

## تاریخچه مخابرات نوری\*

گردآوری: بهرام شمس

بخش اول

در طول سال های گذشته، شکل های گوناگونی از سیستم های مخابراتی ارائه شده است که علت اصلی پیشرفت ارسال و انتقال اطلاعات به فاصله ای دورتر و افزایش سرعت انتقال و حجم بیشتری از اطلاعات، در واحد زمان که "ظرفیت سیستم" نامیده می شود، بوده است.

تا سال ۱۸۸۷ که امواج الکترومغناطیس توسط هرتز<sup>۱</sup> کشف شد، تنها محیط انتقال، سیم ها بودند.

در سال ۱۸۹۵، اولین سیستم مخابراتی رادیویی توسط مارکونی ارائه شد. در سیستم های الکتریکی، معمولاً انتقال اطلاعات پس از تبدیل سیگنال اطلاعات به یک موج الکترومغناطیسی که به آن موج حامل<sup>۲</sup> می گویند، صورت می گیرد. در این روش حجم اطلاعات قابل ارسال کرد، به فرکانس موج حامل بستگی دارد. هر چه فرکانس موج حامل بیشتر باشد، پهنای باند یا ظرفیت آن بیشتر است.

برای افزایش اطلاعات و همچنین، در اختیار داشتن سرویس های مخابراتی وسیع، باید پهنای باند فرکانسی وسیعی در دسترس بوده و برای افزایش پهنای باند، باید فرکانس افزایش یابد (یعنی طول موج کمتر).

طیف امواج نوری بین ۵۰ نانومتر تا ۱۰۰ میکرومتر می باشد که بخشی از آن حدود ۴۰۰ تا ۷۰۰ نانومتر، طیف نور مرئی می باشد.

فرکانس امواج نوری بین  $10^{12}$  الی  $10^{16}$  هرتز است. امواج نوری مانند امواج رادیویی در دو محیط انتقال، هوا و موج حامل، قابل استفاده است.

در سال ۱۹۵۸، تئوری تقویت کننده های لیزری ارائه گردید. با این اختراع در سال ۱۹۶۰، منابع تشعشع الکترومغناطیسی همدوسی<sup>۳</sup>، در دسترس قرار گرفت و باعث گردید تا طیف مرئی قابل استفاده گردد.

با اختراع لیزر و مشاهده اینکه نور منتشره از لیزر شباهت زیادی با امواج الکترومغناطیسی ارسالی از یک فرستنده رادیویی دارد، فکر استفاده از لیزر برای انتقال اطلاعات به وجود آمد. فرکانس نور لیزر در حد  $10^{14} \times 5$  هرتز است و ظرفیت اطلاعات آن تقریباً  $10^5$  برابر سیستم های میکروویو معادل  $10$  میلیون کانال تلویزیونی است.

اولین محیطی که برای انتقال اطلاعات در سیستم های مخابرات نوری مورد استفاده قرار گرفت، جو یا اتمسفر بود که به علت اختلالات ناشی از شرایط جوی، نظیر رعد و برق، بارندگی، سرما و گرما و...، ضریب شکست هوا تفاوت می یافت و تنظیم لنز عدسی ها به هم می خورد و شدت نور تغییر پیدا می کرد. در هوا میزان تلفات از نوع جذبی، بر حسب طول موج، متفاوت است.

با توجه به اشکالاتی که در انتقال نور در هوا وجود داشت، به فکر استفاده از هدایت نور توسط موج بر<sup>۴</sup> افتادند. در تلاش های ابتدایی، اشعه نور در طول مسافت طولانی هدایت گردید و این عمل با بکارگیری عدسی هایی که در لوله مناسبی قرار داده شده بودند انجام شد. به این ترتیب از تمایل اشعه به پخش در اطراف، بر اثر شکست نور، ممانعت به عمل آمد و از ورود شعاع های نور خارجی و رطوبت به آن جلوگیری شد. چنین سیستم هایی نیز به نتیجه مطلوب نرسید زیرا به علت لرزش زمین عدسی ها کمی جابه جا شده و مسیر نور تغییر می کرد.

به این ترتیب فکر استفاده از " شیشه " به عنوان محیط انتقال، مطرح گردید.

فرضیه استفاده از فیبرهای شیشه ای<sup>۵</sup> به عنوان محیط انتشار، در مقاله ای توسط " Kaio " و " Hockman " که در لابراتورهای مخابراتی استاندارد انگلیس کار می کردند عنوان شد. البته شیشه های معمولی فقط تا چند متر قادر به انتقال نور می باشند و با افزایش ضخامت آن، نور در هنگام عبور به شدت تضعیف شده (چند هزار  $\text{db/km}$ ) و مستهلک می گردید.

بعدها در سال ۱۹۶۶ ثابت شد که تضعیف زیاد، ناشی از کاربرد و انتخاب مواد فیبر شیشه نبوده بلکه مربوط به ناخالصی های موجود در فیبر شیشه، نظیر آهن و مس و نیکل و سایر فلزات موجود در این مواد می باشد.

در سال ۱۹۷۰، "Kapron"، "Keck" و "Maurer"، موفق به تهیه چند صد متر فیبر تک مدی<sup>۶</sup> با تضعیف کمتر از ۲۰ دسی بل بر کیلومتر شدند و در پایان سال ۱۹۷۲ فیبرهای چند مدی<sup>۷</sup>، با تضعیف کمتر از ۴ دسی بل بر کیلومتر نیز شناخته شد که پیشرفتی شایسته در این زمینه بود، زیرا چنین تضعیفی، معادل با افت ناشی از کابل های کواکسیال<sup>۸</sup> ساخته شده در آن زمان بود.

همزمان با پیشرفت تکنولوژی و رفع معایب موجود و استفاده از طول موج هایی در ناحیه ۱/۳ میکرومتر و ۱/۵ میکرومتر، مطالعات به سمت دستیابی به سیستم های انتقال با ظرفیت بالاتر منجر گردید.

طول موج های ۸۵۰، ۱۳۱۰، ۱۵۵۰ نانومتر، به "پنجره های فیبر" معروف بوده و در این طول موج ها، کمترین تضعیف را می توان به دست آورد.

در سال ۱۹۸۳، فیبرهایی با تضعیف حدود ۰/۲ دسی بل بر کیلومتر در طول موج ۱۵۵۰ نانومتر ساخته شد که کمترین تلفات در سیستم مخابراتی می باشد.

فیبر نوری از تمام محیط های انتقالی شناخته شده، دارای پهنای باند وسیع تر و افت کمتری می باشد. این ها دو مزیت عمده در ارزیابی سیستم های مخابراتی بشمار می رود. فیبر نوری که تا چند سال پیش (سال ۱۹۸۰)، صرفاً جنبه آزمایشگاهی داشت، امروز نه تنها به مرحله تولید و ساخت رسیده بلکه تا پایان سال ۱۹۸۵ در حدود ۱/۵ میلیون کیلومتر کابل نوری در سراسر جهان نصب شده است. کابل های نوری مانند کابل های مسی می توانند به صورت هوایی، کانالی، خاکی و یا زیر دریایی نصب شوند. معمولاً طول کابل نوری بر حسب کاربرد آن، بین چند صد متر تا چند کیلومتر است می باشد. طول های کوتاه تر برای موقعی است که کابل در کانال کشیده می شود و کابل های با طول بلندتر به صورت هوایی و خاکی قابل نصب است.

برای خطوط انتقال بلندتر از طول کابل نوری، قطعات کابل فیبر نوری به یکدیگر پیوند زده می شوند.

در ایران نیز اولین بار در اوایل سال ۱۳۶۰، فیبر تک مدی به طول ۴۵ کیلومتر بین تهران - کرج با همکاری شرکت زیمنس آلمان، با افت ۰/۳۶ دسی بل بر کیلومتر در طول موج ۱۳۱۰ نانومتر به صورت کانالی کشیده شد.

فیبر نوری در زمینه کاربرد زیر دریایی نیز جایگاه ویژه ای دارد، به طوری که در سال ۱۹۸۸ دو قاره اروپا و آمریکا از طریق فیبر نوری زیر دریایی به هم مربوط شده اند. همان گونه که مشاهده می گردد ارتباطات همواره در حال توسعه بوده است و در حقیقت نوع سرویس های جدیدی که ابداع گردیده، استفاده صحیح از پهنای باند مفید و نیز ساختمان شبکه ها که به شکل دیجیتال تغییر یافته و در دراز مدت به صورت ISDN<sup>۹</sup> در خواهد آمد، موجب شده است که محیط های انتقال، مورد مطالعه بیشتری قرار گیرند که یکی از نتایج این مطالعه در زمینه محیط های انتقال فیبر نوری می باشد. به جرأت می توان گفت بشر قرن بیست و یکم، سیستم های مخابرات نوری را به عنوان زیربنای اصلی شبکه مخابراتی جهانی خود تدارک دیده است.

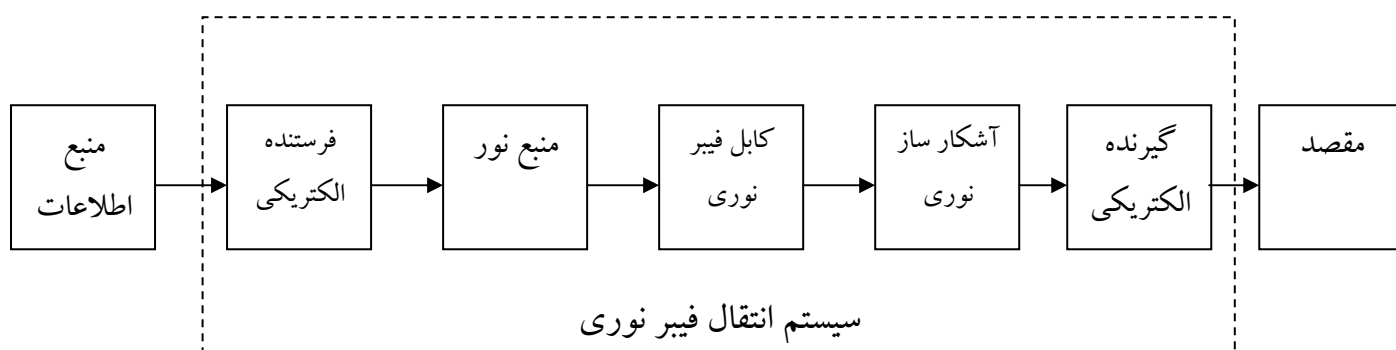
## اجزای مختلف یک سیستم انتقال فیبر نوری

### تعریف سیستم انتقال فیبر نوری

تبدیل اطلاعات به شکل انتشار نور در مسیر یک فیبر نوری را سیستم انتقال فیبر نوری گویند.

رشته های نازک فیبر نوری، با توجه به ساختمان آنها که بعداً شرح داده خواهد شد، محیط مناسبی جهت انتقال امواج نورانی می باشد و می توان با استفاده از یک منبع نورانی در محدوده طول موج های ۰/۳ میکرون و ۱/۷ میکرون چندین هزار کانال تلفنی را توسط دو رشته فیبر نوری به راحتی منتقل کرد.

در شکل ۱ شمای کلی و اجزاء تشکیل دهنده سیستم ارتباط فیبر نوری را می بینید:



شکل ۱

در سیستم ارتباط نوری منبع خبر، سیگنال های الکتریکی را که همان اخبار می باشد به قسمت الکتریکی فرستنده (ارسال الکتریکی)، می فرستد. این قسمت، منبع نور را به کار انداخته و مدولاسیون سیگنال های خبر را بر روی موج نوری باعث می گردد. منبع نور، نوری متناسب با سیگنال های الکتریکی ورودی، یعنی سیگنال نوری خروجی ایجاد می کند که معمولاً لیزر و LED می باشد. به عبارت دیگر "منبع نور می تواند لیزر و یا LED باشد."

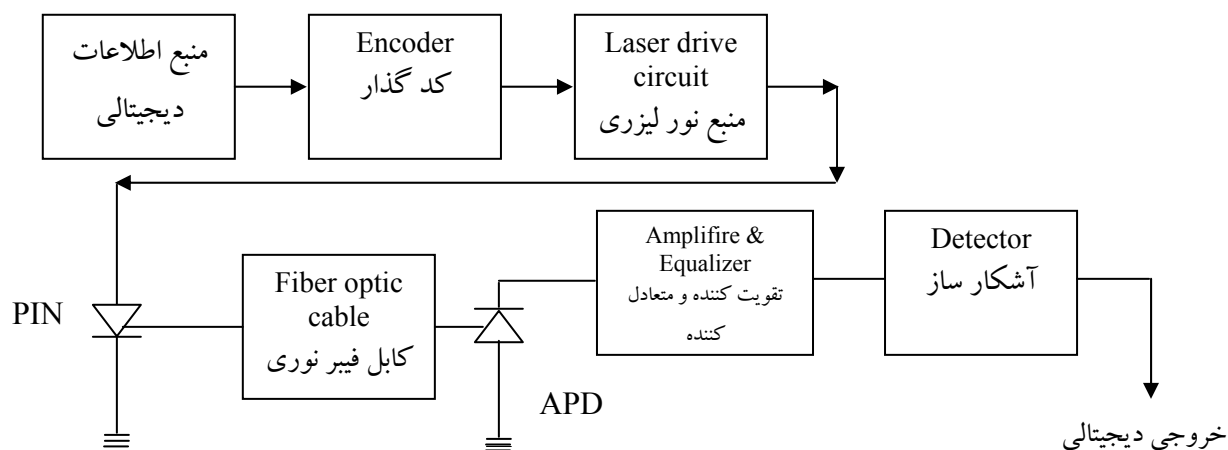
سیگنال نوری وارد فیبر نوری شده که برای حفاظت فیبر در مقابل آسیب هایی که ممکن است در موقع نصب و بکارگیری به آن وارد شود آن را با پوشش های مختلف حفاظت کرده و به صورت کابل در می آورند.

کابل نوری، سیگنال نوری را در مقصد و یا در محل تقویت کننده ها<sup>۱۰</sup> به گیرنده می رساند که گیرنده نیز شامل آشکارساز نوری و گیرنده الکتریکی می باشد.

در آشکارساز نوری، سیگنال نوری به سیگنال الکتریکی تبدیل می گردد. برای این تبدیل از فتودیود PIN و APD استفاده می شود.

سپس آشکار ساز نوری، سیگنال الکتریکی را به گیرنده الکتریکی داده و به این ترتیب، دمدولاسیون موج نوری را باعث می شود. در قسمت گیرنده، سیگنال الکتریکی تا حد لازم جهت قسمتهای بعدی تقویت می شود.

در شکل (۲) شمای کلی یک ارتباط، برای انتقال سیگنال دیجیتالی فیبر نوری را مشاهده می کنید.



شکل ۲

در شکل (۲) مشاهده می شود که ابتدا اطلاعات دیجیتال به صورت کد درآمده که معمولاً تا  $34\text{Mb/s}$  به صورت کد HDB3 و در  $140\text{Mb/s}$  به صورت کد CMI انجام می گیرد، و اطلاعات کد شده به مدار الکتریکی راه اندازنده لیزر منتقل می شوند که این مدار با اطلاعاتی که به صورت کد درآمده اند لیزر را به نوسان درآورده و اطلاعات را بر روی نور ارسالی مدوله می کند که پس از انتقال توسط کابل فیبر نوری در مقصد به وسیله APD آشکار شده و پس از گذشتن از طبقه تقویت کننده و متعادل کننده از حالت کد خارج شده (مدوله) و در خروجی، اطلاعات اصلی نظیر آنچه در ورودی سیستم داده شده بود تحویل می گردد.

### مزایای سیستم انتقال فیبر نوری

۱- پهنای باند<sup>۱۱</sup> بسیار زیاد و در نتیجه ظرفیت انتقال بیشتر. پهنای باند فرکانس موج بر این سیستم در محدوده  $10^{12}$  تا  $10^{16}$  هرتز است. فرکانس نور مورد استفاده در این سیستم ارتباطی، نزدیک به فرکانس اشعه مادون قرمز و حدود  $10^{14}$  هرتز یا  $10^0$  گیگا می باشد.

۲- تضعیف<sup>۱۲</sup> بسیار کم فیبر نوری از امتیازهای آن به شمار می رود. تضعیف فیبرهای مورد استفاده در حال حاضر حدود  $0.2$  دسی بل بر کیلومتر می باشد. تضعیف در طول موج های مختلف متفاوت است.

۳- وزن کم و قطر کوچک:

قطر فیبرها با توجه به نوع آنها متفاوت است. برای فیبر تک مدی، قطر هسته بین  $3$  الی  $12$  میکرون و قطر پوشش یا غلاف<sup>۱۲</sup> بین  $50$  تا  $125$  میکرون می باشد. اگر یک مقایسه بین فیبر نوری و کابل مسی داشته باشیم،  $40$  کیلومتر فیبر نوری وزنی معادل  $1$  کیلوگرم دارد در صورتی که  $1/5$  کیلومتر هادی مسی با قطر متوسط  $0.40$  میلی متر وزن  $1$  کیلوگرم دارد.

۴- ایزولاسیون کامل الکتریکی

عدم تأثیر جریانات القایی الکتریکی بر روی موج برهای نوری نیز یکی از خواص مهم فیبر نوری می باشد. میدان های ناشی از کابل های برق، تأثیری بر روی این موج برها

ندارند و می توان خطوط فیبر نوری را در روی دکل های برق نصب کرد و یا از میان هادی های ACSR هوایی عبور داد.

۵- مصونیت در برابر تداخل<sup>۱۴</sup> و همشنوایی<sup>۱۵</sup>

امواج الکترومغناطیس و امواج با فرکانس رادیویی، اثری بر روی کابل های فیبر نوری ندارند، بنابراین سیستم ارتباطات نوری در مقابل محیط آلوده به نویز مصون بوده و علاوه بر این، کابل های فیبر نوری که در مجاور هم هستند نیز، بر روی یکدیگر اثرات القایی ندارند و بر خلاف کابل های مسی، پدیده همشنوایی در آنها ناچیز است. طبیعت عایق فیبر نوری، هر نوع تداخل را از بین می برد و در فیبر نوری نگرانی از اتصال زمین برای موج بر وجود ندارد.

۶- امنیت سیگنال

نوری که از فیبر نوری عبور می کند، فاقد پدیده تشعشع بوده و بنابراین اطلاعات ارسالی از طریق سیستم ارتباطات فیبر نوری در مسیر انتقال، غیر قابل بهره برداری و استراق سمع می باشد.

۷- فراوانی و ارزان بودن مواد

چون ماده اولیه فیبر شیشه، سیلیکا است لذا آن را در همه جا می توان یافت، زیرا منبع اصلی سیلیکا، سنگ و شن و ماسه است. در نتیجه قیمت کابل های فیبر نوری، بسیار ارزان تر از کابل های مسی تمام می شود.

۸- نگهداری آسان

تضعیف کم این نوع کابل ها، نیاز کمتری به وجود تکرارکننده ها در طول مسیر را به دنبال دارد و در نتیجه تعمیرات آنها ساده تر و با هزینه و وقت کمتری انجام پذیر است.

۹- ظرافت و قابلیت انعطاف

ظرافت و قابلیت خمش رشته های فیبر، تسهیلاتی در امر جا به جایی و انبار نمودن و کابل کشی را به وجود می آورد.

۱۰- مصونیت در مقابل عوامل محیطی

فیبرهای نوری در محیط های مرطوب و درجه حرارت های بین  $30^{\circ}\text{C}$  - تا  $70^{\circ}\text{C}$  + کارآیی خود را از دست نمی دهند.

- 1-Hertz
- 2-Carrier
- 3-Coherent
- 4-Wave Guide
- 5-Fiber Glass
- 6- Single Mode
- 7-Multi Mode
- 8-Co-axial
- 9-Integrated Service Digital Network
- 10-Regenerator
- 11-Band width
- 12- Attenuation
- 13- Clad
- 14 Interference
- 15-Crosstalk