

## فصل دوم

### لایه فیزیکی

#### ۲-۱- مقدمه

همان طور که در فصل قبل اشاره گردید، پایین ترین لایه در مدل لایه ای شبکه، لایه فیزیکی است. اطلاعات ارسالی کاربر بعد از عبور از لایه های شبکه، وارد لایه فیزیکی می شود. در این لایه اطلاعات از شکل منطقی خود خارج شده و به صورت سیگنال های الکتریکی وارد رسانه های فیزیکی مناسب شده و به سمت مقصد ارسال می گردد. در سمت مقصد لایه فیزیکی سیگنال های دریافتی را دوباره به صورت رشته بیت های منطقی در آورده و تحویل لایه های بالاتر می دهد.

## ۲-۴-۳ - واسط DTE به DCE

در شبکه های کامپیوتری به تجهیزاتی نظیر کامپیوترها، چاپگرها و ماشین های فاکس، تجهیزات پایانه داده ( $DTE^2$ ) گفته می شود. همچنین تجهیزاتی مثل مودم که برای ارسال داده های DTE ها به کار می روند؛ تجهیزات مخابراتی یا تجهیزات پایانه دهنده مدار ( $DCE^3$ ) نام دارند. برای ارتباط بین DTE و DCE باید از استانداردهای خاصی استفاده نمود. مطابق با شکل (۲-۳۸)، اتصال DTE به DCE توسط استانداردهای مشخصی صورت می گیرد. هر استاندارد مدل خاصی را برای مشخصات مکانیکی، الکتریکی و عملیاتی تعریف می نماید. در این راستا سازمان جهانی ITU\_T استانداردهای سری V (مثل V.24) و سری X را وضع نموده است. همچنین از سوی سازمان EIA نیز استانداردهایی نظیر EIA-232, EIA-449 و EIA-442 برای ارتباط بین DTE و DCE وضع شده است. یکی از متداول ترین و مهم ترین استانداردهای واسط DTE به DCE، استاندارد EIA-232 می باشد. این استاندارد که تا حد زیادی مشابه استاندارد CCITT V.24 است، برای ارتباط یک DTE مثل کامپیوتر به یک DCE نظیر مودم به کار می رود که به بررسی آن می پردازیم. لازم به توضیح است که مودم وسیله ای می باشد که امکان انتقال اطلاعات دیجیتال کامپیوترها را از طریق خطوط آنالوگ تلفن فراهم می آورد که در قسمت های بعدی به توصیف عملکرد آنها خواهیم پرداخت.



شکل (۲-۳۸): واسط DTE به DCE

مراحل کار در ارتباط یک DTE مثل کامپیوتر به یک DCE مثل مودم به شرح زیر است:

**مرحله ۱- تهیه مقدمات:** در اولین مرحله برقراری ارتباط بین دو کامپیوتر از طریق دو مودم، مقدمات اولیه که اتصال

hhh HH

دو زمین کامپیوتر و مودم به یکدیگر است انجام می شود. اامادگی h

**مرحله ۲- آمادگی:** در این مرحله ، آمادگی هر ۴ وسیله ( دو کامپیوتر و دو مودم )، در طرف فرستنده و گیرنده بررسی

می شود . بدین منظور هر دو کامپیوتر فرستنده و گیرنده اعلام آمادگی خود را از طریق پین شماره ۲۰ به اطلاع مودم می رسانند. مودمها نیز در پاسخ به ارسال پیام فوق، با فعال کردن پین شماره ۶ ، اعلام آمادگی متقابل خود را به کامپیوترها می رسانند.

**مرحله ۳- برقراری ارتباط:** در این مرحله یک اتصال فیزیکی بین مودمهای فرستنده و گیرنده برقرار می شود .

بدین منظور ابتدا کامپیوتر فرستنده از طریق پین شماره ۴، اعلام درخواست خود را برای مودم ارسال می دارد و به دنبال آن مودم فرستنده نیز یک سیگنال حامل برای مودم طرف مقابل ارسال می کند. وقتی که مودم مقابل سیگنال حامل فوق را در یافت کرد، از طریق پین شماره ۸ ، وقوع احتمالی ارسال داده را به کامپیوتر متصل به خود اطلاع می دهد . کامپیوتر گیرنده نیز با فعال سازی پین شماره ۴ اعلام آمادگی خود را به مودم ارسال می دارد و مودم نیز یک سیگنال حامل برای

---

Received data

Request To Send

Clear To Send

DCE ready

Signal ground common return

Received Line Signal Detector

DTE ready

مودم فرستنده ارسال می کند . در پاسخ به درخواست ارسال هر دو کامپیوتر، مودم های فرستنده و گیرنده نیز از طریق پین شماره ۵ ، اعلام آمادگی ارسال خود را به اطلاع کامپیوتر می رسانند .

**مرحله ۴ - ارسال داده ها :** در این مرحله داده های دیجیتال بین دو کامپیوتر فرستنده و گیرنده مبادله می شود. بدین منظور کامپیوتر فرستنده از طریق پین شماره ۲ داده های ارسالی خود را برای ارسال به مودم تحویل می دهد . همچنین از طریق پین شماره ۲۴ ، سیگنال زمان بندی بین کامپیوتر و مودم ارسال می شود . داده های ارسالی توسط مودم به صورت سیگنال های آنالوگ دریافتی به دیجیتال تبدیل می شوند و از طریق پین شماره ۳ تحویل کامپیوتر می گردند .

**مرحله ۵ - قطع ارتباط :** بعد از ارسال داده ها توسط دو طرف و اتمام داده های ارسالی، هر دو کامپیوتر پین درخواست خود را غیر فعال می سازند و به این ترتیب مودم ها نیز سیگنال حامل ارسالی را خاموش کرده و پین های شماره ۸ و ۵ خود را غیر فعال می سازند.

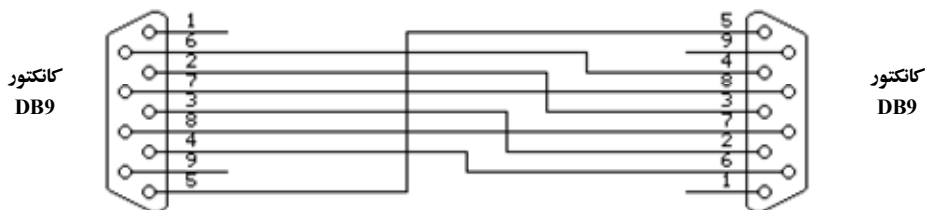
در شکل (۲-۴۱)، مراحل برقراری ارتباط، ارسال داده ها و قطع ارتباط در یک مودم یک طرفه نشان داده شده است.





شکل (۲-۴۱): مراحل کار یک ارتباط در مودم های یک طرفه

چنانچه بخواهیم دو DTE را به طور محلی بدون استفاده از مودم به یکدیگر متصل نماییم، در این صورت نیاز به کابل نال مودم داریم. در شکل (۲-۴۲) نمونه ای از یک کابل نال مودم با استفاده از کانکتور DB9 نشان داده شده است.



شکل (۲-۴۲): کابل نال مودم

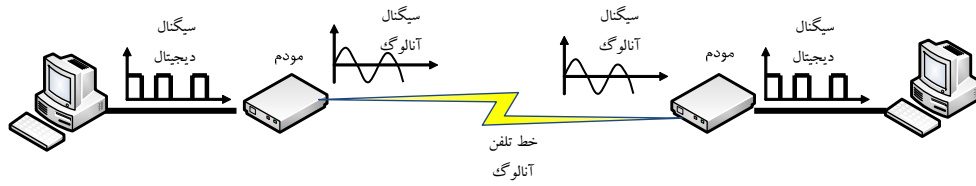
۲-۴-۴- مودم

یکی از تجهیزات ارتباطی در شبکه های کامپیوتری مودم می باشد. با استفاده از این وسیله امکان تبادل فایل ها بین کامپیوترها، اتصال به اینترنت و ارسال و دریافت فاکس فراهم می آید. مودم در حقیقت ترکیبی از دو کلمه مدولاتور<sup>۱</sup> و دی مدولاتور<sup>۲</sup> می باشد. اطلاعات دیجیتال کامپیوترها توسط مودم تبدیل به سیگنال های آنالوگ قابل ارسال در شبکه تلفن می گردد. در سمت گیرنده نیز، اطلاعات آنالوگ دریافتی تبدیل به اطلاعات دیجیتال می شود و تحویل کامپیوتر می گردد. بنابراین برای استفاده از مودم نیاز به یک خط تلفن می باشد.

مودم ها به دو دسته داخلی و خارجی تقسیم می شوند. مودم های داخلی، در داخل کامپیوتر بر روی یکی از اسلات های آن نصب می شوند. مودم های خارجی، خارج از کامپیوتر می باشند و مستقل عمل می کنند. این مودم ها از طریق کابل سریال RS 232 به کامپیوتر متصل می شوند. سرعت مودم ها متفاوت می باشد و در حدود ۳۰۰۰ تا بالاتر از ۵۶۰۰۰ بیت بر ثانیه است. به غیر از مودم های تلفنی، مودم های دیگری نیز وجود دارند که بر روی خطوط استیجاری<sup>۳</sup> فعال می باشند.

علاوه بر عملیات تبدیل اطلاعات دیجیتال به آنالوگ و بالعکس، هر مودم عملیات دیگری نظیر کنترل خطا و فشرده سازی اطلاعات را نیز بر عهده دارد. در شکل (۲-۴۳) نمونه ای از عملیات یک مودم نشان داده شده است.

مودم ها از تکنیک های تبدیل دیجیتال به آنالوگ نظیر ASK, FSK, PSK و QAM استفاده می کنند. پهنای باند خطوط تلفن برای انتقال داده های دیجیتال حدود ۲۴۰۰ هرتز می باشد که بسته به نوع عملکرد مودم (یک طرفه و یا کاملاً دوطرفه) و همچنین با توجه به روش تبدیل دیجیتال به آنالوگ مورد استفاده در مودم، سرعت های متفاوتی برای عملکرد مودم ها وجود دارد. در جدول (۲-۳) نرخ بیت ارسالی مودم ها بر اساس نوع مدولاسیون و نحوه عملکرد آنها آورده شده است. امروزه اکثر استانداردهای مودم های موجود، بر اساس ITU-T می باشند. در جدول (۲-۴) مشخصات برخی از مودم های ITU-T آورده شده است.



شکل (۲-۴۳): عملیات مودم

جدول (۲-۳): نرخ ارسال مودمها برحسب نوع مدولاسیون آنها

نوع مدولاسیون	سرعت ارسال یک طرفه (بیت بر ثانیه)	سرعت ارسال دو طرفه (بیت بر ثانیه)
ASK,FSK,2-PSK	۲۴۰۰	۱۲۰۰
4-PSK , 4-QAM	۴۸۰۰	۲۴۰۰
8-PSK , 8-QAM	۷۲۰۰	۳۶۰۰
16- QAM	۹۶۰۰	۴۸۰۰
32- QAM	۱۲۰۰۰	۶۰۰۰
64- QAM	۱۴۴۰۰	۷۲۰۰
128- QAM	۱۶۶۰۰	۸۴۰۰

جدول (۲-۴): مشخصات برخی از مودمهای ITU-T

استاندارد	نوع عملکرد مودم	نرخ ارسال (بیت بر ثانیه)
V.21	دوطرفه	۳۰۰
V.22	دوطرفه	۱۲۰۰
V.22bis	دوطرفه	۲۴۰۰
V.29	یک طرفه	۹۶۰۰
V.32	دوطرفه	۹۶۰۰
V.32bis	دوطرفه	۱۴۴۰۰
V.32terbo	دوطرفه	۱۹۲۰۰
V.34	دوطرفه	۲۸۸۰۰
V.34bis	دوطرفه	۳۳۶۰۰
V.42bis	دوطرفه	۳۴۰۰۰
V.90	دوطرفه	۵۶۰۰۰
V.92	دوطرفه	۵۶۰۰۰

## ۲-۵ - معرفی رسانه های انتقال

در این قسمت، رسانه های مختلفی که در انتقال داده و شبکه های کامپیوتری برای ارسال اطلاعات استفاده می شوند توصیف می گردند. در حالت کلی دو نوع رسانه انتقال در شبکه های کامپیوتری وجود دارد که عبارتند از: رسانه های هدایت شونده<sup>۱</sup> و رسانه های غیرهدایت شونده<sup>۲</sup>. چنانچه دو کامپیوتر توسط رسانه های هدایت شونده به یکدیگر متصل شوند، در این صورت یک کانال بین دو کامپیوتر متصل شده به یکدیگر وجود دارد. رسانه هایی نظیر زوج سیم به هم تابیده شده<sup>۳</sup>، کابل هم محور<sup>۴</sup> و فیبر نوری<sup>۵</sup> مثال هایی از رسانه های هدایت شونده می باشند. رسانه های غیرهدایت شونده یا بی سیم، از امواج الکترومغناطیسی و بدون استفاده از هادی های فیزیکی برای انتقال اطلاعات استفاده می نمایند. امواج رادیویی، مایکروویو، مخابرات سلولی (موبایل) و مخابرات ماهواره ای نمونه ای از رسانه های غیرهدایت شونده می باشند. در زیر به معرفی چند رسانه هدایت شونده می پردازیم.

## ۲-۵-۱ - زوج سیم به هم تابیده شده

---

Guided  
Unguided  
Twisted-pair cable  
Coaxial  
Optical fiber

یک زوج سیم به هم تابیده شده شامل دو رشته سیم مسی روپوش دار می باشد که ضخامت تقریبی هر رشته سیم حدود یک میلی متر است. برای کاهش تداخل الکتریکی زوج سیم با زوج سیم های مشابه که در نزدیکی آن قرار دارند، این دو رشته سیم به صورت مارپیچ دور هم پیچیده می شوند. از این نوع سیم ها معمولاً در شبکه های تلفن استفاده وسیعی می شوند. می توان اطلاعات موجود در زوج سیم ها را تا چندین کیلومتر ارسال نمود، ولی چنانچه فاصله بیش از حد زیاد باشد باید در بین راه از تقویت کننده های مناسب استفاده شود.

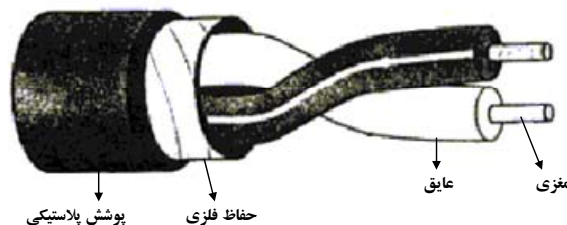
در مراکزی که به چندین زوج سیم نیاز است؛ مانند تلفن کشی مجتمع های مسکونی، چندین زوج سیم به هم تابیده به صورت دسته هایی جمع می شوند و در یک غلاف محافظ قرار می گیرند. طیف فرکانسی زوج سیم به هم تابیده شده در محدوده ۱۰۰ هرتز تا ۵ مگا هرتز می باشد. دو نوع زوج سیم به هم تابیده شده وجود دارد که عبارتند از:

□ **زوج سیم به هم تابیده شده بدون حفاظ، (UTP<sup>1</sup>)**: این نوع زوج سیم که متداولترین نوع در شبکه های انتقال داده امروزه نیز می باشد بدون حفاظ و حفاظ خارجی است. ارزانی، انعطاف پذیری و نصب آسان این نوع زوج سیم از مزایای عمده آن می باشند. از سوی سازمان EIA، ۵ رده مختلف از کاربردهای UTP تعیین شده است که برای انتقال اطلاعات در سرعت های بسیار پایین (رده یک) تا سرعت های بالا در حدود ۱۰۰ مگا بیت در ثانیه (رده پنج) به کار می روند. متداولترین کانکتورهای UTP، RJ45 می باشد که دارای ۸ رشته سیم (۴ زوج UTP) است و در شبکه های کامپیوتری کاربرد فراوان دارد.

□ **زوج سیم به هم تابیده شده حفاظ دار (STP<sup>2</sup>)**: همانطور که از نام این نوع زوج سیم نیز مشخص می باشد، در STP یک حفاظ فلزی به همراه یک پوشش پلاستیکی در اطراف زوج سیم به هم تابیده شده قرار می گیرد. وجود این حفاظ باعث کاهش نویز پذیری سیم می گردد و همچنین از القای متقابل<sup>۳</sup> یک سیم بر روی سیم دیگر جلوگیری می نماید. به خاطر وجود همین حفاظ در STP، قیمت این نوع رشته سیم از UTP بیشتر می باشد. در شکل (۲-۴۴) زوج سیم های UTP و STP نشان داده شده اند.



(الف)

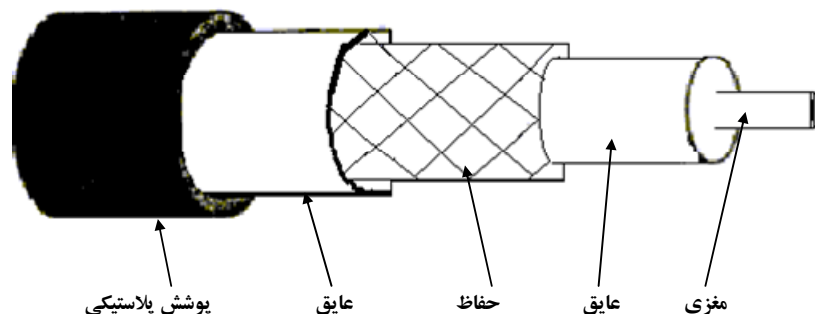


(ب)

## شکل (۲-۴۴): زوج سیم‌های به هم تابیده ( الف ) UTP ( ب ) STP

### ۲-۵-۲- کابل هم‌محور

یکی دیگر از متداول‌ترین رسانه‌های هدایت شونده، کابل هم‌محور می‌باشد. این نوع کابل شامل یک مغزی سخت از جنس مس است که دور یک ماده عایق قرار گرفته است و یک توری ریزبافت فلزی به صورت یک هادی استوانه‌ای اطراف عایق مغزی قرار گرفته است. هادی استوانه‌ای نیز توسط یک محافظ پلاستیکی پوشانده شده است. در شکل (۲-۴۵) یک کابل هم‌محور نشان شده است.

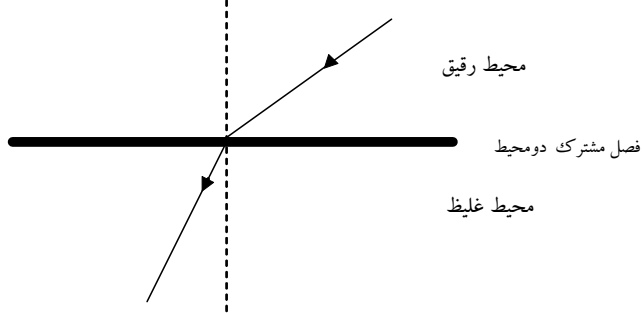


شکل (۲-۴۵): ساختار کابل هم‌محور

کابل هم‌محور دارای پهنای باند زیادی می‌باشد که در محدوده فرکانسی ۱۰۰ کیلوهرتز تا ۵۰۰ مگاهرتز قرار دارد. البته هرچه طول کابل افزایش یابد، حداکثر سرعت انتقال داده‌ها در کابل کم می‌شود. ۵ نوع متداول از کابل هم‌محور وجود دارند که عبارتند از: RG-8, RG-9, RG-11 (مورد استفاده در شبکه‌های اترنت سخت)، RG-58 (مورد استفاده در شبکه‌های اترنت نرم) و RG-75 (جهت انتقال سیگنال‌های تلویزیونی).

### ۲-۵-۳- فیبر نوری

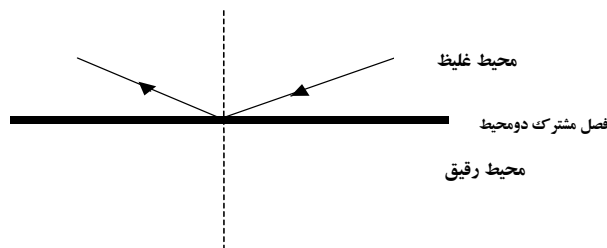
با گسترش سیستم‌های انتقال و افزایش سرعت، نیاز به رسانه‌های انتقال با پهنای باند و اطمینان بالا حس گردید. بدین منظور فیبر نوری به عنوان یک رسانه هدایت شونده مناسب مطرح است. نور یک نوع موج الکترومغناطیسی است که با سرعت ۳۰۰ هزار کیلومتر در ثانیه در خلاء انتشار می‌یابد. در سایر محیط‌ها، سرعت نور به چگالی محیط بستگی دارد؛ طوری که با افزایش چگالی محیط سرعت نور کاهش می‌یابد. مسیر حرکت نور بر روی یک خط مستقیم می‌باشد. هنگامی که نور از یک محیط وارد محیط دیگری با ضریب شکست متفاوت با محیط اول می‌شود، امتداد خود را از دست می‌دهد که در اصطلاح به این پدیده شکست<sup>۱</sup> نور می‌گویند. چنانچه غلظت محیط دوم از محیط اول بیشتر باشد، پرتوی نور شکست یافته در محیط دوم به خط قائم نزدیکتر می‌شود. در شکل (۲-۴۶) نمونه‌ای از پدیده شکست نور نشان داده شده است.



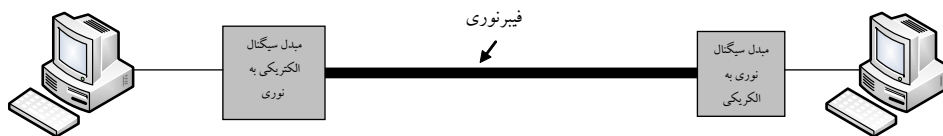
شکل (۲-۴۶):  
پدیده شکست نور

هنگامی که نور از یک محیط غلیظ وارد یک محیط رقیق می‌گردد، زاویه پرتوی نور خروجی نسبت به خط قائم افزایش می‌یابد. در حالت حدی چنانچه نور از یک محیط غلیظ طوری به یک محیط رقیق تابیده شود که زاویه پرتوی خروجی نسبت به خط قائم ۹۰ درجه باشد، در این صورت زاویه تابش زاویه بحرانی<sup>۱</sup> نامیده می‌شود. چنانچه زاویه تابش از زاویه بحرانی بیشتر شود، در این صورت پرتوی نور تابیده شده به درون محیط اول انعکاس می‌یابد. در این حالت مطابق با شکل (۲-۴۷) زاویه تابش پرتوی نور با زاویه انعکاس برابر می‌باشد. فیبر نوری از پدیده انعکاس برای انتقال نور استفاده می‌کند. اطراف فیبر نوری یک بافر مخصوص قرار دارد که آن را در مقابل رطوبت و نم محافظت می‌نماید. در اطراف بافر نیز یک پوشش محافظ قرار می‌گیرد.

در شکل (۲-۴۸) ساختار کلی یک سیستم انتقال نوری نشان داده شده است. در فرستنده از دیوهای نوری (LED<sup>۲</sup>) (و لیزر برای تبدیل سیگنال‌های الکتریکی به سیگنال‌های نوری استفاده می‌شود. در سمت گیرنده نیز از گیرنده‌های نوری مخصوص جهت تبدیل سیگنال نوری به سیگنال الکتریکی استفاده می‌گردد.



شکل (۲-۴۷): پدیده بازتابش کلی



شکل (۲-۴۸): یک سیستم انتقال نوری

در فیبر نوری برای ارسال اطلاعات ۰ و ۱ از پالس‌های نور مرئی استفاده می‌گردد.

مطابق با شکل (۲-۴۸)، یک سیستم انتقال نوری از سه قسمت اصلی تشکیل شده است که عبارتند از: سیستم مبدل سیگنال‌های الکتریکی به پالس‌های نوری (با استفاده از دیودهای نوری یا لیزری)، فیبر نوری و مبدل پالس‌های نوری به سیگنال‌های الکتریکی (با استفاده از فتودیود).

فیبر نوری از دو قسمت اصلی تشکیل شده است که عبارتند از: مغزی<sup>۱</sup> و غلاف<sup>۲</sup>. هم مغزی و هم غلاف هر دو از جنس شیشه می‌باشند. ضریب شکست مغزی بیشتر از ضریب شکست غلاف است که این امر باعث پدیده بازتابش کلی در فیبر نوری می‌شود. مطابق با شکل (۲-۴۹) سه نوع مختلف فیبر نوری وجود دارند که عبارتند از:

□ **فیبر نوری چندمود با ضریب شکست پله‌ای<sup>۳</sup>:** در این نوع فیبر، مغزی و غلاف دارای دو ضریب شکست مختلف می‌باشند. قطر مغزی نسبتاً زیاد می‌باشد و این باعث می‌شود که چندین پرتوی نوری مختلف با زاویه‌های تابش گوناگون وارد فیبر شوند. این پرتوهای نوری از مسیریابی با طول مختلف به مقصد می‌رسند. از آنجایی که سرعت انتشار در محیط برای تمام این پرتوها یکسان می‌باشد، بنابراین پرتوی نوری که مسیر کمتری را طی کرده است زودتر از پرتوی نوری که مسیر طولانی را طی نموده است به مقصد می‌رسد. این مسئله باعث اعوجاج در پالس نوری دریافتی در مقصد می‌شود که آشکارسازی آن را با مشکل مواجه می‌سازد.

□ **فیبر نوری چندمود با ضریب شکست تدریجی<sup>۴</sup>:** در این نوع فیبر نیز قطر مغزی نسبتاً زیاد می‌باشد که باعث می‌شود تا پرتوهای نوری مختلف با زوایای تابش گوناگون وارد فیبر شوند. برخلاف فیبر نوری با ضریب شکست پله‌ای، در این نوع فیبر ضریب شکست به‌طور ناگهانی تغییر نمی‌کند بلکه هر چه از محور مرکزی فیبر فاصله می‌گیریم، ضریب شکست به‌طور تدریجی کاهش می‌یابد. این امر باعث می‌شود که پرتوهای نوری که از محور مرکزی فیبر دور هستند و فاصله بیشتری را طی می‌کنند عملاً با سرعت بیشتر منتقل شوند (زیرا سرعت انتشار نور با ضریب شکست محیط ارتباط معکوس دارد) و پرتوهای نوری که از نزدیکی مرکز فیبر عبور می‌کنند و مسیر کوتاه‌تری را طی می‌کنند با سرعت کمتری به مقصد برسند. بنابراین تدریجی بودن ضریب شکست فیبر، باعث همزمان رسیدن تمام پرتوهای نوری ارسالی فرستنده در گیرنده می‌شود و این امر باعث کاهش اعوجاج پالس نوری در گیرنده می‌شود.

□ **فیبر تک‌مود<sup>۵</sup>:** در این نوع فیبر، قطر فیبر تا حد طول موج نور کاهش یافته است و این کاهش باعث می‌شود که پرتوی نور بدون انعکاس و بر روی یک خط مستقیم منتشر شود و به مقصد برسد. بنابراین در فیبر نوری تک‌مود، پالس نوری در مقصد با کمترین اعوجاج دریافت می‌شود و آشکارسازی آن آسان می‌باشد.

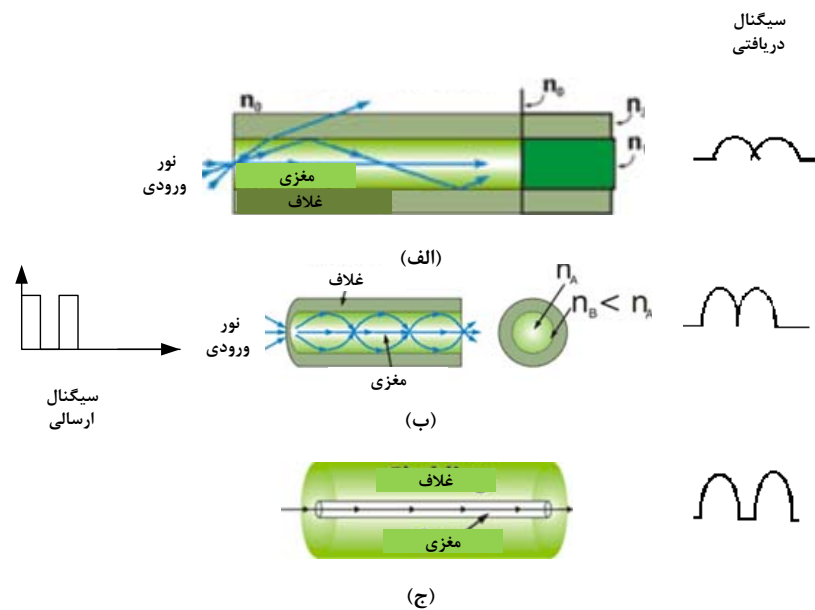
نوع فیبر نوری، با توجه به نسبت قطر مغزی آن به قطر غلاف شناخته می‌شود. در جدول (۲-۶) انواع فیبر نوری آورده شده است. از نقطه نظر حفاظت فیبر از نیروهای خارجی، فیبر نوری به دو نوع Loos Buffer و Tight Buffer تقسیم می‌شوند. در ساخت Loos Buffer، فیبر داخل یک لوله پلاستیکی که قطر درونی آن به طور قابل ملاحظه‌ای بزرگتر از خود فیبر است قرار می‌گیرد و درون لوله پلاستیکی و اطراف فیبر معمولاً با یک ماده ژلی پر می‌شود که فیبر داخل این ژل آزاد است. Loos Buffer تا حدودی فیبر را در برابر نیروهای مکانیکی خارجی محافظت می‌کند و همچنین به دلیل وجود ژل در اطراف فیبر، در برابر گرما، سرما و در نتیجه انبساط و انقباض به طور

قابل ملاحظه ای ایمن است. این کابل معمولاً برای نصب در محیط های بیرونی ، کاربردهای هوایی ، کانالی و در زیر خاک استفاده می شود.

در فیبر نوری Tight Buffer یک روکش پلاستیکی چسبیده به فیبر وجود دارد و مانع از آزاد بودن فیبر می شود. این نوع روکش برای اتصال به اجزای شبکه بسیار مناسب است زیرا این روکش از شکستن فیبر جلوگیری می کند. فیبرهای Tight Buffer اغلب برای کاربردهای داخل ساختمان ، منابع تغذیه ساختمان های مرکزی و کاربردهای عمومی به کار برده می شوند.

فیبر نوری به خاطر سرعت بسیار بالای خود که از مرز یک گیگا بیت بر ثانیه نیز فراتر است، برای انتقال داده ها با سرعت بسیار بالا مفید می باشد. علاوه بر شبکه های محلی، از فیبر نوری می توان در شبکه های مخابراتی راه دور و شبکه تلفن نیز استفاده کرد. به طور خلاصه مزایای فیبر نوری را می توان نوپزپذیری کم، تضعیف کم و پهنای باند بسیار بالا دانست. البته فیبر نوری دارای معایبی نیز می باشد که مهم ترین آنها عبارتند از: هزینه بالا (به خصوص در مورد فیبرهای تک مود)، نیاز به تخصص بالا در نصب و نگهداری آن و همچنین شکنندگی زیاد.

علاوه بر رسانه های ارسال هدایت شونده فوق که به آنها اشاره شد، نوع دیگری از رسانه های ارسال وجود دارند که با عنوان رسانه های ارسال غیرهدایت شونده یا بدون سیم شناخته می شوند. در رسانه های ارسال غیرهدایت شونده ، امواج الکترومغناطیسی بدون این که از یک هادی فیزیکی استفاده نمایند، در محیط اطراف انتشار می یابند. در زیر به بررسی انواع رسانه های ارسال غیرهدایت شونده می پردازیم.



شکل (۲-۴۹): سه نوع فیبر نوری

الف) فیبر چند مود با ضریب شکست پله ای (ب) فیبر چند مود با ضریب شکست تدریجی (ج) فیبر تک مود

جدول (۲-۶): انواع فیبر نوری

نوع فیبر	قطر مغزی (میکرون)	قطر غلاف (میکرون)



۱۲۵	۶۲/۵	۶۲/۵ ۱۲۵ (چندمود با ضریب شکست تدریجی)
۱۲۵	۵۰	۵۰ ۱۲۵ (چندمود)
۱۴۰	۱۰۰	۱۰۰ ۱۴۰ (چندمود با ضریب شکست تدریجی)
۱۲۵	۸۵	۸۵ ۱۲۵ (چند مود با ضریب شکست تدریجی)
۲۴۰	۲۰۰	۲۰۰ ۲۴۰ (چند مود با ضریب شکست پله ای)
۱۲۵	۸/۳	۸/۳ ۱۲۵ (تک مود)

## ۲-۵-۴ - امواج رادیویی

امواج رادیویی که بخشی از طیف امواج الکترومغناطیسی می باشند، بر اساس فرکانس به ۸ دسته عمده تقسیم می شوند که عبارتند از :

\_ امواج با فرکانس بسیار پایین ( $VLF^1$ ) (۳ الی ۳۰ کیلوهرتز)

\_ امواج با فرکانس پایین ( $LF^2$ ) (۳۰ الی ۳۰۰ کیلوهرتز)

\_ امواج با فرکانس متوسط ( $MF^3$ ) (۳۰۰ کیلوهرتز الی ۳ مگاهرتز)

\_ امواج با فرکانس بالا ( $HF^4$ ) (۳ الی ۳۰ مگاهرتز)

\_ امواج با فرکانس بسیار بالا ( $VHF^5$ ) (۳۰ الی ۳۰۰ مگاهرتز)

\_ امواج با فرکانس مافوق بالا ( $UHF^6$ ) (۳۰۰ مگاهرتز الی ۳ گیگا هرتز)

\_ امواج با فرکانس بسیار مافوق بالا ( $SHF^7$ ) (۳ الی ۳۰ گیگاهرتز)

\_ امواج با فرکانس شدیداً بالا ( $EHF^8$ ) (۳۰ الی ۳۰۰ گیگا هرتز)

امواج رادیویی که نام برده شد، از ۵ نوع انتشار مختلف استفاده می نمایند که عبارتند از :

- انتشار سطحی<sup>9</sup>

- انتشار در قسمت پایین هوای کره (تروفوسفوریک)<sup>10</sup>

- انتشار یونوسفوریک<sup>11</sup>

- انتشار در خط مستقیم<sup>12</sup>

- انتشار فضایی<sup>13</sup>

در انتشار سطحی، امواج رادیویی از طریق سطح پایینی اتمسفر جو انتقال می یابند. امواج  $VLF$  و  $LF$  از این نوع

انتشار استفاده می کنند.

- 
- Very Low Frequency
  - Low Frequency
  - Medium Frequency
  - High Frequency
  - Very High Frequency
  - Ultra High Frequency
  - Super High Frequency
  - Extremely High Frequency
  - Surface propagation
  - Tropospheric propagation
  - Ionospheric propagation
  - Line of sight Propagation
  - Space propagation

در انتشار تروفسفوریک، امواج ارسالی با سطح پایین جو برخورد کرده و منعکس می‌شوند. البته می‌توان فرستنده و گیرنده را نیز در یک مسیر و در دید یکدیگر قرار داد و امواج رادیویی را ارسال نمود. سیگنال‌های رادیویی MF از این نوع انتشار استفاده می‌کنند.

در انتشار یونوسفوریک امواج رادیویی فرکانس بالا HF به سطح میانی جو برخورد کرده و در آن‌جا به سمت زمین منعکس می‌گردند. از این نوع انتشار در حالیکه توان ارسال کم می‌باشد و فاصله فرستنده و گیرنده زیاد است استفاده می‌گردد.

در انتشار در خط مستقیم، سیگنال‌های رادیویی بسیار فرکانس بالای VHF و UHF مستقیماً در یک خط راست، بین فرستنده و گیرنده منتقل می‌شوند. در این حالت آنتن‌های فرستنده و گیرنده باید دقیقاً در معرض دید مستقیم یکدیگر قرار داشته باشند.

در انتشار فضایی که در مخابرات ماهواره‌ای استفاده می‌شود، امواج رادیویی VHF، SHF و EHF از جو زمین عبور کرده و به وسیله آنتن ماهواره دوباره به سمت زمین منعکس می‌شوند.

## ۲-۵-۵- امواج مایکروویو

امواج مایکروویو قادر به پیمودن انحنای کره زمین نمی‌باشند، بلکه ارسال و دریافت آن‌ها بر روی خطوط مستقیم و در دید یکدیگر می‌باشد. فاصله مستقیمی که امواج مایکروویو قادر به پیمودن آن می‌باشند، بستگی به ارتفاع آنتن دارد، به طوری که هرچه آنتن بزرگتر باشد فاصله بیشتری می‌تواند طی شود. معمولاً آنتن‌های مایکروویو در نقاط بلند، نظیر برج‌ها و کوهستان قرار می‌گیرند. امواج مایکروویو در هر لحظه در یک جهت انتشار می‌یابند. بنابراین برای برقراری ارتباط دوطرفه نیاز به دو فرکانس متفاوت می‌باشد و برای هر فرکانس فرستنده و گیرنده مخصوصی نیاز می‌باشد. البته می‌توان هر دو فرستنده و گیرنده را در یک دستگاه به نام فرستنده/گیرنده ادغام نمود.

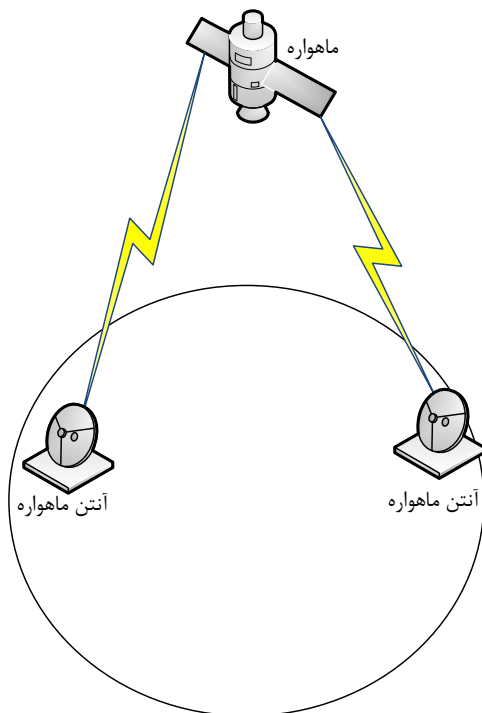
برای افزایش برد امواج مایکروویو از تکرار کننده‌های مناسب استفاده می‌شود. هر تکرار کننده، امواج مایکروویو را دریافت می‌نماید و پس از تقویت با استفاده از آنتن‌های مناسب امواج را به تکرار کننده بعدی ارسال می‌کند. فاصله بین تکرار کننده‌ها بستگی به فرکانس امواج مایکروویو و همچنین شرایط محیطی دارد. براساس نوع سیستم به کار گرفته شده، هر تکرار کننده می‌تواند سیگنال دریافتی را با همان فرکانس و یا با فرکانس متفاوت ارسال دارد. سیستم‌های مایکروویو دارای دو نوع آنتن به نام‌های آنتن‌های سهموی<sup>۱</sup> و ششپوری<sup>۲</sup> می‌باشند.

## ۲-۵-۶- مخابرات ماهواره‌ای

انتشار امواج در سیستم‌های مخابرات ماهواره‌ای شبیه ارسال امواج مایکروویو، بر روی مسیر مستقیم صورت می‌گیرد که در آن یک ایستگاه زمینی اطلاعات را برای یک ماهواره که دور زمین می‌چرخد ارسال می‌دارد. اصول سیستم‌های ماهواره‌ای نیز مشابه سیستم‌های مایکروویو می‌باشد که در آن ماهواره مانند یک تکرار کننده عمل می‌کند. در شکل (۲-۵۰) نمونه‌ای از یک سیستم ماهواره نشان داده شده است.

با استفاده از سیستم‌های ماهواره‌ای از هر نقطه زمین می‌توان برای هر نقطه دیگر از زمین اطلاعات را ارسال کرد. بنابراین سیستم‌های مخابرات ماهواره‌ای از کیفیت ارتباطی بالایی برخوردار هستند. ماهواره به تنهایی قیمت بالایی دارد اما اجاره کردن فرکانس‌های ماهواره‌ای و یا اجاره کردن زمانی آن قیمت نسبتاً مناسبی دارد.

برای ارسال مستقیم امواج، باید آنتن‌های فرستنده و گیرنده در دید یکدیگر قرار داشته باشند، در غیر این صورت امکان برقراری ارتباط وجود ندارد. بنابراین ماهواره‌هایی که سریعتر و یا کندتر از زمین حرکت می‌کنند، فقط برای دوره زمانی کوتاهی در طول روز قابل استفاده می‌باشند. برای آن‌که ارتباط دائمی برقرار باشد، ماهواره باید با همان سرعت زمین، دور زمین گردش نماید، طوری که نسبت به زمین ثابت باشد. به این نوع ماهواره‌ها، ماهواره‌های ژئوسنکرون<sup>۱</sup> می‌گویند.



شکل (۲-۵۰): نمونه‌ای از یک سیستم ماهواره ای

از آنجایی که سرعت مداری حرکت ماهواره‌ها به فاصله آنها از زمین بستگی دارد، بنابراین فقط یک مدار ژئوسنکرون وجود دارد. این مدار در فاصله تقریبی ۲۲ هزار مایلی سطح زمین قرار دارد. یک ماهواره ژئوسنکرون به تنهایی نمی‌تواند کل کره زمین را پوشش دهد؛ بلکه حداقل به ۳ ماهواره ژئوسنکرون که در زاویه ۱۲۰ درجه از یکدیگر قرار دارند برای پوشش کل زمین نیاز می‌باشد. فرکانسهای مورد استفاده در مخابرات ماهواره‌ای در محدوده گیگاهرتز می‌باشد. هر ماهواره در دو باند فرکانسی متفاوت اقدام به ارسال و دریافت اطلاعات می‌نماید. ارسال امواج از زمین به ماهواره، کانال بالا<sup>۲</sup> و ارسال امواج از ماهواره به زمین، کانال پایین<sup>۳</sup> نام دارد. در جدول (۲-۷) باند فرکانسی مورد استفاده در ماهواره‌ها نشان داده شده است.

جدول (۲-۷): باندهای فرکانسی مورد استفاده در ماهواره‌ها

باند	کانال پایین	کانال بالا
فرکانسی	(بر حسب گیگا هرتز)	(بر حسب گیگا هرتز)

Geosynchronous

Up link

Down link

شبكة های کامپیوتری (دکتر محمد حسین یغمایی مقدم - دانشگاه فردوسی مشهد)

۶/۴۲۵ الی ۵/۹۲۵	۴/۲ الی ۳/۷	C
۱۴/۵ الی ۱۴	۱۲/۲ الی ۱۱/۷	Ku
۳۱ الی ۲۷/۵	۲۱ الی ۱۷/۷	Ka

## ۲-۵-۸ - کارآیی سیستم‌های انتقال

برای مقایسه سیستم‌ها و رسانه های ارسال از ۵ مشخصه کارآیی استفاده می‌شود، این مشخصه‌ها عبارتند از :

- **هزینه** : شامل هزینه سرمایه‌گذاری و همچنین هزینه ارسال و نگهداری سیستم .
- **سرعت** : حداکثر تعداد بیت‌های ارسالی در ثانیه، که با اطمینان بالا در محیط قابل ارسال می‌باشند. سرعت ارسال با فرکانس تغییر می‌کند و فرکانسهای بالاتر امکان ارسال با سرعت بیشتر را فراهم می‌آورند .
- **تضعیف** : سیگنال‌های الکترومغناطیسی با عبور از رسانه انتقال دچار تضعیف می‌گردند.
- **تداخل الکترومغناطیسی**: تداخل الکترومغناطیسی نشان‌دهنده میزان تاثیر سایر امواج الکترومغناطیسی بر روی رسانه انتقال می‌باشد.
- **امنیت** : منظور از امنیت، جلوگیری از دسترسی غیر مجاز افراد به اطلاعات موجود در رسانه انتقال می‌باشد . بعضی از رسانه ها نظیر امواج رادیویی و کابل UTP به راحتی قابل شنود می‌باشند. در حالی که فیبر نوری از امنیت بیشتری برخوردار می‌باشد.

در جدول (۲-۸) کارآیی رسانه های ارسال گوناگون آورده شده است.

جدول (۲-۸): کارآیی رسانه های ارسال

امنیت	تداخل الکترومغناطیسی	تضعیف	سرعت	هزینه	رسانه انتقال
کم	زیاد	زیاد	۱ الی ۱۰۰ مگابیت برثانیه	کم	کابل UTP
کم	متوسط	زیاد	۱ الی ۱۵۰ مگابیت برثانیه	متوسط	کابل STP
کم	متوسط	متوسط	۱ مگابیت الی ۱ گیگا بیت برثانیه	متوسط	کابل هم محور
زیاد	کم	کم	۱۰ مگا بیت الی ۲ گیگا بیت برثانیه	زیاد	فیبر نوری
کم	زیاد	کم - زیاد	۱ الی ۱۰ مگابیت برثانیه	متوسط	امواج رادیویی
متوسط	زیاد	متغیر	۱ مگابیت الی ۱۰ گیگا بیت برثانیه	زیاد	مایکروویو
متوسط	زیاد	متغیر	۱ مگابیت الی ۱۰ گیگا بیت برثانیه	زیاد	ماهواره
کم	متوسط	کم	۱۹۲۰۰ الی ۹۶۰۰ بیت برثانیه	زیاد	تلفن سلولی