P- ISSN 1991-8941 , E-ISSN 2706-6703
2016,10 (3) :99-108

مجلة جامعة الانبار للعلوم الصرفة (JUAPS)

Open Access

استنتاج رياضي لحساب معامل الانكسار الفعال n_{eff} ودراسة خصائص الانتشار في الالياف البلورية الفوتونية

مشعان عطا الله محمود

وزارة التربية– المديرية العامة لتربية محافظة الانبار

معلومات البحث:

تاريخ التسليم: 2013/00/00
تاريخ القبول: 2017/06/12
تاريخ النشر: 27/ 12/ 2017

DOI: 10.37652/juaps.2016.135148

الكلمات المفتاحية:

حساب معامل الانكسار الفعال ،
خصائص الانتشار ،
الالياف البلورية الفوتونية.

الخلاصة:

في هذه الدراسة تم اشتقاق معادلة رياضية لحساب كل من الجزء الهوائي وجزء السليكا للمسار الضوئي المنبعث من مركز الليف وذلك لحساب معامل الانكسار الفعال n_{eff} لمنطقة غلاف الليف البلوري الفوتوني حسب تقريب Silica Strand Model. وبمعرفة معامل الانكسار الفعال تم حساب ودراسة خصائص الانتشار للألياف البلورية الفوتونية ذات الفجوات الهوائية الدائرية، وذلك بالتحكم بالمعلمات الهندسية الرئيسية لليف البلوري الفوتوني والتي تشمل: (d ، Λ ، Nr ، MNr و d/Λ) قطر الفجوة الهوائية ،مسافة الخطوة pitch،عدد حلقات الفجوات الهوائية، عدد الحلقات المفقودة والجزء الهوائي حسب الترتيب.وكانت النتائج مقاربة للبحوث العالمية المنشورة لدراسة خصائص الانتشار، كما امكن تزحيف التشتت الصفري نحو الاطوال الموجية القصيرة للحصول على تشتت صفري λ_{ZD} عند الطول الموجي المرغوب بدلا من 1.155 μm و 1.300 μm في الالياف الضوئية التقليدية، وبذلك يمكن تعميم هذه الدراسة على الالياف البلورية الفوتونية مهما كان شكل وعدد حلقات الفجوات الهوائية، اضافة الى امكانية دراسة تلك الخصائص باستبدال الهواء باي سائل او غاز معلوم معامل انكساره.

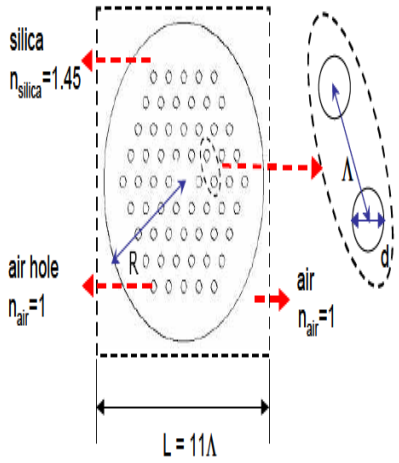
1- المقدمة :

إن الألياف البلورية الفوتونية (Photonic Crystal Fibers) (PCFs) او ما يسمى بالألياف المجهرية التركيب (Micro structured fibers) (MSFs) أو الالياف المجوفة (Holey Fibers) (HFs) تعتبر جيل جديد من الألياف الضوئية التقليدية. حيث تم صنع أول ليف بلوري فوتوني عام 1996 من قبل العالم J. C. Knight والتي هي عبارة عن تراكيب دورية منتظمة تتخللها فجوات هوائية منتظمة على شكل انابيب شعرية ممتدة على طول الليف وحول اللب [1]. هذه الألياف تتميز بخصائص مهمة وغير اعتيادية فضلا عن ذلك فأن هذه الألياف يمكنها توجيه الضوء ليس فقط بما يسمى بالانعكاس الداخلي الكلي (Total Internal Reflection) (TIR) (وإنما بتأثير فجوة الحزمة الفوتوني (Photonic Band-Gap Effect) ذلك بالاعتماد على تصميم الليف وشكل القلب. هذه الأنواع من الألياف تمتلك العديد من الخصائص والصفات الفريدة والتي لا يمكن انجازها في الألياف الضوئية التقليدية، حيث تتميز بتوهين اقل من 0.3dB/km [2] .

إن الهدف الرئيسي من تصميم هذه الألياف هو تحسين الأداء وتقليل تكاليف الليف في التطبيقات المختلفة. ونظرا لتطور انتاج اليزرات وتوليفها لتعمل باطوال موجية مختلفة، في الوقت الذي لازالت نوافذ الاتصالات محددة عند الطولين الموجيين 1300nmو 1550nm، فقد أصبح من الضروري الحصول على الياف ضوئية تتميز بمواصفات عند اطوال موجية يمكن ان تعمل في الاتصالات الضوئية. هذا وان التحكم بمنحنى التشتت ودفع الطول الموجي للتشتت الصفري نحو الاطوال الموجية الأطول او الأقصر يمكن انجازه من

* Corresponding author at: Ministry of Education - General Directorate of Education in Anbar Governorate .E-mail address: **Mashaan_alheety @yahoo.com**

خلال التحكم بالمعلمات الهندسية (Geometrical parameters) لليف البلوري الفوتوني والمتمثلة بعدد الفجوات الهوائية المفقودة (MNr) في قلب الليف (والذي بدوره يحدد مساحة قلب الليف) وعدد حلقات الفجوات الهوائية (Nr) التي تحيط بقلب الليف وتمثل في الوقت ذاته منطقة الغلاف ، وقطر الفجوة الهوائية (d) وكذلك مسافة الخطوة أي (Λ) Pitch Size والتي تمثل البعد بين مركزي أي فجوتين هوائيتين متجاورتين. هذه المعلمات موضحة في الشكل (1). هذا وان المعلمات تعطي مرونة كبيرة في التصميم للحصول على التطبيقات المطلوبة [3].



الشكل(1) مقطع عرضي في الليف البلوري الفوتوني يبين المعلمات الهندسية لليف

في العقدين الأخيرين ظهرت العديد من الدراسات في الالياف البلورية الفوتونية وبشكل واسع ولتطبيقات مختلفة، حيث بينت هذه الدراسات اهمية هذه الالياف في الحصول على نمط مفرد ولمدى واسع من الأطوال الموجية، وتتميز هذه الالياف بمنحني تشتت مسطح وقليل التشتت فضلا عن امتلاكها مساحة قلب صغيرة مفيدة في التطبيقات اللاخطية، والمقدرة على امتلاك فتحة عددية كبيرة ولب ذو مساحة صغيرة اضافة الى السيطرة على منحنى التشتت بكفاءة عالية فضلا عن امكانية دفع الطول الموجي للتشتت الصفري باتجاه المنطقة المرئية او الحمراء حسب التطبيق المطلوب [3,4]. ومن بين تلك الدراسات المجهر المصمم لتصوير الخلايا والانسجة الحية Two-Photon Laser Scanning Microscopy (TPLSM) باستخدام المصدر الليزري a Ti:sapphire Laser Excitation Source ($Ti:Al_2O_3$), [5].

كما استخدمت الالياف متعددة النوى لتطبيق الاستشعار متعدد المعالم كما هو الحال في مقياس تداخل ماش- زندر Mach-Zehnder [6,7] وفي مقياس تداخل ساكنس Sagnac Loop interferometers [8.9].

يتشر الضوء من خلال عيب يحدث في قلب الليف بإزالة واحد او اكثر من الانابيب الشعرية للفجوات الهوائية لاستبدالها بالسليكا النقية مما يؤدي الى حصر النمط الأساسي للضوء داخل ذلك العيب بينما تنعكس الانماط الاخرى مرتدة الى الخارج او تتسرب عبر فجوات التركيب البلوري وتضمحل بسرعة حتى لو كان معامل انكسار اللب واطئ [10]. وبحسب نوع العيب يتم توجيه الضوء بآلية (TIR) او (PBGE)، ففي الالية الثانية يحصر اكثر من 99% من الضوء المنتشر في فجوات لب الليف وبدون ان تصاحبه خسارة، وان هذه الالية حساسة لاي تغير في هندسة الليف مهما كانت صغيرة، ويشترط مطابقة ابعاد التراكيب الدورية مع الاطوال الموجية للضوء الساقط للحصول على حالة الرنين ليتوجه الضوء داخل التركيب ويرتد الضوء خارجا اذا ما كانت ابعاد التراكيب اقل من الطول الموجي للضوء الساقط [11].

2-التصميم المقترح:

ان التصميم المقترح في هذه الدراسة لليف يتكون في الأساس من مادة السليكا النقية SiO_2 اذ توجد حلقة واحدة تتضمن 6 فجوات هوائية دائرية مرتبة بشكل سداسي Hexagonal حول مركز الليف والذي يضم فجوة هوائية مركزية مفقودة مملوءة بمادة السليكا و

يطلق على هذا الليف بليف ذي قلب بفجوة هوائية واحدة مفقودة One missing hole، وان هذه المنطقة ستشكل بالتالي قلب الليف ومعامل انكسارها هو معامل انكسار السليكا. كما يمكن اضافة حلقة ثانية من الفجوات الهوائية والتي تتضمن 12 فجوة هوائية وكذلك حلقة ثالثة تضم 18 فجوة هوائية وهكذا. هذه الحلقات (الحلقة الأولى والحلقات التالية) من الفجوات الهوائية تشكل غلاف الليف. درست خصائص الليف المقترح لمدى من الاطوال الموجية $0.2 \le \lambda \le 2\mu m$.

2- 1 الجزء النظري

في دراستنا هذه سيتم البحث عن إيجاد تقريب رياضي بسيط لحساب معامل الانكسار الفعال في الألياف البلورية الفوتونية.

ان قيمة معامل انكسار مادة الغلاف (معامل الانكسار الفعال (n_{eff}) تقع بين قيمتي معامل انكسار الهواء (الفجوات الهوائية $n_{air}=1$) ومعامل انكسار السليكا النقية ($n_{silica}=1.642$) أي أن

$$n_{air} < n_{eff} < n_{silica} \qquad (1)$$

وقد اعتمد تصميم الليف البلوري على التقريب Silica Strand Model للباحث Chen [12] ، والذي يكون مهما في حساب معامل الانكسار الفعال لغلاف الليف البلوري الفوتوني (PCF):

$$n_{eff} = n_{air} * P_{air} + n_{silica} * P_{silica} \qquad (2)$$

حيث يمثل الحد الأول في الطرف الأيمن من المعادلة (2) معامل انكسار الهواء مضروبا في الجزء الهوائي P_{air} من الشعاع الذي يمثل سمك الغلاف، أما الحد الثاني يمثل معامل انكسار السليكا والذي يتم الحصول عليه من معادلة سيلماير Sellmeier مضروبا في جزء السليكا P_{silica} المتبقي من سمك الغلاف للشعاع.

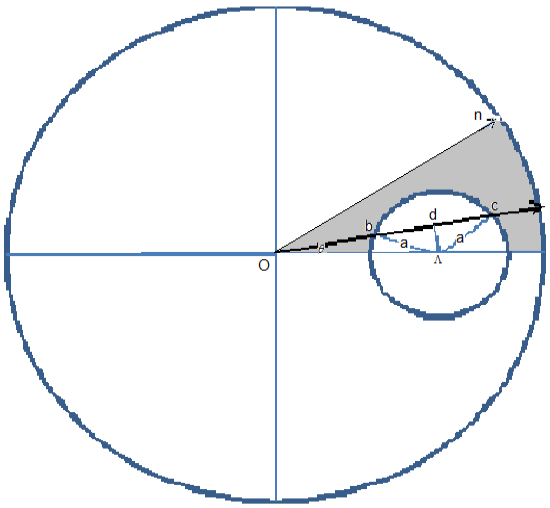
هذا وان معادلة سيلماير Sellmeier تأخذ الشكل الآتي[13]:-

$$n_{Si}(\lambda)=\sqrt{1+\sum_{i=1}^{3} A_i \cdot \frac{\lambda^2}{\lambda^2-\lambda_i^2}} \quad \text{with} \quad A_i=\begin{pmatrix}0.6961663\\0.4079426\\0.8974794\end{pmatrix} \text{ and } \lambda_i=\begin{pmatrix}0.068404\\0.1162414\\9.896161\end{pmatrix} \qquad (3)$$

حيث ان A_i تمثل معاملات سيلماير المتعلقة بالترددات الداخلية لذرات المادة عند تعرضها لأشعة خارجية. و إن λ_i تمثل الأطوال الموجية الناتجة عن هذه الترددات. ومن الجدير بالذكر ان قيم هذه المعاملات تعتمد على نوع مادة الليف، والمعاملات اعلاه تمثل معاملات مادة السليكا.

2-2 الجزء العملي :

تم اخذ مقطع عرضي لليف المقترح والذي مركزه حلقة هوائية مفقودة اي مليئة بالسليكا النقية محاطة بحلقة تضم 6 فجوات هوائية متماثلة مرتبة بشكل سداسي حول مركز الليف ولكونها بشكل سداسي متماثل فان معامل الانكسار الفعال للمقطع الذي يقابل زاوية مركزية مقدارها 30^0 يمثل معامل الانكسار الفعال لغلاف الليف، ولهذا التناظر وللسهولة اقتصرت الدراسة على المسارات الضوئية المنطلقة من مركز الليف بزاوية θ حيث $0 \le \theta \le 30$ (o) ولفجوة هوائية واحدة، كما في الشكل الاتي:



الشكل (2) مقطع عرضي لليف مقترح

لغرض تطبيق التقريب Silica Strand Model للباحث Chen لابد من ايجاد كل من جزء الهواء وجزء السليكا للمسارات الضوئية المنطلقة من مركز الليف الى محيط الليف بزاوية θ لذا تم اخذ الفجوة الهوائية التي مركزها Λ ونصف قطرها(a) وطول المسار

الضوئي عبر الفجوة الهوائية (bc) والذي يمكن حسابه بتطبيق نظرية فيثاغورس بعد انزال المستقيم Λd عمود عليه والذي ينصفه حيث:

$$(bd)^2=a^2-(\Lambda d)^2$$

لذا يكون طول $bc=L_{air}$ من المعادلة اعلاه نجد:

$$\therefore L_{air}=2\sqrt{a^2-\Lambda^2\sin^2\theta}\Rightarrow l_{air}=2[a^2-\frac{\Lambda^2}{2}(1-\cos 2\theta)]^{1/2} \quad (4)$$

ومن المعادلة اعلاه نجد ان عندما

بينما عندما يكون الشعاع مماسيا للفجوة الهوائية فان $L_{air}=0$

فاذا كان طول المسار البصري R يكون كل من جزء الهواء وجزء السليكا كما ياتي :

$$P_{air}=\frac{L_{air}}{R}, p_{silica}=\frac{L_{silica}}{R} \quad (5)$$

تم اعتبار قطر غلاف الليف ذو Nr حلقة من الفجوات الهوائية هو:

$$R=Nr*\Lambda+4a \quad (6)$$

فيكون قطر غلاف الليف ذو الحلقة الهوائية الواحدة هو :

$$R=\Lambda+4a \quad (7)$$

$$n_{eff}=\frac{2}{\Lambda+4a}\left(\left(a^2-\frac{\Lambda^2}{2}(1-\cos 2\theta)\right)^{1/2}*n_{air}+(\frac{1}{2}\Lambda+2a)-\left(a^2-\frac{\Lambda^2}{2}(1-\cos 2\theta)\right)^{1/2}*n_{silica}\right) \quad (8)$$

وبذلك يمكن تطبيق المعادلة (1) لحساب معامل الانكسار الفعال n_{eff} وباستخدام برنامج (Matlab) الذي يعمل بالزوايا النصف قطرية.

وبإيجاد معامل الانكسار الفعال يصبح من السهل حساب ودراسة خصائص الليف المقترح، وتعميم تلك الدراسة لاي ليف مهما كان شكل وعدد حلقات الفجوات الهوائية، ومن الجدير بالذكر انه يمكن استبدال الهواء في الفجوات الهوائية بمادة أخرى ذات معامل انكسار معلوم مما يعني أننا سنحصل على موصفات جديدة لتطبيقات أخرى اضافة الى المعلمات الهندسية الموضحة في الشكل (1)

وباختلاف أقطار الفجوات الهوائية لليف يمكن تغيم منحني التشتت و الحصول على منحني يتميز بتشتت مسطح أو بقيم صفر أو قريبة من الصفر لغرض توظيف هذا الليف في استخدامات معينة [15]، كذلك يمكن استخدام هذا التقريب لدراسة خصائص الانتشار في الأليـاف البلوريـة عنـد اسـتبدال الهـواء بسـائل أو غـاز معلـوم معامـل انكساره، هذه الآلية تعطي حرية أكثر في تنغيم التشتت. وبذلك أصبح بالإمكان التحكم بخصائص الليف البلوري الفوتوني ليس من خلال المعلمات الهندسية لليف فقط، بل كذلك بالاعتماد على نوع السائل أو الغاز المستخدم[14].

ومن معرفة معامل الانكسار الفعال يمكننا حساب خصائص الانتشار في الليف المقترح.

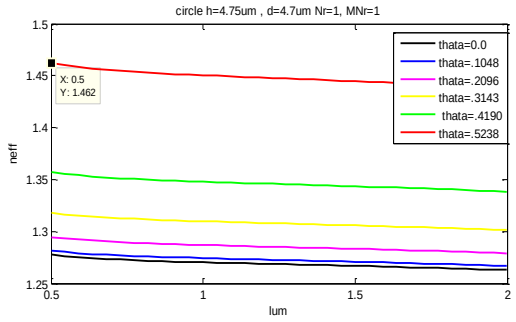
3- تأثير المعلمات الهندسية لليف PCF على خصائص الانتشار.

في هذه الفقرة سيتم عرض تأثير زاوية ميل الشعاع الضوئي والمعلمات الهندسية على خصائص الانتشار في الالياف البلورية الفوتونية، كما سيتم وبشكل خاص بيان ذلك التأثير على سلوكية منحني التشتت من حيث الحصول على القيم الصفرية او التسطح خصوصا عند نوافذ الاتصالات.

1.3- تأثير زاوية ميل الشعاع الضوئي على معامل الانكسار الفعال (n_{eff}) effective refractive index

يبين الشكل (3) ان (n_{eff}) معامل الانكسار الفعال لليف البلوري الفوتوني (المقترح) دالة للطول الموجي وان قيمته تتناقص بزيادة الطول ألموجي، وان الليف المقترح ذو قلب صلد يتكون غلافه من حلقة واحدة من الفجوات الهوائية .كما يبين الشكل تغير قيمة n_{eff} بتغير قيمة زاوية الشعاع الضوئي وذلك حسب مرور الشعاع عبر الفجوات الهوائية حيث كلما زادت الزاوية تزداد قيمة n_{eff} حيث نلاحظ مثلا عندما تكون $\theta=0.5238$ من الزوايا النصف قطرية ان قيمة n_{eff} تتفق مع قيم معامل انكسار السليكا الناتجة عن معادلة سيليماير وعلى مدى من الاطوال الموجية، اما عندما تقل زاوية الشعاع فمثلا عندما $\theta=0.1048$ نلاحظ انخفاض اجمالي في قيمة n_{eff}

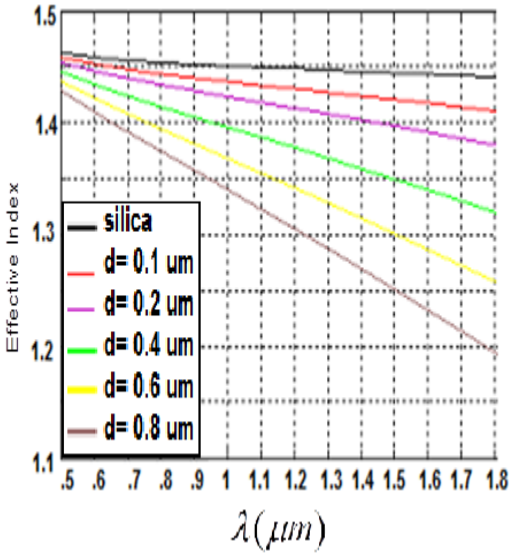
وعلى مدى الاطوال الموجية ويعود سبب ذلك إلى انه عند زيادة زاوية ميل الشعاع الضوئي فان الشعاع لا يمر عبر الفجوات الهوائية بل يمر عبر المنطقة الخالية من الفجوات فقط، (كما هو عند $\theta = 0.5238$) ما يعني ان منحنى معامل الانكسار الفعال ينطبق مع منحنى معامل انكسار السليكا لجميع الاطوال الموجية المستخدمة وهذا ما يبينه الشكل (3) الذي يوضح ان قيمة معامل الانكسار الفعال تساوي المقدار 1.462 (اي معامل انكسار السليكا عند الطول الموجي 0.5um) اضافة الى تطابق بقية قيم المنحني في الحالة التي لا يمرالشعاع الضوئي عبر اي من الفجوات الهوائية.كذلك يوضح الشكل ان قيمة n_{eff} تقل كلما صغرة الزاية لزيادة الجزء الهوائي على حساب جزء السليكا وهذا يتفق مع مقترح Chen معادلة (2) .



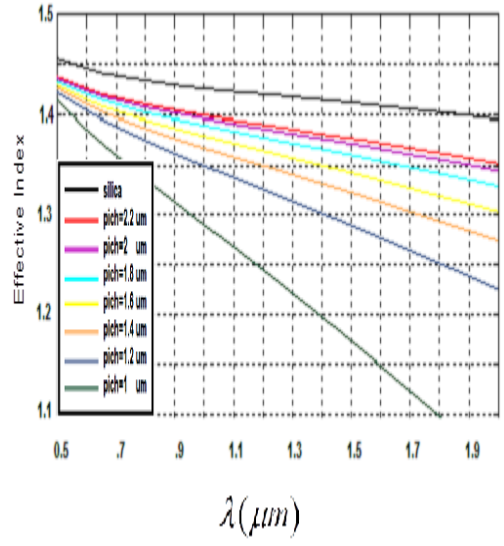
الشكل (3) معامل الانكسار الفعال كدالة للطول الموجي ولزوايا مختلفة بالقياس النصف قطري

2.3 تاثير كل من (Λ ، d) في قيمة معامل الانكسار الفعال:

لدراسة تاثير كل من (Λ ، d) في قيمة معامل الانكسار الفعال تم اخذ ليف يحوي على حلقة واحدة من الفجوات الهوائية وقد تم اخذ $\Lambda = 1\mu m$, وتغيير اقطار الفجوات الهوائية كما في الشكل (4)، وفي الحالة الثانية تم تثبيت قطر الفجوة الهوائية d=0.1 um وتغيير مسافة الخطوة كما في الشكل (5)، يظهر من الشكلين (4 و 5) ان قيمة معامل الانكسار الفعال تقل بزيادة نسبة الجزء الهوائي Λ/d ، وتفسير ذلك ان زيادة الجزء الهوائي تعني نقصان جزء السليكا لذلك فان معامل الانكسار الفعال يقل بزيادة الجزء الهوائي بالنسبة لجزء السايكا، وهذا ما يتفق مع تقريب الباحث Chen وحسب العلاقة (2). كما يلاحظ من الشكلين ان معامل الانكسار لكل من السليكا ومعامل الانكسار الفعال يقل مع زيادة الطول الموجي.



الشكل (4) معامل الانكسار الفعال دالة للطول الموجي لالياف ذات فجوات الهوائية متغيرة الاقطار عند $\Lambda = 1\mu m$, Nr=1



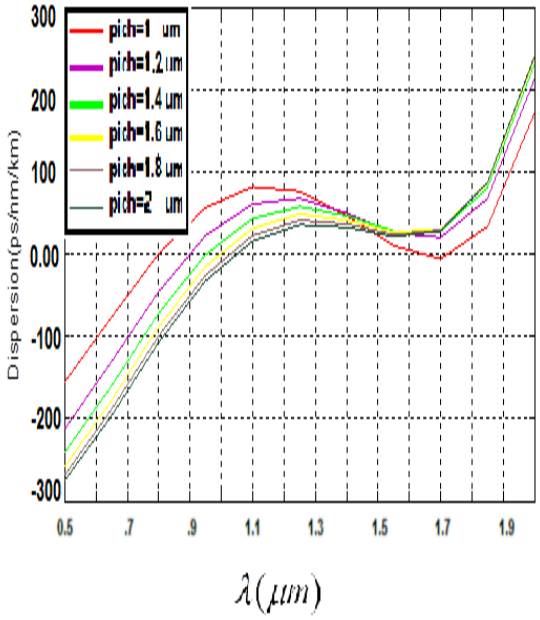
الشكل (5) معامل الانكسار الفعال دالة للطول الموجي لالياف ذات فجوات هوائية ثابتت الاقطار متغيرة مسافة الخطوة عند Nr=1، d=0.1 um

3.3- تأثير كل من (Λ ، d) في شكل منحني التشتت Dispersion.

من المعلوم ان التشتت حساس جدا للتغييرات التي تحصل في معامل الانكسار وهذا الاخير ايضا يتحسس لاي تغيير يحصل في المعلمات الهندسية، لذلك نلاحظ بان التشتت الكلي يتأثر بكل من مسافة الخطوة وقطر الفجوة الهوائية حيث كلما قلة قيمة الجزء الهوائي d/Λ اقترب معامل الانكسار الفعال (n_{eff}) من معامل انكسار السليكا مما يؤدي الى توليد قيمة عالية للتشتت ، وهذا يؤدي الى زحف نقطة التشتت الصفري باتجاه المنطقة المرئية كما نلاحظه في الأشكال (7,6) والتي تتفق مع العلاقة :

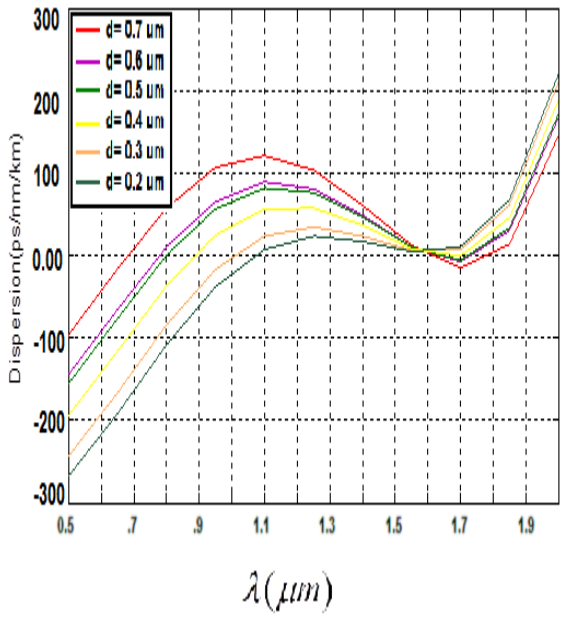
$$Dispersion = -\frac{\lambda}{c}\frac{\partial^2 R(n_{eff})}{\partial \lambda^2} \qquad (13)$$

وقد امكن الحصول على تشتت صفري عند الطول الموجي $\lambda_{ZD} = 0.8\mu m$ وهو الطول الموجي لليزر (Ti:Sapphire) حيث كانت قيمة التشتت هي (−0.001190ps/nm/km) عند Nr=1 و $\Lambda = 1\mu m, d = 0.558\mu m$ يستفاد من هذا الليزر في توليد نبضة ليزرية ،وبطاقة تصل الى (100Joule).



الشكل (6) **التشتت الكلي دالة للطول الموجي لليف ذو فجوات هوائية ثابتة الأقطار و مسافة خطوة متغيرة عند Nr= 1، للمدى**

$$\lambda = (0.5-2)\mu m$$



الشكل (7)التشتت الكلي دالة للطول الموجي لليف ذو فجوات هوائية متغيرة الاقطار وثابتة مسافة الخطوة عند Nr=1، للمدى

$$\lambda = (0.5-2)\mu m$$

يستفاد من التشتت السالب عند $(\lambda = 0.8\mu m)$ في توليد السوليتون (Soliton) والذي استخدمه الباحث Wodsworth [16].

4.3 التاثير على التردد المعياري V-Parameter (V_{PCF})

تعطى الفتحة العددية للالياف البلورية الفوتونية بالعلاقة:

$$NA = \sin\theta_{NA} = \{n_{cor}^2(\lambda) - n_{eff}^2(\lambda)\}^{1/2} \qquad (14)$$

حيث $n_{cor}(\lambda)$ معامل انكسار اللب والناتج من معادلة سيلماير.

أما التردد المعياري للألياف ألبلورية الفوتونية تستبدل نصف قطر قلب الليف (a) (الالياف التقليدية) بـ (Λ) وذلك في حالة ان المقترح فيه فجوة مركزية واحدة مفقودة One missing hole ويعطى بالعلاقة الآتية:

$$V_{PCF} = \frac{2\pi\Lambda}{\lambda}(NA) = \frac{2\pi\Lambda}{\lambda}\{n_{cor}^2(\lambda) - n_{eff}^2(\lambda)\}^{1/2} \qquad (15)$$

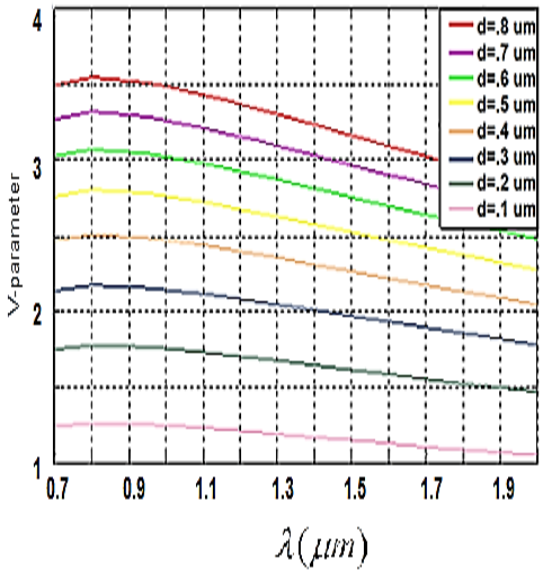
بسبب الاختلاف الكبير بين معامل انكسار اللب والغلاف المايكروي وتاثيره على معامل الانكسار الفعال ولان الأخير دالة للطول

الموجي وتقترب قيمته من معامل انكسار السليكا عند الاطوال الموجية القصيرة لذا يقل الفرق بين معامل انكسار اللب ومعامل الانكسار الفعال مما يؤدي الى تناقص قيمة الفتحة العددية، وبما ان التردد المعياري يتناسب طرديا مع قيمة الفتحة العددية من جهة وعكسيا مع الطول الموجي من جهة أخرى، لذا تحصل موازنة (Offset) بين هذين الامرين مما يجعل قيمة V_{PCF} ثابتة تقريبا [17]، وهذا ما وضحه مقترح العالم Mortensen وجماعته [18].

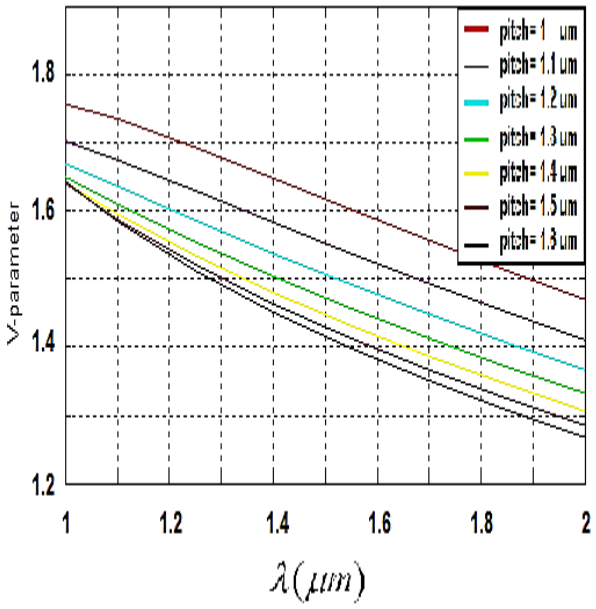
تظهر النتائج في الشكل (8)عند اخذ الكميات :

$$\Lambda = 1\mu m, d = (0.1-0.8)\mu m \ \& \ \frac{d}{\Lambda} = (0.1-0.8)$$ أنها

تتفق والمقترح أعلاه فكلما زادة قيمة الجزء الهوائي قل معامل الانكسار الفعال وبذلك زاد الفرق بين معاملي الانكسار مما يؤدي إلى زيادة قيمة الفتحة العددية المعادلة (14)مما يؤدي الى زيادة في قيمة التردد المعياري المعادلة (15). ومن الجدير بالذكر ان (PCF) تعمل بنمط مفرد عندما تكون قيمة $\frac{d}{\Lambda} < 0.42$ حيث يقل معامل الانكسار الفعال ويقل انتشار الضوء في المناطق البعيدة من محور الليف ،ولا يسمح للأنماط عالية الرتب من الانتشار بسبب الخسارة الكبيرة التي تبديها تلك الأنماط عند انتشارها [18]. أما إذا كانت قيمة $\frac{d}{\Lambda} \geq o.42$ فان خسائر الانتشار تقل للأنماط العالية وبذلك يسهل انتشارها في الغلاف المايكروي لليف [19] . إن المتغيرات التركيبية لها تأثير على قيم التردد المعياري لذا من خلال التحكم بتلك المتغيرات يمكن تحديد تشغيل الليف بالنمط المطلوب.



الشكل (8)التردد المعياري دالة للطول الموجي ،لليف عند تغيرقطر الفجوة الهوائية وثبوت مسافة الخطوة حيث Nr=1



الشكل (9) التردد المعياري دالة للطول الموجي عند ثبوت قطر الفجوة الهوائية وتغير مسافة الخطوة عند Nr=1

يبن الشكل (8) ان قيم التردد المعياري تزداد بزيادة قطر الفجوة الهوائية وذلك لان الفرق بين معامل الانكسار الفعال ومعامل انكسار السليكا يزداد بزيادة قطر الفجوة الهوائية مما يؤدي الى زيادة الفتحة العددية كما في العلاقة (14)، مما يؤدي الى زيادة قيم التردد المعياري والموضحة بالعلاقة (15)حيث تبين العلاقة أعلاه إن التردد المعياري يتناسب طرديا مع الفتحة العددية كما يبين الشكل أعلاه إن قيم

التردد المعياري تقل بزيادة الطول ألموجي بصورة طفيفة وذلك لان كل من معامل الانكسار الفعال ومعامل انكسار السليكا دالة للطول ألموجي وهذا يؤدي الى موازنة التغير في التردد المعياري.

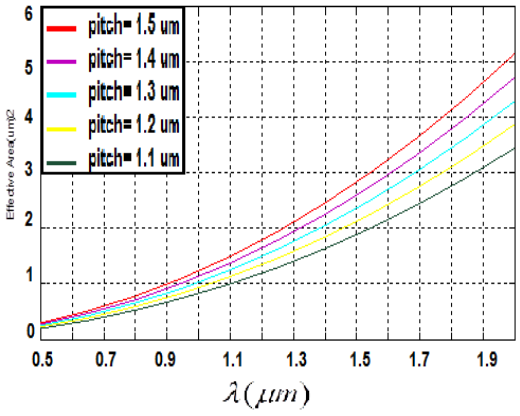
5.3- التأثير على المساحة الفعالة Effective Area (A_{eff}):

ترتبط المساحة الفعالة بكل من الفتحة العددية والطول الموجي بحسب العلاقة [20] :

$$A_{eff} = \frac{\lambda^2}{\pi}(1/NA^2 - 1) \qquad (16)$$

يبين الشكل (10) إن النتائج التي تم التوصل اليها تتفق والعلاقة أعلاه حيث كلما زاد الطول ألموجي تزداد قيمة المساحة الفعالة من جهة ،وعند زياد ة مسافة الخطو ة تزداد قيمة المساحة الفعالة وتعليل ذلك هو ان مسافة الخطوة ترتبط بنصف قطر الليف بمعنى انها مرتبطة بمساحة قلب الليف لذلك فان زيادة قيمة مسافة الخطوة يؤدي الى زيادة المساحة الفعالة. عندما تقل مسافة الخطوة تقل قيمة معامل الانكسار الفعال للغلاف وبذلك تقل قيمة الفتحة العددية حيث تتناسب المساحة الفعالة عكسيا مع مربعها.

وان القيمة الواطئة للمساحة الفعالة تعني زيادة في حصر الضوء في لب الليف وبذلك تقل خسائر الحصر .



الشكل (10) المساحة الفعالة دالة للطول الموجي عند ثبوت قطرالفجوة الهوائية Nr=1 وتغير مسافة الخطوة عند

4الاستنتاجات:

بينت هذه الدراسة انه بالإمكان وضع تقريب رياضي لدراسة خصائص الانتشار في الالياف البلورية الفوتونية ذات القلب الصلد. اذ يعتبر هذا التقريب سهل ومباشر في حساب معامل الانكسار الفعال لغلاف الليف وذلك بالاعتماد على المعلمات الرئيسية لليف، وبالتالي يمكن حساب جميع الخصائص لهذا الليف خاصة وانها تعتمد في الاساس على قيم معامل الانكسار الفعال. كما بينت الدراسة ان زيادة الجزء الهوائي $\frac{d}{\Lambda}$ يؤدي الى دفع التشتت الصفري نحو الاطوال الموجية الاقصر والتي تعتبر من التطبيقات الحديثة لهذه الالياف خصوصا عند $\lambda = 0.8\mu m$ لليزر Ti:Sapphire. حيث كان – (Dispersion= 0.001190 ps/nm/km) عند $\Lambda = 1\mu m, d = 0.558\mu m$.

ان هذه النتائج التي تم التوصل اليها تتفق مع معظم البحوث والدراسات العالمية.

المصادر

1-J.C. Knight, T.A. Birks, P.St.J. Russell, and D.M. Atkin, “All-silica single-mode optical fiber with photonic crystal cladding,” Opt. Lett. 21, 1547 (1996) .

2-Sandhir Ksingh ,Dharmendra Ksingh, Pmahto "Design and Analysis of a 2D- PCFstructure with Ultra-Flattened Dispersion and single modeOperation over a wide Range of wave length"Int.Jof Advanced Networking and Applications V:01,Issue:05 (2010).

3-J. C. Knight, T. A. Birks, A. Ortigosa-Branch, W. J. Wadsworth, and P. St. J. Russell, “Anomalous dispersion in photonic crystal fiber,” IEEE Photon. Technol. Lett. 12, 807-809 (2000).

11—Wong K. L.G., M.Sc. Thesis, University of Auckland (2003).

12-—Chen J. S. Y. ,'Optical Parametric amplification in PCFs" ,M.Sc Thesis Department of Physics, University of Auckland,(2006).

13-Buck J.A., "Fundamental of Optical Fibers ,2ndEd. John Wiley &Sons.,Inc.,HobokenNewJersey .(2004).

14-Al-heety Mashaan A. M., Mathematical model for calculate propagation properties in Photonic Crystal Fiber design. Ph.D Thesis, university of Tikrit, (2012).

15- Liu Zhao-lun,_ Hou Lan-tian, and Wang Wei "Tailoring Nonlinearity and Dispersion of Photonic Crystal Fibers Using Hybrid Cladding" Brazilian Journal of Physics, vol. 39, no. 1, March,(2009) .

16-Wadsworth W. J., Knight J. C., Blanch L. O., Mangan B. J., and P. St. Russell, "Soliton propagation at short wavelengths in photonic crystal fibers", Opt. Soc. Of Am. (1999).

17-Agrawal G. P., Nanlinear Fiber Optics, 2^{nd} Ed. San Diego CA:Academic. (1995).

18-Mortensen N. A., Folkenbery J. R., Nielsen M. D., and Hansen K. P., "Model cut off and the V parameter in photonic crystal fibers" ,Opt.Lett., Vol.28 No. 20 :1879-1881 .(2003).

19- Nielsen M. D., Folkenbery J. R.,and Mortensen N. A., "Single mode photonic crystal fiber with an effective area of 600 μm^2 and low bending loss" .Technical University of Denemark ,Lynghy , Denemark :1-10.

20- Mortensen N. A., Opt .Exp .,10:341-348 (2002) .

4-.K. Suzuki, H. Kubota, M. Tanaka, M. Fujita, and S. Kawanishi, "Optical properties of a low-loss polarization-maintaining photonic crystal fibers," Opt. Express 9, 676-680 (2001).

5- Jay R. Unruh,1 E. Shane Price,1 Roque Gagliano Molla,2 Lisa Stehno-Bittel,3 Carey K. Johnson,1 and Rongqing Hui2 " Two-photon microscopy with wavelength (2006).

6. Frazão, S.F.O.S.; Viegas, J.; Baptista, J.M.; Santos, J.L.; Kobelke, J.; Schuster, K. All Fiber Mach–Zehnder, Interferometer Based on Suspended Twin-Core Fiber. IEEE Photonics Technol. Lett. 2010, 22, 1300–1302.

7. Hou, M.;Wang, Y.; Liu, S.; Li, Z.; Lu, P. Multi-Components Interferometer Based on Partially Filled Dual-Core, Photonic Crystal Fiber for Temperature and Strain Sensing. IEEE Sens. J. 2016, 16, 6192–6196. [CrossRef]

8. Naeem, K.; Kim, B.H.; Kim, B.; Chung, Y. Simultaneous multi-parameter measurement using Sagnac loop hybrid interferometer based on a highly birefringent photonic crystal fiber with two asymmetric cores. Opt. Express 2015, 23, 3589–3601. [CrossRef] [PubMed]

9. Frazão, O.; Silva, R.M.; Kobelke, J.; Schuster, K. Temperature- and strain-independent torsion sensor using a fiber loop mirror based on suspended twin-core fiber. Opt. Lett. 2010, 35, 2777–2779. [CrossRef] [PubMed]

10- Ferrando A., Silvestre E., Miret J.J., Andres ., and Andres M.V., "Full-vector analysis of reastic photonic crystal fiber",Opt. let.,Vol.24,No.5:687-697.(1999).

P- ISSN 1991-8941 , E-ISSN 2706-6703 (*JUAPS*) مجلة جامعة الانبار للعلوم الصرفة Open Access
2016,10 (3) :99-108

Mathematical conclusion for calculate effective refractive index (n_{eff}) to study propagation properties in PCF.

Mashaan attallah mahmood

Email: Mashaan_alheety @yahoo.com

Abstract;

In this study, a mathematical equation was calculated for both the aerial and silica segments of the optical pathway emitted from the center of the fiber to calculate the n_{eff} refractive index of the photonic crystalline fiber envelope area by approximation of Silica Strand Model. In terms of the effective refractive index, the propagation properties of the photonic crystalline fibers with circular air gaps were calculated and controlled by controlling the main engineering parameters of the photonic crystalline spectrum, including: d, Λ, Nr, MNr and d / Λ Aerobic gap rings, number of missing rings and air segment in order.

The results were comparable to published global research to study propagation characteristics, and zero dispersion to short wavelengths was obtained to obtain zero dispersion at desired wavelength instead of 1.155 and 1.300 in conventional optical fibers. This study could be generalized to photonic crystalline fibers of any shape and number Aerobic gaps, in addition to the possibility of studying these characteristics by replacing the air with any liquid or gas known refractive index.