# الاتصالات البصرية

مختصر تاريخي: في عام 1885 قام ألكسندر غراهام بل بإرسال إشارة بصرية لـ 200 متر باستخدام حزمة من أشعة الشمس إشارة حاملة ومثلت هذه الحادثة أول تجربة للهاتف الضوئي كأساس للاتصالات البصرية التي نستخدمها الآن ولم يصل الهاتف البصري إلى المستوى التجاري بسبب عدم توافر مصدر معول عليه للضوء ووسط ذي فقد منخفض للإرسال.

وبفضل تطوير الليزر مصدراً للضوء والألياف البصرية وسطاً للنقل ظهرت الاتصالات البصرية في نهاية السبعينيات بوصفها ابتكاراً في مجال الاتصالات.

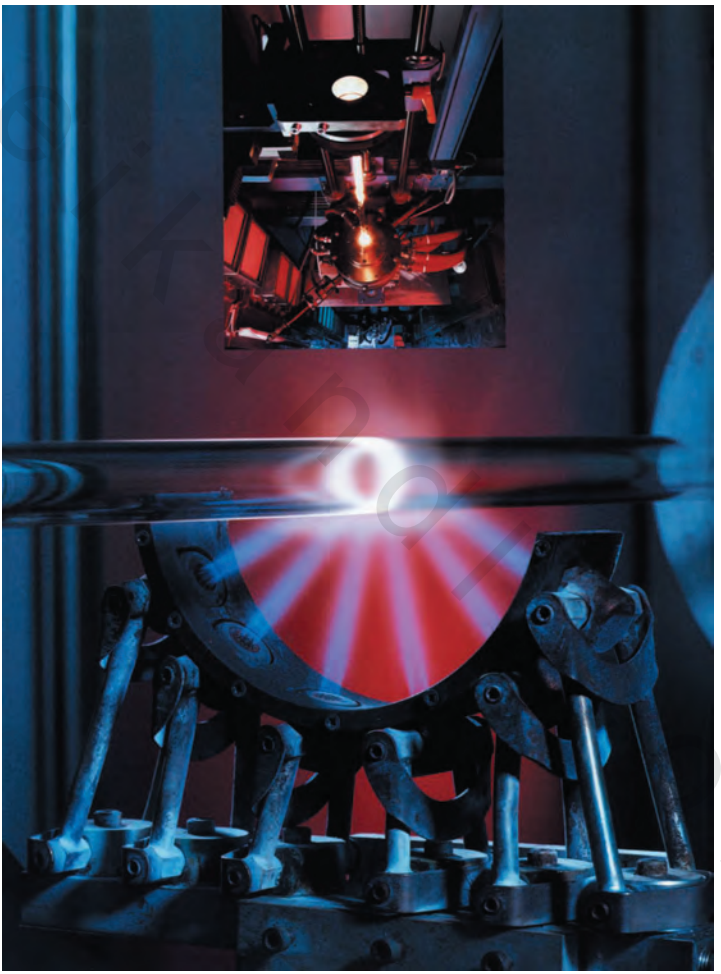
ولم تَخْلُ السنوات الأولى من القرن العشرين من تجارب لاستخدام الضوء في الاتصالات ففي عام 1910م جُربت اسطوانة فارغة مطلية من الداخل بمادة عاكسة قادرة على توجيه مدى واسع من الموجات الكهرومغناطيسية من ضمنها الضوء المرئي لكن هذه الآلات كانت تواجه فقداً كبيراً عند الحاجة لتغيير الاتجاه مما جعل استخدامها غير عملي.

وفي الثلاثينيات الميلادية أجريت تجارب أخرى عن موجهات الضوء Light Guide وهذه المرة كانت مكونة من خُييط من الليف



obeikandl.com

الزجاجي محفوظ في حزمة وبحلول الخمسينيات استخدمت حزمة الألياف الزجاجية هذه كممرات للضوء في قارئ البطاقات المثقبة في أجهزة الحاسب الكبيرة الأولى.



**الشكل (21-1) عملية تصنيع الألياف البصرية**

أما تطوير الألياف البصرية للاتصالات فلم يبدأ إلا في منتصف الستينيات الميلادية عندما نشر الدكتور س. ك. كاو من شركة (ITT إنجلترا) بحثاً عام 1966 م أشار فيه إلى أن ليف الزجاج النقي قادر على توجيه الضوء بفقد قليل جداً.

وفي عام 1970 م تمكن مصنع كورنغ Coring للزجاج في الولايات المتحدة من إنتاج ليف زجاج نقي قادر على الاستخدام في الاتصالات باستخدام وسائل مبتكرة في تنقية الزجاج حيث يتم تبخير الزجاج وترسيبه في اسطوانة من الكوارتز ومن ثم سحبه بوصفه ليفاً زجاجياً.

أما تقنية العنصرين الآخرين للاتصالات بالألياف البصرية وهما المرسلة (باعث أو مصدر الضوء ) والمستقبل (كاشف الضوء) فقد تم تطويرهما بصورة مستقلة في الستينيات.

ففي عام 1960 م ظهر مصدر مرشح لخدمة الاتصالات البصرية هو ليزر الياقوت Ruby Laser وتلاه ابتكار الليزر الغازي عام 1961 م والذي يستطيع توليد حزمة مستمرة من الضوء وفي عام 1962 م وبتطور إلكترونيات أشباه الموصلات طُور الثنائي باعث الليزر وكان صغيراً جداً بحجم حبة الرمل ويستطيع تحويل إشارة كهربائية إلى ضوئية بالإضافة إلى إمكانية أن تكون الإشارة الكهربائية مضمنة Modulated بسرعة عالية جداً.

ولم يكن الليزر المصدر الوحيد للضوء في الاتصالات البصرية فالثنائي الباعث للضوء Light Emitting Diode (LED) يمكنه تحويل

الإشارة الكهربائية إلى طاقة ضوئية مع كون الضوء الصادر منه ليس بمستوى طاقة الليزر.

أما العنصر النهائي فهو الكاشف Detector وهو منتج من منتجات صناعة أشباه الموصلات السليكونية فالثنائي الضوئي تم تطويره في الستينيات لكشف الإشارة الضوئية وتحويلها مرةً أخرى إلى إشارة كهربائية.

وبجمع هاتين التقنيتين: تقنية أشباه الموصلات، وتقنية توجيه الموجة البصرية أنتجت نظام إرسال ذا مزايا وفوائد غير مسبوقة مقارنةً باستخدام أزواج الأسلاك النحاسية مما أنشأ نظام الاتصالات البصرية.

وفي نهاية السبعينيات الميلادية بدأ العديد من الشركات في أمريكا وكندا تجارب لاستخدام أنظمة اتصالات بالألياف البصرية وأحد هذه المشروعات مشروع بدأ الخدمة في مارس 1979 م من شركة هاتف كولومبيا البريطانية في كندا وكان بطول 7.4 كيلو مترات وينقل بيانات بسرعة 45 ميغابت/ ثانية وكان أطول ربط للألياف البصرية ولم يستخدم مكرر إشارة فيه.

هذه التجارب أوضحت الإمكانية العملية والتقنية لأنظمة الموجات البصرية في شبكات الاتصالات.

أول الأنظمة العملية بدأت في عام 1981 م هذه الأنظمة صممت للعمل داخل المكاتب لربط أنظمة المايكروويف إلى المقاسم الهاتفية



obeikandl.com

وفي عام 1983م بدأ جيل جديد من أنظمة الاتصالات البصرية يعتمد على تقنية النمط الواحد للألياف Single Mode Fiber وبأطوال موجية بمدى الأشعة تحت الحمراء وأصبح بالإمكان توفير ربط بصري لمسافات طويلة.

وبفضل ذلك حدث نمو كبير في شبكة الاتصالات بالألياف البصرية رافقه المزيد من الانفتاح في سوق خدمات الاتصالات ونشوء شركات جديدة في أمريكا مثل MCI و Sprint التي أنشأت شبكات اتصالات كبيرة معتمدة بصورة كاملة على الألياف البصرية.

وأجبر ذلك شركة AT&T الأمريكية على إيقاف معدات اتصالات قديمة ببلايين الدولارات واستبدالها بشبكات بالألياف البصرية .

كما قدمت تقنية النمط الواحد للألياف البصرية Single Mode Fiber إمكانية تمديد الألياف البصرية عبر البحار لربط جانبي المحيط الأطلسي والمحيط الهادي وربط أوروبا بالشرق الأقصى مروراً بالشرق الأوسط عبر البحر المتوسط والبحر الأحمر والبحر العربي والمحيط الهندي.

وكان الكيبل العابر للمحيط الأطلسي TAT-8 قد أُكمل عام 1988 م بين أمريكا وبريطانيا وفرنسا أول كيبل ألياف بصرية يربط جانبي المحيط أما الكيبل البحري TAT-9 الذي أكمل عام 1991 م فقد كان بسعة ضعف سابقه وهو قادر على نقل 80 ألف مكالمة هاتفية في آن معاً.



obeikandl.com

أما TAT-12 و TAT-13 فهما أول ربط كابلات بصرية عبر المحيط تستخدم المضخمات البصرية وهي مختلفة عن المضخمات السابقة التي يتم فيها إعادة تحويل الإشارة البصرية إلى كهربائية ثم إعادة توليد الإشارة البصرية.

**كيبل الألياف البصرية**

إن تصميم كيبل الألياف البصرية يحتاج الاهتمام بعدد من العوامل الفيزيائية الإضافية إضافةً إلى تلك التي تتطلبها كيبلات الأسلاك النحاسية المجدولة، إن خواص الإرسال لكيبل بصري تعتمد بصورة رئيسة على الإجهاد الذي يواجهه في عملية التمديد والتي قد تسبب تغير كثافة الزجاج حيث تؤدي إلى تشتت الضوء خارج الليف البصري ومن ثم تغير خواص انتقال الضوء في الليف البصري لذلك تصمم كابلات الألياف البصرية لتقليل الشد في الليف البصري خلال عملية تمديد الكيبل وليتحمل مدى واسعاً من درجات الحرارة.

إن الخطوة الأولى في تصميم الكيبل هي حماية الليف البصري فردياً قبل تغليفها معاً وأما التقنيتان المستخدمتان في هذا المجال فهما الحاجز الملتصق Tight Buffer والأنبوب الفضفاض Loose Tube.

في الأنبوب الفضفاض Loose Tube تمرر الألياف البصرية حلقياً في أنابيب لدنة توفر الغلاف وتحمي الليف البصري من الإجهاد العمودي في كلا الشد والضغط فعندما يكون الكيبل معرضاً للشد تنفتح حلقات لف الليف البصري وعند الضغط تزداد حلقات الليف

في الأنبوب لذا فإن تصميم الكيبل مُعَد ليعزل الليف البصري عن الإجهاد الميكانيكي الناشئ عن عملية التمديد والمؤثرات البيئية.

أما الكيبل الذي يحتوي على ألياف بصرية بالحاجز الملتصق Tight Buffer فيتم صنع الليف البصري بتغطيته بطبقة من اللدائن الملتصقة تعمل كحماية من الإجهاد الخارجي وأحد أهم فوائد هذا التصميم هو سهولة تركيب الموصل النهائي Connector على النقيض من النوع السابق.

لكن الاستخدام الأكبر في مجال الاتصالات هو لنوع الأنبوب الفضفاض Loose Tube نظراً لتحمله الأكبر لدرجات الحرارة بالإضافة إلى استخدام مادة شمعية داخل الأنبوب لحمايته من بخار الماء.

وبعد الحماية لكل ليف بصري تحاط الألياف أو الأنابيب المرنة الحاوية على الألياف البصرية بالحماية النهائية للكيبل وهي مماثلة للكيبلات النحاسية وهي من مادة البلاستيك والبولي أثيلين والبولي إثيلين كلوريد.

كما تضاف إلى كيبلات الألياف البصرية التي تستخدم خارج المباني Out Side Plant لمزيد من قوة التحمل للشَدِّ عنصر مركزي قوي من الحديد أو الإيبوكسي أو الألياف الزجاجية بينما ترتب الأنابيب المرنة حوله وكذلك تغلف كيبلات الألياف البصرية بشرائح من المعدن أو من الحديد لتوفر للكيبلات حماية من مقاومة السحق والشد والعزل عن الماء مثل الكيبلات الهاتفية النحاسية.

**عوامل الإرسال في الليف البصري**

هناك أربعة عوامل رئيسة تحدد خواص الليف البصري هي المنفذ العددي Numerical Aperture والتوهين Attenuation والتشتت Dispersion وعرض النطاق Bandwidth.

1- المنفذ العددي Numerical Aperture: هو قياس الزاوية التي يمكن من خلالها مرور الضوء عبر الليف البصري من نوع متعدد الأنماط Multimode.

فالضوء الداخل إلى نهاية الليف ينتقل عبره فقط إذا كان بزاوية دخول ضمن عدد محدد من الدرجات عن محور الليف البصري والقيمة العملية لـ المنفذ العددي تتراوح بين 0.16 – 0.25 اعتماداً على أقصى زاوية يمكن للضوء الانتقال فيها والتي تتراوح بين 9 – 14 درجة عن محور الليف.

2- التوهين Attenuation :يتألف الليف البصري من لب Core مصنوع من زجاج نقي جداً ينقل معظم الضوء وهو محاطٌ بقشرة بمعامل انكسار أقل من اللب.

اليوم معظم الألياف البصرية مصنوعة من ثاني أكسيد السليكون ويضاف إلى مادة المركز شوائب من الجرمانيوم أو خامس أكسيد الفسفور لتحسين معامل الانكسار لمادته أما القشرة Cladding فهي عادة ثاني أكسيد السليكون النقي أو يضاف إليها شوائب من أكسيد البورون أو الفلور لتقليل معامل الانكسار له.



obeikandl.com

الليف البصري المصنوع من أكسيد السليكون هو أكثر المواد المصنوعة شفافية، كذلك فإن الإشارة البصرية بطاقة بضعة ملي وات يمكن كشفها بعد أن تكون قد انتقلت عبر عشرات الكيلومترات، ومع ذلك فإن الليف البصري له فقد Loss والإشارة التي تنقل عبره تصبح ضعيفة تدريجياً، عندها تبرز الحاجة إلى مكرر Repeater وإعادة توليد الإشارة، وتركيب وصيانة المكررات يمكن أن تكون تكلفة مهمة في أنظمة الموجات الضوئية وتكون المكررات على مسافات أبعد في حالة إمكانية تخفيض الفقد في الليف البصري.

ففي السبعينيات لاحظ الباحثون أن التوهين في الإشارة يعتمد على الطول الموجي المستخدم، وبالنسبة لليف العامل بالنمط الواحد Single Mode هناك ثلاثة نطاقات موجية يمكن استخدامها نظراً للفقد المنخفض فيها أطلق عليها اسم نوافذ Windows.

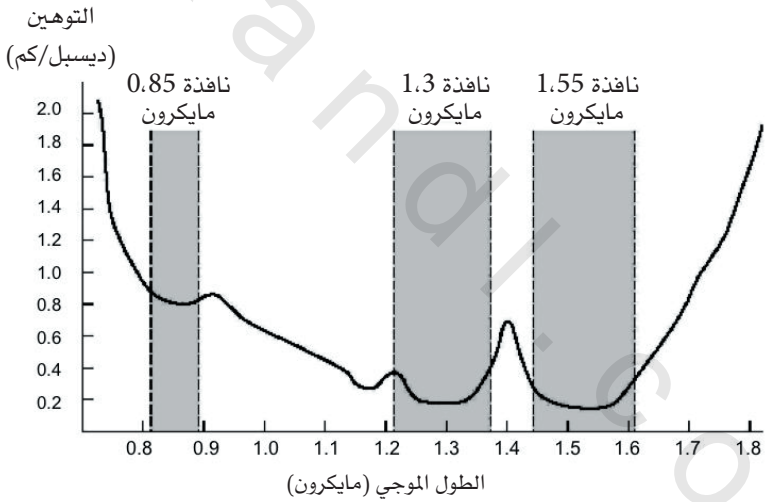
النافذة الأولى بالطول الموجي 850 نانومتر ويفقد الضوء 2.5 ديسبل لكل كيلومتر واحد وبعض الضوء يتم امتصاصه من أيون الهيدروكسيل (OH)، وهو شوائب من بخار الماء ناتجة عن عملية تصنيع الليف البصري.

ويبلغ التوهين الناتج عن بخار الماء إلى أقصى توهين عند الطول الموجي 1390 نانومتر مما يجعل هذا الطول الموجي غير مناسب للاتصال.

والنافذة الثانية: هي حول الطول الموجي 1300 نانومتر ويفقد الضوء عند انتقاله عبر ليف بصري من نوع النمط الواحد Single Mode حوالي 0.5 ديسبل.

وبزيادة الطول الموجي بعد 1400 نانومتر تأتي النافذة الثالثة وهي حول الطول الموجي 1550 نانومتر حيث يفقد الضوء المار بالليف البصري 0.25 ديسبل فقط لكل كيلومتر.

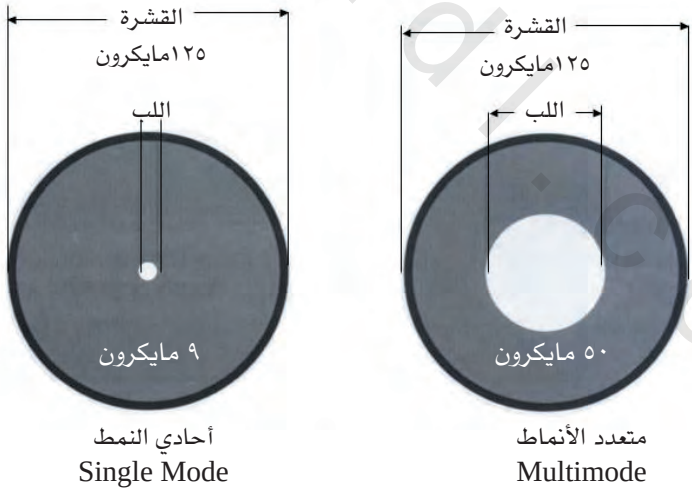
نتيجةً لذلك فإن أنظمة الاتصالات تستخدم النافذتين الثانية والثالثة كأطوال موجية للضوء المستخدم.




**الشكل (21-2) مخطط يوضح الأطوال الموجية المستخدمة في الاتصالات بالألياف البصرية**

3- التشتت Dispersion: التوهين ليس هو العامل الوحيد في الليف البصري الذي يحكم المسافة بين المكررات، فهناك عامل آخر

أكثر وضوحاً في ليف الأنماط المتعددة Multimode هو التشتت في الإشارة الذي يجعل النبضة تنفرش أو تتسع، ففي هذا النوع من الليف البصري الذي يكون فيه قطر اللب ما بين 50 – 100 مايكرون يكون مسار الضوء المار باللب ينتقل بمسارات متعددة اعتماداً على زاوية الضوء من القشرة على شكل متعرج وهو ما يجعل المسار المتعرج أطول مسافة بالنسبة للاستقبال مقارنةً بالإشعاع المباشر مما يجعله يعاني تأخيراً .ولتحسين أداء هذا النوع من الألياف البصرية ابتكر نوع يعرف بالعامل المتدرج Graded Index لتفريقه عن النوع الأول المسمى عامل الخطوة Step Index وفي النوع الجديد يُجعل عامل الانكسار متدرجاً بين اللب والقشرة مما يجعل الإشعاع ينتقل بسرعة أكبر بين اللب والقشرة.




**الشكل (21-3) مخطط يوضح الليف البصري متعدد الأنماط وذا النمط الواحد**

أما أفضل طريقة لتقليل أنماط انتقال الإشعاع المتعددة فهي تخفيض قطر لب الليف البصري إلى درجة كبيرة بحيث تجعل انتقال الإشعاع الضوئي يتم بنمط واحد فقط وقد تحقق ذلك من خلال تخفيض قطر المركز إلى ما يتراوح بين 8-9 مايكرون وهو ما يعرف بليف النمط الواحد Single Mode الذي يجعل من اتساع النبضة أمراً معدوماً تقريباً.

إلا أن الليف البصري الأحادي النمط ليس خال من أنواع التشتت تماماً، ففيه نوع يسمى التشتت الملون Chromatic Dispersion وهذا النوع من التشتت ناشئ من خواص المادة التي يصنع منها الليف والتي تسبب اختلافاً قليلاً في انتقال الأطوال الموجية المختلفة عبر الليف البصري ونتيجةً لذلك؛ فإن النبضة يحصل لها اتساع بسيط عند انتقالها مسافات طويلة عبر الليف بين المكررات.

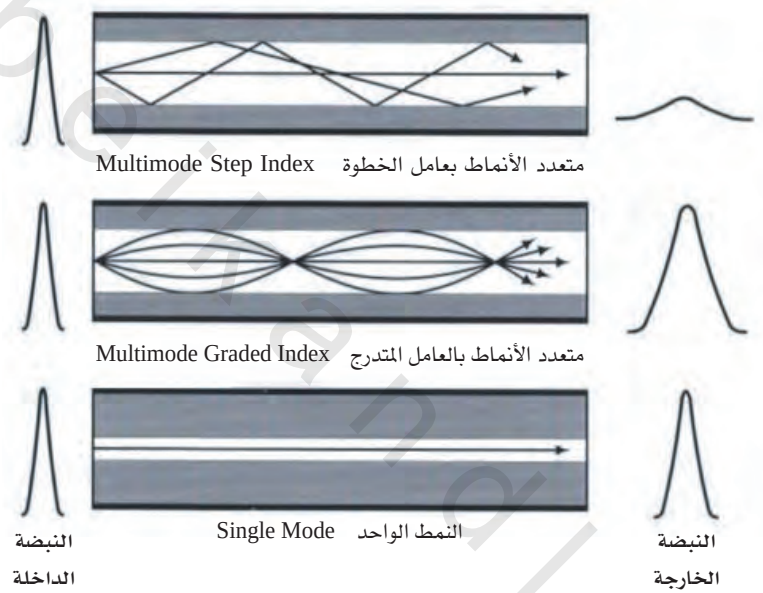
وعند زيادة التشتت بدرجة كبيرة فإن النبضة تصبح واسعة لتتداخل مع النبضة التي تليها مما يزيد من معدل الخطأ Error Rate؛ لذا فإن هذا النوع من التشتت يُعد عاملاً آخر من العوامل المحددة للمسافة بين المكررات.

ونظراً للخواص المميزة لثاني أكسيد السليكون؛ فإن التشتت اللوني يختلف باختلاف الطول الموجي، ففي كل طول موجي هناك مقدار محدد للتشتت يقاس بالبيكو ثانية Pico second لكل كيلو متر من الليف لكل نانومتر تغير بالطول الموجي ففي النافذة الأولى (850



obeikandl.com

نانومتر) التشتت اللوني هو 90 بيكو ثانية / كم – نانومتر وينخفض التشتت بزيادة الطول الموجي حتى يصل إلى الصفر عن طول موجي 1313 نانومتر ليزداد مرةً أخرى بعد ذلك.




**الشكل (21–4) مخطط يوضح انتقال نبضة في أنواع مختلفة من الألياف البصرية**

وللأسف فإنه عند طول موجي 1550 نانومتر وفيه أقل فقد في الألياف البصرية هناك تشتت لوني حوالي 18 بيكوثانية/ كم – نانومتر.

ومع ذلك ففي عام 1985م صُنِّعَ نوع من الألياف البصرية حدث فيه تغيير نقطة الصفر للتشتت اللوني من 1313 نانومتر إلى 1550 نانومتر فأصبح هذا النوع من الليف البصري مناسباً لأنظمة الاتصالات التي تستخدم ليزراً عاملاً بالطول الموجي 1550 نانومتر

مما يوفر الفقد الأقل والتشتت الأقل في آن معاً لكنَّ هذا النوع من الألياف البصرية تكلفته أعلى من الأنواع الاعتيادية.

4- عرض النطاق Bandwidth: إن سعة نظام الاتصالات معتمد مباشرةً إلى عرض النطاق وبزيادة عرض النطاق يعني زيادة في سرعة البيانات ولأغراض المقارنة، من المناسب وضع عرض النطاق لنظام بصفته نسبة مئوية من تردد الإشارة الحاملة، وعلى سبيل المثال في أنظمة اتصالات المايكروويف العاملة بتردد 6 جيجا هرتز فإن عرض النطاق يعادل 10% من الإشارة الحاملة التي تعادل 600 ميغا هرتز.

أمّا بالنسبة لترددات الضوء المستخدمة في أنظمة الألياف البصرية فتتراوح بين 10 للأس 14 و10 للأس 15 هرتز أي مابين 100,000 - 1000,000 جيجا هرتز وعلى ذلك فإن عرض النطاق النظري الذي توفره الألياف البصرية والذي يعادل 10% من تردد الإشارة الحاملة يتراوح بين 10,000 – 100,000 جيجا هرتز.

**موصلات الألياف البصرية Fiber Optic Connectors**

في السبعينيات كان موضوع توصيل الألياف البصرية يشار إليه على أنه عائق مهم في تقنية الألياف البصرية وكانت الأنظمة الأولى تعاني من عدد من الانقطاعات نتيجة مشكلات في الموصلات Connectors لكن بمرور السنوات شهدت التسعينيات تغيرات كبيرة في المنتجات وتقنيات الربط.

إن الهدف الأساس لموصل الألياف البصرية هو الربط غير الدائم إلى ليف بصري آخر أو جهاز فاعل مثل المرسل أو الكاشف وعملية

اللحام من جهة أخرى هي عملية توصيل غير قابلة للفصل لاثنين من الألياف البصرية، والفقد في الموصل يعكس صعوبة المحافظة على دقة التفاوت في فصل وتركيب الموصل، وكذلك تأثير وجود كمية من الغبار التي تجعل من هذا الجزء جزءاً حساساً، وبالإضافة إلى ضرورة أن يكون هناك فقد قليل في الموصل فإن الموصل يجب أن يكون بالإمكان تكرار عملية فصله وتركيبه بسهولة.

أهم أنواع موصلات الألياف البصرية هي أنواع أطلق عليها أسماء SMA و ST و FC و SC و E-2000.

SMA يوفر موصلاً غير متلامس، والليف العاري يجب صقله بعناية لتوفير عملية توصيل بفقد منخفض، ونظراً لكون الموصل يعمل بطريقة اللف فإنه يجب أن يغلق بعناية، والفقد في هذا النوع من الموصلات في حدود (1) ديسبل وقد استبدل هذا النوع من الموصلات بدرجة كبيرة بنوع آخر هو FC.

**الشكل (21-5) الموصّل من نوع FC**



obeikandi.com

ST هو علامة مسجلة لشركة AT&T ويستخدم عملية الضغط واللف القصيرة ليدخل في قفل للموصل؛ مما يجعل من السهولة الشعور بصحة عملية التركيب، وهو مصمم للتلامس ويخفض مقدار الفقد إلى أقل من (1) ديسبل، والحلقة الخاصة بالتوصيل مصنوعة من الحديد غير القابل للصدأ أو من السيراميك.

**الشكل** (21-6) **الموصّل من نوع ST**

أما النوع الأكثر استخداماً في أنظمة الاتصالات فهو نوع SC ويعمل بالضغط والسحب وقد صُمم من شركة NTT اليابانية ويمتاز بفقد يقل عن 0.5 ديسبل.

**الشكل** (21-7) **الموصّل من نوع SC**



obeikandl.com

أما نوع E2000 فهو من الأنواع الحديثة من الموصلات، ويمتاز بغطاء مزود بنابض لتغطية نهاية الليف البصري وحمايته من الغبار أو الخدوش، وحماية المستخدم من حزمة الليزر وهو بمزايا عالية بفقد بحدود 0.1 ديسبل ويشهد استخداماً متزايداً في شبكات الاتصالات والكابل التلفزيوني.

**الشكل (21-8) الموصّل من نوع E2000**

### الباعث والكاشف البصري

الباعث والكاشف البصري هما المرسلة والمستقبلة في نظام الاتصالات البصرية، أحد أنواع الباعث الضوئي هو الثنائي الباعث للضوء LED، وهذه القطع الإلكترونية ذات خارج ضوئي خطي مقارنةً بالإشارة الكهربائية الداخلة لها؛ لذا فهي مفيدة للإرسال في الإشارات التناظرية والرقمية لكن له بعض القيود التشغيلية، فالطاقة الضوئية الخارجة منها منخفضة نوعاً ما وهي في حدود 15- ديسبل بالإضافة إلى ذلك فإن طيف الإشارة الخارجة واسع وفي حدود

100 نانومتر وهذا ما يجعل هذا النوع من الباعث مستخدماً في أنظمة الاتصالات بسعات قليلة لمسافات محدودة.

أما ثنائي الليزر فإنه من الناحية العملية طاقته أعلى وقد يصل إلى 10 dBm كما أنه بطيف ضوئي أقصر من ذلك الذي يولده الثنائي الباعث للضوء وهو بحدود 10 نانومتر.

أما علاقة الضوء الخارج من هذه القطع الإلكترونية مقارنةً بالإشارة الكهربائية الداخلة، فهي غير خطية لذا فإن هذا النوع من الباعث الضوئي يجد له الاستخدام المناسب في الأنظمة الرقمية.

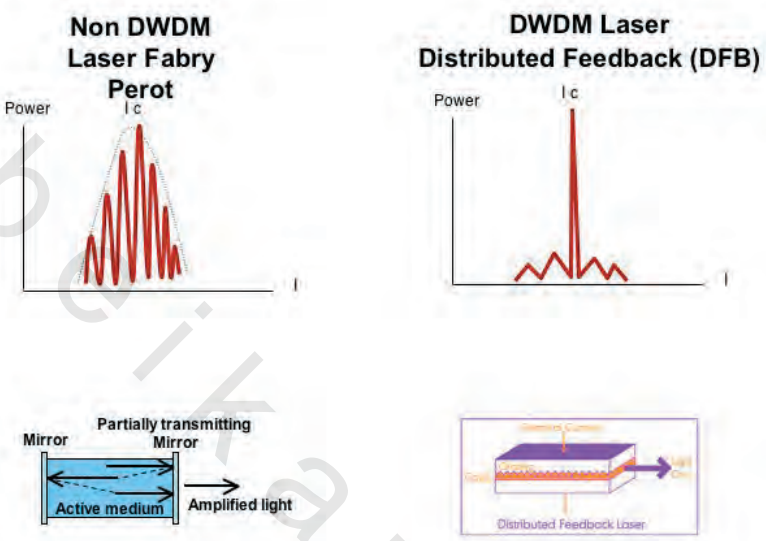
ومن أنواع ثنائي الليزر نوع يعرف بـ فابري بايرو Fabry Perot الذي يستخدم في إرسال 565 ميغابت/ ثانية لمسافة 40 كيلو متراً بلا حاجة لمكرر عادي وهناك الكثير من هذه القطع الإلكترونية مستخدمة في شبكات الهاتف الحالية.

وهناك نوع أحدث من باعث الليزر هو DFB (Distributed Feedback) الذي يسلك سلوكاً قريباً من مصدر بتردد واحد وبعرض طيفي بحدود 0.5 نانومتر، وبهذه المزايا ذات الطيف الضيق فإن التشتت اللوني سينخفض بدرجة كبيرة مما يسمح بزيادة كبيرة في سعة الاتصال.

أما الكواشف المستخدمة في الأنظمة ذات السعات الكبيرة فهي أحد نوعين: الأول هو ثنائي PIN مع نافذة مفتوحة إلى الثنائي تسمح بدخول الضوء، وثنائي ضوئي الانهيار Avalanche Photo diode.



obeikandl.com




**الشكل (21-9) أنواع من مولد الليزر**

ثنائي PIN يولد في أفضل الحالات الكترون لكل فوتون من الضوء الساقط الأمر الذي يتطلب أن يتبع هذا النوع من الثنائي مضخم إشارة منخفض الضوضاء، لتوفير حساسية استقبال جيدة، والحساسية العالية تحققت من خلال ثنائي ضوئي الانهيار، وهذا النوع من الثنائي يركب بوضع عكسي وبمجال قريب من الانهيار وعندما يصطدم فوتون ضوئي في هذا النوع من الكاشف فإنه يولد زوجاً من الكترون – ثقب (Electron – Hole) ونتيجةً للمجال الكهربائي الناشئ عن هذه العملية يمر سيل من الشحنات عبر وصلة الثنائي مما يولد المزيد من الثقوب والإلكترونات ويضخمها.



obeikandl.com

وعادة هذا النوع من الثنائي المصنوع من الجرمانيوم يضخم الإشارة (10) مرات بمعدل بيانات 565 ميغابت / ثانية.

ونظراً لكون ظاهرة الانهيار ظاهرة حساسة نوعاً ما للحرارة، فإن هذا النوع من الكاشف يعمل بدرجة حرارة تتراوح بين 20 - 25 درجة مئوية.

وشهدت السنوات الماضية تطوير ثنائي الضوئي الانهيار بحيث أصبح يصنع من سبيكة الأنديوم – الغاليوم الزرنيخ والتي جعلته أكثر استقراراً ومنحته إمكانية العمل بدرجات حرارة أعلى والعمل بجودة عالية بالطول الموجي 1550 نانومتر.

وحدث تسارع في سعات الاتصالات بطول موجي واحد من 2.4 جيجا هرتز عام 1995 إلى 10 جيجا بت/ ثانية عام 2000 م.

**تطور أنظمة الاتصالات البصرية**

خواص الأنظمة بالموجات البصرية تختلف عن أنظمة الإرسال التقليدية، فعند التعامل مع الموجات الكهرومغناطيسية الفائقة العلو مثل الضوء فمن المعتاد استخدام وحدات الطول الموجي بدلاً من التردد.

معظم أنظمة الاتصالات بالألياف البصرية تعمل الآن بالطول الموجي بين 1300- 1625 نانومتر وهذا الطول الموجي لا يمكن لعين البشر تحسسه ( يتراوح الطول الموجي الذي تستشعره عين البشر بين 400-750 نانومتر).



obeikandl.com

أول طول موجي تم استخدامه في عام 1981 م كان يعمل بالطول الموجي 850 نانومتر بمعدل نقل بيانات 45 ميغا بت / ثانية كان يوفر سعة قصوى بلغت 672 قناة صوتية.

أعقب ذلك استخدام الطول الموجي 1300 نانومتر وبسرعة نقل للبيانات بلغت 565 ميغا بت /ثانية ويوفر 8064 قناة صوتية لكل زوج من الألياف البصرية ثم أعقب ذلك الوصول إلى سرعة 1.2 جيجابت / ثانية ثم 2.4 جيجا بت /ثانية ثم 10 جيجا بت /ثانية.

جاء بعد ذلك استخدام الطول الموجي 1550 نانومتر وهو ذو فقد يبلغ حوالي نصف الفقد بالطول الموجي 1300 نانومتر وتمتاز هذه الأنظمة بإمكانية وضع المكرر على مسافات تصل إلى 100 كيلومتر وبمعدل خطأ نبضي لا يزيد على (5) لكل 10 بلايين بت.

وكانت الأبحاث في الثمانينيات والتسعينيات الميلادية تعول على الأبحاث في مجال الكشف المترابط Coherent Detection على أنه مستقبل الاتصالات البصرية، والكشف المترابط هي الاتصالات البصرية المكافئة لجهاز استقبال مايكروويف يعمل بكشف الإشارة بطريقة الـ Heterodyne ويحولها إلى إشارة بتردد متوسط Intermediate Frequency والمصطلح مترابط يعني استخدام الليزر مذبذباً محلياً في الاستقبال وفي حال توفير هذا النوع من المستقبل؛ فهناك تحسين 10-20 % في حساسية المستقبل وما يتبعه من زيادة المسافة بين المكررات لكن تطوير مضخم EDFA وانتشاره بدرجة



obeikandi.com

كبيرة وانخفاض أسعاره قلل من فرص الانتشار الواسع للكشف المترابط على مجالات محددة في أنظمة المسافات الطويلة واسعة الحزمة العاملة بتقنية WDM.

**الاعتبارات في تصميم أنظمة الألياف البصرية**

أنظمة الاتصالات بالألياف البصرية تتوافر الآن لدى العديد من الشركات الصانعة وهذه الأنظمة لا تتأثر بالمطر والحرارة والرطوبة وغير متأثرة بالتداخلات الكهرومغناطيسية و معدل الخطأ في حدود نبضة واحدة إلى 10 للأس 11؛ لذا فإن الأنظمة البصرية تتفوق على أنظمة المايكروويف الأرضية والاتصالات عبر الأقمار الصناعية أو أنظمة الاتصالات السلكية النحاسية.

إن العوامل المطلوبة لتصميم ربط بالألياف البصرية ما يأتي :

1- الطاقة الخارجة للمرسلة بـ dBm.

2- مقدار الفقد في الكيبل عند الإنشاء (مضافاً إليه الفقد في الموصلات ونقاط اللحام)

3- حساسية جهاز الاستقبال ( بالـ dBm)

4- التفاوت الناشئ عن الزمن بالديسبل dB (في الكيبل ونقاط اللحام)

5- عامل الأمان في التصميم ( مقدار إضافي لضمان عمل النظام في حال انحدار أداء بعض العناصر مع الزمن والاستخدام)



obeikandi.com

كما أن هناك أمراً مهماً في تصميم ربط الاتصالات بالألياف البصرية هو وجود مخطط لزيادة سعة النظام لتلبية الاحتياجات المستقبلية.

والآن فإن نظام الاتصال بالألياف البصرية عملياً يتم تمديده مسافة تتراوح بين 40-80 كيلومتراً وبسعات تبدأ من 565 ميغا بت/ ثانية و 2.4 جيجابت /ثانية و 10 جيجا بت / ثانية بطول موجة 1550 نانومتر.

التقنية الجديدة التي يتم استخدامها بصورة متزايدة هي التجميع بالتقسيم الموجي Wave Division Multiplexing وهو ما يسمح باستخدام عدد من الأطوال الموجية باستخدام أجهزة ليزر بنطاق طول موجي محدود يمكن كشفها وفرزها عن الأطوال المختلفة.

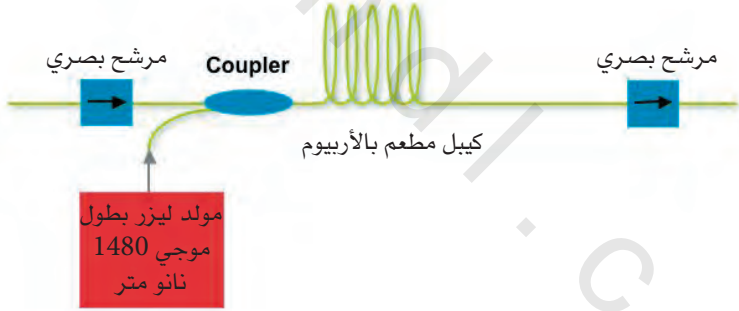
أما التطور الآخر في اتصالات الألياف البصرية هو المضخم الناشئ عن تطعيم الليف بالأربيوم EDFA وهو خطوة مهمة في مجال الاتصالات البصرية.

وحتى وقت قريب كانت أنظمة الاتصالات البصرية تستخدم مكررات تعتمد إعادة تشكيل الإشارة للتعويض عن التوهين والتشتت في الإشارة بعد مرورها مسافات طويلة حيث يتم تحويل الإشارة البصرية إلى كهربائية وتضخيمها بدائرة الكترونية ثم إعادة تحويلها إلى إشارة بصرية؛ لذا ففي حال إمكانية تضخيم الإشارة البصرية مباشرةً فإن المضخم سيكون أقل تعقيداً وأقل تكلفة من النوع الحالي المعتمد على إعادة توليد الإشارة.



obeikandi.com

المخطط (21-8) يوضح التصميم الأساس للمضخم المطعم بالأربيوم فوسط الكسب هو قطعة من الليف مطعمة بمادة الأربيوم وهي مادة متأينة قليلة الوجود على الكرة الأرضية ففي هذا النوع من المضخمات تعمل بالطول الموجي 1550 نانومتر ولتحقيق الكسب في الليف المطعم يتم ضخ إشارة من مولد ليزر يتم ربطه مع مسار الألياف البصرية من خلال مجمع مقسم بالطول الموجي Wave Length Division Multiplexer ومولد الليزر المضاف يعمل بطول موجي 1480 نانومتر يوفر أفضل حزمة امتصاص من أيونات الأربيوم كما يُوضَع عازل بصري لتجنب التغذية العكسية البصرية، ومن مزايا هذا النوع من المضخمات إمكانية التضخيم بمقدار 30 ديسبل.




**الشكل (21-10) مخطط لمضخم إشارة بصرية من نوع EDFA**

ويمكن استخدام هذا النوع من المضخمات في الاستخدامات التي تحتاج طاقة إرسال عالية كما في أنظمة الكيبل التلفزيوني بتقنية الألياف البصرية للمساكن FTTH أو للعمل مكرراً أو مضخماً ابتدائياً قبل مستقبل الإشارة.

وأول كيبل اتصالات بالألياف البصرية يستخدم تقنية EDFA هو TAT-12 الذي دخل الخدمة عام 1995م.

وهناك تصور يزداد رسوخاً لدى المختصين هو أن الاتصالات بالألياف البصرية هي الاتجاه للاتصالات الثابتة فالسعات التي توفرها الأنظمة الأخرى تضيق بالمتطلبات الجديدة يوماً بعد آخر بالإضافة إلى القيود في الأنظمة الأخرى من ناحية مواصفات الأداء مقارنة بالألياف البصرية.

ويتصور عدد من المختصين أن شبكات الألياف البصرية في المستقبل لن تكون مشابهة لمعظم شبكات الألياف البصرية الحالية والمصممة للربط بين نقطتين، وتستخدم طولاً موجياً واحداً بل ستكون جميع الشبكة بصرية تستخدم عدداً كبيراً من الأطوال الموجية والمقسمات والمضخمات وجميعها تعمل في النطاق البصري بلا حاجة إلى التحويل الكهربائي، وفي تلك الحال ستتداخل استخدامات الاتصالات مع التصوير الطبي عن بُعد وإدارة الأعمال عن بُعْد والتحويل المصرفي والإنترنت والدخول على الشبكات المحلية.

**الشبكة البصرية المتزامنة Synchronous Optical Network**

مع ابتكار أنظمة اتصالات المايكروويف والاتصالات البصرية عالية السرعة أصبح DS3 (44.736 ميغابت/ثانية) عنصراً ينمو بسرعة في شبكات الاتصالات.



openkandil.com

ونظراً لأن معظم خدمات شبكات الاتصال تقدم سرعة بيانات أقل من DS-3 ظهرت الحاجة إلى وسائل سهلة للدخول وتوفير سعات بأجزاء من إشارة DS-3 لكن مع الأسف فإن نمط الإشارة DS-3 لا تسمح بدخول كفء لها.

فالإشارة DS-3 ناتجة عن نظام جمع للقنوات بعضها متزامن Synchronous والآخر غير متزامن Asynchronous فالخطوة الأولى هي وجود فاصل متزامن مكون من 8 بت من أي من الإشارات الرقمية (64 كيلو بت /ثانية) والتي تجمع لتشكل DS-1 أو معدل بيانات T1 لكل إشارة DS-1 في الشبكة ربما تعمل بتوقيت مستقل من مذبذب بلورة Crystal Oscillator أو أي مصدر آخر للتوقيت.

تقنية SONET تعرف بأنها مجموعة من المعايير للشبكة البصرية المتزامنة لها المرونة لنقل العديد من الإشارات الرقمية ذات السرعات المختلفة وتحقق ذلك من خلال تعريف إشارة أساسية تدعى إشارة النقل المتزامنة Synchronous Transport Signal المستوى (1) أو STS-1 اختصاراً بسرعة 51.84 ميغابت /ثانية، وفي حال الإرسال عبر الألياف البصرية فإن إشارة STS-1 تدعى المستوى الأول للحامل البصري OC-1.

ويمثل OC-1 إحدى لبنات إرسال SONET التي اشتقت منها الإشارات ذات المستوى الأعلى فعلى سبيل المثال OC-3 تعمل بمعدل 3 أضعاف OC-1 و OC-48 يعمل بمعدل 2488.32 ميغابت /ثانية بينما يعادل OC-192 ما يقارب 10 جيجاهرتز / ثانية.



obeikandl.com

وبينما تستخدم أنظمة SONET الحامل البصري OC-1 فإن الاتحاد العالمي للاتصالات ITU قد اتفق عند وضع معايير نظام SDH وهو النظام العالمي المكافئ للنظام الأمريكي SONET على أساس أن OC-3 هو الحد الأدنى لأنظمة SDH وتعادل 155.52 ميجا بت /ثانية.

وتمتاز أنظمة SDH بأنها من أكثر أنظمة الاتصالات معولية ويتوافر فيها إمكانية نقل كل أنواع معايير الاتصالات سواء كانت صوتية أو بيانات بمعاييرها المختلفة أيثرنت – ATM – دوائر خاصة كما تُعد هذه الأنظمة من الأنظمة المكلفة المستخدمة في ربط المقاسم الهاتفية.

**ضوابط لتمديد الكيبلات البصرية**

تتوافر كيبلات الألياف البصرية بأنواع عديدة لتلبية المتطلبات المختلفة منها ما هو مصمم لداخل المباني، ومنها ما هو مصمم للتمديد داخل مواسير، أو للطمر المباشر أو يعلق على أعمدة أو يمدد تحت سطح الماء.

ومن المفضل شأنه شأن الكيبلات النحاسية أن يكون عند تمديده مخفياً ( إذا كان غير معلق على أعمدة) لحمايته من المؤثرات الخارجية أو العبث لكن ذلك لا يمنع من حالات استثنائية كتمديده في مناطق جبلية وعرة.

ومن جهة أخرى فإن الكيبلات البصرية ذات تمديد أسهل في معظم الأحيان وخاصة في المناطق السكنية التي تمدد فيها الكيبلات

في مواسير تحت الأرض نظراً لحجمها الصغير مما يجعل الماسورة بقطر 110 ملمتر قادرة على استيعاب (3) كيبلات على الأقل بدلاً من كيبل نحاسي كبير كما أن الانحناء الطويل Long Bending المطلوب في الكيبلات النحاسية غير مطلوب في كيبل الألياف البصرية للسبب السابق نفسه.

أما بالنسبة لتمديد كبيل الألياف البصرية بالطمر المباشر فيستخدم في تمديدات تربط بين المدن ويفضل أن يكون النوع المسلح Armored لحماية الكيبل من الصخور الحادة والقوارض.

كما أن مسار الطمر المباشر لابد أن يواجه عدداً من العوائق مثل الوديان والممرات المائية أو الطرق؛ لذا يفضل استخدام المواسير عند عبور هذه العوائق كما يراعى عند تصميم كيبل الألياف البصرية أن تُجرى أعمال لحام الكيبلات البصرية قريباً من العوائق التي تحتاج إلى مرور الكيبلات في مواسير.

وتشترط معظم الجهات التي تنفذ مشروعات الألياف البصرية أن تطمر الكيبل مسافة 60 سنتمتراً، وعند طمر الكيبل يمدد شريط بعمق 30 سنتمتراً وأعلى من الكيبل 30 سنتمتراً من نوع خاص كتب عليه تحذير بوجود كيبل اتصالات.

وتصنع الآن كيبلات الألياف البصرية ملفوفة على بكرات بأطوال كبيرة تصل إلى 5 كيلومترات مما يقلل الحاجة إلى عمليات اللحام.



obeikandl.com

كما تستخدم علامات فوق سطح الأرض للدلالة على وجود كيبل مطمور في تلك المنطقة.

كما تستخدم كيبلات الألياف البصرية للتحكم في أنابيب الوقود والغاز، وتستخدم في تمديدها مواسير مجاورة لمواسير أنابيب الوقود والغاز.

**لحام الألياف البصرية**

هناك وسيلتان لعملية لحام الألياف البصرية هما: اللحام بالصهر باستخدام القوس الكهربائي لصهر نهايتي الليف البصري، واللحام الميكانيكي.

وفي عملية الصهر فإن نهايتي الليف البصري المراد لحامهما توضع بتماس مع بعضهما وتسخن لدرجة حرارة الصهر حتى يتم لحامهما معاً وعادةً ما تزود أجهزة اللحام بجهاز تصوير يعرض عملية اللحام على شاشة LCD لإثبات عملية اللحام الصحيحة.

أما عملية اللحام الميكانيكية فتستخدم وسائل مشابهة لعملية تركيب الموصلات وتستخدم فيها مادة الإيبوكسي وهي لا تحتاج إلى جهاز اللحام الذي يتراوح سعره من 5000 إلى 20000 دولار.

وتترافق مع عملية اللحام الميكانيكي زيادة في الفقد في الإشارة مقارنةً مع عملية اللحام بالصهر الأمر الذي يجعل اللحام الميكانيكي ذا استخدام محدود خاصةً في أنظمة الاتصالات.



openkandi.com

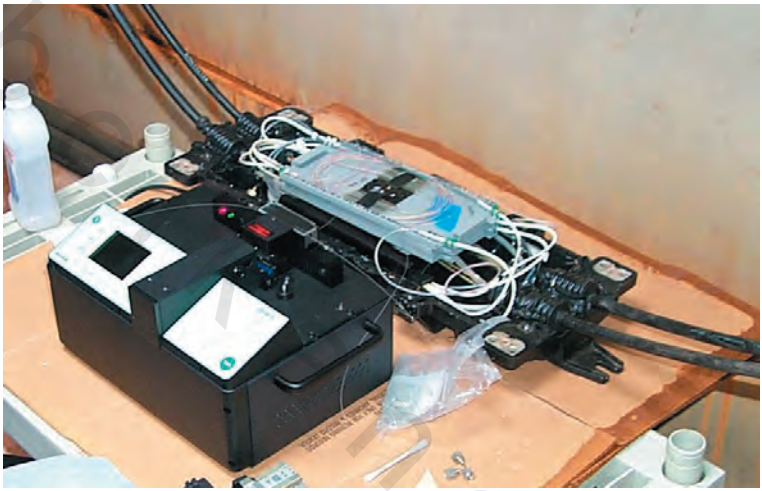
**الشكل (22-1) جهاز للحام الألياف البصرية**

وتستخدم أجهزة تدعى Optical Time Domain Reflectometer (OTDR) للتأكد من جودة أعمال لحام الألياف البصرية وجودة موصلاتها أو الكشف عن الأعطال أو القطع فيها.

وجهاز OTDR جهاز بصري يعمل بطريقة عمل جهاز TDR (Time Domain Reflectometer) نفسها المستخدم في الكشف عن الوصلات النحاسية والذي يستخدم إشارة كهربائية.

ويمكن أن نَعُد جهاز OTDR راداراً بصرياً بدائرة مغلقة باتجاه واحد ويعمل بإرسال متتابع لنبضات ليزر ضيقة عبر الليف البصري المطلوب

فحصه ورصد الضوء المنعكس وعلاقته بالزمن فعند إرسال الضوء في الليف البصري ينعكس الضوء بسبب نوعين من الخواص الفيزيائية.



**الشكل (22-2) عملية لحام ألياف بصرية**

الخاصية الأولى، تدعى انعكاس فرسنل Fresnel Reflection وتحدث عندما يمر الضوء في وسط له معامل انكسار يختلف عن الوسط السابق، وأقصى انعكاس يجري إذا كانت نهاية الليف قد قطعت بعناية، وحوالي 4% من الضوء المار بالليف ستنعكس في حال وجود نهاية مقطوعة بشكل جيد.

وعملياً فإن كسر الليف البصري أو حدوث خلل فيه من المستبعد أن يكون على شكل نهاية مقطوعة بشكل جيد لذا فإن فإن انعكاس فرسنل لن يكون في مستوى أقصى انعكاس.

كما يحدث في أثناء مرور الضوء في الليف البصري تبعثر في الضوء يُدعى تبعثر ريليف Rayleugh Scattering وهذا النوع من التبعثر في الضوء ناشئ عن اصطدام الضوء بجزيئات الزجاج وتبعثره في جميع الاتجاهات.

ونظراً لأن التبعثر في الضوء هو السائد في الفقد في الليف البصري؛ فإن الضوء المتبعثر يعادل تقريباً الفقد في الليف البصري.

وجهاز OTDR يستخدم خواص التبعثر في الليف البصري للسماح لمشغل الليف البصري في الإطلاع على خواص الليف البصري، ومن خلاله يمكن قياس طول الكيبل وتحديد نقاط اللحام والموصلات وقياس الفقد مقارنةً بطول الكيبل.

**الشكل (22-3) جهاز OTDR لفحص الألياف البصرية**

**الشكل (4-22) علبة لوصلات لحام نهايات ثلاثة كيبلات بصرية**