فصل ششم
لایهٔ شبکه

۶-۱- مقدمه

در این فصل به بررسی لایه شبکه و وظایف آن می‌پردازیم. همان‌طور که در فصل اول به آن اشاره شد، لایه شبکه که سومین لایه در مدل مرجع OSI می‌باشد، موظف به هدایت بسته‌ها از مبدأ به سمت مقصد است. بدین‌منظور لایه شبکه باید از توپولوژی شبکه در لایه‌های پایین‌تر مطلع باشد تا بتواند بهترین مسیر ممکن را به سمت مقصد پیدا نماید. به‌طور خلاصه وظایف اصلی لایه شبکه عبارتند از:

- ارائه سرویس به لایه بالاتر از خود(لایه حمل)
- مسیریابی بسته‌ها از مبدأ به مقصد
- کنترل ازدحام
- ارتباط بین شبکه‌ای

در زیر به بررسی هر یک از وظایف فوق می‌پردازیم.

۶-۲- سرویس لایه شبکه به لایه حمل

همان‌طور که می‌دانیم در مدل لایه‌ای، هر لایه موظف به ارائه سرویس مناسب به لایه بالاتر از خود می‌باشد. لایه شبکه، نیز موظف به فراهم‌آوردن سرویس لازم برای لایه حمل می‌باشد. در طراحی سرویس لایه شبکه بایدسرویس مستقل ازفن‌آوری شبکه طراحی شود. همان‌طور که قبلاً اشاره شد در هر لایه شبکه در مدل OSI دو نوع سرویس می‌تواند موجود باشند که عبارتند از: سرویس اتصال‌گرا و سرویس بی‌اتصال. لایه شبکه نیز قادر به ارائه هر دو نوع سرویس ذکرشده به لایه حمل می‌باشد.

در سرویس اتصال‌گرا ابتدا کاربر با ارسال پیام خاصی به شبکه ، از آن درخواست برقراری اتصال به یک مقصد خاص می‌کند. چنانچه شبکه منابع کافی در اختیار داشته باشد، با درخواست کاربر موافقت می‌کند و یک مسیر مشخص از مبدأ به مقصد برای کاربر فراهم می‌آورد. به این مسیر به‌وجود آمده دراصطلاح مدار مجازی گفته می‌شود. بسته‌های ارسالی فرستنده

به ترتیب از این مسیر ارسال می‌شوند تا این‌که ارسال اطلاعات به اتمام برسد. بعد از اتمام ارسال اطلاعات، مسیر مجازی به‌وجودآمده از بین می‌رود. به خاطر به‌وجود آمدن یک مسیر اولیه بین مبدأ و مقصد، تمامی بسته‌ها به ترتیب از این مسیر عبور می کنند و به مقصد تحویل داده می‌شوند. بنابراین ترتیب بسته‌ها در سرویس اتصال‌گرا، حفظ می‌شود. همچنین لایه شبکه در سرویس اتصال‌گرا موظف به کنترل سرعت و کنترل جریان داده‌ها از مبدأ به مقصد می‌باشد. در شبکه‌های اتصال‌گرا این احتمال وجود دارد که در شبکه چندین مسیر مجازی موجود باشد، در این صورت برای مشخص‌نمودن این‌که بسته ورودی به کدام مدار مجازی موجود در شبکه اختصاص دارد، از یک فیلد به نام شناسه اتصال استفاده می‌شود.

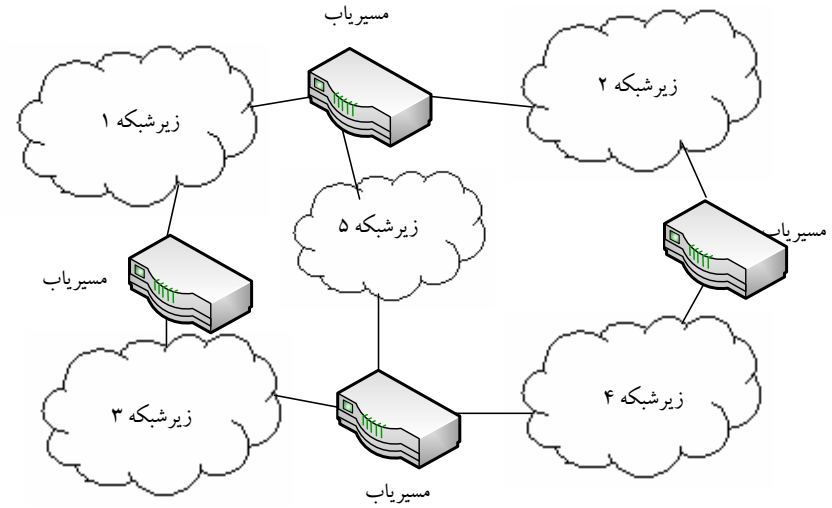
درسرویس بدون اتصال، فرستنده بدون هیچ‌گونه عملیات اولیه‌ای، اقدام به ارسال قاب‌های خود می‌کند. در این صورت قاب‌های ارسالی به‌طور مستقل پردازش می‌شوند و این احتمال وجود دارد که از مسیرهای متفاوتی به مقصد ارسال گردند. بنابراین ممکن است که ترتیب بسته‌ها در مقصد از بین برود. با مقایسه سرویس اتصال‌گرا با سرویس بی‌اتصال می‌توان به این نتیجه رسید که سرویس اتصال‌گرا پیچیدگی بیشتری نسبت به سرویس بی‌اتصال دارند. چنانچه یک شبکه در سطح لایه سوم از سرویس اتصال‌گرا استفاده نماید، به آن شبکه مدار مجازی گفته می‌شود. همچنین شبکه‌هایی که از سرویس بی‌اتصال استفاده می‌نمایند، شبکه‌های داده‌گرام نامیده می‌شوند. در زیر به مقایسه این دو نوع شبکه از جنبه‌های مختلف می‌پردازیم:

- ***آدرس‌دهی:*** با توجه به این‌که در شبکه‌های مدارمجازی ابتدا قبل از ارسال داده‌ها، یک مسیر مشخص بین مبدأ و مقصد به‌وجود می‌آیدوسپس داده‌های ارسالی از این مسیر راهی مقصد می‌شوند، بنابراین در شبکه‌های مدار مجازی به آدرس مبدأومقصد فقط در فاز برقراری اتصال اولیه نیاز می‌باشد و بعد از آن از یک مشخص‌کننده اتصال برای تعیین مدار مجازی هر بسته استفاده می‌شود. بسته‌های ارسالی در شبکه‌های داده‌گرام به‌طور مستقل پردازش می‌گردند و مسیریابی می‌شوند بنابراین در تمامی‌بسته‌های ارسالی فوق به آدرس مبدأ و مقصد نیاز می‌باشد.
- ***اطلاعات وضعیت شبکه :*** همان‌طور که گفته شد در شبکه‌های مدار مجازی این احتمال که چندین مدار مجازی مختلف در شبکه فعال باشند زیاد است. برای تمایز بسته‌های ورودی و تعیین مدار مجازی هر بسته، از یک مشخص‌کننده اتصال در هر بسته استفاده می‌شود. همچنین نودهای میانی شبکه دارای جداولی می‌باشند که در آنها اطلاعات تمام مدارهای مجازی قرار دارد. بنابراین در شبکه‌های مدار مجازی اطلاعات وضعیت شبکه ذخیره می‌شود؛ در حالی‌که در شبکه‌های داده‌گرام این اطلاعات ثبت نمی‌گردد.
- ***مسیریابی:*** در شبکه‌های مدار مجازی هنگام برقراری اتصال اولیه مسیریاب‌های شبکه با توجه به آدرس فرستنده و گیرنده اقدام به مسیریابی و انتخاب بهترین مدارمجازی ممکن بین مبدأ و مقصد می‌نمایند. بعد از آن‌که مدار مجازی به‌وجود آمد همه بسته‌های ارسالی متعلق به یک مدار مجازی خاص، از طریق فیلد مشخص‌کننده اتصال از مدار مجازی مشخص شده عبورمی کنند تا به مقصد برسند. در شبکه‌های داده‌گرام با توجه به این‌که هر بسته مستقل از بسته‌های دیگر پردازش می‌شود، هر بسته ورودی به‌طور جداگانه مسیریابی می‌شود.
- ***خراب‌شدن یک نود :*** در شبکه‌های مدار مجازی چنانچه یکی از نودهای میانی شبکه از کار بیافتد، در این صورت تمامی‌مدارهای مجازی عبوری از آن از بین می‌روند، در حالی‌که در شبکه‌های داده‌گرام با خراب‌شدن یک نود، سایر نودهای شبکه بسته‌های ورودی را از طریق نودهای دیگر به سمت مقصد هدایت می‌کنند.
- ***کنترل ازدحام:*** در شبکه‌های مدار مجازی چنانچه بافر کافی برای نودهای میانی شبکه در نظر گرفته شود، کنترل ازدحام به سادگی انجام می‌گردد؛ در حالی‌که کنترل ازدحام در شبکه‌های داده‌گرام مشکل تر از شبکه‌های مدار مجازی می‌باشد.

- ***پیچیدگی:*** شبکه‌های مدار مجازی بیشترین پیچیدگی را درسطح لایه شبکه دارند درحالی‌که درشبکه‌های داده‌گرام بیشترین پیچیدگی در سطح لایه حمل می‌باشد.

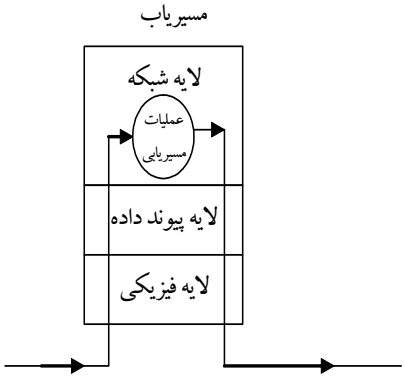
۶-۳- مسیریابی

در طی چند سال اخیر میزان تقاضا برای شبکه‌های ارتباطی به شدت افزایش یافته است .با گسترش سرویس اینترنت نظیر پست الکترونیکی، جستجو در بانکهای اطلاعاتی، تبادل فایل و سایر سرویس متداول نیاز به تبادل بین شبکه ای حس می‌گردد. با استفاده از مسیریاب های شبکه امکان دسترسی به شبکه جهانی اینترنت و سرویس آن فراهم می‌آید. در شکل (۶-۱) نمونه ای از اتصال زیر شبکه‌های مختلف از طریق مسیریاب های شبکه نشان داده شده است. درون زیرشبکه‌ها از پروتکل های مختلفی نظیر Ip ، Ipx ، X.25 ، XNS ، .... استفاده می‌شود . هرمسیریاب برای انجام عملیات مسیریابی از پروتکل های مسیریابی مانند : IS-IS, RIP, OSPF و ... استفاده می‌کند.



شکل (۶-۱): اتصال شبکه‌های مختلف با کمک مسیریاب به یکدیگر

مسیریاب‌های شبکه در سطح لایه سوم مدل مرجع OSI عمل می نمایند. لایه شبکه داده‌های لایه حمل را دریافت نموده و با افزودن سرآیندهای مناسبی نظیر آدرس منطقی مبدأ و مقصد، آن را به لایه پایین تر تحویل می‌دهد. در شکل (۶-۲) مدل لایه ای مسیریاب نشان داده شده است.

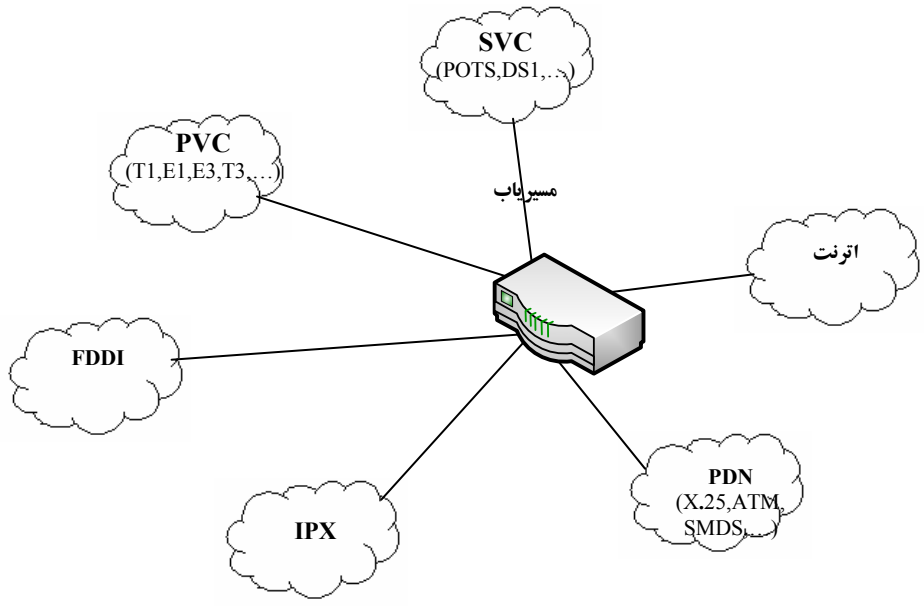


شکل (۶-۲): مدل لایه ای یک مسیریاب شبکه

مسیریاب‌های شبکه، عملیات فیلترینگ و هدایت به جلو بسته‌های ورودی را انجام می‌دهند. از مسیریاب‌ها می‌توان به‌عنوان یک تکرارکننده و یا پل نیز استفاده نمود. به غیرازهدایت بسته‌ها از مبدأ به مقصد، هر مسیریاب قادر به ارائه سرویس ارزش افزوده دیگری نیز می‌باشد که برخی از مهمترین آنها عبارتند از : مرتب سازی ترافیک[۱]، فیلترینگ امنیتی[۲]، مدیریت شبکه و نگه‌داری منابع شبکه.

مطابق با شکل (۶-۳) هر مسیریاب قادر به پشتیبانی از چندین فن‌آوری مختلف شبکه می‌باشد .هر مسیریاب شبکه، برای هدایت بسته‌ها به مقصد از الگوریتم‌های مسیریابی استفاده می‌کند. هر چند اجزای هر الگوریتم مسیریابی با یکدیگر متفاوت می‌باشد اما تمام آنها دارای اهداف مشخص زیر می‌باشند:

- ***بهینه بودن:*** هر الگوریتم مسیریابی باید براساس ضوابط انتخاب مسیر، بهترین مسیر را انتخاب کند.
- ***همگرایی سریع:*** الگوریتم مسیریابی خوب باید در برابر تغییرات توپولوژی شبکه به سرعت همگرا گردد.
- ***قدرت[۳]:*** چنانچه توپولوژی شبکه تغییر نماید، الگوریتم مسیریابی باید دوباره بهترین مسیر را به‌دست آورد.
- ***سادگی پیاده سازی:*** الگوریتم مسیریابی باید حتی الامکان پهنای باند شبکه را اشغال ننماید و بالاسری پردازش کمی داشته باشد.



شکل(۶-۳): فن‌آوری های مختلف مسیریاب

۶-۳-۱- الگوریتم‌های مسیریابی

[۱] Traffic sequencing
[۲] Security filtering
[۳] Robustness

مهمترین وظیفه لایه شبکه، مسیریابی و راهبری بسته‌های اطلاعاتی از ماشین مبدأ به ماشین مقصد است. در بیشتر زیرشبکه‌ها، بسته‌های اطلاعاتی جهت رسیدن به مقصد از چندین نود میانی می گذرند و بنابراین باید بهترین مسیر برای رسیدن به مقصد شناسایی و انتخاب شود، تا بسته‌ها به آن مسیر هدایت شوند. الگوریتم مسیریابی، بخشی از نرم‌افزار لایه شبکه است؛ که موظف به تصمیم‌گیری درباره کانال خروجی یک بسته ورودی و هدایت آن درکانال فوق می‌باشد. درشبکه‌های داده گرام برای هر بسته ورودی باید این تصمیم‌گیری صورت گیرد؛ چرا که دراین شبکه‌ها ممکن است بهترین مسیر به‌طور دایم تغییر کند. در شبکه‌های مدارمجازی، یافتن مسیر فقط در فاز برقراری ارتباط انجام می‌شود. در هر صورت، آنچه که در مسیریابی مهم است : صحت، سادگی، پایداری، قدرت ، شفافیت و بهینه بودن مسیرانتخابی می‌باشد.

شاید بتوان گفت پایداری، مهمترین هدف برای الگوریتم مسیریابی است. البته لازم به ذکر است که ممکن است درمواردی دراهداف فوق تداخل پیش بیاید و این اهداف با یکدیگر متضاد باشند اما در هرصورت می‌توان به سطحی رسید که تمام اهداف تا حدودی برآورده شوند.

الگوریتم‌های مسیریابی را می‌توان به دو گروه عمده تقسیم کرد: الگوریتم‌های غیروفقی والگوریتم‌های وفقی. الگوریتم‌های غیروفقی، تصمیم‌های مسیریابی خود را بر اساس ترافیک و توپولوژی جاری شبکه انجام نمی‌دهند، بلکه انتخاب مسیر از هر نود به نود دیگر، زمانی که شبکه راه‌اندازی می‌شود صورت می گیرد. به اینگونه مسیریابی، مسیریابی ایستا نیز گفته می‌شود.

الگوریتم‌های وفقی، تصمیمات مسیریابی خود را با تغییر توپولوژی و غالباً ترافیک، تغییر می‌دهند. این الگوریتم ها، اطلاعات مسیریابی را به نحوی متفاوت با الگوریتم‌های ایستا به‌دست می‌آورند و نیز مسیر خود را زمانی که بار ترافیکی و یا توپولوژی شبکه تغییر می‌کند، تغییر می‌دهند. به این الگوریتم‌ها، الگوریتم‌های پویا نیز گفته می‌شود.

۶-۳-۱-۱- الگوریتم‌های ایستا

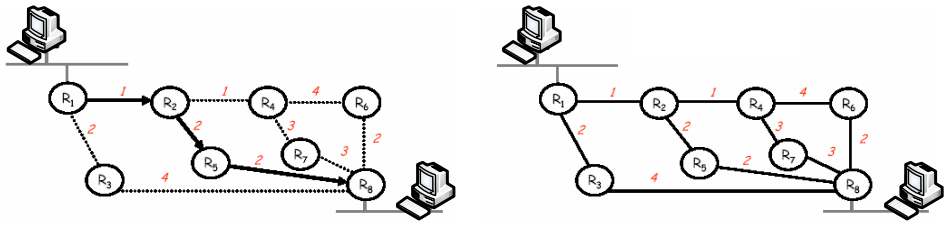
برای تشریح الگوریتم‌های مسیریابی، زیر شبکه به‌صورت یک گراف درنظرگرفته می‌شود که هر نود آن یک مسیریاب است و هریال، معرف یک کانال ارتباطی است. برخی از مهمترین الگوریتم‌های مسیریابی ایستا در شبکه‌های کامپیوتری به شرح زیر می‌باشند:

- ***الگوریتم کوتاهترین مسیر[1]:*** در این الگوریتم، هدف یافتن کوتاهترین مسیر موجود بین مبدأ و مقصد می‌باشد که این کوتاهترین مسیر تعابیر متفاوتی می‌تواند داشته باشد واین تعابیر بر اساس معیارهای مختلف صورت می گیرد. مثلاً میتوان از معیار تعداد پرش‌هایی که باید در طی مسیر از آنها گذشت استفاده نمود. براساس این معیارها به هر یال گراف شبکه، یک برچسب نسبت داده می‌شود که از این برچسبها برای محاسبه کوتاهترین مسیر استفاده می‌گردد. برچسب های موجود برروی هریال شبکه معرف مشخصه‌های گوناگونی نظیر فاصله، پهنای باند، متوسط ترافیک، هزینه ارتباطی، متوسط طول صف و تاخیراندازه گیری شده می‌باشند. با اجرا شدن الگوریتم کوتاهترین مسیر برروی مسیریاب های شبکه ، فاصله همه نودهای دیگر بامسیریاب جاری مشخص می‌شود. یکی از مهمترین الگوریتم‌های مسیریابی کوتاهترین فاصله، الگوریتم Dijestra می‌باشد. درشکل (۶-۴) مثالی از الگوریتم فوق آورده شده است. دراین شکل کوتاهترین مسیر بین کامپیوتر میزبان A و کامپیوتر میزبان B از طریق مسیریاب های R1-R2-R5-R6 می باشد.
- ***الگوریتم سیل[2]:*** الگوریتم ایستای دیگری که در این‌جا معرفی می‌شود، الگوریتم سیل است. در این الگوریتم هر نود شبکه هر بسته اطلاعاتی دریافتی خود را به کلیه درگاه‌های خروجی خود، به جز درگاهی که بسته از آن وارد شده است، می فرستد. طبیعی است که در این حالت تعداد زیادی بسته اطلاعاتی یکسان وجود خواهد داشت. در هر بسته

[1] Shortest path

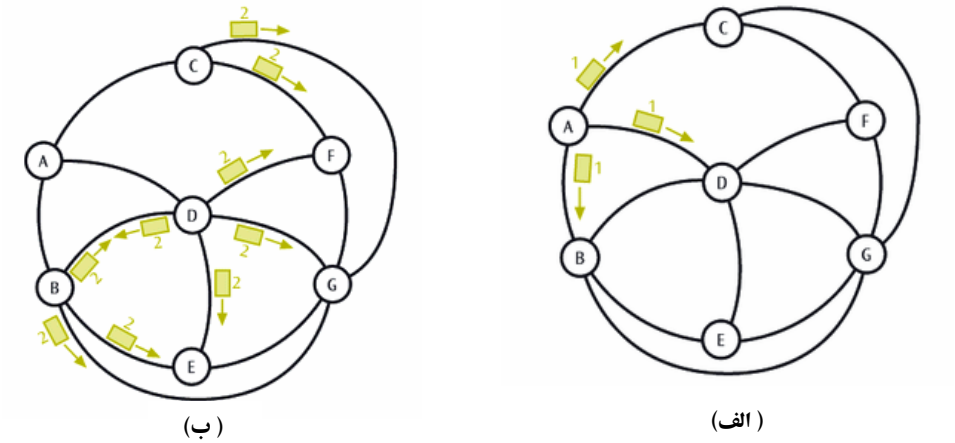
[2] Flooding

اطلاعاتی، یک فیلد در قسمت سرآیند وجود دارد که حاوی یک شمارنده می‌باشد. هر بار که بسته ای به یک نود می رسد و نود می خواهد آن را منتشر کند، یکی ازمقدار این فیلد کم می‌شود. زمانی که مقدار فیلد فوق به صفر رسید، نود دریافت‌کننده بسته از انتشار آن جلوگیری می‌کند. درحالت ایده آل مقدار اولیه این شمارنده باید برابر با تعداد پرش‌های موجود در مسیر باشد. اگر فرستنده از تعداد پرش های موجود بین خود و مقصد مطلع نباشد، در بدترین حالت از قطر شبکه (یعنی طولانی ترین مسیر ممکن بین مبدأ و مقصد در آن زیر شبکه) استفاده می‌کند. یک روش دیگر برای جلوگیری ازانتشار بی‌خودی بسته‌ها این است که هر بسته دارای یک شماره سریال خاص خود باشد. هرنود شبکه که یک بسته ورودی را منتشر می سازد، شماره سریال آن را در حافظه خود ذخیره می‌کند. با ورود بسته جدید ابتدا شماره سریال آن با شماره سریال بسته‌های موجود درحافظه مقایسه می‌شودو درصورت عدم تطابق، بسته ورودی منتشر می‌گردد. البته باید از مکانیسم‌های کنترلی برای جلوگیری از رشد بیش از حد لیست شماره سریال های بسته‌ها در حافظه های نودهای میانی شبکه استفاده نمود. درشکل (۶-۵) مثالی از مسیریابی سیل آورده شده است.



(ب) (الف)

شکل (۶-۴): مثالی از مسیریابی کوتاهترین فاصله



(ب) (الف)

شکل (۶-۵): مثالی از مسیریابی سیل

۶-۳-۱-۲- الگوریتم‌های پویا

در بیشتر شبکه‌های کامپیوتری امروزی، از الگوریتم‌های مسیریابی پویا به جای الگوریتم‌های ایستا استفاده می‌شود. دو الگوریتم مسیریابی پویای بردارفاصله[۱] و وضعیت لینک[۲] ازاهمیت زیادی در شبکه‌های کامپیوتری برخوردار می‌باشند که به بررسی آنها می پردازیم.

الگوریتم مسیریابی بردار فاصله

در این الگوریتم هرمسیریاب یک جدول (یک بردار)، که نشان دهنده بهترین مسیر شناخته شده تا هر مقصد و نحوه رسیدن به آن مقصد است را ذخیره می‌کند. این جداول با تبادل اطلاعات بین همسایه‌ها به روزآوری می‌شوند. این الگوریتم با نامهای دیگری نظیر الگوریتم مسیریابی توزیع شده بل من- فورد والگوریتم فورد-فوجستون نیز شناخته می‌شود . الگوریتم فوق اولین الگوریتم مسیریابی استفاده شده درشبکه آرپانت می‌باشد. الگوریتم مسیریابی RIP[3] که امروزه در شبکه جهانی اینترنت استفاده می‌شود، از روش مسیریابی بردار فاصله استفاده می‌کند. بسیاری از شرکت‌های تولید کننده مسیریاب، نظیرشرکت Apple Talk و Cisco نیز از فرم پیشرفته این الگوریتم درمسیریاب های خود استفاده می کنند. الگوریتم مسیریابی بردار فاصله یک الگوریتم وفقی‌می‌باشد که در آن هر مسیریاب شبکه به‌طور متناوب در فواصل زمانی معین جدول مسیریابی خود را برای دیگر مسیریاب‌های شبکه ارسال می‌کند. هر مسیریاب با دریافت جداول مسیریابی از مسیریاب‌های مجاورخود، اقدام به روزآوری جدول مسیریابی خودمی‌کند. طبیعی است که بعد از مدتی، جدول مسیریابی کلیه مسیریاب‌های شبکه به روزآوری می‌شود و بدین ترتیب هر مسیریاب، کل شبکه را شناسایی‌می‌کند.

به‌عنوان مثال برای درک بیشتر این الگوریتم شبکه نشان داده شده در شکل (۶-۶) را در نظر بگیرید. دراین شکل هفت شبکه مختلف از طریق مسیریاب‌های A,B,C,D,E و F به یکدیگر متصل شده‌اند. در شروع کار شبکه، هرمسیریاب فقط شبکه‌هایی را که به آنها اتصال مستقیم داردمی‌شناسد. در مثال فوق، ارزش عددی هر لینک ۱می‌باشد. به عبارت دیگر مسیریاب‌های شبکه در انتخاب مسیر، مسیری را که دارای کمترین پرش می‌باشد، در نظرمی‌گیرند.

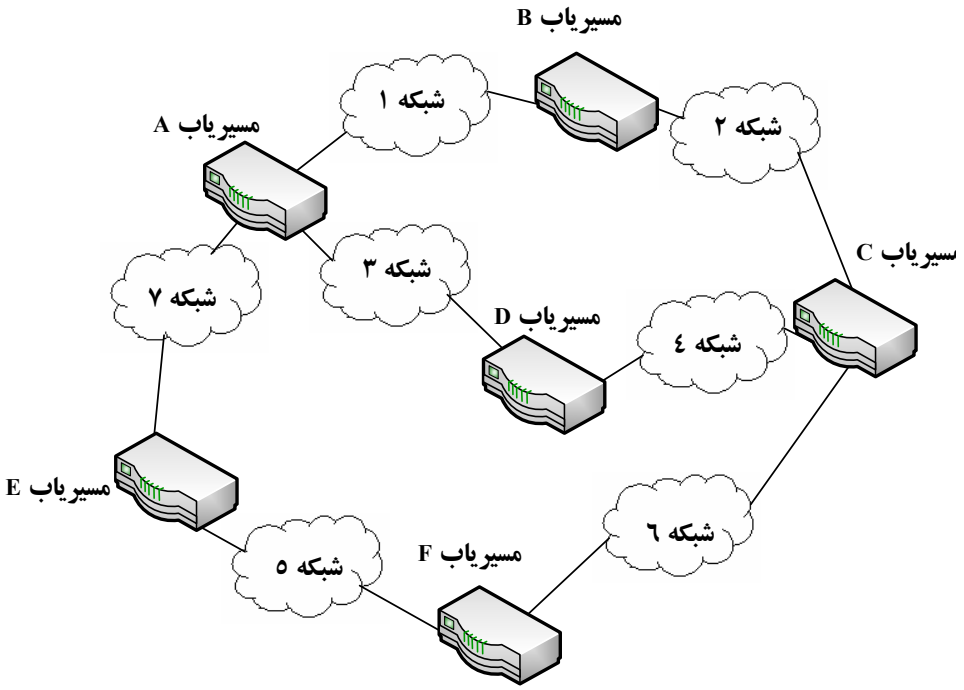
در شکل (۶-۷) نحوه به روزآوری جداول مسیریابی مسیریاب‌های شبکه نشان داده شده است. دیده می‌شود که بعدازگذشت مدتی، تمامی مسیریاب های شبکه ازوضعیت شبکه مطلع شده وجدول مسیریابی خود را کامل می‌نمایند. البته بعد از این‌که جداول مسیریابی شبکه کامل شد، مسیریاب‌های شبکه همچنان به‌طور متناوب هر چند وقت یک بار اقدام به ارسال جداول مسیریابی خود به یکدیگرمی‌نمایند. بدین ترتیب اگر تغییری در شبکه رخ دهد، نزدیکترین مسیریاب متوجه تغییرمی‌شود و بعد از مدتی تمام مسیریاب های شبکه از بروز تغییر فوق آگاه می‌شوند.

---

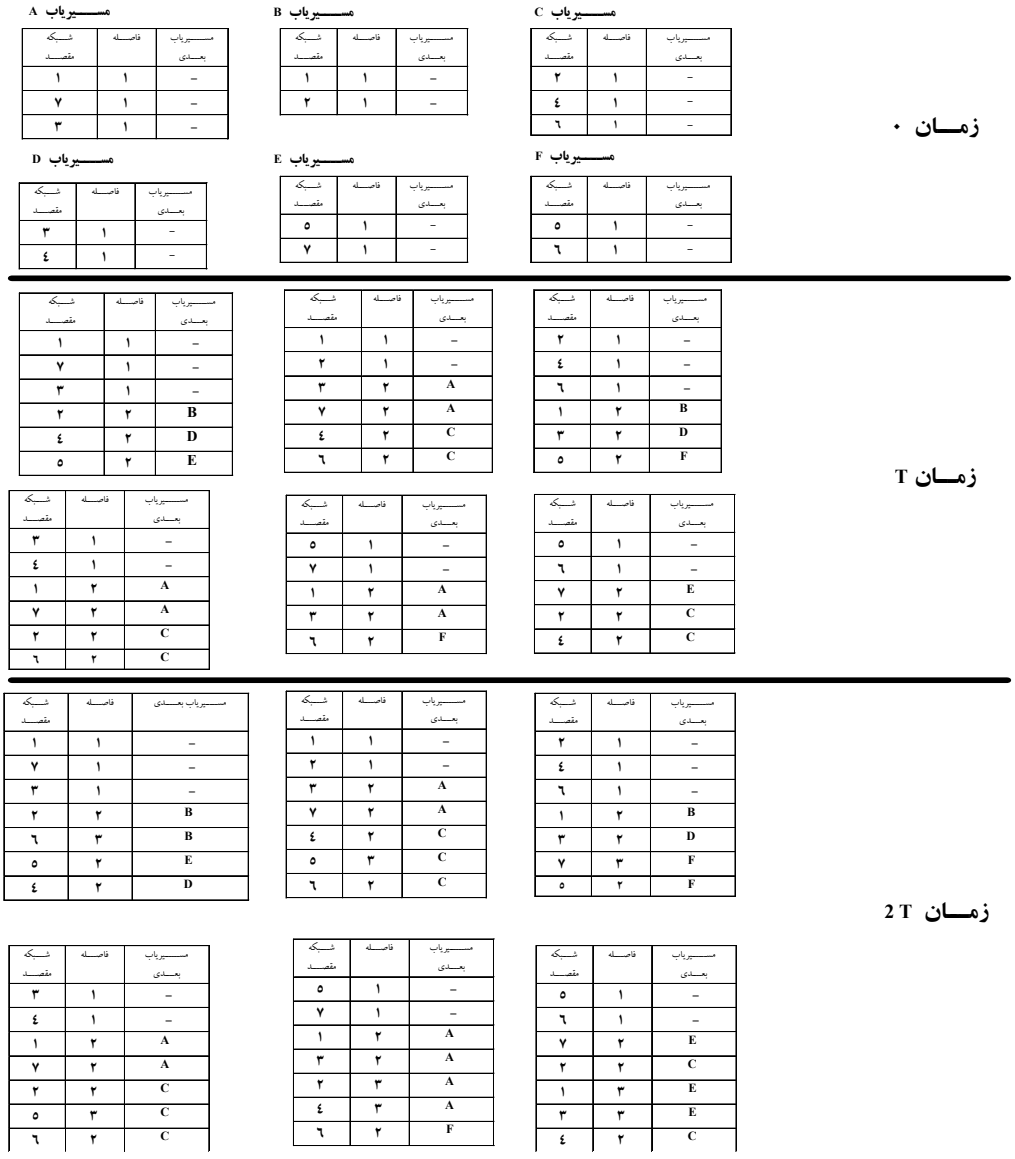
۱ Distance vector routing

۲ Link state routing

۳ Routing Information Protocol



شکل(۶-۶): یک شبکه نمونه برای توصیف مسیریابی بردار فاصله



شکل(۶-۷): مراحل تکمیل جدول مسیریابی شبکه نشان داده درشکل (۶-۶)

مسیریابی وضعیت لینک

مسیریابی وضعیت لینک، یک جایگزین مناسب با قابلیت انعطاف پذیری بالاتر و قدرت بیشتراز مسیریابی بردار فاصله است که منشأ پیدایش آن شبکه آرپانت می‌باشد. استفاده از این الگوریتم درچند سال اخیرگستردگی زیادی یافته است، به‌طوری که امروزه در اینترنت هم از این نوع مسیریابی استفاده وسیعی می‌شود. دو مشکل عمده روش مسیریابی بردار فاصله، باعث گردید که امروزه از مسیریابی وضعیت لینک در شبکه جهانی اینترنت استفاده وسیعی شود. نخست این‌که در مسیریابی بردار فاصله، معیارمحاسبه تاخیرطول صف می‌باشد و الگوریتم هیچ توجهی به پهنای باندخطوط برای ارزیابی تاخیر ندارد. مساله دوم این‌که همگرا شدن الگوریتم بردارفاصله وقتی که مکانیسمهای شناسایی حلقه های مسیریابی نیز استفاده می‌شوند طولانی می‌باشد. به‌علت وجود دو مشکل فوق در مسیریابی بردار فاصله، مسیریابی وضعیت لینک جایگزین آن گردید. امروزه شکلهای متنوعی از این نوع مسیریابی به‌طور گسترده در شبکه‌های کامپیوتری استفاده می‌شود.

در مسیریابی وضعیت لینک هر مسیریاب بایدمراحل زیر را اجرا نماید:

۱- همسایگانش را شناسایی نماید و آدرس شبکه آنها را یاد بگیرد.

۲- تاخیر و هزینه رسیدن به هر یک از همسایگانش را اندازه گیری کند.
۳- آنچه را که یاد گرفته است در قالب یک بسته اطلاعاتی در آورد واین بسته اطلاعاتی را به کلیه مسیریاب‌های دیگر ارسال کند.
۴- کوتاهترین مسیر تا هر یک از مسیریاب های دیگر را حساب کند.

طبق آنچه که در شماره ۳ گفته شده است، هر مسیریاب موظف به ساختن یک بسته اطلاعاتی است، که این بسته اخبار وضعیت لینک(LSA[1]) نامیده می‌شود. پس ازآن‌که ساخت LSA در مسیریاب کامل گردید، نوبت به ارسال آن به دیگر مسیریاب‌ها است که این‌کار به عهده یک پردازه به نام سیل می‌باشد. در واقع ایده اصلی عملکرد این پردازه ازهمان روش مسیریابی سیل که در بخش الگوریتم‌های ایستا گفته شد، گرفته شده است. پردازه سیل باید سریع و قابل اعتماد باشد. بعد ازگذشت چند دوره زمانی، پایگاه‌های داده وضعیت لینک درمسیریاب ها همگرا و یکسان خواهند شد. هر چه الگوریتم بهتر باشد این زمان همگرایی کوتاهترخواهد بود. زمان همگرایی در الگوریتم فوق به میزان تأخیر انتشاردر شبکه نیز بستگی دارد. بعد از همگرائی پایگاه‌های داده به کمک آن بهترین مسیر برای رسیدن به سایر نودها محاسبه می‌شود که دراصطلاح به این مرحله محاسبه مسیرگفته میشود. در مرحله محاسبه مسیرغالباً از الگوریتم‌های کوتاهترین فاصله نظیر Dijestra استفاده می‌شود. به همین جهت گاهی به پروتکل‌های وضعیت لینک، پروتکل‌های مبتنی بر کوتاهترین مسیرنیزگفته میشود. البته به غیر از الگوریتم کوتاهترین فاصله، می‌توان ازالگوریتم‌های دیگرنیز استفاده نمود.

یکی از مسائل مهم در الگوریتم وضعیت لینک، بروز آوری LSA ها است. هر مسیریاب شبکه، زمانی که در محیط محلی اش تغییری رخ میدهد، LSA های خود را به روز درمی‌آورد. مدت زمانی که طول می کشد تا مسیریاب متوجه بروز تغییرات در محیط محلی اش شود، تأثیرزیادی در واکنش یک پروتکل وضعیت لینک به تغییرات شبکه دارد. ممکن است توسط دیگر پروتکل‌های درحال اجرا درمسیریاب‌های شبکه، تغییرات در محیط عملیاتی محلی هرمسیریاب تشخیص داده شود. در بسیاری از پروتکل‌های وضعیت لینک، به‌طورمتناوب هرمسیریاب نشانه "سلام" را به دیگرهمسایگانشان می فرستد تا بدین‌وسیله متوجه غیبت احتمالی یک مسیریاب همسایه گردد. برای کسب اطمینان بیشتر، اکثر پروتکل‌های وضعیت لینک به‌طور متناوب LSA های خود را حتی وقتی‌که در شبکه تغییری رخ نداده باشد هم به روز درمی‌آورند.

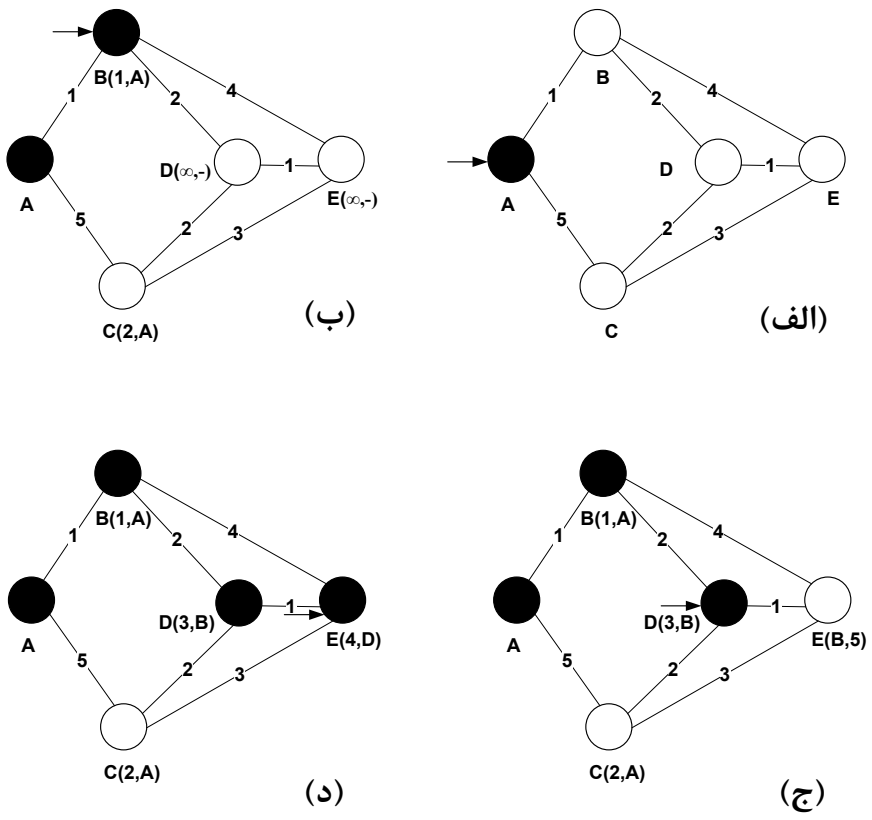
در محاسبه مسیرمی‌توان از روش‌های مسیریابی متنوعی نظیر مسیریابی پرش به پرش[2] و مسیریابی مبدأ[3] استفاده نمود. هر دو پروتکل فوق درالگوریتم مسیریابی وضعیت لینک حمایت می‌شوند. در مسیریابی پرش به پرش، بسته‌های ارسالی با استفاده از آدرس گیرنده بسته به سمت مقصد هدایت می‌شوند. دراین روش بسته ورودی به هرمسیریاب (پرش) که می‌رسد، آن مسیریاب به‌طور مستقل از سایر مسیریاب‌ها و با توجه به جدول مسیریابی خود وآدرس مقصد بسته، اقدام به مسیریابی بسته می‌کند. در روش مسیریابی پرش به پرش احتمال وقوع حلقه های مسیریابی زیاد می‌باشد.

برای درک بهتر پروتکل مسیریابی وضعیت لینک، به ذکر یک مثال می پردازیم. به عنوان مثال شبکه نشان داده شده درشکل (۶-۸) (الف) را درنظر بگیرید. فرض کنید که هدف محاسبه بهترین مسیر بین نود A و نود E می باشد. همانطور که از شکل مشاهده می شود، بین دو نود فوق ۶ مسیر مختلف شامل : ABE, ACE, ABDE, ACDE, ABDCE, ACDBE وجود دارد. بدیهی است که بهترین مسیر موجود مسیرABDE می باشدکه دارای هزینه کمتر از سایر مسیرها است. مراحل الگوریتم وضعیت لینک به شرح زیر است:

---

[1] Link State Advertisement
[2] Hop by hop routing
[3] Source routing

۱. ابتدا نود مبدا A به عنوان نود شروع انتخاب شده و وضعیت آن دائمی می شود. نودهای دائمی درشکل بـه صـورت دایره پررنگ نشان داده می شوند. نودهایی که دائمی نشده اند با دایره خالی نشان داده شده اند.
۲. با توجه به شکل، ازبین نودهای B وC که ارتباط مستقیم به نود شروع A دارند، نود B به عنوان نود بعدی درمسیر انتخاب می شود. این نود درمقایسه با نود C دارای فاصله کمتری تا نود مبدا A است. وضـعیت نـود B بـه صـورت دائمی درآمده و پررنگ می شوند.
۳. نود B به عنوان نود بعدی انتخاب شده و نودهای همسایه آن که ارتباط مستقیم با آن دارند بدسـت مـی آینـد. بـا توجه به شکل فوق نودهایD وE به نود B متصل بوده ولی نود D دارای فاصله کمتری تا B بوده و بنـابراین ایـن نود به عنوان نود بعدی انتخاب می شود و وضعیت آن دائمی می شود.
۴. همسایه بعدی نود D که کمترین هزینه را دارا می باشد، نود E است. بنابراین نود فوق به عنوان نود بعدی انتخـاب می شود.
۵. با توجه به اینکه نود E نود مقصد می باشد، بنابراین الگوریتم خاتمه یافته و مسیر ABDE بـا فاصـله برابـر بـا ۵ بدست می آید.



شکل(۶-۸): مثالی از مسیریابی وضعیت لینک

۶-۴- کنترل ازدحام

یکی دیگر از وظایف مهم لایه شبکه کنترل ازدحام‌می‌باشد. هنگامی‌که تعداد بسته‌های ارسالی کاربران به شبکه بیش از حد زیاد باشد، در این صورت بافر اکثر نودهای شبکه پرمی‌شود و پس از آن نودهای شبکه قادر به ارائه سرویس مطلـوب بـه کاربران خودنمی‌باشند. در یک شبکه کامپیوتری، تعداد بسته‌های تحویل داده شده به مقصد، متناسب بـا تعـداد بـسته‌هـای

ارسالی‌می‌باشد. چنانچه بسته‌های ارسالی بیش از ظرفیت شبکه باشند، در این صورت نودهای شبکه قادر به تحمل انبوه بسته‌های ورودی نمی‌باشند و بدین ترتیب بسته‌های ورودی از بین می‌روند که این امر مشکل ازدحام و ازدحام را بدتر و بدتر می‌کند. چنانچه ترافیک ورودی به شبکه بیش ازحد زیاد باشد، در این صورت کارآیی شبکه به شدت افت می‌کند و تقریباً هیچ بسته‌ای به مقصد نمی‌رسد.

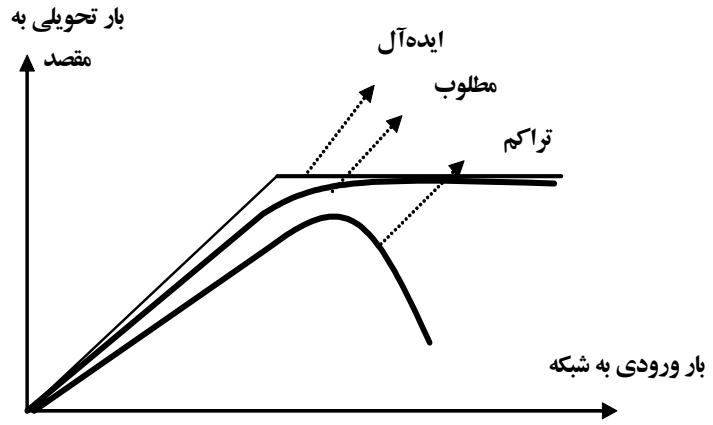
عوامل مختلفی باعث ایجاد ازدحام در شبکه‌های کامپیوتری می‌شوند. اولین عامل موثر در ایجاد ازدحام در نودهای شبکه، سرعت پردازش پایین نودهای شبکه می‌باشد. چنانچه نودهای میانی شبکه سرعت پردازش کمی‌داشته باشند، در این صورت تمامی بافرهای میانی شبکه لبریزمی‌شوند.

دومین دلیل ایجاد ازدحام در شبکه‌های کامپیوتری، کند بودن سرعت لینک‌های خروجی هر نود می‌باشد. به عبارت دیگر چنانچه نرخ ورود ترافیک به نودهای شبکه، بیشتر از ظرفیت خطوط خروجی باشد، احتمال وقوع ازدحام زیاد می‌باشد.

چنانچه در شبکه، ازدحام به‌وجود آید، بافرهای میانی شبکه لبریز می‌شوند و باگذشت زمان درصورتی‌که اقدام مناسب انجام نشود، وضعیت ازدحام بدترمی‌گردد. اگر بسته ارسالی فرستنده در بافرهای میانی شبکه از بین برود، فرستنده بعد از مدتی دوباره اقدام به ارسال بسته فوق می‌کند؛ که این امر باعث افزایش شدت ازدحام‌می‌شود. با توجه به این‌که فرستنده با ارسال هر بسته، آن را درحافظه خود ذخیره می‌سازد تا درصورت نیاز دوباره آن را ارسال نماید، چنانچه ازدحامی در شبکه به وقوع پیوندد، بسته‌های ارسالی فرستنده از بین رفته و بدین ترتیب فرستنده هیچگاه نمی‌تواند بافر خود را خالی نماید.

باید توجه نمود که کنترل ازدحام با کنترل جریان متفاوت می‌باشد. کنترل ازدحام به روال‌های لازم جهت کنترل تمام نودهای شبکه و بافرهای میانی آنها برای جلوگیری از کاهش کارآیی شبکه دلالت دارد؛ در حالی‌که کنترل جریان فقط بین دو نقطه انجام می‌شود و هنگامی‌که یک فرستنده سریع به یک گیرنده کند، داده‌هایی را ارسال می‌دارد از کنترل جریان برای تعدیل سرعت ارسال فرستنده و تنظیم آن با سرعت دریافت گیرنده استفاده‌می‌شود.

در شکل (۶-۹) نمودار تعداد بسته‌های تحویل داده شده در مقصد برحسب تعداد بسته‌های ارسالی به شبکه رسم شده است. همان‌طور که در این شکل دیده‌می‌شود، با افزایش تعداد بسته‌های ارسالی به شبکه، تعداد بسته‌های تحویل داده شده در مقصد نیز افزایش‌می‌یابد. چنانچه بسته‌های ارسالی از حدی بیشتر شوند، شبکه با ازدحام مواجه می‌گردد و قادر به ارائه کارآیی مطلوب خودنمی‌باشد.



شکل(۶-۹): تاثیر ازدحام برکارآیی شبکه

۶-۵- ارتباط بین شبکه‌ای

یکی دیگر از وظایف مهم لایه شبکه ، ارتباط بین شبکه‌ای می‌باشد. همان‌طور که در فصل اول به آن اشاره شد، شبکه‌های کامپیوتری دارای مزایای متعددی می‌باشند. شبکه‌سازی و اتصال شبکه‌های کامپیوتری به یکدیگر نیز دارای مزایای زیادی است. در راستای ایجاد یک شبکه وسیع جهانی، اتصال شبکه‌ها به یکدیگر و ایجاد یک شبکه بزرگتر دارای مزایا و اهداف متعددی می‌باشد.

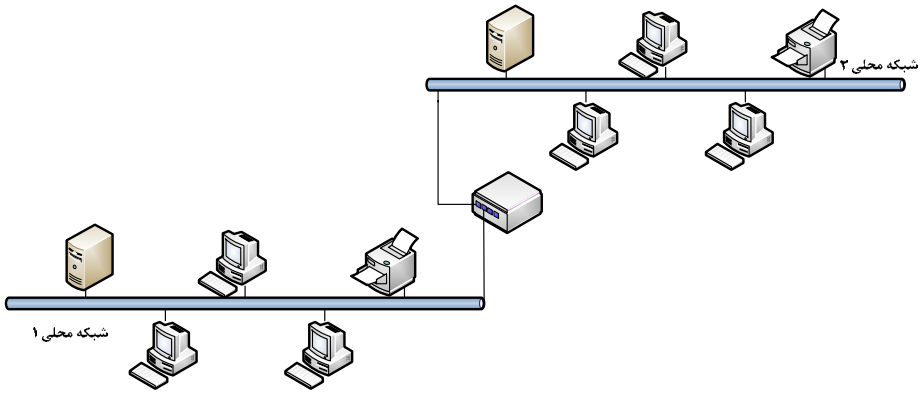
اتصال یک یا چند شبکه و ایجاد یک شبکه بزرگتر واتصال آنها به یکدیگر را ارتباط بین شبکه‌ای گویند. چنانچه فرستنده وگیرنده یک بسته در دو شبکه متفاوت با پروتکل‌های غیریکسان قرارداشته باشند، در این صورت لزوم تبدیل بسته‌ها از یک پروتکل به پروتکل دیگر و استفاده از تجهیزات خاص ارتباط بین شبکه‌ای حس‌می‌شود. به شبکه‌هایی که از اتصال چند شبکه به یکدیگر به‌وجود می آید، دراصطلاح internet گفته می‌شود. البته باید توجه نمود که شبکه جهانی Internetنمونه کاملی از یک internet است که درآن میلیون‌ها کامپیوتر به یکدیگر متصل شده‌اند.

اتصال شبکه‌ها به یکدیگر و ایجاد یک شبکه وسیعتر در رده‌های مختلفی قابل انجام‌می‌باشد که عبارتند از:

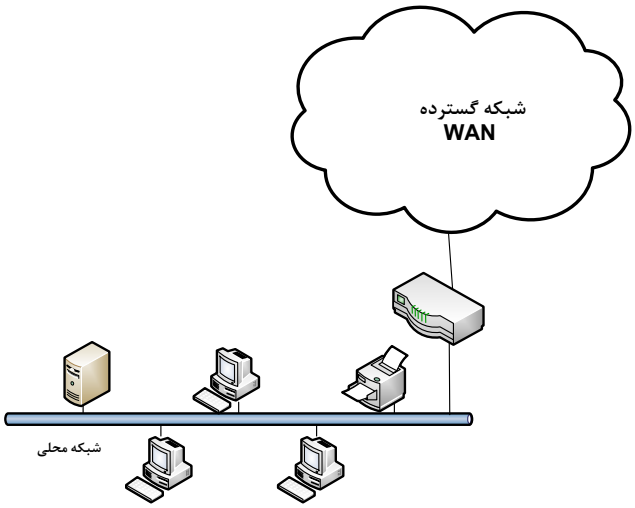
- ***اتصال*** LAN ***به*** LAN: دراین حالت دو شبکه محلی مستقیماً با کمک تجهیزات ارتباط بین شبکه ای به یکدیگر متصل می‌شوند. به‌عنوان مثال اتصال دوشبکه محلی دریک ساختمان به یکدیگرنمونه ای از اتصال LAN به LAN می‌باشد.
- ***اتصال*** LAN ***به*** WAN: دراین حالت یک شبکه محلی به یک شبکه گسترده اتصال می‌یابد. برقراری اتصال فوق به تجهیزات ارتباط بین شبکه‌ای نیاز دارد. به‌عنوان مثال اتصال شبکه محلی یک دانشگاه به اینترنت نمونه ای از اتصال LAN به WAN است.
- ***اتصال*** WAN ***به*** WAN: دراین حالت دو شبکه گسترده ازطریق تجهیزات مناسب به یکدیگر متصل شده و قادربه تبادل اطلاعات با یکدیگر می‌باشند. اتصال شبکه دیتای یک کشور به شبکه جهانی اینترنت، نمونه ای از این نوع اتصال می‌باشد.
- ***اتصال دو*** LAN ***از طریق یک یا چند*** WAN: در این حالت دو شبکه محلی که درفاصله دور از یکدیگر قرارگرفته اند، از طریق امکانات ارتباط بین شبکه ای با کمک یک شبکه گسترده به یکدیگر متصل می‌شوند. اتصال دو شبکه محلی یک سازمان ازطریق شبکه مخابرات نمونه ای از این نوع اتصال است.

درشکل (۶-۱۰) مثالی ازانواع اتصال فوق آورده شده است.

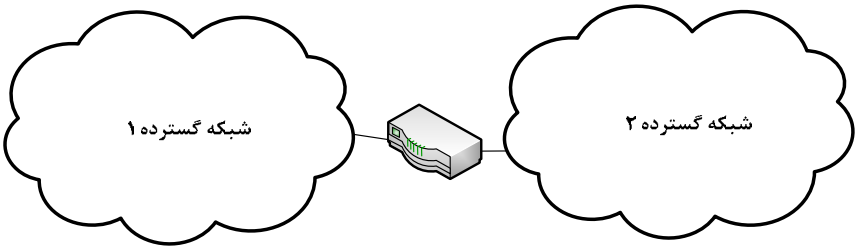
جهت اتصال دو شبکه به یکدیگر از تجهیزات ارتباط بین شبکه‌ای استفاده می‌شود. براساس این‌که دو شبکه‌ای که به یکدیگر متصل می‌شوند، درچه لایه‌هایی با یکدیگر مشترک و در چه لایه‌هایی با یکدیگر متفاوت هستند، از تجهیزات متفاوتی برای اتصال آنها به یکدیگر استفاده‌می‌شود. در زیر به بررسی مهمترین تجهیزات ارتباط بین شبکه‌ای می‌پردازیم.



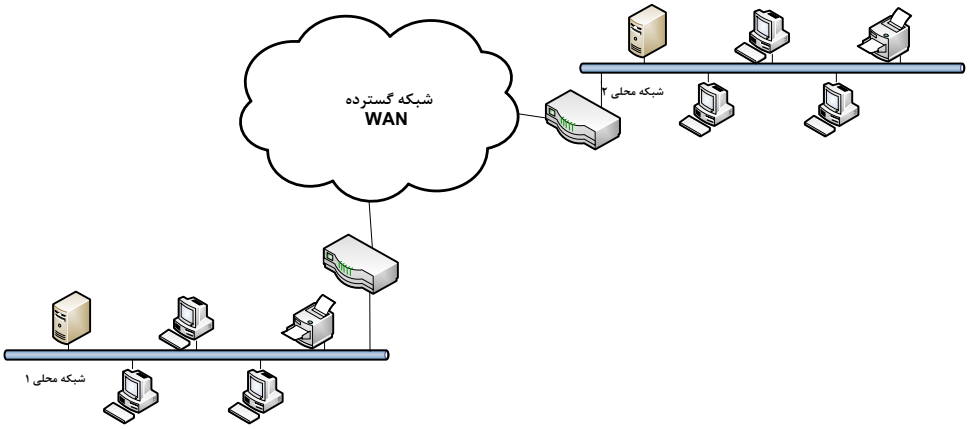
(الف)



(ب)



(ج)



(د)

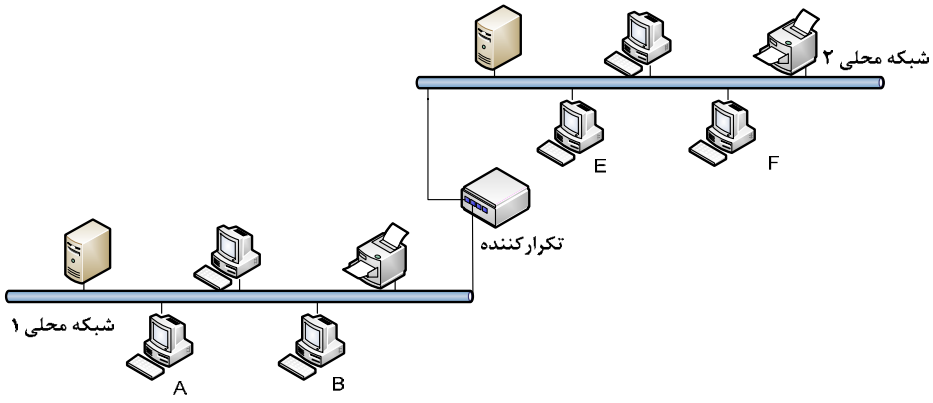
شکل (۶-۱۰) اتصال شبکه‌ها به یکدیگر

الف) اتصال LAN **به** LAN **ب) اتصال** LAN **به** WAN

ج) اتصال WAN **به** WAN **د) اتصال** LAN **به** LAN **از طریق** WAN

۶-۵-۱- تکرارکننده

یک تکرارکننده درسطح لایه فیزیکی عمل می‌کند و جهت گسترش شبکه‌های محلی استفاده می‌شود. همان‌طورکه درفصل قبل نیز اشاره شد، چنانچه کابل شبکه بیش ازحد طولانی باشد، دراینصورت سیگنال ارسالی درکابل تضعیف می‌شود و دیگر قابل دریافت درگیرنده نمی‌باشد. برای رفع این مشکل از تکرارکننده استفاده می‌گردد. درشکل (۶-۱۱) مثالی از نحوه استفاده از تکرارکننده برای اتصال دو شبکه محلی آورده شده است. باید توجه نمود که دو قسمت مختلف شبکه که توسط یک تکرارکننده به هم متصل می‌شوند، در حقیقت جزئی از یک شبکه واحد می‌باشند. مطابق با شکل فوق چنانچه به‌عنوان مثال ایستگاه A قابی را برای ارسال به ایستگاه B ، وارد شبکه نماید، تمامی‌ایستگاه‌های شبکه ازجمله E و F نیز این قاب را دریافت می‌دارند. به عبارت دیگر تکرارکننده هیچ‌گونه هوشمندی در فیلترنمودن ترافیک از خود نشان نمی‌دهد و کلیه ترافیک‌های ورودی به خود را عبور می‌دهدو به طرف مقابل ارسال‌می‌دارد.



شکل (۶-۱۱) : اتصال دو قسمت مختلف شبکه توسط یک تکرارکننده

۶-۵-۲- پل

یک پل درهر دو سطح لایه فیزیکی و پیوند داده از مدل لایه‌ای OSI عمل می‌کند. توسط یک پل امکان تقسیم بندی یک شبکه بزرگ به قطعات کوچکتر فراهم می‌آید. برخلاف تکرارکننده، پل‌ها قابلیت فیلترنمودن ترافیک‌های ورودی را به خود دارند. پل آدرس مقصد قاب ورودی را بررسی می‌کند و درصورتی‌که آدرس گیرنده قاب درطرف دیگرپل قرار داشته باشد، اجازه عبور بسته را می‌دهد ولی در غیراینصورت ازعبور بسته جلوگیری می‌کند.

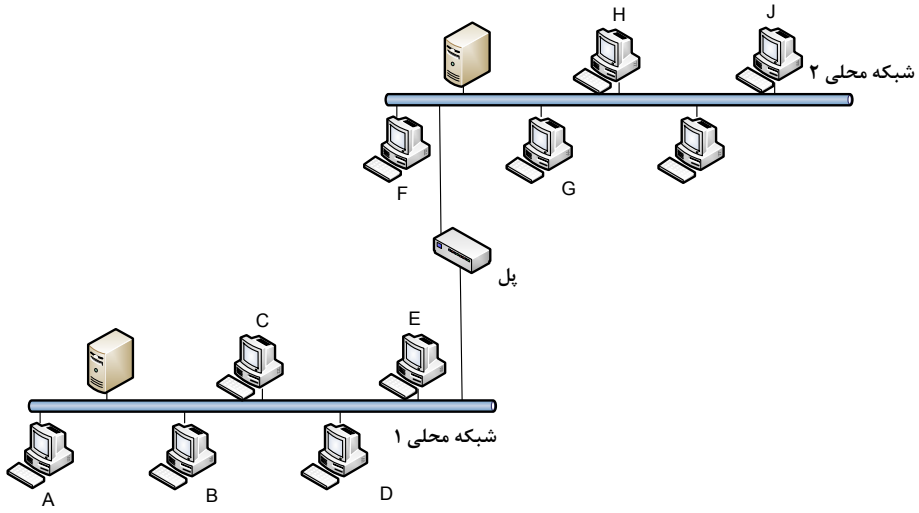
با توجه به نحوه عملکرد پل، می‌توان نتیجه گرفت که یکی از مزایای عمده آن قابلیت فیلترنمودن ترافیک و جلوگیری از ارسال ترافیک‌های ناخواسته به سایر قسمت‌های یک شبکه‌می‌باشد. در شکل (۶-۱۲) مثالی ازدوشبکه که با استفاده از پل به یکدیگر متصل شده‌اند آورده شده است. به‌عنوان مثال در این شکل، چنانچه ایستگاه A قابی‌را به مقصد ایستگاه D ارسال دارد، با توجه به این‌که فرستنده و گیرنده قاب در یک شبکه قرار دارند، پل متوجه شده و اجازه عبور قاب را ازخود نمی‌دهد؛ ولی چنانچه مقصد قاب ارسالی A، ایستگاه G باشد، قاب از پل عبور می‌کند.

هر پل برای انجام صحیح عملیات فیلترنمودن بسته‌ها، بایدحاوی یک جدول آدرس باشد که تمامی آدرس‌های فیزیکی ایستگاه‌های موجود در شبکه را دارا می‌باشد. با توجه به این‌که جدول مسیریابی آدرس فوق به چه صورت ایجاد و مدیریت شود، سه نوع مختلف از پل وجود دارند که در زیر به بررسی آنهامی‌پردازیم:

- ***پل ساده :*** این نوع پل، ساده‌ترین و ارزانترین نوع پل می‌باشد. در این نوع پل، جدول آدرس ایستگاه‌ها باید به‌صورت دستی توسط یک اپراتور واردگردد. طبیعی است که جدول فوق ثابت می‌باشد و درصورتی‌که یک ایستگاه

جدید به شبکه اضافه شود، جدول آدرس باید به‌روزآوری شود. همچنین در صورت حذف یک ایستگاه از شبکه ، آدرس آن ایستگاه در جدول آدرس پل باید از بین برود.

- ***پل آموزش گیرنده :*** این نوع پل به‌صورت خودکار اقدام به تولید جدول آدرس‌می‌کند. روش ایجاد جدول آدرس به اینصورت است که پل با شروع به کار شبکه و ارسال قاب بین ایستگاه‌های شبکه، اقدام به آموزش وفراگیری آدرس‌های فیزیکی هر یک از ایستگاه‌های شبکه می‌کند. در ابتدای راه‌اندازی شبکه، جدول آدرس‌های پل آموزش گیرنده خالی می‌باشد، ولی با گذشت زمان این جدول تکمیل می‌شود. با توجه به قدرت بالای این نوع پل و توانایی ایجاد جداول آدرس به‌صورت خودکار، قیمت پل‌های آموزش گیرنده به مراتب بیشتر از پل‌های ساده می‌باشد.
- ***پل چندین درگاهه [1] :*** سومین نوع پل، پل چندین درگاهه می‌باشد. این نوع پل که خود می‌تواند از نوع ساده و یا آموزش گیرنده باشد، دارای چندین درگاه می‌باشد ومی‌توان به‌وسیله آن چندین شبکه مختلف را به یکدیگر متصل نمود.



شکل (۶-۱۲): اتصال دو شبکه مختلف به یکدیگر به‌وسیله پل

۶-۵-۳- مسیریاب

یکی دیگر از مهمترین تجهیزات ارتباط بین شبکه‌ای، مسیریاب‌های شبکه می‌باشد. مسیریاب‌ها به آدرس‌های شبکه دسترسی دارند و با کمک نرم‌افزار مسیریابی خود، قادر به محاسبه و انتخاب بهترین مسیر بین مبدأ و مقصد می‌باشند. هرمسیریاب شبکه در سطح لایه سوم مدل مرجع OSI عمل می‌کند و با دریافت یک بسته از یکی از درگاه‌های ورودی خود و با پردازش بر روی سرآیند بسته‌های لایه سوم، آدرس گیرنده بسته را تعیین می‌کند و سپس با کمک جدول مسیریابی خود، مسیر مناسب برای ارسال بسته به مقصد را به‌دست‌می‌آورد. در شکل (۶-۱۳) مثالی از نحوه اتصال چندین شبکه به‌وسیله مسیریاب‌های شبکه آورده شده است.

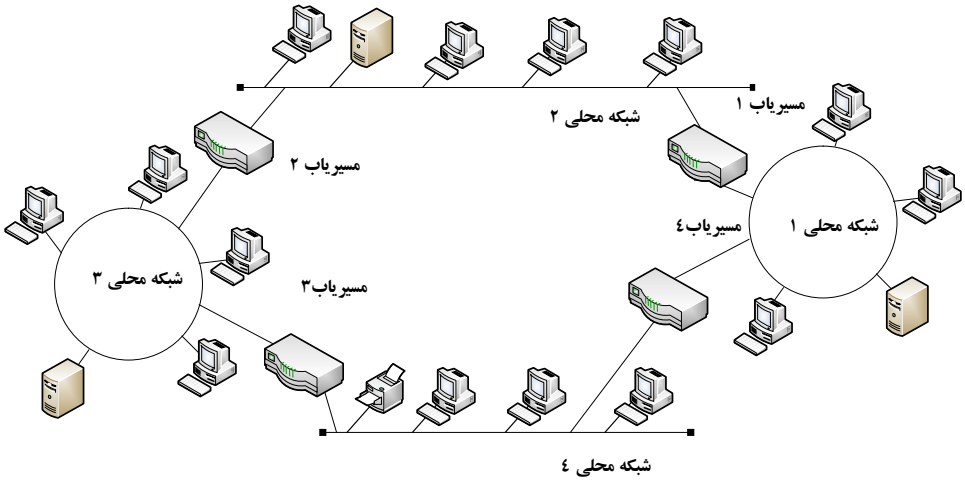
۶-۵-۴- دروازه[2]

---

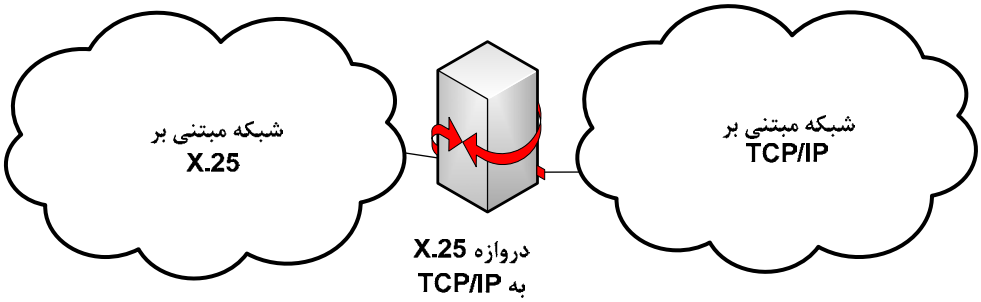
[1] Multiport bridge

[2] Gateway

مطابق با شکل (۶-۱۴) یک دروازه در سطح تمام ۷ لایه OSI عمل می‌کند. یک دروازه درحقیقت به‌صورت یک مبدل پروتکل عمل می‌کند. هنگامی‌که بخواهیم دو شبکه کاملاً متفاوت را که دارای معماری‌های مختلف هستند به یکدیگر متصل نماییم، از دروازه استفاده‌می‌شود. به‌عنوان مثال چنانچه بخواهیم یک شبکهTCP/I P را به یک شبکهX.25 متصل نماییم، با توجه به این‌که این دو شبکه دارای معماری‌های مختلف هستند و پروتکل‌های مختلفی در این دو شبکه وجود دارد، برای اتصال این دو شبکه نیاز به یک دروازه داریم.



شکل (۶-۱۳) : اتصال چندین شبکه مختلف به یکدیگر با استفاده از مسیریاب



شکل (۶-۱۴) : اتصال دو شبکه مختلف به یکدیگر با استفاده از دروازه