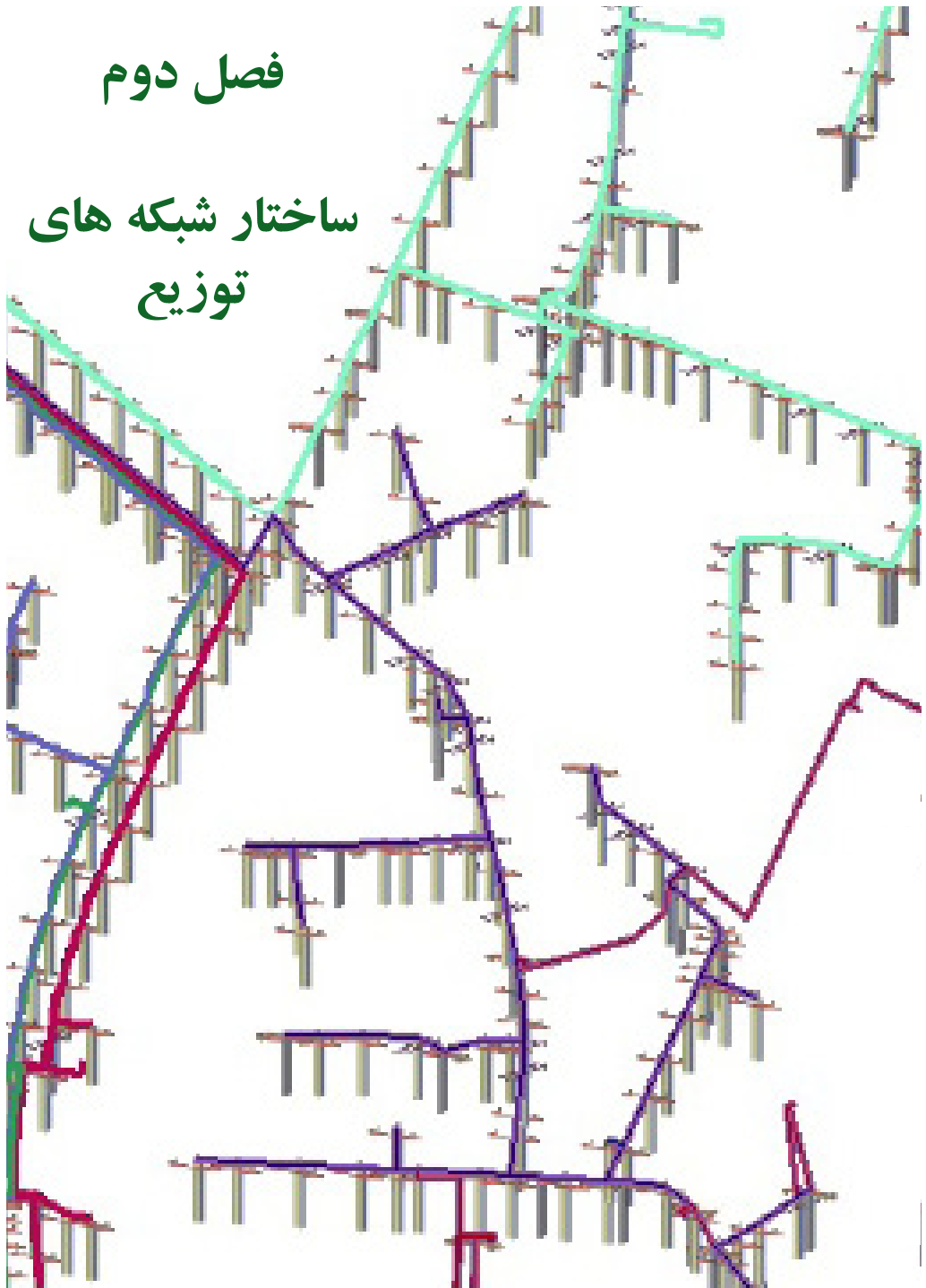


## فصل دوم

### ساختر شبکه های توزیع



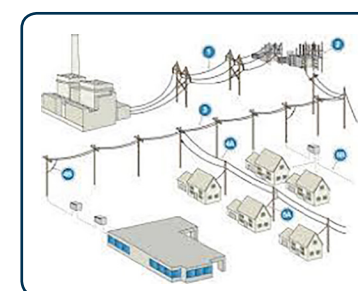
## مقدمه

با توجه به مزیت های مهم انرژی الکتریکی بر سایر انرژی ها به صورت سادگی و راحتی توزیع و قابلیت انتقال برای مسافت های طولانی امروزه پیش بینی می گردد که بیشترین مصرف انرژی در قرن آینده کماکان به صورت انرژی الکتریکی باشد و شبکه توزیع که عهده دار ارائه انرژی به مصرف کنندگان می باشد، به عنوان یکی از اجزای اصلی سیستم قدرت از اهمیت و ارزش قابل ملاحظه ای برخوردار می گردد. در این فصل به بررسی انواع شبکه های توزیع خواهیم پرداخت.

## شبکه توزیع

شبکه توزیع، شامل سطح ولتاژ فشار متوسط و فشار ضعیف است و انرژی الکتریکی مورد نیاز مشترکین خانگی، تجاری و برخی از صنایع کوچک را تامین می کند.

## شبکه فشار متوسط



شکل (۱-۲)

خطوط و پستهای هوایی یا زمینی با ولتاژهای ۱۱، ۲۰ و ۳۳ کیلوولت شبکه های فشار متوسط نامیده می شوند.

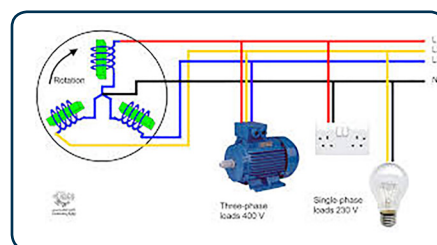
## شبکه های فشار ضعیف

کلیه خطوط هوایی یا زمینی و سایر تأسیسات فشار ضعیف با ولتاژ ۴۰۰ ولت که برای توزیع نیرو از پستهای عمومی توزیع در معابر و گذرگاههای عمومی دایر و معمولاً از طریق جعبه انشعاب یا جعبه تقسیم و یا به طور مستقیم به خطوط سرویس مربوط می شوند، شبکه های فشار ضعیف نامیده می شود.

## انواع شبکه

شبکه های تک فاز - سه فاز

بصورت ساده به شبکه ای که از دو رشته سیم شامل یک رشته سیم فاز و یک رشته سیم نول احداث شده شبکه تک فاز و همچنین به شبکه ای که از چهار رشته شامل سه رشته فاز و یک رشته نول احداث



شکل (۲-۲)

شده شبکه سه فاز گفته می شود. نکته: در صورت احداث یک رشته اختصاصی مربوط شبکه روشنایی معابر به همراه شبکه های فوق به هر شبکه یک رشته اضافه می گردد که این افزایش نقشی در تغییر نام شبکه نداشته و در این صورت تشخیص نوع شبکه با تجربه تکنیسین بازدید معین می گردد.

## فیدر

فیدر عبارت است از مجموعه ای از وسایل قطع و وصل با ولتاژ اسمی معین که برای دریافت برق از بالادست سیستم برق رسانی و تحویل آن به پایین دست سیستم تعبیه می گردد. فیدرها به لحاظ مشمول مفاد آیین نامه به شرح ذیل دسته بندی می شوند:

■ فیدر در مورد خط فشار متوسط خروجی از پست فوق توزیع عبارت است از تابلو و تجهیزات آن که در اطاق ولتاژ فشار متوسط پست فوق توزیع قرار گرفته و خط فشار متوسط از آن تغذیه می گردد.

■ فیدر در مورد خط فشار متوسط انشعابی از خط موجود عبارت است از جداساز (سکسیونر) هوایی و یا یک سری قطع کننده که خط انشعابی از آن طریق تغذیه می شود.

■ فیدر در مورد خط فشار متوسط خروجی از پست توزیع زمینی عبارت است از تابلوی جداساز (سکسیونر) قابل قطع زیر بار و یا تابلوی کلید (درنکتور) که خط خروجی مذکور را تغذیه می نماید.

■ فیدر فشار قوی ترانسفورماتور در پست زمینی عبارت است از تابلوی کلید (درنکتور) و یا تابلو سکسیونر فیوزدار که ترانسفورماتور را به شبکه فشار قوی اتصال می دهد.

■ فیدر در مورد پست ترانسفورماتور توزیع هوایی عبارت است از مجموع قطع کننده ها و برگیرها که در محل اتصال خط فشار متوسط به ترانسفورماتور نصب می شوند.

■ فیدر در مورد خطهای خروجی فشار ضعیف عبارت است از کلید یا کلید فیوز نصب شده در تابلوی فشار ضعیف پست ترانسفورماتور که از طریق آن برق فشار ضعیف برای مصرف کننده (یا

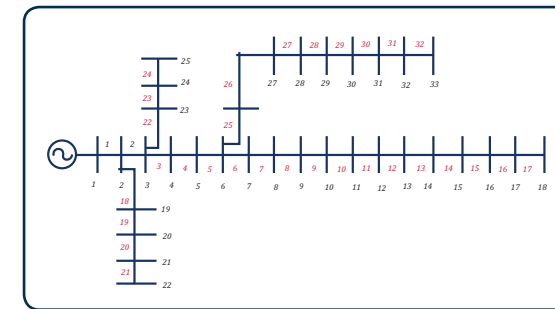
مصرف کنندگان) ارسال می گردد.

## انواع آرایش شبکه های توزیع

با توجه به سطح ولتاژ سیستم، شرایط جغرافیایی و تمرکز یا عدم تمرکز بار مصرفی، می توان از انواع مختلف شبکه های توزیع برای تأمین نیازهای مشترکین استفاده کرد. بطور کلی شبکه های توزیع می توانند هرنوع ساختاری را داشته باشند، ولی در حالت استاندارد می توان سه نوع ساختار کلی را برای شبکه های توزیع معرفی کرد:

### شبکه شعاعی

در این سیستم مدار از شینه اصلی (پست فوق توزیع) به ترانسهای توزیع کشیده شده و به انتهای فیدر می رود. از مزایای این سیستم به سادگی بودن شکل و ارزان بودن ساخت این شبکه می توان اشاره کرد. بزرگترین عیب شبکه شعاعی که استفاده آن را در کشورهای به خصوص پیشرفته با کاهش مواجه ساخته بی برقی قسمت



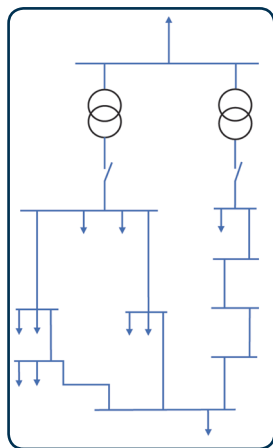
شکل (۲-۳)

معیوب (قسمتی که دچار خطا شده) تا انتهای فیدر است که باعث افزایش هزینه انرژی فروخته نشده به مشترکین، کاهش قابلیت اطمینان سیستم و نارضایتی مصرف کنندگان خواهد شد. امروزه برای رفع این مشکل از خطوط مانور (Tie lines) برای برقرار کردن قسمت بی برق توسط فیدرهای مجاور استفاده می شود. انتخاب تعداد خطوط مانور برای یک فیدر، همچنین انتخاب مهمترین نقاط برای انجام مانور (طول بهینه کابل یا خط مانور)، ملاحظات عایقی فیدرها و حداکثر جریان قابل تحمل کابلها و خطوط (که فیدرهای مجاور تا چه حد می توانند بار فیدر معیوب را تحمل کنند) از جمله مواردی است که در این نوع شبکه ها باید مدنظر قرار گیرند. شکل (۲-۳) ساختار ساده ای از یک شبکه شعاعی را نشان می دهد.

### شبکه حلقوی

برای افزایش قابلیت اطمینان شبکه های توزیع، می توان آنها را به صورت حلقوی طراحی کرد. بدین

صورت که تغذیه فیدر فشار متوسط 20 kV پس از شروع از شینه اصلی (پست فوق توزیع) و پس از گذشت از پستهای توزیع دوباره به همان شین برمی گردد. در این سیستم اگر خطایی روی شبکه ایجاد شود، بلافاصله سکسیونرها عمل کرده و قسمت آسیب دیده را از شبکه جدا می کنند. سایر قسمت های شبکه که تحت تأثیر خطا قرار گرفته اند، از مسیر دیگر فیدر تغذیه خواهند شد. این مکانیزم در سیستم های توزیع تحت عنوان بازیابی شبکه (Restoration) نامیده می شود. این سیستم با توجه به خطوط طولانی تر نسبت به شبکه شعاعی گرانتر است. شکل (۲-۴) شبکه حلقوی نمونه را نشان می دهد. از مزایای این شبکه نسبت به شبکه شعاعی می توان به موارد زیر اشاره کرد:



شکل (۲-۴)

■ شبکه حلقوی در مقایسه با شبکه شعاعی خاموشی کمتری می دهد.

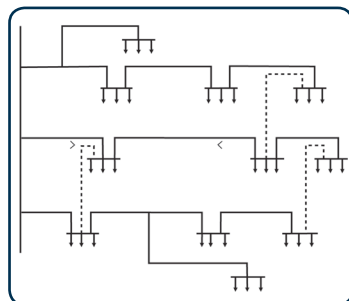
■ شبکه حلقوی نیازی به استفاده از خطوط مانور ندارد.

■ در این نوع شبکه ها نگرانی از بابت شکست عایقی خطوط وجود ندارد.

شبکه های توزیع معمولاً به صورت حلقوی طراحی می شوند و به صورت شعاعی مورد بهره برداری قرار می گیرند. به این صورت که قسمتی از فیدر که میان دو پست توزیع از یک شبکه حلقوی (که سکسیونر در بین آن دو پست قرار دارد) واقع است، به عنوان خط مانور در نظر گرفته می شود و هر یک از دو قسمت فیدر که با سکسیونر جدا شده اند، از پست فوق توزیع تغذیه می شوند.

### شبکه غربالی

کاملترین و در عین حال پیچیده ترین نوع شبکه های توزیع شبکه غربالی است، بدین صورت که در آن هریک از پستهای توزیع به چندین پست توزیع دیگر مرتبط هستند. در شبکه غربالی می توان از یک یا چند شینه فوق توزیع برای تغذیه شبکه استفاده نمود. این نوع شبکه بالاترین کیفیت سرویس دهی به مشترکین را دارا می باشد. در این سیستم در صورت بی برقی



شکل (۲-۵)

هوایی با سیستم زمینی به شرح زیر آورده شده است.

### صرفه اقتصادی

به طور کلی سیستم های هوایی برخلاف سیستم های زمینی، بسیار کم هزینه تر و ارزان ترند زیرا به کندن کانال، هزینه های اخذ مجوزهای حفاری، لوله های مخصوص و ... نیازی نداشته و در مورد خود کابل ها نیز حفاظ و عایق گران قیمت، اتصالات و غلاف های آب بندی گران جهت امکانات ویژه ضد آب کردن تجهیزات زیرزمینی وجود ندارد. درست همین هزینه های گزاف سرمایه گذاری است که سیستم های زمینی را چندین برابر گران تر از سیستم های هوایی کرده است.

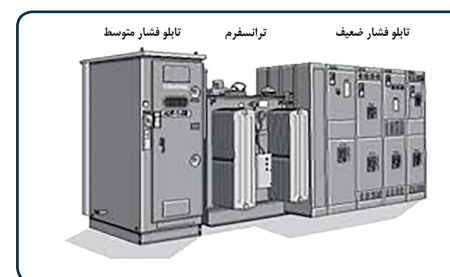
### مشکلات اجرایی

احداث شبکه های هوایی آسان تر بوده و در هر نقطه و محل می توان به وسیله شبکه هوایی، به سرعت جریان برق را برقرار نمود. در این شبکه ها، سادگی ساخت و احداث، سهولت بهره برداری و تعمیراتی که به دنبال دارند به عنوان اصولی مهم در نظر گرفته می شود. یک طرح ساده، همیشه بر طرح های پیچیده برتری دارد مگر عواملی مهم، استفاده از طرح های پیچیده شبکه های زیرزمینی را توجیه نماید. امروزه سیاست های کلان بخش برق، در چگونگی طراحی و نیرو رسانی به شبکه های توزیع هوایی تاکید دارند. مشکل عدم وجود منابع مالی سازمان در انجام پروژه، می تواند به انتخاب این سیاست منجر شود که شبکه های توزیع هوایی، با حداکثر سرعت ممکن و به راحتی توسعه می یابند. گرفتن انشعاب از شبکه های هوایی، بدون مشکل، با مخارج کم و با سرعت بیشتر انجام می شود، در حالی که انشعاب گیری از کابل ها، مستلزم ایجاد نقاط برداشت و پخش مانند ایستگاه های توزیع، تابلوهای برق و پیلارها (شالترها)، جعبه های انشعاب و ... خواهد بود.

بنابراین سیستم های هوایی، به صورت خیلی وسیع برای مدتی غالب خواهد بود و در سطوح برق رسانی روستاها کاربردی به تقریب انحصاری خواهند داشت. در آینده، برای شبکه های شهری دارای چگالی بار زیاد، با استفاده از درآمدهای حاصله، بهبود کیفیت، رعایت دیگر مسایل و تبدیل به شبکه های زمینی مد نظر خواهند بود. به طور کلی در مکان هایی که چگالی بارهای مصرفی آن قدر زیاد باشد که نصب خطوط هوایی با سیم ها و هادی های انبوه واقع روی پایه های خطوط هوایی از نظر شکل ظاهری، ایمنی و بهره برداری غیر عملی به نظر رسد، انتخابی جز سیستم زمینی وجود نخواهد داشت.

شینه فوق توزیع، مشترکین آن بی برق نمی شوند و از شینه مجاور تغذیه می شوند. بدلیل مسائل اقتصادی، پیچیده بودن هماهنگی ها و مشکلات بهره برداری، همچنین کنترل پخش بار و عملکرد عناصر حفاظتی از این شبکه کمتر استفاده می شود. شکل (2-5) یک شبکه ساده غربالی را نشان می دهد.

### موارد استفاده از شبکه های زمینی و هوایی



شکل (۲-۶)

از شبکه های زمینی در صورت عدم وجود شبکه هوایی و یا غیرقابل دسترس بودن آن، استفاده می شود.

■ در محدوده های راه آهن، فرودگاه، ترمینال، بزرگراه، چهارراه و سایر مواضع طبیعی یا فیزیکی شهری که احداث شبکه های هوایی را غیرممکن می سازد، از شبکه های زمینی استفاده می شود.

■ برای حفظ زیبایی شهر - خیابانها - ساختمان ها - پلهای هوایی - بازارها - پارکها و مواردی که تراکم جمعیت زیاد می باشد، از شبکه های زمینی استفاده می شود.

■ بدلیل رعایت فواصل و حریم های مجاز ایمنی و قانونی و حریم تأسیسات و رعایت قوانین استاندارد شبکه و همچنین قوانین و مقررات اجتماعی و عمومی شهرداریها، معمولاً از شبکه های زمینی استفاده می شود.

■ بعلاوه اینکه شبکه های هوایی بیشتر در معرض خطرات و یا حوادث طبیعی و جوی قرار می گیرند، لذا در مواردی که قابلیت اطمینان شبکه مورد نظر باشد، از شبکه های زمینی استفاده می شود. ■ چنانچه مواردی باشد که محدودیتهای فوق الذکر را دربر نداشته باشد، بهتر است از شبکه های هوایی استفاده گردد.

### مقایسه سیستم های زمینی و هوایی

در بررسی محاسن و معایب بین شبکه های زمینی و هوایی، باید توسعه همه جانبه سیستم های الکتریکی و نیز مقرون به صرفه بودن آن را مد نظر قرار داد. طبیعت ساختمانی، چگونگی احداث، بهره برداری و تجربه های نگهداری از این دو گونه سیستم توزیع، برای مقایسه همه جانبه شبکه های

## تعمیر و عیب یابی

عیب یابی و رفع آن در شبکه های هوایی، آسان تر انجام می گیرد، زیرا بیشتر عیب های شبکه های هوایی با چشم دیده می شوند در صورتی که برای پیدا کردن عیب در شبکه زیرزمینی، به دستگاه های خاص نیاز خواهد بود. در ضمن هنگامی که در سیستم های زمینی مشکلی پیش می آید، از نظر تعمیر بسیار وقت گیر و سخت خواهد بود با این حال، سیستم زمینی با خطر قطعی برق ناشی از طوفان، رفت و آمد و برخورد وسایل نقلیه، سقوط درختان و غیره مواجه نیست. به همین دلیل، صرف مخارج اضافی برای شبکه های زمینی، جهت احداث شبکه های قابل تغذیه از دو سو (مدار دوم)، چندین مدار موازی، طرح های تبدیلی و حتی شبکه های غربالی برای ایجاد قابلیت اطمینان برق رسانی، توجیه پذیر خواهد بود.

لازم به توضیح است که شرایط متعدد دیگری نیز وجود دارد که کابل های زمینی را به سیستم های هوایی ترجیح می دهند. در واقع چون شبکه های زمینی در زیر خاک دفن می باشند، از عوامل جوی، مانند طوفان، یخ زدگی، برخورد شاخه های درختان و رعد و برق در امان بوده و امکان خرابی آنها کمتر می باشد، از این رو، قطع جریان کمتری نیز پیش می آید.

یکی دیگر از مشکلات فعلی خطوط هوایی، رفت و آمد وسایل نقلیه و برخورد آنها با تیرها است. از طرفی مقررات راهنمایی و رانندگی چنان سخت است که ساخت و مرمت سیستم های هوایی را رفته رفته با مشکل مواجه کرده است. علاوه بر آن، رفت و آمد (ترافیک) سنگین و وسایل با ارتفاع زیاد مانند بالابرها و جرثقیل ها، خطرات دیگری از نظر برخورد وسایل نقلیه سنگین به تیرها و سیم ها ایجاد می کنند.

## حفظ زیبایی محیط و حریم ها

به طور کلی سازه های خطوط هوایی، با زیبایی و معماری امروزی محیط همخوانی ندارند بنابراین مهندسين توزیع برق، در طراحی سیستم توزیع انرژی الکتریکی، به حفظ زیبایی نیز توجه می کنند تا جایی که پایه های سیمانی را در رنگ ها و اشکال متعددی می سازند.

در شهرها و مناطق پر جمعیت و حساس، برای حفظ زیبایی شهر، به طور معمول از شبکه های زمینی استفاده می شود، با این حال در بعضی از نقاط به اجبار از شبکه های هوایی استفاده می شود تا حریم سیم های برق دار رعایت شود این موضوع مانند باند فرودگاه ها، داخل محوطه نیروگاه ها و پادگان ها و غیره ... می باشد. به علت بدون روپوش بودن هادی های خطوط هوایی رعایت فاصله

مجاز از تاسیسات و ساختمانها به عنوان رعایت حریم خطوط توزیع مورد نیاز می باشد. در بسیاری از موارد، به علت کم بودن عرض مسیر و معابر و در نتیجه به علت عدم امکان تامین حریم خطوط هوایی، کابل کشی زمینی یا شبکه کابل های هوایی روکش دار (کابل های خودنگهدار) توصیه می شود. این موضوع به خصوص درباره خطوط فشار متوسط در داخل شهرها و مجتمع های آپارتمانی، مجتمع های صنعتی و تجاری به طور کامل محسوس است. رعایت حریم شبکه های هوایی، از عواملی است که باید مورد توجه قرار گیرد. به طور معمول شهرداری ها یا سازمان پارکها در مسیر احداث شبکه های هوایی شهرها درختکاری می کنند که پس از رشد درختان شاخه های آن ها با هادی های خطوط تماس پیدا کرده و در هوای بارانی یا رطوبت موجب اتصالی و سوانحی مانند پارگی سیم ها خواهند شد البته عبور خطوط هوایی از مناطق جنگل کاری شده و درختان میوه نیز باعث قطع درختان و صدمه به محیط زیست می شود.

## حادثه آفرینی و ایمنی

به علت درد سترس بودن و لخت بودن قسمت های زنده خطوط هوایی و همچنین آسیب پذیر بودن پایه و هادی آنها، شبکه ها اغلب در معرض بروز حوادث بوده که شرح مختصری از آنها بدین قرار است:

■ آسیب پذیری در برابر طوفان ها و اختلالات جوی در شبکه های هوایی بسیار قابل توجه می باشد. در این موارد، ایجاد آتش سوزی و برق گرفتگی، به دلیل درهم پیچیده شدن هادی ها یا افتادن اشیا و اجسام روی شبکه دور از انتظار نیست.

■ خطرهایی که همه ساله در اثر برخورد جرثقیل ها، کمپرسی ها و خودرو های با ارتفاع زیاد با شبکه برق دار هوایی اتفاق می افتد، رانندگان، اپراتورها و دیگر عوامل کاری را تهدید می نماید و هر ساله، آمار قابل ملاحظه ای را به خود اختصاص می دهد.

■ پرتاب فلاخن کودکان، شکستن مقره های بشقابی و برخورد بادبادک های نوجوانان که فاقد سرگرمی و محیط ورزشی هستند، از عواملی هستند که در شهرها و روستاهای کشور به شبکه های فشار ضعیف هوایی آسیب می رسانند و گاه با قطع سیم نول و افتادن روی فازهای دیگر و دوفاز شدن، باعث خرابی تجهیزات مصرف کنندگان تکفاز شده به مشترکان برق زیان های مالی وارد می کنند.

■ تصادف وسایل نقلیه با تیرهای بتنی یا چوبی در کنار جاده و اتوبان ها، یکی دیگر از عوامل حادثه ساز در شبکه های توزیع هوایی است که گاهی موجب افتادن تیر روی خودروها و بروز خسارت جانی و مالی سنگین می شود.

■ شبکه های هوایی برای کارگران ساختمانی نیز خطر آفرین است. به دلیل کم عرض بودن بسیاری از معابر شهری، برپا کردن داربست ها برای نماسازی یا نصب وسایل، سبب نزدیکی شبکه های برق و گاهی برق گرفتگی یا خسارت های جانی می شود.

■ سقوط برقکاران از روی پایه یا پلکان های تیرها، خواه با استفاده از وسایل ایمنی و خواه بدون آنها، به دلیل انجام فعالیت های برقی، هنوز در برخی از مناطق تحت پوشش برق کشور اتفاق می افتد. در ضمن افتادن اشیاء و برخورد آنها با افراد در حال تعمیر یا نصب یراق آلات و یا کنده و پاره شدن سیم و اصابت آنها به عابرین، از معایب دیگر شبکه های هوایی است. در حالی که در شبکه های زیرزمینی، فقط حفاری است که موجب آسیب دیدن کابل های زمینی خواهد شد، که این امر نیز اگر با توجه به نقشه های دقیق شبکه زیر زمینی کابل ها صورت پذیرد، می تواند از بروز اینگونه حوادث جلوگیری کرد.

## با توجه به تمامی این موارد، باید به سه مورد از عیب های شبکه های هوایی نیز اشاره کرد:

■ ایجاد پارازیت در خطوط مخابراتی و رادیویی از مضرات شبکه هوایی است که باید تدابیر خاصی برای به حداقل رساندن آنها انجام داد.

■ برداشت های غیر مجاز برق از شبکه های توزیع هوایی به آسانی انجام پذیراست.

■ برخورد رعد و برق به خطوط هوایی، موجب بروز اختلالات و خسارات متعددی خواهد شد. این مشکل در مورد خطوطی که کیفیت اصلی خود را به مرور زمان از دست می دهند شایع تر است.

هر دو نوع توزیع هوایی یا زمینی، دارای مزایا و معایب مربوط به خود می باشند که برای مقایسه این دو حالت، باید کلیه جنبه های فنی و اقتصادی مساله را مورد توجه قرار داد همچنین مسایل مربوط به زیبایی، تاثیرات روانی و قیمت تمام شده شبکه برای کارفرما نیز حائز اهمیت است. در این مقایسه ها، ابتدا دیدگاه های فنی سپس مسایل اقتصادی هر دو شبکه مورد تجزیه و تحلیل قرار می گیرد.