وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

جامعة القادسية – كلية العلوم

قسم الكيمياء

دراسة نظرية حول الالياف البصرية

بحث تقدمت به الطالبتان

زهراء ابوالهيل جهاد **اسمهان عبد الله عبيد**

و هو جزء من متطلبات نيل شهادة البكالوريوس في
جامعة القادسية – كلية التربية /قسم الفيزياء

أشراف

أ.م. وئام سامي مالك

١٤٣٨ هـ ٢٠١٧ م

هَلْ يَسْتَوِي الَّذِينَ يَعْلَمُونَ وَالَّذِينَ لَا يَعْلَمُونَ

الزمر آية : ٩

إهداء

الهي لا يطيب الليل الا بشكرك ولا يطيب النهار الا بطاعتك . . ولا تطيب اللحظات الا بذكرك . . ولا تطيب الاخرة الا بعفوك ولا تطيب الجنة الا برؤيتك

الله جل جلاله

الى من بلغ الرسالة وادى الامانة . . ونصح الامة . . الى نبي الرحمة ونور العالمين

نبينا محمد صلى الله عليه وآله وسلم

الى ملاكي في الحياة

الى معنى الحب . . والى معنى الحنان والتفاني . . الى بسمة الحياة والوجود

والى من كان دعائها سر نجاحي وحنانها بلسم جراحي

الى والدتي رحمها الله

الى الحبيبة الاستاذة المرحومة حمدية عمار ياسر

كلمة شكر وتقدير وعرفان

لابد لنا ونحن نخطو خطواتنا الأخيرة في الحياة الدراسية الجامعية من وقفة نعود إلى أعوام قضيناها في رحاب جامعة القادسية مع اساتذتنا الكرام الذين قدموا لنا الكثير باذلين بذلك جهودا كبيرة في بناء جيل الغد لتبعث الأمة من جديد وقبل أن نمضي نتقدم بأسمى آيات الشكر والامتنان والتقدير والمحبة إلى الذين حملوا أقدس رسالة في الحياة إلى الذين مهدوا لنا طريق العلم والمعرفة

واخص بالذكر الاستاذة (وئام سامي مالك)

إلى جميع أساتذتنا الأفاضل.

ج

(١ – ١) نظرة تاريخية حول الالياف البصرية

ان أول المحاولات لنقل الأشارات الضوئية مسافة طويلة بإستخدام الألياف الضوئية كانت عام ١٩٦٦م. ويمكن أن نلخص بعض الاحداث التأريخية الهامة والمتعلقة بالألياف الضوئية كما يلي:

يرى بعض العلماء أن الفراعنة صنعوا منذ ٣٠٠٠ سنة سمكة من الزجاج ا لمعقم برأس أزرق وحراشف بيضاء وزعانف صفراء، وقد حصلوا على هذه الألوان عن طريق إضافة أكاسيد معدنية إلى الزجاج المصنوع من السيليكا (تم إضافة الكالوبالت لعمل اللون الأبيض، والانتيمون للون الأصفر). ولم يتمكن الفراعنة من صنع زجاج شفاف لأن المادة الأولية المستعملة كانت مشوبة ببقايا الأكاسيد ٠

ومع تقدم علم الكيمياء وتطور صناعة الزجاج تمكن علماء آخرون من صنع الزجاج الشفاف، وكان التقدم في هذه الصناعة سريعا ذلك إن شفافية أفضل العدسات التي صنعت في بداية القرن العشرين كانت أعلى بعشرة آلاف مرة من شفافية الزجاج المصنوع بمعرفة الفراعنة ٠

وفي الستينيات ارتفعت تلك الشفافية بعشرة آلاف مرة أخرى بفضل تقنية إنتاج ثاني اكسيد السليكون عالي النقاء، مما مكن من صنع الألياف البصرية ٠

وتذكر المراجع أن أول من كتب مطالبا باستخدام الألياف البصرية ***بيرد*** البريطاني ***وهانسل*** الأميركي وذلك عام1927 ، وكانت مطالبتهما باستخدام الألياف البصرية لنقل الصور التلفازية، بيد أنهما لم يقوما بأية تجربة علمية ٠

وظل العلماء يولون الألياف البصرية اهتمامهم طوال عقود متوالية، إلا أنه لم يتم استخدام الألياف البصرية بصورة عملية إلا في بداية الخمسينيات، حيث استخدمت في المناظير الطبية لفحص المعدة والأمعاء، وفي الصناعة لفحص مكائن الطائرات. غير أن أطوال هذه الألياف وقتئذ لم تتعد عدة أقدام، وكان حجمها كبيرا نسبيا، والفاقد منها مرتفع للغاية ٠

وعندما تم اكتشاف أشعة الليزر عام ١٩٦٠ بدأ التفكير الجاد في استخدام الألياف البصرية، ذلك إن حزمة ضوئية واحدة من أشعة الليزر يمكنها نقل آلاف الصور التلفازية. ومنذ ذلك الوقت بدأت الأبحاث تأخذ شكلا جديدا نظرا للإمكانات الهائلة التي تقدمها أشعة الليزر ٠

وفي اغسطس ١٩٧٠ أطلق العالم ***دونالد كيك*** شعاع ليزر في عيّنة جديدة من الزجاج مسحوبة بشكل خيط رفيع طوله ٢٠٠ متر. وبواسطة المجهر بدأ كيك يحاول ضبط مسار انطلاق شعاع ليزر (يفوق الهيليوم) مع لب الخيط الزجاجي اللامتناهي في الضوء .فجأة لفت انتباهه ضربة نقطة الضوء المهجرية في عينه، كان الضوء قد انطلق عبر الخيط الزجاجي،

واردا وارتـــــــد مـــــــن الطـــــــرف الآخـــــــر إليـــــــه ٠

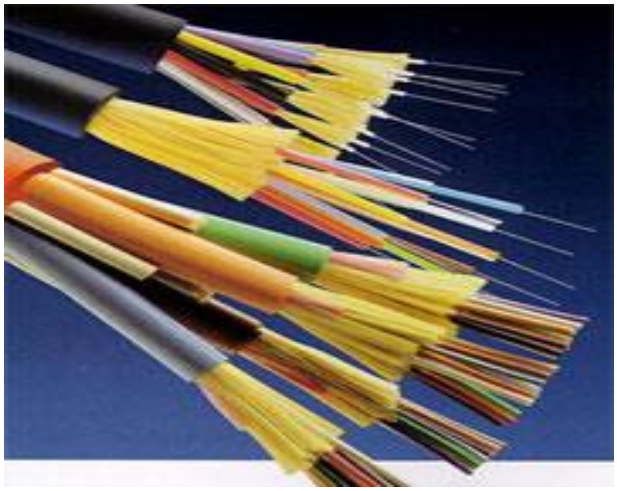
كشفت التجارب السابقة أن النبض الصوتي الذي يحمل المعلومات يصل إلى نهاية الخيط ثم يتحلل ويختفي، أما تلك اللحظة فقد كانت لحظة الانتصار المذهل، إذ بدا أن الاتصال عبر الألياف البصرية أصبح ممكنا ٠وبقي بعد ذلك مسألة التوصل إلى معادلة كيفية توليد ضوء بدرجة حرارة الغرفة، وفي أواخر أكتوبر ١٩٧٠ كانت ***مختبرات شركة بيل*** تليفون الأميركية توصلت إلى المعادلة المطلوبة ٠

ونتيجة للتقدم الهائل في تقنية صناعة الزجاج، وإنتاج ثاني أكسيد السليكون النقي، تمكن العلماء عام ١٩٧٩ من إنتاج ألياف زجاجية بلغ حدها الأقصى من الشفافية والنقاء، وأن الإشارة لا تفقد أكثر من نصف طاقتها بعد قطعها مسافة ٢٠ كيلومترا فيها٠ وبذلك اتضح أن الألياف البصرية يمكن أن تتفوق على جميع قنوات الاتصال الأخرى ٠

وفي ١٩٨٧ استعملت ***شركة بيل*** تليفون جهاز الليزر الدقيق والألياف الزجاجية لإجراء أول اتصال الكتروني ضوئي(١)

(١ – ٢) ما هي الألياف البصرية what is fiber optical

الألياف الضوئية هي ألياف اسطوانية زجاجية على درجة عالية من النقاء لا يتعدى سمكها سمك شعرة رأس الانسان ، تصنع عادة من مواد ذات معامل انكسار كبير وتكون رفيعة لدرجة أنه لا يمكن للضوء أن يسقط على جدرانها بزاوية أقل من الزاوية الحرجة ، فتسقط الأشعة الضوئية بزاوية سقوط أكبر من الزاوية الحرجة فتنعكس انعكاس كلي داخلي في الأنبوب حتى تنفذ من الطرف الآخر يجمع مئات أو ربما الآلاف من هذه الألياف في حزم داخل الكيبلات البصرية لتكون الحبل الضوئي(optical cable) الذي يحمى بغطاء خارجي يسمى جاكيت.والشكل (١–١) يبين نركيب الليف البصري(٢).



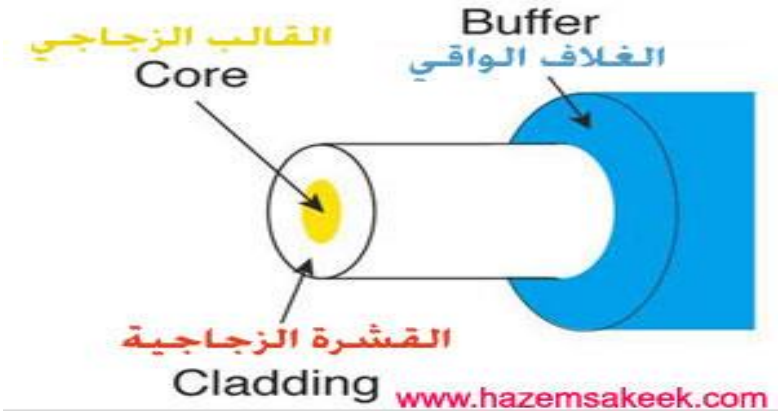
شكل (١ – ١) صورة فوتغرافية لحزمة من الالياف البصرية

(١– ٣) مكونات الليف البصري Fiber optical components

١ – القلب : يشغل مركز الليف وهو عبارة عن زجاج (أسطواني الشكل)رفيع يمثل المسار الذي ينتقل من خلاله الضوء، ويصنع من السليكا Silica المطعمة (بالجرمانيوم مثلا Ge–Silica) .

٢ – العاكس : و هو مادة تحيط باللب الزجاجي مصنوعة من زجاج معامل انكساره اقل بقليل من معامل انكسار الزجاج الذي يصنع منه القلب وهو الشرط المطلوب لحصول عملية الانعكاس الداخلي الكلي Reflection Total Internal، الذي هو أساس توجيه الضوء في الألياف الضوئية، إذ ينعكس الضوء كليا بواسطة هذا العاكس الى داخل الليف ليبقى داخل القلب الزجاجي وبتكرار الانعكاس ينتشر الضوء داخل قلب الليف الضوئي ويصل إلى النهاية الأخرى لليف.

الغطاء الواقي: و هو غلاف بلاستيكي يحمي القلب من الضرر والكسر(٣). كما هو موضح في الشكل (١–٢)

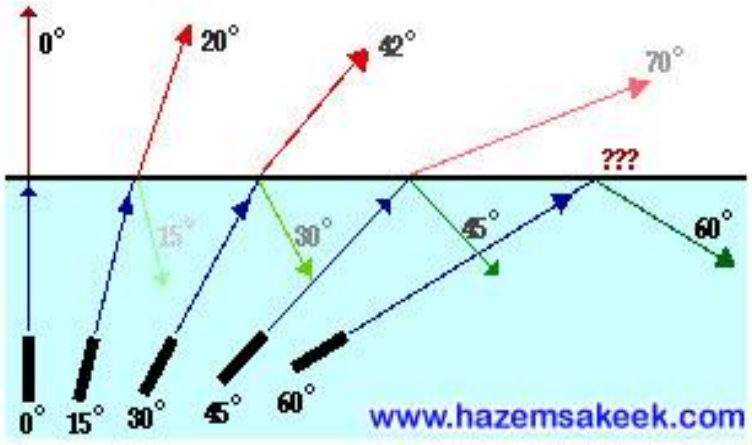


شكل (١ – ٢) مكونات الليف البصري

(١ – ٤) المبدا الفيزيائي لعمل الالياف البصرية

تعتبرظاهرة الإنعكاس الداخلي الكلي total internal reflection هي الأساس الفيزيائي لتكنولوجيا نقل الضوء عبر الآلياف الزجاجية حيث معامل الانكسار مختلف. فعندما ينتقل الضوء من وسط أكبر كثافة ضوئية (أكبر معامل انكسار) إلى وسط أقل كثافة ضوئية (أقل معامل انكسار) فإن الشعاع المنكسر يبتعد عن العمود أى تكون زاوية الانكسار أكبر من زاوية السقوط . وكلما زادت زاوية السقوط زادت زاوية الانكساروكلما زادت زاوية السقوط كلما قلت شدة الشعاع النافذ وازدادت شدة الشعاع المنعكس، وعند زاوية (تقريباً 48.6 درجة) تسمى الزاوية الحرجة تصبح زاوية الانكسار ٩٠° أى أن الشعاع المنكسر يخرج موازياً لسطح القلب اما اذا زادت زاوية السقوط فى الوسط الأكبر فى معامل الانكسار عن الزاوية الحرجة فإن الضوء الساقط لا ينتقل إلى الوسط الآخر إنما ينعكس وبذلك فإن الضوء الذى يدخل من أحد طرفى الليفة الضوئية بحيث يسقط على السطح الفاصل بين قلب الليفة والغلاف بزاوية أكبر من الزاوية الحرجة ينعكس انعكاسا كليا ويرتد إلى القلب مرة أخرى و يسقط على السطح الفاصل فى نقطة

أخرى بزاوية أكبر من الزاوية الحرجة . وهكذا فإن الضوء يعانى انعكاسات كلية متعاقبة حتى يخرج من الطرف الآخر من الليفة الضوئية كما مبين في شكل (١ – ٣)



شكل (١ – ٣) ظاهرة الانعكاس الداخلي الكلي

و تعتمد قيمة زاوية سقوط الشعاع فى الوسط الأكبر كثافة ضوئية (الأكبر فى معامل الانكسار) تقابلها زاوية انكسار فى الوسط الأقل كثافة ضوئية (الأقل فى معامل الانكسار) لوسط ما على معامل انكسار كل من وسطى السقوط و الانكسار و هى تساوى

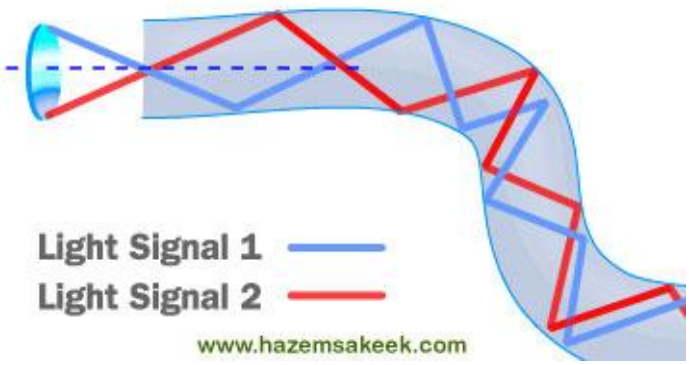
$$\sin\theta_c = \frac{n_2 \sin 90}{n_1}$$

وعندما يكون وسط الانكسار n2 و هو الوسط الأقل فى معامل الانكسار هو الهواء فإن الزاوية الحرجة تساوى

$$\sin\vartheta_c = \frac{1}{n_1}$$

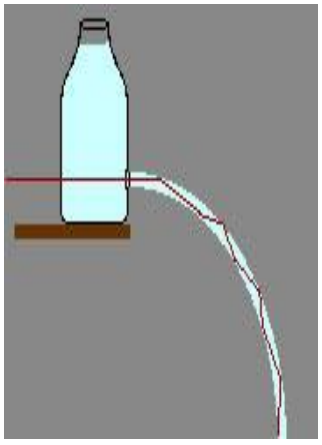
حيث n١ هو معامل الانكسار للوسط الأكبر كثافة ضوئية.(٤)

لنفترض انك تريد أن توصل ومضة ضوئية خلال مسار طويل مستقيم كل ما عليك هو أن توجه الضوء خلال هذا المسار ولان الضوء ينتقل في خطوط مستقيمة فانه سيصل للطرف الآخر بلا مشاكل .لكن ماذا لو كان المسار به انحناء؟ بسهولة يمكن أن تتغلب على ذلك بوضع مرآة عند الانحناء لتعكس الضوء إلى داخل المسار مرة أخرى .وبنفس الطريقة تحل المشكلة لوكان المسار كثير الانحناءات حيث تصف مرايا على طول المسار لتعكس الضوء باستمرار من جانبا لأخر ليبقى في مساره .هذه بالضبط هي فكرة عمل الألياف الضوئية .حيث ينتقل الضوء بواسطة الانعكاس المستمر عن الجدار المحاذي للقالب الزجاجي cladding انعكاسا داخليا كليا .ولان هذا الجدار لا يمتص أي من الضوء الساقط عليه فان الإشارة الضوئية يمكن أن تسافر مسافات طويلة .ولكن يحدث أحيان أن يفقد جزء من الضوء حيث تمتصه الشوائب الموجودة في القلب الزجاجي. وكما موضح في شكل (١-٤)(٥).



شكل (١ – ٤) مسار الضوء داخل الليف البصري وفقا لمبدا الانعكاس الكلي

وكتطبيق على ظاهرة الانعكاس الكلي الداخلي قم بتسليط شعاع ليزر على ماء مندفع من فتحة صغيرة كما في الشكل (١ – ٥)، وستجد ان مسار الليزر ينحرف مع انسياب الماء، والسبب في ذلك ان الليزر ينعكس على السطح الداخل للماء حيث يفصل هذا السطح بين وسطين مختلفين في معامل الانكسار.(٤)



شكل (١ – ٥) تجربة توضح ظاهرة الانعكاس الكلي في الضوء

نفس الظاهرة تحدث في الليزر عبر الالياف الضوئية حيث أن الضوء بمجرد عبوره إلى داخل القالب الزجاجي core سينعكس على السطح الداخلي للقشرة الزجاجية لان معامل انكسارها اكبر من القالب ويستمر الليزر بالانعكاس على جانبي القالب بغض النظر اذا كانت الالياف الضوئية مستقيمة أو منحنية

وفى الأنواع الجيدة من الألياف الضوئية تكون كمية الضوء المفقودة بالامتصاص فى قلب الليفة الضوئية قليلة جدا و بذلك يمكن نقل الضوء لمسافة قد تبلغ بضعة كيلومترات دون أن تقل شدته بكمية كبيرة وعادة يوضع عدد كبير من الألياف الضوئية مع بعضها لتكون حزمة مرنة (كابل) (٤).

(١ – ٥) مكونات نظام الالياف البصرية

يتكون نظام الألياف الضوئية من ثلاث أجزاء أساسية هي:

المرسل transmitter

وهوالذي ينتج و يشفر الإشارة الضوئية حيث يكون الجزء الأساسي به هو المصدر الضوئي الذي قد يكون ليزر أو الدايود الضوئي، فإذا أردنا مثلا نقل إشارة تلفزيونية أو أي معلومة فانه من الضروري تحوير الشارة الضوئية طبقا للمعلومة المراد نقلها. تحوير الإشارة الضوئية قد يتم بتغيير شدتها ارتفاعا و انخفاضا analogue modulation أو إشعالها و إطفائها في تتابع و هو ما يعرف بـ digital modulation

الليف البصرية fiber-optic

و هو الذي يقوم بتوصيل الإشارة الضوئية عبر المسافات و هو الجزء الذي تم شرحه مسبقاً.

المستقبل receiver

يستقبل الإشارة الضوئية و يفك شفرتها ليحولها إلى إشارة كهربية ترسل إلى المستخدم الذي قد يكون التلفزيون أو التلفون(٦)

(١ – ٦) كيف يتم تصنيع الليف البصري

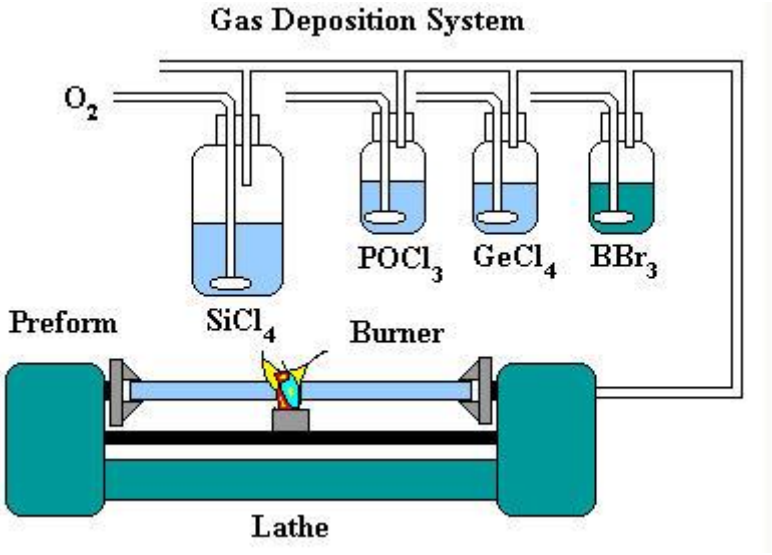
تتم صناعة الألياف الضوئية على النحو التالي:

١-عمل اسطوانة زجاجية غير مشكلة:

الزجاج المستخدم في عمل الاسطوانة الغير مشكلة يصنع من خلال عملية تسمى modified chemical vapour deposition حيث يمرر الأكسجين على محلول من كلوريد السليكون و كلوريد الجرمانيوم كيماويات أخرى ثم تمرر الأبخرة المتصاعدة داخل أنبوب من الكوارتز موضوع في مخرطة خاصة شكل (١ – ٦) عندما تدار يتحرك مجمر حول أنبوب الكوارتز حيث تتسبب الحرارة العالية في حدوث شيئين

(١) يتفاعل السليكون و الجرمانيوم مع الأكسجين لتكوين أكسيد السليكون و أكسيد الجرمانيوم

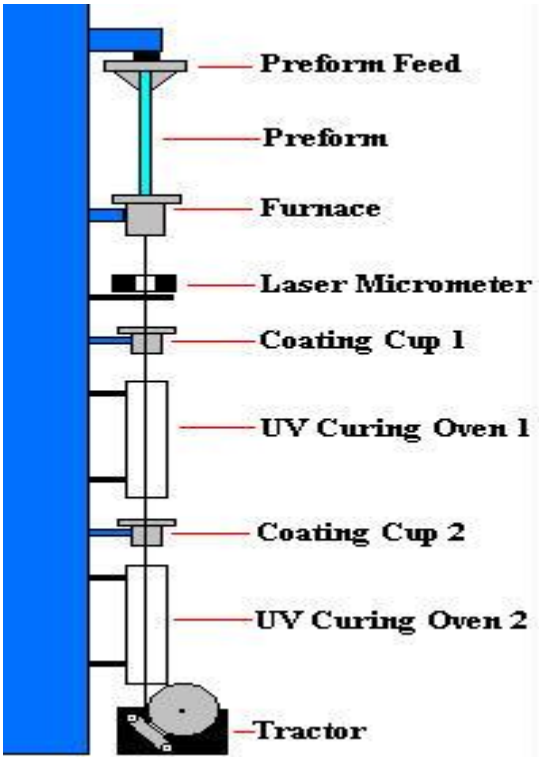
(٢) يترسب أكسيد السليكون و أكسيد الجرمانيوم على جدار الأنبوب من الداخل و يندمجان معا لتكوين الزجاج الخام المطلوب حيث يمكن التحكم بدرجة نقاء و صفات الزجاج المتكون من خلال التحكم بالخليط.



شكل (١ – ٦) منظومة عزل الغاز

٢ –سحب الألياف الضوئية من الاسطوانة الزجاجية:

يتم سحب الألياف من هذه اسطوانة الخام الغير مشكلة بوضعها في أداة السحب حيث ينزل الزجاج الخام في فرن كربوني درجة حرارته ١،٩٠٠–٢،٢٠٠ درجة سليزية فتبدأ المقدمة في الذوبان حتى ينزل الذائب بتأثير الجاذبية و بمجرد سقوطه يبرد مكونا الجديلة الضوئية. هذه الجديلة تعالج بتغليف متتابع أثناء سحبها بواسطة جرار مع قياس مستمر لنصف القطر باستخدام ميكرومتر ليزري الشكل (١ – ٧). تسحب الألياف من القالب الخام بمعدل ٢٠m/s.



شكل (١ – ٧) الاداة المستخدمة في سحب الجدائل الليفية

٣-اختبار الألياف الضوئية:

بعد ذلك يتم اختبار الألياف من ناحية: معامل الانكسار، الشكل الهندسي و خصوصا نصف القطر، تحملها للشد، تشتت الإشارات الضوئية خلالها، سعة حمل المعلومات، تحملها لدرجات الحرارة و إمكانية توصيل الضوء تحت الماء (٥)

(٢ – ١) انواع الالياف البصرية

تصنف الألياف البصرية الى ثلاثة أنواع تبعاً لأنماطها وتركيبها وهي كما يلي :

(٢-١-١) الالياف المتددة النمط multi -mode fibers

هذا النوع من الألياف يتميز بها يتم نقل العديد من الأنماط للإشارات الضوئية من خلال الليفة الضوئية الواحدة مما يجعل استخدامها أفضل لشبكات الحاسوب. هذا النوع من الألياف يكون نصف قطره أكبر حيث يصل إلى ٦٢,٥ micron وتنتقل من خلاله الأشعة تحت الحمراء. ويمكن ان يصنف هذا النوع الى التالي:

(٢ – ١ – ١ – ١) ألياف متعددة النمط وبمعامل انكسار عتبي Multimode Step Index Fibers

يصنع هذا النوع من الألياف البصرية من عناصر مختلفة من الزجاج ومركباته أو من السليكا المطعمة . تتميز هذه الألياف بكبر قطر اللب وكبر فتحة النفوذ العددية والتي تمكن من دخول كمية كبيرة من الضوء لليف البصري وتعتمد خواص هذه الألياف على نوع الليف والمواد المصنعة منها وطريقة التصنيع وتعتبر الألياف المصنعة من السليكا المطعمة أفضل الألياف البصرية وتستخدم لنقل المعلومات لمسافة قصيرة وعرض نطاق محدود ، غير أن تكلفتها قليلة .

(٢ – ١ – ١ – ٢) ألياف متعددة النمط وبمعامل إنكسار متدرج Multimode graded Index Fibers

معامل انكسار هذه الألياف متدرج إذ تبلغ أعلى قيمة له في مركز الليف وتقل قيمة معامل الإنكسار بصفة تدريجية كلما اتجهنا نحو الكساء حيث تكون قيمة معامل الانكسار ثابتة ويصنع هذا النوع من الألياف من عدد من العناصر الزجاجية أو السليكا المطعمة . إن أداء الألياف متعددة النمط ومتدرجة معامل الانكسار يتفوق على أداء الألياف متعددة النمط ذات معامل الانكسار العتبي نظراً لتدرج معامل الانكسار وقلة التوهين فيها غير أن قطر اللب في الألياف متعددة النمط ومتدرجة معامل الانكسسار أقل من قطر اللب في الألياف متعددة النمط ذات معامل الانكسار العتبي . وتستخدم للمسافات المتوسطة وعرض نطاق متوسط عالي .

(٢-١-٢) ألياف أحادية النمط Single Mode Fibers

قد يكون معامل إنكسار الليف متعدد النمط متدرج أو عتبي ولكن معظم الألياف أحادية النمط الموجودة حالياً ذات معامل نكسار عتبي . وتصنع من مادة السليكا المطعمة . تتميز بنوعيتها الممتازة كما أن عرض النطاق فيها كبير لذا تستعمل للمسافات الطويلة ولكن نصف قطر القلب الزجاجي صغير حيث يصل إلى حوالي 9 micron وتمر من خلاله أشعة الليزر تحت الحمراء ذات الطول الموجي ١,٣–١,٥٥ nm.ولكن قطر الكساء

يبلغ أضعاف قطر القلب وذلك للقليل من نسبة الفقد من الموجات المضمحلة evanescnt التي تمتد داخل الكساء ومع استخدام الغلاف الواقي يصبح القطر الاجمالي لليف أحادي النمط مساو الى قطر الليف متعدد النمط .

تنتقل الإشارات الضوئية خلال هذه الالياف بنسق ونمط موحد في كل ليفة ضوئية من ألياف الحزمة وهي تستخدم في شبكات التلفون وكوابل التلفزيون(٧).

(٢ – ٢) مميزات الالياف البصرية

١ – عرض النطاق المرتفع :إن عرض النطاق المرتفع جداً يعني إمكانية نقل معلومات عالية جداً بواسطة ليفه بصرية واحدة وقد تكون هذه المعلومات صور تليفزيونية أو مكالمات هاتفيه أو مزيج منها مما يزيد عدد خطوط الهاتف أو عدد قنوات البث التلفزيوني في حبل واحد. يكفي أن تعرف إن عرض النطاق للألياف الضوئية يصل إلى ٥٠THZفي حين إن اكبر عرض نطاق يحتاجه البث التلفزيوني لا يتجاوز ٦Mhz وقد تم تشغيل خطوط نقل معلومات بمعدل ١٠ جيجابت لكل ثانية والأبحاث مستمرة في أنحاء العالم للحصول على أنظمة تعمل بمعدل معلومات أعلى ولمسافة أطول.

٢ – اقل حجم : يبلغ سمك الليفة البصرية سمك الشعرة وعلى الرغم من أن هناك طبقات واقية توضع فوقها إلا أنها لا تزال أقل حجماً ووزناً من الأسلاك الهاتفية أو المحورية ومثالاً على ذلك أن ليف بصري بقطر يبلغ ١٢٥ مايكرومتر ضمن كابل يبلغ قطره ٦ ملم يمكن له أن يحل محل كابل هاتفي قطره ٨ سم ويحتوي على ٩٠٠ زوج من الخطوط السلكية النحاسية وهذا يعني أن الحجم قد انخفض بنسبه تزيد عن ١ : ١٠ ونظراً لهذه الميزة فقد تم استبدال الكابلات النحاسية في كثير من الطائرات والبواخر بآلياف بصرية وبسبب صغر الحجم وقلة الوزن فإن نقلها وتركيبها يتم بصورة أسهل وأسرع من الكابلات النحاسية. و هذا يمثل أهمية خاصه عند مد الأسلاك تحت الأرض*(٨)*

٣ – اخف وزنا: فيمكن استبدال أسلاك نحاسية وزنها ٩٤,٥كجم بأخرى من الألياف الضوئية تزن فقط٣,٦كجم.

٤–فقد اقل للإشارات المرسلة

٥–عدم إمكانية تداخل الإشارات المرسلة من خلال الألياف المتجاورة في الحبل الواحد مما يضمن وضوح الإشارة المرسلة سواء أكانت محادثة تلفونية أو بث تلفزيوني. كما إنها لا تتعرض للتداخلات الكهرومغناطيسية مما يجعل الإشارة تنتقل بسرية تامة مما له أهمية خاصة في الأغراض العسكرية.

٦– غير قابلة للاشتعال مما يقلل من خطر الحرائق

٧–تحتاج إلى طاقة اقل في المولدات لان الفقد خلال عملية التوصيل قليل(٣)

٨ ـ **أكثر أماناً وسلامة** :نظراً لأن الضوء هو الوسط الناقل للمعلومات في الألياف البصرية ولا يولد هذا الضوء أي مجال مغناطيسي خارج الكابل فإن من الصعوبة معرفة المعلومات التي يحويها الكابل البصري كما أنه من الصعوبة معرغة وجود الكابل البصري بسبب المادة المصنع منها ولا يوجد جزء معدني إلا في بعض الحالات حيث تتم إضافة كابل فولاذي لتقوية الكابل البصري أو تسليح معدني لحماية الكابل من القوارض والأحمال الخارجية أما الميزة الأخرى فهي سلامة الألياف البصرية لأن الضوء الناقل لا يمكنه أن يحدث شراراً أو دائرة قصر لعدم وجود تيار كهربائي فيه ولهذا السبب يمكن استخدام الألياف البصرية في المحلات الحاوية على مواد قابلة للاحتراق ومستودعات المواد الخطرة كما أن احتمال كهربة العاملين في الألياف البصرية غير وارد

٩ – **حياتها طويلة:** يتوقع أن يكون عمر الألياف البصرية في حدود ٢٥ عاماً مقارنة بخمس عشر عاماً للنظم الأخرى حيث أن المكونات الأساسية للألياف هي الزجاج والذي لا يصدأ على عكس النظم الأخرى والتي تحوي على معادن تتعرض للصدأ.

١٠ – يمكن للزجاج أن يتعرض لدرجات حرارة متفاوتة من حيث **لا تتأثر بالمواد الكيميائية** الانخفاض والارتفاع كما يمكن استخدامه في أجواء تحتوي على مواد كيميائية مختلفة دون أن يتعرض للتلف.

١١- **سهولة الصيانة:** وضع المكررات على مسافة ١٠٠ كم بين مكرر وآخر وهذا يقلل من عدد المكررات وبالتالي من صيانة النظم كما يزيد من الاعتماد على النظام لقلة الأجهزة المستخدمة بينما المسافة بين المكررات في النظام الهاتفي المستخدم حالياً تتراوح بين ٤ إلى ٦ كم.(٨)

بسبب هذه المميزات فان الألياف الضوئية دخلت في الكثير من الصناعات و خصوصا الاتصالات و شبكات الكمبيوتر.كما تستخدم في التصوير الطبي بأنواعه و في كمجسات عالية الجودة للتغير في درجة الحرارة و الضغط بما له من تطبيقات في التنقيب في باطن الأرض.كما سنلاحظ ذلك في الفصل القادم(٣)

(٢ – ٣) خواص الألياف البصرية Properties of Optcal Fibers

٢-٣-١ التوهين Attenuation

يعتبر التوهين أحد العناصر الأساسية في تقويم أنظمة الاتصالات حيث تتعرض الموجات الحاملة للوهن عند انتشارها في قناة الاتصال نتيجة عوامل عديدة كالامتصاص Absorptionوالتناثر Scatteringويجب استخدام قنوات اتصال بأقل توهين ممكن حتى تنتشر الموجات الحاملة الأطول مسافة ممكنة . وفي قنوات الاتصال المصنعة من الألياف البصرية ، يلعب التوهين دوراً أساسياً في اختيار الليف ، وفقد الضوء في الليف البصري يعتمد الى حد كبير على الطول الموجي للضوء المستخدم حيث يقل عند بعض الأطوال الموجية ويزيد عند اطوال

الموجية ويزيد عند اطوال موجية أخرى ، حيث أن امتصاص جزيئات (OH) للضوء يزداد عند بعض الأطوال الموجية ويقل عند أطوال موجية أخرى ، حيث أن امتصاص جزيئات (OH) للضوء يزداد مثلا عند طول موجي قدرة ١٣٩٠ نانومتر وتقاس قيمة التوهين لليف البصري بوحدة الديسيبل لتعبر عن النسبة بين الطاقة الضوئية المستقبلة والطاقة الضوئية المرسلة في الليف(٩) .

٢-٣-٢ التشتيت Dispersion

التشتيت هو انبساط أو اتساع النبضة عند مرورها في قناة الاتصال وفي نظم الألياف البصرية ينقسم التشتيت الى نوعين وهما التشتيت النمطي Intermodal dispersion والذي يتم نتيجة سلوك الاشارات المرسلة مساوات مختلفة عند انتشارها داخل الليف مما يؤدي الى عدم وصولها في وقت واحد . أما النوع الأخر فهو التشتيت الباطني وينقسم هذا التشتيت الى نوعين (أ) تشتيت المادة material dispersion (ب) تشتيت الدليل الموجي waveguide dispersionيحصل هذا النوع من التشتيت في جميع أنواع الألياف البصرية وينتج من عرض خط المنبع البصري حيث أن المنابع البصرية لا تبث الضوء بطول موجي واحد بل بحزمة من الأطوال الموجية وحيث أن معامل انكسار الزجاج المستخدم في الألياف يتغير مع الطول الموجي فإن ذلك سيؤدي الى اختلاف في سرعة الاشارات أو النبضات مما يؤدي الى انبساطها ويؤثر ذلك على كمية المعلومات المراد نقلها(١٠) .

٢-٣-٣ فتحة النفوذ التعددية Numerical Apertur

يتطلب اقتران الضوء في اللب البصري وقوع شعاع ضمن زاوية معينة تدعى زاوية القبول ويعبر عن قدرة تجميع الضوء يجيب Sine زاوية القبول والذي يطلق علية فتحة النفوذ العددية ويعبر عنها رياضيا بالتالي :

$$NA=\sqrt{6\ n1^2 - n2^2} = no \sin \Phi$$

حيث أن noتمثل معامل انكسار الوسط الفاصل بين منبع الضوء والليف و n1معامل انكسار اللب و n2 معامل انكسار الكساء . تحدد فتحة النفوذ العددية مقدار القدرة المفترنة بالليف

(٢ – ٤) كيفية تصميم نظام الالياف البصرية

عند تصميم وصلة ليفية بصرية لابد من الاخذ بنظر الإعتبار عمل موازنة متعادلة لاختيار المكونات المختلفة اعتمادا على خواص تلك الوصلة الليفية وهي:

أ.التوهين

ب. التشتيت

ج . فتحة النفوذ العددية.

فلوبدأنا من جهة الارسال فعلينا اختيار منبع ضوئي يبعث الضوء بطول موجي مناسب وعرض طيفي Spectral Width قليل وقدرة بصرية كافية لهذا الغرض ، ثم استخدام نوعين من المنابع وهما :

أ – الثنائيات الباعثة للضوء و

ب – ثنائيات الليزر Laser Diodes .

يتطلب أقتران الضوء من المنبع الى الليف وجود مواءمة جيدة بينهما كي تنقل أكبر قدر من القدرة البصرية الى الليف لذا لابد من العناية في اختيار المقرن المناسب الذي يعطي اقل فقد ممكن . نظراً لأن الالياف تنتج بأطوال محددة فلابد من ربط بعضها ببعض للحصول على الطول المطلوب وقد يؤدي ذلك الى حصول على الطول المطلوب وقد يؤدي ذلك الى حصول بعض الفقد في القدرة المنقولة والهذا الفقد اربعة اسباب وهي أ – لانزياح الجانبي ب– عدم التراصف الزاوي ج – تباعد الاطراف د– نعومة الاسطح وتوازيها . وقد يحصل الفقد أيضا عند ربط الياف تختلف في اقطارها وفتحات نفوذها العددية .

٣ – تطبيقات الألياف البصرية Optical Fiber Applications

تعرضنا في الأقسام السابقة الى فوائد الألياف البصرية وامكانات النظام الليفي البصري ، مما لا شك فيه أن كثيرا من الحقول في المجالات المدنية والعسكرية بدأت تستفيد من هذه الفوائد ومن الصعب جداً التعرف على كل المجالات الممكن استخدام الألياف البصرية فيها وسنقوم في هذا القسم بالتعرف على بعض الاستخدامات العامة.

(٣ – ١) تطبيقات الالياف البصرية فيالاتصالات الهاتفية

لعبت الأسلاك المجدولة والكابلات المحورية دوراً كبيراً في السنوات الماضية في مجال الاتصالات الهاتفية وبصفة خاصة بين البدالات ، وحيث أن أحد الصفات الهامة هي سعة الألياف البصرية ، فقد بدأت كثير من الشركات بالتفكير في بناء خطوط هاتفية جديدة وإحلال بعض الخطوط القديمة سواء كانت اسلاك مجدولة أو كابلات محورية وأول خط تجاري يستخدم الألياف البصرية في الولايات المتحدة بدأ تشغليله في ***٢٢ ابريل ١٩٧٧م*** وقد استخدم الارسال الرقمي في هذا الخط ، كما أن المكررات كانت على مسافة ٣,٦ كيلومتر واستخدمت الثنائيات الباعثة للضوء Light Emitting Diodes في أجهزة الارسال وثنائيات الضوء الجرفية avalanche photodiodes في أجهزة الاستقبال وكانت سعة هذا الخط ٢٤ مكالمة آنية وقد استخدم تشكيل الرمز النبضي Pulse code modulation في هذا الخط وقد شاع استخدامها لهذا الغرف من قبل شركات التصالات في انحاء العالم وعلى سبيل المثال لا حصر فقد تم في المملكة العربية السعودية تركيب ١٠,٠٠٠ كيلومتر من الكابلات البصرية لصالح شركة الاتصالات السعودية وكمثال آخر نجد أن أطوال الكابلات البصرية في الصين تبلغ ١٧٣٠٠٠كليومتر وطول الألياف البصرية يتعدي مليون كيلومتر خاصة إذا ما علمنا أن معدل الزيادة السنوية في عدد الهواتف تصل الى ٤٠ مليون خط حتى عام ٢٠٢٠ ليصل المجموع الكلي للهواتف الى ١٠٠٠مليون خط والولا وجود السعة الكافية للألياف وإمكانية توسيعها مستقبلا لما أمكن إنجاز ذلك . (١٢)

ويتكون نظام الإتصالات الضوئية كما هو موضح في الشكل ١,١ من خمس أجزاء أساسية والتي تنقل المعلومات من نقطة إلى أخرى، ويمكن شرحها على النحو التالي:

١) جهاز الإرسال الكهربائي Transmitter Electrical :

يقوم مصدر المعلومات بتزويد إشارة كهربائية إلى جهاز الإرسال المتكون من دوائر كهربائية تعمل على حث المصدر الضوئي لتوليد التضمين المناسب لحامل الموجة الضوئية.

٢) المصدر الضوئي Optical Source :

يستلم المصدر الضوئي الإشارة الكهربائية من جهاز الإرسال ويقوم بتحويلها إلى إشارة ضوئية.

٣) الليف الضوئي Optical Fiber :

يربط المصدر الضوئي مباشرة مع الليف الضوئي ومن ثم تنتقل الإشارة الضوئية موجهة على طول الليف الضوئي حتى يتم إيصال الضوء إلى الكاشف الضوئي.

٤) الكاشف الضوئي Optical Detector :

يسقط الضوء المستقبل من الليف الضوئي على سطح الكاشف الضوئي ليقوم بتحويله إلى الإشارة الكهربائية المناسبة.

٥) جهاز الإستقبال الكهربائي Electrical Receiver:

يتكون جهاز الإستقبال الكهربائي من دوائر تعمل على تكبير ومعالجة الإشارة المستلمة.النطاق الترددي لنظام اتصالات الألياف الضوئية والذي يحدد القيمة العظمى لمعدل نقل البيانات؛ يعتمد على خصائص المكونات الرئيسية في النظام. لذا يجب أن يكون كلا من المصدر الضوئي عند الطرف المرسل والكاشف الضوئي عند الطرف المستقبل متوافقة مع معدل نقل البيانات لنظام الاتصالات. كما يجب أن تكون لكل من الدوائر الكهربائية التي تزود الكاشف الضوئي، والدوائر الكهربائية التي تقوم بتكبير ومعالجة الإشارة المستلمة إستجابة مناسبة للترددات العالية. وكذلك يجب أن يكون الليف الضوئي المستخدم في نقل البيانات محافظا على شكل النبضات الضوئية ذات التردد العالي(١٣)

٣-٢ الاتصالات التلفزيونية

بدأ اول استخدام الألياف البصرية بربط الكاميرات التلفزيونية بسيارات النقل التلفزيوني وفي الدوائر المغلقة ثم استخدمت في ايصال الخدمات التلفزيونية للمنازل وقد استخدمت لنقل قناة واحدة فقط وتستخدم الأن لنقل عشرات القنوات التلفزيونية والفيديو ضمن الكابل التلفزيوني (Cable television CATV) وتراهن إحدى الشركات الامريكية على انفاق ١١٦ بليون دولارلتركيب خطوط كابلات تلفزيونية تصل للمنازل مما يعطي المشتركين نطاقا واسعاً للتطبيقات المختلفة ولايقتصر استخدامها على النقل التلفزيوني فحسب بل يستخدم للدوائر المغلقة والانظمة الأمنية والنقل التلفزيوني عالي الوضوح .

٣-٣ محطات القوى Power Stations

نظراً لعدم تأثر الألياف البصرية بالداخل أو الحدث الناتج عن الموالدات الكهربائية أو خطوط الضغط العالي فقد تم تركيب الألياف البصرية في محطات القوى الكهربائية لنقل المكالمات الهاتفية ونقل المعلومات ، كما تم تركيبها جنبا الى جنب مع الخطوط الضغط العالي لنقل المعطيات Data transmission والسيطرة control .

٣-٤ الشبكات المحلية Local Area Networks

يطلق هذا الاسم على شبكات الاتصالات المستخدمة لتبادل المعلومات بين الحسابات والمستخدمين وهذه الشبكات تكون في نطاق جغرافي محدود كمكاتب الشركات أو الجامعات أو المستشفيات أو غيرها ومجالاتها ما بين ١٠٠ متر الى ١٠كم وسعة نطاقها فوق المليون وحدة ثنائية / ثانية وهناك عدة تكوينات لهذه الشبكات تذكر منها الشبكة الحقية والنجمية وغيرها (١٤).

(٣ – ٥) استخدام الألياف البصرية في شبكات الحواسيب:

تعتبر كابلات الألياف الضوئية الآن الوسيلة الرئيسية لحمل المعلومات عبر مسافات طويلة لامتيازها عن الكابلات النحاسية ذات الطراز القديم بـ:

- فقدان إشارة أقل

- عدم تداخل الإشارات المرسلة (التداخل الكهرومغناطيسي) في الألياف المتجاورة
- عرض نطاق ترددي أعلى

أنت تقرأ هذه الكلمات الآن بفضل شبكة الإنترنت. في الواقع، إذا كنت تستخدم الألياف الضوئية السريعة عريضة النطاق، فإن كابلات الألياف الضوئية تقوم بكل العمل تقريباً في كل مرة تتصل بالإنترنت.

في معظم الاتصالات عريضة النطاق عالية السرعة، ينطوي فقط الجزء الأخير من رحلة المعلومات (في ما يسمى "الميل الأخير" وهو من الكابينة الموصولة بالألياف في الشارع إلى منزلك) على أسلاك قديمة. إنها كابلات الألياف الضوئية، وليست الأسلاك النحاسية، التي تحمل الآن "الإعجاب" و "التغريد" ممتدة تحت شوارعنا، وفي أعماق المحيطات التي تربط بين القارات. إذا تصورت الإنترنت (الشبكة العالمية) كما لو أنها شبكة العنكبوت العالمية، فإن الحبال التي تربطها معاً هي كابلات الألياف الضوئية. وفقاً لبعض التقديرات، فإن كابلات الألياف الضوئية تغطي أكثر من**٩٩** في المئة من إجمالي عدد الكيلومترات التي يغطيها الإنترنت، وتحمل أكثر من **٩٩** في المئة من مجمل حركة الاتصالات الدولية.

جعلت شبكة الانترنت عريضة النطاق ظاهرة الحوسبة السحابية **cloud computing** –حيث يخزن الناس ويقومون بمعالجة بياناتهم الخاصة عن بعد، وذلك باستخدام خدمات الإنترنت بدلاً من كمبيوتر المنزل أو العمل في أماكن عملهم أو إقامتهم– أمراً ممكناً. وبنفس الطريقة، جعل التطبيق المستمر للنطاق العريض من الألياف (أسرع بحوالي **٥–١٠**مرات من النطاق العريض **DSL** التقليدي، والذي يستخدم خطوط الهاتف العادية) أموراً مثل مشاهدة الأفلام عبر الإنترنت بدلاً من مشاهدة البث التلفزيوني أو تأجير أقراص الفيديو الرقمية أكثر شيوعاً. ومع ازدياد سعة وسرعة الألياف، سيكون بمقدورنا تتبع ومراقبة العديد من جوانب حياتنا باستخدام الإنترنت فيما يسمى إنترنت الأشياء **Internet of things**.

تم تصميم الإنترنت بذكاء لنقل أي نوع من المعلومات، فهو لا يقتصر على حمل بيانات الكمبيوتر، ففي حين حملت خطوط الهاتف سابقاً الإنترنت، يحمل إنترنت الألياف الضوئية مكالمات الهاتف (سكايب) بدلاً من ذلك(١٥،١٦)

(٣-٥) الاستخدامات العسكرية

بدأ أول الاستخدامات العسكرية للألياف البصرية في السفن والطائرات الحربية نظراً للميزات التي ذكرناها وبصفة خاصة قلة الوزن والحجم ثم تلاذلك استخدامها في ميادين المعارك حيث أن خفة الوزن وصغر الحجم وسهولة النقل ، أمور هامة في مثل هذا الوضع ، كما تم استخدامها في الخطوط الأمامية في جبهات القتال .

٣-٦ نقل المعطيات Data transmission

ادى الطلب المتزايد على خطوط نقل ذات سعات عالية وبصفة خاصة ما يتعلق بتطبيقات الانترنت الى تساع الأبحاث في مجال الألياف البصرية المواكبة هذا الطلب . إذايزداد الطلب في مجال المعطيات ضعفين سنويا عما هو عليه النمو اليوم وسيتعدى الطلب على نقل الصوت في بداية القرن القادم كما هو موضح بالشكل (٣) بالنسبة لليابان (٧) . في لولايات المتحدة الامريكية على الجانب الآخر نرى أن الطلب على الإنترنت يتضاعف كل ستة شهور لتصل سعة النقل اللازمة عام ٢٠٠٥م الى ٢٨٠ تيرابت لكل ثانية (٨) . وتهدف كثير من الأبحاث الحالية الى الوصول الى عرض النطاق النظري لليف أحادي النمط البالغ ٥٠تيراهرتز . وقد تم بالفعل الحصول على سعة نقل قدرها ٢,٦٤ تيرابت كل ثانية لمسافة ١٢٠كيلومتر مستخدمين ليف أحادي النمط (٩).

٣-٧ الكابلات المغمورة (١٠) Undersea Cables

تعاونت كثير من الدول والشركات على إبرام اتفاقيات تم بموجبها ربط عدة دول مع بعضها بواسطة الكابلات البصرية ولعل أولها كان TAT8 الذي يربط الولايات المتحدة الامريكية بأوروبا تلاه خطوط أخرى كان آخرها TAT-12/13 بطول يبلغ ٥٩١٣ كيلومتر وبسعة قدرها ٥ جيجابت لكل ثانية يمكن زيادتها الى ٢٠ جيجابت لكل ثانية أو أكثر وذلك لمقابلة الطلب حتى عام ٢٠٠٦م .

كما أن هناك خطوط مغمورة أخرى تربط الولايات الامريكية المتحدة باليابان وأخرى تربط اوروبا بأسيا عن طريق الشرق الاوسط مثل FLAG الذي يبلغ طوله ٢٧٠٠٠ كيلومتر وخط أخر

يدعى SEA-ME-WE3 بسعة ١٠ جيجابت لكل ثانية وتربط الدول الاسيوية بخط طوله ١١٥٠٠كم وأحدث خط يلتف حول القارة الافريقية يدعى ARFICA ONE يستخدم احدث التقنيات المتاحة وبسعة تصل الى ٤٠ جيجابت لكل ثانيةة :

(٣ –٨) تطبيقات عملية على استخدامات الالياف الضوئية

بعيدا عن مجال الاتصالات ظهرت هناك استخدامات أخرى عديدة و مهمة لهذه الألياف فمثلا نتيجة لمرونتها و دقتها دخلت في صناعة الكاميرات الرقمية المتعددة المستخدمة في التصوير الطبي مثل التصوير الشعبي و المناظير. كما دخلت في تصنيع الكاميرات المستخدمة في التصوير الميكانيكي لفحص اللحام و الوصلات في الأنابيب و المولدات. و لفحص أنابيب المجاري الطويلة من الداخل.

استخدمت الألياف الضوئية أيضا كمجسات لتحديد التغير في درجات الحرارة و الضغط strain حيث تفضل على المجسات العادية لصغر حجمها و حساسيتها للتغيرات الصغيرة و دقة أدائها. احد التطبيقات المهمة لها كمجسات لقياس strain يكون بإدخالها في صناعة جدار بعض الطائرات مما يمنح الطائرة جدار مميز يحذر الطيار من الضغط الواقع على أجنحة أو جسم الطائرة

رغم إن استخدام الألياف الضوئية لنقل المعلومات عبر المسافات الطويلة استحوذ على معظم الاهتمام إلا أنها تستخدم لنقل المعلومات عبر المسافات القصيرة أيضا حيث تصل بين الكمبيوتر الرئيسي و الكمبيوترات الجانبية أو الطابعة.

ولقد لاقت تطبيقات الألياف الضوئية فى مجال الطب نجاحا منقطع النظير وعلى سبيل المثال فى مجال المناظير التى تستخدم فى التشخيص لأمراض الرئة والمعدة والأمعاء وغيرها و كذلك فى مجال الجراحة لمعظم أعضاء الجسم و التى أصبحت تتم بفتحات صغيرة للغاية . وهناك مجالات كثيرة أخرى تستخدم فيها الألياف الضوئية علمية كانت أو تطبيقية .

وقد استخدمت تقنية الألياف البصرية في التعرف على قياس الحرارة والضغط بشكل دائم في حقول النفط، والتعرف على المنتجات النفطية عبر التقاط الاختلاف في اللون بين كل مادة تمر في الأنابيب

وفي مجال الطيران أثبتت الدراسات أن استخدام الألياف البصرية يؤدي إلى تقليل وزن أنظمة المراقبة في الطائرات بنسبة ٣٠ –٤٠ في المئة، وأنه يمكن وضع هذه الألياف بسهولة في المحركات وأجهزة الهبوط وأجهزة التحكم في الطيران.

كما استخدمت الألياف الضوئية بكثافة في الاتصالات بين أسلحة القوات المسلحة، وفي الغواصات، وغير ذلك كثير من مناحي الحياة ولا شك أن التطورات الحالية في استعمال الألياف البصرية سوف تزيد من استعمالاتها في شبكة الاتصالات العالمية.

(٣ – ٩) تقنيات مستقبلية واعدة

عندما يتم نقل الإشارات الضوئية إلى مسافات بعيدة جدا فإن نبضات الإشارة الضوئية تتوسع نتيجة تشتت الضوء لذلك فقد بدأت العديد من الشركات المتخصصة بحوث لتحقيق طريقة تحفظ شكل النبضات الضوئية وهو ما أطلق عليه اسم سوليتون Solitons. إن تفسير ذلك معقد بعض الشيء لكننا يمكن أن نعطي تفسير مبسط لها وهو أن مصدرالضوء يبعث عدة أطوال موجيه من الضوء تنتقل بسرعة مختلفة عبر الكابل البصري وهو ما يسبب هذه الظاهرة وكل ماهو مطلوب هو الحصول على خواص في مادة الكابل ومضخماته تلغي ذلك السلوك. ولتحقيق ذلك هناك حاجة لجعل قمة في النبضة المرسلة وشكل للنبضة ويكون هذا النظام عاملا لنبضات ذات طاقة وطول موجه ثابتين. وبما أن هذه الإشارات عند إرسالها بواسطة كابل من هذا النوع يمكن تجميعها عبر تقنية التقسيم الزمني متعدد الوصول ؛تشترك مع أخرى بنفس طول الموجه« فإن ذلك سيؤدي إلى زيادة سعة الإرسال وقد أجرى باحثو مختبرات ؛بل« للهاتف تجارب على كابلات الإتصال بالألياف كهذه بطول ٩٠٠٠ كيلو متر وبمعدل معلومات ٢,٥جيجابت و ٣٢جيجابت لكابل طول ٩٠كيلو مترا بنجاح لكن عملية تطبيق هذه التقنيات تحتاج مزيدا من البحوث والتجارب وبناء على مايجري من ابحاث في هذا المجال فإن هذه التطورات ستشمل المجالات التالية :

١. الارسال المتماسك .
٢. التبديل الفوتوني .

٣. ليزرات أحادية الطول الموجي وممكن مواءمتها .

٤. دوائر البصريات المتكاملة .

٥. انتشار النبضات الطبيعية .

٦. ألياف الهالايد . (١٢)