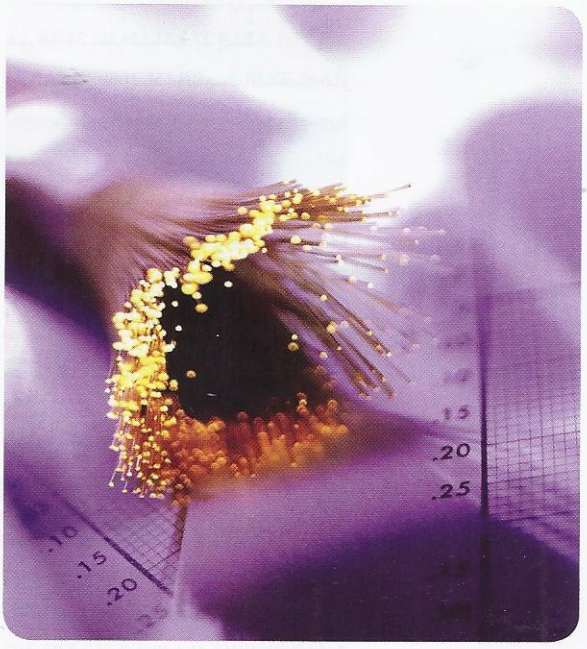
الألياف البصرية



تعتبر الألياف البصرية العمود الفقري للاتصالات السلكية، والتي ازداد الاهتمام بها في العقود الثلاثة الماضية، وهذا الاهتمام سببه كثره المستخدمين والنهم المتزايد لنقل أكبر كمية من المعلومات بأقل ثمن ممكن. تقوم تلك الألياف بنقل الصوت والصورة والبيانات بأنواعها المختلفة، ولانتشار الانترنت أثر كبير في تطويرها. ولعل المحفز للاهتمام بالألياف البصرية كما نراها في وقتنا الحاضر هو اختراع الليزر عام ١٩٦٠ مما شجع الباحثين للتفكير في كيفية استخدامه. وكانت أول ورقة نشرت في هذا المجال عام ١٩٦٦، وهي العامل المهم في تصنيع أول ليف بصري عملي والذي تم تصنيعة من قبل شركة كورننج للزجاج(Corning Glass) عام ١٩٧٠ مما حفز كثيراً من الباحثين تحويل هذا الاكتشاف ليكون القناة الأساسية للاتصالات، وتبدأ حقبة جديدة سميت باتصالات الألياف البصرية. وسنطرح في هذا المقال نبذة تاريخية عن الألياف البصرية، ثم نعرج على تركيبة الألياف البصرية وأنواعها، مزاياها واستعمالاتها، ونبذة موجزة عن كابلاتها.(١). ونختتم المقالة بملحق يحتوي على جداول للوحدات المستخدمة والمراجع.

١. نبذه تاريخية :

أدى اختراع الليزر عام ١٩٦٠ إلى فتح آفاق متعددة في كافة المجالات، وقد سميت الليزر بالحل الذي يبحث عن مشاكل، ولعل أحد المجالات التي كانت تواجه مشاكل هو مجال الاتصالات نظراً لمحدودية الأسلاك المجدولة والمحورية للاستجابة لطالبي الخدمة، ولعل الورقة التي نشرت عام ١٩٦٦ من قبل عالمين هما تشارلز كاو وجورج هوكام (٢)، واللذان كانا يعملان في مختبرات الاتصالات البعيدة Standard Telecommunication Laboratories (STL) في بريطانيا، قصب السبق في فتح مجال إتصالات الألياف البصرية إذ اقترحا في هذه الورقة إمكانية تصنيع ألياف بصرية

أ.د. محمد بن عبدالرحمن الحيدر
مستشار أكاديمي أول
جامعة الفيصل - الرياض

من زجاج عالي النقاوة من مادة السليكا (SiO_2)، بعدها توجه فريق من مكتب البريد البريطاني إلى شركة كورنج للزجاج في أمريكا لتصنيع زجاج بنقاوة عالية جداً كي يستخدم في مجال الاتصالات البصرية لأن الزجاج العادي لا يصلح نظراً لاحتوائه على شوائب تمتص الشعاع المار من خلاله، لذا كان فقده عالياً جداً، وقد تم بالفعل تصنيع ليف بصري أدى إلى تحسين شفافية الزجاج ١٠٩٨ مرة، وكان ذلك عام ١٩٧٠ مما فتح المجال للاتصال عبر الألياف البصرية. وقد توالت الأبحاث للإقلال من الفقد في القدرة البصرية أو الضوئية المارة بالليف البصري حتى تم الحصول على أعلى شفافية ممكنة، وهو أقل فقد نظري في القدرة الضوئية وهو ٠,١٦ Decidel عند الطول الموجي ١٥٥٠nm. كما تم استخدام طرق متعددة لنقل أكبر كمية من المعطيات والتي يطلق عليها سرعة نقل المعطيات (Data rate) ويعبر عنها بالجيجابايت لكل ثانية Giga bits per second (Gb/s) أو

بالتيرابايت لكل ثانية (Tera (Tb/s bits per second . وقد توصلت إحدى الشركات اليابانية إلى إرسال معطيات بسرعة 1 Peta bits per second لليف بصري واحد وقدمت مختبرات بل في أمريكا ورقة علمية تفيد بنقل ما يعادل ٤٠٠ DVD لكل ثانية لمسافة ٧٠٠٠ km بكيبل بصري واحد.

وأول شبكة ألياف بصرية أنشئت لنقل المكالمات الهاتفية كانت عام ١٩٧٧ في ولاية كاليفورنيا بأمريكا، وقامت بنقل ٢٤ مكالمة هاتفية آنية لكل ليف بصري، وفي عام ١٩٧٨ تم تركيب ألياف بصرية في بريطانيا لتقديم الخدمة الهاتفية لألف مشترك. ولتقريب الصورة للقارئ فإن إرسال معطيات (Data) بسرعة 100Gb/s تعني إمكانية نقل أكثر من مليون ونصف المليون مكالمة هاتفية أو نقل أكثر من ألفي قناة تلفزيونية في آن واحد. ولابد من الإشارة هنا إلى عدم الخلط بين سرعة نقل المعطيات وسرعة الشعاع أو الضوء المار بالليف البصري، إذ أن سرعة الضوء في داخل الليف البصري المصنوع من الزجاج هي ٢٠٠٠٠٠ km/s.

٢. الألياف البصرية وأنواعها:

٣-١ تركيبة الليف البصري:

يمتاز الليف البصري المستخدم في مجال الاتصالات بأنه مرن وشفاف ومن زجاج عالي النقاوة ومصنع من مادة السليكا (SiO2) وأسمك قليلاً من شعرة الإنسان، ويتكون من جزئين أساسيين هما لب شفاف (Transparent Core) محاط بكساء شفاف (Transparent Cladding)، كما هو موضح في المقطع الجانبي في الشكل (١)

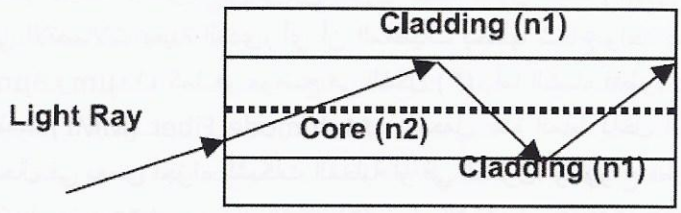
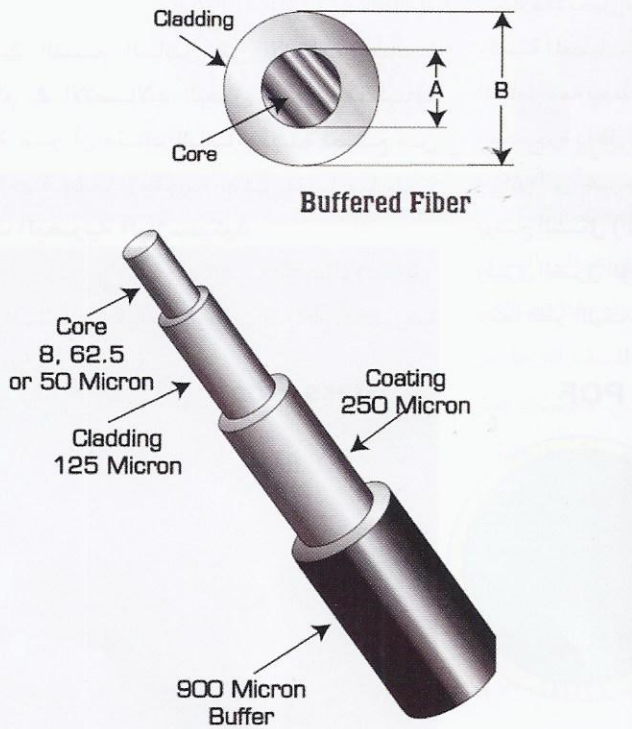


Figure 1: Light launched into the fiber core

الشكل (١) مقطع جانبي لليف بصري

ولكي ينحصر الشعاع داخل اللب لابد أن يدخل بزاوية معينة، وأن يكون معامل انكسار اللب n2 أكبر من معامل انكسار الكساء n1 لكي نحصل على الانعكاس الداخلي الكلي (Total Internal Reflection TIR). للكساء وظيفتين أحدهما هي حماية اللب إلى حد ما من المؤثرات الخارجية كالخدش والثني والتلوث، أما الوظيفة الأخرى فهو يشكل مساراً لبعض الشعاع الذي يسير فيه. لذا لابد أن يكون نقياً كنقاوة اللب. ونظراً لرقة الليف البصري لابد من وضع طبقة حماية أخرى تضمن عدم تأثره بالعوامل الخارجية كما هو موضح بالشكل (٢).



الشكل (٢) ليف بصري بطبقات حماية متعددة

تقسم الألياف البصرية إلى نوعين، الأول الليف أحادي النمط Single Mode Fiber (SMF)، وهو المستعمل في الاتصالات بعيدة المدى، أي أن المعطيات يحملها شعاع واحد يسير وسط اللب، ويتراوح قطر اللب بين ٨µm و١٠µm، كما هو موضح في الشكل (٣)، أما الكساء فقطره ١٢٥µm، والنوع الآخر هو الليف متعدد النمط Multimode Fiber (MMF) ، ويحمل عدة أنماط داخل اللب ويستخدم للمسافات القصيرة كما هو الحال في بعض أجزاء الشبكات المحلية أو في المنازل، ويتروح قطر اللب بين ٥٠µm و٦٢.٥µm ، وقطر الكساء ١٢٥µm، ويوضح الشكل (٣) مسار الشعاع في MMF وSMF .

والمقاسات المذكورة آنفاً هي للألياف الزجاجية المصنوعة من السليكا والتي أصبحت قياسية؛ ففي الليف متعدد النمط (MMF) يكون قطر اللب في أوروبا ٥٠µm وفي أمريكا ٦٢.٥µm وفي أحادي النمط يتروح القطر بين ٨µm و ١٠µm ، أما قطر الكساء فهو ١٢٥µm لكلا النوعين.

(أ) (ب)

الشكل (٣) مسار الشعاع في الليف البصري
(أ) ليف متعدد النمط (ب) ليف أحادي النمط.

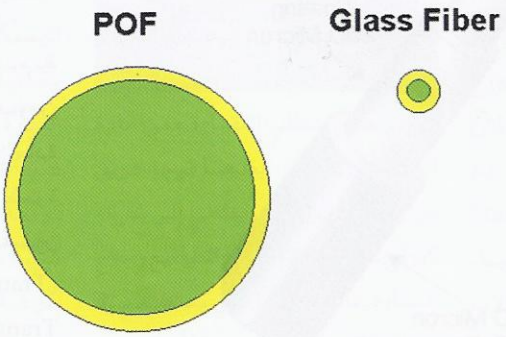
(ب)

٢-٣أنواع الألياف البصرية
Types of Optical Fiber

تطرقنا في القسم السابق إلى الألياف الشائعة الاستخدام في الاتصالات البصرية، وهي الألياف الزجاجية غير أن هناك أليافاً عديدة تصنع من مواد زجاجية وغير زجاجية نذكر منها ما يلي:

أ-الألياف البصرية البلاستيكية
(POF) Plastic Optical Fiber

تصنع الألياف البلاستيكية من البوليمرات (Acrylic)، وكما هو الحال مع الليف الزجاجي فهي تحتوي على لب وكساء لكن إنجازها لا يصل إلى الليف الزجاجي من حيث فقد قدرة الشعاع وكمية المعطيات المنقولة، لكن متانته ورخص ثمنه وسهولة التعامل معه يجعله صالحاً لبعض الاستخدامات كالمسافات القصيرة داخل البيوت والمصانع، وكذلك لنقل الضوء من مكان إلى آخر باستخدام المنابع الباعثة للضوء (LEDs). يوضح الشكل (٤) مقطعين لليف زجاجي وليف بلاستيكي، ونرى الفرق الواضح بينهما أي أن قطر الليف ١٢٥m ، بينما قطر الليف البلاستيكي يبلغ ١mm أو ١٠٠٠m.



الشكل (٤) مقارنة بين مقطع ليف زجاجي وليف بلاستيكي POF

ب- ليف زجاجي بكساء بلاستيكي
Plastic Clad Silica Fiber (PCS)

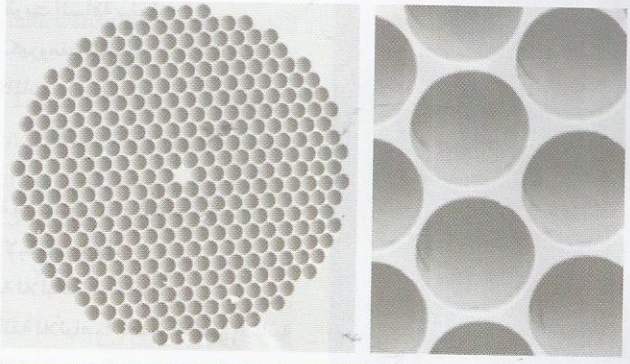
هو أحد الألياف البصرية متعددة النمط، ويصنع اللب من السليكا (الزجاج) والكساء من البوليمر، ويمتاز بكبر قطر اللب غير أن المعطيات المنقولة من خلاله قليلة ولمسافات محدودة، مقارنة بالليف الزجاجي، ويستخدم في المصانع وفي المناظير الطبية والمجسات.

ج- ليف بكساء الهالايد
Halide Cladding Fiber (HCF)

يتكون الليف من بلورات هالايد الفضة وهو أحادي النمط، ويعمل في الأشعة تحت الحمراء ذات الأطوال الموجية الواقعة بين ٢m و ٣٠m، ويمتاز بشفافيته ومرونته وعدم سميته، ويستخدم في قياس الإشعاع و التحليل الطبقي.

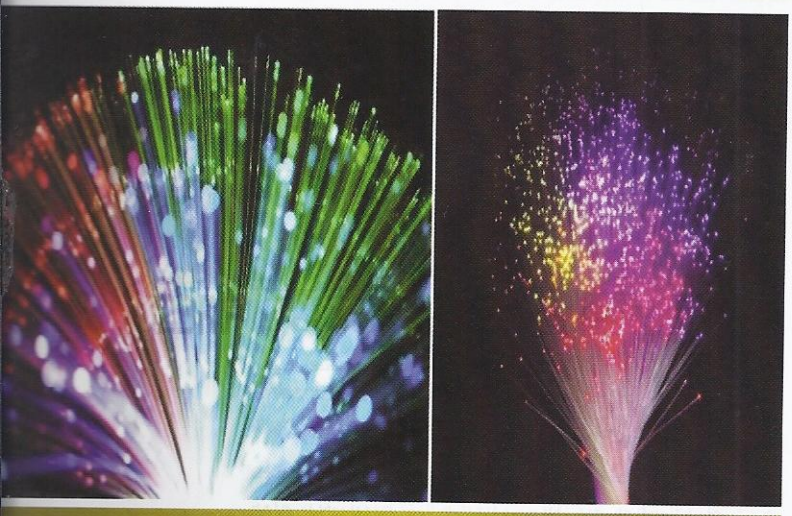
د- الليف البللوري الفوتوني
Photonic- crystal Fiber

لهذا النوع من الليف خصائص البلورات الفوتونية التي لديها القدرة على حصر الضوء في لب مجوف HollowCore وله أنواع عديدة، وقد تم استخدامه في نظم اتصالات الألياف البصرية والمجسات والليزر الليفي Fiber Laser وغيرها. يصنع هذا الليف من مادة السليكا كما هو الحال في الليف الزجاجي، وأول نوع تم تصنيعة عام ١٩٩٦، والشكل (٥) يبين صورة مقطعية له التقطت بميكروسكوب إلكتروني ويقاس الشعاع هنا بتعديل بنية الليف البصري، وليس باختلاف معاملات الانكسار كما هو الحال في الألياف البصرية المذكورة في البند (٣-١).



الشكل (٥) مقطع لليف بللوري فوتوني

مما سبق يتضح أن الليف البصري عالي النقاوة والمصنوع من مادة السليكا هو أفضل نوع للاتصالات الليفية البصرية، وبصفة خاصة الليف الزجاجي أحادي النمط لقدرته الهائلة في نقل المعطيات عبر مسافات طويلة، وليس كل الألياف البصرية زجاجية أو ضوئية كما يحلو للبعض تسميتها إذ أن الألياف البصرية المستخدمة في الاتصالات تستخدم الأشعة تحت الحمراء وبالذات الطولين الموجبين ١٣١٠nm و ١٥٥٠nm. وهناك أنواع أخرى لنقل الضوء المرئي الذي يبدأ باللون البنفسجي (٤٠٠nm) واللون الأحمر (٧٠٠nm). ويصح إطلاق اسم الألياف الضوئية عليها، كما نرى في الشكل (٦)، وغالباً ما تصنع من مواد بلاستيكية.



الشكل (٦) حزم ألياف ضوئية تستخدم للزينة

٣. ميزات الألياف البصرية
Advantages of Optical Fibers

قبل أن نتطرق إلى ميزات الألياف البصرية لابد من الإشارة إلى أن هناك قيوداً اقتصادية وتقنية لابد من اعتبارها قبل اختيار نظام الليف البصري، ولابد من دراسة أنظمة الاتصالات السلكية واللاسلكية ومقارنة مزايا ومساوئ كل نظام من الأنظمة، ولم يأتي اختيار الألياف البصرية عبثاً بل هناك أسباب كثيرة لهذا الاختيار. وسنتطرق في هذا البند إلى هذه الميزات، ولابد من الإشارة أنه كانت هناك مساوئ للألياف البصرية في بداية استخدامها كارتفاع تكلفة الموصل البصري، وكبر فقده، وصعوبة توصيل الألياف ببعضها وبالمنابع والكواشف الضوئية مقارنة بالأنظمة السلكية الأخرى. ولكن هذه المساوئ قد تم تداركها ولا تقلل من أهمية الألياف البصرية للاتصالات للميزات الكثيرة التي سنذكرها وهي:

١. عرض نطاقها عال جداً.
٢. قطرها صغير ووزنها خفيف.
٣. لا يوجد تداخل بينها مهما قربت المسافة بينها.
٤. لا تتأثر بالحث أو التدخل الكهرومغناطيسي.
٥. انخفاض في سعر تكلفة المكالمات.
٦. أكثر أماناً وسلامة.
٧. حياتها طويلة.
٨. تتحمل درجات حرارة عالية ولا تتأثر بالمواد الكيميائية.
٩. سهولة الصيانة كما يمكن الاعتماد عليها.

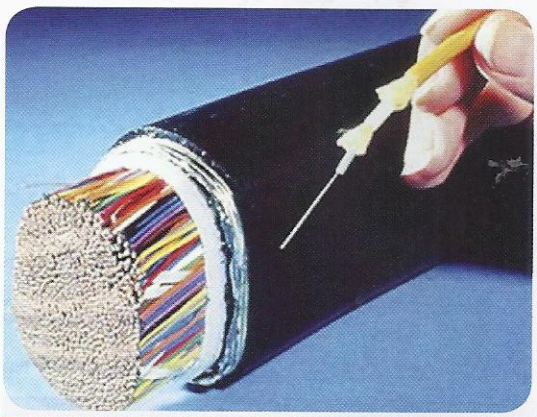
وسنشرح الآن الفوائد الرئيسية للألياف البصرية:

١. إن السعة الاستيعابية الفائقة للألياف البصرية تعني إمكانية نقل معطيات عالية جداً بواسطة ليفة بصرية واحدة، وقد تكون هذه المعطيات صوراً تلفزيونية أو مكالمات هاتفية أو معطيات للحواسيب أو مزيج منها.

لقد استخدمت تقنيات عديدة لزيادة سعة الألياف البصرية، ولعل من أحدثها عملياً تعدد الإرسال بتقسيم الطول الموجي المكثف (DWDM) Dense Wavelength Division Multiplexing. وقد استكملت شركة الاتصالات السعودية (STC) تشغيل شبكة DWDM بسعة تصل إلى ٨Tb/S، وتربط الشبكة جميع مناطق المملكة العربية السعودية بطول ١٢٠٠٠km، وهذا يعني أن الشبكة تستطيع استيعاب ١٢٥ مليون مكالمة هاتفية آنية، أو أكثر من ١٨٠ ألف قناة تلفزيونية آنية وخدمة ٤٠٠٠٠٠ مشترك بالإنترنت آنياً، بحيث يحصل كل مستخدم على سرعة (٢٠Mb/S) Mega bits per second ٢٠.

٢. قطرها صغير ووزنها خفيف، يبلغ سمك الليفة البصرية تقريباً سمك الشعرة. وعلى الرغم من أن هناك طبقات واقية توضع فوقها إلا أنها لاتزال أقل حجماً ووزناً من الأسلاك الهاتفية أو المحورية، ومثالاً على ذلك أن ليفاً بصرياً بقطر يبلغ ١٢٥m ضمن كابل يبلغ قطره ٦ ملم يمكن له أن يحل محل كابل هاتفي قطره ٨ سم ويحتوي على ٩٠٠ زوج من الخطوط السلكية النحاسية كما هو في الشكل (٧)، وهذا يعني أن الحجم قد انخفض بنسبة تزيد عن ١٠:١، وكمثال آخر على صغر حجم الكابلات البصرية فإن كابلات محورية بطول ٢٣٠ متراً وقطر ٤٦ سم وتزن ٧ طناً كانت تستخدم في نظام رادار متقدم على ظهر إحدى السفن تم استبدالها بكابلات بصرية تزن ١٨ كغم وقطرها ٢,٥ سم.

مما سبق يتضح لنا إمكانية إضافة كابلات بصرية في نفس مسارات الكابلات النحاسية والمحورية في شتى مجالات الاتصالات السلكية. ونظراً لهذه الميزة فقد تم استبدال الكابلات النحاسية في كثير من الطائرات والبواخر بألياف بصرية. وبسبب صغر الحجم وقلة الوزن فإن نقلها وتركيبها يتم بصورة أسهل وأسرع من الكابلات النحاسية وهذا يعني تكلفة أقل.



الشكل (٧) مقارنة بين ليف بصري وكابل نحاسي

٣. نلاحظ أحياناً عند إجراء محادثة هاتفية سماع أصوات محادثات هاتفية أخرى، وهو ما يطلق علية باللغط وهذا النوع من التداخل لا يحدث عند استخدام الألياف البصرية مهما قربت المسافة بينها.

٤. تتمتع الألياف البصرية لكونها مصنعة من مواد عازلة dielectrics بعدم تأثرها بالحث الكهرومغناطيسي الصادر من المصادر الكهرومغناطيسية الصناعية كالمحركات والمولدات والأجهزة الكهربائية المختلفة، أو الطبيعية كالبرق، وتلك الخاصية تغنينا عن وضع مواد عازلة لحمايتها من الحث induction والتداخل interference.

٥. تصنع معظم الألياف البصرية في وقتنا الحاضر من مادة السليكا الموجودة بكثرة في الرمل والتي يقل سعرها كثيراً عن معدن النحاس الذي بدأ ينفذ في أماكن كثيرة من العالم. ونظراً للميزات التي ذكرناها في البنود ١ و٢ أعلاه فإن ثمن نقل المعلومات بأنواعها المختلفة سيقل عن الأنظمة المختلفة الأخرى.

٦. نظراً لأن الشعاع أو الضوء هو الوسط الناقل للمعطيات في الألياف البصرية ولا يولّد هذا الشعاع أو الضوء أي مجال مغناطيسي خارج الكابل فإن من الصعوبة بمكان التجسس ومعرفة المعلومات التي يحويها الكابل البصري، كما أن من الصعوبة معرفة 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 الشعاع أو الضوء هو الناقل، ولايمكنه أن يحدث شرراً أو دائرة قصر لعدم وجود تيار كهربائي فيه، ولهذا السبب يمكن استخدام الألياف البصرية في المحلات الحاوية على غازات أو مواد قابلة للاحتراق ومستودعات المواد الخطرة، كما أن احتمال كهربة العاملين في الألياف البصرية غير وارد.

٧. يتوقع أن يكون عمر الألياف البصرية في حدود ٢٥ عاماً، مقارنة بخمسة عشر عاماً للنظم الأخرى، حيث أن المكونات الأساسية للألياف هي الزجاج والذي لا يصدأ، على عكس النظم الأخرى والتي تحوي على معادن تتعرض للصدأ.

٨. يمكن للزجاج أن يتعرض لدرجات حرارة متفاوتة من حيث الانخفاض والارتفاع، كما يمكن استخدامه في أجواء تحتوي على مواد كيميائية مختلفة دون أن يتعرض للتلف.

٩. أثبتت التجارب التي أجريت حديثاً إمكانية وضع المكررات repeaters على مسافة ١٠٠ كم بين مكرر وآخر، وهذا يقلل من عدد المكررات وبالتالي من صيانة النظام، كما يزيد من الاعتماد على النظام لقلة الأجهزة المستخدمة بينما المسافة بين المكررات في النظام الهاتفي المستخدم حالياً تتراوح بين ٤ إلى ٦ كم.

٤. استخدام الألياف البصرية
Applications of Optical Fibers

تعرضنا في القسم السابق إلى فوائد الألياف البصرية، ومما لاشك فيه أن كثيراً من الحقول في المجالات المدنية والعسكرية بدأت تستفيد من هذه الفوائد، ومن الصعب جداً التعرض لكل المجالات الممكن استخدام الألياف البصرية فيها. وسنقوم في هذا القسم بالتعرض لبعض الاستخدامات العامة، وأهم الاستخدامات للألياف البصرية هي:

أ- الاتصالات الهاتفية
Telephone Communications

لعبت الأسلاك المجدولة والكابلات المحورية دوراً كبيراً في العقود الماضية في مجال الاتصالات الهاتفية وبصفة خاصة بين البدالات exchanges، وحيث أن أحد الصفات الهامة هي سعة الألياف البصرية، فقد بدأت كثير من الشركات في بناء خطوط هاتفية جديدة وإحلال بعض الخطوط القديمة سواء كانت أسلاكاً مجدولة أو كابلات محورية بألياف بصرية.

ب- الاتصالات التلفزيونية
TV Communications

بدأ أول استخدام للألياف البصرية بربط الكاميرات التلفزيونية بسيارات النقل التلفزيوني وفي الدوائر المغلقة ثم استخدمت في إيصال الخدمات التلفزيونية للمنازل وقد استخدمت في البداية لنقل قناة واحدة فقط وتستخدم الآن لنقل عشرات القنوات التلفزيونية و الفيديو وقرص الفيديو الرقمي DVD وذلك ضمن نظام الكابل التلفزيوني Cable Television CATV الموجود في بعض الدول.

ج- محطات القوى
Power Stations

نظراً لعدم تأثر الألياف البصرية بالتداخل أو الحث الناتج عن المولدات الكهربائية أو خطوط الضغط العالي فقد تم تركيب الألياف البصرية في محطات القوى الكهربائية لنقل المكالمات الهاتفية ونقل المعلومات، كما تم تركيبها جنباً إلى جنب مع خطوط الضغط العالي لنقل المعطيات data transmission والسيطرة control.

د- الشبكات المحلية
Local Area Networks

يطلق هذا الأسم على شبكات الاتصالات المستخدمة لتبادل المعطيات بين الحاسبات والمستخدمين، وهذه الشبكات تكون في نطاق جغرافي محدود كمكاتب الشركات أو الجامعات أو المستشفيات أو غيرها، ومجالاتها تتراوح بين ١٠٠ متر إلى ١٠كم، وسعتها في حدود ١٠Gb/S وقد تزيد عن ذلك.

هـ- خدمات الإنترنت
Internet Services

لم يعد استخدام الإنترنت ترفاً بل أصبح ضرورة لا يستغنى عنها في حياتنا أفراداً وجماعات. وتستخدم لنقل الرسائل والفيديو والأفلام بسرعات عالية. وقد استخدمت كثير من شركات الاتصال أليافاً مظلمة Dark Fibers تحسباً لزيادة الطلب على المعطيات أو لتأجيرها لآخرين، ولعل ما قامت به شركة جوجل Google من إنشاء ليف بصري سمي بليف جوجل Google Fiber الذي يصل إلى المنازل والمنشآت بسرعة ١Gb/S، وهذا يعطي المستخدم الفرصة للحصول على إنترنت بنطاق عريض Broad Band Internet إضافة إلى قنوات تلفزيونية عالية الوضوح.

و- الاستخدامات العسكرية Military Application

بدأ أول الاستخدامات العسكرية للألياف البصرية في السفن والطائرات الحربية نظراً للميزات التي ذكرناها؛ وبصفة خاصة قلة الوزن والحجم. ثم تلا ذلك استخدامها في ميادين المعارك حيث خفة الوزن وصغر الحجم وسهولة النقل، وهي أمور هامة في مثل هذه الأوضاع، كما تم استخدامها في الخطوط الأمامية في