

الفصل الاول

(1-1) مقدمة:

تعتبر الالياف الضوئية في عصرنا هذا من المقومات الاساسية في بعض المجالات كشبكة الانترنت والاتصالات والكثير وتلعب دورا كبيرا في مجالات اخرى ، لذا توالت الدراسات في كيفية تطوير الالياف البصرية وما زالت حيث تمثل التطوير في كيفية خفض التوهين وبالفعل استطاعوا خفض التوهين من 1000 db/km الى قيم صغيرة جدا.

لكن نجد ان التطوير يتركز على نوع معين من الالياف البصرية وهي الالياف الزجاجية بانواعها المختلفة وذلك على عدة مراحل حيث كانت المرحلة الاولى تعمل على الطول الموجي 850 nm والتي سميت بالنافذة الاولى بمعدل توهين يبلغ 3 db/km كما تتمثل النافذة الثانية في تصنيع الياف بصرية تعمل على الطول الموجي 1300 nm بمعدل توهين بلغ 0.5 db/km وفي عام 1977م قامت شركة (NTT) بالانتقال الى النافذة الثالثة وذلك باستخدام الطول الموجي 1550 nm بمعدل توهين بلغ 0.2 db/km والكثير من الدراسات اجريت في هذا المجال وذلك بغرض استخدامها في مسافات طويلة.

نجد ان معظم الدراسات تمركزت حول الالياف البصرية بانواعها مقارنة بالالياف البلاستيكية التي ينحصر استخدامها في المسافات القصيرة (عشرات الامتار) والاستخدامات المنزلية وذلك نسبة للتوهين العالي في هذه الالياف ، من خلال الدراسات العملية السابقة وبعض المواصفات للالياف البصرية سنتطرق الى عرض بعض اسباب التوهين في الالياف البلاستيكية التي تم التوصل اليها.

(2-1) مشكلة البحث

التوهين العالي في الالياف البصرية البلاستيكية مقارنة بالالياف البصرية الزجاجية ، حيث تصمم الالياف البلاستيكية بفتحات نفوذ عديدة عالية غير مناسبة لمختلف الاطوال الموجية.

(3-1) اهداف البحث

دراسة العلاقة بين التوهين و فتحة النفوذ العديدة في الالياف البلاستيكية.

(4-1) اهمية البحث

تعتبر الالياف الضوئية في عصرنا هذا من المقومات الاساسية في بعض المجالات كشبكة الانترنت والاتصالات والكثير وتلعب دورا كبيرا في مجالات اخرى ، لذا كان لابد من دراسة بعض الخصائص للالياف البصرية البلاستيكية حيث يوضح هذا البحث تأثير فتحة النفوذ العددية على معدل التوهين في الاشارة الضوئية النافذة عبر الليف البصري البلاستيكي.

(5-1) محتوى البحث

يحتوي الفصل الاول على المقدمة ، والفصل الثاني الالياف البصرية ، والفصل الثالث مواصفات الالياف البصرية ، والفصل الرابع الدراسة النظرية والنتائج والتوصيات.

الفصل الثاني

الالياف البصرية

(1-2) مقدمة :

لقد استخدم الضوء للاتصال منذ ان خلق الله الارض ومن عليها فيدونه لا يمكن ان نري من حولنا وقد استخدمت الاشارات والمرايا العاكسه والمصابيح لنقل المعلومات ولكن مقدار المعلومات المنقولة محدودة ويمكن للاخرين الاطلاع عليها علاوة علي التأثير السلبي للظروف البيئية ان اول محاولة فعلية مدونة لاستخدام الاشارات كان عام 1791م من قبل كلودشابي في فرنسا ، اذا استخدم مجموعة من الابراج تحتوي علي عدة اذرع لنقل معلومات مسافة 200 كيلو متر يستغرق ارسال المعلومة الواحده حوالي 15 دقيقة .

في عام 1854م اجري جون تايندل تجربة بسيطة بين ان الضوء يمكن ثنيه اذا وجد الوسط الملائم وفي عام 1880م قام الكسندر جراهام بل بنقل الصوت عبر حزمه ضوئية وقد اجريت محاولات عديدة لاستخدام الاتصالات البصرية خلال هذا القرن ولكنها لم تلق النجاح لعدم توفر المنابع المناسبة علاوة علي الاضطرابات الجوية كالمطر والتلج والغبار والضباب مما حدد من امكانية استخدامها.

ادي اكتشاف الليزر عام 1960م من قبل ثيودور ميمان الي تجدد الاهتمام بالاتصالات البصرية وفي عام 1966م اقترح كل من تشارس كاو وجورج هوكام تصنيع الياف زجاجية قليلة الفقد وفي عام 1970م تم تصنيع الياف بصرية مصنعة من مادة السليكا وبفقد 20ديسيبل لكل كيلو متر بدلا من 1000ديسيبل لكل كيلومتر من قبل ذلك الوقت. وفي غضون عشر سنوات ،تم تصنيع الياف بفقد يصل الي 20 ديسيبل لكل كيلومتر عند الطول الموجي 1550نانومتر [1].

(2-2) : الليف البصري (Optical Fiber)

هو تركيب من مادة الزجاج المطعم بايونات معينة يستخدم لنقل الاشارة الضوئية (الليزر) من نقطة لاخري دون فقدانها او اتلافها او تشويهها [5].

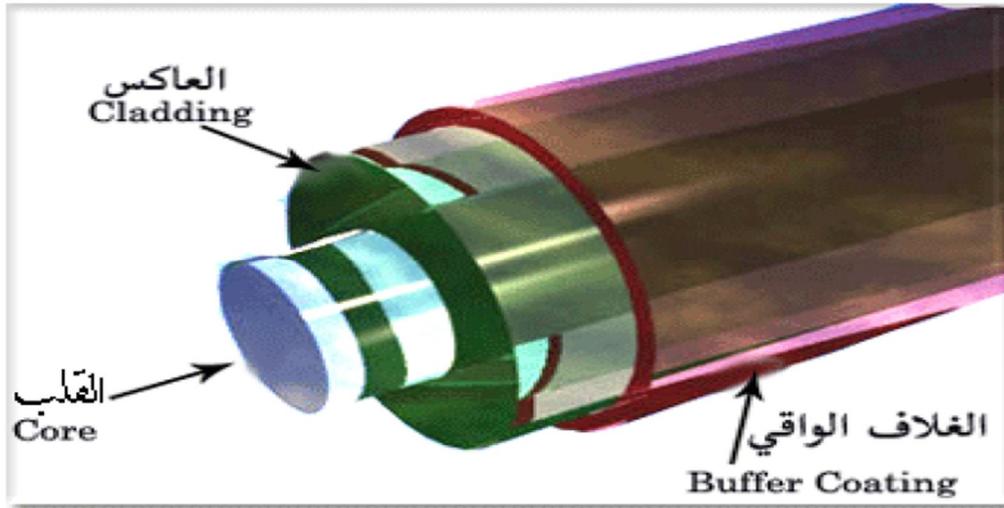
(3-2) : مكونات الليف البصري

يتكون الليف البصري من ثلاثة اجزاء رئيسية وهي كالآتي:

1-3-2: القلب (Core): وهو عبارة عن زجاج رفيع ينتقل فيه الضوء

2-3-2: العاكس (Cladding): هو مادة تحيط باللب الزجاجي وتعمل على عكس الضوء مرة أخرى إلى مركز الليف البصري.

3-3-2: الغطاء الواقي (Buffer Coating): غلاف بلاستيكي يحمي الليف البصري ويحميه من الضرر والكسر [1].



الشكل (1-2) مكونات الليف البصري.

(4-2) أنواع الاليف البصرية Types of Optical Fiber.

تصنف الاليف البصرية إلى ثلاثة أنواع تبعاً لأنماطها وتركيبها وهي كما يلي:

1-4-2: اليف متعددة النمط وبعامل انكسار عتبي (Multimode Step Index Fibers)

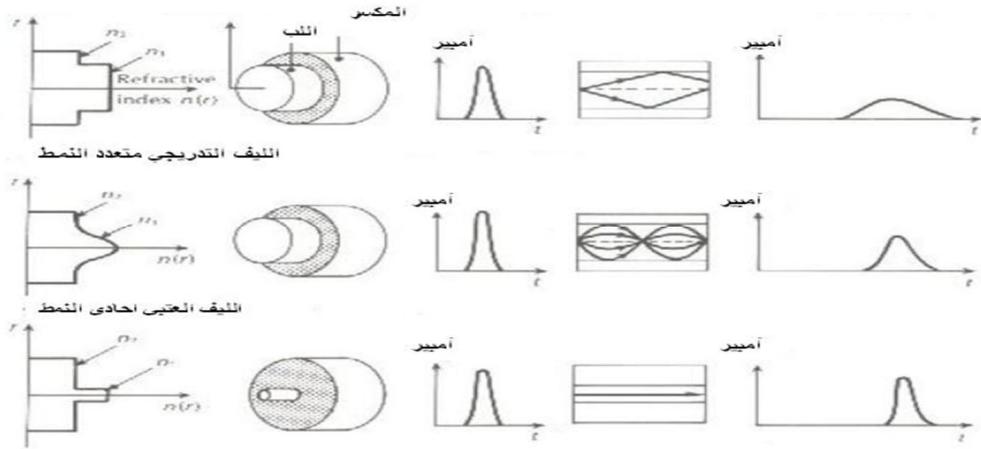
يتألف الليف البصري من جزئين أساسيين هما لب الليف والذي يشغل مركز الليف يحيط به كساء يضاف لذلك طبقة واقية تسمى الغلاف، يصنع هذا النوع من الاليف البصرية من عناصر مختلفة من الزجاج ومركباته أو من السليكا [1].

2-4-2 : الياف متعددة النمط وبمعامل انكسار متدرج (Multimode Graded Index Fiber)

معامل انكسار هذه الالياف متدرج اذ تبلغ اعلي قيمة له في مركز الليف وتقل قيمة معامل الانكسار بصفة تدريجية كلما اتجهنا نحو الكساء حيث تكون قيمة معامل الانكسار ثابتة ويصنع هذا النوع من الالياف من عدد من العناصر الزجاجية او السليكا المطعمة ان اداء الالياف متعددة النمط ومتدرجة معامل الانكسار يتفوق على اداء الالياف ذات معامل الانكسار العتبي نظراً لتدرج معامل الانكسار وقلة التوهين فيها ، غير ان قطر اللب في هذا النوع اقل من قطر اللب في الالياف متعددة النمط ذات معامل الانكسار العتبي وتستخدم للمسافات المتوسطة وعرض نطاق عالي [1].

3-4-2: الياف احادية النمط (Single Mode Fiber)

قد يكون معامل انكسار الليف متعدد النمط متدرج او عتبي ولكن معظم الالياف احادية النمط الموجودة حالياً ذات معامل انكسار عتبي ، تتميز الالياف احادية النمط بنوعيتها الممتازة كما ان عرض النطاق فيها كبير وتستعمل للمسافات الطويلة وتصنع من مادة السليكا المطعمة ، ولو ان قطر اللب صغير جدا الا ان قطر الكساء يبلغ اضعاف قطر اللب وذلك للتقليل من نسبة الفقد من الموجات المضمحلة (evanescent) التي تمتد داخل الكساء ومع الاشكال (2-2) توضح اتساع النبض الناتج عن انتشار الضوء في كلا من الليف احادي النمط ومتعدد النمط [3].



الشكل (2-2) اتساع النبض الناتج عن انتشار الضوء في كل من الليف احادي النمط ومتعدد

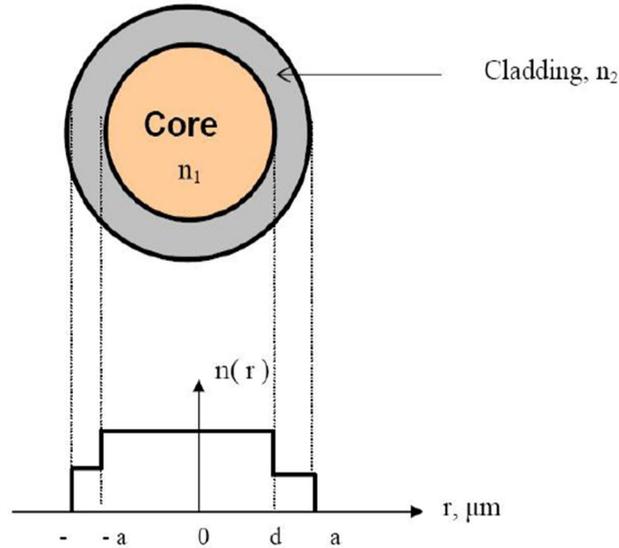
النمط.

(5-2) انواع الالياف البصرية Optical Fiber Types

تنقسم الالياف البصرية الي اكثر من نوع وذلك بالاعتماد علي المعيار المستخدم لعملية التقسيم، فحسب تغير معامل الانكسار خلال لب الليف البصري تقسم الالياف البصرية كالاتي:

1-5-2: الياف عتبية (Step Index Fiber)

حيث يكون معامل الانكسار ذا قيمة ثابتة خلال لب الليف ، لقد بدا ظهور الالياف البصرية بهذا النوع تحديدا وذلك لسهولة التصميم والتصنيع ،حيث يتم تصنيع لب الليف من زجاج نقي له معامل انكسار ثابت (n_1) بينما يصنع المحيط من زجاج ايضا بمعامل انكسار ثابت ولكن ذو قيمة اقل (n_2) كما هو مبين علي الرسم ادناه والذي يمثل كيفية تغير معامل الانكسار للليف البصري $n(r)$ بالاعتماد علي المسافة القطرية من مركز للليف (r) يمثل الرمز d نصف قطر المحيط والرمز a نصف قطر اللب حيث تعطي هذه القيم بوحدة الميكرومتر m [6][μ].



الشكل (3-2) تغيير معامل الانكسار في الليف العتبي.

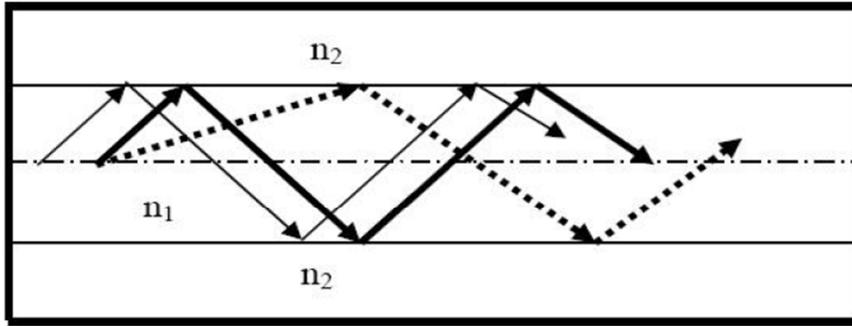
من خلال الشكل (3-2) فاننا نجد ان تغير معامل الانكسار من القيمة n_2 الي n_1 او العكس له شكل الدرجة او العتبة ومن هنا جاءت التسمية "الليف العتبي". يمكننا حساب عددا لانماط المنتشرة m_s خلال الليف العتبي بالعلاقة التالية [1]:

$$m_s = \frac{V^2}{2} \quad (1-2)$$

تكون سرعة انتشار جميع الانماط ثابتة وتساوي:

$$V = \frac{c}{n} \quad (2-2)$$

حيث ترمز n الي معامل الانكسار للوسط الذي يتم فيه الانتشار (هنا لب الليف تحديداً $n = n_1$) ان سبب ثبات السرعة يعود الي ان معامل الانكسار لب الليف ذو قيمة ثابتة وبالتالي فان العلاقة (1-2) لا تتغير هندسياً، تنتشر الحزم الضوئية او الاشعة ضمن منطقة لب الليف البصري وتكون مساراتها علي شكل خطوط مستقيمة الشكل (4-2) يوضح ان الضوء يسير بخطوط مستقيمة خلال الوسط المتجانس (ذو معامل انكسار ثابت) وهذه الحالة في الاليف العتبية [6].



الشكل (4-2) مسارات الحزم الضوئية خلال الليف العتبي .

تتميز الاليف العتبية ببساطتها وبالتالي تدني سعرها ولكنها متواضعة في الخصائص والمميزات وتكمن مشكلتها الرئيسية في التشتيت الباطني .

2-5-2 : اليف تدريجية Graded-index Fiber.

حيث يتغير معامل الانكسار بشكل تدريجي ضمن منطقة لب الليف كذلك وحسب عدد الانماط المنتشر خلال الليف البصري تنقسم الي :

- اليف متعددة الانماط حيث ينتشر اكثر نمط (قد يصل الي المئات).

ان ما يميز الالياف البصرية ذات معامل الانكسار التدريجي هو ان معامل الانكسار لللب البصري لا يكون ذا قيمة ثابتة وانما يتغير بشكل تدريجي بدءاً من مركز اللب (اقصي قيمة $n = n_1$) والى الحد الفاصل بين اللب والمحيط (ادني قيمة $n = n_2$) ، حيث يأخذ هذا التغير التدريجي اشكالا مختلفة:

المثلثي (Triangular) اذا كان القطع المكافئ (Parabolic) او اي اشكال اخري تقع في بينهما ويبقى معامل الانكسار ثابتا لمحيط الليف (n_2). يتضح مما سبق ان معامل الانكسار لمنطقه لب الليف ذو قيمة متغيرة وياخذ شكل دالة رياضية معينة $n(r)$ وهي التي تحدد الاشكال سالفة الذكر. يمكننا التعبير رياضيا عن $n(r)$ علي الشكل التالي [2]:

$$n(r) \begin{cases} n_1(1 - 2\Delta)\sqrt{(r/a)^\alpha} & r < a \\ n_1\sqrt{1 - 2\Delta} = n_2 & r \geq a \end{cases} \quad (3 - 2)$$

حيث ان α تمثل الدالة والذي يحدد الشكل العام (المثلثي، او القطع المكافئ او...) فعندما:

$\alpha=1$ نحصل علي شكل المثلثي

$\alpha=2$ نحصل علي الشكل القطع المكافئ

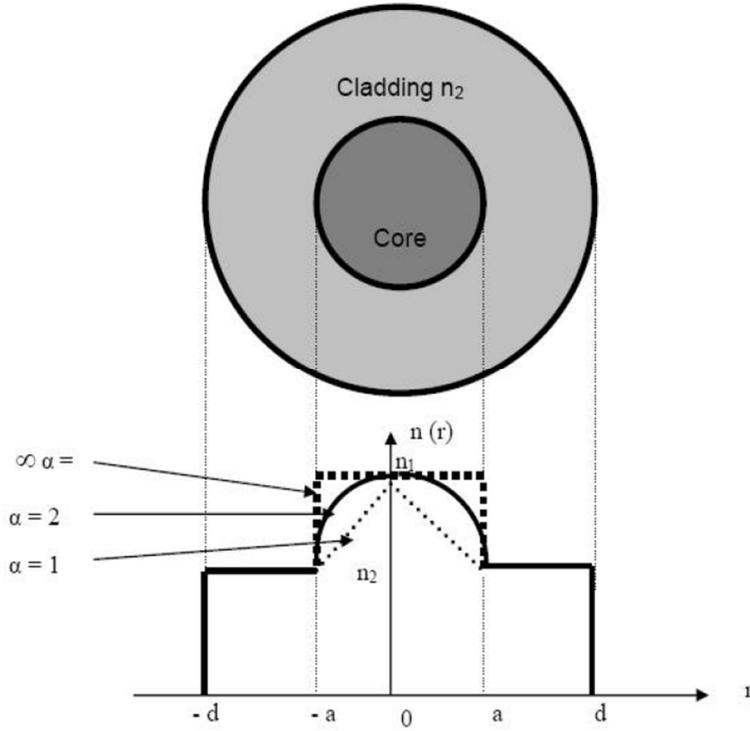
$\alpha=\infty$ نحصل علي شكل الليف العتبي حيث الشكل (2-5) يوضح ذلك.

حيث يمكن ان تاخذ α اي قيمة حقيقية اكبر من واحد ، لكن من ناحية عملية وبعد اجراء العديد من التجارب ، فقد وجد ان افضل القيم هي $\alpha=1.98$ يسمى الشكل الناتج في هذه الحالة شبه القطع المكافئ (Near Parabolic Profile).

يمكننا حساب عدد الانماط المنتشرة Mg خلال الليف التدريجي بالعلاقة التالية [1]:

$$Mg = (a/a + 2)(V^2/2) \quad (4-2)$$

حيث يعتمد عدد الانماط المنتشرة علي معامل الدالة α



الشكل (5-2) تغير معامل الانكسار في اليف التدريجي

هندسيا تنتشر الحزم الضوئية او الاشعة ضمن منطقة لب الليف البصري وتكون مساراتها علي شكل خطوط منحنية وليست مستقيمة. والسبب في ذلك ان معامل الانكسار لمنطقة الانتشار (لب الليف) ذو قيمة متغيرة ، وبالتالي بالرجوع للعلاقة (2-2) فان حاصل القسمة والذي يمثل السرعة ليس ثابتا حيث تكون السرعة اكبر ما يمكن عندما تكون n اصغر ما يمكن (منطقة اطراف اللب) والسرعة اقل ما يمكن عندما تكون n اكبر ما يمكن (منطقة مركز اللب) . ان هذا الاختلاف في السرعة هو السبب الرئيسي الذي يعطي الاليف البصرية ذات معامل الانكسار التدريجي الميزة الايجابية الهامة مقارنة مع الاليف العتبية والتي سنوضحها ادناه.

كما ذكر سابقا فان الحزم القريبة من مركز اللب تكون بطيئة بعض السرعة ولكنها تقطع مسافة قصيرة بينما الحزم الابعد عن مركز اللب والاقرب للحد مع محيط الليف ذات سرعة عالية ولكنها تقطع مسافة قصيرة ،بينما الحزم الابعد عن المركز اللب والاقرب للحد مع محيط الليف ذات سرعة عالية ولكنها تقطع مسافة اطول ، وبالتالي فان جميع الحزم تصل في اوقات زمنية متقاربة جدا مما يقلل من التأخير فيما بينها وهذا هو السبب في ان التشتت في هذه الاليف قليل جدا (حوالي 100 مرة اقل منه في حالة الاليف العتبية) وفي

الخلاصة تؤكد علي ان الالياف البصرية ذات معامل الانكسار التدريجي افضل بكثير من مثيلاتها ذات معامل الانكسار العتبي مما جعلها تستخدم في التطبيقات التي تتطلب سرعات عالية ومسافات ارسال بعيدة مع العلم ان سعرها اعلي [5].

• الياف احادية النمط (single mode fiber)

حيث ينتشر نمط واحد فقط HE11.

في حالة الليف احادي النمط (single mode) ، هناك نمط واحد من الانتشار وهو HE11. اول نمط يبدا بالظهور والانتشار عبر الليف البصري وبالتالي يسمى النمط الاساسي (Fundamental Mode) او الاول في نفس الوقت فان النمط الاحادي ينتشر عبر الليف بحالتين من الاستقطاب : الحالة الافقية ويرمز لها x وعمودية ويرمز لها y. ولا يمكن الحصول على حالة انتشار نمط واحد الا اذا كانت قيمة V صغيرة للغاية (اقل من 2.405) عادة ما تسمى القيمة الحدية (V=2.405) والتي تضمن ظهور نمط واحد فقط بقيمة القطع (Cutoff V- Number) وسوف نرمز لها V_c . ان الميز الرئيسية للليف احادي النمط هو عدم وجود التشبيك الباطني وذلك لوجود نمط واحد فقط وبالتالي لا يوجد اي تاخير او فروقات زمنية بين الانماط والتي هي السبب المباشر لظهور التشبيك ، لذلك فان الالياف احادية النمط هي الافضل على الاطلاق من حيث الخصائص والمواصفات العملية على الرغم من صعوبة تصنيعها وارتفاع تكاليفها للحصول على الليف احادي النمط من النوع العتبي يجب ان يتحقق الشرط التالي :

$$0 \leq V \leq 2.405$$

يمكننا تحقيق الشرط بطريقتين :

الاول عن طريق تصغير قطر لب الليف (a) الثانية عن طريق الفرق النسبي لعامل الانكسار (Δ) في حالة الليف احادي النمط من النوع التدريجي تحسب V_c بالعلاقة التالية [1] :

$$V_c = 2.405\sqrt{1 + 2/\alpha} \quad (5-2)$$

ان اهم ما نحتاجه هنا كيفية ايجاد نصف القطر لب الليف (a) حتي يصبح يعمل كاحادي النمط

$$V = 2\pi/\lambda \cdot an_1\sqrt{2\Delta} \quad (6-2)$$

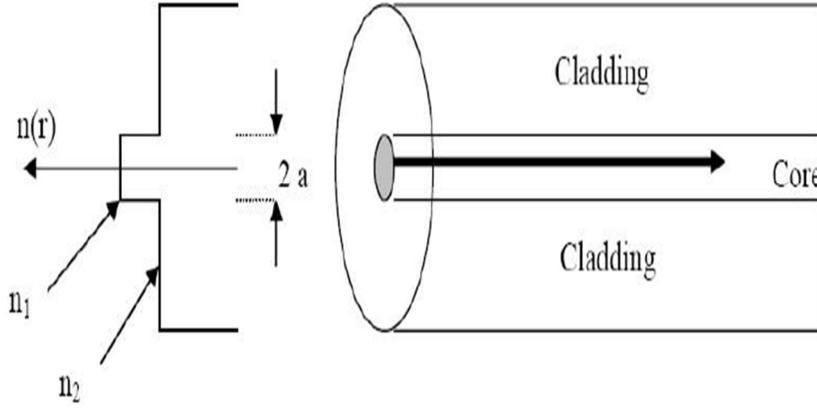
وبتعويض $(V=V_c = 2.405)$ يمكننا ايجاد نصف القطر للليف العتبي علي الشكل التالي :

$$a=2.405\lambda/2\pi n_1\sqrt{2\Delta} \quad (7-2)$$

اما في حالة الليف ذي معامل الانكسار التدريجي فيجب تعويض قيمة V_c من العلاقة (5-2):

$$a=(2.405\sqrt{1 + 2/a})\lambda/2\pi n_1\sqrt{2\Delta} \quad (8-2)$$

يبين الشكل (6-2) كيفية تغير معامل الانكسار للليف احادي النمط من النوع العتبي وانتشار الشعاع الجديد داخل الليف [5].



الشكل (6-2) معامل الانكسار للليف احادي النمط من النوع العتبي

طول موجة القاطع Cutoff Wavelength

الليف البصري لا يمكن ان يعمل كاحادي النمط الا اذا كان الطول الموجي الذي يعمل عليه اعلي من قيمة معينة تسمى طول موجة القطع (Cutoff Wavelength) والتي سنرمز لها λ_c وتحسب [1]:

$$\lambda_c = 2\pi a n_1 / V_c \cdot \sqrt{2\Delta} \quad (9-2)$$

يمكننا تبسيط العلاقة في الحالتين التاليتين:

حالة الليف احادي النمط العتبي :

$$\lambda_c = V\lambda/2.405 \quad (10-2)$$

في حالة الليف احادي النمط التدريجي:

$$\lambda_c = V\lambda/2.405 \cdot \sqrt{1 + 2/\alpha} \quad (11-2)$$

وفي النهاية ،فحتي يعمل الليف البصري الاحادي النمط يجب ان يكون الطول الذي يعمل عليه اعلي من طول موجة القطع λ_c [1].

(6-2) الالياف البصرية حسب المادة المصنوعة منها

1. الالياف البلاستيكية (Plastic Optical Fibers) وتصنع بالكامل من البلاستيك .

2. الالياف الزجاجية (Glass Optical Fibers) وتصنع من الزجاج النقي .

ايضا يمكننا ايجاد الياف بصرية يكون اللب فيها مصنوعا من الزجاج بينما المحيط من البلاستيك [2].

1-6-2 الالياف البلاستيكية (Plastic Optical Fibers)

تتميز الالياف البصرية البلاستيكية والتي سترمز لها اختصارا (POF) بانها مصنوعة بالكامل من البلاستيك مما يجعلها رخيصة جدا ،حيث تصنع الان علي شكل الياف عتبية متعددة الانماط وتعمل علي الطول الموجي 650nm. ان اهم الميزات الايجابية للليف البلاستيكي هي [5]:

1. السعر المتدني.

2. الحجم الكبير نسبيا(بقطر 1000nm) مما يجعلها سهلة الاستخدام .

3. فتحة النفوذ العددية (NA) عالية حوالي (0.5_0.6).

4. البساطة والمرونة العالية في التطبيق.

في نفس الوقت يجب الاشارة الي السلبيات التالية:

أ. التوهين (Attenuation) العالي جدا (اكثر من 200 Db/Km).

ب. عرض النطاق الترددي (Bandwidth) القليل (5MHZ).

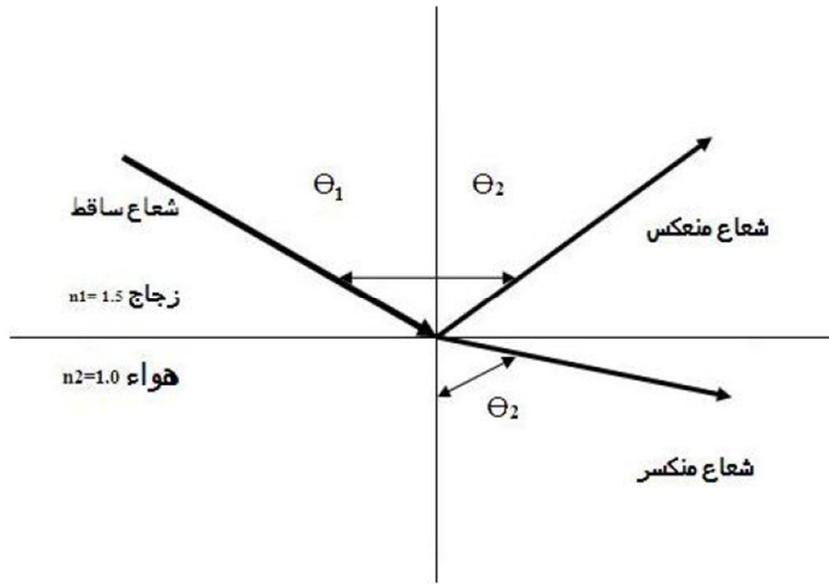
ج. يقتصر استخدام الالياف البلاستيكية علي المسافات القصيرة جدا (داخل المكاتب والمعامل) كذلك اصبحت تستخدم كبديل للكابلات الكهربائية في السيارات [1، 5].

(7-2) مراحل انتقال الضوء عبر الليف البصري

فيما يلي شرح لمراحل انتقال الضوء عبر الليف البصري ومن خلال زوايا انتقال محددة.

1-7-2 قانون سنل - Snell's Law

يعتبر قانون سنل من القوانين الأساسية في علم البصريات والذي يعطي العلاقة ما بين الشعاع الساقط والشعاع المنكسر والزوايا المصاحبة لذلك ، يوضح الشكل (7-2) ادناه فكرة قانون سنل [6].



الشكل (7-2) الشعاع الساقط ، الشعاع المنعكس ، والشعاع المنكسر

يمكننا كتابة قانون سنل علي النحو التالي:

$$n_1 \cdot \sin \theta_1 = n_2 \cdot \sin \theta_2 \quad (12-2)$$

حيث ان n_1 ترمز الي معامل الانكسار للزجاج و n_2 ترمز الي معامل الانكسار للهواء سنعيد كتابة قانون سنل كما هو موضح بالشكل السابق:

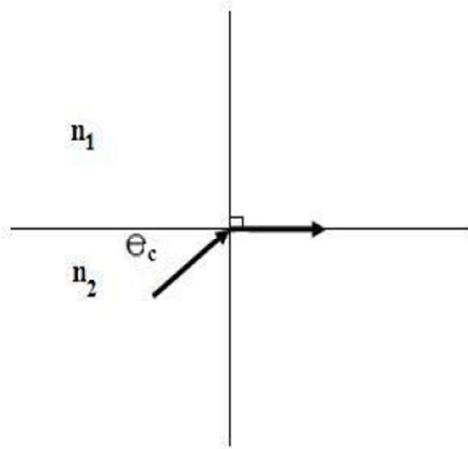
$$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{n_2}{n_1} \quad (13-2)$$

عندما تكون $n_1 > n_2$ فان $\theta_1 < \theta_2$

2-7-2 الزاوية الحرجة (Critical Angle):

يتحدد مفهوم الزاوية الحرجة علي النحو التالي:

هي عبارة عن الحالة الخاصة لقيمة زاوية سقوط الشعاع عندما تكون زاوية الانكسار له تساوي 90° [1].



الشكل (8-2) حالة الزاوية الحرجة للسقوط

بالرجوع الي قانون سنل ،يمكننا الوصول علي العلاقة التالية لحساب الزاوية الحرجة θ_2

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

$$n_1 \cdot \sin \theta_1 = n_2 \sin 90$$

$$n_1 \cdot \sin \theta_c = n_2$$

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

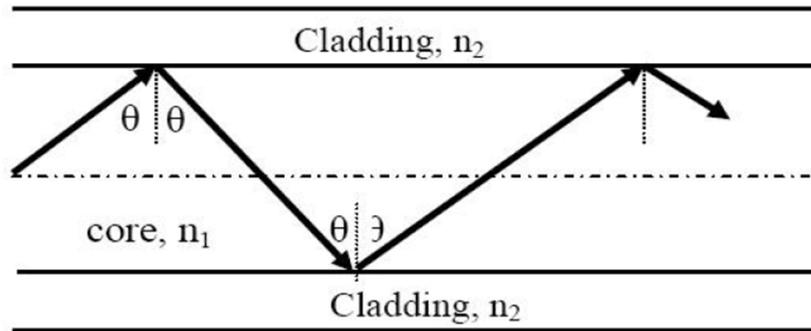
$$\theta_c = \sin^{-1}(n_2/n_1) \quad (14-2)$$

لان جيب اي زاوية لايمكن ان يكون اكبر من 1 فان $\frac{n_2}{n_1}$ دائما اصغر او يساوي 1 وبالتالي فان n_2 يجب ان تكون اصغر من n_1 [6].

3-7-2 الانعكاس الكلي الداخلي Total Internal Reflection

كما يتضح لنا من قانون سنل ،فانه كلما تغيرت زاوية السقوط كلما رافقها تغير في زاوية الانكسار في كون زاوية السقوط اكبر من الزاوية الحرجة ($\theta_1 < \theta_2$) فان الضوء ينعكس بالكامل (لا يحدث انكسار) ،حيث تسمى هذه الظاهرة الانعكاس الكلي الداخلي [3] .

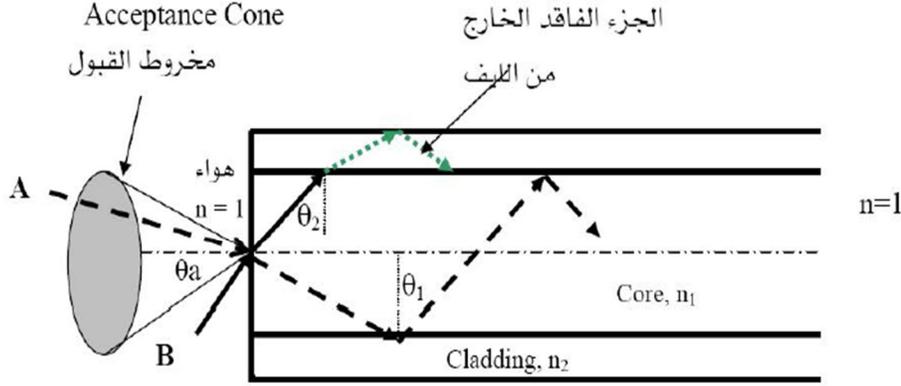
لتوضيح عملية انتشار الضوء عبر الليف البصري يمثل الشكل (9-2) انتقال الشعاع الضوئي بزاوية سقوط θ حيث يكون الانتشار خلال لب الليف بالكامل وذلك طبقا لمبدأ الانعكاس الكلي الداخلي [6].



الشكل (9-2) انتشار الشعاع الضوئي عبر الليف البصري.

4.7.2 زاوية القبول (Acceptance Angle)

تعتبر زاوية القبول (θ_a) من القيم العددية التي يتوجب معرفتها عن الليف البصري وحتى يتضح المعنى المقصود بها نستعين بالشكل (10-2).



الشكل (10-2) زاوية القبول عند ادخال الضوء الي الليف البصري.

كما يتضح من الشكل فان الشعاع A يدخل الليف بزواوية اقل من الزاوية (θ_a) ويصل الي الحد الفاصل بين اللب والمحيط بزواوية θ_c وبذلك يتتبع مساره عبر الليف بشكل صحيح (يحقق الانعكاس الكلي الداخلي) ويكون الفقد في هذه الحالة اقل ما يمكن يدخل الشعاع B الي الليف البصري بزواوية اكبر من زاوية القبول (θ_a) حيث يصل الي الحد الفاصل بين اللب والمحيط بزواوية اقل من θ_c وبذلك فان جزءاً منه ينكسر باتجاه المحيط ويخرج خارج الليف مما يتسبب في فقد جزء من الضوء المنتشر وبذلك لا يمكن له ان يحقق الانعكاس الكلي الداخلي. من هنا يتضح معنى ومفهوم زاوية القبول بانها الزاوية التي يجب علي الشعاع الداخل ان يدخل بزواوية تساويها او اقل منها حتي يتحقق الانعكاس الكلي وبالتالي ينتشر عبر الليف بشكل صحيح وباقل فقد ممكن، وفي نفس الوقت، فان الشعاع الداخل لليف بزواوية اكبر من زاوية القبول فان جزءاً منه ينكسر عبر محيط الليف وبالتالي سوف يفقد وما تبقي منه ينعكس داخل الليف وهنا نحصل علي انعكاس جزئي وليس كلياً، لذلك حتي يتم ارسال الضوء لاطول مسافة ممكنة يجب مراعاة ادخال الضوء لليف بزواوية لا تتجاوز قيمة θ_a ، والتي دائماً تكون بين صفر و 90 [6].

5-7-2 فتحة النفوذ العددية (Numerical Aperture)

هناك قيمة عددية أكثر شمولاً من زاوية القبول (θ_a) والتي تمثل أو تعبر عن العلاقة ما بين ادخال الضوء للليف بشكل صحيح ومعامل الانكسار لكل من لب الليف n_1 ومحيطه n_2 تسمى هذه القيمة أو العلاقة فتحة النفوذ العددية (N_A) والتي يمكن إيجادها من العلاقات التالية [2،1] :

$$N_A = n_0 \cdot \sin \theta_a = \sqrt{(n_1^2 - n_2^2)} \quad (15-2)$$

حيث أن n_0 ترمز إلى معامل الانكسار للوسط الفاصل (عادة ما يكون الهواء $n_0 = 1$) بين المصدر الضوئي ومقدمة الليف منها :

$$\theta_a = \sin^{-1} N_A \quad (16-2)$$

يمكننا أيضاً التعبير عن (N_A) بدلالة الفرق النسبي Δ بين n_1 و n_2

$$N_A \approx n_1 \sqrt{2\Delta} \quad (17-2)$$

حيث أن Δ تحسب وفق العلاقة التالية :

$$\Delta = (n_1 - n_2) / 2n_1^2 \quad (18-2)$$

وقيمة (N_A) بين الصفر والواحد

Δ تكون عادة أقل بكثير من الواحد ($\Delta < 1$)

في الواقع العملي عادة ما تستخدم العدسات بين المصدر الضوئي ومقدمة الليف للمساعدة في تجميع الضوء وتركيزه بحيث يسهل إدخاله إلى الليف، وبنفس الطريقة تستخدم العدسات لإيصال الضوء من مخرج الليف إلى الكاشف لضوئي [5].

تعتبر القيم التالية للثابت a عن تغيير معامل الانكسار داخل اللب

$a = 1$ عندما يكون المظهر الجانبي لتغيير معامل الانكسار على شكل مثلث.

$a = 2$ عندما يكون المظهر الجانبي لتغيير معامل الانكسار على شكل قطع مكافئ.

$a = \infty$ عندما يكون المظهر الجانبي لتغير معامل الانكسار على شكل عتبة .

تستخدم معظم الاليف المتدرجة تغير معامل الانكسار ذي القطع المكافئ بتعويض هذه القيمة نحصل.

$$n(r) = n_1 \sqrt{1 - 2 \left(\frac{r}{a}\right)^2 \Delta} \quad (19-2)$$

يمكن كتابة المعادلة (19-2) :

$$n(r) = n_1 \left(1 - \left(\frac{r}{a}\right)^2 \Delta\right) \quad r \leq a$$

$$n_2(r) = n_1(1 - \Delta) \quad r > a$$

يعبر عن فتحة النفوذ العددية لهذا النوع من الاليف المتدرجة بالاتي:

$$N_A = n_1 (2\Delta)^{\frac{1}{2}} \left(1 - \left(\frac{r}{a}\right)^2\right)^{\frac{1}{2}} \quad (20-2)$$

تشير هذه المعادلة الى تغير فتحة النفوذ العددية مع البعد النصف قطري من المحور في الاليف المتدرجة.

باستخدام المعادلة (20-2) وقيمة $n_1 = 1.48$ و $\Delta = 0.0135$ نجد ان قيمة N_A المحورية عند $r = 0$ يعبر عنها

$$N_A = n_1 (2\Delta)^{\frac{1}{2}} \quad (21-2)$$

وتساوي 0.24 وتنقص قيمتها الى صفر عندما $r = \alpha$ اي ان N_A عند محور الليف المتدرج بمعامل انكسار ذي قطع مكافئ هي نفسها لليف بمعامل انكسار عتبي.

اردنا توضيح انه في تحديد N_A يراعى البعد النصف قطري من المحور دون الطول الموجي للموجة في الاليف المتدرجة [6,1].

(8-2) مكونات النظام (system components)

عند تصميم وصلة ليفية بصرية لابد من اعتبار ثلاثة عناصر رئيسية وهي التوهين والتشتت وقيمة فتحة النفوذ العددية.

يتطلب ذلك عمل موازنة متعادلة لاختيار المكونات المختلفة للنظام الليفي البصري ، لو بدأنا من جهة الارسال فعلىنا اختيار منبع ضوئي يبعث الضوء بطول موجي مناسب وعرض طيفي قليل وقدرة بصرية كافية لهذا الغرض ، تم استخدام نوعين من المنابع وهما الاول الثنائيات الباعثة للضوء والثاني الثنائيات الليزر (Laser diodes) يتطلب اقتران الضوء من المنبع الى الليف لذا لابد من المعاينة في اختيار المقرن المناسب الذي يعطي اقل فقد ممكن ، نظرا لان الاليف تنتج باطوال محددة فلا بد من ربط بعضها ببعض للحصول على الطول المطلوب وقد يؤدي ذلك الى حصول بعض الفقد في القدرة المنقولة ولهذا الفقد ثلاثة اسباب، وهي:

i. عدم التراصف الزاوي.

ii. تباعد الاطراف.

iii. نعومة الاسطح وتوازيها.

وقد يحصل الفقد ايضا عند ربط اليف تختلف في اقطارها وفتحات نفوذها العددية [1].

(9-2) : خصائص النفاذية في الاليف البصرية :

1-9-2 : التوهين (Attenuation)

يعتبر التوهين احد العناصر الاساسية في تقويم انظمة الاتصالات حيث تتعرض الموجات الحاملة للوهن عند انتشارها في قناة الاتصال نتيجة لعوامل عديدة وسنتعرف الى الفقد في الليف و اسبابه. وهو مقدار الضعف في اشارة الليزر اثناء مرورها خلال الليف البصري [2].

الزجاج : يستخدم الزجاج بكثرة في تصنيع الاليف ولامكانية الحصول على اليف فقدها قليل جدا ضمن هذه الاطوال الموجية يتراوح $0.5\mu\text{m}$ و $1.6\mu\text{m}$. يتم الحصول على الزجاج المستخدم في تصنيع الاليف البصرية من مادة السليكا (ثاني اكسيد السليكون SiO_2) [4].

يحسب التوهين بالعلاقة :

$$a_{db} = \frac{10 \log_{10} \frac{P_i}{P_0}}{l} \quad (22-2)$$

حيث a_{db} معامل التوهين ، p_i قدرة شعاع الليزر قبل دخولها الى الليف البصري ، p_0 قدرة شعاع الليزر بعد خروجه من الليف و L طول الليف البصري[5].

ويتناسب الفقد في الليف الزجاجي علميا مع الطول الموجي لمنطقة الموجات فوق البنفسجية[6].

2-9-2 : خسارة امتصاص المادة

عبارة عن الخسارة الناتجة عن امتصاص جزء من قدرة شعاع الليزر وتحويلها الى حرارة داخل مادة الليف ، وهذه الخسائر تعتمد على الطول الموجي لشعاع الليزر تصنف الى نوعين وهما الاول يرجع الى مادة الليف ومركباته الاساسية التصنيعية والثاني يعود الى وجود الشوائب والملوثات[7].
اوينتج الامتصاص من شوائب في الزجاج ، ويعني تحول الطاقة البصرية الى نشاط الكترو بصري او اهتزازات في الجزئ وعلى الرغم من ان الالياف نقية جداً ولكن يبقى وجود لبعض الشوائب كبقايا مترسبات بعد التنقية وتعتمد كمية امتصاص هذه الشوائب على تركيز وجودها والطول الموجي للضوء. تقع حزم الامتصاص في منطقة الاشعة تحت الحمراء[3].

2-9-3 : خسارة الاستطارة الخطية (Linear scattering losses)

ان التبعثر او الاستطارة ناتج عن شوائب في الالياف والى التركيبية الاساسية للالياف.

ان استطارة رايلي ناتجة من البنى الذرية الجزئية للزجاج ومن كثافة وتنوع التركيبات الكيميائية الطبيعية التي تنتج عرضيا خلال تصنيع الليف وخلال تمديد الاسلاك. تتغير زاوية سقوط الاشعة التي تصدم بمواد كهذه في سطح اللب والتصفيح بشكل كلي مما يسبب انكسار بعض الاشعة نحو مسالك غير خاضعة لظاهرة الانعكاس الكلي الداخلي[3].

التبعثر والاستطارة بشكل عام ان لم تستعمل مصادر ضوئية ذات طاقة عالية فان التوهين الناتج من عملية الاستطارة هي عملية خطية (liner) اي لا ينتج منها ازاحة للتردد.

تتضمن الاستطارة نوعان :

أ . خسارة استطاره رايلي (Rayleigh)

يعود سبب هذه الاستطارة الى عدم تجانس الزجاج (اي وجود مناطق في الزجاج تختلف قليلا في الكثافة او التركيبية الكيميائية) ما يسبب تقلبات في معامل الانكسار وتحصل هذه الاختلافات التركيبية خلال عملية

التصنيع اما الاستطارة اللاحقة الناتجة من تغيرات في الكثافة والمعامل فانها متعددة الاتجاهات وتسبب زيادة في التوهين وتتناسب عكسياً مع الاس الرابع للطول الموجي [3].

ويحسب معامل استطاره رايلي كالاتي :

$$\gamma_R = \frac{8\pi^3}{3\lambda^4} n^8 p^2 \beta_c k T_f \quad (23-2)$$

حيث λ هو الطول الموجي لشعاع الليزر و n معامل انكسار مادة الليف و p معامل المرونة البصرية و B_c ثابت يساوي $(7 \times 10^{-11} m^2/n)$ و k ثابت بولتزمان $(1.38 \times 10^{-23} J/k)$ و T_f درجة الحرارة الافتراضية لليف [6,7].

ب . خسارة استطارة ماي (Mie)

تظهر الاستطارة الخطية في مناطق انعدام التجانس وتظهر بسبب تشوهات في هندسة الليف وعدم انتظام معامل الانكسار ووجود فقاعات تظهر خلال عملية التصنيع الا ان التصنيع الدقيق يمكن ان يقلل من نسبة حدوث استطارة ماي بنسبة كبيرة جدا ، وتتناسب عكسياً مع الطول الموجي. وهي ناتجة عن عدم التجانس في تركيب الليف البصري خلال التصنيع [8].

2-9-4 : خسارة الاستطارة اللاخطية (Non Liner Scattering)

تتضمن نوعين هما :

أ/ استطارة بريلون (Stimulated Brillouin Scattering)

تظهر عند قيمة معينة من قدرة الشعاع كالاتي:

$$P_B = 4.4 * 10^{-3} d^2 \lambda^2 a_{dB} V \quad (24-2)$$

ب/ استطارة رامان المحتثة (Stimulated Raman Scattering)

فهي تظهر عند قيمة معينة من قدرة شعاع الليزر كالاتي :

$$P_R = 5.9 * 10^{-2} d^2 \lambda a_{dB} \quad (25-2)$$

حيث d هي قطر منطقة اللب في الليف البصري و V هي عرض الحزمة للمصدر [7].

2-9-5: الفقد في الاليف البصرية

ان معاملات التوهين هي دالة لطول الموجة البصرية و لذلك تعتمد على كمية الطاقة البصرية. معظم الطاقة التي تفقد في الاليف البصرية تكون بسبب استطارة الضوء. غير ان هذه الاستطارة الجزئية استطارة رايلي ، ضئيلة جدا مقارنة بالطول الموجي للاشعة وذلك بسبب التشوهات المجهرية [3].

2-9-6 : خسارة انحناء الليف (Fiber Bending Loss)

يطلق على الخسارة في شدة الضوء بسبب الانحناءات والتغيرات الحادة في نصف قطر انحناء الشعاع "بالفقد" بسبب الالتواء او الانحناء. لذا لا بد من الحزر عند تركيب وتوصيل الاليف والا سيتأثر توهين الليف بشكل كبير . ويتناسب عكسيا مع الطول الموجي لمنطقة الموجات فوق البنفسجية. يسبب انحناء الليف البصري خسائر في طاقة شعاع الليزر المار خلال هذا الليف ويحسب نصف القطر الحرج (R_c).

$$R_c = \frac{3n_1^2\lambda}{4\pi(n_1^2-n_2^2)^{3/2}} \quad (26-2)$$

حيث Δn مقدار التغير في معامل الانكسار.

2-9-7 : التشتت (Dispersion)

ينتج التشتت او انتشار النبضات الضوئية خلال الانتقال عبر الليف من عاملين اولا المدى الواسع للطول الموجي المنبعث من المصدر الضوئي ، كمية تشتت الطول الموجي الموجود في الليف. وتصبح النبضة الضوئية القصيرة نبضة طويلة تدريجيا بما فيه الكفاية ، لكي تستطيع النبضة التالية اللحاق بها. يقوض هذا الامر السعة الموجية الليف ، وبالتالي تكون النبضة التي يجري استقبالها عند خرج الليف اعرض من النبضة عند دخله. من اجل تجاوز هذه المشكلة يجب ان يكون معدل النبضات بطيئا بما فيه الكفاية لدرجة ان لا يسمح للتشتت بأن يؤثر في النبضات الملاحقة لبعضها البعض ويجعلها تتداخل.

او نعني به تغير السرعة مع تغير طول الموجة يسبب التشتت تشويه للاشارة الرقمية (Digital) او التناظرية (Analog) المنقولة خلال الليف البصري ويمكن حساب معدل ارسال البيانات (Bit Rate) كالآتي:

$$\beta_r \leq \frac{1}{2\tau} \quad (27-2)$$

حيث τ هو امد نبضة الضوء (الليزر)[7].

8-9-2 : التشتت النمطي الداخلي او اللوني

(Intramodal Chromatic Dispersion)

وهو على نوعين هما تشتت المادة (*Material Dispersion*) وتشتت الموجة (Waveguide Dispersion).

9-9-2 : التشتت المادي (Material Dispersion)

بما ان معامل الانكسار للزجاج يختلف بحسب الطول الموجي ، فإن الاطوال الموجية المختلفة تنتقل بسرعات مختلفة على طول الليف وتصل في اوقات مختلفة ويسبب هذا الامر خسارة في القدرة ويدعى بالتشتت المادي ، وتعتمد كمية التشتت على التركيبة الكيميائية للزجاج[3].

يسبب تشتت المادة حدوث تاخير زمني لنبضة الليزر بمقدار (τ_m) في ليف بصري طوله (L) ويحسب كالاتي:

$$\tau_m = \frac{L}{c} \left(n_1 - \lambda \frac{dn_1}{d\lambda} \right) \quad (28-2)$$

ويتم حساب معامل تشتت المادة (M) كالاتي:

$$M = \frac{1}{L} \frac{d\tau_m}{d\lambda} = \frac{\lambda}{c} \left| \frac{d^2 n_1}{d\lambda^2} \right| \quad (29-2)$$

10-9-2 : تشتت الدليل الموجي

يمكن وصف تشتت الدليل الموجي بانه طريقة يؤثر فيها معامل الانكسار على العلاقة بين ثابت الانتقال (*Propagation constant*) والطول الموجي وبما ان التردد عبارة عن طول موجي ، فإن السرعة الكلية للقدرة في الليف ستختلف مع التردد ، ويولد هذا مزيدا من الفقد يسمى بتشتت الدليل الموجي ، يحدث تشتت الدليل الموجي لان ثابت الانتقال يتغير مع تغير الطول الموجي. ولا علاقة لهذه الاسباب بالتشتت المادي[3].

2-9-11 : التشتت النمطي البيئي (Intermodal Dispersion)

يحدث هذا النوع في الالياف ذات الانماط المتعددة فقط وهو على نوعين حسب نوع الليف البصري :
أ. الليف متعدد النمط ذو معامل انكسار عتبي (Multimode Step Index Fiber) (MSIF).
ب. الليف متعدد النمط ذو المعامل المتدرج (Multimode Graded Index Fiber) (MGIF) [7].

2-9-12 : التشتت الاجمالي لليف (Overall Fiber Dispersion)

ينتج هذا النوع من التشتت عن اتساع نبضة الليزر داخل الليف البصري متعدد الانماط (MMF) بسبب الاتساع النمطي الداخلي (Intermodal Broadening) اما في الليف البصري ذي النمط المنفرد (SMF) فانه ينتج فقط عن الاتساع النمطي الداخلي [7].

2-9-13 : الضوضاء النمطية (Modal Noise)

ينتج هذا النوع من الضوضاء بسبب الاضطرابات التي يعاني منها الليف البصري مثل الاهتزازات والتوصيلات والقاطعات وترصيف مصدر الليزر مع الكاشف يمكن التخلص من هذه الضوضاء من خلال اختيار عناصر منظومة الاتصالات البصرية بشكل جيد [7].

2-9-14 : الاستقطاب (Polarization)

مصدر هذا التأثير هو الانكسار الثنائي النمطي (Modal Birefringence) والذي ينتج بسبب عمليات تصنيع الالياف البصرية يمكن التغلب على هذه المشكلة من خلال تصنيع الليف البصري من مواد تمتلك معامل انكسار ثنائي قليل جدا [7].

(2-10) : بعض العلاقات المستخدمة في القياسات للالياف البصرية

هناك مجموعة من القياسات التي يتم اجراؤها على الالياف البصرية من اجل التعرف على خصائصها وهذه القياسات هي :

2-10-1 : قياس التوهين (Attenuation Measurements)

أ. قياس التوهين الكلي للليف البصري

يتم حساب معامل توهين (a_{dB}) الليف البصري لوحدة الطول (L) كالآتي:

$$a_{db} = \frac{10 \log_{10} \frac{p_i}{p_0}}{l} \quad (30-2)$$

ب. قياس خسائر الامتصاص في الليف

يتم حساب معامل توهين الليف بسبب الامتصاص الناتج عن تغير درجة حرارة الليف البصري كالآتي:

$$a_{aBs} = \frac{CT}{P_{opt} t_c} \frac{dB}{Km} \quad (31-2)$$

حيث C السعة الحرارية لوحدة الطول لمادة الليف البصري و T_m هي اعظم درجة حرارة يصل اليها الليف البصري اثناء العمل و P_{opt} قدرة الليزر المار خلال الليف البصري ، اما قيمة t_c فتحسب كالآتي:

$$t_c = \frac{t_2 - t_1}{\ln(T_m - T_{t1}) - \ln(T_m - T_{t2})} \quad (32-2)$$

حيث T_{t1} هي درجة حرارة الليف البصري في الزمن t_1 و T_{t2} هي درجة حرارة الليف البصري في الزمن t_2 .

ج. قياس خسائر الاستطارة في الليف

يتم حساب معامل توهين الليف البصري بسبب الاستطارة كالآتي:

$$\alpha_{sc} = \frac{10}{L(km)} \log_{10} \left(\frac{P_{opt}}{P_{opt} - P_{sc}} \right) \frac{dB}{km} \quad (33-2)$$

2-10-2 : قياسات التشتت في الليف (Fiber Dispersion Measurements)

وهي نوعان : قياس التشتت في الليف البصري في مدى الزمن (Time Domain) وقياس التشتت في الليف البصري في مدى التردد (Frequency Domain).

3-10-2 : قياسات نمط معامل الانكسار (Fiber Refractive Index Project Measurements)

هناك ثلاث طرق لاجراء هذه القياسات هي:

أ. طريقة التداخل (Interferometric Method)

ب. طريقة المسح (Scanning Method)

ت. طريقة الانعكاس (Reflection Method)

4-10-2 : قياسات الفتحة العددية (Numerical Aperture Measurements)

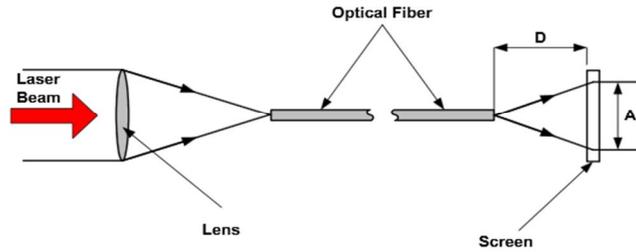
يتم حساب الفتحة العددية للليف البصري نظريا كالآتي:

$$NA = \sin \theta_a = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \quad (34-2)$$

اما من الناحية العملية فيتم القياس كالآتي:

$$NA = \frac{\frac{A}{2}}{\sqrt{(\frac{A}{2})^2 + D^2}} \quad (35-2)$$

حيث A هو حجم صورة شعاع الليزر على الشاشة و D هي المسافة من نهاية الليف البصري الى الشاشة.

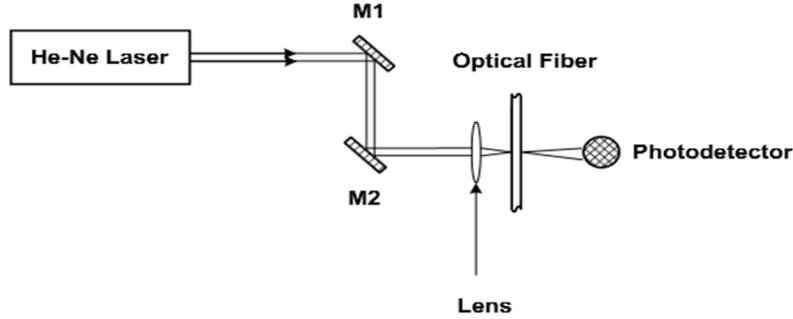


الشكل (11-2) كيفية قياس فتحة النفوذ العددية

5-10-2 : قياسات قطر الليف البصري (Fiber Diameter Measurements)

أ. قياس القطر الخارجي

يتم قياس القطر الخارجي للليف البصري اعتمادا على سرعة حركة ظل (Shadow) الليف المتكون باستخدام مصدر ضوئي (يستخدم عادة ليزر الهيليوم-نيون) امام كاشف ضوئي (Photodetector) حيث الشكل (12-2) يوضح ذلك [7]:



الشكل (12-2) قياس القطر الخارجي

$$\frac{ds}{dt} = l \frac{d\phi}{dt} \quad (36-2)$$

حيث $\frac{ds}{dt}$ هي سرعة ظل الليف البصري امام الكاشف الضوئي و $\frac{d\phi}{dt}$ هي سرعة دوران المرآة (M2) و l هي المسافة بين المرآة (M2) والكاشف الضوئي . اذن يحسب القطر الخارجي (d_0) للليف البصري كالآتي:

$$d_0 = W_e \frac{ds}{dt} \quad (37-2)$$

حيث W_e هو عرض النبضة الكهربائية المسجلة على الكاشف الضوئي [7].

(11-2) انماط الانتشار في الليف البصري (Fibers Modes)

ينتشر الضوء عبر الليف البصري علي شكل عدد محدود من الحزم الضوئية (Beams) او اشاعات (Rays) وبزوايا معينة ذات قيم محددة. تسمى هذه الاشاعات او الحزم الضوئية المختلفة بانماط الانتشار (Propagation Modes)، حيث يرتبط كل شعاع بنمط انتشار معين. لذلك تستخدم الارقام الجانبية بجانب اسم النمط (Modes Index) لتمييزها عن بعضها البعض.

الانواع الاساسية للانماط المنتشرة عبر الليف البصري وهي :

1. انماط كهربية عرضية (Transverse Electric Modes) ويرمز لها TE-mode

2. انماط مغناطيسية عرضية (Transverse Magnetic Modes) ويرمز لها TM-mode

3. انماط هجينة (Hybrid) تحتوي المجالين الكهربائي والمغناطيسي من نوع HE

وكمثال علي طريقة تسمية انماط الانتشار يجب التعرف علي قيمة عددية للليف البصري تسمى التردد المقياس (Normalized Frequency) او القيمة العددية (VNumber- للليف البصري والتي يمكننا حسابها حسب العلاقة التالية [5]:

$$V = \frac{2\pi}{\lambda} aNA \quad (38-2)$$

$$\approx \frac{2\pi}{\lambda} an_2 \sqrt{2\Delta} \quad (39-2)$$

حيث ترمز λ الي الطول الموجي و a الي نصف قطر لب الليف .بالاعتماد علي قيمة V يمكننا تحديد عدد وانواع انماط الانتشار والتي سوف تتواجد وتنتشر عبر الليف البصري [6،1].

(12-2) المصادر والكواشف الضوئية

(Light Sources and Optical Photometers)

1-12-2 المصادر الضوئية (Light sources)

تتمثل الوظيفة الأساسية للمصدر الضوئي في تحويل الاشارات الكهربائية الداخلة عليه إلى إشارة بصرية على ترددات الضوء حيث يتم إرسالها عبر الليف إلى جهة الاستقبال. إن المعلومات المراد إرسالها سواء في الانظمة التماثلية او الرقمية عادة ما تكون ذات طبيعة كهربية لذلك وحتى تتمكن من إرسالها عبر الليف البصري لابد من تحويلها إلى إشارات ضوئية وبعد وصولها إلى جهاز الاستقبال يتم تحويلها و إرجاعها إلى طبيعتها الكهربائية [2].

2-12-2 متطلبات عامة للمصدر الضوئي Source Requirements

هناك عدد من الشروط والمتطلبات الواجب مراعاتها وتوفيرها في المصدر الضوئي عند اختياره بتطبيق معين في أنظمة الاتصالات الضوئية وهي:

- ان يكون الطول الموجي المنبعث من المصدر (الذي يعمل عليه) ملائماً للإرسال عبر الاليف البصرية.
- ان تكون القدرة المنبثة من المصدر عالية بالقدر الكافي (في مجال mw) لاستخدامها في الاتصالات بعيدة المدى.

- ان يكون عرض النطاق الاشعاعي (σ_λ) اقل ما يمكن وذلك لتقليل قيمة تشتيت المادة.
- يجب ان تكون المساحة الاشعاعية (Source Emitting Area) للضوء الخارجي من المصدر اقل من مساحة لب الليف.
- الاستقرار في قيمة القدرة المنبعثة ، والطول الموجي ، وعرض النطاق الاشعاعي وعدم تاثرها بدرجة الحرارة [3].

(13-2) اطوال الموجات العامة (Operating Wavelengths)

تستخدم الاطوال الموجية التالية :

- $\lambda=850$ nm وهو اول طول موجي تم استخدامه حيث ان الاجهزة والاليف التي تعمل على هذا الطول الموجي هي الارخص والابسط في التصميم.
- $\lambda=1550$ وهو افضل طول موجي من ناحية اقل توهين يمكن الحصول عليه ، الا ان الاجهزة والمعدات التي تعمل عليه هي الاغلى في التكلفة.
- $\lambda=1300$ وهو افضل طول موجي من ناحية اقل تشتت يمكن الحصول عليه.
- $\lambda=650$ وهو الطول الموجي الافضل لعمل الاليف البلاستيكية [5].

(14-2) مميزات الالياف البصرية

- عرض نطاقها عالي جدا .
 - قطرها صغير ووزنها خفيف .
 - لا تتأثر بالحث او التداخل المغنطيسي .
 - انخفاض في سعر تكلفة المكالمات .
 - اكثر امنا وسلامة .
 - حياتها طويلة .
 - تتحمل درجات حرارة عالية ولا تتأثر بالمواد الكيميائية .
 - سهولة الصيانة كما يمكن الاعتماد عليها .
- ولا ننسى ايضا مساوي الالياف البصرية المتمثلة في :
- ارتفاع تكلفة الموصل البصري وكبر فقه وصعوبة توصيل الالياف مع بعضها البعض بالمنبع والكواشف الضوئية مقارنة بالانظمة السلكية الاخرى [6].

(15-2) طرق فحص تركيب الالياف البصرية

- الميكروسكوب الضوئي .
- الليزر الماسح الضوئي .
- حيود الاشعة السينية .
- التداخل الضوئي الثنائي .
- التداخل الضوئي المتعدد عند النفاذ وعند الانعكاس [3].

(16-2) التغليف

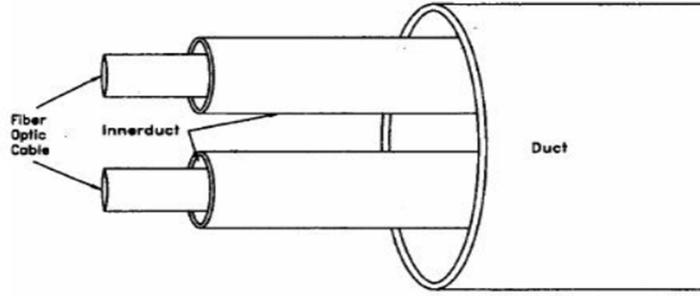
في كثير من الاحيان يغطى الليف البصري بطبقة واقية حتى يصبح جاهزا للاستخدام ضمن الكبل البصري ويستثنى من ذلك الليف المغطى بطبقتين من اللدائن الذي يمكن استخدامه بعد وضع عنصر تقوية وغطاء خارجي عند تصميم الغلاف الواقي ، يجب الاخذ بعين الاعتبار العنصرين التاليين :

• حماية الليف من الثني الموضعي اثناء التركيب.

• توفير صمام امام عند الشد والضغط[4].

(17-2) تركيبات الاليف البصرية

عملية تجهيز الكيبل الموضعي ووضعه في مكانه المخصص بحيث يكون جاهز للاستخدام وارسال المعلومات من خلاله وهناك نوعان من التركيبات الداخلية والخارجية[4].



الشكل (13-2) المجرى الرئيس والمجري الداخلية

(18-2) القوارن والموصلات

يحتاج الامر الى توصيل ليف الى ليف لاسباب عديدة يجب اجراء التوصيل الدائم للعديد من الاليف مع بعضها من اجل وصلات تزيد عن بضعة كيلومترات وذلك لان المصنع عادة ينتج فقط ليف متواصل محدود الطول ، من الاسهل سحب الاطوال المعتدلة من الليف ضمن المجاري من سحب الكابلات الطويلة جدا وكذلك تسهل عملية التركيب الهوائية والمطورة وان اقتران الضوء من المنبع الى الليف يمكن ان يكون غير فعال[6].

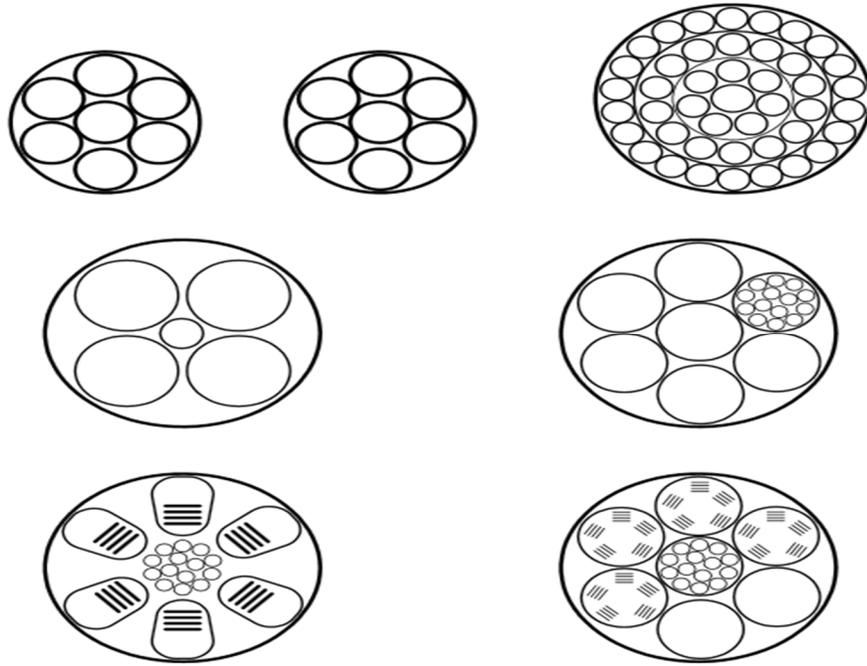
(19-2) توصيل الاليف المختلفة

تشيع التوصيلات بين الاليف ذات فتحات نفوذ مختلفة واقطار نوى يمكن ان يتوفر منبع ذو ليف مختلف عن ذلك المستخدم لاجل قناة المعلومات وكذلك فان فرقا غير مقصودة في اقطار الاليف البصرية تكون متوقعة ايضا.

اما عندما يكون ليف الاستقبال اكبر من ليف الارسال لا تحدث اي خسارة وتكون الخسارة بهذا الخصوص وحيدة الاتجاه ، يجب ازالة اي مادة تغليف واسلاك تقوية او اي مادة عائقة وذلك بواسطة ادوات تعرية الاسلاك ، شفرات الحلاقة او اي اداة حادة اخرى ، يمكن فيما بعد تنظيف الليف الزجاجي المعرى بمنظفات كيميائية حيث يمكن مسحه مثلا بكحول ايزو بروبيل وتتوفر ايضا تجهيزات تجارية يمكن ان تنجز ميكانيكا عمل الخدش والقطع بغض النظر عن الطريقة المستعملة يجب فحص الطرف بعناية للتأكد من الحصول على قطع نظيف و صقيل[1].

(20-2) تصاميم الكيبلات الضوئية

هناك تصاميم شائعة للكيبلات الضوئية المستخدمة في الاتصالات البصرية وهي كما في الشكل (2-14):



الشكل (2-14) تصاميم الكيبلات الضوئية

(21-2) استخدامات الاليف البصرية

- خطوط الاتصالات بعيدة المدى.
- شبكات الهاتف المحمول.
- البث التلفزيوني عبر الكيبل.
- الانترنت ونقل البيانات.

• الاتصالات العسكرية.

• المجسات.

• في المجال الطبي وفي مجال الهندسة الوراثية [5].

(2-22) القدرة البصرية وكثافة القدرة:

يسمى السطح الذي ينبعث منه ضوء منتشر بشكل موحد بمصدر لامبروتون وعندما يبعث السطح طاقة مشعة (radiating power) يمكن التعبير عن كثافة القدرة (power density) عند اي نقطة على السطح المشع بالطاقة لكل وحدة مساحة (power per unit area) (وتقاس بالواط لكل سنتيمتر مربع) ويسمى الضوء بأشعاع المصدر ويكون توزيعه على السطح نمطا اشعاعيا في الحقل القريب.

تقل كثافة القدرة حسب بعد المصدر حتى تصبح بمرور الوقت شبه معدومة. يعبر عن كثافة هذه القدرة المشعة بانها اشعاع من المصدر وتسمى وحدة القياس التي تقيس صفات الالكترونييات البصرية المشعة ستييراديان (steradian) او وحدة القياس الزاوي ، كما تسمى القدرة التي تشع باتجاه معين بالكثافة المشعة (radiant intensity) ويشكل توزيع هذه الاشعة نمطا اشعاعيا في الحقل البعيد [3].

(2-23) قدرة دخل الليف البصري:

اذا كان مصدر مشع كبير مثل الصمام الثنائي الباعث للضوء قريب جداً من سطح طرف الليف ستستقبل كل نقطة على سطح هذا الطرف القدرة الساقطة (incident power) التي تقع ضمن القبول (acceptance) الحاصل الكلي لكل هذه القدرة التزايدية (incremental cone power) والتي ينتج منها حاصل مجموع قدرة الدخل (total input power) [3].

الفصل الثالث

مواصفات الاليف البصرية

(1-3) مقدمة:

تناول هذا الفصل مواصفات الاليف البصرية ونتائج الدراسات العملية السابقة.

(2-3) مواصفات الاليف البصرية

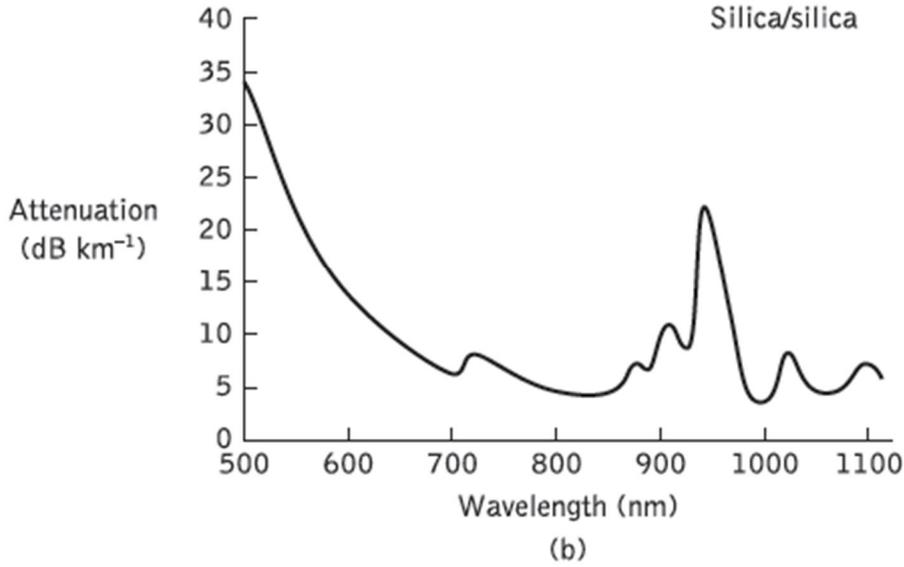
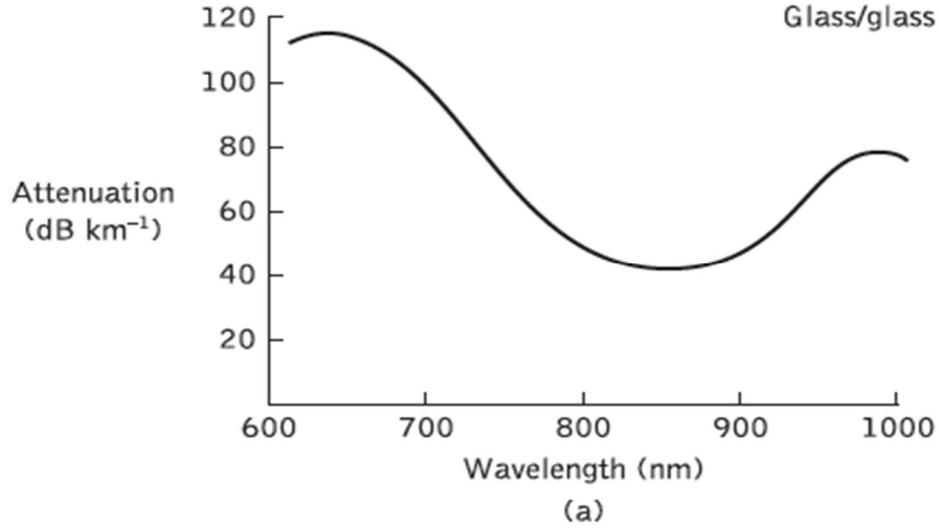
1-2-3 مواصفات الاجزاء المختلفة للاليف متعددة النمط وبمعامل انكسار عتبي (الاليف الزجاجية)

جدول (1-3) مواصفات الاجزاء المختلفة للاليف متعددة النمط وبمعامل انكسار عتبي [5].

50 – 400 μm	قطر اللب
125 – 500 μm	قطر الكساء
250 – 1000 μm	قطر الغلاف الواقي
0.16 – 0.5	فتحة النفوذ العددية

خصائص الاداء لهذا النوع:

- التوهين :
- معاملات التوهين النموذجية للاليف لهذا النوع على طول الموجة $0.85 \mu\text{m}$ تتراوح بين $2.6 - 50 \text{ db/km}$ وتقل الى 0.4 db/km عند طول موجي $1.31 \mu\text{m}$.
- السعة الموجية تقدر بحوالي $5 - 6 \text{ MHz km}$ [8].



الشكل (1-3) طيف التوهين للالياف البصرية ذات معامل الانكسار العتبي

يتضح من الشكل (1-3) ان العلاقة بين التوهين والطول الموجي تنتج في اتجاه العلاقة العكسية بالرغم من ارتفاع التوهين في منطقة الطول الموجي 900 nm وذلك نسبة لارتفاع امتصاص المادة في المنطقة تحت الحمراء ، و بالنظر الى النوافذ الثلاثة (الاطوال الموجية 850nm و بمعدل توهين 3db/km ، والطول الموجي 1300nm بمعدل توهين بلغ 0.5db/km ، والطول الموجي 1550nm بمعدل توهين 0.2db/km) كونها المستخدمة في الالياف البصرية ، سنتضح العلاقة العكسية بين التوهين والطول الموجي وبما ان هذه الاطوال هي المستخدمة فقط سنعتبر العلاقة عكسية في الالياف البصرية الزجاجية.

2-2-3 مواصفات الاجزاء المختلفة للالياف متعددة النمط وبمعامل انكسار متدرج

جدول (2-3) مواصفات الاجزاء المختلفة للالياف متعددة النمط وبمعامل انكسار متدرج [5].

30 – 60 μm	قطر اللب
100 – 150 μm	قطر الكساء
250 – 1000 μm	قطر الغلاف الواقي
0.2 – 0.3	فتحة النفوذ العددية

خصائص الاداء للياف متعدد النمط ذو معامل الانكسار المتدرج:

- التوهين : $2-10 \text{ db/km}$ عند الطول الموجي $0.85 \mu\text{m}$
- اما عند الطول الموجي $1.31 \mu\text{m}$ فانه 0.4 db/km
- بينما عند الطول الموجي $1.55 \mu\text{m}$ بلغ 0.25 db/km
- السعة الموجية تتراوح ما بين $200 \text{ MHz} - 3 \text{ GHz}$ [9].

3-2-3 مواصفات الاجزاء المختلفة للياف احادي النمط

جدول (3-3) مواصفات الاجزاء المختلفة للياف احادي النمط [5].

3 – 10 μm	قطر اللب
50 – 125 μm	قطر الكساء
250 – 1000 μm	قطر الغلاف الواقي
0.08 – 0.15	فتحة النفوذ العددية

خصائص الاداء لليف احادي النمط :

- التوهين : يتراوح ما بين $2 - 5 \text{ db/km}$ مع انتشار 1 db/km عند الطول الموجي $0.85 \mu\text{m}$ بينما يبلغ 0.35 db/km و 0.2 db/km عند الاطوال الموجية $1.31 \mu\text{m}$ و $1.55 \mu\text{m}$ على التوالي.
- السعة الموجية عند الطول الموجي $0.85 \mu\text{m}$ تبلغ 40 GHz km و 10 GHz km عند الطول $1.31 \mu\text{m}$ [10].

4-2-3 مواصفات الاجزاء المختلفة للالياف البلاستيكية

جدول (4-3) مواصفات الاجزاء المختلفة للالياف البلاستيكية [5].

200 – 600 μm	قطر اللب
450 – 1000 μm	قطر الكساء
0.5 – 0.6	فتحة النفوذ العددية

السعة الموجية لهذا النوع 10 MHz km [9].

5.2.3 ابعاد الليف الزجاجي وبغلاف بلاستيكي وفتحة النفوذ العددية

جدول (5-3) ابعاد الليف الزجاجي وبغلاف بلاستيكي وفتحة النفوذ العددية [5]

100 – 500 μm 50 – 100 μm	معامل انكسار عتبي معامل انكسار متدرج	قطر اللب
300 – 800 μm 125 – 150 μm	معامل انكسار عتبي معامل انكسار متدرج	قطر الكساء
500 – 1000 μm 250 – 1000 μm	معامل انكسار عتبي معامل انكسار متدرج	قطر الغلاف الواقي
0.2 – 0.5 0.2 – 0.3	معامل انكسار عتبي معامل انكسار متدرج	فتحة النفوذ العددية

خصائص الاداء للليف زجاجي بغلاف بلاستيكي:

• التوهين :

معامل انكسار عتبي $5 - 50 \text{db/km}$

معامل انكسار متدرج $4 - 15 \text{db/km}$

نشير الى ان المواصفات المذكورة في الجداول اعلاه هي مواصفات للالياف البصرية الزجاجية عدا الجدول (4-3) هو مواصفات الليف البلاستيكي.

(3-3) الدراسات السابقة

ومنها دراسة غادة الهندي (2013م) ومن خلال دراستها وجدت فتحة النفوذ العددية عند الطول الموجي 632.8nm كما مبين في الجدول (6-3) [2].

جدول (6-3) نتيجة الدراسة العملية السابقة التي اجريت لحساب فتحة النفوذ العددية [2].

الطول الموجي	فتحة النفوذ العددية
632.8 nm	0.5

(4-3) توهين الليف البلاستيكي عند الطول الموجي 650nm

جدول (7-3) توهين الليف البلاستيكي [4].

الطول الموجي	التوهين
$\lambda=0.650\mu\text{m}$	300 – 1000 db/km

(5-3) مقارنة بين صفات الاليف متعددة النمط ذات معامل الانكسار العتبي

اجريت المقارنة بين صفات الاليف متعددة النمط ذات معامل الانكسار العتبي وذلك من حيث فتحة النفوذ

العددية والتوهين عند الطول الموجي 800nm حيث الجدول (8-3) يوضح ذلك [6].

الجدول (8-3) المقارنة بين صفات الاليف متعددة النمط ذات معامل الانكسار العتبي.

البنية الليف	فتحة النفوذ العددية	الفقد عند $\lambda=850\text{ nm}$
لب زجاجي وكساء زجاجي	منخفضة 0.24	قليل 2.4 db/km
لب زجاجي وكساء بلاستيكي	متوسط 0.41	متوسط 8 db/km
لب بلاستيكي وكساء بلاستيكي	كبيرة 0.53	مرتفع عند $\lambda=790\text{ nm}$

الفصل الرابع

دراسة العلاقة بين التوهين وفتحة النفوذ

(1-4) مقدمة

باستخدام بعض مواصفات الاليف البصرية ونتائج الدراسات العملية السابقة تمت الدراسة النظرية للعلاقة بين التوهين وفتحة النفوذ العددية ، حيث تمركزت الدراسة حول ثلاثة محاور وتم رصد النتائج والتوصيات.

(2-4) بعض الثوابت والحقائق عن الاليف البصرية البلاستيكية

- لهذه الاليف فتحة نفوذ عددية عالية (0.5 – 0.6).
- جميع الاليف البلاستيكية عتبية.
- قطر اللب كبير مقارنة بالاليف الزجاجية.
- التوهين العالي حيث يصل الى 1000 db/km لذا يقل استخدامها.
- التناسب الطردي للتوهين لهذه الاليف مع الطول الموجي بعكس الاليف البصرية الزجاجية حيث التناسب عكسي.

(3-4) المقارنة (1)

بالنظر لمواصفات الاليف البصرية ونتائج الدراسات العملية السابقة المدرجة في الجداول ((1-3)- (3-8))
خلص الى النقاط الاتية:

أ/ تستخدم الاشعة ذات الاطوال الموجية الكبيرة للحصول على توهين منخفض نسبة للتناسب العكسي بين التوهين والطول الموجي وذلك في الاليف الزجاجية.

ب/ تصنع الاليف الزجاجية بفتحات نفوذ عددية متعددة (0.5 – 0.08) بعكس الاليف البلاستيكية حيث تصمم فتحات النفوذ العددية ما بين (0.5 – 0.6) والتي هي كبيرة جدا.

ج/ تزداد فتحة النفوذ العددية بزيادة الطول الموجي في المدى المحدد للفتحات المصممة في الاليف البلاستيكية (اي التناسب الطردي لفتحة النفوذ العددية مع الطول الموجي) وذلك عند القياسات العملية.

د/ من النقطتين (ب و ج) خالص الى الاتي :

• تعدد فتحات النفوذ العددية في الاليف البصرية الزجاجية مما يعني الاخذ في الاعتبار للطول الموجي عند التصميم لهذه الفتحات (اي تصمم وفقا للطول الموجي المناسب لكل فتحة نفوذ عددية).

• تحصر فتحات النفوذ العددية في الاليف البلاستيكية عند التصميم ما بين (0.5 – 0.6) دون الاخذ في الاعتبار للطول الموجي المناسب لهذه الفتحات في هذا النوع حيث يتم الحساب لهذه الفتحات بعلاقة اخرى.

(4-4) محاور الدراسة

تمركزت الدراسة حول ثلاث محاور اساسية وهي :

1-4-4 دراسة العلاقة بين التوهين والطول الموجي

تتعدد اسباب الضعف في الاليف البصرية عموما كما اسلفنا سابقا ومن خلال نتائج الدراسات العملية والمواصفات (اي نتائج المقارنة (1)) والتي تخلص الى انخفاض التوهين بزيادة الطول الموجي في الاليف الزجاجية بينما زيادة التوهين بزيادة الطول الموجي في الاليف البلاستيكية (اي العلاقة الطردية بين التوهين والطول الموجي) وبما ان الدراسة تمركزت حول الاليف البلاستيكية يمكن التعبير عن المحور (1.4.4) كالآتي:

$$a_{dB} \propto \lambda \quad (1-4)$$

وعلى اساسه تتم التوصية عند الاستخدام لهذه الاليف باستخدام اطوال موجية صغيرة حيث حدد الطول الموجي المناسب (650 nm) وذلك لتقليل الفقد ، وعلى اساسه ومن نتائج المقارنة والدراسة العملية (اي الجداول (8-3) و (7-3)) خالص الى الافتراض الاتي:

• العلاقة النسبية بين الفقد والطول الموجي وبذا فان التوصية باستخدام الاطوال الصغيرة لا تمثل حلا لتقليل التوهين (اي ان الفقد ثابت حيث التناسب الطردي بين λ و a_{dB} موجود لكل طول موجي).

2-4-4 دراسة العلاقة بين فتحة النفوذ العددية و الطول الموجي للالياف البلاستيكية

• اهمية فتحة النفوذ العددية:

تبرز اهمية فتحة النفوذ العددية لانها تساعد على معرفة كمية الشعاع الذي يمكن ان ينتشر في لب الليف [6].

قبل البدء في ثرد ودراسة العلاقة نود الاشارة الى ثلاث نقاط هامة وهي:

أ/ فتحة النفوذ عموما تمثل العلاقة المثلثية لجيب زاوية القبول والتي ترتفع بارتفاع زاوية القبول وتعتمد على الفرق بين معاملتي انكسار اللب n_1 والكساء n_2 .

ب/ تباعا للنقطة (أ) وعلى اساسه نستدرك وجود العلاقة بين N_A و n_1 و n_2 وعلى اساس هذه العلاقة تتضمن وجود العلاقة بين فتحة النفوذ العددية والطول الموجي نسبة لوجود العلاقة بين معامل الانكسار والطول الموجي وبالتالي فان النقطة (ب) تشير لوجود العلاقة بين الطول الموجي وفتحة النفوذ وذلك في المدى (0.5 - 0.6).

ج/ تحسب فتحة النفوذ العددية عمليا باستخدام العلاقة التالية:

$$N_A = \frac{A/2}{\sqrt{(A/2)^2 + D^2}} \quad (2-4)$$

حيث D تمثل المسافة بين نهاية الليف البصري الى الشاشة، A هي حجم صورة الشعاع علي الشاشة ، حيث المعادلة (2.4) لا تشتمل على الطول الموجي في حساب فتحة النفوذ عمليا .

من خلال هذه النقطة نود الاشارة الى صحة نتائج المقارنة (1) المتمثلة في عدم الاخذ في الاعتبار للطول الموجي عند تصميم فتحة النفوذ في الالياف البلاستيكية مما يشير الى عدم ملائمة N_A لكل الاطوال الموجية.

من خلال نتائج المقارنة (1) المتمثلة في تعدد فتحات النفوذ العددية والتي هي غير ملائمة لكل الاطوال الموجية وذلك نسبة للتناسب العكسي للتوهين مع الطول الموجي الذي بدوره يتطلب التناسب العكسي لفتحة النفوذ العددية مع الطول الموجي في الالياف الزجاجية ايضا ، اردنا فقط الملاحظة لوجود العلاقة بين التوهين وفتحة الفوذ العددية في الالياف الزجاجية (التناسب الطردي) وهذا يشير لوجود العلاقة بين التوهين وفتحة النفوذ .

لكن وجود العلاقة بين التوهين والطول الموجي في الاليف البلاستيكية كما اثبتت الدراسات العملية السابقة فبالنظر لهذه الدراسات العملية حيث الجداول (6-3) و (8-3) تؤكد وجود العلاقة الطردية ايضا بين فتحة النفوذ العددية والطول الموجي. وهذا يشير لوجود العلاقة النسبية بين فتحة النفوذ العددية والتوهين.

يمكن التعبير بين N_A و λ كالآتي:

$$N_A \propto \lambda \quad (3-4)$$

وذلك في الاليف البصرية البلاستيكية ، وبما ان التوصية تتم باستخدام الاطوال الموجية المناسبة حيث حدد 650 nm لتقليل التوهين ، ومن نتائج المقارنة (1) خلص الى الافتراض الى المتمثل في المعادلة (3-4).

ويمكن اثبات ذلك ايضا كالآتي :

$$N_A = (n_1^2 - n_2^2)^{\frac{1}{2}} \quad (4-4)$$

حيث n_1 تمثل معامل انكسار اللب و n_2 معامل انكسار الكساء و N_A فتحة النفوذ العددية.

بما ان :

$$V = \frac{2\pi a}{\lambda} (n_1^2 - n_2^2)^{\frac{1}{2}} \quad (5-4)$$

حيث V تمثل القيمة العددية لليف البصري.

وبتعويض المعادلة (4.4) في المعادلة (5.4) نحصل على :

$$V = \frac{2\pi a}{\lambda} N_A \quad (6-4)$$

ومنه

$$N_A = \frac{V\lambda}{2\pi a} \quad (7-4)$$

$$\lambda = \frac{2\pi a N_A}{V} \quad (8-4)$$

وبافتراض ان:

$$C_1 = \frac{2\pi a}{V} \quad (9-4)$$

$$\lambda = C_1 N_A \quad (10-4)$$

وبافتراض ان C_1 ثابت بالتالي فان :

$$\lambda \propto N_A \quad (11-4)$$

والمعادلة (11-4) تعني الاخذ بالاعتبار للطول الموجي عند تصميم او حساب فتحة النفوذ العددية وتؤكد التناسب الطردي بين الطول الموجي وفتحة النفوذ العددية.

3-4-4 دراسة العلاقة بين فتحة النفوذ العددية والتوهين

تتعدد اسباب الضعف عموما نتيجة لعدة عوامل ترتبط بطبيعة المادة والتأثيرات الهندسية وغيرها (ما ذكر في الفصل السابق) لكن تختص الدراسة على دراسة العلاقة بين التوهين وفتحة النفوذ والعددية في الالياف البلاستيكية ، قبل البدء نود الاشارة الى بعض النقاط:

أ/ عموما اثبتت العلاقة بين الفقد وفتحة النفوذ العددية وذلك عند عملية توصيل او ربط الالياف البصرية مع بعضها حيث العلاقة التالية توضح ذلك :

$$a_{dB} = -10 \log \left(\frac{N_{A1}}{N_{A2}} \right)^2 \quad (12-4)$$

حيث N_{A1} فتحة النفوذ العددية لليف الاول و N_{A2} فتحة النفوذ العددية لليف الثاني

ب/ التناسب الطردي للتوهين مع الطول الموجي في الالياف البلاستيكية.

من خلال الدراسات العلمية السابقة وبالنظر للمحورين السابقين يتبين الاتي :

- ثبوت العلاقة الطردية بين التوهين والطول الموجي.
- ثبوت العلاقة بين فتحة النفوذ العددية والطول الموجي.

من المعادلة (1-4) نجد ان:

$$a_{dB} \propto \lambda = C_2 \lambda \quad (13-4)$$

حيث C_2 ثابت التناسب.

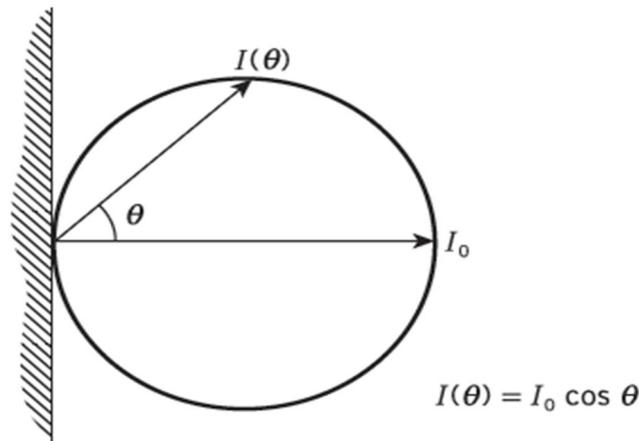
من المعادلة (10-4) والمعادلة (13-4) نجد ان:

$$a_{dB} = C_2 C_1 N_A \quad (14-4)$$

وعلى اساس هذه المعادلة تتضح العلاقة بين التوهين و فتحة النفوذ العددية ، وبالتالي يتأكد تأثير فتحة النفوذ العددية على التوهين الذي يحدث للشعاع داخل الليف البصري ، وخلص ايضا الى ثبوت العلاقة بين فتحة النفوذ العددية والتوهين يترتب عليه وجود العلاقة بين قدرة الشعاع و فتحة النفوذ العددية.

عند استخدام الليف فان نقل القدرة البصرية من المنبع الضوئي الى الليفة البصرية يتعرض لفقد كبير وذلك بسبب صغر حجم الاليف البصرية وايضا التناثبات الضوئية تبعث القدرة على امتداد زوايا كبيرة بينما لا تقبل الاليف البصرية دخول الضوء الا من زوايا محددة [5].

نجد ان معظم معاملات التوهين تتعلق بكيفية التصنيع والتركيب (الشوائب وخلافه) لذا قد تعالج ، بخلاف الفقد الناتج عن امتصاص المادة فهو ضمني يتعلق بطبيعة المادة ، ولكن جميع هذه المعاملات ترتبط بالطول الموجي.



(1-4) مصدر لامبرتون للتناثبات الباعثة للضوء (LED)

حيث $I_0 \equiv$ الكثافة القصوى العمودية على مستوى السطح والتي تقل على الجانبين بما يتناسب مع جيب تمام الزاوية.

$\eta_{pe} \equiv$ كثافة القدرة النافذة والتي هي نسبة بين القدرة البصرية المنبعثة خارج المصدر (p_e) الى القدرة الكهربائية الداخلة للمصدر (p)

$$\eta_{ep} = p^e/p \times 100\% \quad (15-4)$$

حيث

$$p_e = \frac{p_{in} F n^2}{4n_x^2} \quad (16-4)$$

حيث $p_{in} \equiv$ القدرة المتولدة داخل المصدر (LED)

$F \equiv$ معامل الانتقال

اذا سقط الضوء بزاوية تساوي زاوية القبول θ_a فان

$$\theta_a = \sin^{-1}(n_1^2 - n_2^2)^{\frac{1}{2}} = \sin^{-1} N_A \quad (17-4)$$

لمصدر لامبرتون الشكل (1-4) فان كثافة الشعاع $I(\theta)$ عند الزاوية θ

$$I(\theta) = I_0 \cos \theta \quad (18-4)$$

اذا افترضنا التماثل الاسطواني للبلب الليف فان كفاءة الاقتران η_c تعطى

$$\eta_c = \frac{\int_0^{\theta_a} I(\theta) \sin \theta d\theta}{\int_0^{\frac{\pi}{2}} I(\theta) \sin \theta d\theta} \quad (19-4)$$

بتعويض المعادلة (18-4)

$$\eta_c = \frac{\int_0^{\theta_a} I_0 \cos \theta \sin \theta d\theta}{\int_0^{\frac{\pi}{2}} I_0 \cos \theta \sin \theta d\theta} \quad (20-4)$$

$$= \frac{\int_0^{\theta_a} I_0 \sin 2\theta d\theta}{\int_0^{\frac{\pi}{2}} I_0 \sin 2\theta d\theta}$$

$$= \frac{-[I_0 (\cos 2\theta)/2] \Big|_0^{\theta_a}}{-[I_0 (\cos 2\theta)/2] \Big|_0^{\frac{\pi}{2}}}$$

$$= \sin^2 \theta_a$$

من المعادلة (17-4)

$$\eta_c = \sin^2 \theta_a = N_A^2 \quad (21-4)$$

وبما ان كفاءة الاقتران هي نسبة القدرة المقترنة الى الليف p_c للقدرة المنبعثة من المصدر p_e

بافتراض ان القدرة المقترنة هي p_c لذا فان الخسارة في القدرة a :

$$a = -10 \log_{10} \frac{p_c}{p_e} \quad (22-4)$$

وبما ان

$$\eta_c = \frac{p_c}{p_e} \quad (23-4)$$

من المعادلة (21-4) و (22-4) و (23-4)

$$a = -10 \log_{10} (N_A)^2 \quad (24-4)$$

ومنه:

$$\frac{-a}{10} = \log_{10} N_A^2$$

وبالتالي فان:

$$N_A^2 = (10)^{\frac{-a}{10}} \quad (25-4)$$

ويمكن ان تكتب (25-4) كالآتي:

$$N_A = (10)^{\frac{-a}{20}}$$

او

$$N_A = \frac{1}{(10)^{\frac{a}{20}}} \quad (26-4)$$

المعادلة (26-4) توضح العلاقة بين خسارة امتصاص المادة وفتحة النفوذ العددية كما تثبت الحقيقة المتعلقة بأن فتحة النفوذ دائما تُصمم بين 0-1.

(5-4) النتائج

- ثبوت العلاقة الطردية بين فتحة النفوذ العددية والطول الموجي .
- ثبوت العلاقة الطردية بين التوهين و الطول الموجي.
- زيادة التوهين تبعا لفتحة النفوذ العددية حيث تؤثر فتحة النفوذ العددية على التوهين من حيث الارتفاع او الانخفاض وذلك نظرا لوجود العلاقة الطردية المثبتة في هذه الدراسة.

(6-4) التوصيات

- 1-في صناعة الالياف البصرية نوصي بتصميم الياف تحدد فيها فتحة النفوذ وفقا للطول الموجي المناسب لها وذلك لتقليل التوهين.
- 2-دراسة العلاقة بين فتحة النفوذ العددية وقدرة الشعاع الصادر من المنبع الضوئي وذلك للتوصل لقدرات ملائمة لفتحة النفوذ بغرض تقليل التوهين.
- 3-اجراء المزيد من الدراسات حول كيفية تطوير الالياف البصرية البلاستيكية من اجل التوسع في استخدام هذه الالياف بغرض تخفيض التكلفة الباهظة في عملية تصنيع وانتاج الالياف الزجاجية.

المصادر

- 1- صلاح الدين مصباح 2007م، الالياف البصرية ، دار الكتب العلمية للنشر والتوزيع ، القاهرة.
- 2- غادة الهندي 2013مرسالة ماجستير ، دراسة الخصائص الفيزيائية لمعامل الانكسار العتبي ، جامعة السودان للعلوم والتكنولوجيا.
- 3-راي تركير 2011 م ، ترجمة انعام عجاج ، الالكترونات البصرية وتكنولوجيا الالياف البصرية ، بيروت
- 4-غازي ياسين القبسي 2009م الطبعة الاولى ، اساسيات البصريات 535.
- 5- محمد عبدالرحمن 1995م ، اتصالات الالياف البصرية ، الطبعة الاولى
- 6- جورج صنيح 1992م ، اتصالات الالياف البصرية ، الطبعة الاولى ، المركز العربي للتعريب والترجمة والنشر والتاليف
- 7- JOHN M. SENIOR,2002
Optical Fiber Communications Principles and Practice
- 8- M. nishimura, 2005, optical fibers and fiber dispersion compensator nigh – speed optical communication 'cJ . opt. fiber commun..
- 9- Mahlke and p. cossing, 2001, fiber optic cables, MCD corporate Publishing,.
- 10- J.E. midwinter,1979, optical fibers for transmission, wiley..