

روش‌های مختلف و نوین بهینه‌سازی ابعاد دکل‌های خطوط انتقال و اثرات آن بر حریم، پارامترهای الکتریکی و هزینه‌های اقتصادی شبکه

فرهاد شهینیا^۱ - مهرداد طرفدار حق^۲

^۱ دفتر تحقیقات و استاندارد - شرکت توزیع نیروی برق آذربایجان شرقی

^۲ دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر - دانشگاه تبریز

واژه‌های کلیدی: خطوط کمپکت، حریم، دکل، آرایش هادی، مقره و کراس آرم پلیمری، مقایسه فنی و اقتصادی

چکیده

احداث خطوط انتقال هوایی انرژی الکتریکی همواره با مشکل حریم مسیر خط انتقال روبرو بوده است. کاستن حریم خط و مسائل مربوط به آن همواره مورد توجه بوده و برای این منظور نوع جدیدی از خطوط انتقال بنام خطوط کمپکت مورد استفاده قرار گرفته است. آرایش دکل، هادی و کراس آرم‌های متفاوت در این خطوط می‌تواند به بهینه‌سازی ابعاد آنها و کاستن هرچه بیشتر حریم منجر گردد. در این مقاله ابتدا به بررسی ویژگیهای خطوط کمپکت پرداخته شده و سپس روشهای مختلف بهینه‌سازی ابعاد این دکلهای نظیر آرایشهای مختلف هادی، مقره و کراس آرم بررسی شده است و آنگاه آرایشهای مذکور در خطوط کمپکت و خطوط معمولی مقایسه و با بهره‌گیری از مقایسه اقتصادی و فنی خطوط کمپکت و معمولی، پیامدهای استفاده از خطوط کمپکت بررسی شده است.

۱ - مقدمه

با پیشرفت صنعت برق و افزایش مصرف، نیاز به خطوط انتقال هوایی بمنظور انتقال قدرت تولیدی نیروگاهها به مراکز مصرف افزایش یافته است. از طرف دیگر با افزایش جمعیت

و بزرگ شدن شهرها، شاهد قرار گرفتن خطوط انتقال قدرت در داخل محوطه شهری هستیم. قیمت زیاد زمین در شهرها بعنوان محرک اصلی در تمایل به استفاده از خطوط کمپکت و کاستن حریم خطوط انتقال می‌باشد [۱-۲]. استفاده از خطوط کمپکت چند مداره و دکلهای دارای چند سطح ولتاژ، روشهای متعارف جهت کاهش حریم بوده [۳] و موجب کاهش قیمت واحد توان انتقالی بر متر مربع زمین اشغال شده می‌شود. یکی از مهمترین روشهای کاهش حریم سیستمهای قدرت در داخل شهرها، کاهش حریم خطوط انتقال و نیز کاهش حریم مورد نیاز برای پستهای فوق توزیع و انتقال است. استفاده از پستهای GIS که یکی از مهمترین مزایای آنها کاهش حریم پستها در داخل شهرهاست، بصورت فراوانی در شبکه برق ایران مورد استفاده بوده و جایگاه خود را یافته است ولی با این وجود متأسفانه استفاده از خطوط کمپکت تنها به چندین مورد محدود و پراکنده در سطح کشور اکتفا یافته است. این امر در حالی است که با توجه به نیاز مبرم به کاهش حریم در احداث خطوط انتقال که در مناطق شهری یا جنگلی از اهمیت بسیار زیادی برخوردار هستند و از طرف دیگر همراه با بهبود نسبی پارامترهای الکتریکی شبکه می

بیستین کنفرانس بین‌المللی برق

هزینه لازم جهت آزاد سازی حریم احداث خطوط نیز کاهش می‌یابد.

۱. کاهش ارتفاع دکلها: یکی از ویژگیهای عمده خطوط کمپکت، کاهش ارتفاع دکلهای این خطوط در مقایسه با خطوط معمولی است. این ویژگی میتواند تاثیر بسزایی در چشم انداز محیط اطراف داشته باشد.
 ۲. کاهش سطح مقطع دکلها: از دیگر ویژگیهای مشهود دکلهای خطوط کمپکت، کم بودن سطح مقطع این دکلها در مقایسه با دکلهای خطوط معمولی است که البته این امر با رعایت مسائل مربوط به حفظ پایداری دکل در مقابل نیروها و تنشهای وارده بر آن صورت می‌گیرد.
 ۳. کاهش فواصل دکلها و نتیجتاً کاهش دامنه نوسانات هادیا
 ۴. حذف قسمتهای فلزی دکل در فاصله بین فازها
 ۵. کاهش وزن دکلها
 ۶. استفاده از کمترین مساحت زمین برای هر واحد انتقالی در خطوط و در نتیجه کاهش هزینه سرمایه گذاری برای زمین
 ۷. کاهش ممانعت و اعتراضهای احتمالی اهالی منطقه در برابر احداث خط انتقال
 ۸. کاهش تاثیرات شدت میدان الکتریکی در فواصل اطراف و در نتیجه کاهش آثار زیانبار زیست محیطی آن
 ۹. کاهش راکتانس و افزایش سوسپتانس خطوط انتقال و در نتیجه افزایش قدرت انتقالی خطوط
- اما از طرف دیگر عوامل زیر را می‌توان بعنوان مشکلات و معایب این نوع از خطوط برشمرد:
۱. افزایش تعداد دکلها بعلت کاهش فواصل مابین آنها
 ۲. افزایش قیمت فونداسیون کل دکلها بعلت افزایش تعداد کل دکلها
 ۳. افزایش قیمت مقره های مورد استفاده بعلت افزایش تعداد کل دکلها و نیز استفاده بعنوان کراس آرم

باشد، امری ضروری و گریزناپذیر است. شاید یکی از دلایل اصلی عدم گسترش خطوط کمپکت در ایران را در عدم توجه کافی مسولین امر در هنگام طراحی خطوط انتقال و یا عدم علاقه به استفاده از روشهای نوین بدلیل مشکلات احتمالی آنهاست لذا همچنان شاهد استفاده از خطوط انتقال معمولی در شبکه های برق ایران هستیم. با این وجود می‌توان مزایای الکتریکی بسیار مناسبی را در این خطوط بافت زیرا در خطوط کمپکت، قدرت طبیعی خط انتقال با کاهش فاصله ایزولاسیون بین فازها، افزایش خاصیت خازنی و کاهش خاصیت القایی، افزایش می‌یابد [۴]. در این مقاله ابتدا به بررسی ویژگیهای خطوط کمپکت پرداخته و سپس روشهای مختلف بهینه سازی ابعاد این دکلها نظیر آرایشهای مختلف هادی، مقره، کراس آرم و استفاده از تجهیزات جدید با فواصل ایزولاسیون کمتر، بررسی می‌شود. نهایتاً مقایسه ای بین آرایشهای مذکور در خطوط کمپکت و خطوط معمولی بعمل آمده است و کارایی روشهای پیشنهادی در کاهش حریم خطوط مورد بررسی و تاکید قرار می‌گیرد.

۲- خطوط انتقال کمپکت

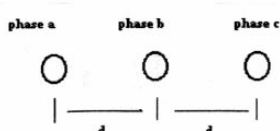
خطوط کمپکت خطوطی هستند که فاصله عمودی و افقی فازها در آنها تا حد امکان کاسته شده است بطوریکه موجب بهبود مشخصات الکتریکی ویژه ای در خط انتقال گردد. هر چند در خطوط کمپکت همواره سعی در کاستن فاصله بین فازها (درجه فشردگی) می‌شود اما عواملی مانند ولتاژ نامی، اضافه ولتاژ، جریان عبوری، جنس، نوع، مقاومت، درجه حرارت و نوسانات هادیا، طول زنجیر مقره، طول اسپن و عوامل طبیعی نظیر باد، برف و یخ مانع کاستن بیش از اندازه این فاصله می‌گردند. این خطوط حایز شرایط و ویژگیهای خاص زیر هستند:

کاهش حریم راه: با استفاده از خطوط کمپکت که در آنها فاصله فازها نسبت به سایر خطوط کاهش یافته، نتیجتاً عرض پهنای باند عبور و حریم راه کاهش یافته که در نتیجه آن

بیستین کنفرانس بین‌المللی برق

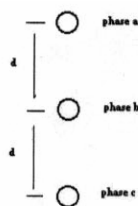
لذا با توجه به انتظار افزایش مصرف در آینده و افزایش قابلیت اطمینان سیستم، می‌توان از خطوط دو مداره استفاده نمود تا با افزایش مصرف در آینده نیاز به احداث یک خط تک مداره دیگر در آن مسیر از بین برود و در صورت قطعی در یک مدار، کل بارها دچار خاموشی نشوند. همچنین می‌توان ترتیبی اتخاذ نمود تا از دکل‌های دارای چند سطح ولتاژ مختلف با خطوط کمپکت بهره ببریم، به این ترتیب بیشترین صرفه جویی را در زمینه زمین و مسائل آزاد سازی حریم انجام داده ایم.

جایگذاری هادیها بر روی دکلها تاثیر فراوانی در ابعاد دکل و مقدار حریم خطوط انتقال دارد. جایگذاری هادیها بر روی پایه ها می‌تواند بصورت افقی، عمودی و یا مثلثی باشد. آرایش نوع افقی که تصویر شماتیک آن در شکل ۱ آورده شده است، بدلیل اینکه هادیهای فاز در مجاورت یکدیگرند، پهنای باند عبور و حریم افزایش می‌یابد. این مورد در مقایسه با آرایشهای بعدی بوضوح قابل مشاهده است.



شکل ۱- آرایش افقی هادی ها

در آرایش نوع عمودی که تصویر شماتیک آن در شکل ۲ آمده، هادیها بصورت عمودی و زیر هم قرار می‌گیرند، پهنای باند و حریم کاسته شده ولی سیستم از معضل احتمال برخورد هادیهای دو فاز به یکدیگر ناشی از عواملی همچون نوسان، گالوپینگ و قطع یک هادی و افتادن بر روی هادیهای دیگر رنج می‌برد.



شکل ۲- آرایش عمودی هادی ها

با عنایت به موارد فوق، بهترین محل‌های استفاده از این خطوط را داخل و حومه شهر، مناطق جنگلی و سایر مناطق دارای ارزش زیاد زمین می‌توان یاد نمود.

برای کاهش هر چه بیشتر حریم و کوچکتر کردن ابعاد دکلها، می‌توان با آرایش مناسب هادی، مقره و کراس آرهما فاصله ایزولاسیون بین فازها را هرچه بیشتر کاهش داد. ادامه بحث به بررسی اثرات هر یک عوامل فوق بر روی کاهش حریم خط انتقال اختصاص خواهد داشت.

۳- استفاده از هادی‌های کمپوزیت و آرایش‌های مختلف هادی‌ها

یکی از راه‌های کاهش حریم، استفاده از هادیهای جدیدتر می‌باشد که امکان طراحی خطوط فشرده تر و کمپکت را مهیا می‌سازد. یکی از این نوع هادیها، هادیهای $ACCR^1$ (هادیهای آلومینیومی با تقویت کامپوزیتی) می‌باشند که این نوع هادیها از آلیاژ آلومینیوم بوده و دمای بیشتری را می‌توانند تحمل نموده و در نتیجه قابلیت انتقال توان بیشتر و تلفات کمتری دارند. همچنین بدلیل وزن کم و سبکی این نوع هادیها می‌توان از دکل‌های ضعیف تر با هزینه فونداسیون کمتری استفاده نمود. درضمن بدلیل استحکام و نیروی کششی بالای این هادیها، شکم خط کاهش، طول اسپن‌ها افزایش، اثرپذیری در مقابل باد و گالوپینگ کمتر و طراحی فشرده تر خطوط میسر می‌باشد.

از آنجائیکه وزن این هادیها ۵۰٪ وزن هادیهای ACSR می‌باشد می‌توان بجای هر هادی ACSR از دو هادی ACCR استفاده نمود و این به معنای دو برابر شدن سطح مقطع انتقال بصورت بانداست. این امر سبب کاهش تلفات خط انتقال شده و ظرفیت خط انتقال نیز بیشتر می‌شود. بدین ترتیب ظرفیت توان انتقالی در حدود چندین برابر شده و این موضوع به معنای جلوگیری از احداث چندین خط جدید انتقال کلاسیک می‌باشد [۵].

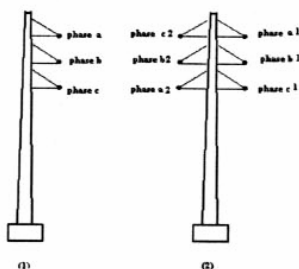
هادیهای مورد استفاده در خطوط کمپکت می‌تواند بصورت تک یا دو مداره و بصورت تک سیمه یا بانداست باشند.

1. Aluminium Conductor Composite Reinforced

بیستمین کنفرانس بین‌المللی برق

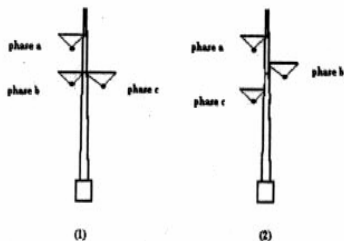
خوردگی و زنگ زدگی آنها صورت می‌گرفت. هم‌اکنون شاهد استفاده از دکل‌های بتنی نیز در صنعت هستیم که بصورت چند تکه، از پیش ساخته شده و به محل نصب حمل و در آنجا بهم متصل می‌شوند.

دکل‌های خطوط کمپکت دارای اشکال مختلفی هستند که هر یک ویژگی‌های خاص خود را دارند. در یک نوع از این دکل‌ها که تصویر شماتیک آنها در شکل ۴ دیده می‌شوند، دکل بصورت تک پایه و آرایش هادی‌ها بصورت عمودی بوده، سیستم تک‌مداره و یا دو مداره می‌تواند باشد. بدلیل ساختار دکل، حریم خط بسیار کم بوده و از لحاظ کاهش حریم، ساختار بسیار مناسبی است.



شکل ۴- دکل‌های تک پایه با آرایش عمودی هادی‌ها بصورت تک و دو مداره

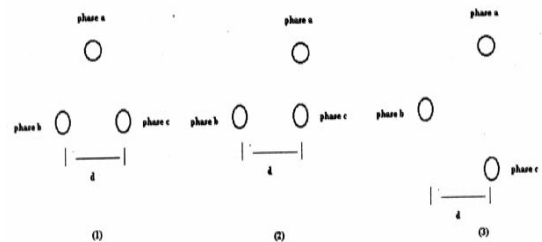
نوع دیگر دکل‌های خطوط کمپکت تک پایه و دارای آرایش مثلثی هادی‌ها است و تصویر شماتیک آنها در شکل ۵ آمده است. این ساختار برای متقارن نمودن بار ناشی از سیم و نیروهای وارده از طرف آنها به دکل تاثیر بسیار دارد.



شکل ۵- دکل‌های تک پایه با آرایش مثلثی هادی‌ها در دو نوع مختلف

نوع دیگر دکل‌های تک پایه خطوط کمپکت دارای آرایش افقی هادی‌ها در شکل ۶ آمده است. این دکل‌ها در قسمت اندکی پایین‌تر از محل قرار گرفتن هادی‌ها، به دو شاخه تقسیم

آرایش نوع مثلثی که تصویر شماتیک آن در سه صورت مختلف در شکل ۳ آورده شده، رواج بیشتری در خطوط کمپکت داشته و دارای پهنای باند کمتر می‌باشد. در این نوع آرایش بدلیل تعادلی که بین فازها برقرار است، نامتعادلی و لتاز کاهش می‌یابد.



شکل ۳- آرایش مثلثی هادی‌ها

لازم به یاد آوری است، در جایگذاری هادی‌ها توجه به مسئله نوسان و گالوپینگ ناشی از سرعت باد و برف و یخ، بدلیل نزدیک بودن هادی‌های فاز به یکدیگر اهمیت فراوانی دارد.

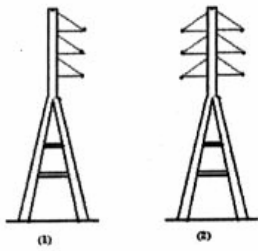
۴- دکل‌های خطوط کمپکت

برج‌ها و پایه‌های مورد استفاده در خطوط انتقال نیرو با توجه به عوامل چندی، از جمله تحمل نیروهای مکانیکی، قابلیت حمل و نقل به محل، امکان ساخت و نصب در محل احداث، اقتصادی بودن و دارای ظاهری متناسب با محیط بودن ساخته می‌شوند [۶].

شکل دکل‌های خطوط کمپکت بگونه‌ای طراحی می‌شود که با رعایت پایداری، موجب کاهش سطح مقطع دکل گردد، فواصل مابین فازها، سیم زمین و فازها و ارتفاع دکل کاهش یابد.

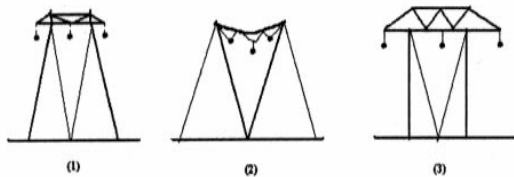
دکل‌های خطوط کمپکت را می‌توان بصورت تک پایه و یا دو پایه طراحی نمود و همچنین می‌توان با استفاده از سیم‌های مهار آنها را محکم و ضریب اطمینان پایداری دکل را افزایش داد. این دکل‌ها در ابتدا از فولاد ساخته می‌شدند، بطوریکه لوله‌های فولادی با ضخامت‌های بزرگ تا کوچک، از پایین به بالای دکل بر روی هم استوار شده و در نقاط اتصال، بهم جوش داده می‌شدند. آنگاه تمهیدات لازم برای جلوگیری از

بیستمین کنفرانس بین‌المللی برق



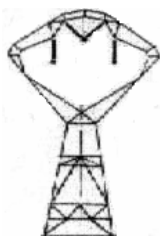
شکل ۸- دکلهای دو پایه بهم اتصال یافته با آرایش عمودی هادیها بصورت تکمداره و دومداره

نوع دیگر دکلهای خطوط کمپکت دو پایه توسط سیم مهار به زمین متصلند که تصویر شماتیک آنها در شکل ۹ دیده می‌شود. دو پایه این دکل‌ها بصورت قائم و یا مورب به زمین متصلند و دلیل استفاده از سیم مهار، افزایش پایداری دکل می‌باشد. آرایش هادیها در این دکلها بصورت‌های افقی و مثلثی می‌باشد، همچنین قسمت حامل مقرر ها نیز می‌تواند بصورت اسکلت فلزی و یا بصورت یک سیم بگسل آویزان باشد.



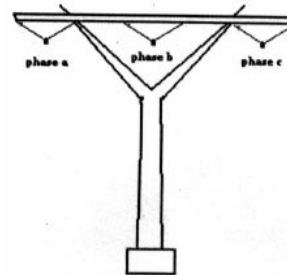
شکل ۹- دکلهای دو پایه دارای سیم مهار با آرایشهای افقی و مثلثی هادیها

نوع دیگر دکلهای خطوط کمپکت که تصویر شماتیک آنها در شکل ۱۰ آمده است، به دکلهای تلسکوپی موسومند. این دکلهای بزرگ، ارتفاع بلند و حریم زیادی دارند. دلیل ابعاد بزرگ این دکلها، افزایش قابلیت پایداری سیستم دکل و علت ارتفاع بلند آنها، حفظ فاصله ایزولاسیونی مابین دکل تا فازها است. آرایش هادیها در این دکلها از نوع مثلثی است.



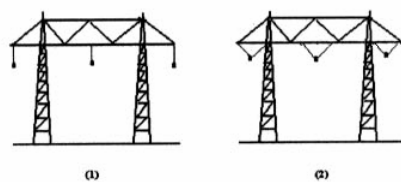
شکل ۱۰- دکل تلسکوپی خطوط کمپکت

شده و این دو شاخه، وزن اسکلت فلزی حامل هادیها را تحمل می‌نماید. با این عمل پایداری سیستم دکل اندکی افزایش می‌یابد، اما این روش ذاتاً با افزایش نسبی حریم همراه است. این دکلها برای اتصال سیم زمین دارای دو برجک اتصال در بالای همان اسکلت فلزی هستند.



شکل ۶- دکلهای تک پایه با آرایش افقی هادیها

نوع دیگر دکلهای خطوط کمپکت دارای دو پایه عمود بر زمین هستند و در شکل ۷ آورده شده است. این دو پایه حامل اسکلت فلزی حامل مقرر هایی هستند که بصورت عمود (آویزان) و یا بصورت V شکل بهم متصل شده‌اند. آرایش هادیها در این دکلها بصورت افقی و دارای حریم نسبی زیادی است. در بالای اسکلت فلزی نیز دو برجک برای سیم زمین تعبیه شده‌اند.



شکل ۷- دکلهای دو پایه با آرایش افقی هادیها و اتصالات مختلف مقرر ها

نوع دیگر دکلهای خطوط کمپکت دو پایه در قسمت اندکی پایینتر از محل پایتترین فاز بهم متصل شده‌اند. به این ترتیب، اتکای سیستم دکل نه بر روی یک پایه منفرد، بلکه بر روی دو پایه می‌باشد و استحکام آن افزایش می‌یابد. آرایش هادی در این دکلها بصورت عمودی است و تصویر شماتیک یک نوع از این دکلها در شکل ۸ دیده می‌شود.

بیستمین کنفرانس بین‌المللی برق

قابلیت انعطاف و وزن کمتر، اندازه فاصله ایزولاسیونی را به مراتب کاهش می‌دهند. با استفاده از این نوع مقره‌ها می‌توان فازها را بیشتر به بدنه دکل نزدیکتر نمود و موجب کاهش بیشتر حریم و کوچکتر شدن ابعاد دکل گشت.

یکی دیگر از روشهای کاهش ابعاد دکل، استفاده از کراس می‌توان بجای استفاده از کراس [V] آرمهای پلیمری است. آرمهای فلزی در دکل و اتصال هادیها از طریق مقره به آن، از کراس آرمهای پلیمری که بصورت ثابت یا اتکایی به دکل متصلند، استفاده نمود و آنگاه هادیها را مستقیماً به سر این کراس آرمها وصل کرد. لازم به یادآوری است که هدف اصلی استفاده از مقره‌ها، ایجاد ایزولاسیون بین هادی دارای ولتاژ و کراس آرم زمین شده است که با استفاده از کراس آرمهای عایق و زمین نشده، بدون نیاز به مقره می‌توان برای ایجاد ایزولاسیون مابین هادیها و بدنه دکلها استفاده می‌شود.

آرایش کراس آرمها در خطوط کمپکت با توجه به نوع دکل و شکل آن متفاوت می‌باشد. مثلاً در دکلهای دارای سیم بگسل شکل ۹ اصلاً کراس آرم ثابت وجود ندارد و مقره‌ها مستقیماً از سیم بگسل آویزان هستند، اما در دکلهای تک پایه و دو پایه شکلهای ۸، ۵، ۴ کراس آرمها بصورت عمود بر امتداد دکل، بدان متصل می‌باشند. مقره‌های پلیمری در خطوط کمپکت، به کمک بستهای مخصوصی با مقاومت مکانیکی بالا بهم و از سوی دیگر به بدنه برجها متصل می‌شوند که در شکل ۱۲ نشان داده شده است [۱].

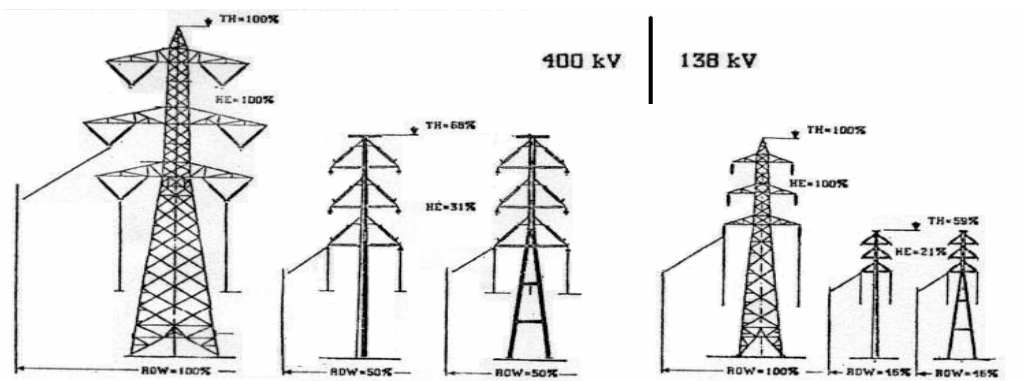
برای اثبات پایداری دکلها در مقابل نیروها و تنشهای ناشی از قطع یک هادی، قطع دو هادی، وزش بادهای سریع و نیروهای نامتعادل، دکلها ابتدا شبیه‌سازی شده و در صورت مثبت بودن پاسخ به نیروهای وارد شده در آزمایشات، مورد استفاده عملی قرار می‌گیرند.

با استناد به مطالب فوق می‌توان دریافت که دکلهایی با آرایش عمودی هادیها دارای کمترین حریم و هادیهای با آرایش مثلثی حریم کمتری را برای خطوط کمپکت به همراه دارند.

در مقایسه دکلهای بکار رفته در خطوط انتقال کمپکت و معمولی، تفاوت‌های چشمگیری از نظر ابعاد دکلها مشاهده می‌گردد. همانطور که در شکل ۱۱ مشخص شده [۶]، دکلهای خطوط کمپکت ۴۰۰ کیلو ولت دارای همان ارتفاعی هستند که دکلهای خطوط معمولی ۱۳۸ کیلو ولت دارا می‌باشند. پهنای باند و حریم خطوط کمپکت نیز در حدود نصف پهنای باند و حریم خطوط معمولی با ولتاژ مشابه می‌باشند. در ضمن فواصل مابین فازها نیز در هر دو خط ۱۳۸ و ۴۰۰ کیلو ولت در حدود ۷۰٪ کاهش یافته است.

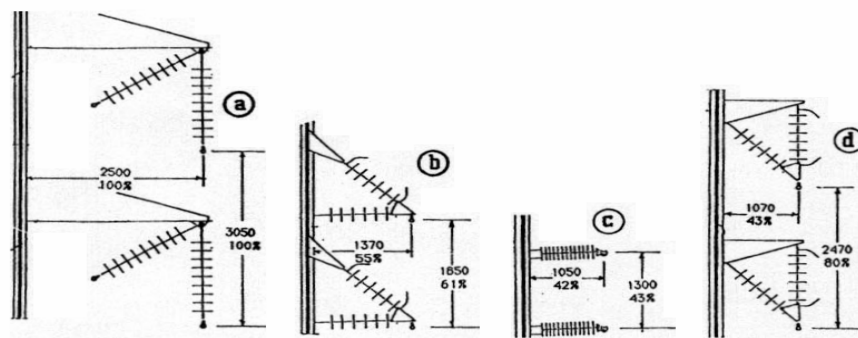
۵- استفاده از مقره و کراس آرم‌های پلیمری در خطوط کمپکت

یکی از راههای اساسی موثر در کاهش ابعاد دکلها و فاصله ایزولاسیونی در خطوط انتقال، استفاده از مقره‌های پلیمری است. مقره‌های پلیمری بکار رفته در خطوط کمپکت در مقایسه با سایر مقره‌های چینی و شیشه علاوه بر دارا بودن



شکل ۱۱- مقایسه حریم و ارتفاع دکلهای خطوط کمپکت و معمولی برای ولتاژهای ۱۳۸ و ۴۰۰ کیلو ولت

بیستیم کنفرانس بین‌المللی برق

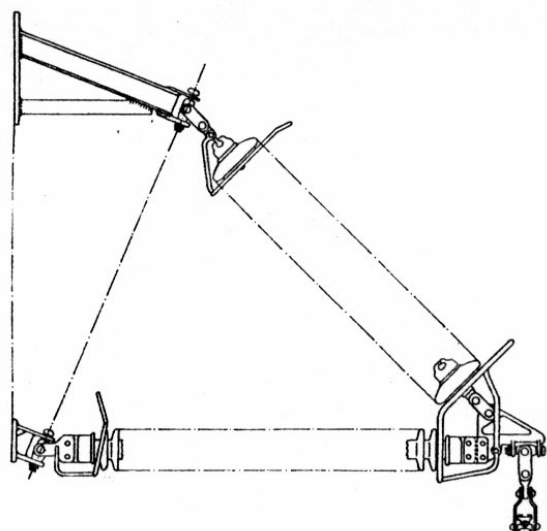


شکل ۱۳- مقایسه مابین فواصل ایزولاسیونی مقره‌ها و کراس‌آرم‌ها پلیمری و غیر پلیمری با اتصالات مختلف

(چینی و شیشه) است. قسمت (b) استفاده از مقره‌های پلیمری را با اتصال شکل ۱۲ نشان می‌دهد که موجب کاهش فواصل ایزولاسیون فاز به فاز به ۶۱٪ و فاز به زمین به ۵۳٪ گردیده است. قسمت (c) تاثیر استفاده از کراس‌آرم پلیمری و کاهش فاصله ایزولاسیون فاز به فاز به ۴۳٪ و فاز به زمین به ۴۲٪ را نشان می‌دهد. قسمت (d) اتصال دیگری از مقره‌های پلیمری را نشان می‌دهد که فاصله ایزولاسیونی فاز به فاز به ۸۰٪ و فاز به زمین به ۴۳٪ کاهش یافته است.

۶- استفاده از برقگیرها بجای سیم زمین

یکی از مشکلاتی که خطوط کمپکت با آن مواجهند، پدیده تخلیه‌های جوی و صاعقه می‌باشد. بروز رعد و برق و یا برخورد صاعقه به خطوط انتقال و دکلها موجب القا و لتاژ در تمامی فازها شده و امواج سیاری را بوجود می‌آورد که موجب اضافه ولتاژ در خطوط انتقال می‌شوند. برای محافظت خطوط انتقال در مقابل برخورد صاعقه بیشتر از یک یا دو سیم موازی با خطوط انتقال در بالاترین نقطه دکلها (سیم زمین) است. استفاده از سیم زمین موجب افزایش ارتفاع دکلها می‌شود زیرا همواره بایستی فاصله ایزولاسیون مناسب بین این سیم و هادیهای فاز در پایین آن، وجود داشته باشد. استفاده از برقگیرها در زیر بالاترین هادی فاز بر روی تمامی دکلهای خطوط کمپکت موجب کاهش ارتفاع دکلها بمیزان فاصله ایزولاسیون لازم برای سیم زمین شده و ابعاد دکل کاهش می‌یابد. این روش برای دکلهایی با آرایش مثلثی و عمودی هادیها نشان داده شده در شکل‌های ۸،۵،۴



شکل ۱۲- نحوه اتصال مقره‌های پلیمری بهم و به دکل خطوط کمپکت

با توجه به ویژگیهای ساختاری عایقهای پلیمری و استفاده از کراس‌آرمهای جدید، آرایش و نحوه اتصال بندی با آنچه در سایر خطوط انجام می‌گیرد متفاوت می‌باشد. هدف اصلی در آرایشهای جدید عایق و کراس‌آرمهای پلیمری در خطوط کمپکت، نزدیک نمودن فازها به یکدیگر بصورت عمودی و افقی، کاهش حریم و پهنای باند عبور خطوط انتقال است. در شکل ۱۳ مقایسه ای مابین اتصالات مختلف مقره‌ها و کراس‌آرمها در خطوط کمپکت و معمولی انجام شده و تاثیرات کاهش حریم و نزدیکی فازها بهم به کمک استفاده از اتصال صحیح مقره‌ها و کراس‌آرمهای پلیمری نمایش داده شده است [۶]. قسمت (a) نشان دهنده مقره‌های غیر پلیمری

بیستمین کنفرانس بین‌المللی برق

آنجاییکه راکتانس سلفی از پارامترهای بسیار مهم در مقدار افت ولتاژ، حد پایداری، تلفات اکتیو و راکتیو و همچنین ظرفیت مفید خطوط انتقال است، با کاهش آن مزایای بسیاری برای خطوط انتقال ایجاد می‌گردد.

همچنین با کاهش فواصل فازی در خطوط کمپکت نسبت به خطوط معمولی، سوسپتانس خطوط نیز در حدود ۱۸ درصد افزایش می‌یابد و این امر از آنجاییکه خطوط انتقال مصرف کننده توان راکتیو هستند می‌تواند کمک شایانی به جبران‌سازی توان راکتیو مصرفی آنها نماید.

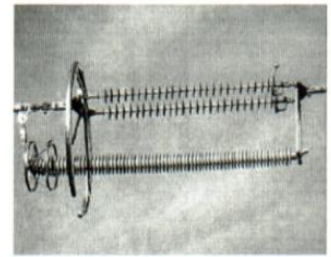
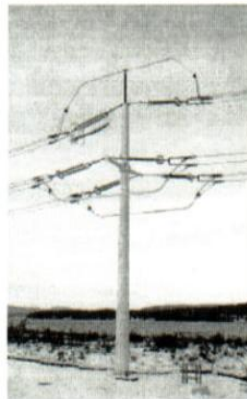
امپدانس موجی خطوط انتقال نیروی کمپکت در مقایسه با امپدانس موجی خطوط انتقال معمولی بدلیل کاهش راکتانس و افزایش سوسپتانس خطوط ناشی از جابجایی فازها در حدود ۱۸ درصد کاهش می‌یابد.

مقدار قدرت طبیعی خطوط انتقال کمپکت با در نظر گرفتن وابستگی آنها به مقادیر راکتانس و سوسپتانس خطوط نسبت به خطوط انتقال معمولی بیشتر و در حدود ۲۲ درصد افزایش یافته است. این امر حاکی از بهبود بارگذاری خطوط انتقال نیرو در صورت استفاده از خطوط کمپکت و همزمان با آن افزایش ظرفیت مفید و کاهش تلفات و نیز کاهش افت ولتاژ در خطوط انتقال نیرو می‌باشد.

۸- مقایسه هزینه‌های احداث خطوط کمپکت و معمولی

هزینه‌های اقتصادی قسمت‌های مختلف احداث خطوط انتقال کمپکت و معمولی ۱۳۸ کیلو ولت در شکل ۱۵ مورد مقایسه قرار گرفته است [۱۰]. ردیف یک خط انتقال معمولی و ردیف دو خط انتقال کمپکت را نشان دهد. ستون اول و $(S1)$ نشانگر قیمت هادی می‌باشد و با توجه به ثابت بودن نوع، جنس و طول هادی بکار رفته در خطوط کمپکت و معمولی، قیمت آن ثابت بوده و در هر دو ستون باهم برابر می‌باشد. بعلاوه افزایش تعداد دکلها در خطوط کمپکت در مقایسه با خطوط معمولی، در ستون دوم $(S2)$ هزینه ایزولاتورها و مقره‌ها افزایش چشمگیری یافته است. بدلیل افزایش تعداد دکلها، همچنین شاهد افزایش قیمت تعداد کل دکلها و هزینه فونداسیون تمامی آنها در ستون $(S3)$ هستیم. هزینه

مناسب است و در دکلهایی با آرایش افقی هادیها در شکل‌های ۷،۶ مناسب نمی‌باشد. زیرا در اینصورت بدلیل هم ارتفاع بودن تمامی هادیهای فاز استفاده از برقگیر در زیر تمامی هادیهای فاز نیاز بوده و این موضوع موجب افزایش هزینه‌ها خواهد شد. در آرایشهای مثلثی و عمودی نیز استفاده از برقگیر تنها در زیر بالاترین فاز کفایت می‌نماید و فازهای بعدی بدلیل ارتفاع کمتر، احتمال برخورد با صاعقه کمتر میباشد. در شکل ۱۴ تصویر شماتیک یک نمونه از این برقگیرها برای خطوط کمپکت دیده می‌شود [۹].



شکل ۱۴- تصویر یک برقگیر بکار رفته در فاز بالایی دکل‌های خطوط کمپکت و تصویر یک دکل خط کمپکت با آرایش مثلثی هادیها و دارای برقگیر بر روی هر سه فاز

۷- مقایسه پارامترهای الکتریکی خطوط کمپکت و معمولی

یکی از مهمترین پارامترهای تعیین کننده اندوکتانس و کاپاسیتانس خط انتقال، فاصله بین فازهای خط می‌باشد که با فرض ترانسپوز شده در طول مسیر، از فاصله متوسط هندسی جهت محاسبه پارامترهای خط انتقال استفاده می‌شود که مقدار آن با توجه به جایگذاری فازها روی دکلها دارای محدوده بسیار وسیعی از ۳ متر برای خطوط کمپکت تا ۱۰ متر برای خطوط معمولی متغیر می‌باشد [۴].

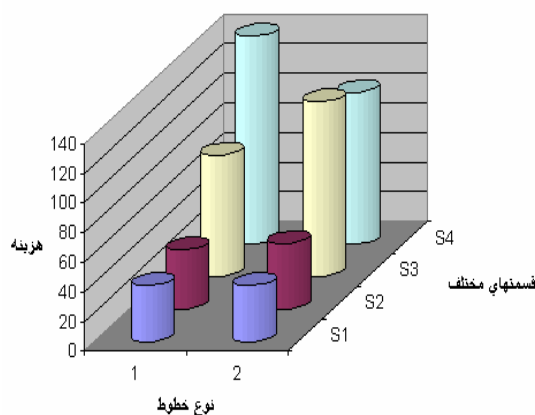
با کاهش فواصل فازی در خطوط کمپکت نسبت به خطوط انتقال معمولی، مقدار فاصله متوسط هندسی و در نتیجه راکتانس سلفی خط در حدود ۱۸ درصد کاهش می‌یابد. از

بیستین کنفرانس بین‌المللی برق

۱۰- مراجع

- [1] Gh.Heidari, M.Heidari, "Effect of land price on transmission line design", CIGRE 1996.
- [۲] فرهاد شهینا، پیام عالمی، مهرداد طرفدار حق، "فلسفه حریم و خطوط کمپکت"، اولین سمینار تخصصی خطوط کمپکت، ساری، اردیبهشت ۱۳۸۳.
- [۳] قدرت اله حیدری، "نقش قیمت زمین در آرایش هادیها، شکل برجها و ولتاژ خطوط انتقال نیرو"، شانزدهمین کنفرانس بین‌المللی برق، تهران، آبان ۱۳۸۰.
- [۴] قدرت اله حیدری، رابرت وارطانیان، مازیار حیدری، "ویژگیهای الکتریکی خطوط انتقال نیروی کمپکت"، اولین سمینار تخصصی خطوط کمپکت، ساری، اردیبهشت ۱۳۸۳.
- [۵] محمد مهدی منصوری، "افزایش ظرفیت خطوط انتقال با استفاده از هادیهای کامپوزیتی در راستای استفاده بهینه از محیط زیست"، اولین سمینار تخصصی خطوط کمپکت، ساری، اردیبهشت ۱۳۸۳.
- [6] M. Barbarito, A. Clerici, L. Paris, P. Pelacchi, "A new type of compact line for urban and suburban areas", Int. Conf. on Overhead Line Design and Construction: Theory and Practice, pp. 40-45, Nov. 1988.
- [۷] ه. علی آبادی، ح. کریمی، "برجهای کمپکت با استفاده از کراس آرمهای پلیمری"، نشریه ناب، دانشگاه صنعت آب و برق، ۱۳۸۲.
- [8] J. Voyatzakis, "150 KV transmission lines on tapered steel poles supporting insulator in Greece", Int. Conf. on Overhead Line Design and Construction: Theory and Practice, pp. 46-50, Nov. 1988.
- [9] D. Loudon, K. Halsan, U. Jonsson, D. Karlsson, L. Stenstrom, J. Lundquist, "A compact 420 KV line utilizing surge line arrester for areas with low isokeraunic levels", CIGRE 1998.
- [10] E. Cecchetti, P.L. Noferi, A. Clerici, M.Barbarito, L. Paris, P. pelacchi, "Compact lines for urban and suburban areas: a new solution", CIRED 1689, PP. 190-195.

آزادسازی حریم برای خطوط کمپکت در ستون (S4) در مقایسه با خط معمولی کمتر می باشد. محور عمودی در این شکل می تواند معیاری برای محاسبه قیمتها باشد. مشابه همین نتایج، می توان رشد و افزایش هزینه را برای خطوط کمپکت با سایر سطوح ولتاژ شاهد بود. برای بررسی بهتر این موضوع، لازم است تا ضمن انجام تحلیلهای دقیق، نقطه برابری هزینه احداث خطوط انتقال کمپکت و کلاسیک تعیین گردد تا مشخص شود برای چه کیلومتری از خطوط انتقال در منطقه‌ای با قیمت زمین مشخص، احداث خطوط کمپکت بصره تر از خطوط کلاسیک می باشد.



شکل ۱۵- مقایسه هزینه های احداث خط انتقال معمولی و کمپکت برای ولتاژ ۱۳۸ کیلو ولت

۹- نتیجه گیری

استفاده از خطوط کمپکت موجب کاهش حریم خط انتقال و افزایش توان الکتریکی می گردد. بهمین منظور از روشهای مختلفی نظیر استفاده از هادی، عایق و کراس آرمهای پلیمری با آرایشهای مختلف برای کاستن ابعاد دکل استفاده می گردد. با مقایسه بین این نوع خطوط و خطوط معمولی، می توان به این نتیجه کلی دست یافت که احداث خطوط کمپکت همواره هزینه و سرمایه گذاریهای بیشتری را نسبت به خطوط معمولی می طلبد و این افزایش هزینه با صرفه جویی در آزاد سازی کمتر حریم بطور کامل جبران نمی شود. اما بدلائیل مشکلات ناشی از حریم در زمان احداث خطوط انتقال معمولی در محدوده شهرها و جنگلها، خطوط کمپکت را می توان بطور موثر مورد استفاده قرار داد.