

## تصميم ليف ضوئي متعدد القلوب لتطبيقات التجميع بتقسيم المكان

د. حفصة الحموي\*

د. عفيف صقور\*\*

عروة يوسف سلمان\*\*\*

(تاريخ الإيداع 9 / 7 / 2020. قَبِلَ للنشر في 10 / 11 / 2020)

### □ ملخص □

يهدف البحث الى دراسة وتصميم ليف ضوئي متعدد القلوب احادي النمط عن طريق المحاكاة ويساهم في اثبات فعالية استخدام هذا الليف ضمن النافذة C-band. يساهم البحث ايضاً في تسليط الضوء على برامج النمذجة المستخدمة في هذا البحث حيث تم استخدام برنامج ال comsol لتصميم ليف وحيد النمط متعدد القلوب وايضاً تم استخدام برنامج الماتلاب لدراسة مشكلة تداخل الاشارات بين القلوب.

الكلمات المفتاحية: ليف ضوئي متعدد القلوب (MCF) - التداخل بين القلوب - التجميع بتقسيم المكان (SDM)

\* أستاذ مساعد - قسم هندسة الاتصالات - جامعة دمشق - دمشق - سورية.

\*\* أستاذ مساعد - قسم هندسة الاتصالات - جامعة تشرين - تشرين - سورية.

\*\*\* طالب دراسات عليا - قسم هندسة الاتصالات المتقدمة - كلية الهمك - جامعة دمشق - دمشق - سورية.

## Multicore Fiber Design for Space Division Multiplexing Applications

Dr. Hafsa Al-Hamwi<sup>\*</sup>

Dr. Afif Sakkour<sup>\*\*</sup>

Orwa Salman<sup>\*\*\*</sup>

(Received 9 / 7 / 2020. Accepted 10 / 11 / 2020)

### □ ABSTRACT □

The research aims to study and design a single-mode, multi-cores optical fiber by simulation, and also helps in ensuring the efficiency to use the optical fiber designed within the broading window C-Band.

This research also shares to set the light on the modeling programs used in this research where the comsol program was used to design a single-mode, multi-cores optical fiber and the Matlab program was also used to study the problem of crosstalk between cores.

**Keywords:** Multi-core Fiber - inter-core crosstalk – Space Division Multiplexing

---

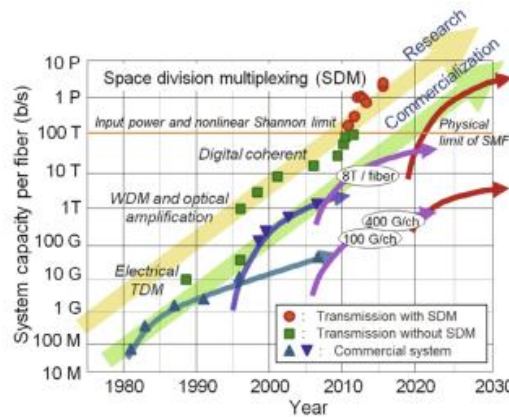
<sup>\*</sup> Associate Professor- Department of Communication Engineering- Damascus University- Damascus-Syria.

<sup>\*\*</sup> Associate Professor- Department of Communication Engineering- Tishreen University- Lattakia-Syria.

<sup>\*\*\*</sup> Postgraduate Student- Department of Advanced Communication Engineering- Damascus University- Damascus- Syria.

## مقدمة:

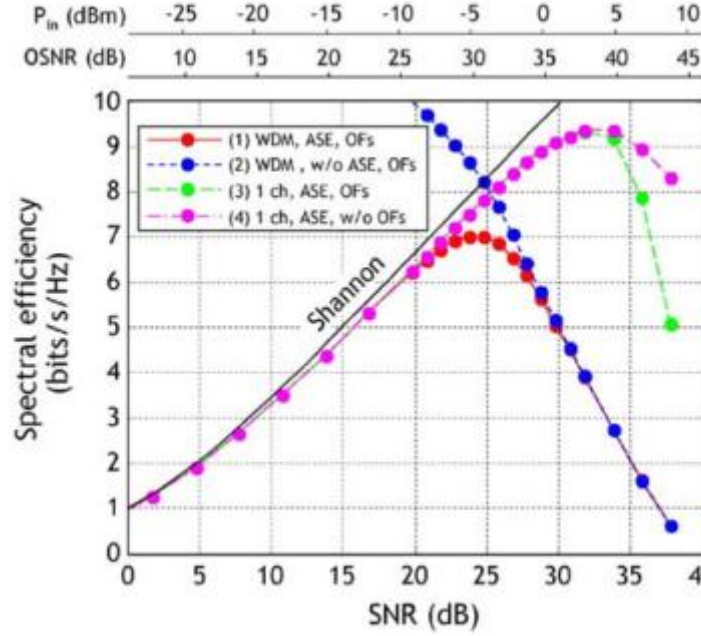
أصبح اتصال الألياف الضوئية العمود الفقري للبنية التحتية للاتصالات التي تدعم الإنترنت والعديد من تطبيقات البيانات الأخرى ذات الحجم الكبير حيث يتم تحويل كل تطبيق قائم على الإنترنت إلى شعاع من الفوتونات التي تنتقل عبر مليارات الكيلومترات من الألياف الضوئية التي تم نشرها حول العالم. ازداد في العقود الأخيرة الطلب على حركة مرور الشبكة بشكل مطرد بلا توقف ، وهذا نتيجة مباشرة لظهور تقنيات وتطبيقات جديدة عدلت بطرق معينة تفاعلاتنا الاجتماعية ومعدنا الذي نستهلك فيه البيانات ، كما أدى الارتفاع الأخير في التطبيقات التي تركز على البيانات من آلة إلى آلة وظهور ظاهرة تسمى "إنترنت الأشياء" إلى ارتفاع هذا الطلب إلى آفاق جديدة لم يتخيلها مهندسو الشبكات على الإطلاق، وقد شهدت الشبكات البصرية نموًا أيضًا في العقود الأخيرة مع تطبيق تقنيات جديدة للتعامل مع الطلب المتزايد وأيضًا لخفض التكاليف التي تنطوي عليها هذه الشبكات، حيث تم إدخال تعدد الإرسال بتقسيم الطول الموجي WDM [1] وتعدد الإرسال بتقسيم الطول الموجي الكثيف (DWDM) والذي كان النهج الرئيسي لتلبية الطلب المتزايد عبر الشبكات البصرية المختلفة في العقد الأخير حيث اكتسب الكشف المتماسك [2] أيضًا قدرًا كبيرًا من الأهمية لأنه يزيد بشكل كبير من قدرة الأنظمة من خلال زيادة نسبة الإشارة إلى الضجيج (SNR) لقناة بصرية مقارنة بالكشف المباشر. ويمكن بالتالي استخدام تعديل السعة التربيعية عالية الكفاءة الطيفية (QAM) التي ترسل الإشارة الضوئية في كل من السعة ومكونات الطور. تتوفر في الوقت الحاضر أنظمة النقل البصري المتماسك الرقمي [3] بسرعة 200 جيجا بت في الثانية، وعلى الرغم من أن كل هذه التقنيات الجديدة سمحت بزيادة مضاعفة في قدرة الأنظمة الضوئية الحالية إلا أنها ليست كافية للتعامل مع النمو الهائل الذي يختبره الطلب على حركة المرور في الوقت الحاضر وعلاوة على ذلك تقترب الأنظمة الحالية بسرعة من أكبر قدر ممكن من المعلومات التي يمكن نقلها على قناة معينة والمعروفة أيضًا باسم حد المعلومات الأساسية غير الخطية لشانون [4] تاركة مجال كبير حول أزمة السعة [5] وبين الشكل (1) السعة لكل الألياف وسعة النظام لكل الألياف المنتشرة في أنظمة النقل التجاري [7] .



الشكل (1): تطور سعة الإرسال في الألياف الضوئية

حيث الأسباب الفنية الرئيسية هي عدم خطية الألياف في الألياف أحادية النمط القياسية (SSMF) كما يوضح الشكل (2) حيث السيناريو (1) يتوافق مع حالة إرسال WDM مع ضجيج (ASE) ومرشحات بصرية (OFs) كل 100 كيلومتر ، ولا يوجد تعويض للتشتت في الخط أما السيناريو (2) هو حالة غير مادية حيث يتم إهمال ASE ، حيث عند قدرة إشارة عالية (SNR أكبر من 30 ديسيبل) ، تكون السعة مماثلة للسيناريو (1) حيث يتم تضمين ASE ام

السيناريو هان الأخيران يتعلقان بالإرسال أحادي القناة الذي يتمتع كلاهما بقدرات أعلى من السيناريو الأول مما يؤدي هذا إلى البحث عن طرق جديدة تسمح لنا بزيادة السعة بشكل كبير [13].

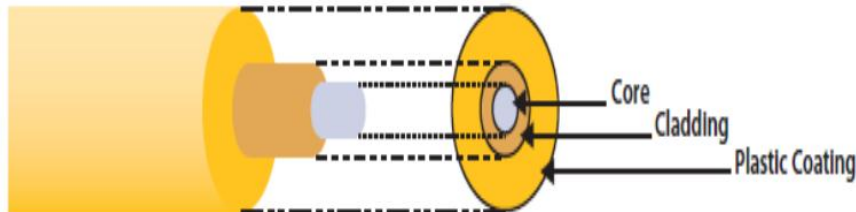


الشكل (2): حد شانون غير الخطي ASE: انبعاث تلقائي مضخم ، OF: مرشح بصري

لذلك تشير التقديرات إلى أن الاتجاهات الحالية لنمو الحركة ستؤدي إلى أزمة السعات في المستقبل القريب [6] ومن أجل زيادة سعة الألياف أو السعة المكانية تم اقتراح تعدد الإرسال بتقسيم المكان (SDM) حيث في أنظمة إرسال SDM يتم إرسال عدة إشارات مختلفة في وقت واحد من خلال توفير مسارات مكانية متعددة بطرق فعالة من حيث التكلفة. الألياف الضوئية:

### 1- البنية، المبادئ ومميزات الألياف الضوئية أحادية النمط:

يبين الشكل (3) البنية الهندسية للألياف الضوئية التي هي عبارة عن أسطوانات من الزجاج متحدة المركز، وتتكون من جزء مركزي (القلب - النواة) له قرينة انكسار  $n_1$  وغلاف يحيط به قرينة انكساره  $n_2$  حيث  $n_1 > n_2$  وتشكل هاتان الطبقتان دليل الموجة الذي يوجه الضوء وفق محوره حيث تغطي هذه المنطقة التي تلعب دوراً أساسياً في توجيه الضوء بطبقة واقية للحماية [14].

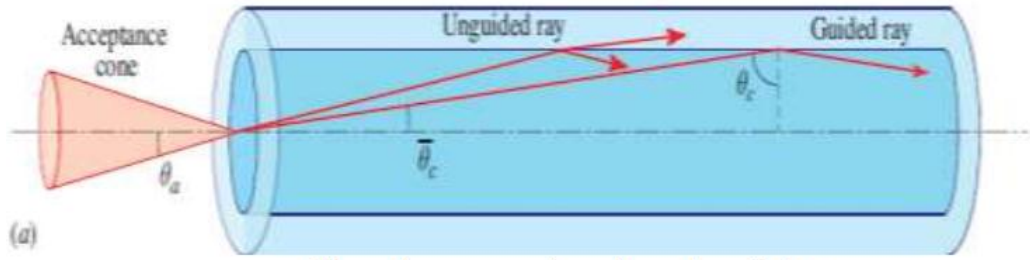


الشكل (3) بنية الليف الضوئي

تصنع الألياف الضوئية عادة من السليكا فهي مادة شبيهة بالزجاج وتتكون من السيليكون والأكسجين ولها الصيغة الكيميائية  $\text{SiO}_2$  ويتواجد هذا المركب في الطبيعة على شكل بلورات مثل الكوارتز حيث حالياً وبفضل التقنيات المتطورة يمكن للمرء أن يمد كبل ضوئي قطره 10cm بطول 150 km فعندما يدخل الضوء إلى الليف بزوايا محددة فإنه يخضع لانعكاس داخلي كلي متكرر وينتشر ضمنه وفق مسار متعرج ليصل إلى نهايته دون خسارة. ويبين الشكل (4) فتحة النفوذ العددية (Numerical aperture)  $Na$  والتي تعرف بأنها أقصى زاوية دخول للضوء إلى الليف كحد

أقصى حيث يتم قياسها بالنسبة لمحور الليف وبذلك يمكن للضوء أن يوجه دون خسارة [15] ولها الصيغة الآتية

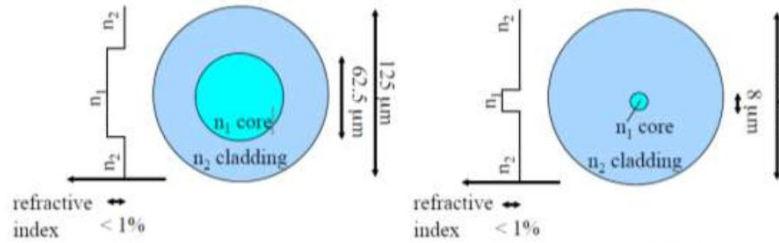
$$N_A = \sin \theta_a = (n_1^2 - n_2^2)^{1/2} \quad (1)$$



الشكل (4) فتحة النفوذ العددية وزاوية القبول والزوايا الحرجة في الليف الضوئي

لذلك فإن أي ضوء يرد ضمن دائرة نصف قطرها يقع خارج مخروط القبول سوف ينكسر على السطح البيني فيمر عبر الغلاف ويضيع فالأشعة الضوئية التي تدخل إلى القلب بزوايا أكبر أو تساوي الزاوية الحرجة  $\theta_c$  هي التي تنعكس انعكاساً كلياً ويتم توجيهها ضمن الليف. يبين الشكل (5) نوعي الألياف الضوئية فإذا كان قطر القلب كبير نسبياً (50–85  $\mu\text{m}$ ) يمكن أن ينتشر ضمن الليف أكثر من نمط فنحصل على ليف متعدد الأنماط (Multi-Mode Fiber)، ويستخدم هذا النوع من الألياف في الشبكات المحمية التي تمتد لبضعة كيلومترات فقط وتنتقل هذه الألياف البيانات باستخدام الضوء الصادر عن الديود الضوئي (LED) ضمن المجال

(850–1300nm) وعلى العكس من ذلك إذا كان قطر القلب صغير مقارنة بالطول الموجي فإن يسمح بانتشار نمط واحد فقط ويكون في هذه الحالة ليف ضوئي أحادي النمط (SMF) ذي قطر قلب صغير بحدود 9  $\mu\text{m}$  ويتم توفير نقل البيانات عن طريق الليزر التي تصدر الأطوال الموجية 1300nm و 1550nm والمضخمات الضوئية التي توضع على مسافات منتظمة من الليف [14,16,17].



الشكل (5) مقارنة بين الليف أحادي النمط والليف متعدد الأنماط.

وتتميز الألياف الضوئية باثنتين من البارامترات [15] :

• الفرق في قرينتي الانكسار (refractive index difference) : له قيمة نموذجية ويعطى بالعلاقة

$$\Delta = (n_1 - n_2)/n_1 \quad (2)$$

• التردد المنظم  $V$  :

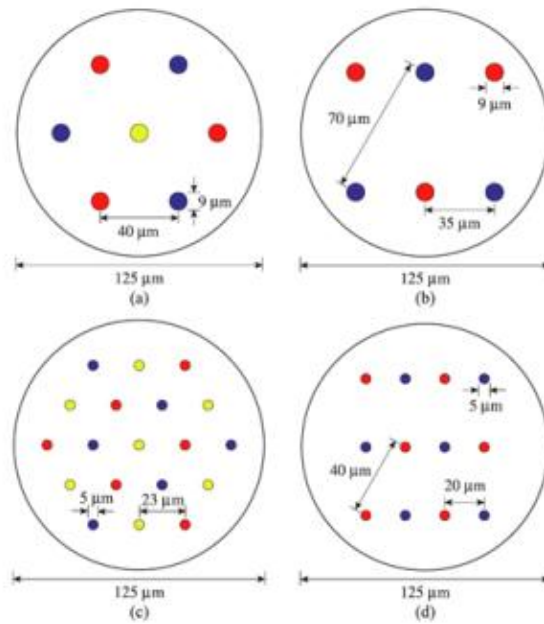
$$V = (2\pi/\lambda_0) * a * (n_1^2 - n_2^2)^{1/2} \quad (3)$$

حيث  $a$ : نصف قطر اللب،  $\lambda_0$  الطول الموجي في الخلاء،  $n_1$  قريئة انكسار اللب،  $n_2$  قريئة انكسار الغلاف

## 2- الألياف متعددة القلوب (MCF) :

تم تصنيع MCFs لأول مرة بواسطة Fukazawa Electric في عام 1979 وتتكون من بنية تشتمل على عدة قلوب ضمن غلاف واحد.

مكّن التقدم الحديث في تكنولوجيا التصنيع MCF التي تدعم السعة الكبيرة والانتقال لمسافات طويلة من خلال اعتماد بناء هولي حيث يعتبر الحد من XT هي القضية الرئيسية في MCF فقد تم تطوير العديد من الطرق لتقليل الحديث المتبادل من خلال التخطيط الأساسي غير المتجانس والنتيجة شبه المتجانسة المحتملة والبناء المعزز بمحاكاة الشكل كما يبين الشكل (6) حيث يوضح لنا المسافة بين القلوب وكذلك قطر القلب وذلك يتغير حسب عدد القلوب ضمن الغلاف حيث تم استخدام التصميم الاخير في دراستنا [13].

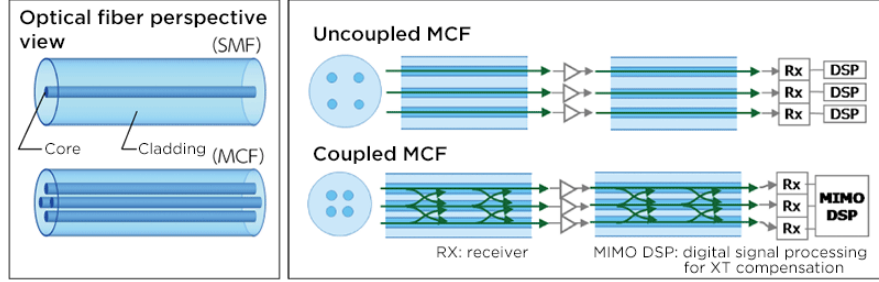


الشكل (6) الحد من التداخل المتبادل بين القلوب في MCF: (a) - (d) تخطيط غير متجانس

حيث هناك نوعان من الألياف ذات 10 قنوات مكانية أو أكثر: أحادي الوضع (SM-MCF) و (FM-MCF) حيث يتم تحقيق هذه الزيادة في القنوات المكانية ببساطة عن طريق زيادة قطر الغلاف ومع ذلك فإنه سوف يقلل من القوة الميكانيكية والموثوقية على المدى الطويل لذلك لا يزال البحث عن حل عملي ومثالي حيث يعتبر SM-MCF أسهل

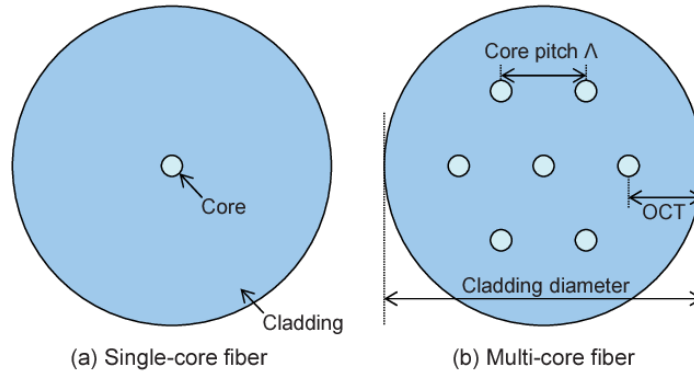
بكثير في تحقيق انتقال سعة كبيرة لمسافة طويلة لأن الانتشار أحادي النمط مستقر وتتعكس الزيادة في العدد الأساسي بشكل مباشر على السعة الإجمالية.

في الوقت الحاضر يعتبر MCF موضوع مهم لإمكانياته الواعدة في تحسين كفاءة SDM ويمكن تصنيف MCFs إلى ألياف من النوع المقترن وغير المقترن كما يوضح الشكل (7) حيث النوع الأول يستخدم العديد من النوى الموضوعية بطريقة تسمح للقلوب بالاقتران مع بعضها البعض [6].



الشكل (7) الفرق بين النوع المقترن والنوع الغير المقترن لليف متعدد القلوب

حيث تتطلب الـ MCFs من النوع الغير مقترن أن يتم ترتيب كل قلب بشكل صحيح داخل الألياف للحفاظ على تداخل متبادل منخفض بين القلوب منخفضاً بما يكفي للسماح بتطبيقات الإرسال لمسافات طويلة.



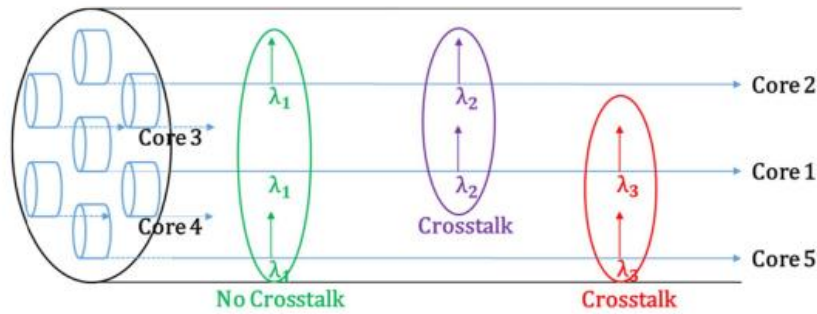
الشكل: (8) يبين شكل الليف متعدد القلوب

كما يعتمد عدد القلوب المراد وضعها داخل هذه الألياف على معايير التصميم التي تؤخذ في الاعتبار حيث لا يمكن أن تكون المسافة بين القلب الخارجية وحافة الغلاف الخارجية أصغر (outer cladding thickness) من  $30\mu\text{m}$  كما يبين الشكل (8) وذلك لتقليل خسارة الانحناء الجزئي.

وتعتبر المسافة بين القلوب (core pitch) البارامتر الرئيسي الذي يحدد مستوى التداخل بين القلوب بحيث إذا كانت المسافة بين القلوب أكبر من أو يساوي سبعة أضعاف نصف قطر القلب يدعى هذا التصميم من الألياف بالنوع غير المقترن حيث تعتبر الـ Core pitch و OCT و Cladding diameter البارامترات الأساسية لليف متعدد القلوب كما هو مبين في الشكل (8)

### 3- التداخل المتبادل (cross talk)

التداخل المتبادل هو تداخل الحقل الكهربائي أو المغناطيسي لأحد القلوب مع قلب اخر مجاور كما يبين الشكل (9) حيث يحدث تداخل الإشارات في الغالب عندما تنتقل الإشارات ذات الأطوال الموجية نفسها في القلوب المجاورة [10]



الشكل (9) مثال على التداخل المتبادل في MCF

حيث يمكن اهمال التداخل بين إشارتين تحملهما أطوال موجية مختلفة أو منتشرة على القلوب غير المتجاورة وقد يقل التداخل المتبادل من جودة الإشارة ويسبب فقد المعلومات حيث يعتبر تقليل التداخل المتبادل مهمة شاقة، ولكن إذا لم يتم تنفيذه فسوف يمنع الألياف من تحقيق أقصى إمكاناتها من حيث الأداء والسعة، لذلك لكي يتم التعامل مع التداخل المتبادل بشكل صحيح هناك حاجة إلى طريقة دقيقة لتقديره في الألياف متعددة القلوب حيث توجد طريقتان للقيام بذلك: نظرية النمط المزدوج (CMT) Coupled-Mode Theory ونظرية السعة المزدوجة (CPT) Coupled-Power Theory. يمكن استخدام هذه الطريقة لتحليل خصائص انتشار أدلة الموجة في حين أن هذه الطريقة تسمح بتقدير دقيق للتداخل المتبادل مع مراعاة تأثيرات التواء والانحناء التي تتعرض لها الألياف إلا أن هناك حاجة إلى عدد كبير من عمليات المحاكاة لتقدير قيمة التداخل المتبادل.

نظرية السعة المزدوجة: من ناحية أخرى يعتمد على مبدأ قياس مقدار الطاقة التي تنقلها الإشارة التي يتم إرسالها في قلب واحد إلى قلبها المجاور وعلى عكس CMT فإن CPT قادر على تقديم تقدير سريع ودقيق للتداخل المتبادل بين القلوب في MCFS عن طريق حساب متوسط تأثيرات الانحناء واللف على طول الألياف باستخدام طول ارتباط محدد مسبقاً.

باستخدام نظرية CPT يمكن تقدير حجم التداخل بين اثنين من النوى داخل ليف بطول : L

$$XT = \tan h (h_{mn} L) \quad (4)$$

علاوة على ذلك إذا كان التداخل المتبادل صغيراً جداً فيمكن تقريبه

$$XT = h_{mn} L \quad (5)$$

$$h_{mn} = (2 * K_{pq}^2 * R_b) / \beta * \Lambda \quad (6)$$

حيث  $h_{mn}$  : هو متوسط pcc بين القلبين m و n .

حيث يعطى التداخل بين القلوب :

$$XT = (2 * K_{pq}^2 * R_b * L) / \beta * \Lambda \quad (7)$$

حيث أن :



$\beta$ : ثابت الانتشار ،  $R_b$  نصف قطر الانحناء ،  $K_{pq}$  معامل اقتران النمط ،  $\lambda$ : المسافة بين القلوب ،  $L$ : طول الليف  
يعطى  $K_{pq}$  بالعلاقة التالية [8]:

$$K_{pq} = \left( \frac{U_1^2 * \sqrt{\Delta}}{a_1 * V_1^3 * K_1^2(W_1)} \right) * \left( \frac{\pi * a_1}{W_1 * \Lambda} \right) * \exp\left(\frac{-W_1 * \Lambda}{a_1}\right)^{0.5} \quad (8)$$

$$V_1 = k * a_1 * n_1 (2\Delta_1)^{1/2} \quad , \quad U_1^2 = a_1^2 * (k^2 * n_1^2 - \beta^2) \quad , \quad W_1^2 = a_1^2 * (\beta^2 - k^2 * n_0^2)$$

حيث أن:

$k$ : العدد الموجي ،  $K_{1W_1}$  تابع ببسل المعدل من النوع الثاني والدرجة الأولى

$a_1$  نصف قطر القلب ،  $\Delta_1$  الفرق بين دليل انكسار القلب والغلاف

يعطى تابع ببسل بالعلاقة التالية [9]:

$$K_1(W) = (\pi/2 * W)^{1/2} * e^{-W} [1 + 3/8w(1 - (5/2 * 8w)(1 - (21/3 * 8w)))] \quad (9)$$

يجب أن نلاحظ أيضاً أن التداخل المتبادل الذي قدمته العلاقة (7) هو متوسط التداخل المتبادل بين قلوبين وليس أسوأ حالة تداخل متبادل حيث في MCFs الفعلية يحتوي كل قلب بشكل عام على عدة قلوب متجاورة ويتأثر بجميع القلوب الأقرب. إذا كانت جميع القلوب تحمل قوة إشارة متساوية فإن أسوأ حالة تداخل للقلوب الداخلية أكبر من القلوب الخارجية، نظراً لأن عدد القلوب المجاورة الأقرب أكبر للقلوب الداخلية. على سبيل المثال في حالة HCPS تحتوي القلب الداخلية على ستة قلوب مجاورة أقرب، في حين أن القلوب الخارجية لديها ثلاثة أو أربعة قلوب مجاورة أقرب [11].

أسوأ تداخل متبادل (XT worst) يعطى بالعلاقة التالية [12]:

$$IC-XT_{\text{worst}} = IC-XT + 10 * \log(n) \quad (10)$$

حيث  $IC-XT$  هو التداخل المتبادل بين قلوبين متجاورين في [dB] و  $n$  هو عدد القلوب المجاورة.

## أهمية البحث وأهدافه:

### أهمية البحث:

وجدنا من خلال دراسة مرجعية معمقة لأبحاث ودراسات اقتراب الأنظمة الحالية بسرعة من الحد الأقصى لمقدار المعلومات التي يمكن إرسالها عبر قناة معينة مما يؤدي إلى أزمة السعة التي تلوح في الأفق ومن أجل التغلب على حدود السعة في البنية التحتية لاتصالات الألياف البصرية الحالية فإن زيادة الكفاءة المكانية باستخدام المقطع العرضي المتوفر من الألياف هو الحل الأكثر فعالية. لذلك تشكل الألياف متعددة القلوب (MCF) في نطاق تعدد الإرسال بتقسيم المكان (SDM) حلاً واعداً لقضية الكفاءة المذكورة أعلاه.

وبالتالي تكمن أهمية البحث كونه:

- يقترح البحث وبخطوات محددة آلية تصميم ليف ضوئي متعدد القلوب وحيد النمط كقناة اتصال ضوئية.
- يقترح أيضاً البرمجيات الحديثة المستخدمة كأداة لتصميم ودراسة الليف.
- يحدد العلاقة التفاعلية بين البرمجيات المستخدمة في عملية التصميم.

## أهداف البحث:

- دراسة وتصميم ليف ضوئي يعمل ضمن النافذة ال موسعة C-band
- تسليط الضوء على أهم برامج المحاكاة المستخدمة في حساب معاملات الليف وايجاد العلاقة التفاعلية بينها.
- فرز معاملات الليف وتحديد البرنامج أو المحاكى المناسب

## طرائق البحث ومواده:

تم توصيف جميع مراحل العمل لدراسة التداخل المتبادل بين القلوب حيث تتكون مراحل العمل من أربعة أجزاء رئيسية:

- 1- الألياف متعددة القلوب (MCF)
- 2- التداخل المتبادل (cross talk)
- 3- تصميم MCF باستخدام ال COMSOL
- 4- حساب التداخل

## النتائج والمناقشة:

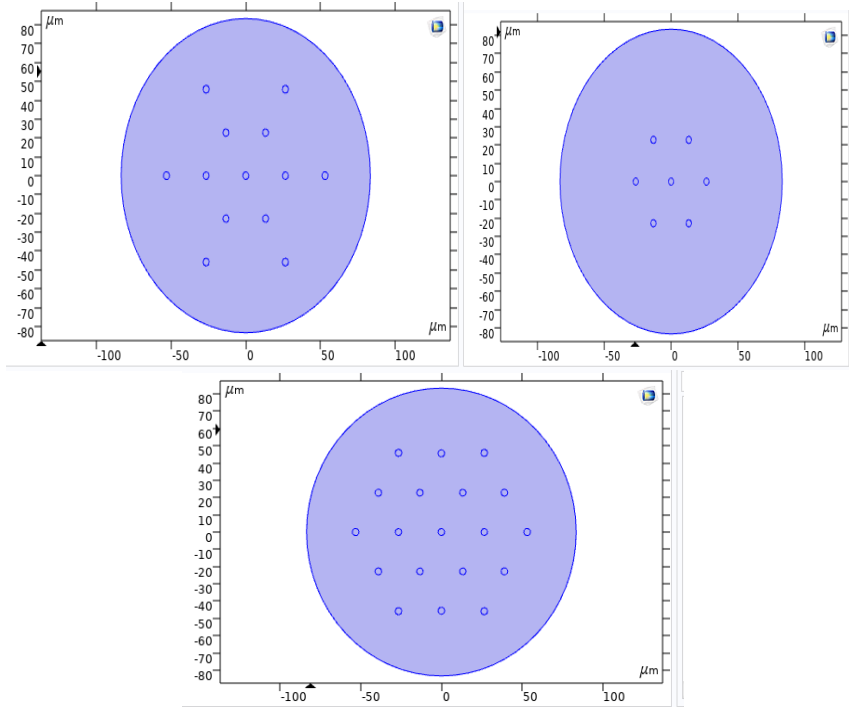
### 1- تصميم MCF باستخدام ال COMSOL :

توجد طرق لا حصر لها لتنظيم القلوب داخل SM-MCF مثل وضعها في حلقات سداسية بالنظر إلى أن التداخل المتبادل يتأثر بشدة بالمسافة بين القلوب لذلك فإن الطريقة المنطقية عند تصميم المخططات هي زيادة المسافة بين القلوب المجاورة ، وفي ضوء هذا المنطق تم النظر في نظرية تعبئة الدائرة وعلى الرغم من أن نظرية التعبئة الدائرية التي تنص على أن التعبئة الأكثر كثافة للدوائر المتماثلة في المستوى هي الشبكة سداسية لقرص عسل النحل حيث بالتوضع السداسي يتم تنظيم القلوب في حلقات مختلفة وكلها ذات شكل سداسي والطريقة التي نضيف بها القلوب إلى هذا التصميم أكثر تعقيداً مما قد يتصور المرء حيث لا يمكن إضافة الحلقات ببساطة إلى الألياف حتى تسمح القيود الفيزيائية للألياف نظراً لأن بعض القلوب في الحلقة نفسها قد تختلف في المسافة إلى القلب المركزي ، وهذا يعني أن بعض النوى قد تتلامح مع الألياف بينما البعض الآخر لا و لهذا السبب كلما تمت إضافة القلوب إلى الألياف فإنها تشترك جميعاً في نصف القطر نفسه حيث يتم بناء حلقات في مراحل واحد ، اثنين ، ثلاثة وأحياناً أكثر .

في البداية يتم وضع سبعة قلوب في الألياف، حيث أن جميع القلوب الستة التي تتكون منها الحلقة الأولى لها نفس نصف القطر ثم نقوم ببناء جزء من الحلقة الثانية عن طريق إضافة تلك القلوب الأقرب إلى المركز وهكذا حتى نحصل على التصميم النهائي (19 قلب) كما يبين الشكل (10) حيث توضح المحاور نصف قطر الغلاف والمسافة بين القلب الخارجية وحافة الغلاف الخارجية لا يمكن ان تكون أصغر (OCT) من  $30 \mu\text{m}$  بحيث نحصل على بنية سداسية حيث تم استخدام البارامترات كما يبينها الجدول التالي

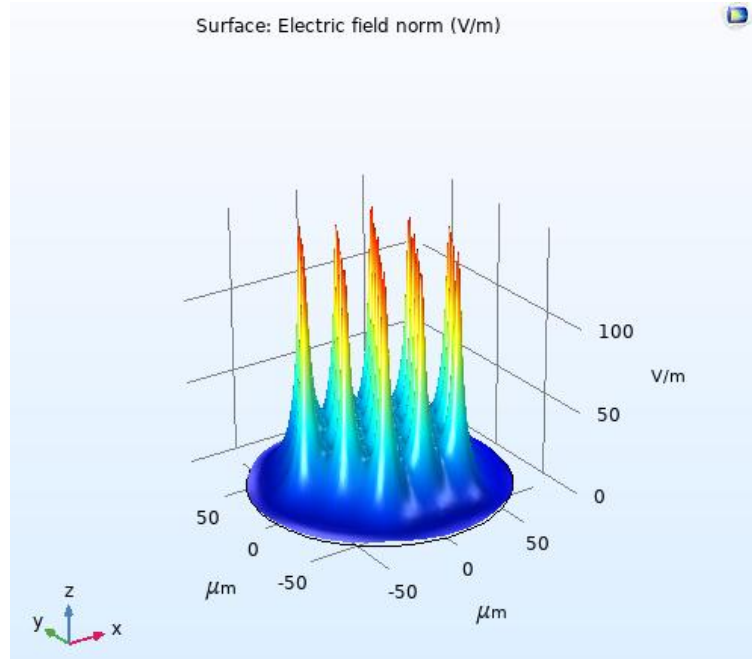
الجدول (1) البارامترات المستخدمة في تصميم الليف

Name	Expression	Value	Description
l <sub>da</sub> 0	1.55[um]	1.55E-6 m	Wavelength
f <sub>0</sub>	c_const/l <sub>da</sub> 0	1.9341E14 1/s	Frequency
wlMin	1.2[um]	1.2E-6 m	Minimum wavelength
wlMax	1.6[um]	1.6E-6 m	Maximum wavelength
wlCount	11	11	Number of wavelengths
nEff0	((l <sub>da</sub> 0-wlMin)*1.4486190049886465+(wlMa...	1.4492	Start guess for effective i...
dWI	(wlMax-wlMin)/(wlCount-1)	4E-8 m	Wavelength step
d	8.2[um]	8.2E-6 m	A layer diameter
rMax	53[um]	5.3E-5 m	The largest circle radius



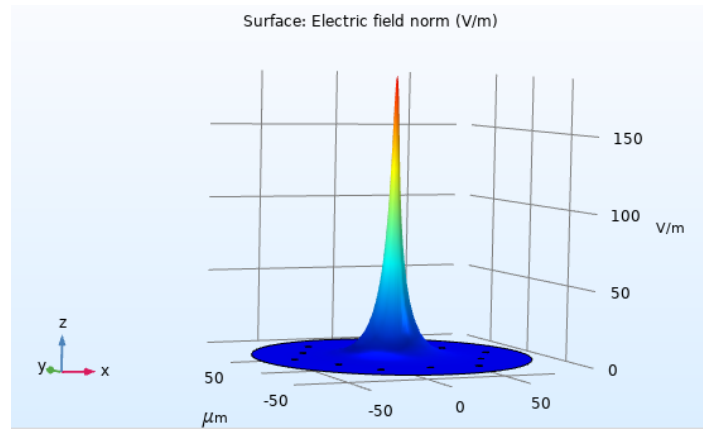
الشكل (10) : يبين مراحل تصميم الليف (بنية الليف بالنسبة لنصف قطر الغلاف)

حيث طاقة الحقل الكهربائي لكل قلب من القلوب متساوية حيث تكون شدة الحقل أكبر في القمة وتتناقص بالتدرج كما يبين الشكل (11):



الشكل (11) : طاقة الحقل للتصميم النهائي

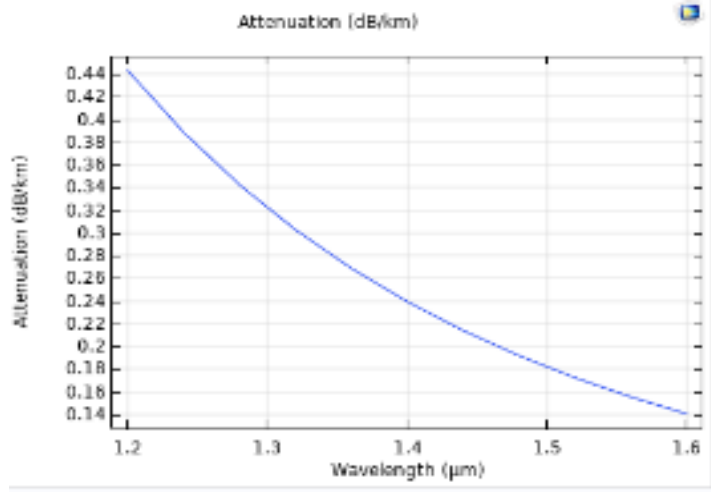
اما الشكل (12) فيبين طاقة الحقل للقلب المركزية



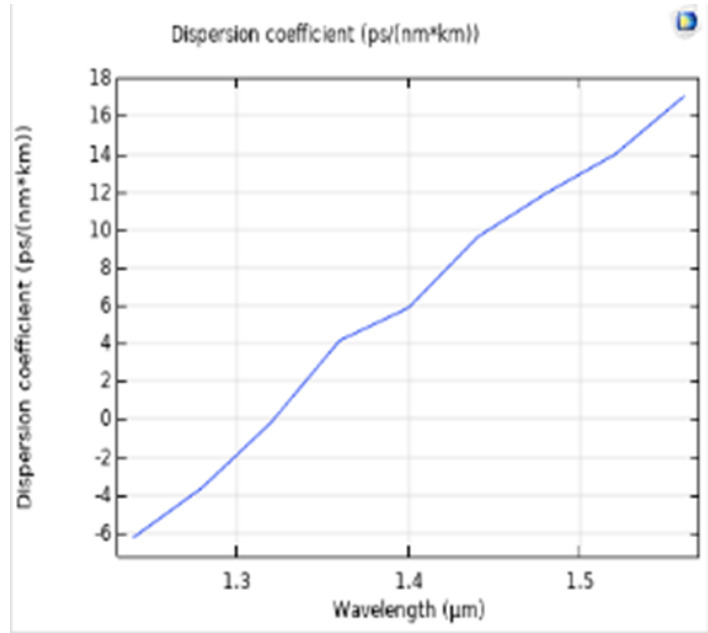
الشكل (12) طاقة الحقل للقلب المركزية

عند محاكاة المرحلة الاخيرة من تصميم الليف باستخدام comsol حصلنا على منحنى التخماد المبين في الشكل (13)

ومنحنى التداخل المبين في الشكل (14)

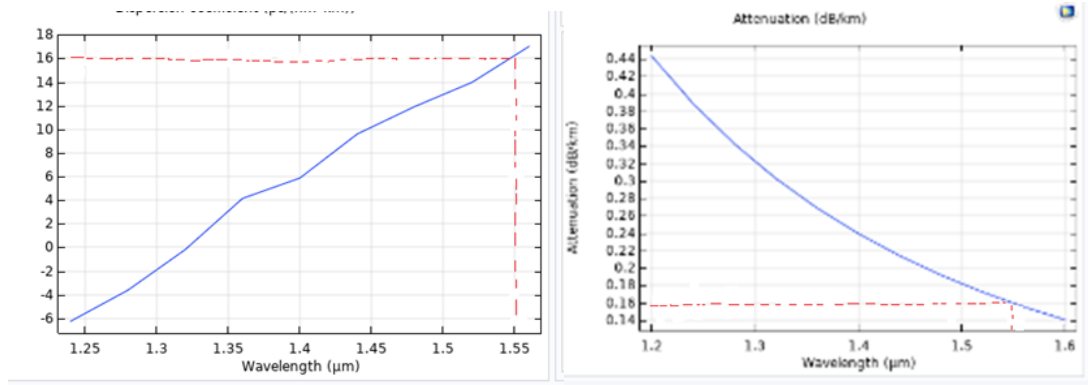


الشكل (13) : منحنى التخماد للتصميم النهائي (19 قلب )



الشكل (14) يبين منحنى التشتت للتصميم النهائي ( 19 قلب )

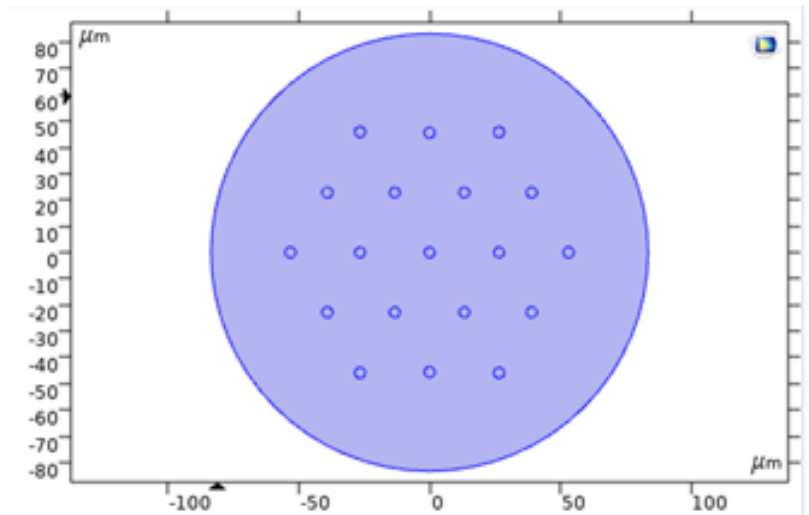
يبين الشكل (15) قيمة تخامد مقبولة (0.16 Db/km) عند طول الموجة  $1.55 \mu\text{m}$  وكذلك قيمة تشتت مقبولة (16 PS/(nm.km) عند طول الموجة  $1.55 \mu\text{m}$ )



الشكل (15) يبين قيمة التداخل والتخامد عند طول الموجة 1.55 nm

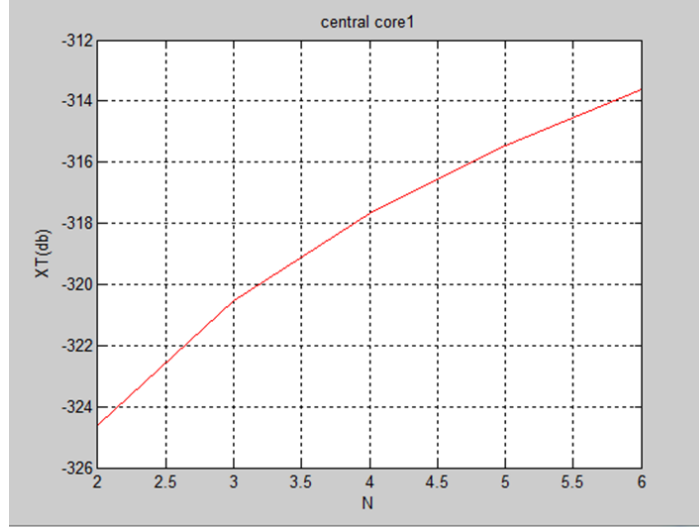
## 2- حساب التداخل:

يحدث التداخل بين القلوب المتجاورة حيث يمكن حساب التداخل لأحد القلوب باستخدام العلاقة (10) عن طريق حساب التداخل بين القلب المراد حساب التداخل عندها وأحد القلوب المجاورة باستخدام العلاقة (7) ومن ثم نقوم بضربها بعدد القلوب المجاورة بحيث تكون القلوب المجاورة على نفس المسافة من القلب المراد حساب التداخل لها.



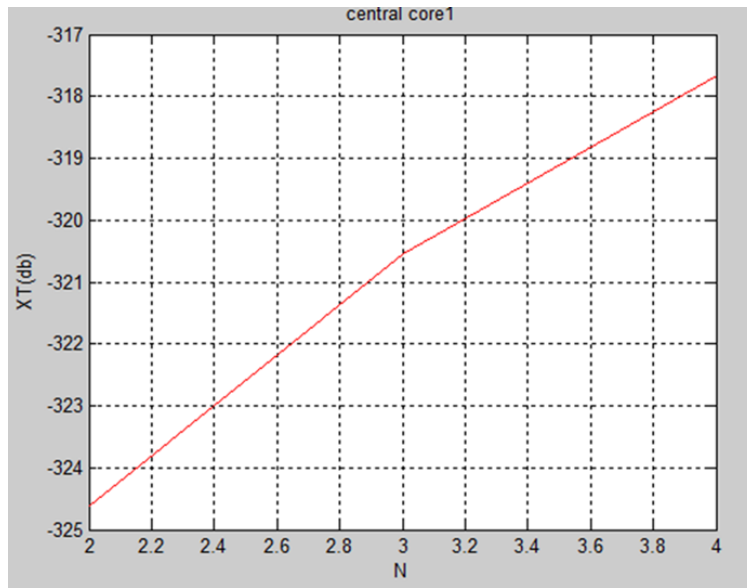
الشكل (16) : التصميم النهائي للقلوب

عند حساب التداخل للقلب المركزية نقوم بحساب التداخل بين القلب المركزية ومع احد القلوب المجاورة باستخدام العلاقة (7) ومن ثم نضرب الناتج بعدد القلوب المجاورة (6 قلوب). ويبين الشكل (17) منحنى التداخل الحاصل للقلب المركزية او أحد قلوب الحلقة الداخلية:



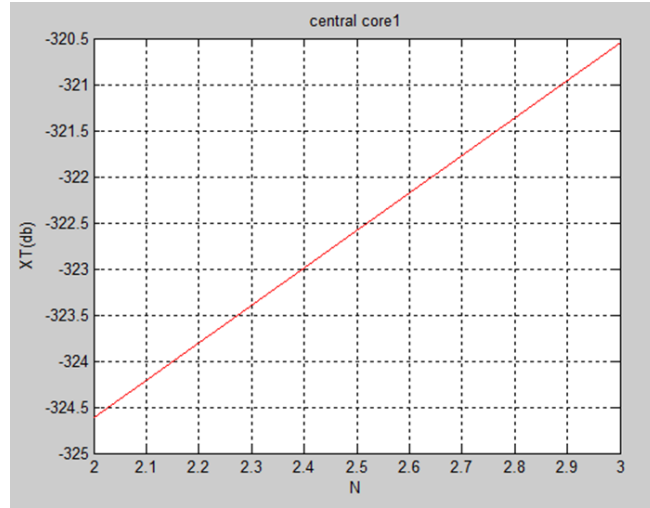
الشكل (17) : منحنى التداخل الحاصل للقلب المركزية او احد قلوب الحلقة الداخلية

وعند حساب التداخل لإحدى قلوب الحلقة الوسطى نحصل على المنحنى المبين في الشكل (18):



الشكل (18) : التداخل لإحدى قلوب الحلقة الوسطى

وعند حساب التداخل لإحدى قلوب الحلقة الخارجية نحصل على منحنى التداخل كما يبين الشكل (19):



الشكل (19) التداخل لإحدى قلوب الحلقة الخارجية

عند أخذ المنحنيات ( 17-18-19) في منحنى واحد نحصل على المنحني المبين في الشكل ( 20 ) حيث يتبين لنا انه كلما كان عدد القلوب المحيطة بالقلب المراد حساب التداخل لها اقل كلما كان التداخل اقل



الشكل (20) : تداخل القلب المركزية والحلقة الوسطى والحلقة الخارجية

### الاستنتاجات والتوصيات:

- صمم البحث ودرس ليف ضوئي احادي النمط متعدد القلوب
- من الشكل(15) نجد ان قيمة التخماد تبلغ 0.16 dB/km عند طول الموجة 1.55  $\mu\text{m}$  وقيمة التشننت تبلغ ( 16 PS/(nm.km) ) عند طول الموجة 1.55  $\mu\text{m}$  .



- من الشكل (20) نجد ان القلب المركزية او احد قلوب الحلقة الداخلية تتأثر بالتداخل اكثر من قلوب الحلقة الوسطى وكذلك قلوب الحلقة الوسطى تتأثر بالتداخل اكثر من قلوب الحلقة الخارجية لأن عدد القلوب المجاورة للقلب المركزية 6 بينما عدد القلوب المجاورة لقلوب الحلقة الوسطى 4 بينما عدد القلوب المجاورة لقلوب الحلقة الخارجية 3 .
- تم وضع برنامج ال comsol لدراسة تخميد وتشتت الليف الضوئي وبرنامج الماتلاب لدراسة تداخل الإشارات بين القلوب

## References:

- [1] LI, T. *The impact of optical amplifiers on long-distance light wave telecommunications*. USA, 1993, 12.
- [2] LI, G. *Recent advances in coherent optical communication*, USA, 2009, 30.
- [3] RASMUSSEN, J.; HOSHIDA, T AND NAKASHIMA, H. *Digital Coherent Receiver Technology for 100-Gb/s Optical Transport Systems*. 2010, 9.
- [4] ESSIAMBRE, R.; KRAMER, G.; Winze, P.J.; FOSCHINI, G.J.; GOEBEL, B. *Capacity Limits of Optical Fiber Networks*. USA, 2010, 41.
- [5] ANDREW, CH. *Optical Communication*. ECOC '09. 35th European Conference on , vol., no., pp.1,1, 2008, 20-24 Sept.
- [6] PINTO, J. *Study and optimization of core allocation in multi-core optical fibers*. 2016, 58.
- [7] MIUZNO, T; MIYAMOTO, Y. *High-capacity dense space division multiplexing transmission*. Japan, 2017, 10.
- [8] MARTINE, L. *Investigation on Crosstalk in Multi-core Optical Fibers*. Barcelona, 2015, 46.
- [9] ABRAMOWITZ, M and STEGUN, I. 1965, *Handbook of Mathematical Functions*. New York, 40.
- [10] YUAN, H; FURDEK, M; MUHAMMAD, A; SALJOGHEI, A; WOSINSKA, L and ZERVAS, G. *Space-Division Multiplexing in Data Center Networks: On Multi-Core Fiber Solutions and Crosstalk- Suppressed Resource Allocation*. America, 2018, 17.
- [11] SAITOH, K and MATSUO, SH. *Multicore Fiber Technology*. Japan, 2016, 12.
- [12] SASAKI, Y; TAKENAGA, K; GUAN, G; MATSUO, SH; SAITOH, K; and KOSHIBA, M. *Few-mode multicore fibers for long-haul transmission line*. Japan, 2016, 9.
- [13] AWAJI, Y. *Review of Space-Division Multiplexing Technologies in Optical Communications*. Japan, 2018, 17.
- [14] JOHNSON, M. *Optical Fiber, Cables and Systems*. ITU, Switzerland, 2010, 299.
- [15] DUTTA, A. *Mode Analysis of Different Step Index Optical Fibers at 1064nm for High-power Fiber Laser and Amplifier*. International Journal of Electronics and Communication Technology (IJECT), India, Vol. 6, No. 3, 2015, 74-77
- [16] SAURABH; and KUMAR, V. *Power Communication using Optical-Fiber*. IPASJ International Journal of Electrical Engineering (IJEE), India, Vol. 3, No. 12, 2015.
- [17] DUBEY, P; and SHUKLA, V. *Dispersion in Optical Fiber Communication*. International Journal of Science & Research (IJSR), India, Vol. 3, No. 10, 2014, 236-239.