظرية

في هذا البحث تم حساب معامل الانكسار كدالة للطول الموجي وذلك لغرض التمييز بين المواد المختلفة المقترحة للدراسة وهي المواد التي سيتم استخدامها في تصنيع الياق بصرية باستخدام معادلة سيلميير [7].

$$n^2 - 1 = \sum_{i=1}^p \frac{A_i \lambda_i^2}{\lambda^2 - \lambda_i^2}$$

ويمكن تطبيق هذه المعادلة على المواد المقترحة فبالنسبة للسليكا يمكن استخدام ثلاثة قيم (حدود) في معادلة Sellmeier لتصبح بالشكل التالي :

$$n^2 - 1 = \frac{A_1 \lambda^2}{\lambda^2 - \lambda_1^2} + \frac{A_2 \lambda^2}{\lambda^2 - \lambda_2^2} + \frac{A_3 \lambda^2}{\lambda^2 - \lambda_3^2}$$

وقد تم استخراج قيم هذه الثوابت من جداول خاصة [7].

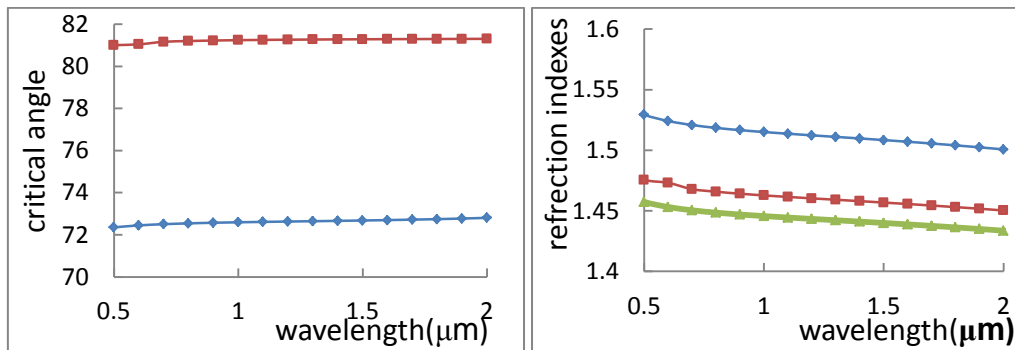
Results and Discussion

النتائج والمناقشة

1. يشير الشكل رقم (6) الى تغير معامل الانكسار (Refractive Index) دالة للطول الموجي (Wavelength) اذ يبين ان المادة نوع (16.9 m/o Na₂O+32.5 m/o B₂O₃+50.6 m/o SiO₂) لها اكبر معامل انكسار وعلى مدى (0.5-2) μm من الاطوال الموجية في حين يبين الشكل ان المادة (7.9 m/o GeO₂+92.1 m/o SiO₂) كان لها معامل انكسار اقل وتليها المادة (1.0 m/o F+99.0 m/o SiO₂)، وعلى الترتيب. ومن هذا الشكل يمكننا اختيار المادة التي يمكن ان تعمل كقلب او غلاف لليق الضوئي اعتمادا على قيمة معامل الانكسار وعلى هذا الاساس تم اختيار الالياف الضوئية التالية .

الليف رقم (1) القلب من مادة (16.9 m/o Na₂O+32.5 m/o B₂O₃+50.6 m/o SiO₂) والغلاف من مادة (1.0 m/o F+99.0 m/o SiO₂) .

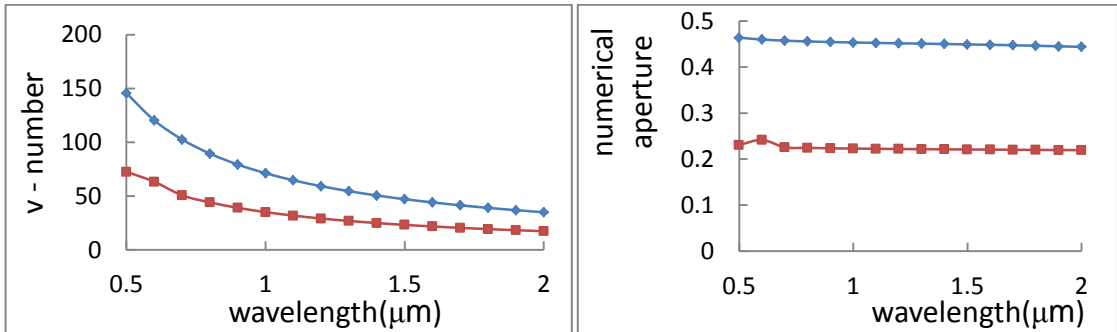
الليف رقم (2) القلب من مادة (7.9 m/o GeO₂+92.1 m/o SiO₂) والغلاف من مادة (1.0 m/o F+99.0 m/o SiO₂) .



الشكل (6) علاقة الطول الموجي مع معاملات الانكسار الشكل (7) علاقة الطول الموجي والزاوية الحرجة

2. الشكل رقم (7) يبين تغير الزاوية الحرجة (Critical Angle) للاليف الضوئية المقترحة في الدراسة كدالة للطول الموجي اذ بين الشكل ان الزاوية الحرجة لانتقال الضوء خلال الليف الضوئي تكون اقل زاوية حرجة لليف الضوئي رقم (1) وللأطوال الموجية $(0.5-2)\mu\text{m}$ والليف رقم (2) ذو زاوية حرجة اكبر . ومن معرفة الزاوية الحرجة لانتقال الضوء خلال الليف الضوئي يمكن تحديد الزاوية التي يمكن من خلالها تسليط ضوء الليزر عبر الليف الضوئي لكي يتم نقل اكبر اشارة للضوء المستخدم خلاله .

3 . الشكل رقم (8) يبين تغير الفتحة العددية (Numerical Aperture) كدالة للطول الموجي لكل نوع من الاليف الضوئية المقترحة في هذه الدراسة . يبين الشكل ان لليف رقم (1) اكبر فتحة عددية وعلى مدى الاطوال الموجية $(0.5-2)\mu\text{m}$ بينما الليف رقم (2) كان له فتحة عددية اقل من الليف رقم (1) ، وبذلك يمكن ان يستخدم الليف رقم (1) كليف استقبال والليف رقم (2) كليف ارسال وذلك بالاعتماد على الفتحة العددية الخاصة بكل نوع .

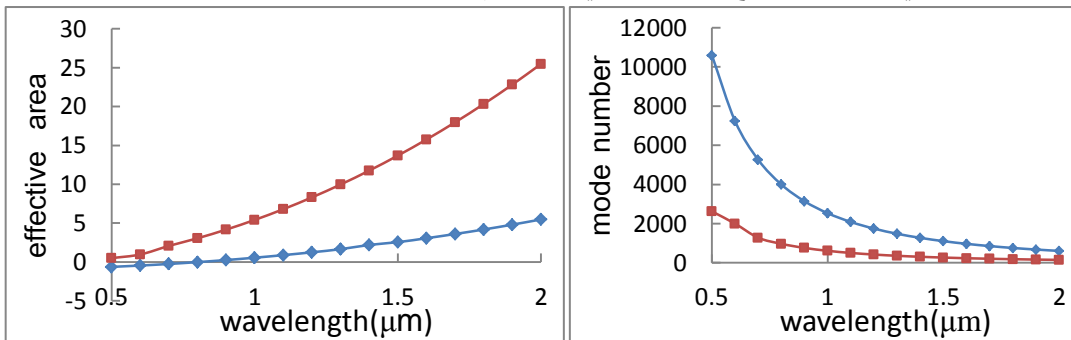


الشكل (9) علاقة الطول الموجي والتردد العياري

الشكل (8) علاقة الطول الموجي والفتحة العددية

4- يبين الشكل رقم (9) تغير التردد العياري (Normalized Frequency) كدالة للطول الموجي حيث تبين ان الليف رقم (1) يكون له اكبر تردد عياري على مدى الاطوال الموجية $(0.5-2)\mu\text{m}$ والليف رقم (2) له تردد عياري اقل ومن خلال هذا المعلم يمكن معرفة عدد الانماط المنتشرة خلال الليف الضوئي المقترح .

5 . الشكل رقم (10) يبين تغير عدد الانماط (Mode Number) كدالة للطول الموجي اذ يبين ان الليف الضوئي رقم (1) له اكبر عدد انماط بينما الليف رقم (2) يمتلك عدد انماط اقل من الليف رقم (1) . من خلال تحديد عدد الانماط المنتقلة خلال الليف الضوئي يمكن تحديد نوع الليف الضوئي المستخدم للاغراض المختلفة .



الشكل (11) علاقة الطول الموجي والمساحة الفعالة

الشكل (10) علاقة الطول الموجي وعدد الانماط

6 . يبين الشكل رقم (11) تغير المساحة المؤثرة (Effective Area) لقلب الليف الضوئي كدالة للطول الموجي حيث يبين الشكل ان الليف الضوئي رقم (1) المقترح خلال الدراسة له مساحة قلب صغيرة مقارنة مع الليف رقم (2) الذي له مساحة قلب اكبر حيث من معرفة المساحة المؤثرة يمكن تحديد نوعية الليف الضوئي عندما يراد استخدامه في التطبيقات اللاخطية .

Conclusions

الاستنتاجات

في هذا البحث تم الاستنتاج بان الليف البصري الذي تم تصميمه كليف استقبال مادة القلب له (16.9 m/o) يمتلك فتحة عدديّة اكبر من الفتحة العدديّة التي يمتلكها الليف البصري الذي تم استنتاجه من البحث السابق والموسوم (تصميم ودراسة الياف ضوئية من السليكا والسليكا المطعمة) كليف استقبال وكانت مادة القلب له (Pure Silica) ومادة الغلاف (13.5 m/o) $(\text{GeO}_2+86.5 \text{ m/o SiO}_2)$ وكما موضح في الجدول رقم (1) :

جدول (1): مقارنة الفتحة العدديّة للليف الاستقبال للبحث الحالي مع البحث السابق كدالة للطول الموجي.

Wavelength(μm)	NA1	NA2
0.5	0.463587596	0.25246
0.6	0.459637366	0.25031
0.7	0.457167405	0.24817
0.8	0.455467478	0.24699
0.9	0.454195693	0.24685
1.0	0.453168722	0.24749
1.1	0.452280483	0.24742
1.2	0.451463913	0.249
1.3	0.450673006	0.25101
1.4	0.449874302	0.25161
1.5	0.449040885	0.25236
1.6	0.448150489	0.25346
1.7	0.447181321	0.25457
1.8	0.446113742	0.25564
1.9	0.444926593	0.25659
2.0	0.443597934	0.2589

مما يتيح فرصة اكبر وكفاءة اعلى لاستلام الاشعة وتقليل الخسائر الناجمة عن الاقتران والتشتت ونقل اكبر قدر ممكن من المعلومات عبر الليف البصري الى المكان المقصود وبأقل خسارة .

References

المصادر

- 1- سهام عفيف، قندلا (2000) " فيزياء الألياف الضوئية أسس وتطبيقاتها" دار المسيرة للنشر والتوزيع، عمان، الأردن، 64-57، 101-123.
- 2-J. Gower (1984) 'Optical Communication System' prentce Hall International, INC, London.
- 4- C. A. Fredrick (1990) 'Fiber Optic Han Book for Engineers Scientists' McGraw, Hill, Inc, USA.
- 5-عبدالستار احمد عيسى،الجميلي (2004) " تصميم ودراسة أداء مقياس الجريان الليزري" رسالة ماجستير مقدمة الى مجلس كلية التربية، جامعة تكريت.
- 6-عماد،الريضي (2006) "المبادئ الاساسية في الفيزياء الجامعية" دار اليازوري العلمية للنشر والتوزيع، عمان، الاردن، 134-136.
- 7-John Buck A John Wiley (2004) Fundamentals of Optical Fibers and Edition by John Buck A John Wiley 2sons .Inc. Publication (2004).