# مقایسه شبکه‌های هوایی و زمینی در احداث و بهره‌برداری

علی مرتضی‌زاده[1]

## چکیده

در بررسی محاسن و معایب شبکه‌های زمینی و هوایی توزیع باید توسعهٔهمه جانبه سیستم‌های الکتریکی در زمینه‌های مختلف از جمله، برآورد هزینه‌های اقتصادی، بررسی میزان تلفات توان و انرژی، مشکلات اجرایی، تعمیر و نگهداری، حفظ زیبایی محیط وحریم‌ها با در نظر گرفتن مسائل ایمنی آنرا مد نظر قرار داد. طبیعت سازه‌ها، چگونگی احداث، بهره‌برداری و تجربه‌های نگهداری از ایندو گونه سیستم توزیع ، برای مقایسهٔ همه جانبه شبکه‌های هوایی با سیستم زمینی می‌تواند مورد استفاده عملی در نحوه انتخاب وطراحی شبکه‌های توزیع قرار گیرد.

[1]شرکت توزیع نیروی برق آذربایجان‌شرقی

# مقایسه شبکه‌های هوایی و زمینی در احداث و بهره‌برداری

علی مرتضی‌زاده[1]

## 1ـ مقدمه

صنعت برق یکی از حیاتی‌ترین صنایع یک کشور بحساب می‌آید. در این میان، شبکه‌های توزیع انرژی الکتریکی بعنوان شاهرگ‌های نیرورسانی و محل تلاقی با مشترکین در اقصی نقاط کشور می‌باشد و اشکالات سیستم توزیع در این صنعت ، از دید مصرف کنندگان، مشکل اولیهٔصنعت برق قلمداد خواهد شد. توسعهٔ روزافزون، عدم پیش‌بینی صحیح این روند و عقب ماندگی تکنولوژی ، همواره مشکلاتی را در سیستم توزیع انرژی الکتریکی به همراه داشته است. لذا روشی راکه بتوان جهت تحقق بخشیدن به اعتلای بخش توزیع و ارتقاء تکنولوژی در آن اختصاص داد. در حال حاضر استفاده از شبکه‌های توزیع هوایی بیش از 97٪ کل شبکه توزیع در سطح کشور را به خود اختصاص داده‌اندکه عدم رشد و تکامل در اجرای سیستم‌های کابل‌کشی زمینی در ایران یکی از دلایل عدم توجه و عقب ماندگی آن می‌باشد. عدم طراحی صحیح، هدایت سیستم بدون برنامه‌ریزی و تعیین اهداف بدون در نظرگرفتن بررسی‌های اقتصاد مهندسی، موجبات اعمال ضرر به سرمایهٔ ملی، اتلاف انرژی و عدم رضایت و بدبینی مشترکین را به دنبال داشته‌است، بنابراین لزوم آموزش و انتقال دانش فنی جدید، نوآوری، رعایت نکات فنی و استانداردها، نظارت، کنترل و ارزیابی در سیستم‌های توزیع شدیداً احساس می‌شود. در این مقاله ضمن تحلیل بررسی و مقایسه شرایط شبکه‌های توزیع بهینه با سیم هوایی و کابل زمینی مزایا و معایب مربوط به هر کدام به شرح آورده شده است.

## 2- صرفه اقتصادی

به طور کلی، سیستم‌های هوایی برخلاف سیستم های زمینی ، بسیار کم هزینه‌تر و با قیمت تمام شده کمتر اجرا می‌گردند. زیرا به کندن کانال، هزینه‌های اخذ مجوزهای حفاری، لوله‌های مخصوص و... نیازی نداشته و در مورد خود کابل‌ها نیز حفاظ و عایق گرانقیمت، اتصالات و غلاف‌های آببندی گران جهت امکانات ویژه ضدآب کردن تجهیزات زیرزمینی وجود ندارد. درست همین هزینه‌های گزاف سرمایه گذاری اولیه است که سیستم‌های زمینی را چندین برابر گرانتر از سیستم‌های هوایی کرده است.

---

[1]شرکت توزیع نیروی برق آذربایجان‌شرقی

امروزه با پیشرفت‌های تکنولوژیکی ساخت مواد عایق پلیمری از مواد با خانواده پلاستیک به عنوان عایق و پوستهٔ کابل‌های زمینی استفاده می‌شود. توانایی این مواد برای دفن مستقیم در زیر خاک، صرفهٔ اقتصادی آنرا نسبت به سیستم‌های هوایی کاه شداده با این حال، هنوز هم افزایش هزینه‌های شبکه زمینی در ولتاژهای بالا بعلت عدم امکان ساخت تجهیزات شبکه در داخل کشور به مراتب بیشتر می‌باشد در صورتیکه امکان ساخت تجهیزات شبکه هوایی در داخل کشور و ارزان بودن قیمت تجهیزات و اتصالات شبکه توزیع با سیم‌هوایی نسبت به شبکه‌های دیگری از برتری بیشتر برخوردار می‌باشد.

## 3- مشکلات اجرایی

احداث شبکه‌های هوایی آسان‌تر است و در هر نقطه و محلی می‌توان بوسیلهٔ شبکهٔ هوایی، به سرعت جریان برق را برقرار نمود. در این شبکه‌ها، سادگی ساخت و احداث، سهولت بهره‌برداری و تعمیراتی که به دنبال دارند به عنوان اصولی مهم در قیمت تمام شده احداث و بهره‌برداری این خطوط در کل زمان بهره‌برداری بطور متوسط30 سال در نظر گرفته می‌شود.

یک طرح ساده، همیشه بر طرحهای پیچیده برتری دارد مگر عواملی مهم، استفاده از طرحهای پیچیدهٔشبکه‌های زیرزمینی راتوجیه نماید. امروزه سیاستهای کلان بخش برق ، در چگونگی طراحی و نیرورسانی به شبکه‌های توزیع هوایی تأکید دارند. مشکل عدم وجود منابع مالی سازمان در انجام پروژه، می‌تواند به انتخاب این سیاست منجر شود که شبکه‌های توزیع هوایی ، با حداکثر سرعت ممکن وبه راحتی توسعه می یابند. گرفتن انشعاب از شبکه‌های هوایی بدون مشکل،با مخارج کم وبا سرعت بیشتر انجام می‌شود، در حالی که انشعاب گیری از کابل‌ها، مستلزم ایجاد نقاط برداشت و پخش مانند ایستگاه‌های توزیع ، تابلوهای برق و پیلارها (شالترها)، جعبه‌های انشعاب و... خواهد بود. بنابراین سیستم‌های هوایی ، بصورت خیلی وسیع برای مناطق با چگالی بار کم و متوسط غالب خواهد بود و به عنوان مثال برق رسانی روستاها کاربردی به تقریب انحصاری خواهند داشت. در آینده، برای شبکه‌های شهری دارای چگالی بار زیاد، بااستفاده از درآمدهای حاصله، بهبود کیفیت، رعایت دیگر مسایل و تبدیل به شبکه‌های زمینی مدنظر خواهند بود. به طور کلی درمکان هایی که چگالی بارهای مصرفی آنقدر زیاد باشد که نصب خطوط هوایی با سیم‌ها و هادیهای انبوه واقع روی پایه های خطوط هوایی از نظر شکل ظاهری، ایمنی و بهره‌برداری غیرعملی به نظر رسد انتخابی جز سیستم زمینی وجود نخواهد داشت.

## 4ـ تعمیر و عیب یابی

عیب یابی و رفع آن در شبکه‌های هوایی ، آسان تر انجام میگیرد، زیرا بیشتر عیب های شبکه‌های هوایی با چشم دیده میشوند درصورتی که برای پیدا کردن عیب در شبکهٔزیرزمینی ، به دستگاه های خاص نیاز خواهد بود. در ضمن هنگامی که در سیستم های زمینی مشکلی پیش می‌آید، 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 شبکه‌های زمینی ، جهت احداث شبکه‌های قابل تغذیه از دو سو (مدار دوم)، چندین مدار موازی، طرحهای تبدیلی و حتی شبکه‌های غربالی برای ایجاد قابلیت اطمینان برق رسانی، توجیه پذیر خواهد بود.

لازم به توضیح است که شرایط متعدد دیگری نیز وجود دارد که کابل‌های زمینی را به سیستم‌های هوایی ترجیح می دهند. درواقع چون شبکه‌های 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 امکان خرابی آنها کمتر می‌باشد، از این رو قطع جریان کمتری نیز پیش می‌آید. 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 سیستم‌های 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 جرثقیل‌ها، خطرات دیگری از نظر برخورد وسایل نقلیه سنگین به تیرها و سیم‌ها ایجاد میکنند.

## 5ـ حفظ زیبایی محیط و حریم‌ها

به طور کلی سازه های خطوط هوایی ، با زیبایی و معماری امروزی محیط همخوانی ندارد. بنابراین مهندسین توزیع برق ، درطراحی سیستم توزیع انرژی الکتریکی ، به حفظ زیبایی نیز بایستی توجه کنند تا جایی که پایه های سیمانی را در رنگ‌ها و

اشکال متعددی ساخته وهمچنین امروزه از نظر اصول معماری و شهرسازی جهت حفظ زیبائی محیط حذف ردیف پایه هـای خطـوط هوایی بامناظری ناهمگون می‌تواند دلیلی جهت صرف و هزینه‌های بالای شبکه‌های زمینی گردد. شکل (1)

در شهرهای مناطق پرجمعیت و حساس، برای حفظ زیبایی شهر، بطور معمول از شبکه‌های زمینی استفاده می‌شـود، بـا این حال در بعضی از نقاط به اجبار از شبکه‌های هوایی استفاده نمی‌شود تا حریم سیم‌های برق‌دار رعایت شود. این موضوع مانند باند فرودگاهها، داخل محوطه نیروگاهها و پادگانها و داخل بازارهای محلی و... می‌باشد. به علت بـدون روپـوش بـودن هادیهـای خطـوط هوایی رعایت فاصلهٔمجاز از تأسیسات و ساختمانها به عنوان رعایت حریم خطوط انتقال مورد نیاز می‌باشـد. در بسـیاری از مـوارد، بـه علت کم بودن عرض مسیر و معابر، و درنتیجه به علت عدم امکان تأمین حریم خطوط هوایی،کابل کشی زمینـی یاشـبکه کابـل‌هـای هوایـــــی روکشدار ( کابل‌های خود نگهدار) بدلایل برخی از مزایا به شرح زیر توصیه می گردد:

الف) بدلیل پوشش عایقی هادیها ، اتصال کوتاه در این نوع شبکه کمتر و خطرات جانی در مقایسه با اسـتفاده از شـبکه هـای سیمی تا حدودی از بین می رود.

ب) میزان استراق برق به علت عدم دسترسی سودجویانه به هادی کابل، کاهش و علیرغم پایین بودن اتفاقات باعث جلوگیری از تلفات انرژی در شبکه می گردد.

ج) از نظر اقتصادی برای احداث 1 کیلومتر شبکه هوایی فشار ضعیف سیمی در مقایسه با اقـلام مـورد نیـاز بـرای 1 کیلـومتر شبکه کابل خود نگه دار تفاوت بها از این دو شبکه بر اساس فهرست بها سال 1382 بالغ بـر 25300000 ریـال خواهـد بود با توجه اینکه هزینه های بهره برداری خطوط هوایی سیمی بیش از هزینه بهره برداری کابل‌های خودنگـه دار اسـت کـه این تفاوت بها ظرف مدت کوتاهی جبران پذیر است.

این موضوع به خصوص دربارهٔخطوط فشار متوسط در داخل شهرها و مجتمع های آپارتمانی، مجتمع های صنعتی و تجاری بـه طـور کامل محسوس است. رعایت حریم شبکه‌های هوایی ، از عواملی است که باید مورد توجه قرار گیرد. به طور معمول شهرداری ها یاسـازمان پارک ها، در مسیر احداث شبکه‌های هوایی شهرها درختکاری میکنند که پس از رشد درختان، شاخه های آنها با هادیهـای خطـوط تمـاس پیدا کرده و در هوایی بارانی یا رطوبت، موجب اتصالی و سوانحی مانند پارگی سیم‌ها خواهند شد. البته عبور خطوط هوایی از منـاطق جنگـل کاری شده و درختان میوه نیز باعث قطع درختان و صدمه به محیط زیست می‌شود.

## 6ـ حادثه آفرینی و ایمنی

به علت لخت و در دسترس بودن قسمتهای زندهٔخطوط هوایی و همچنین آسیب پذیر بودن پایه و هادی های آنها،شبکه ها اغلب در معرض بروز حواث بوده که شرح مختصری از آنها بدین قرار است:

الف ـ آسیب پذیری در برابر طوفان ها و اختلالات جوی در شبکه‌های هوایی بسیار قابل توجه می‌باشد. در این مـوارد، ایجـاد آتش سوزی وبرق گرفتگی، به دلیل درهم پیچیده شدن هادی ها یا افتادن اشیاء و حیوانات و پرندگان روی شـبکه دور از انتظار نیست. شکل (2)

ب ـ خطرهایی که همه ساله در اثر برخورد جرثقیل ها و کمپرسی ها و خودروهایی با ارتفاع زیاد با شبکه برقدار هـوایی اتفـاق می افتد، رانندگان، اپراتورها و دیگر عوامل کاری را تهدید مـی نمایـد و هـر سـاله، آمـار قابـل ملاحظـه ای را بـه خـود اختصاص می دهد.

ج ـ پرتاب فلاخن کودکان، شکستن مقره ای بشقابی و برخورد بادبادکهـای نوجوانـان کـه فاقـد سـرگرمی و محـیط ورزشـی هستند، نشانه روی و تیراندازی تفریحی بطرف مقره ها از عواملی هستند که در شهرها و روستاهای کشور به شبکه‌هـای فشار متوسط و فشار ضعیف هوایی آسیب می رسانند و گاه با قطع سیم نول و افتادن روی فازهای دیگر و دو فاز شـدن، باعث خرابی تجهیزات مصرف کنندگان تک فاز شده و به مشترکان برق زیان های مالی وارد می کنند.

د ـ تصادف وسایل نقلیه با تیرهای بتنی یا چوبی در کنار جاده و اتوبان ها، یکی دیگـر از عوامـل حادثـه سـاز در شـبکه‌هـای توزیع هوایی است که گاهی موجب افتادن تیر روی خودروها و بروز خسارات جانی و مالی سنگین می‌شود.

هـ ـ شبکه‌های هوایی برای کارگران ساختمانی نیز خطرآفرین است. به دلیل کم عرض بودن بسیاری از معـابر شـهری، برپـا کردن داربست هابرای نماسازی یا نصب وسایل، سبب نزدیکی شبکه‌های برق و گاهی برق گرفتگی یـا خسـارت هـای جانی می‌شود.

و ـ سقوط برق کاران از روی پایه ها یا پلکان های تیرها، خواه با استفاده از وسایل ایمنی و خواه بدون آنهـا، بـه دلیـل انجـام فعالیت های برقی،هنوز در برخی از مناطق تحت پوشش برق کشور اتفاق می افتد.

م ـ علاوه بر موارد فوق ایجاد پارازیت در خطوط مخابراتی، برداشتهای غیرمجاز برق و برخورد رعد و برق به خطوط هـوایی از دیگرعیب های عمده شبکه‌های توزیع هوایی می‌باشد.

## 7- مقایسهٔمعایب و اتفاقات شبکه‌های هوایی و زمینی

بعنوان مثال در یکی از امورهای برق تابعـه شـرکت توزیـع نیـروی بـرق اسـتان آذربایجـان شـرقی و اطلاعات و آمار زیرا استخراج گردیده است.

الف ـ شبکه‌های توزیع هوایی

با ملاحظه جدول شماره 1 نتیجه می گیریم در طول سالهای79 و 80 تعداد 1069 مـورد قطعـی هـای شـبکه فشـار متوسـط بـا مقدار110/76 مگاوات ساعت انرژی توزیع نشده مربوط به عیوب شبکه هوایی بطول640 کیلومتر در آن امور می‌باشد.

با در نظر گرفتن بهای هرکیلووات ساعت انرژی توزیع نشده150 ریال، بهای کل برابر است:

$110,76 \times 1000 \times 150 = 16,614,000$ ریال

ضمن این که جهت رفع عیب تعدادی از معایب فوق نیاز به تعویض تجهیزات از جمله شکستگی مقره، اتصـال برقگیرهـا، شکسـتگی تیر... خواهد بود بصورت زیر محاسبه می گردد.

هزینه تعویض مقره ها $98 \times 45000 = 4,410,000$ ریال

هزینه تعویض تیرهای شکسته $25 \times 1000,000 = 25,000,000$ ریال

هزینه تعویض برقگیرها $11 \times 2,500,000 = 27,500,000$ ست کامل ریال

هزینه‌های کل تعویض تجهیزات برابر است: $4,410,000 + 25,000,000 + 27,500,000 = 56,910,000$

در صورتی که جهت رفع هر خاموشی، زمان1/5 ساعت توسط دو نفر نیروی انسانی در نظر گرفتـه شـود و دسـتمزد هـر نفـر سـاعت 10/000 ریال لحاظ گردد.

هزینه نیروی انسانی $1069 \times 2 \times 1,5 \times 10000 = 32,070,000$ ریال

جمع کل هزینه ای که جهت رفع اتفاقات و معایب شبکه فشار متوسط توزیع هوایی آن امور در سالهای79 و 80 مصرف شده برابـر است با:

هزینه‌های (نیروی انسانی+ تعویض لوازم+ بهای انرژی توزیع نشده) = هزینه کل

هزینـــه کـــل بریـــال $105594000 = 32070000 + 56910000 + 16614000$

$105,594,000 : 640 = 164990$ ریال

متوسط هزینه نگهداری برای هر کیلومتر از شبکه فشار متوسط هوایی در آن منطقه برای سالهای79 و 80

ب ـ شبکه‌های توزیع زمینی

با ملاحظه جدول شماره 2 نتیجه می گیریم در طول سالهای 79 و 80 تعـداد 33 مـورد قطعـی هـای شـبکه فشـار متوسط با مقدار22/23مگاوات ساعت انرژی توزیع نشده مربوط به عیوب شبکه‌های زمینی بطول51 کیلومتر در آن امور می‌باشـد لذا بهای کل انرژی توزیع نشده برابر است:

$22,23 \times 1000 \times 150 = 3,334,500$ ریال

و از طرفی می دانیم در اکثر اتفاقات و معایب بوجود آمده روی کابل ها نیاز به بستن مفصل می‌باشد. بنابراین اگر بـرای رفـع معـایبی چون معیوب بودن مفصل و کلنگ خوردگی کابل حداقل یک دستگاه مفصـل بـرای هـر عیـب در نظـر گرفتـه شـود (بهـای مفصـل کامل20کیلوولت3,000,000 ریال در نظر گرفته شود) هزینه مصرفی کل برابر است:

$15 \times 3,000,000 = 45,000,000$ ریال

اگر از هزینه‌های لوازم دیگر صرف نظر شود و برای رفع عیب هر یک از اتفاقات فوق متوسط2,5 ساعت با دو نفر در نظر گرفته شود هزینه دستمزد نیروی انسانی برابر خواهد شد با:

$33 \times 2/5 \times 2 \times 10000 = 1,650,000$ ریال

با توجه به محاسبات فوق هزینه کل برای برطرف نمودن معایب در شبکه زمینی فشار متوسط بطول 51 کیلـومتر طـی سـالهای 79و 80 برای آن امور برابر است با:

بهای(انرژی توزیع نشده+ نیروی انسانی+ لوازم مصرفی) = هزینه کل

هزینه کل بریال 49,984,500 = 1,650,000 + 45,000,000 + 3,334,500

4,998,450 : 51 = 980,088 ریال

متوسط هزینه نگهداری برای هر کیلومتر از شبکه فشار متوسط زمینی در آن منطقه

با توجه به مطالب و محاسبات فوق در مورد هزینه تعمیرات و نگهداری شبکه توزیـع فشـار متوسـط بـا سـیم‌هـوایی بـه طول 640 کیلومتر در آن امور 105,594,000 ریال و برای شبکه فشار متوسط زمینی بطول 51 کیلـومتر در طـی دو سـال 79 و 80 مبلغ 49/984 ریال مشخص می گردد که برای هر کیلومتر شبکه فشار متوسط هوایی 164,990 ریال و برای هـر کیلـومتر شبکه فشارمتوسط زمینی 980,088 ریال صرف هزینه تعمیرات نگهداری گردیده است. با نتایج بدست آمده مشخص می گردد که هزینه تعمیرات شبکه زمینی بیش از 6 برابر شبکه هوایی است ، ولی از دیدگاه مطالعات قابلیت اطمینان می توان جهـت درک بهتـر، پارامتر بسیار مهم نرخ وقوع خطا در هر سال برکیلومتر ( $\lambda$ ) برای خطوط هوایی و زمینی از جداول 1 و 2 استخراج نمود:

به منظور محاسبه $\lambda$ برای هر یک از موارد تعداد خطاها در سال 1379 و 1380 را جمع نموده و تقسیم بر 2 مـی نمـاییم و عدد حاصل را بر طول کل خط به تفکیک هوایی و زمینی تقسیم کرده بعبارت دیگر :

$$\lambda \text{ (هوایی)} = 0.835 \frac{(464+605)/2}{640} =$$

$$\lambda \text{ (زمینی)} = 0.323 \frac{(17+16)/2}{51} =$$

ملاحظه می شود نرخ وقوع خطا برای خطوط هوایی بسیار بیشتر از خطوط زمینی می باشد و اگـر زمـان خاموشـی مـورد انتظـار بـه صورت $U= \lambda r$ تعریف و با فـرض $r=1.5h$ برای خطوط هوایی و $r=2.5h$ برای خطوط زمینی آنگاه :

$$U_{(\text{هوایی})}=0.835 \times 1.5=1.252$$

$$U_{(\text{زمینی})}=0.323 \times 2.5=0.8075$$

نتیجه می شود که زمان خاموشی مورد انتظار نیز در شبکه های هوایی عملاً بیش از شبکه های زمینی است.

## 8- نتیجه‌گیری:

از آنجائیکه تعیین ساختار شبکه‌های توزیع بصورت زمینی و یا هوایی در هر پروژه احداث و توسعه شبکه‌های توزیـع بعنوان یک تابع هدف بوده و بایستی تمامی هزینه‌های سرمایه‌گذاری اولیه و هزینه‌های بهره‌برداری (تعمیـر نگهـداری ، پرسـنلی ، تلفات) می‌باشد لازم است کلیه نکات فنی و استانداردها ، بهره‌برداری و حریم‌ها مورد ارزیابی قرار گرفته تا در بهتـرین سیسـتم‌هـای توزیع بشرح موارد ذیل رعایت گردد:

الف : جایگزین نمودن روش مهندسی و طراحی بجای استادکاری

ب : وجود الگوریتم مدون جهت طرح و توسعه و بهره‌برداری شبکه‌های توزیع هوایی و زمینی

ج : وجود اطلاعات کامل و کافی از شبکه‌های توزیع

د : وجود نرم‌افزارهای کامپیوتری و پرسنل آموزش دیده و کارآمد.

لذا با توجه به بررسی و محاسبات انجام گرفته هر دو نوع توزیع هوایی یا زمینی ، دارای مزایا و معایب مربوط به خـود می‌باشند برای مقایسه شبکه‌های مزبور باید کلیه جنبه‌های فنی و اقتصادی مسئله را مورد توجه قرار داد و از آنجائیکه شـبکه‌هـای هوایی از نظر اقتصادی مقرون به صرفه‌تر بوده و از نظر میزان زمان رفع خاموشی نیز شرایط خوبی را دارا می‌باشـند مـی‌توانـد بـرای انتقال انرژی برق به اکثر نقاط دور افتاده کشور که از نظر چگالی بار کم و بدون مشکلات حریم خطوط 20 و 4 / کیلوولـت باشـند

استفاده نمود بطوریکه از نظر آماری شبکه توزیع کل کشور در سال 1377 حدود 199045 کیلومتر شبکه فشار متوسط هوایی در مقایسه با 7702 کیلومتر شبکه زمینی گویای این امر می‌باشد و از طرفی با در نظر گرفتن هزینهٔ نگهداری به مراتب کمتر در شبکه‌های زمینی در مقایسه با هوایی راه حل مناطق واحد تراکم‌های بیش از 3 مگاوات بر کیلومتر مربع با استفاده از کابل زمینی و یا از کابل خودنگهدار می‌باشد همچنین امروزه به جهت فرار از مشکلات حریم خطوط برق دار در مناطق شهری کابل‌های زیرزمینی بهترین روش هستند. کابل زمینی به سبب راکتانس سری کم عموماً مشکل افت ولتاژ را در فواصل حدود کمتر از 500 متر فیمابین پستهای توزیع نداشته و به بدین سبب که می‌توان بهر مقدار لازم از آن کشید و یا مقطع آن را متناسب با میزان بار موجود بالابرد (برخلاف خطوط هوایی که چون از راکتانس سری بالایی برخوردار است افزایش مقطع اثری در میزان باردهی مفید آن نداشته و افت ولتاژ حاصله در آن میزان باردهی را محدود می نماید). با وجود اینکه هزینه آن 5 تا 10 برابر خط هوایی است در بسیاری از موارد در خیلی از محلات شهرها الزامی است البته کابل‌های خودنگهدار مرغوب با هزینه‌ای بینابین خط هوایی و کابل زمینی دارای مزایای الکتریکی کابل زمینی بوده و دارای حریم نزدیک به صفر هستند و کاربرد آن را چه برای خطوط 20 کیلوولت تغذیه کننده پستها و چه برای شبکه فشار ضعیف اصلی شهر توصیه می‌شود.

تصویرشماره1 –سازه پایه های سیمانی دررنگ واشکال مختلف

*تصویر شماره2– افتادن پرندگان بر روی تجهیزات هوائی*

| ردیف | نوع خطا | 79 | | 80 | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | تعداد | انرژی توزیع نشده (Mwh) | تعداد | انرژی توزیع نشده (Mwh) |
| 1 | عوامل جوی (باد و طوفان و...) | 210 | 21 | 268 | 23/4 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 2 | شکستگی مقره | 51 | 7/2 | 47 | 5/6 |
| 3 | پارگی سیم و چمپر | 41 | 4/8 | 43 | 5/2 |
| 4 | برق گیر | 14 | 2/4 | 20 | 4/4 |
| 5 | تجهیزات خطوط هوایی | 0 | - | 1 | 0/6 |
| 6 | عوامل خارجی (پرنده، برخوردشاخه درخت...) | 115 | 8/6 | 198 | 10/6 |
| 7 | شکستن تیر | 9 | 1/2 | 16 | 2/2 |
| 8 | پستهای توزیع هوایی | 67 | ½ | 91 | 4/51 |
| 9 | معایب در فیدرها | 14 | 3/53 | 12 | 3/32 |
| | جمع | 464 | 50/83 | 605 | 59/83 |

جدول1ـ تعداد و میزان انرژی توزیع نشده معایب و اتفاقات شبکه هوایی فشار متوسط در سالهای79 و 80

| ردیف | نوع خطا | 79 | | 80 | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | تعداد | انرژی توزیع نشده (Mwh) | تعداد | انرژی توزیع نشده (Mwh) |
| 1 | تابلوی فشار متوسط | 5 | 1/75 | 1 | 0/45 |
| 2 | کلنگ خوردگی | 6 | 5/5 | 4 | 4/24 |
| 3 | معیوب بودن سرکابل و مفصل | 2 | 2/34 | 3 | 3 |
| 4 | صدمه کابل فشار ضعیف | 2 | 0/95 | 3 | 0/2 |
| 5 | ترانسفورماتور | 0 | - | 1 | 0/50 |
| 6 | سایر عوامل (نامعلوم) | 2 | 1/5 | 3 | 1 |
| 7 | معایب در فیدر | 0 | - | 1 | 0/8 |
| | جمع | 17 | 12/04 | 16 | 10/19 |

جدول2ـ تعداد و میزان انرژی توزیع نشده معایب و اتفاقات شبکه زمینی در سالهای79 و 80

## منابع


[1] معاونت منابع اطلاعات مدیریت – صنعت برق ایران در سال 1377 – سازمان مدیریت توانیر – 1378

[2]مهندس کریم روشن میلانی – خطوط هوائی شبکه‌های توزیع برق (تجهیزات و طراحی ) موسسه آموزش عالی علمی- کاربردی صنعت آب و برق – چاپ اول – 1381

[3]بهنام بیات – مصطفی بابائی – بررسی شبکه‌های توزیع هوائی و زمینی – هفتمین کنفرانس شبکه‌های توزیع برق – 1381

[4] R.E. Brown , "Electric Power Distribution Reliability " , Marcel Dekker, 2002