

## تأثير قدرة نبضة الليزر على مواصفات الليف البلوري الفوتوني عند نوافذ الاتصالات

عدي فلاح أمين

قسم الفيزياء / كلية التربية

جامعة الموصل

القبول

٢٠١٠ / ١١ / ١٠

الاستلام

٢٠١٠ / ٠٨ / ٠١

### Abstract:

In this paper we demonstrate the effect of laser pulse power on the main properties of the photonic crystal fibers (PCFs) that represented by refractive index, numerical aperture, effective area and dispersion. All these properties have been studied at the communication windows (0.8  $\mu\text{m}$ , 1.31  $\mu\text{m}$ , 1.55  $\mu\text{m}$ ). The results of this work show that, when the laser pulse power is increased, the refractive index and effective area increase while the numerical aperture decreases over the wavelength range of (0.5  $\mu\text{m}$ -2  $\mu\text{m}$ ). Besides, the results reveal that there are an increase of the dispersion value at the communication windows (0.8  $\mu\text{m}$ , 1.31  $\mu\text{m}$ ) and a decrease of the some value at the window (1.55  $\mu\text{m}$ ).

### الخلاصة:

يتناول هذا البحث بيان تأثير قدرة نبضة الليزر على المواصفات الرئيسية للليف البلوري الفوتوني والمتمثلة بمعامل الانكسار الفعال، الفتحة العددية، المساحة الفعالة والتشتت، جميعها تم البحث فيها عند نوافذ الاتصالات (0.8  $\mu\text{m}$ , 1.31  $\mu\text{m}$ , 1.55  $\mu\text{m}$ ). أشارت النتائج عند زيادة قدرة نبضة الليزر فان كل من معامل الانكسار الفعال والمساحة الفعالة يزدادان في حين ان الفتحة العددية تقل بزيادة قدرة نبضة الليزر على مدى الأطوال الموجية (0.5  $\mu\text{m}$  - 2  $\mu\text{m}$ ). من جانب آخر أظهرت النتائج حدوث زيادة في قيمة التشتت عند نوافذ الاتصالات (0.8  $\mu\text{m}$ , 1.31  $\mu\text{m}$ ) وحدث نقصان في قيمة التشتت عند النافذة (1.55  $\mu\text{m}$ ).

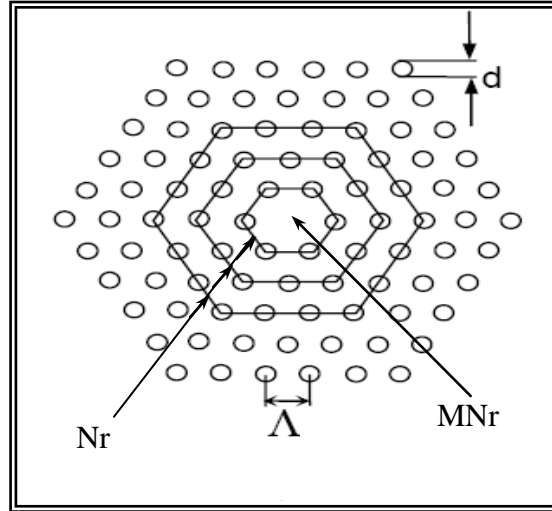
## 1: المقدمة

أن انتشار الموجات الكهرومغناطيسية أو النبضات تعتمد اعتماداً كلياً على الوسط الذي تنتشر فيه ، حيث تستطيع أن تنتشر في الفراغ بدون أي تغيير بينما تتغير عند انتشارها في الوسط وذلك نتيجة تفاعل المجال مع الذرات وجزيئات مادة الوسط، ومثل هذا التأثير يمثل استجابة خطية محددة للوسط، وإذا كانت شدة النبضة عالية ، بما فيه الكفاية، يصبح بالإمكان ملاحظة أن الوسط يستجيب أيضاً بطريقة لاخطية حيث تتطلب التأثيرات اللاخطية (Nonlinear Effects) توفر شدة عالية للضوء قد تصل الى عدة (MW) والتي عادة تتوفر في الليزر ذات النبضات القصيرة [3,13] لتكون كفاءة وهذا يمكن تحقيقه في الزجاج (السليكا) [12]، ونتيجة لذلك استعملت الألياف الضوئية في التطبيقات اللاخطية كما في توليد المتسلسلة الفائقة (Super Continuum Generation) وظاهرة مزج الأمواج الأربع (Four Wave Mixing) وظاهرة تضمين الطور الذاتي [1] (Self-Phase Modulation) ومن الجدير بالذكر أن الظواهر اللاخطية قد يستفاد منها في بعض التطبيقات أو ربما تعتبر عامل إرباك في تطبيقات أخرى . فمثلاً الظواهر اللاخطية عندما تعمل مجتمعة أنما تؤدي إلى توليد المتسلسلة الفائقة ذات التطبيقات الواسعة . في حين مزج الأمواج الأربع يؤدي إلى التقاطع الكلامي في أنظمة الإرسال المتعددة المتقابلة لتقسيم الطول الموجي (Wave Division Multiplexing System WDM). وتضمين الطور الذاتي يعمل على تشويش في ترددات النبضة المنقلة في الليف وبالتالي إلى تعريضها [19,22].

الألياف البلورية الفوتونية ظهرت فكرتها أول مرة باقتراح ليف براك عام 1978، وأصبحت لها أهميتها التجارية في نهاية التسعينيات مع تطور تقنية الألياف، حيث أظهرت خسارة عملية منخفضة لموجات الموجة في أوائل عام 1996، فقد تم الحصول على ليف يعمل بنمط أحادي (Single Mode) ولمدى واسع من الأطوال الموجية وبتوهين واطى، ومنذ ذلك الحين أصبحت هذه التقنية متطورة أكثر فأكثر [17,18]. وقد صممت ألياف من بلورات فوتونية تسمى الألياف البلورية الفوتونية (Photonic Crystal Fiber PCF) أو الألياف مايكروية التركيب (Microstructure Optical Fibers MOFs)، تصنع غالباً من السليكا النقية و تتشكل في صفوف دورية من الأنابيب الشعرية ، وبإبعاد مايكروية لتتماثل مع الأطوال الموجية للإشعاعات الكهرومغناطيسية الموجهة في الألياف.

الشكل (1) يوضح التركيب الأساسي للألياف البلورية الفوتونية وهو يتضمن المتغيرات التركيبية لهذه الألياف والمتمثلة بـ قطر الفجوة الهوائية (Air Hole Diameter) ويرمز له بالرمز (d) والمسافة بين مركزي أي فجوتين متجاورتين ويسمى أيضاً بمسافة الخطوة (Pitch Size) ويرمز لها بالرمز ( $\Lambda$ )، الجزء الهوائي (Air Fraction) وهي ( $d/\Lambda$ ) وعدد

حلقات الفجوات الهوائية المحيطة بالقلب (Number of Rings) ويرمز لها بالرمز (Nr)، عدد حلقات الفجوات الهوائية المفقودة (MNr) وهي الحلقات المملوءة بالسليكا والتي تحدد قطر قلب الليف.



الشكل (1): المقطع العرضي للألياف البلورية الفوتونية<sup>[8]</sup>

أن الهدف من هذا البحث هو دراسة تأثير قدرة نبضة الليزر على خصائص الليف البلوري الفوتوني (PCF) والمتمثلة بـ معامل الانكسار الفعال والفتحة العددية (NA) والمساحة الفعالة ( $A_{eff}$ ) والتشتت (Dispersion) ولقدرات مختلفة من أشعة الليزر.

## 2: العلاقات النظرية المستخدمة.

### 2-1: معامل الانكسار الفعال Effective Refractive Index

يعرف معامل الانكسار الفعال ( $n_{eff}$ ) على أنه معامل الانكسار الناتج من الترتيب المايكروبي لغللاف الألياف البلورية المايكروية. أن وجود الفجوات الهوائية حول القلب يعمل على تقليل معامل انكسار مادة السليكا لتشكيل بعد ذلك بالغللاف. وهنا يتحقق شرط الانعكاس الداخلي الكلي على اعتبار ( $n_{core} > n_{eff}$ )، وبالتالي فإن الموجة الكهرومغناطيسية المنقولة خلال هذه الألياف تعتمد على معامل الانكسار الناتج من هذا التركيب لغللاف هذه الألياف. هذا ويمكن تسمية هذه الألياف بالألياف الموجهة بمعامل الانكسار العالي (High Index Guiding Fibers HIGFs)<sup>[1,10]</sup>.

هناك أكثر من طريقة لحساب معامل الانكسار الفعال أما باستخدام الطرق العددية<sup>[21]</sup> أو باستخدام المعادلات التجريبية<sup>[4]</sup> أو باستخدام برامج خاصة بذلك<sup>[1]</sup>، أما في حالة الفجوات الهوائية التي تكون ليست كبيرة تحسب بالتقريب الآتي<sup>[7]</sup>:-

$$n_{eff} = n_{air} \times p_{air} + n_{silica} \times p_{silica} \dots\dots\dots(1)$$

حيث تمثل (Pair) و (psilica) أجزاء الهواء والسليكا في الغلاف المايكروي لليف على التوالي، و (n<sub>silica</sub>) معامل انكسار السليكا والناتج من معادلة Sellmeier<sup>[11]</sup> والمتعلق بالنمط الأساس وهي داله للطول الموجي.

$$n^2(\lambda) = 1 + \sum_{j=1}^m \frac{B_j \lambda^2}{\lambda^2 - \lambda_j^2} \dots \dots \dots (2)$$

إذ أن (B<sub>j</sub>) تمثل معاملات (Sellmeier) والمتعلقة بالترددات الداخلية لذرات المادة عند تعرضها لأشعة خارجية، (λ<sub>j</sub>) هي الأطوال الموجية الناتجة عن هذه الترددات. معاملات (sellmeier) لمادة السليكا (قلب الليف) فقد تم الحصول عليها تجريبياً ولثلاث حدود (m=3)<sup>[11]</sup>.

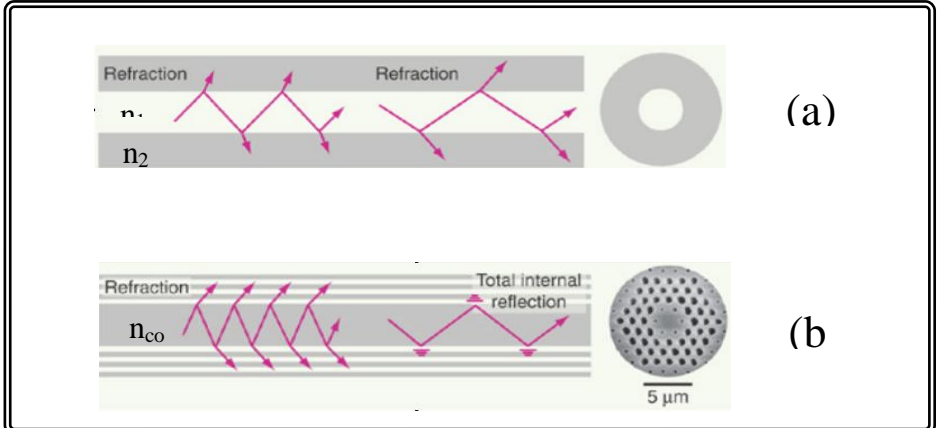
- λ<sub>1</sub>=0.068043 μm عند B<sub>1</sub>=0.6961663  
 λ<sub>2</sub>=0.1162414 μm عند B<sub>2</sub>=0.4079426  
 λ<sub>3</sub>=9.896161 μm عند B<sub>3</sub>=0.8974794

### 2-2: الفتحة العددية Numerical Aperture

تعرف الفتحة العددية في الألياف الضوئية على أنها قابلية الليف الضوئي على جمع الأشعة الساقطة على وجه الليف لتعبر خلاله وهي كمية خالية من الوحدات ويرمز لها بالرمز (NA) وتعطى بالعلاقة التالية<sup>[9,11]</sup>:-

$$NA = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \dots \dots \dots (3)$$

حيث ان n<sub>1</sub> و n<sub>2</sub>: معامل انكسار القلب والغلاف على التوالي والموضح في الشكل (2-a). أما في الألياف البلورية الفوتونية أو ما تسمى بالألياف الموجهة بمعامل الانكسار العالي (HIGFs) والتي يكون فيها القلب ذا معامل انكسار أعلى من معامل انكسار منطقة الغلاف المايكروي التركيب فإن الضوء ينتشر تبعاً لمبدأ الانعكاس الداخلي الكلي وقد يسمى بالانعكاس الداخلي الكلي المحور (Modified Total Internal Reflection) وكما موضح بالشكل (2-b):



الشكل (2): a: -- انتقال الشعاع في الليف الضوئي التقليدي.  
 b: -- انتقال الشعاع في الليف البلوري الفوتوني ذات القلب الصلب<sup>[6]</sup>.

وإذا اعتبرنا معامل الانكسار الفعال ( $n_{\text{eff}}$ ) هو معامل انكسار الغلاف في الألياف البلورية الفوتونية فإن الفتحة العددية لهذا النوع من الألياف يعطى بالعلاقة التالية<sup>[9,11]</sup>:-

$$NA = \sqrt{n_{\text{co}}^2(\lambda) - n_{\text{eff}}^2(\lambda)} \quad \dots\dots\dots(4)$$

حيث أن  $n_{\text{co}}(\lambda)$  هي معامل انكسار القلب كدالة للطول الموجي والناتج من معادلة sellmeier<sup>[11]</sup>.

### 2-3: المساحة الفعالة Effective Area

المساحة الفعالة ويرمز لها بالرمز ( $A_{\text{eff}}$ ) وهي كمية ذات أهمية كبيرة في التطبيقات اللاخطية فضلاً عن إمكانية استعمالها في زيادة أو منع ظاهرة اللاخطية معتمدة في ذلك على قيمتها، هذا وان قيمة الفتحة العددية تعتمد على ( $A_{\text{eff}}$ ) من خلال العلاقة التقريبية التالية<sup>[16]</sup>:-

$$A_{\text{eff}} = \frac{\lambda^2}{\pi} \left( \frac{1}{NA^2} - 1 \right) \quad \dots\dots\dots(5)$$

### 2-4: التشتت Dispersion

يعد التشتت واحد من أهم العوامل المهمة والمؤثرة في نقل المعلومات في منظومة الاتصالات الضوئية والذي يؤدي إلى تشويه في شكل النبضة المن تقلة داخل الليف الضوئي وبالتالي إلى تشويه المعلومة المنقولة في الليف ، لذلك فقد اهتم الباحثون بالألياف البلورية الفوتونية من حيث التصميم لتظهر أشكال متعددة لمنحني التشتت (مثلاً تشتت مسطح Flattened Dispersion أو تشتت قليل أو قريب من الصفر Near Zero Dispersion). ولحساب التشتت يتم التحقق في خصائص تشتت الألياف البلورية الفوتونية (PCF) عن طريق مراعاة معامل الانكسار للسليكا النقية وباستخدام صيغة (sellemier)، لذلك يتم حساب التشتت الكلي للألياف البلورية الفوتونية من خلال المعادلة الآتية<sup>[5,15,20]</sup>:-

$$D(\lambda) = -\frac{\lambda}{c} \frac{\partial^2 Rn_{\text{eff}}}{\partial \lambda^2} \quad \dots\dots\dots(6)$$

حيث تمثل:  $Rn_{\text{eff}}$ : الجزء الحقيقي لمعامل الانكسار الفعال.  
c: سرعة الضوء.

وان  $D(\lambda)$ : التشتت كدالة للطول الموجي بوحدات  $ps/(nm.km)$   
فالتشتت ناتج من اعتماد معامل الانكسار الفعال على الطول الموجي.

### 3: اللاخطية في الألياف البلورية الفوتونية.

تم استخدام الألياف البلورية الفوتونية في كثير من التطبيقات اللاخطية وذلك للإمكانية العالية لتوجيه الضوء والتي تسمح بتوجيه الضوء في قلب اصغر مقارنة مع ما هو منجز في الألياف التقليدية، وذلك بسبب الاختلاف الكبير بمعاملات الانكسار بين القلب والغلاف.

حيث يتم حساب معامل الانكسار الفعال اللاخطي في الألياف البلورية الفوتونية من المعادلة التالية<sup>[11]</sup>:-

$$n = n_0 + n_{21}' \frac{P}{A_{\text{eff}}} \quad \dots\dots\dots(7)$$

ويمكن كتابة المعادلة بالصيغة التالية:

$$n = n_0 + n_{21}' I \quad \dots\dots\dots(8)$$

حيث أن  $I = \frac{P}{A_{\text{eff}}}$  تمثل شدة الضوء وبوحدات  $(Wm^{-2})$ .

$n_{21}'$ : معامل الانكسار اللاخطي وقيمته للسليكا  $(\approx 2.6 \times 10^{-20} m^2 W^{-1})$ .

$n_0$ : معامل الانكسار الفعال الخطي.

ويعد عامل اللاخطية مقياس لهذه التأثيرات ويعطى بالعلاقة التالية<sup>[16]</sup>:-

$$\gamma = \frac{2n_{21}'\pi}{\lambda A_{\text{eff}}} \quad \dots\dots\dots(9)$$

نلاحظ من المعادلة (8) أن معامل الانكسار للوسط يعتمد على شدة نبضة الليزر المنتشرة خلاله، وهذا يؤثر على سرعة انتقال الضوء خلال الوسط.

لتوضيح هذه الفكرة وعند اخذ قيمة  $n_{21}'$  تساوي تقريبا  $(n_{21}' \approx 2.6 \times 10^{-20} m^2 W^{-1})$  فان هذا

يعني أن التغيير في معامل الانكسار يكون بحدود (1%) عندما تكون الشدة بحدود

$(5 \times 10^{17} W/m^2)$ . في حالة ليف ضوئي له قطر قلب  $(5 \mu m)$  فان هذا يتطلب مستوى قدرة

ضوئية بحدود  $(10 MW)$  وان مستويات القدرة بهذه السعة يمكن الحصول عليها من خلال

نبضات قصيرة الأمد  $(fs)$  في الليزر الحديثة [2,3,13] ففي هذه الدراسة تم استخدام قدرات

مختلفة لنبضة الليزر تتراوح بين  $(10,50,100,200,500)kW$  ويعرض نبضة مرافق لكل قدرة

هو  $fs (100,20,10,5,2)$  على التوالي وبطاقة قدرها  $(nJ)$ .

#### 4: النتائج والمناقشة:

في هذه الدراسة تم التركيز على تأثير قدرة نبضة الليزر على الصفات الرئيسية للألياف

البلورية الفوتونية فقد تم وضع مقترح لتصميم ليف ذات تراكيب مايكروية رئيسية ثابتة مثل مسافة

الخطوة  $(\Lambda=1.7\mu m)$  وقطر الفجوة الهوائية  $(d=0.17)$  والجزء الهوائي

$(d/\Lambda =0.2)$  وعدد حلقات الفجوات الهوائية المحيطة بالقلب  $(Nr=1)$  وعدد الفجوات الهوائية

المفقودة  $(MNr=1)$  وباستخدام برنامج (CUDOS)<sup>[14]</sup>، تم الحصول على معامل الانكسار

الفعال كدالة للطول الموجي ولمدى  $(0.5\mu m-2 \mu m)$ ، فقد تم دراسة كل من معامل الانكسار

الفعال  $(n_{\text{eff}})$  والفتحة العددية  $(NA)$  والمساحة الفعالة  $(A_{\text{eff}})$  والتشتت  $(D)$  وعامل

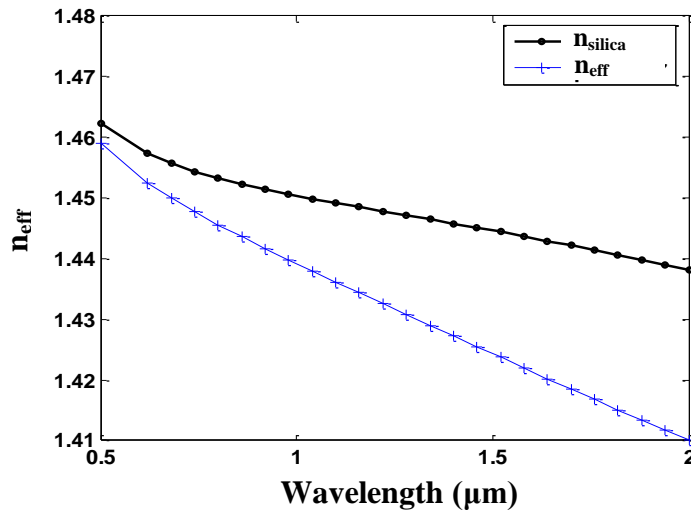
اللاخطية  $(\gamma)$  كدالة للطول الموجي  $(\lambda)$  وسميت بالخصائص الرئيسية عندما لا يكون لقدرة نبضة

الليزر أي دور في مواصفات الليف ، وكذلك تم دراسة هذه الخصائص تحت تأثير قيم مختلفة لقدرة الليزر وباستخدام المعادلة (7) فقد تم إدخال قيم مختلفة لقدرة نبضة الليزر والتي تتراوح بين (10,50,100,200,500)kW لبيان تأثيرها على خصائص الانتشار في الألياف البلورية الفوتونية.

#### 4-1: التأثيرات الخطية Linear Effects

##### 4-1-1: معامل الانكسار الفعال.

يبين الشكل (3) معامل الانكسار الفعال كدالة للطول الموجي فعند الأطوال الموجية القصيرة يكون معامل الانكسار الفعال أكبر ما يمكن وتقل قيمته بزيادة الطول الموجي . أما قيمة معامل الانكسار للسليكا النقية والتي تم حسابها من معادلة (sellemier) أكبر من التي تم إيجادها للتصميم المقترح. فقد كانت أعلى قيمة لمعامل انكسار السليكا النقية عند الطول الموجي ( $\lambda=0.5\mu\text{m}$ ) هي ( $n_{\text{silica}}=1.46252$ ) وتقل كلما زاد الطول الموجي حيث تكون قيمتها ( $n_{\text{silica}}=1.43804$ ) عند ( $\lambda=2\mu\text{m}$ )، بينما تتراوح قيم معامل الانكسار الفعال التي تم إيجادها للتصميم المقترح ( $n_{\text{eff}}=1.45882$ ) عند ( $\lambda=0.5\mu\text{m}$ ) وتقل إلى ( $n_{\text{eff}}=1.41$ ) عند ( $\lambda=2\mu\text{m}$ ). أن حساب معامل انكسار السليكا والذي يمثل معامل انكسار القلب ( $n_{\text{co}}$ ) مهم جدا في إجراء الحسابات الأخرى والمتعلقة بالدراسة.



الشكل (3): معامل الانكسار كدالة للطول الموجي ولكل من السليكا والتركيب المايكروني

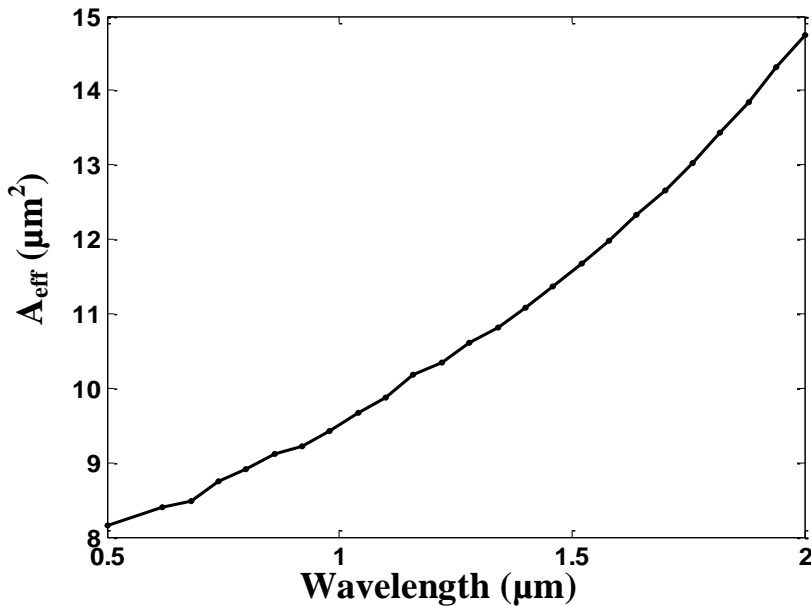
##### 4-1-2: الفتحة العددية

الشكل (4) يوضح العلاقة بين الفتحة العددية والطول الموجي فقد تم حساب قيمة الفتحة العددية كدالة للطول الموجي من خلال المعادلة (4) على اعتبار أن معامل انكسار القلب ( $n_{\text{co}}$ )

هو معامل انكسار السليكا النقية والموضح في الشكل (3) ومعامل انكسار الغلاف (التركيب المايكروي) هو  $(n_{eff})$ . ومن خلال الشكل نلاحظ أن قيمة الفتحة العددية تزداد مع زيادة الطول الموجي حيث تكون قيمة الفتحة العددية  $(NA=0.1)$  عند  $(\lambda=0.5 \mu m)$  وتزداد كلما زاد الطول الموجي حيث تكون قيمتها  $(NA=0.283)$  عند  $(\lambda=2 \mu m)$ . ان الزيادة في الفتحة العددية مع زيادة الطول الموجي بسبب الزيادة الواضحة في الفرق بين معاملي انكسار السليكا (مادة قلب الليف) و  $(n_{eff})$  معامل انكسار غلاف الليف البلوري الفوتوني مع زيادة الطول الموجي وكما يوضحه الشكل (3). ويمكن إعطاء قيم الفتحة العددية عند نوافذ الاتصالات من خلال الجدول (2).

### 4-1-3: المساحة الفعالة

تم حساب قيم المساحة الفعالة وذلك بالاعتماد على قيمة الفتحة العددية ومن خلال التقريب المستخدم من قبل Mortensen<sup>[16]</sup> المعادلة (5)، يوضح الشكل (5) تغير قيم المساحة الفعالة  $(A_{eff})$  كدالة للطول الموجي إذ نجد انه بزيادة الطول الموجي تزداد قيمة المساحة الفعالة، وكما مبين فان علاقة المساحة الفعالة بالطول الموجي علاقة طردية فقد كانت قيمة المساحة الفعالة عند الطول الموجي  $(\lambda=0.5 \mu m)$  هي  $(A_{eff}=8.1543)$  وتزداد كلما زاد الطول الموجي فقد كانت عند الطول الموجي  $(\lambda=2 \mu m)$  هي  $(A_{eff}=14.7507)$ . نلاحظ من هذه الدراسة أن المساحة الفعالة للألياف البلورية الفوتونية صغيرة مما يجعلها مناسبة للاستخدامات اللاخطية . ويمكن إعطاء قيم المساحة الفعالة عند نوافذ الاتصالات من خلال الجدول (2).

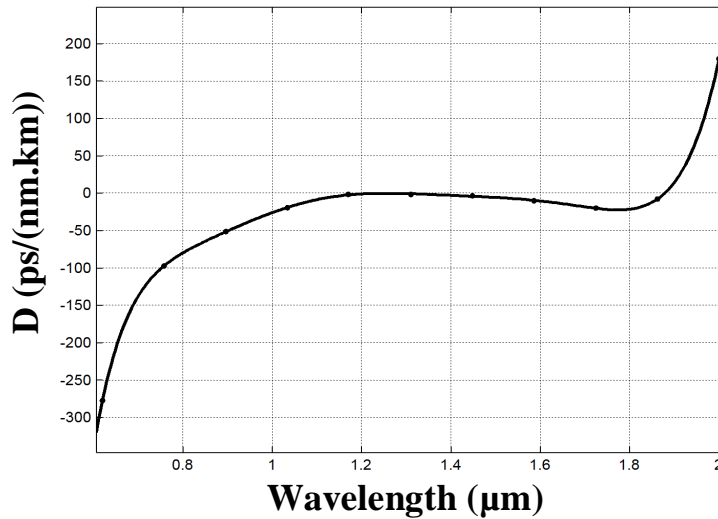


الشكل (5): المساحة الفعالة كدالة للطول الموجي



## 4-1-4: التشتت

الشكل (6) يوضح مقدار تشتت ضوء الليزر المنتقل خلال الليف البلوري كدالة للطول الموجي . أن أول صفة يمكن ملاحظتها في شكل التشتت هو تسطح التشتت ولمدى (1.18-1.48 $\mu\text{m}$ ) وهذه صفة مهمة في الألياف حيث يمكن الاستفادة منها في عدد من التطبيقات مثل (WDM). كما تم حساب قيمة التشتت الكلي من خلال المعادلة (6) حيث كانت قيمة التشتت عند الطول الموجي ( $\lambda=0.8 \mu\text{m}$ ) هي ((-82 ps/nm.km)) وعند الطول الموجي ( $\lambda=1.3\mu\text{m}$ ) هي ( $D= -3.774$  (ps/nm.km)) وعند الطول الموجي ( $\lambda=1.55\mu\text{m}$ ) كانت قيمة التشتت ((-16(ps/nm.km)). هذا وان قيم التشتت عند نوافذ الاتصالات يمكن ملاحظتها في الجدول (2).



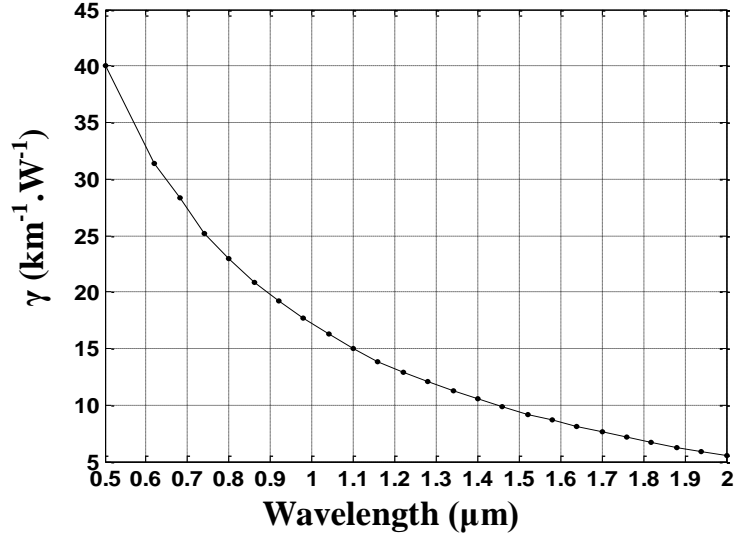
الشكل (6): منحنى التشتت للتصميم المقترح

4-1-5 : معامل اللاخطية ( $\gamma$ )

تم حساب معامل اللاخطية ( $\gamma$ ) من خلال المعادلة (8) والشكل (7) يوضح علاقة معامل اللاخطية بالطول الموجي فقد كانت علاقة معامل اللاخطية علاقة عكسية مع الطول الموجي. هذا وان قيم معامل اللاخطية عند نوافذ الاتصالات هي بالشكل الآتي:-

الجدول (1): قيم معامل اللاخطية عند نوافذ الاتصالات

Wavelength ( $\mu\text{m}$ )	Nonlinear Coefficient ( $\text{km}^{-1} \cdot \text{W}^{-1}$ )
0.8	22.8260
1.31	11.9565
1.55	8.9130

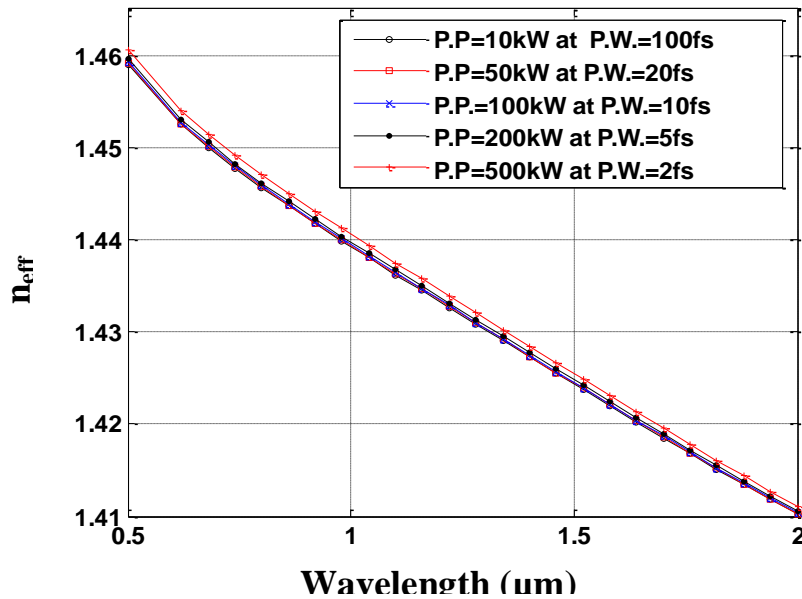


الشكل (7): معامل اللاخطية كدالة للطول الموجي

## 4-2 : التأثيرات اللاخطية Nonlinear Effects

### 4-2-1: معامل الانكسار الفعال

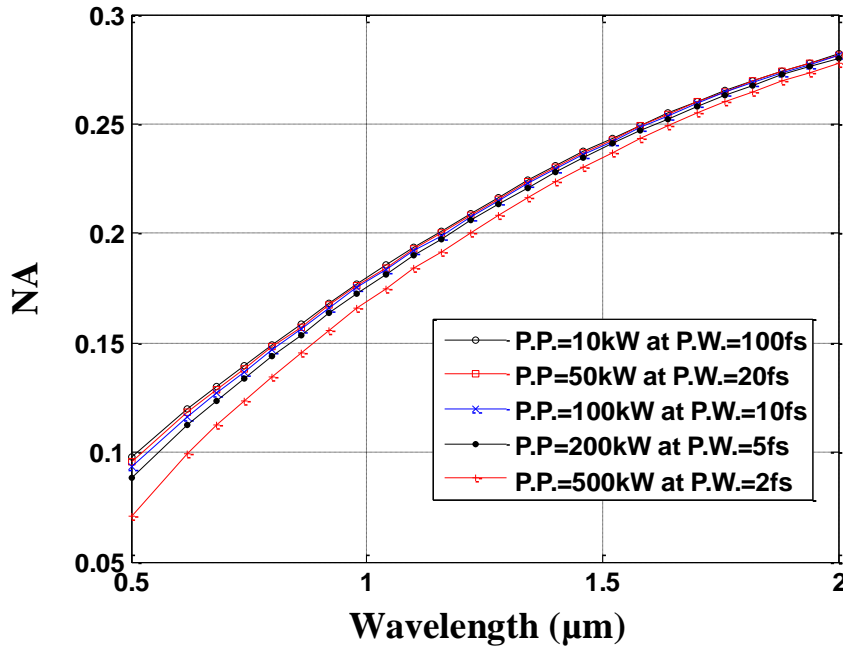
يبين الشكل (8) معامل الانكسار الفعال اللاخطي كدالة للطول الموجي ولقيم مختلفة من قدرة نبضة الليزر، فقد تم حساب معامل الانكسار اللاخطي من خلال المعادلة (7) ولقيم مختلفة من قدرة نبضة الليزر (10,50,100,200,500)kW ومن خلال الشكل نلاحظ أن معامل الانكسار الفعال يزداد بشكل أجمالي بزيادة قدرة نبضة الليزر (Pulse Power (P.P.)) وعند عرض نبضة (Pulse Width(P.W.)) وعلى مدى الأطوال الموجية تحت الدراسة . ويمكن إعطاء قيم معامل الانكسار الفعال عند نوافذ الاتصالات من خلال الجدول (2).



الشكل (8): معامل الانكسار الفعال اللاخطي كدالة للطول الموجي

## 4-2-2: الفتحة العددية (NA)

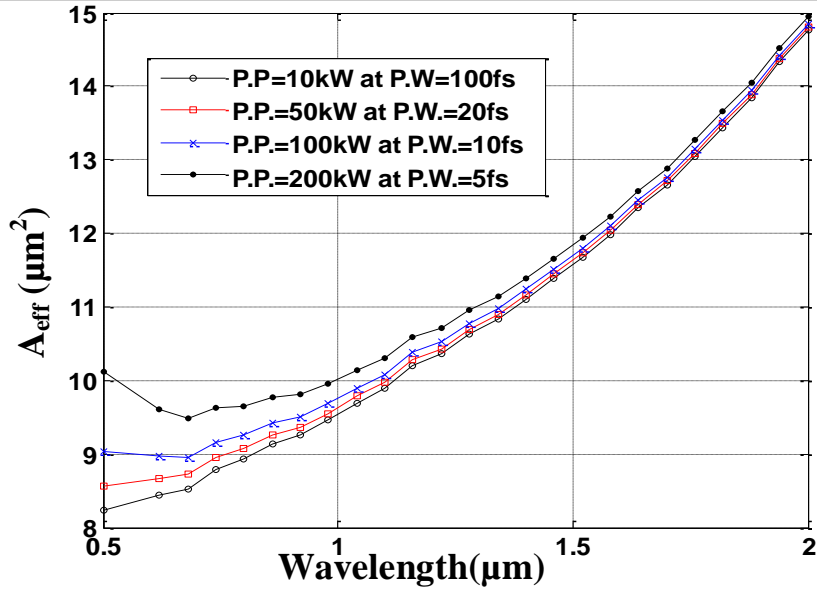
بما أن معامل الانكسار الفعال يزداد مع زيادة قدرة نبضة الليزر فإن ذلك يؤدي بالضرورة إلى تغير الفتحة العددية كون الأخيرة تعتمد على معامل الانكسار الفعال . الشكل (9) يوضح علاقة الفتحة العددية تحت تأثير قدرة نبضة الليزر مع الطول الموجي ، فقد تم حساب الفتحة العددية من خلال المعادلة (4) وتم تعويض عن  $(n_{eff})$  في المعادلة عن معامل الانكسار الفعال اللاخطي والذي تم حسابه من خلال المعادلة رقم (7) ولنفس القيم من قدرة نبضة الليزر ومن خلال الشكل نلاحظ أن الفتحة العددية تقل مع زيادة قدرة نبضة الليزر . وعلى طول المدى من الأطوال الموجية تحت الدراسة . ويمكن إعطاء قيم معامل الانكسار الفعال عند نوافذ الاتصالات من خلال الجدول (2).



الشكل (9): الفتحة العددية اللاخطية كدالة للطول الموجي

4-2-3: المساحة الفعالة ( $A_{eff}$ )

الشكل (10) يوضح العلاقة بين المساحة الفعالة والطول الموجي تحت تأثير قدرة نبضة الليزر، إذ تم حساب المساحة الفعالة اللاخطية باستخدام المعادلة (5) والتعويض عن قيم الفتحة العددية بالقيم اللاخطية التي تم حسابها ، ومن خلال الشكل نلاحظ أن المساحة الفعالة تزداد عند زيادة قدرة نبضة الليزر فعند الأطوال الموجية الصغيرة هناك زيادة كبيرة وواضحة في المساحة الفعالة اللاخطية عما هو عليه في التأثير الخطي . ويمكن إعطاء قيم معامل الانكسار الفعال عند نوافذ الاتصالات من خلال الجدول (2).



الشكل (10): المساحة الفعالة اللاخطية كدالة للطول الموجي

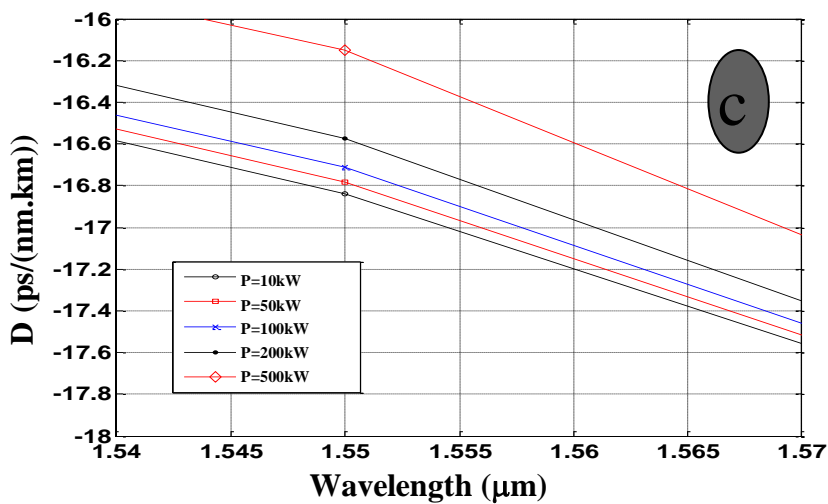
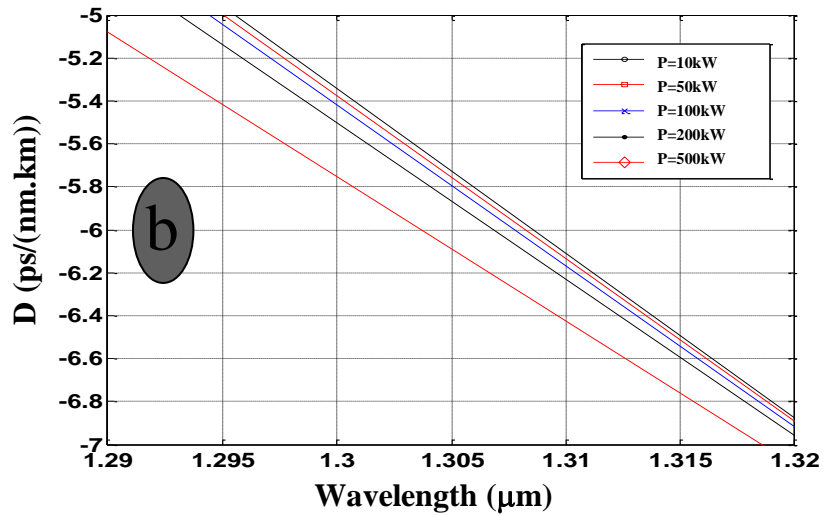
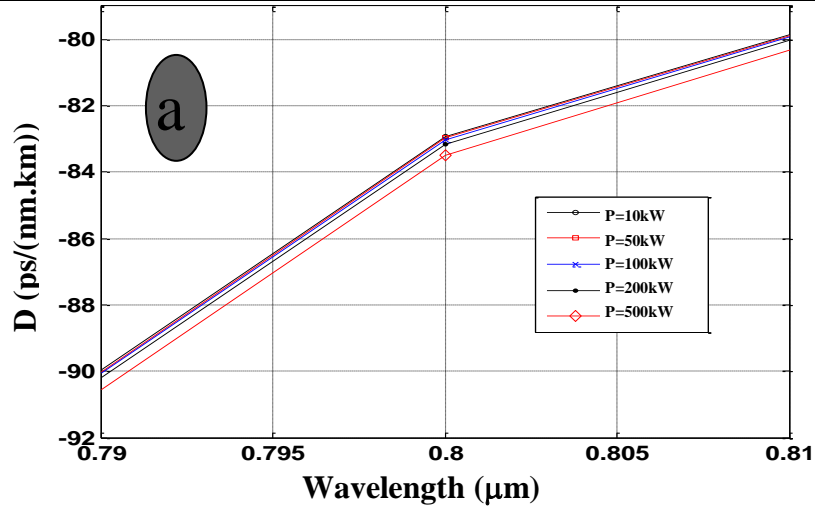
#### 4-2-4: التشتت

الشكل (11) يبين علاقة التشتت بالطول الموجي ولقيم مختلفة من قدرة نبضة الليزر فقد تم حساب التشتت الكلي من خلال المعادلة (6) وذلك بالاعتماد على قيم معامل الانكسار اللاخطي وتحت تأثير قدرة نبضة الليزر المختلفة. ولبيان تأثير قدرة نبضة الليزر على قيم التشتت عند نوافذ الاتصالات، حيث يشير الشكل (11-a) إلى تأثير قدرة نبضة الليزر على التشتت عند النافذة ( $0.8 \mu\text{m}$ ) فعند زيادة قدرة نبضة الليزر فان التشتت السالب يزداد بنسبة (0.63%)، كما يشير ال شكل (11-b) إلى تأثير قدرة نبضة الليزر عند نافذة الاتصال ( $1.31 \mu\text{m}$ ) فالتشتت السالب يزداد أيضا بزيادة قدرة نبضة الليزر بنسبة (4.96%)، أما الشكل (11-c) يشير إلى تأثير قدرة نبضة الليزر عند نافذة الاتصال ( $1.55 \mu\text{m}$ ) فالتشتت السالب هنا نلاحظ نقصانه بزيادة قدرة الليزر وبنسبة (4.06%).

الجدول (2): يوضح قيم معامل الانكسار الفعال والفتحة العددية والمساحة الفعالة والتشتت عند نوافذ الاتصالات ولقيم مختلفة من قدرة نبضة الليزر

قدرة نبضة الليزر (kW)						نوافذ الاتصالات	الوحدة	الخاصية
500	200	100	50	10	0			
1.447	1.4461	1.4458	1.4456	1.4455	1.44413	0.8	-	$n_{\text{eff}}$
1.4313	1.4305	1.4302	1.4301	1.43	1.43	1.31		
1.424	1.4233	1.42307	1.423	1.4228	1.42296	1.55		
0.1346	0.1440	0.1465	0.1481	0.1491	0.15	0.8	-	NA
0.2122	0.2171	0.2187	0.2195	0.22	0.21935	1.31		
0.24	0.2439	0.2452	0.2458	0.2463	0.24548	1.55		
11.017	9.636	9.272	9.0782	8.9455	8.90	0.8	$\mu\text{m}^2$	$A_{\text{eff}}$
11.571	11.035	10.895	10.805	10.733	10.6	1.31		
12.503	12.077	11.955	11.877	11.825	11.80	1.55		
-83.442	-83.085	-82.971	-82.948	-82.914	-77.343	0.8	Ps/(nm.km)	D

-6.427	-6.216	-6.1655	-6.131	-6.1080	0	1.31		
-16.149	-16.574	-16.710	-16.783	-16.832	-3.90	1.55		



الشكل (11): تشتت ضوء الليزر في الليف البلوري الفوتوني تحت تأثير قدرة نبضة الليزر وعند نوافذ الاتصالات:

a - عند نافذة الاتصال ( $0.8 \mu\text{m}$ )

b - عند نافذة الاتصال ( $1.31 \mu\text{m}$ )

c - عند نافذة الاتصال ( $1.55 \mu\text{m}$ )

## الاستنتاجات:

نستنتج من هذه الدراسة أن خصائص الانتشار لليف البلوري الفوتوني والمتمثلة بكل من معامل الانكسار الفعال والفتحة العددية والمساحة الفعالة والتشتت بدأت تتغير بشكل واضح بزيادة قدرة نبضة الليزر ، حيث نلاحظ ان زيادة قدرة نبضة الليزر من (10kW) الى (50kW) تؤدي الى حدوث زيادة في قيمة معامل الانكسار الفعال عند وبمقدار (0.104%, 0.091%, 0.084%) عند نوافذ الاتصالات (0.8,1.31,1.55 $\mu$ m) على التوالي وزيادة قيمة المساحة الفعالة بمقدار (18.8%,7.2%,5.4%) عند نوافذ الاتصالات (0.8,1.31,1.55 $\mu$ m) على التوالي ، في حين أظهرت النتائج أن قيمة الفتحة العددية تقل وبمقدار (9.73% , 3.55%, 2.56%) عند نوافذ الاتصالات (0.8,1.31,1.55 $\mu$ m) على التوالي . أما بالنسبة للتشتت فقد اظهر منحني التشتت حدوث زيادة في قيمة التشتت بمقدار (0.63%,4.96%) عند نافذتي الاتصال (0.8,1.31 $\mu$ m) ونقصان قيمة التشتت بمقدار (4.06%) عند نافذة الاتصال (1.55  $\mu$ m). وأخيرا فان قدرة نبضة الليزر قد تساهم في تغيير قيم التشتت لتوظيفها في بعض التطبيقات.

## References

## المصادر

- (1) محمد.هدى مسعود "تقليل التشتت في الألياف البلورية الفوتونية لضوء ليزر (تيتانيوم-ياقوت الازرق)" رسالة ماجستير جامعة الموصل (2007).
- 2) Alan R. "Polarization in Optical Fibers" Handbook, pp.140, 2008 ARTECH HOUSE, INC.
- 3) Amar R. B., Alexander L. G., School of Applied and Engineering Physics, Cornell University, Ithaca, NY, Vol.16, No.7, 2008.
- 4) Anshu D. V., Ravindra K. S., Chinese Journal of Physics, Vol. 47, No.2, April 2009.
- 5) Bhawana D., Sinha R. K, International Conference on Optics and Photonics Chandigarh , India, Nov. (2009).
- 6) Brown P. J., Stephen H. F., National Textile Center Annual Report, pp.1-10, Nov. (2005).
- 7) Chen J. S.Y., "Optical Parametric Amplification in Photonic Crystal Fibers" M.Sc. Thesis, Department of Physics, University Of Auckland, (2006).

- 8) Cicero M., John C., Martin K., Nathan G., Sensors, Vol.7, pp. 2492 - 2498, (2007).
- 9) Jensen J. B., J., Riishede J., Broeng J., Laegsgaard J., Tanggaard T. L., Research Center COM, DTU Building 345v, IEEE, Denmark, (2003).
- 10) John A. B., "Fundamental Of Optical Fibers", 2<sup>nd</sup>Ed, Inc., Hoboken New Jersey, (2004).
- 11) Karen. M. H., "Nonlinear Wave Propagation in Photonic Crystal Fibers" Department of Physics and Astronomy, University of Aarhus , Denmark , Ph.D. Thesis , pp.5-13, febr. (2005).
- 12) Knight J. C., Department of Physics, University of Bath, Claverton Down, United Kingdom, (<http://www.j.c.knight@bath.ac.uk>).
- 13) Knight J. C., Skryabin D. V., Department of Physics, United Kingdom , Vol.15, No.23, (2007).
- 14) Kuhlmeiy B. T., White T. P., Renvesez G., Maystre D., Botten L. C., Sterke C. M., and McPhedran R. C.,(2002), J. Opt. Soc. Am. B, Vol. 19, No. 10: 2331-2340.
- 15) Liu Z. L., Hou L. T., and Wang W., Brazilian Journal of Physics, Vol. 39, No. 1, pp. 50-54, Mar. (2009).
- 16) Mortensen N. A., Optical Express, Vol. 10, No.7, Apr. (2002).
- 17) Philip S. J. R., Optical Fiber Telecommunications, University of Erlangen- Nuremberg, Germany, (2008).
- 18) Philip S. J. R., Journal of Lightwave Technology, Vol.24, No.12, pp.4729-4748, IEEE, (2006).
- 19) Saitoh K., Masanori K., Niels A. M., New Journal of Physics, pp.1-9, (<http://www.njp.org>), (2006).
- 20) Sinha R. K., Shailendra K. V., Microwave and Optical Technology Letters, Vol.37, No. 2, India, Apr. (2003).
- 21) Varshney S. K., and Sinha R. K., J. Micro. And Opto., Z: pp: (32-42) 2002.
- 22) Xian F., Tanya M. M., Periklis P., Vittoria F., Dan. H., Optics Express, University of Southampton, Vol. 11, No. 18, UK, (2003).