



## معرفی کوتاه تکنولوژی فیبر نوری



شرکت صنایع برق آذرکلید

بخش مهندسی

آذر ۱۳۹۸

## سخن اول :

انتقال اطلاعات به بخش مهمی از زندگی روزمره مردم تبدیل شده است. شبکه های ارتباطی صنعتی ، پیش نیاز اساسی برای دیجیتالی شدن در دنیای انتقال اطلاعات است. در نتیجه سیستم های اتوماسیون شبکه توزیع نیروی برق به خدمات ارتباطی مدرن و نوینی نیاز دارد. تاسیسات صنعت برق به شدت تحت تأثیر نیاز کلی برای افزایش انتقال نیرو ، فناوری های سبز و پایدار و همچنین گسترش منابع انرژی و ذخیره آن است. شرکت های خدمات توزیع برق سعی می کنند کیفیت انتقال انرژی را بهبود بخشند ، زمان خاموشی برق و هزینه های عملیاتی و نگهداری را کاهش دهند. این موارد رقابتی در بازار همراه با تغییر الگوی مصرف و انتقال بار ، نیاز به تعداد زیادی دستگاه هوشمند در شبکه برق دارند. کلیه دستگاههای مدرن مانند سنسورهای خط ، کنتورهای هوشمند ، کنترل کننده های انواع تجهیزات شبکه ، RTU ها و غیره حجم عظیمی از داده ها را تولید می کنند. آنچه کاملاً مشهود است ، چنین تغییراتی در شبکه های توزیع برق ، به درجه بالاتری از اتوماسیون ، کنترل و نظارت در کلیه سطوح نیاز دارد. در نتیجه شبکه های صنعتی هوشمند به منظور حل چالش های اتوماسیون توزیع ، ارتباطات دو طرفه با تاخیر کم ، افزایش قابلیت اعتماد ، نیاز دارند تا از روش های مدرن تر و به روز تری برای ارتباطات استفاده کنند.

هر کدام از تکنولوژی های ارتباطی مزایا و معایب خود را دارد ؛ بهای تجهیزات ، پیچیدگی پیاده سازی ، در دسترس بودن تجهیزات ، هزینه های سرویس و نگهداری ، قابلیت سازگاری با تجهیزات موجود و غیره. در نتیجه برای انتخاب یک تکنولوژی ارتباطی باید موارد مختلفی را بررسی کرد. به توجه به اینکه در بحث توزیع نیروی برق ، بستر ارتباطی داخل شهر می باشد ، در نتیجه فاکتورهای اولیه و اصلی برای این تصمیم گیری ، محدودیت های ایجاد شده شهرسازی است ؛ مانند ساخت و سازهای روزانه ، تغییرات روزانه در فضاهای خالی ، نویز و تداخلات طبیعی مثل باران و برف ، محدودیت های سرویس و نگهداری در طول روز.

در این جزوه سعی شده است به صورت خیلی خلاصه راجع به بسترهای ارتباطی روز دنیا اطلاعاتی ارائه شود. این تکنولوژی ها شامل شبکه <sup>1</sup>WAN (اترنت کابلی) ، شبکه <sup>2</sup>WiFi ( بیسیم ) و رادیو می باشد. پس از آن کمی بیشتر راجع به تکنولوژی و بستر فیبر نوری توضیح داده شده است.

این جزوه فقط جهت آشنایی اولیه با تکنولوژی فیبر نوری نوشته شده و قطعاً برای تصمیم گیری قطعی در مورد پیاده سازی یک تکنولوژی به اطلاعات خیلی بیشتر و عمیق تر نیاز است که در این جزوه نمی گنجد. امیدواریم این جزوه شروع بحث های عمیق تر آینده در مورد مزایای فیبر نوری نسبت به رادیو باشد.

<sup>1</sup> Wide Area Network

<sup>2</sup> Wireless Fidelity

# اترنت

## اترنت و مزیت ها و معایب آن نسبت به WiFi

طبق تعریف موسسه IEEE، اترنت با پروتکل 802.3 تعریف می گردد. اگر بخواهیم به صورت ساده توضیح دهیم، اترنت به رایج ترین نوع LAN<sup>3</sup> که امروزه استفاده می گردد اطلاق می شود. LAN یک شبکه کوچک را به هم متصل می کند که در محوطه کوچکی همچون دفاتر، دانشگاه ها یا حتی در خانه ها با هم در ارتباط هستند. در مقابل آن WAN<sup>4</sup> است که یک منطقه جغرافیایی بزرگ را پوشش می دهد.

اترنت تکنولوژی ای برای اتصال شبکه های محلی (LAN) است، که می تواند دستگاه ها را با یک پروتکل ارتباط دهد. حال این نکته پیش می آید که در دنیایی که ظاهراً تمام ارتباطات با Wi-Fi انجام می شود، آیا نیازی هست لپ تاپ دارای پورت اترنت برای اتصال کابل اترنت باشد؟ اگر جواب این سوال را از کسانی که در بازی های کامپیوتری حرفه ای یا مشاغل تجاری بزرگ هستند بپرسید، جواب خواهند داد "بله، قطعاً". در زیر با جزئیات این مسئله بیشتر آشنا خواهید شد:

### مولفه های اصلی اترنت

اترنت از سال ۱۹۷۰ مورد استفاده قرار گرفت و فقط حدود ۱۰ Mbps<sup>5</sup> سرعت داشت. اترنت سریع که به وجود آمد تا سرعت ۱۰۰ Mbps را پشتیبانی می کرد، اما بعد از پیشرفت های شگفت فناوری، اترنت گیگا بیت امروزی به وجود آمد که تا ۱۰۰۰ Mbps را پشتیبانی می کند. اگرچه این سرعت بیشتر در شرکت هایی که خود در زمینه فناوری فعال هستند کاربرد دارد ولی اترنت ۱۰۰۰۰ Mbps نیز در راه است.

از آنجایی که اترنت روی کابل ارائه می گردد، نوع کابل در کیفیت آن تاثیر زیادی دارد. در ساده ترین حالت از کابل CAT5 استفاده می گردد. این کابل ها اترنت و اترنت سریع<sup>6</sup> را پشتیبانی می کند. کابل های CAT5e و CAT6 نیز قادر خواهند بود اینترنت گیگابیت و بالاتر را پشتیبانی کنند.

این کابل ها از مودم یا دستگاه هایی که هم مودم هستند و هم روتر به پورت دستگاه هایی که قابلیت آنلاین شدن دارند کشیده خواهند شد. ابزارهایی مانند کامپیوترها، لپ تاپ ها یا تلویزیون های هوشمند. اگر ابزاری که از آن استفاده می کنید دارای پورت اترنت نیست، از مبدل های USB مخصوص اترنت می توانید استفاده کنید.

<sup>3</sup> Local Area Network

<sup>4</sup> Wide Area Network

<sup>5</sup> Mega bit per second

<sup>6</sup> Fast Ethernet

## مزیت های اترنت نسبت به Wi-Fi

ثبات سیگنال : راه اندازی شبکه کابلی LAN نسبت به شبکه بی سیم WLAN<sup>7</sup> زمانبر و پرهزینه هستند ولی مزیت های انکار ناپذیری نیز دارند. نخست اینکه سیگنال های Wi-Fi با فرکانس های رادیویی ارسال می گردند. اگر با ماشین از داخل یک تونل عبور کنید و همزمان رادیو گوش کنید، مشاهده خواهید کرد که سیگنال دچار مشکل می گردد. برای Wi-Fi هم همین اتفاق می افتد.

با اترنت کابلی، تداخل دیگر معنا ندارد. این عدم تداخل یک مزیت بسیار مهم است زیرا در Wi-Fi، ممکن است از سیگنال های Wi-Fi همسایه گرفته تا ماکروفر و هدست بلوتوث با هم تداخل پیدا کنند<sup>8</sup>. بدون تداخل، اترنت کمتر کند می شود، قطع نمی شود و تداخل در اتصال به وجود نمی آید. این مزیت زمانی که دیتاهای حجیم و زیاد را ارسال می کنید بسیار کاربرد دارد.

دیوارهای خانه نیز به دلیل اتصال سخت افزاری موجود دیگر مشکلی ایجاد نمی کند و به همین دلیل در اترنت کابلی نیازی به تقسیم پهنای باند نیز نخواهد بود.

امنیت و انعطاف پذیری : حتی با وجود اینکه از اترنت کابلی استفاده می کنید در جابه جایی تا ۱۰۰ متر می توانید از انعطاف پذیری خوبی بهره مند باشید. از آنجایی که اکثر روترها دارای پورت اترنت هستند، ایجاد یک سوئیچ خیلی زمان نخواهد برد. حتی می توانید همزمان با دریافت سیگنال های Wi-Fi کنسول بازی و تجهیزات بازی خود را به کابل اترنت متصل کنید.

امنیت و کنترل روی اترنت بسیار بالا بوده و نفوذ ناپذیر است که این ویژگی در زمینه های تجاری همیشه در الویت بوده است. اتصال فیزیکی باعث می شود بتوانید هر کسی در هر زمانی به شبکه متصل است را شناسایی کرده و نسبت به آن آگاهی داشته باشید. این ویژگی محدودیتی برای کاربران مجاز ایجاد نمی کند بلکه از ورود افراد نامرتبط جلوگیری می کند. با Wi-Fi محدودیت ها را پشت سر می گذارید ولی این شبکه به دلیل دسترسی راحت تر، در معرض تهدید قرار دارد.

## مشکلات اترنت نسبت به Wi-Fi

محبوبیت Wi-Fi به دلیل دسترسی آسان آن و کم هزینه تر بودن آن است. وقتی از WLAN استفاده کنید، فقط به یک مودم-روتر نیاز دارید که به سهولت قابل تهیه است.

هزینه : شبکه LAN کابلی پیچیده تر و بزرگتر است و به همین نسبت هزینه آن هم بیشتر است. اگر کابل اترنت خود را به دستگاه ایکس باکس وصل کنید، تنها نیازمند یک کابل هستید اما اگر می خواهید یک شبکه تجاری ایمن، با ثبات و خصوصی داشته باشید، به مودم، فایر وال، سرور، سوئیچ و احتمالاً نصاب حرفه ای احتیاج خواهید داشت. از آنجایی که هر کدام از این موارد هزینه بر هستند باید دنبال ایجاد شبکه ای باشید که با سرمایه شما همخوانی داشته باشد.

تعداد پورت های در دسترس : خیلی از لپ تاپ ها، کامپیوترهای رو میزی، تلویزیون های هوشمند، کنسول ها و ... دارای پورت

<sup>7</sup> Wireless LAN

<sup>8</sup> دقت کنید در صورتی که مودم وای-فای شما در کنار مایکروفر باشد، به محض اینکه مایکروفر را روشن کنید سیگنال وای-فای قطع می شود

اترنت هستند ولی برخی از آنها نیز این پورت ها را ندارند. به عنوان مثال خیلی از کنسول ها این پورت را ندارند. در نتیجه تجهیزاتی که قرار است به شبکه اترنت وصل شود باید دارای پورت اترنت نیز باشد. ( مثال خاص : RTU<sup>9</sup> ای که قرار است در شبکه استفاده شود باید دارای حداقل یک پورت اترنت بوده و در ضمن پروتکل های مورد نیاز باید روی آن پورت اترنت تعریف شده باشند. )

پویایی : اگر از اترنت کابلی استفاده کنید، دیگر از آن روی سیستم های قابل حمل مانند تبلت ها، گوشی های هوشمند و ... نمی توانید استفاده کنید. به همین خاطر است که اکثر LAN ها دارای اتصالات Wi-Fi اضافی نیز هستند. ( برای سهولت در ایجاد ارتباطات احتمالی در آینده )

جمع بندی :

- Ethernet: 10 megabits per second ( 10 Mbps )
- Fast Ethernet : 100 Mbps
- Gigabit Ethernet : 1000 Mbps
- Cables : 4 twisted copper wires ( 2 pairs send , 2 pairs receive )
- Electromagnetic interference problems
- Cat6 : 600 MHz over 100 meter

---

<sup>9</sup> Remote Terminal Unit



# بی سیم

## بی سیم و مزیت ها و معایب آن

تبادل اطلاعات در محیط انتقال بی سیم از طریق امواج رادیویی یا الکترومغناطیس، لیزر یا نور مادون قرمز انجام می شود. استفاده از رسانه های کابلی نیازمند تعیین دقیق قرارگیری دستگاهی است که قرار است به شبکه متصل باشد. در نتیجه هنگام استفاده از این رسانه ها جابه جایی دستگاه های ذکر شده بسیار محدود یا ناممکن است. انتقال داده به صورت بی سیم سبب می شود پایانه ها محدود به مکان خاصی نبوده، بتوانند به صورت سیار از شبکه استفاده کنند. در ادامه برخی از مزایای انتقال بی سیم اطلاعات را بیان می کنیم.

### مزایای شبکه بی سیم

راحتی : ماهیت بی سیم بودن شبکه ها به کاربران این اجازه را می دهد تا در محدوده ای که دستگاه سیگنال های Wi-Fi را دریافت می کند، دسترسی به منابع شبکه داشته باشند.

جابه جایی : با ظهور شبکه های بی سیم، کاربران می توانند به اینترنت (و حتی شبکه های خصوصی دیگر) حتی در خارج از محیط کار یا منزل دسترسی داشته باشند.

بهره وری : کاربرانی که به یک شبکه بی سیم متصل هستند می توانند بدون وقفه کار خود را از هر مکان مناسب انجام دهند.

گسترش : ایجاد شبکه های سیمی نیاز به کابل کشی و هزینه بیشتری نسبت به شبکه های بی سیم است. بوسیله یک Access Point می توان به راحتی شبکه بی سیم را برپا کرد.

قابل انطباق : یک شبکه بی سیم می تواند تعداد زیادی Device اعم از گوشی، لپ تاپ، کامپیوتر و ... را با توجه به تجهیزات موجود به شبکه اتصال دهد. در یک شبکه سیمی، افزایش Device به شبکه نیازمند سیم کشی اضافی است. (در کسب و کارها بعضا برای افزایش Device به شبکه علاوه بر کابل کشی اضافی، نیاز به سوئیچ های شبکه و روتر می باشد).

### معایب شبکه های بی سیم

امنیت : برای مقابله با این موضوع، شبکه های بی سیم ممکن است از تکنولوژی های رمزنگاری استفاده کنند با این حال، بعضی از روش های رمزنگاری که معمولا استفاده می شوند، دارای ضعف هایی هستند که توسط یک هکر میتواند امنیت آن به خطر بیفتد.

محدوده یا رنج : محدوده معمول یک شبکه بی سیم معمولی در حدود ده متر است. این محدوده برای کاربران خانگی کافی است ولی در ساختارهای بزرگتر نظیر شرکت‌ها و سازمان‌ها کافی نیست برای به دست آوردن محدوده اضافی، Access Point های اضافی باید خریداری شوند.

قابلیت اطمینان : مانند هر انتقال فرکانس رادیویی، سیگنال‌های شبکه بی سیم به انواع مختلفی از تداخل و موارد مختلفی دیگری وابستگی دارد که این موارد در اکثر موارد خارج از کنترل شما یا مدیران شبکه شرکت‌ها و سازمان‌ها است.

سرعت : سرعت در اکثر شبکه‌های بی سیم معمولاً ۱ الی ۵۴ مگابیت در ثانیه بوده که بسیار کندتر از شبکه‌های سیمی معمول است (۱۰۰ مگابیت در ثانیه تا چندین گیگابیت در ثانیه). با این حال، در محیط‌های تخصصی، ممکن است سرعت شبکه‌های بی سیم پاسخگوی نیاز نباشد و نیاز به شبکه سیمی باشد.

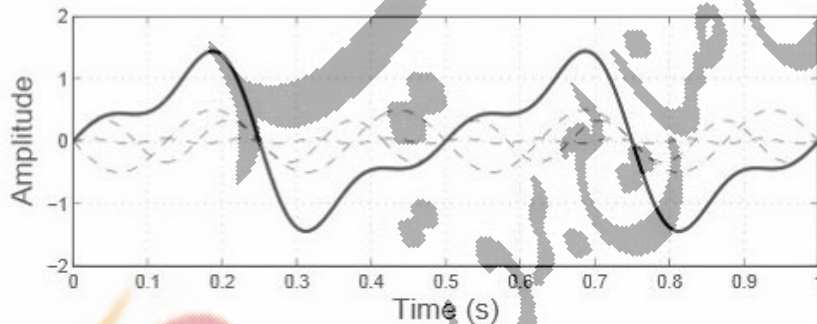


مهندسی مخابرات

# رادیو

## سیگنال های رادیویی :

سیگنال های رادیویی از جنس نور و یا به زبان مهندسی ، سیگنال های الکترومغناطیسی هستند. سیگنال های رادیویی نیز می تواند توسط اجسام منعکس شوند. موج رادیویی می تواند مانند امواج معمول در اقیانوس عمل کند. اگر دو موج با هم تلاقی کنند، در صورتی که همسو باشند ، موج جدیدی را شکل می دهند که بسیار بزرگتر از هر دو موج به صورت انفرادی است. اگر دو موج تلاقی کنند و فرود یک موج با فراز موج دیگر در یک صف قرار بگیرند، دو موج همدیگر را خنثی خواهند کرد. امواج رادیویی نیز به همان شیوه عمل می کنند. دو موج رادیویی که با یکدیگر تلاقی می کنند با یکدیگر ارتباط برقرار خواهند کرد تا قدرت سیگنال را افزایش و کاهش دهند. در تصویر زیر می توانیم دو موج رادیویی (خطوط فاصله دار) با طول موج و ارتفاع موج متفاوت (دامنه نوسان) را ببینیم که با هم تلاقی می کنند؛ آنها با هم موج رادیویی ترکیبی و جدیدی (خط پرننگ) را تشکیل می دهند که بسیار متفاوت با امواج رادیویی اصلی است.



## آنتن های رادیویی – اساس کار و انواع :

هدف استفاده از آنتن های رادیویی ، تبدیل کردن انرژی الکتریکی به امواج رادیویی است. هیچ مودم رادیویی ای بدون آنتن قابل استفاده نمی باشد. با توجه نوع تجهیز و کاربرد آن ، از انواع متفاوت آنتن استفاده می شود. ( حتی در موارد خیلی ساده آنتن می تواند یک تکه سیم ساده باشد. ) زمانی که یک سیگنال رادیویی به یک آنتن برخورد می کند ، باعث می شود که الکترون های داخل سیم ( خیلی ساده شده آنتن ) به نوسان در آیند. این پدیده باعث بوجود آمدن جریان الکتریکی می شود ، که باعث تقویت سیگنال اصلی می شود.



توان خروجی آنتن رادیویی<sup>۱۰</sup> یک شاخص کلیدی برای عملکرد آنتن است. توان یک آنتن بیانگر این مقوله است که آنتن چقدر قدرت تبدیل سیگنال ورودی به امواج رادیویی ( در یک جهت خاص یا چند جهت مختلف ) را دارد. واحد اندازه گیری توان یک آنتن دسیبل<sup>۱۱</sup> است و قاعدتاً هرچه مقدار این عدد برای یک آنتن بیشتر باشد ، آن آنتن قوی تر است. این قوی بودن به این معنی است که توانایی آنتن برای ارسال امواج رادیویی ، دقیقاً در یک جهت ، بیشتر است و امواج رادیویی در بقیه جهات کمتر پراکنده می شوند.

### آنتن های تک سو<sup>۱۲</sup> :

آنتن های تک سو ، امواج رادیویی را فقط از یک جهت خاص دریافت و ارسال می کنند. معمول ترین مدل از آنتن های تک سو YAGI است که به طور مثال به عنوان آنتن تلویزیون استفاده می شود. مزیت استفاده از چنین آنتن هایی ، سیگنال قوی و جهت کاملاً مشخص استفاده از آن است. در نتیجه باعث می شود که مسافت های طولانی تری را برای استفاده پوشش دهد.

### آنتن های چند سو<sup>۱۳</sup> :

بیشتر آنتن های رادیویی دارای این قابلیت هستند که در مد یک سو و یا مد چند سو کار کنند. آنتن های چند سو سیگنال های رادیویی را در زاویه ۳۶۰ درجه دریافت و ارسال می کنند. به این نوع از آنتن ، آنتن تک قطبی نیز می گویند. آنتن تک قطبی به صورت میله ای است که در بالای یک صفحه رسانا قرار دارد و معمولاً نسبت به آن قائم قرار می گیرد. منبع تغذیه در این نوع آنتن ها در بین میله و زمین قرار می گیرد و یک سر آن به میله و سر دیگر آن به زمین وصل می شود. این آنتن در مقابل آنتن دوقطبی قرار دارد که دارای دو میله است که منبع تغذیه بین آن دو میله قرار می گیرد. مزیت این آنتن نسبت به آنتن دوقطبی ابعاد کوچک تر آن است که باعث افزایش استفاده آن در موارد عمومی شده است. این آنتن ها در اتومبیل ها هم به کار می رود که در این حالت سقف اتومبیل به عنوان صفحه زمین عمل می کند. بدیهی است که در این حالت میله آنتن کاملاً افقی قرار نمی گیرد.

---



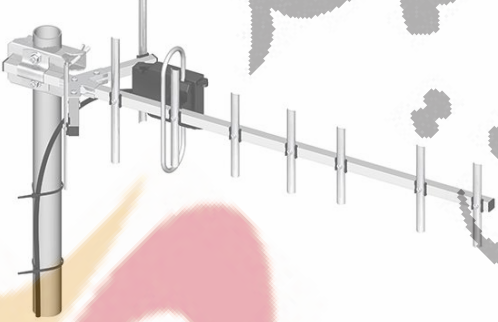

<sup>10</sup> Gain

<sup>11</sup> dBi

<sup>12</sup> Directional

<sup>13</sup> Omnidirectional

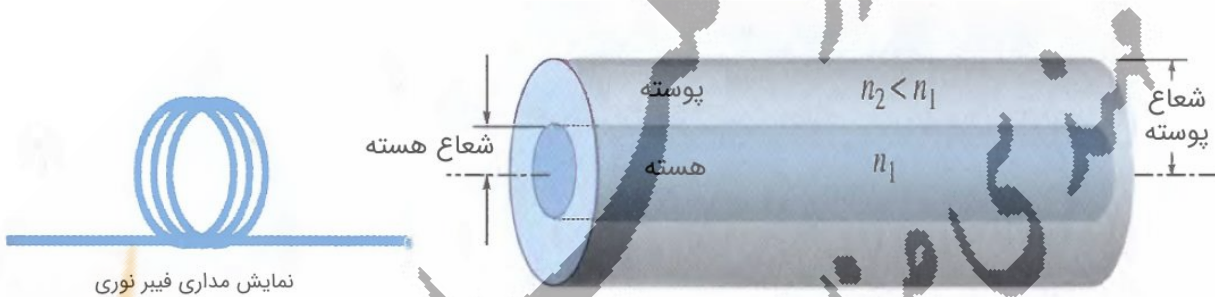
در زیر تصویر چند مدل مختلف از آنتن های رادیویی نمایش داده شده است :

	آنتن های LTE
	آنتن های UMTS
	آنتن چند جهته
	آنتن تک جهته

# فیبر نوری

## فیبر نوری چیست؟

اطلاعات به شیوه‌های مختلفی نظیر موج مکانیکی صوتی، امواج الکترومغناطیسی رادیویی و اپتیکی، علائمی نظیر دود و ... مخابره می‌شوند. محیط انتقال هر کدام از روش‌های فوق می‌تواند متفاوت باشد. به طور مثال محیط انتقال بین دو نفر که به طور مستقیم در حال صحبت کردن هستند، هوا است. یا در صحبت تلفنی، یک سیم مسی کشیده شده از خانه به سمت مرکز تلفن (مخابرات)، کانال انتقال پیام است. در مورد تلفن همراه نیز، اطلاعات توسط محیط انتقال هوا از طریق امواج الکترومغناطیسی در فرکانس‌های رادیویی و میکروویو منتشر می‌شود.



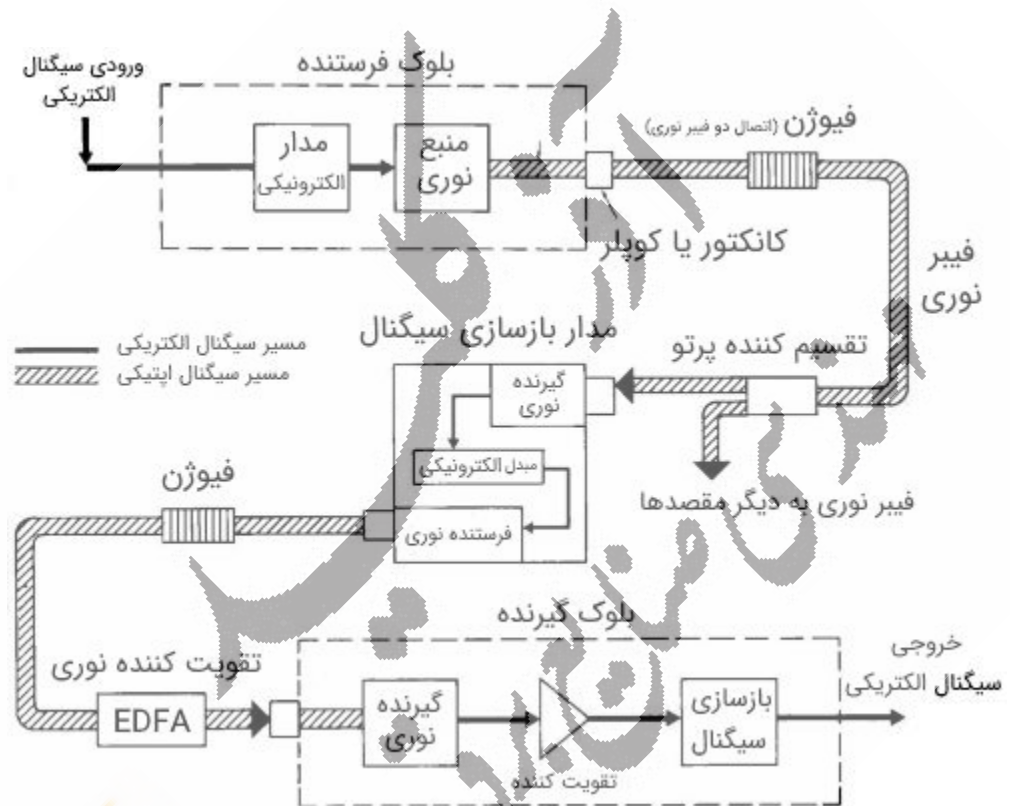
شکل (۱): فیبر نوری از دو قسمت اصلی هسته و پوسته تشکیل شده است. ضریب شکست هسته جهت هدایت نور از طریق بازتاب داخلی کلی، باید بزرگتر از پوسته باشد.

فیبر نوری یکی دیگر از محیط‌های انتقال پیام بوده که اطلاعات از طریق نور در آن منتشر می‌شوند. احتمالاً شنیده‌اید که فیبر نوری لوله شیشه‌ای یا پلاستیکی بسیار نازکی است که می‌تواند نور لیزر را به مکانی دیگر هدایت کند. یکی از کاربردهای ابتدایی فیبر نوری در اوایل کشف (دهه ۱۹۵۰ میلادی)، استفاده در سیستم‌های اندوسکوپی برای رصد داخل بدن انسان بود. با بهبود ساختار فیبرهای نوری، در دهه ۱۹۶۰ میلادی، از فیبر نوری برای انتقال تماس تلفنی با سرعت نور استفاده کردند. البته بهتر است که بگوییم سرعت نور در فضای آزاد برابر با  $3 \times 10^8 \text{ms}$  بوده که به دلیل ضریب شکست شیشه (هسته فیبر) به حدود یک سوم این مقدار کاهش پیدا می‌کند.

## کابل فیبر نوری

کابل‌های فیبر نوری از رشته‌های بسیار نازکی از جنس شیشه یا پلاستیک ساخته شده‌اند. یک کابل می‌تواند بیش از ۱۰۰ فیبر نوری را در خود جای دهد. هر فیبر نوری (تک رشته) می‌تواند ضخامتی در حدود یک دهم تار موی انسان داشته باشد. این تک رشته بسیار نازک، توانایی انتقال ۲۵۰۰۰ تماس تلفنی در لحظه را دارد. پیش‌تر بیان کردیم که فیبرهای نوری، اطلاعات را بین دو

مکان از طریق نور منتقل می‌کنند. برای انتقال اطلاعات از طریق نور، باید بتوانیم اطلاعات را به نور تبدیل کنیم. البته اصطلاح دقیق‌تر و علمی‌تر این است که اطلاعات را به صورت اپتیکی مدوله کرده تا بتوان آن‌ها را از طریق نور ارسال کرد. در زبان فارسی ترجمه غالب کلمه اپتیک، نور است. توجه داشته باشید که منظورمان از کلمه نور، صرفاً امواج ناحیه مرئی نبوده و منظور، طیف اپتیکی (مادون قرمز، مرئی و فرابنفش) است. طول موج‌های استاندارد مخابرات فیبر نوری 1310nm و 1490nm، 1550nm است که در ناحیه مادون قرمز قرار دارند.

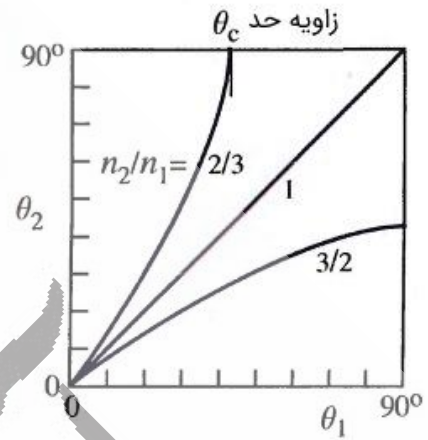
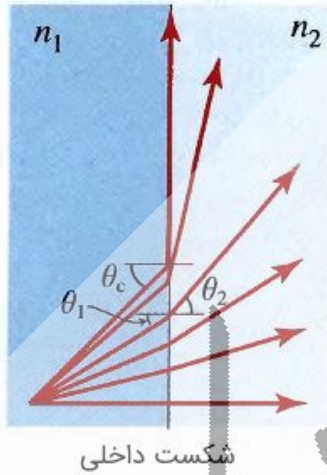
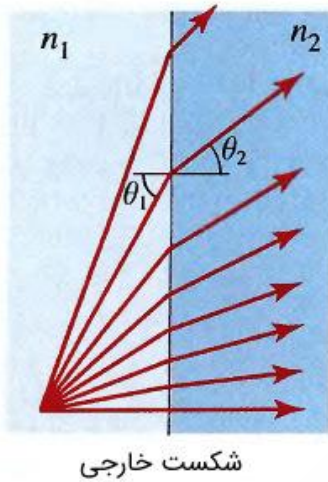


شکل (۲): شماتیکی از یک لینک مخابرات فیبر نوری

### فیبر نوری چگونه کار می‌کند؟

اساس کار و چگونگی انتشار نور در فیبر نوری اصلاً بحث پیچیده‌ای نبوده و بر اساس قانون بازتاب کامل (داخلی کلی) کار می‌کند. می‌دانیم که مطابق با قانون اسنل اگر نور تحت زاویه‌ای بزرگتر از زاویه حد  $\theta_c$  به سطح مشترک دو محیط با ضریب شکست‌های مختلف بتابد، دچار بازتاب کامل (داخلی) می‌شود. به یاد داریم که قانون اسنل به شکل زیر است:

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

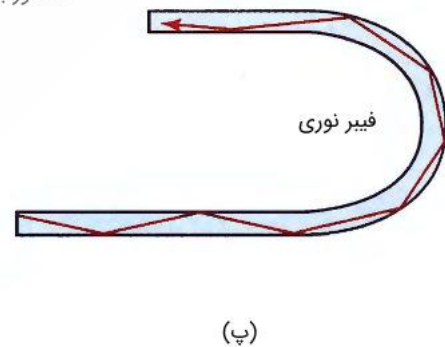
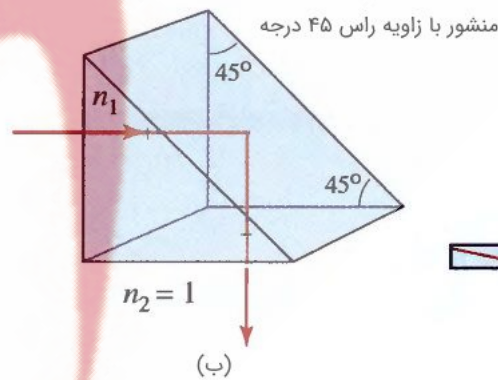
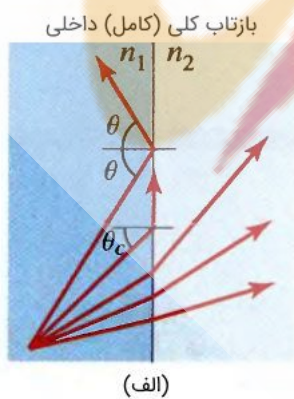


شکل (۳): برحسب مقادیر ضریب شکست دو محیط، می‌توان دو نام شکست داخلی ( $n_1 > n_2$ ) و خارجی ( $n_2 > n_1$ ) را به انواع شکست اختصاص داد.

در رابطه فوق  $n_1$  ضریب شکست محیط اول،  $\theta_1$  زاویه تابش در مرز دو محیط،  $n_2$  ضریب شکست محیط دوم و  $\theta_2$  زاویه شکست است. مطابق با شکل (۳) و قانون اسنل، اگر زاویه شکست  $90^\circ$  درجه باشد، نور روی مرز مشترک دو محیط شکسته می‌شود. از قانون اسنل، زاویه‌ای که در آن این امر محقق می‌شود، به صورت زیر است:

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin 90^\circ$$

زاویه فوق، به زاویه حد معروف است. حال اگر نوری تحت زاویه‌ای بیشتر از زاویه حد به مرز مشترک دو محیط بتابد، به طور کامل از مرز مشترک بازتاب شده و وارد محیط دوم نمی‌شود. مطابق با شکل (۳) و (۴) این حالت وقتی رخ می‌دهد که نور از محیطی غلیظ (ضریب شکست بیشتر) به مرز مشترک محیطی با ضریب شکست کمتر (محیط رقیق) برخورد کند. در واقع در شکست‌های داخلی ( $n_1 > n_2$ ) این امر محقق می‌شود.

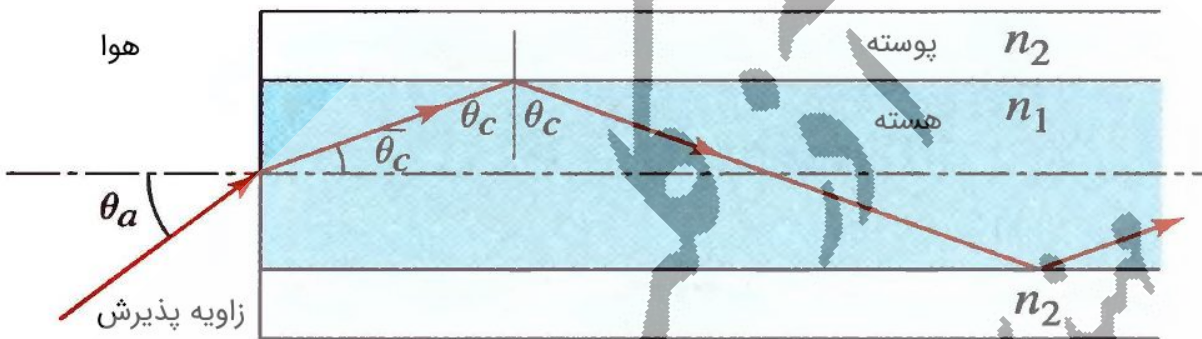


شکل (۴): الف. اگر نوری تحت زاویه  $\theta > \theta_c$  به مرز مشترک دو محیط با شرط برخورد کند، به صورت کامل بازتاب می‌شود. ب. اگر نوری از هوا با ضریب شکست تقریبی ۱ به منشوری با زاویه راس  $45^\circ$  درجه و ضریب شکست  $n = \sqrt{2}$  وارد شود، از وجه دیگر آن



بدون شکست و به صورت مستقیم خارج می‌شود. پ. فیبر نوری بر اساس قانون بازتاب داخلی کلی، پرتو نور را به جلو هدایت می‌کند.

فیبر نوری از دو قسمت اصلی هسته و پوسته که ضریب شکستی متفاوت دارند، ساخته شده است. نور در هسته با ضریب شکست  $n_1$  منتشر شده و در صورت برخورد به مرز مشترک هسته و پوسته با ضریب شکست دچار بازتاب داخلی کامل می‌شود. توجه داشته باشید که ضریب شکست هسته از ضریب شکست پوسته بیشتر است.



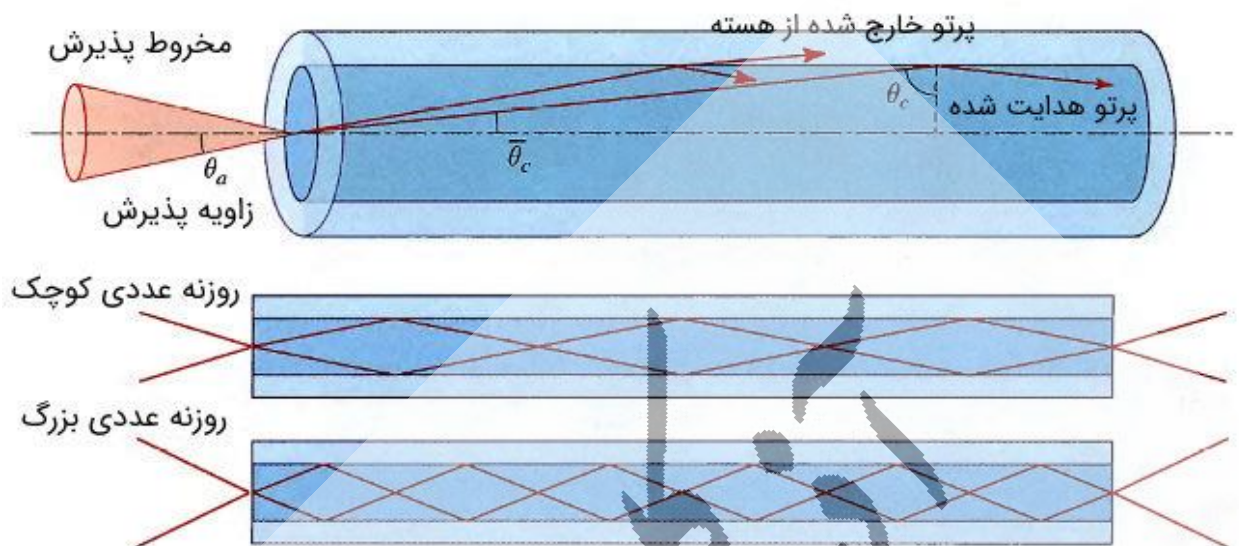
شکل (۵): بازتاب کلی در محیط فیبر نوری برای پرتوهایی که با زاویه بزرگ‌تر از  $\theta_c$  به مرز مشترک هسته و پوسته برخورد می‌کنند  $\theta_c$ .

یکی از پارامترهای مهم یک فیبر نوری، زاویه پذیرش<sup>۱۴</sup> یا روزنه عددی<sup>۱۵</sup> آن است که آن را به  $\theta_a$  نمایش می‌دهند. زاویه پذیرش تعیین می‌کند که اگر نوری با زاویه‌ای کمتر از آن به فیبر نوری وارد شود، دچار شکست کامل شده و می‌تواند در فیبر نوری منتشر شود. پرتوهایی که در زاویه  $\theta_a$  و بزرگ‌تر از آن به فیبر وارد شوند، در مرز مشترک هسته و پوسته دچار شکست شده و به داخل پوسته نفوذ کرده و در نتیجه تلف می‌شوند. با در نظر گرفتن  $\theta_a$  برای هر دو نیمه بالایی و پایینی فیبر، می‌توانیم مخروطی به نام مخروط پذیرش<sup>۱۶</sup> تعریف کرده که اگر نوری در آن قرار گیرد، می‌تواند توسط فیبر نوری هدایت شود.

<sup>14</sup> Acceptance Angle

<sup>15</sup> Numerical Aperture

<sup>16</sup> Acceptance Cone



شکل (۶): تنها پرتوهایی امکان انتشار در محیط فیبر نوری را دارند که با زاویه‌ای کمتر از زاویه پذیرش به فیبر نوری وارد شوند. مطابق شکل فوق، نور حین انتشار در فیبری با زاویه پذیرش (روزنه عددی) بزرگتر، به تعداد بیشتری دچار بازتاب کامل می‌شود.

### فیبر نوری در ایران

در ایران در اوایل دهه ۶۰، فعالیت‌های پژوهشی در زمینه فیبر نوری در پژوهشگاه، برپایی مجتمع تولید فیبر نوری در پونک تهران را در پی داشت و در سال ۱۳۶۷، کارخانه تولید فیبر نوری در یزد به بهره برداری رسید. عملاً در سال ۱۳۷۳ تولید فیبر نوری با ظرفیت ۵۰۰۰۰۰ کیلومتر در سال در ایران آغاز شد. فعالیت استفاده از کابل‌های نوری در دیگر شهرهای بزرگ ایران آغاز شد تا در آینده نزدیک از طریق یک شبکه ملی مخابرات نوری به هم بپیوندند. در همان سال ۱۳۶۷ نخستین خط مخابراتی تار نوری بین تهران و کرج به کار افتاد.

اولین پروژه فیبرنوری با اجرای ۷۰۰ کیلومتر کابل با ۱۳ هزار کانال بین چندین مسیر با هزینه‌ای بالغ بر ۴۰ میلیارد ریال بین سالهای ۶۹ تا ۷۳ انجام شد. در برنامه دوم توسعه پروژه فیبرنوری با ۱۱۶۰۰ کیلومتر کابل با ۶۲۰ هزار کانال بین شهری با هزینه ۶۵۴ میلیارد ریال در سالهای ۷۴ تا ۷۸ به انجام رسید و نهایتاً در برنامه سوم توسعه ۱۷۸۵۰ کیلومتر تا ۲ میلیون کانال با پروتکشن بین شهرهای کشور با هزینه‌ای بالغ بر ۱۰۳۵ میلیارد در سالهای ۷۹ تا ۸۳ اجرا شد.

پروژه تار نوری آسیا-اروپا که به TAE مشهور است دارای ۲۴۰۰۰ کیلومتر طول است و از چین، قرقیزستان، ازبکستان و ترکمنستان، ایران، ترکیه، اوکراین و آلمان می‌گذرد. ظرفیت قابل حمل این خط، ۷۵۶۰ کانال تلفنی است.

## فیبر نوری (لوله نور POF, PCF, QOF) در ایران

از سال ۱۳۸۷ تحقیقات وسیعی در مورد این نوع از فیبرها در مرکز فناوری تخصصی صورت گرفت و در سال ۱۳۸۸ محققان ایرانی در شهر اصفهان موفق به ساخت و تولید نسل نوین فیبرهای نوری (POF, PCF, QOF) گردیدند و با دستیابی به تکنولوژی ساخت و تولید آنها ایران در زمره معدود کشورهای دارنده تکنولوژی ساخت (POLYMER OPTICAL FIBER, PLASTIC CLAD FIBER) قرار گرفت. فیبرهای نوری POF برای انتقال نور مرئی و بسیاری از کاربری‌های دیگر قابل استفاده هستند و در بحث انتقال دیتا سرعتی حدود ۴۰ گیگا بیت در ثانیه دارند که در مقایسه با فیبرهای نوری شیشه‌ای حدود ۴۰۰ برابر بیشتر می‌باشد. فیبرهای QOF, PCF جهت مصارف خاص صنایع مختلف از قبیل سنسورها و انتقال دیتا بسیار کار آمد است. در کل موارد استفاده از این فیبرها موجب دستیابی به تجهیزات با تکنولوژی بالا (HiTech) است که در انحصار بعضی از دولتها قرار داشته‌است.

## فیبرهای نوری نسل سوم

طراحان فیبرهای نسل سوم، فیبرهایی را مد نظر داشتند که دارای کمترین تلفات و پاشندگی باشند. برای دستیابی به این نوع فیبرها، محققین از حداقل تلفات در طول موج ۱۵۵۰ نانومتر و از حداقل پاشندگی در طول موج ۱۳۱۰ نانومتر بهره جستند و فیبری را طراحی کردند که دارای ساختار نسبتاً پیچیده تری بود. در عمل با تغییراتی در پروفایل ضریب شکست فیبرهای تک مد از نسل دوم، که حداقل پاشندگی آن در محدوده ۱۰۳ میکرون قرار داشت، به محدوده ۱۰۵۵ میکرون انتقال داده شد و بدین ترتیب فیبر نوری با ماهیت متفاوتی موسوم به فیبر دی.اس. اف **D.S.F. Fiber** ساخته شد.

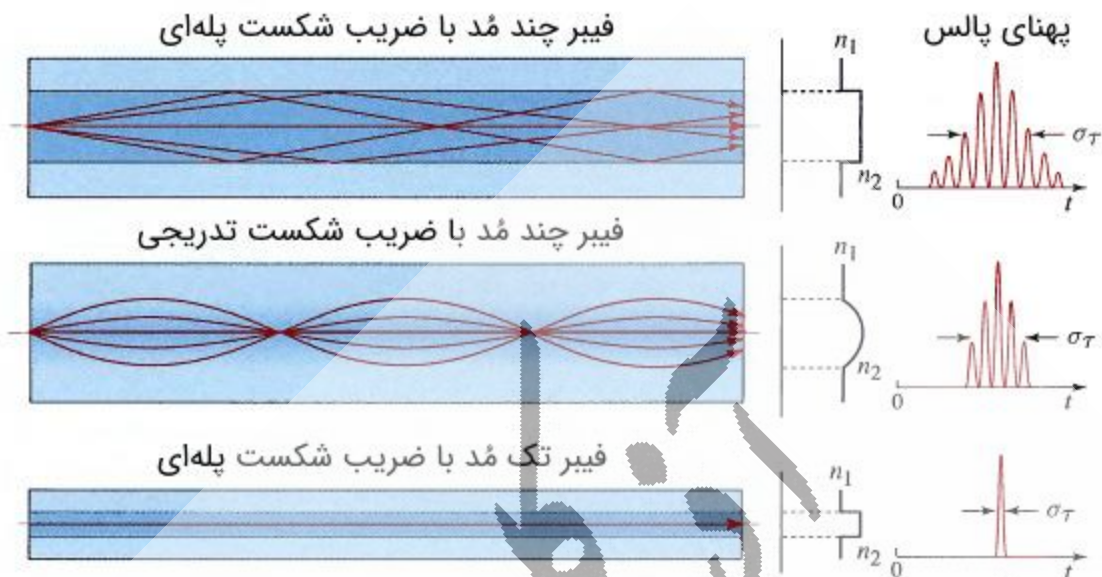
## انواع فیبر نوری

فیبر نوری، سیگنال‌های نوری را در حالت‌های مختلفی منتشر می‌کند. این حالت‌های مختلف به مُد یا مود<sup>۱۷</sup> معروف هستند. به بیان ساده به حالت‌های مختلف انتشار موج، درون فیبر نوری مُد می‌گویند. به مسیری که پرتو نور در یک فیبر نوری طی می‌کند نیز مُد می‌گویند. دقت داشته باشید که تعریف اول در خصوص مُد، دقیق‌تر و علمی‌تر است.

ساده‌ترین نوع فیبر نوری، مدل تک مود<sup>۱۸</sup> است. فیبرهای نوری تک مد عموماً هسته‌ای به قطر کمتر از ۱۰ میکرومتر دارند. می‌توان گفت که سیگنال نوری (پرتو نور) تنها در یک حالت و در وسط هسته فیبر حرکت می‌کند. برای مسافت‌های طولانی (در حدود ۱۰۰ کیلومتر) و ارسال حجم زیادی از اطلاعات نظیر کانال‌های تلویزیونی HD و اینترنت پر سرعت، غالباً از فیبر نوری تک مد استفاده می‌شود. همان‌طور که در شکل (۷) مشاهده می‌شود پهنای پالس در فیبرهای نوری تک مُد بسیار باریک بوده و لذا دچار پهن‌شدگی کمتری نسبت به فیبرهای چند مد می‌شود. از همین حیث دارای تلف کمتری نسبت به دیگر فیبرها هستند. دلیل استفاده از فیبرهای تک مد در ارتباطات راه دور و پهن‌بند نیز همین امر است.

<sup>17</sup> Mode

<sup>18</sup> Single Mode

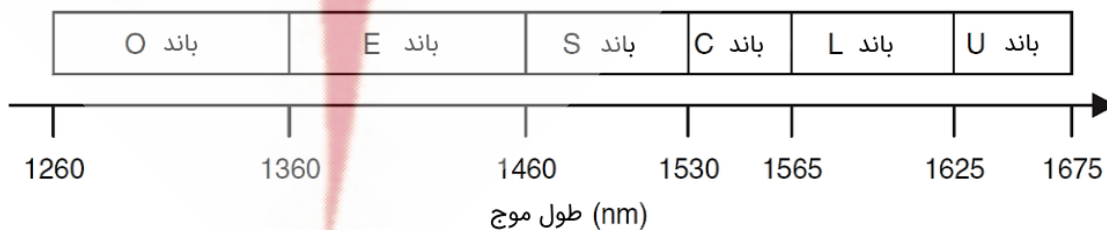


شکل (۷): پروفایل ضریب شکست فیبرهای نوری تک مد و چند مد. پالس‌های اپتیکی در فیبرهای نوری تک مد کمتر پهن شده و امکان استفاده در مسیله‌های طولانی را به ما می‌دهند.

نوع دیگر فیبرهای نوری، مالتی مد<sup>۱۹</sup> نامیده می‌شوند. هسته یک فیبر مالتی مد می‌تواند تا ۱۰ برابر بزرگتر از هسته یک فیبر تک مد باشد. همان‌طور که از نام این فیبر نوری بر می‌آید، سیگنال اپتیکی در چند حالت مختلف می‌تواند از طریق فیبر ارسال شود. از فیبرهای مالتی مد معمولاً در فاصله‌های کوتاه و یا در شبکه‌های کامپیوتری یک سازمان کوچک استفاده می‌کنند.

مدلی از فیبرهای چند مد وجود دارند که ضریب شکست هسته آنها به صورت تدریجی تغییر کرده و عددی ثابت نیستند. در واقع ضریب شکست هسته این مدل فیبرهای نوری تابعی از مکان است (شکل ۷). تصویر زیر محیطی را نشان می‌دهد که ضریب شکست آن به صورت تدریجی و به صورت تابعی از مکان تغییر می‌کند. در این نوع فیبرهای نوری به نظر می‌آید که نور خم شده است. اما در واقع نور به تعداد خیلی زیادی دچار شکست می‌شود. فیبرهای چند حالتی دارای هسته بزرگتر (تقریباً ۶۲٫۵ میکرون قطر) و قادر به ارسال نور مادون قرمز از طریق LED می‌باشند.

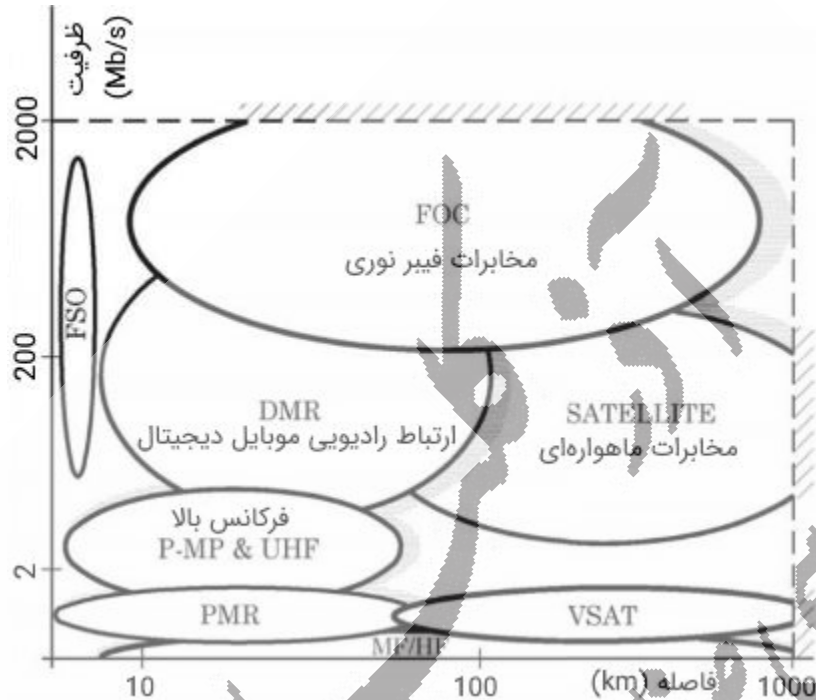
شکل (۸) باندهای طول موجی مخابرات فیبر نوری را نشان می‌دهد. محدوده طول موجی باندهای مخابرات نوری در ناحیه **مادون قرمز** است.



<sup>19</sup> Multi Mode



شبکه‌های مخابرات فیبر نوری به دلیل ظرفیت بسیار بالا و مسافتی که پوشش می‌دهند، از اهمیت بسیار زیادی برخوردار هستند. در شکل (۹) ظرفیت و مسافتی که مخابرات نوری مبتنی بر فیبر مهیا می‌کند، جهت مقایسه با سایر لینک‌های مخابراتی آورده شده است.



شکل (۹)

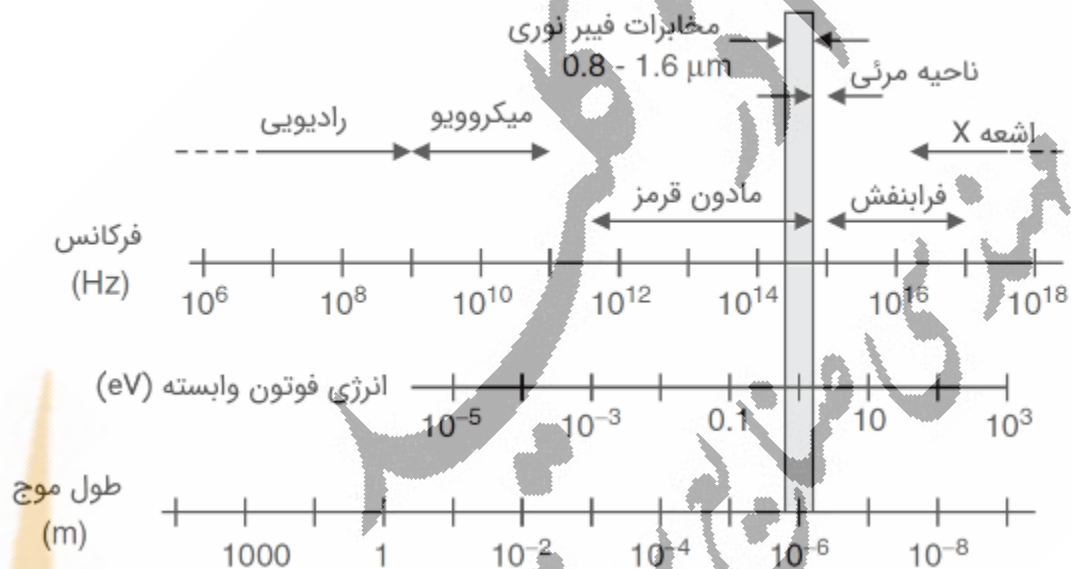
در تصویر فوق عبارت‌های کامل هر یک از لینک‌های مخابراتی به شکل زیر است:

- **FOC** : به معنی مخابرات فیبر نوری و مخفف عبارت (Fiber Optic Communications) است.
- **FSO** : به معنی مخابرات نوری فضای آزاد و مخفف عبارت (Free Space Optical) است. به دلیل اینکه فضای آزاد (هوا) محیطی پاشنده برای نور لیزر تلقی می‌شود، این نوع لینک مخابراتی علی‌رغم ظرفیت بسیار بالا، مسافت خیلی کمی را پوشش می‌دهد.
- **DMR** : به معنی ارتباط دیجیتالی رادیویی موبایل و مخفف عبارت (Digital Mobile Radio) است.
- **UHF** : به معنی ارتباطات در فرکانس‌های بالا (۳ تا ۳۰۰ مگاهرتز) و مخفف عبارت (Ultra High Frequency)
- **P-MP** : به معنی ارتباط یک به چند در شبکه‌های مخابراتی و کامپیوتری و مخفف عبارت (Point to Multi Point) است.



- **PMR**: به معنی ارتباطات بیسیم (بسیستم‌های استفاده شده در جنگ و ...) و مخفف عبارت (Professional/Private Mobile Radio) است.
- **VSAT**: به معنی ارتباطات بین دو دیش (همانند آنچه احتمالاً در بالای پشت‌بام بانک‌ها دیده‌اید) و مخفف عبارت (Very Small Aperture Terminal) است.

شکل زیر ناحیه فرکانسی، طول موج کاری و انرژی فوتون وابسته به سیگنال‌های مخابرات فیبر نوری را در طیف الکترومغناطیسی نشان می‌دهد.



شکل (۱۰)

### مزایا و معایب فیبرها در مقایسه با هم

- مزایای فیبرهای چند مدی در مقایسه با فیبرهای تک مدی
  - بزرگتر بودن قطر هسته
  - ساده تر بودن تزریق انرژی نور به داخل فیبر
  - امکانات بهتر برای اتصال فیبرها به یکدیگر
  - امکان استفاده از هر دو منبع نور لیزر و LED در صورتیکه فیبر تک مدی با نور لیزری بهتر کار می‌کند.

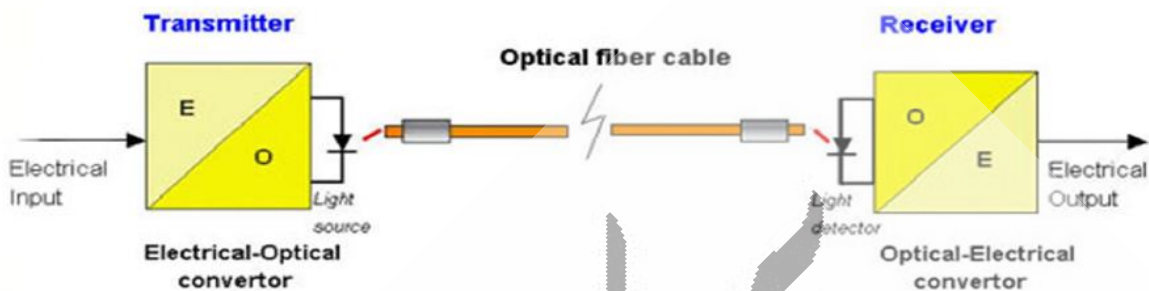
- معایب فیبر چند مدی در مقایسه با فیبر تک مدی
  - فیبر چند مدی دارای اعوجاج بین مدها می باشد.
  - پهنای باند فیبرهای چند مدی، کمتر از فیبر تک مدی می باشد.
  - تلفات یا تضعیف در فیبرهای چند مدی بیشتر است.
  - امکان ساخت فیبرهای چند مدی طولانی(با طول بلند) کمتر است.

#### مواد لازم در فرایند ساخت فیبر نوری

- **تتراکلرید سیلیکون:** این ماده برای تأمین لایه‌های شیشه‌ای در فرایند مورد نیاز است.
- **تتراکلرید ژرمانیوم:** این ماده برای افزایش ضریب شکست شیشه در ناحیه مغزی پیش سازه استفاده می‌شود.
- **اکسی کلرید فسفریل:** برای کاهش دمای واکنش در حین ساخت پیش سازه، این مواد وارد واکنش می‌شود.
- **گاز فلوئور:** برای کاهش ضریب شکست شیشه در ناحیه غلاف استفاده می‌شود.
- **گاز هلیم:** برای نفوذ حرارتی و حباب زدایی در حین واکنش شیمیایی در داخل لوله مورد استفاده قرار می‌گیرد.
- **گاز کلر:** برای آب زدایی محیط داخل لوله قبل از شروع واکنش اصلی مورد نیاز است.

#### سیستم ارتباط بوسیله فیبر نوری

برای پی بردن به اینکه فیبرهای نوری چگونه در سیستم های ارتباطی مورد استفاده قرار می گیرند، اجازه دهید نگاهی بیاندازیم به سندی که مربوط به جنگ جهانی دوم است. دو کشتی نیروی دریایی را در نظر بگیرید که از کنار یکدیگر عبور می کنند و لازم است باهم ارتباط برقرار کنند درحالی که امکان استفاده از رادیو وجود ندارد و یا دریا طوفانی است. کاپیتان یکی از کشتی ها پیامی را برای یک ملوان که روی عرشه است می فرستد. ملوان آن پیام را به کد مورس ترجمه می کند و از نورافکنی ویژه که یک پنجره کرکره جلو آن است برای ارسال پیام به کشتی مقابل استفاده می نماید. ملوانی که در کشتی مقابل است این پیام مورس را می گیرد، ترجمه می کند و به کاپیتان می دهد<sup>۲۰</sup>. حالا فرض کنید این دو کشتی هر یک در گوشه ای از اقیانوسند و هزاران مایل فاصله دارند و در فاصله بین آنها یک سیستم ارتباطی فیبرنوری وجود دارد.



شکل (۱۱): سیستم رله فیبر نوری

سیستم های ارتباطی بوسیله فیبر نوری شامل قسمت های زیر است:

- فرستنده ( Transmitter ) : سیگنالهای نوری را تولید کرده به بصورت رمزی تبدیل می کند.
- فیبر نوری ( Optical Fiber ) : سیگنال های نوری را تا فواصل دور هدایت می کند.
- تقویت کننده نوری ( Optical Regenerator ) : برای تقویت سیگنال های نوری در فواصل طولانی استفاده می شود.
- دریافت کننده نوری ( Optical Receiver ) : سیگنال های نوری را دریافت و رمزگشایی می نماید.

#### فرستنده :

نقش فرستنده شبیه ملوانی است که روی عرشه کشتی فرستنده پیام، ایستاده و پیام را ارسال می کند. فرستنده ابزار تولید نور را در فواصل زمانی مناسب خاموش یا روشن می کند ( مانند پالس های صفر و یک دیجیتالی ). فرستنده درعمل به فیبر نوری متصل می شود و حتی ممکن است دارای لنزی برای متمرکز کردن نور به داخل فیبر هم باشد. قدرت اشعه لیزر بیش از LED ها است. اما با کم و زیاد شدن دما شدت نور لیزر تغییر می کند و گران تر هم هستند. همانطور که قبلا هم اشاره شد ، متداول ترین طول موج هایی که استفاده می شود عبارتند از ۸۵۰ ، ۱۳۰۰ و ۱۵۵۰ نانومتر

#### انواع کابل فیبر نوری بر اساس ویژگی های محیطی :

کابلهای فیبر نوری بسته به محیطی که باید در آن نصب شوند در انواع کاملا متفاوتی تولید می شوند. هر چند که ماهیت تارهای فیبر نوری درون آنها یا از نوع MMF<sup>۲۱</sup> یا SMF<sup>۲۲</sup> با پارامترهای کم و بیش مشابه است.

<sup>21</sup> Multi Mode Fiber

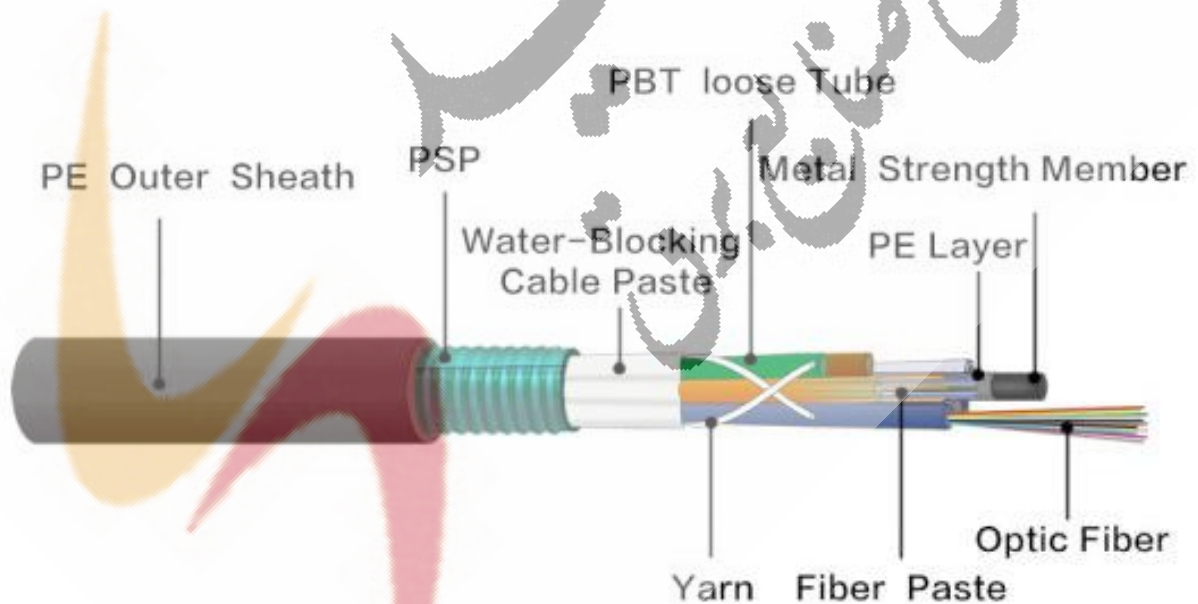
<sup>22</sup> Single Mode Fiber

انواع مختلف کابلهای فیبر نوری را می توان در دو رده کلی زیر دسته بندی کرد:

### کابلهای فیبر نوری جهت کاربرد در بیرون ساختمان ( Outdoor Grades ):

این فیبرها جهت ارتباط بین ساختمانها در خارج از ساختمان بکار می رود. حداکثر فاصله ای که مجاز است این کابل در داخل ساختمان وارد شود 10 متر است . در این نوع کاربرد از کابل فیبر نوری مدل Loose Tube بیشتر استفاده می شود. جهت استحکام و محافظت بیشتر فیبرها از زره<sup>۲۳</sup> استفاده می شود. از دیگر ویژگی های این نوع کابل می توان به موارد زیر اشاره کرد :

- تحمل رطوبت محیطی از 90 تا 100 درصد
- تحمل محدوده دمایی بین -40 تا +80 درجه سانتیگراد
- عدم تجزیه یا استهلاک ژاکت کابل در مقابل نور خورشید
- انعطاف پذیری بالا در مقابل خمش تا کمترین شعاع ممکن
- پوشش بسیار مقاوم در مقابل شعله ور شدن
- قابلیت تحمل فشار بالا
- پوششی که چونده ها مثل موش به آن علاقه نداشته باشند
- تحمل دفن مستقیم زیر خاک



شکل (۱۲): کابل فیبر نوری Outdoor

## کابلهای فیبر نوری جهت کاربرد در درون ساختمان ( Indoor Grades ):

ازین کابلهای جهت استفاده از Backbone شبکه در داخل ساختمان استفاده می شود که دارای محافظتهای فیزیکی مناسبی می باشند. در هر تیوب 24 فیبر نوری قرار دارد که داخل آن ژل بی رنگ قرار دارد تا باعث شود قابلیت انعطاف فیبر بالا رفته و در برابر ضربه مقاوم باشد. ویژگیهای عمومی این نوع از کابل عبارتند از:

- پوششی که در صورت آتش گرفتن گاز سمی از خود متصاعد نکند
- مقاوم در مقابل شعله و ر شدن
- مقاوم در مقابل خمش و در عین حال ظریف و منعطف

### تقویت کننده نوری :

نور حین عبور از فیبر ضعیف می شود. (مخصوصا در فواصل طولانی بیش از نیم مایل یا حدود یک کیلومتر مثلا در کابل های زیر دریا) بنابراین یک یا بیش از یک تقویت کننده نوری در طول کابل بسته می شوند تا نور ضعیف شده را تقویت کنند. یک تقویت کننده نوری دارای فیبرهای نوری با پوشش ویژه ای است. نور ضعیف شده پس از ورود به این تقویت کننده تحت تاثیر این پوشش خاص و نیز نور لیزری که به این پوشش تابیده می شود تقویت می شود. ملکول های موجود در این پوشش ویژه با تابش لیزر به آنها، سیگنال نوری جدید و قوی تولید می کنند که مشخصات آن مشابه نور ورودی به تقویت کننده است. در واقع تقویت کننده نوری یک آمپلی فایر لیزری برای نور ورودی به آن است .

همانطور که از نام یک تقویت کننده سیگنال بر می آید، وظیفه آن تقویت سیگنال ورودی و در واقع افزایش توان به هنگام خارج شدن از آن است. یکی از تقویت کننده های بسیار پر کاربرد در مخابرات نوری تقویت کننده های فیبر نوری آلائیده به عنصر اربوم (Erbium Doped Fiber Amplifier – EDFA) است.



شکل (۱۳): نمایی از یک دستگاه تجاری شده EDFA ، کوپل سیگنال ورودی



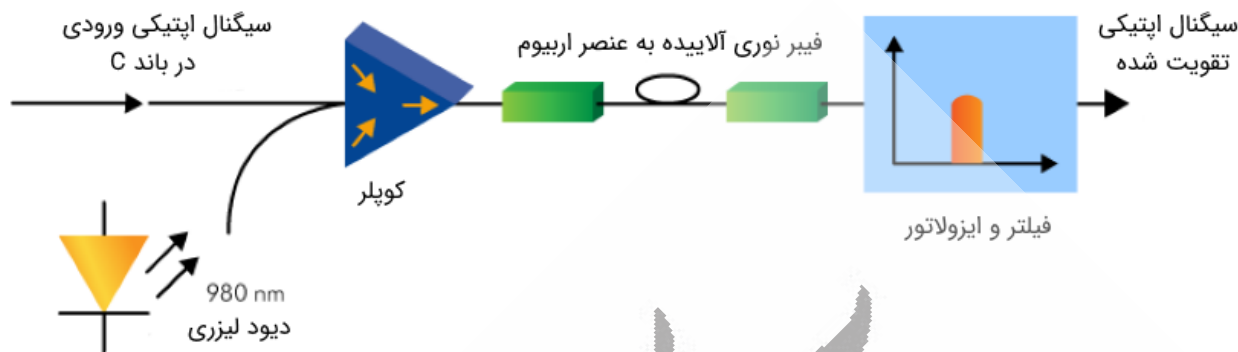
به طور خیلی ساده اساس کار این تقویت کننده به این صورت است که عنصرهای اربوم توسط طول موج مناسب با ناحیه جذب، تحریک شده و الکترون های آن به ترازهای بالاتر می روند. این الکترون ها برای اینکه به حالت پایه برگردند انرژی خود را به صورت **فوتونی** با طول موج نزدیک به طول موج مخابراتی ۱۵۵۰ نانومتر تابش می کنند. این فوتون ها انرژی خود را به سیگنال اپتیکی که از تقویت کننده می گذرد کوپل کرده و در نتیجه توان سیگنال اپتیکی تقویت می شود.



شکل (۱۴): شماتیک تقویت کننده



شکل (۱۵): نمایی از یک تقویت کننده فیبر نوری آلیایده به عنصر اربوم



شکل (۱۶): شماتیک مداری از یک EDFA که در مسیر یک فیبر نوری مخابراتی قرار گرفته است

انواع تقویت کننده :

- R : تنها همان پالسهای اطلاعاتی را تقویت می کند.
- 2R : علاوه بر تقویت پالسهای اطلاعاتی ، شکل پالس را نیز تصحیح می کند.
- 3R : علاوه بر موارد R و 2R ، تایم سنکرون نیز انجام می دهد.

گیرنده نوری :

گیرنده نوری مشابه ملوانی که روی عرشه کشتی گیرنده پیام بود عمل می کند. این گیرنده سیگنال های نوری ورودی را می گیرد، رمزگشائی می کند و سیگنال های الکتریکی مناسب را برای ارسال به کامپیوتر، تلویزیون یا تلفن کاربر تولید و به آنها ارسال می نماید. این گیرنده برای دریافت و آشکارسازی نور ورودی از فتوسل یا فتودیود استفاده می کند.

بعضی از شرکت های تولید کننده تجهیزات فیبر نوری :

- گروه کارخانجات تولیدی شهید قندی
- شرکت شبکه سازان کیهان
- شرکت پارسیان فیبر ارتباط
- مجتمع تولید کابل و اکسسوری فیبر نوری نیرا
- شرکت ارتباطات پایدار
- شرکت آریا ساسل جم
- 3M
- Amphenol

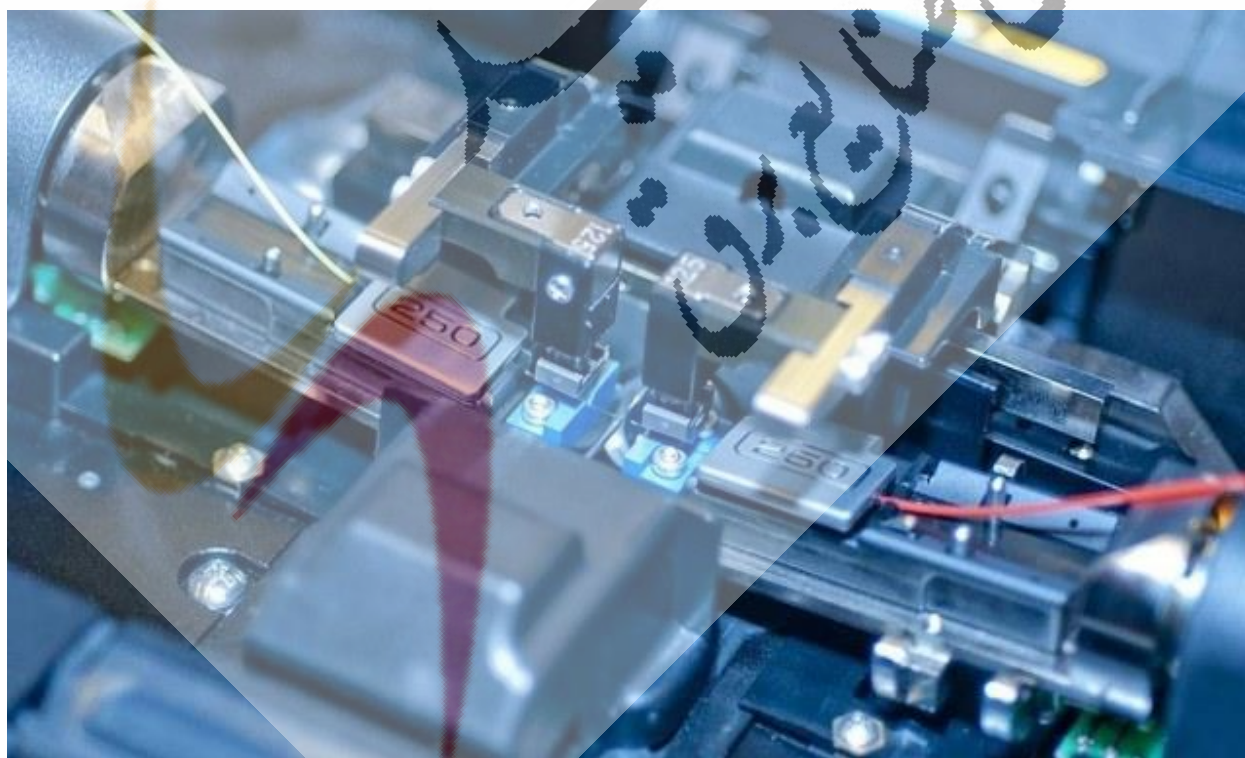
- B+B SmartWorx
- Bel
- Bel Power Solution
- Broadcom
- Cinch Connectivity Solutions
- Everlight
- Finisar
- Formerica
- Glenair
- Harting
- Honeywell
- Intel
- Kycon
- Lantronix
- Leoni
- Legrand
- Maxim Integrated
- Molex
- Nexans
- Omron
- Oring
- Phoenix
- Pulse
- Qorvo
- Radiall
- Schneider
- Semtech
- Superior Essex
- Toshiba
- TT Electronics
- Unicom



بعضی دیگر از تجهیزات و اصطلاحات فیبر نوری :

- **Attenuator** : اتنیتور یا تضعیف کننده های فیبر نوری دستگاهی است که به منظور کاهش سطح قدرت سیگنالهای نوری در انتهای مسیر فیبر نوری مورد استفاده قرار می گیرد. به بیان دیگر اتنیتور ها موجب هماهنگ شدن سطح سیگنال نوری بین ارسال کننده و دریافت کننده ی سیگنال ها می شود.
- **Pigtail** : پیگتیل، کابل فیبر نوری است که یک سر آن کانکتور متصل شده و سر دیگر آن آزاد بوده و به کابل فیبر نوری دیگری فیوژن می شود.
- **Adapter** : آداپتور فیبر نوری یک وسیله کوچک می باشد که برای اتصال فیبر های نوری به همدیگر استفاده می شود به بیان دیگر دستگاه واسطی است که معمولا در پیچ پنل فیبر نوری جهت اتصال پیچ کورد و کانکتور انتهای فیبر نوری قرار می گیرد و بطور

- کلی به دو صورت Simplex و Duplex عرضه می شود. این آداپتورها اشکال مختلفی دارند اما همگی در خدمت یک هدف مشترک هستند. آداپتور فیبر نوری به کابل های فیبر نوری اجازه ی متصل شدن به همدیگر به تنهایی یا ارتباط همزمان چند فیبر در شبکه های بزرگتر را می دهد. معمول ترین استفاده آداپتور فیبر نوری اتصال دو کابل فیبر نوری به یکدیگر می باشد. اتصال دو کابل به همدیگر می تواند به دو دستگاه اجازه ی برقراری ارتباط از راه دور از طریق ارتباط مستقیم با خط فیبر نوری را بدهد. تعدادی از این آداپتور ها برای اتصال ۳ یا ۴ کابل به همدیگر استفاده می شوند. آداپتور ها بسته به نوع آرایش دو کابل که می خواهند به هم متصل شوند در اشکال مختلفی در دسترس هستند. اگر اتصال کابل ها همگی به یک شکل باشند، می توان از آداپتورهایی با ورودی مربعی، مستطیلی یا دایره ای استفاده کرد. این آداپتور ها دارای دو یا تعداد بیشتری از اتصالات مادگی می باشند که کابل فیبر نوری می تواند به آن متصل شود.
- کانکتور یا کوپلر : سیگنال اپتیکی که در واقع نوری مدوله شده یعنی حاوی اطلاعات است، توسط کانکتور یا کوپلر به فیبر نوری جهت انتشار کوپل می شود.
  - Splitter : اسپلیتر یکی از دستگاه های پسیو بسیار مهم در شبکه های فیبر نوری می باشد، با یک یا دو ورودی و خروجی های متعدد که به دستگاه های فیبر نوری مختلف متصل می شود. ۱ ورودی به N خروجی یا ۲ ورودی به N خروجی
  - فیوژن : در مسیرهای طولانی برای اتصال دو فیبر نوری به یکدیگر یا جایگزینی فیبر نوری جدید با فیبر آسیب دیده (شکستن هسته فیبر یا جویده شدن توسط موجوداتی نظیر موش) از روشی به نام فیوژن (Fusion) استفاده می کنند. این روش، هسته دو فیبر نوری را توسط یک قوس الکتریکی قوی در یکدیگر ذوب می کند. باید توجه شود که قطر هسته های دو فیبر با یکدیگر همسان باشند تا از تلفات توان در نقطه اتصال فیوژن کاسته شود.



شکل (۱۷): دستگاه فیوژن

- **شکافنده پرتو**: برای انشعاب گرفتن از یک مسیر فیبر نوری از وسیله‌ای به نام تقسیم کننده یا شکافنده پرتو (Beam Splitter) استفاده می‌کنند. نکته مهم به هنگام استفاده از شکافنده پرتو توجه به مسئله توان است. شکافنده پرتو، توان ورودی را بین تعداد خروجی‌هایش به طور مساوی تقسیم می‌کند. به طور مثال در شکل زیر برای هر فیبر منشعب شده یک شانزدهم توان ورودی به آن کوپل می‌شود. اگر توان سیگنال ورودی مقدار مناسب و کافی نداشته باشد، شاهد افت شدیدی در طول مسیر و در نتیجه از بین رفتن اطلاعات خواهیم بود.



شکل (۱۸): دستگاه شکافنده پرتو

- **پیچ کورد**: پیچ کورد فیبر نوری، کابلی است که دو سر آن به کانکتور فیبر نوری وصل می‌شود. این وسیله برای ایجاد ارتباط بین تجهیزات و قطعات در شبکه فیبر نوری به کار برده شده و به آن پیچ کیبل نیز گفته می‌شود. انواع متنوعی از پیچ کورد فیبر نوری با انواع مختلف کانکتورها، مانند LC، FC، SC، ST، MU، MTRJ و E2000 و غیره وجود دارد.

### FTTX چیست؟

با پیشرفت و گسترش اینترنت و در نتیجه تولید داده‌های حجیم، نیاز به انتقال این داده‌ها با سرعت بالا در دهه اخیر بیشتر از هر زمان دیگری احساس می‌شود. به عبارت دیگر، خطوط ارتباطی قدیمی مبتنی بر زوج سیم‌های مسی و بی‌سیم (Wireless)، توانایی فراهم کردن پهنای باند شبکه‌های مخابراتی جدید را ندارند.

همان‌طور که پیش‌تر اشاره کردیم، در حال حاضر بهره‌گیری از فیبرهای نوری گزینه‌ای مناسب جهت رفع این مشکل است. در واقع با جایگزین کردن خطوط انتقال مسی با فیبرهای نوری در شبکه‌های مخابراتی و کامپیوتری، می‌توانیم شبکه‌ای پهن‌بند با سرعت انتقال بالا داشته باشیم. چنین شبکه‌های مخابراتی که در آن‌ها از فیبرهای نوری استفاده شده است، غالباً به شبکه‌های FTTX معروف هستند که کوتاه شده عبارت Fiber To The X است، برای هر ساختار شبکه پهن‌بندی استفاده می‌شود که از فیبر نوری در تمام یا قسمتی از آن استفاده شده باشد.



## ساختارهای مختلف شبکه FTTH

می‌توان گفت جهت راه‌اندازی یک لینک مخابراتی یا به طور دقیق‌تر یک سیستم یا شبکه دسترسی (Access Network) میان کاربر نهایی و مرکز مخابرات از طریق فیبر نوری، ۳ ساختار (معماری) مختلف وجود دارد.

در ساختار اول که اصطلاحاً به **Point to Point** معروف است، بین مرکز مخابرات و هر کاربر یک رشته فیبر نوری قرار می‌گیرد. این روش به دلیل افزایش تعداد فیبرهای نوری در کاربردهای معمولی و عادی توجیه اقتصادی ندارد. البته در کاربردهایی خاص برای مراکز مهم کشوری، به این روش لینک مخابراتی را فراهم می‌کنند. عبارت **Point to Point** را غالباً به صورت خلاصه **P2P** می‌نویسند.

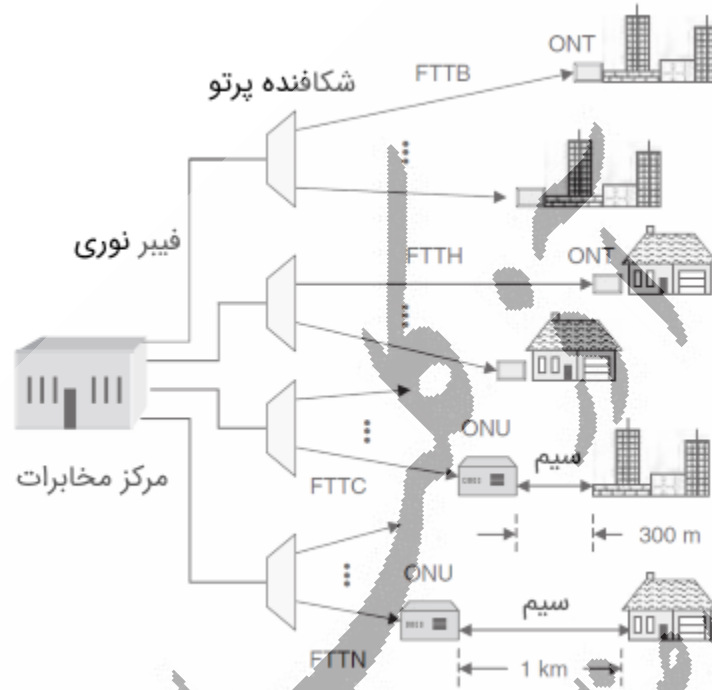
در ساختار دوم که به **Point to Multi Point** معروف است، اطلاعات از طریق یک یا چند رشته فیبر نوری تا مکان خاصی (معمولاً نزدیکی محل کاربران نهایی) به یک دستگاه سویچ (Switch) فرستاده شده و سویچ اطلاعات مخصوص هر کاربر را جداگانه برای کاربر (از طریق فیبر یا زوج سیم مسی) ارسال می‌کند. در جهت عکس، یعنی ارسال اطلاعات از کاربر به مرکز مخابرات نیز، سویچ مذکور اطلاعات هر کاربر را به مرکز مخابرات ارسال می‌کند. در این روش ارتباط مرکز با سویچ مستقیم (**P2P**) بوده و ارتباط سویچ با کاربران **P2MP** است. در ساختارهای **P2MP**، مشکل تعداد زیاد فیبرهای نوری در ساختار **P2P** رفع می‌شود. اما مشکل دیگری که می‌توان به آن اشاره کرد وجود عنصر فعالی (**Active**) مثل سویچ در ساختار شبکه است. عناصر فعال نیاز به تنظیمات داشته و هزینه نگهداری بالایی دارند.

در ساختار سوم که به جای عنصر فعال سویچ، از شکافنده‌های نوری (**Beam Splitter**) که عناصری پسیو (**Passive**) هستند، استفاده می‌کنند.



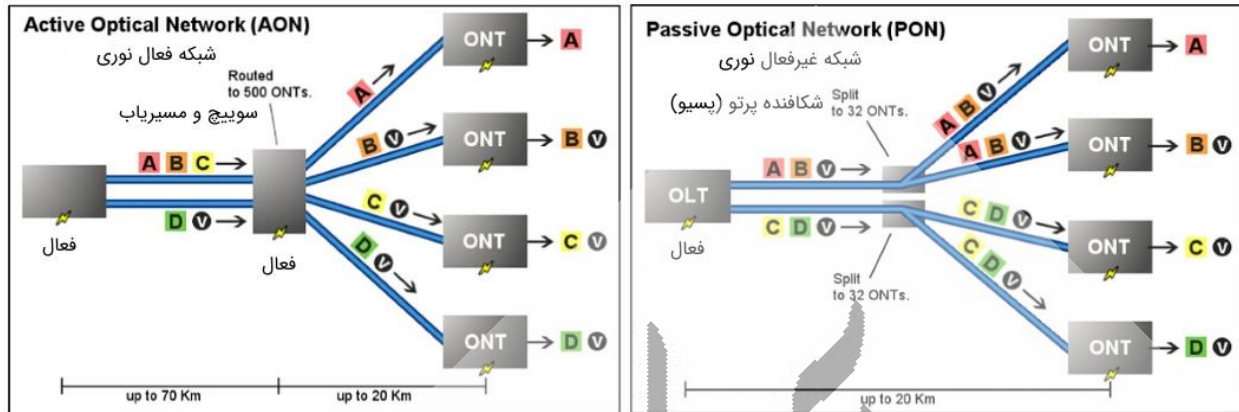
شکل (۱۹): نمایی از یک شکافنده پرتو ۱ به ۳۲

ساختار یا معماری سوم، اصطلاحاً به شبکه‌های نوری غیر فعال (Passive Optical Network : PON) موسوم هستند. شبکه‌های PON خود شبکه‌ای P2MP به حساب می‌آیند. اساس شبکه‌های فیبر نوری FTTH از نوع PON بوده که می‌توان سناریوهای مختلفی جهت طراحی آن، مطابق با شکل زیر، پیشنهاد داد.



شکل (۲۰): ساختارهای (سناریو) مختلف شبکه نوری FTTH

با عبارتهای **ONT** و **ONU** که در شکل نشان داده است در ادامه مطلب آشنا خواهیم شد. لازم به ذکر است که در شبکه‌های نوری فعال (**Active Optical Network : AON**) به دلیل وجود عناصر فعال سویچ و روتر که قادر به فهم سیگنال و کدگذاری‌های بسته‌های داده (**Data**) هستند، اطلاعات مخصوص هر کاربر به صورت اختصاصی ارسال و دریافت می‌شود. در حالی که در شبکه‌های **PON** اطلاعات به صورت کلی ارسال شده و **ONT** داده‌های بی ربط را دراپ (**drop**) کرده و تنها داده مخصوص کاربر را نگه می‌دارد. به هر حال شبکه‌های **PON** به دلیل سادگی ساختار، تخصص کمتر جهت راه‌اندازی و هزینه نگهداری پایین محبوبیت بیشتری نسبت به شبکه‌های **AON** دارند.



A - صوت و داده مخصوص هر کاربر

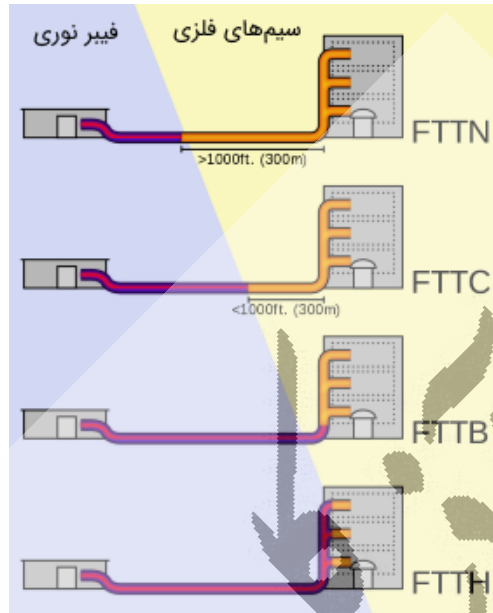
V - IPTV - ویدئو برای تمام کاربران

شکل (۲۱)

همچنین می‌توان در شبکه‌های AON از مدارهای بازسازی سیگنال و تقویت کننده‌های EDFA استفاده کرد که در نتیجه شبکه می‌توان مسافت خیلی بیشتری داشته باشد. شکافنده‌های پرتو، توان نوری را بین خروجی‌های خود به طور مساوی تقسیم می‌کند، به همین دلیل ممکن است که مسافت خیلی کمتری را نسبت به شبکه‌های AON شاهد باشیم.

### FTTH چیست؟

همان‌طور که در شکل (۲۰) مشخص است، در دو سناریو FTTH و FTTB بین مرکز مخابرات و کاربر نهایی به طور تمام از فیبر نوری استفاده شده است. حروف H و B در دو عبارت مذکور به Home و Business\Building اشاره دارند. در واقع منظور از FTTH کوتاه شده عبارت (Fiber To The Home) این است که از مرکز مخابرات تا منزل کاربر، فیبر نوری استفاده شده است. FTTB کوتاه شده عبارت (Fiber To The Building\Business) نیز ساختاری شبیه به FTTH دارد. با این تفاوت که فیبر نوری به جای یک منزل مسکونی یا تک واحد (اداری - مسکونی) به یک ساختمان چندین طبقه وارد می‌شود و آنگاه توسط مودم‌هایی، سرویس‌های مختلف بین کاربران به اشتراک گذاشته می‌شود. بدیهی است سرعت و پهنای باندی که سناریو FTTH برای هر کاربر فراهم می‌کند، بیشتر از سناریوی FTTB است.

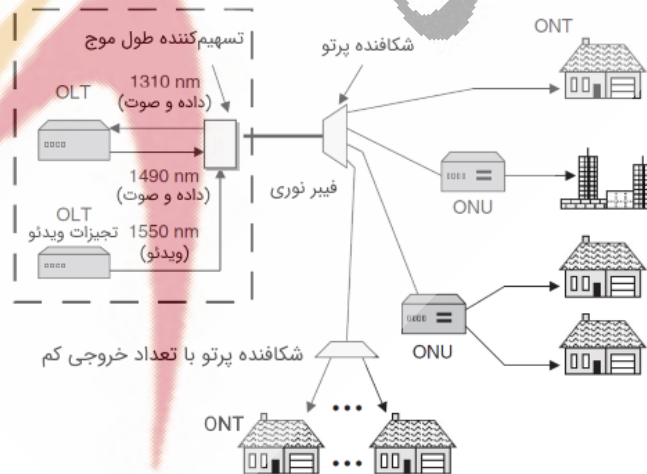


شکل (۲۲): مقایسه بین شبکه FTTH با دیگر ساختارهای FTTX از لحاظ مصرف سیم‌های مسی و فیبر نوری

دو عبارت Fiber To The Cabinet و Fiber To The Node نیز برای سناریوهایی به کار می‌روند که فیبر نوری تا مکان مشخصی تا دستگاه (ONU) کشیده شده و از آن مکان تا مکان کاربر از زوج سیم‌های مسی استفاده می‌شود (شکل ۲۲)

### تکنولوژی شبکه‌های غیر فعال نوری (Passive Optical Network : PON)

همان‌طور که اشاره کردیم، در اکثر ساختارهای FTTX از تکنولوژی PON استفاده می‌کنند. ساختار کلی یک شبکه PON در شکل (۲۳) نشان داده شده است. ملاحظه می‌کنید که در شبکه‌های PON از سه طول موج ۱۳۱۰ ، ۱۴۹۰ و ۱۵۵۰ نانومتر استفاده می‌شود.

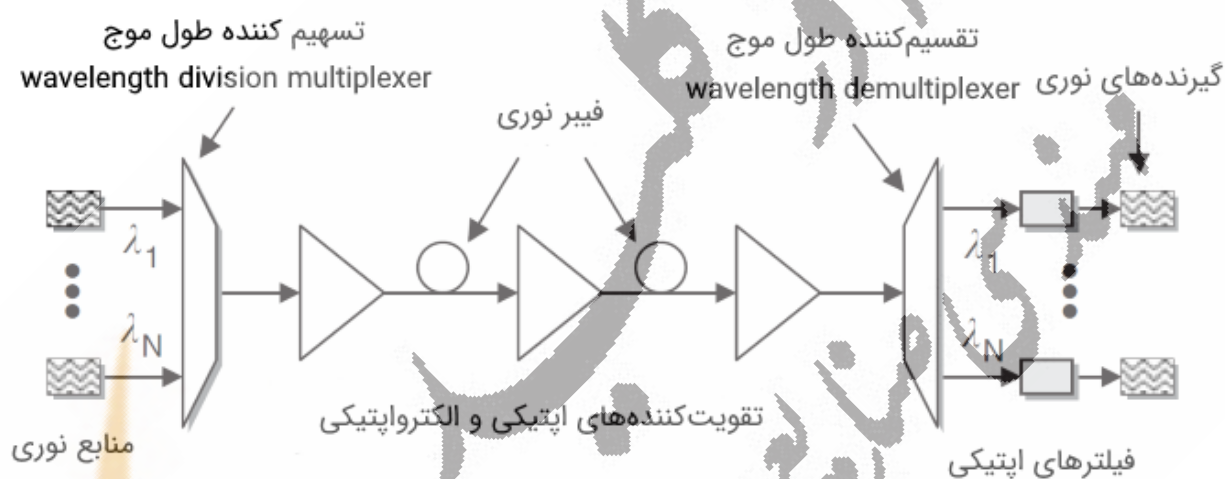


شکل (۲۳): شماتیکی از یک شبکه پسیو فیبر نوری یا به اختصار PON

## تسهیم کننده طول موج (WDM)

در مخابرات جهت بهره‌وری بیشتر از ظرفیت کانال یا محیط انتقال، نظیر هوا، کابل یا فیبرهای نوری از تکنیکی به اسم تسهیم‌سازی با تقسیم فرکانس<sup>۲۴</sup> یا طول موج<sup>۲۵</sup> استفاده می‌کنند.

در واقع تمام پهنای باند کانال مخابراتی را به زیرباندهایی فرکانسی یا طول موجی تقسیم می‌کنند. این زیرباندها هیچگونه تداخلی با یکدیگر نداشته و هر کدام سیگنال جداگانه‌ای را به مقصد منتقل می‌کنند. با این عمل، محیط انتقال با تمام ظرفیتش می‌تواند بین چندین منبع به اشتراک گذاشته شود. به شکل زیر که در آن یک کانال انتقال فیبر نوری بین چندین منبع و گیرنده نوری به اشتراک گذاشته شده است، دقت کنید.



شکل (۲۴): شماتیکی از دستگاه WDM که از آن برای تسهیم کردن طول موج‌های 1490nm و 1550nm در شبکه‌های PON استفاده می‌شود.

جدا از کاربرد فوق، با استفاده از روش‌های FWM یا DWM می‌توان یک اطلاعات سری (بیت‌های سری) را به صورت موازی (چندین بیت هم زمان) ارسال کرد که در نتیجه نرخ انتقال داده افزایش پیدا می‌کند. انتقال کانال‌های تلویزیونی به صورت هم‌زمان از طریق یک کابل یا هوا، انتقال چندین تماس تلفنی از طریق یک کابل و ... مثال‌هایی از تکنیک FWM هستند.

<sup>24</sup> Frequency Division Multiplexing : FDM

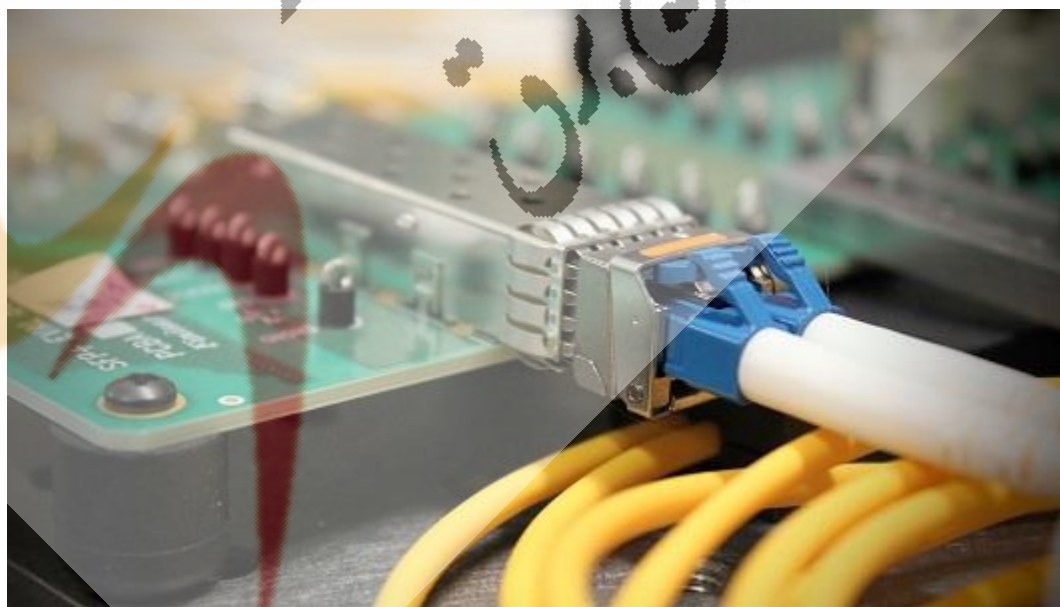
<sup>25</sup> Wavelength Division Multiplexing : WDM





شکل (۲۵) : Small form factor pluggable transceiver

SFP که نمونه‌ای از آن را در شکل فوق مشاهده می‌کنید، کوتاه شده عبارت Small form-factor pluggable transceiver است. در واقع بخش فرستنده دیود لیزر و گیرنده نوری شبکه‌های نوری درون SFP است. جدا از دستگاه‌های OLT که ماژول‌های مختلفی از SFP را پشتیبانی می‌کنند، برخی از سویچ (Switch) و مسیریاب‌ها (Router) نیز چندین پورت برای نصب ماژول SFP دارند. البته سویچ و روترهایی نیز وجود دارند که تماماً از فیبرهای نوری پشتیبانی کنند.



شکل (۲۶): نمایشی از یک SFP که به صورت On-Board روی مدار الکترونیکی قرار گرفته است.

قیمت تجهیزات فیبر نوری در سایت های ایرانی<sup>۲۶</sup>:

ردیف	نام کالا	واحد	قیمت مینیمم به ریال	قیمت ماکزیمم به ریال
۱	کابل سینگل مود	متر	۲۳,۰۰۰	۲۸۰,۰۰۰
۲	کابل مالتی مود	متر	۱۸۵,۰۰۰	۵۰۰,۰۰۰
۳	پچ کورد سینگل مود	عدد	۳۴۰,۰۰۰	۱,۰۰۰,۰۰۰
۴	پچ کورد مالتی مود	عدد	۳۵۰,۰۰۰	۷۲۰,۰۰۰
۵	آداپتور	عدد	۵۰,۰۰۰	۹۰۰,۰۰۰
۶	پیگتیل	عدد	۸۰,۰۰۰	۱,۴۰۰,۰۰۰
۷	ماژول SFP	عدد	۱,۰۰۰,۰۰۰	۴,۷۰۰,۰۰۰
۸	مبدل فیبر نوری به اترنت	عدد	۱۰,۰۰۰,۰۰۰	۲۰,۴۰۰,۰۰۰
۹	تقویت کننده	عدد	۳,۸۰۰,۰۰۰	۳۰,۰۰۰,۰۰۰

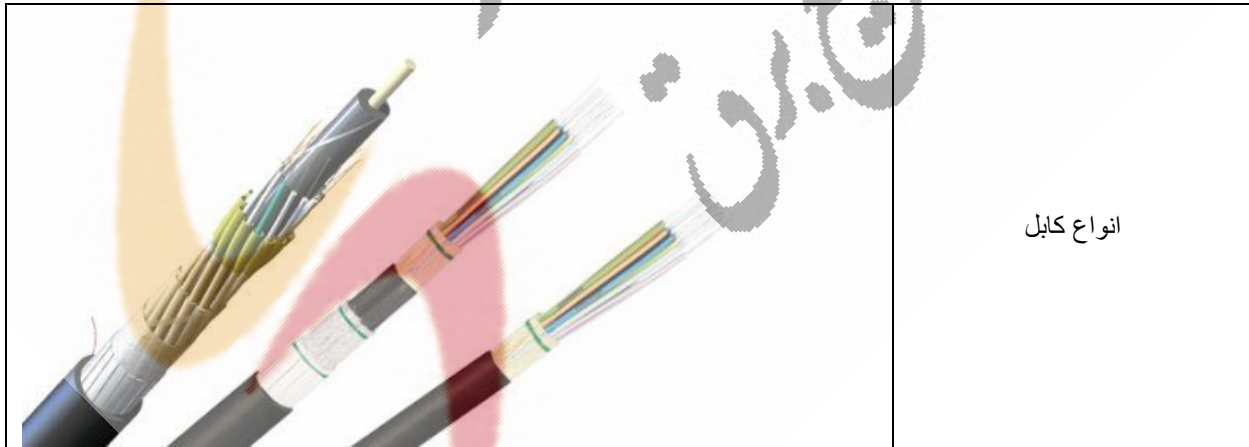
قیمت تجهیزات فیبر نوری در سایت های خارجی<sup>۲۷</sup>:

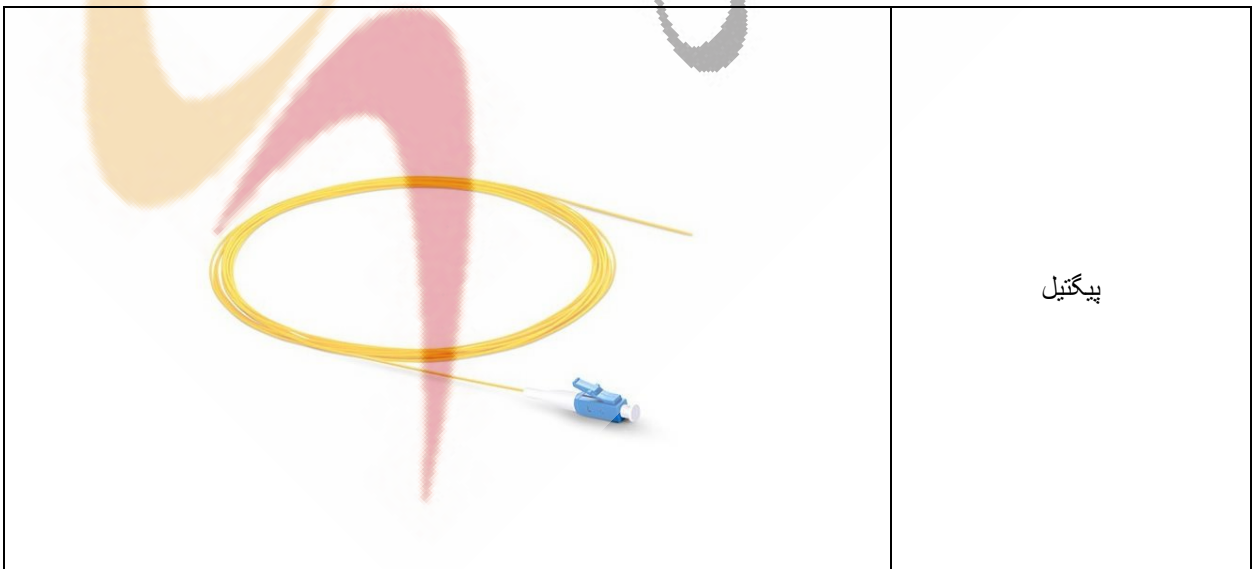
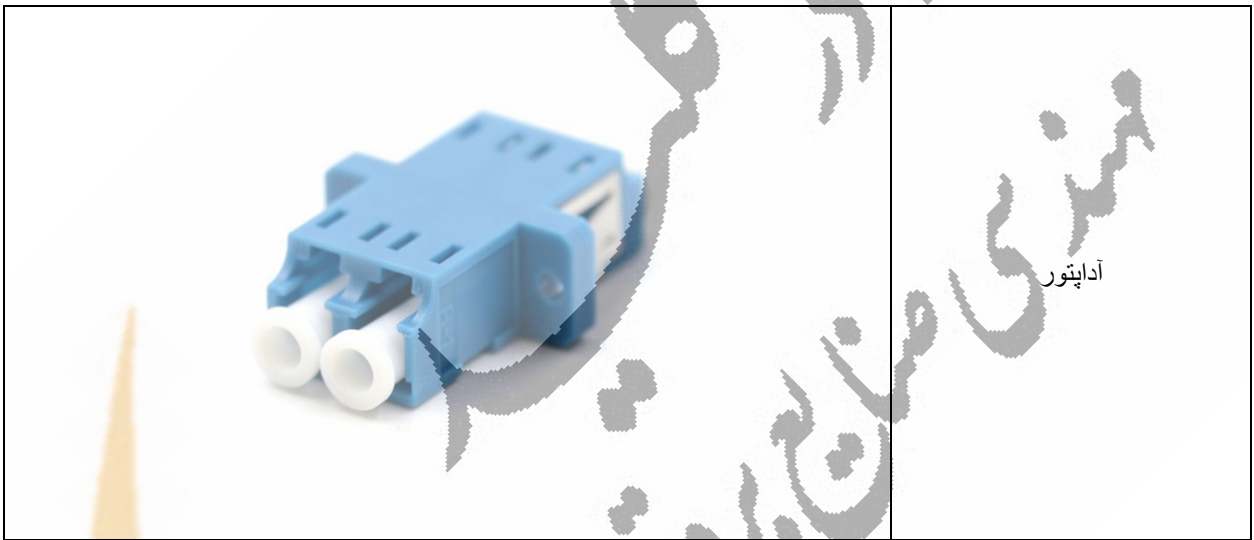
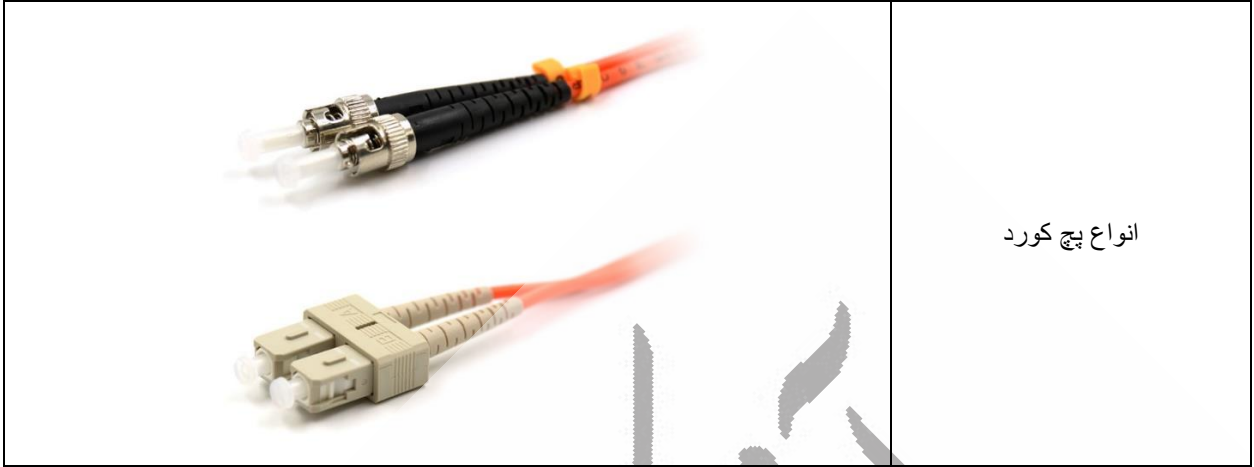
ردیف	نام کالا	واحد	قیمت مینیمم به دلار	قیمت ماکزیمم به دلار
۱	کابل سینگل مود	متر	0.6	10
۲	کابل مالتی مود	متر	0.4	16
۳	پچ کورد سینگل مود ( یک متر کابل )	عدد	4	15
۴	پچ کورد مالتی مود ( یک متر کابل )	عدد	3	17
۵	آداپتور	عدد	0.1	3
۶	پیگتیل	عدد	0.5	22
۷	ماژول SFP	عدد	12	100
۸	مبدل فیبر نوری به اترنت	عدد	17	64
۹	تقویت کننده	عدد		

۲۶ قابل ذکر است که قیمت ها از سایت های آنلاین و بصورت خورده فروشی در تاریخ آبان سال ۱۳۹۸ استخراج شده است

۲۷ قابل ذکر است که قیمت ها از سایت های آنلاین و بصورت خورده فروشی در تاریخ آبان سال ۱۳۹۸ استخراج شده است

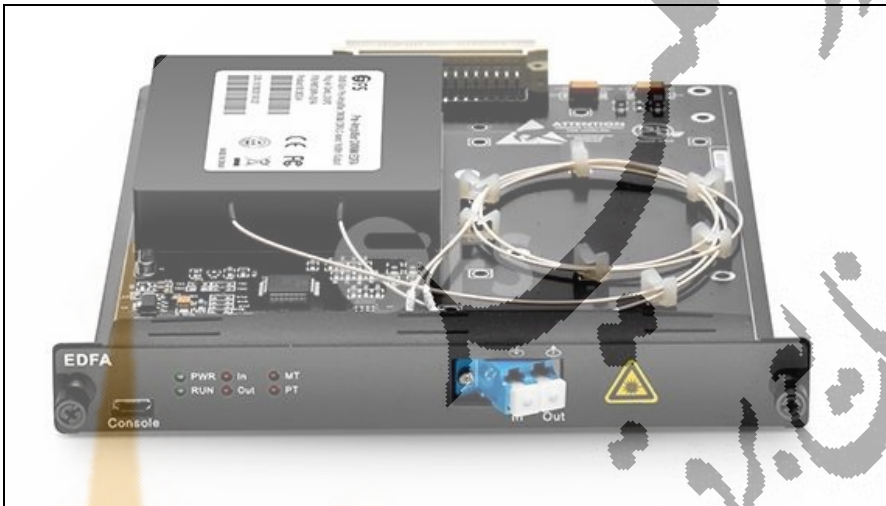
## تصاویر تجهیزات فیبر نوری







ماژول SFP



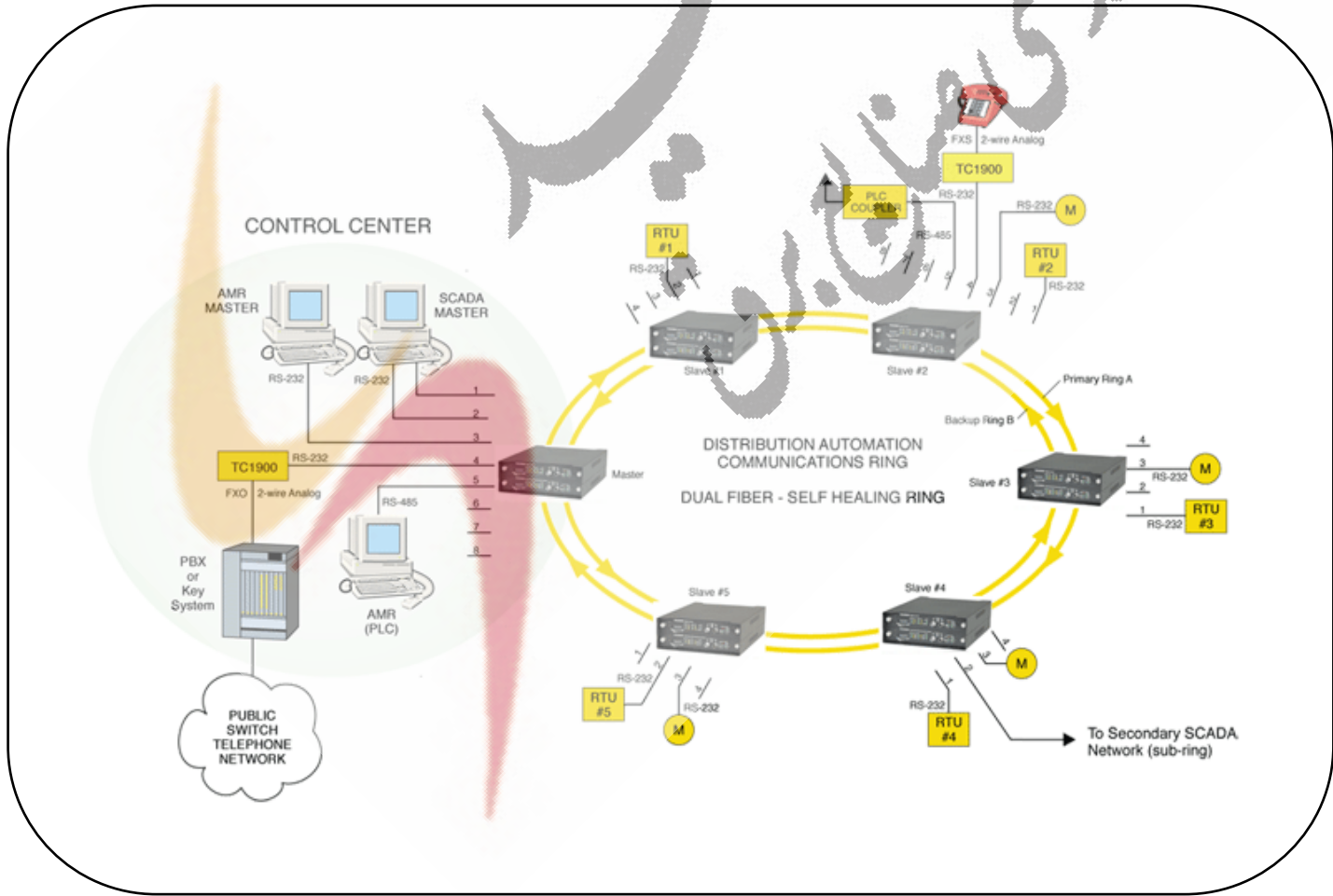
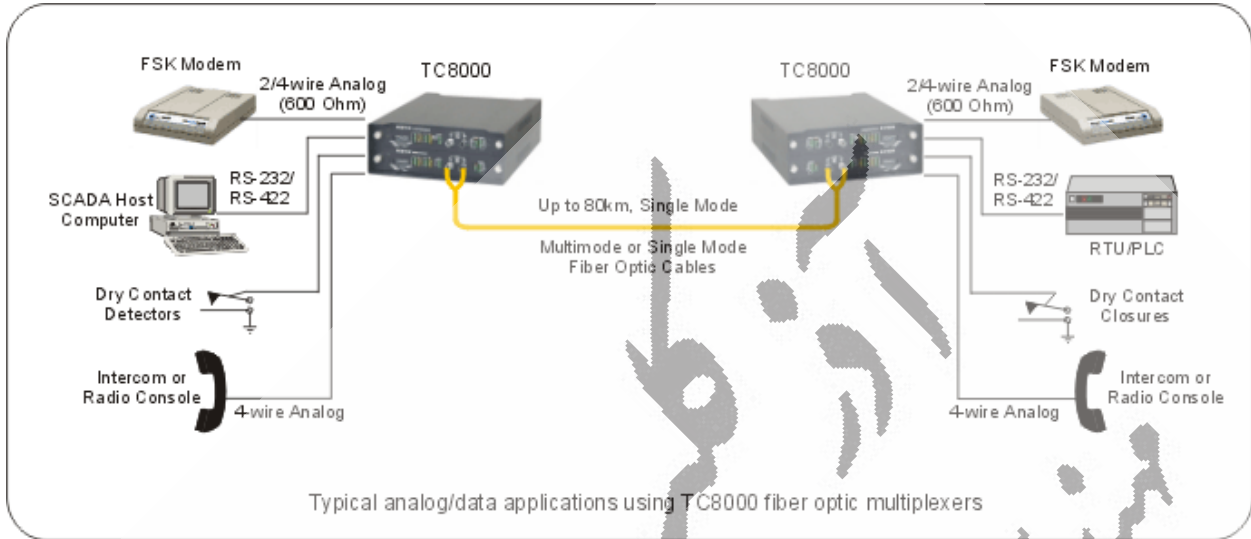
تقویت کننده

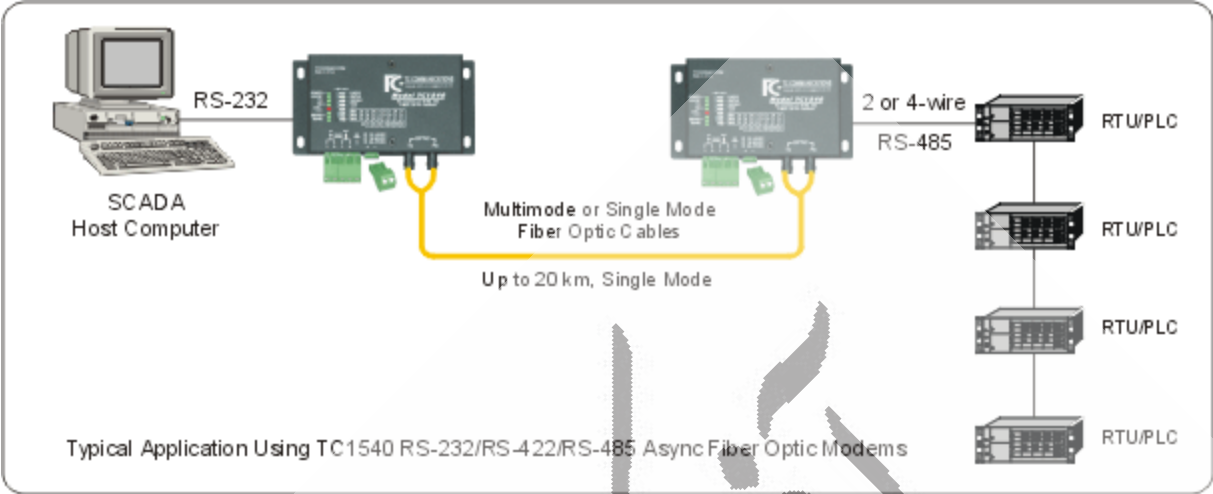


دستگاه فیوژن



## چند نمونه طراحی ارتباط RTU با اسکادا از طریق فیبر نوری





مهندسی صنایع تبریز

## نتیجه گیری :

همانطوری که قبلا هم اشاره شد ، در این جزوه سعی شده بطور خیلی خلاصه راجع به چند بستر ارتباطی از جمله فیبر نوری اطلاعاتی ارائه شود. از زمان شروع پیاده سازی سیستم های اتوماسیون در شبکه توزیع ، مودم های رادیویی به عنوان اولین راه حل ارتباطی استفاده شده اند. با وجود تمام مشکلات جانبی این تکنولوژی در سطح شهرهای بزرگ و همچنین هزینه های غیر منطقی تجهیزات آن ، بعد از گذشت سالها هنوز تنها راه حل ارائه شده از طرف شرکت های داخلی ، رادیو می باشد.

گذشته از هزینه های زیاد راه اندازی سیستم های رادیویی ، از معایب اصلی می توان به تداخل سیگنال ها اشاره کرد. در شهرهای بزرگ مانند تهران یه دلیل ساخت و سازهای زیاد ، تغییر سریع بافت شهر و همچنین استفاده ارگان های مختلف از سیستم های رادیویی ، مشکلات فراوانی برای استفاده قابل اعتماد از رادیو مودم بوجود می آید که به چند مورد آن اشاره می کنیم :

- نیاز به ارتفاع زیاد برای نصب آنتن رادیویی
- نیاز به نصب و راه اندازی دکل های مخابراتی
- استفاده از کانال های مختلف رادیویی جهت جلوگیری از تداخل سیگنال ها
- امنیت کم
- نویز پذیر
- نیاز به تکرار کننده ( Repeater ) برای فواصل طولانی
- نیاز به چند آنتن یا تکرار کننده در صورتی که دید مستقیم بین آنتن ها وجود نداشته باشد
- بهای زیاد تجهیزات رادیویی
- مسائل امنیتی و مجوزها
- مضر برای سلامتی انسان
- توان مصرفی زیاد

با توجه به دلایل ذکر شده ، مدت زمان زیادی است که کشورهای اروپایی فیبر نوری را جایگزین سیستم های رادیویی کرده اند. سیستم فیبر نوری بسیار ساده نسبت به سیستم های رادیویی است. هزینه خیلی کمتر تجهیزات فیبر ، امنیت بسیار بیشتر و ارتباطات بسیار ساده تر را می توان از جمله مزایای این سیستم در نظر گرفت. شبکه های فیبر نوری بسیار شبیه به توپولوژی شبکه های کامپیوتری می باشند ، در نتیجه درک و فهم و همچنین پیاده سازی آن بسیار ساده تر است.

شرکت صنایع برق آذرکلید امیدوار است که توانسته باشد از طریق این جزوه خلاصه ، یک دید کلی راجع به فیبر نوری ایجاد کرده و شروع استفاده از فیبر نوری بجای مودم های رادیویی را پایه ریزی کرده باشد. امید است در جزوه های تکمیلی بعدی ، بصورت تخصصی تر و عمیق تر راجع به سیستم های فیبر نوری بحث شود.

با تشکر

صنایع برق آذرکلید