طراحی و نصب اولین خط هوائی کابل فاصله دار ۲۰ کیلوولت ایران

مهرداد طرفدارحق
دانشیار دانشکده مهندسی برق وکامپیوتر
دانشگاه تبریز

کریم روشن میلانی
مدیر دفتر طراحی مهندسی
شرکت توزیع نیروی برق آذربایجان شرقی

چکیده – این مقاله ضمن معرفی شبکه های هوایی فشار متوسط با کابل فاصله دار Spacer Cables، پیشرفتهای حاصل از نصب اولین خط هوایی ۲۰ کیلوولت کابل فاصله دار ایران را که در شهرک سرمایه گذاری خارجی تبریز در حال طی مراحل نهایی می باشد ارائه می نماید. فاز اول خط مذکور به طول ۶۵۰ متر به صورت چهار مدار برروی یک پایه مشترک در حال نصب بوده و قدرتی معادل ۳۶۰ مگار وات را برای تغذیه بارهای صنعتی این منطقه تامین خواهد نمود. روشهای اساسی طراحی الکتریکی و مکانیکی خط مذکور دراین مقاله ارائه می گردد. تحلیل های مکانیکی کنسول های پایه های عبوری و کششی که با نرم افزار ABAQUS انجام شده است نیز ارائه خواهد شد. همچنین نتایج مشخصه های کشش – فلش حاصل از یک نرم افزار ویژه نوشته شده ارائه می شود.

کلید واژه – کابلهای فاصله دار، کابل خودنگهدار، هادی روکش دار، طراحی مکانیکی، طراحی الکتریکی

۱- مقدمه

شبکه های توزیع هوایی انرژی الکتریکی را می توان به دو نوع با هادیهای لخت (Bare Conductors) و با هادیهای غیر لخت (Non-bare Conductors) تقسیم بندی نمود. شبکه های هوایی غیر لخت نیز به سه گروه زیر تقسیم می شوند:

۱- هادیهای روکش دار Covered Conductors (CC)
۲- کابل های به هم تابیده شده هوایی Aerial Bundled Cables (ABC) که در ایران به اشتباه به کابل های خود نگهدار (Self-Supporting Cables) معروف شده اند در حالیکه فقط نوع چهار سیمه که فاقد سیم نگهدارنده هستند واقعاً "خودنگهدار" می باشند.
۳- کابل های فاصله دار Spacer Cables

هادیهای هوایی روکش دار برای اولین بار در ایران در سال ۱۳۸۵ توسط مولفین مقاله و تیم همکار به تولید انبوه رسید [۳-۱]. کمتر از چند ماه پس از تولید هادیهای روکش دار، کابل های خود نگهدار فشار ضعیف که از تاباندن همان هادیهای روکش دار به دور یک سیم حمال فولادی ساخته شده بودند توسط شرکتهای مختلف ایرانی تولید گردیدند.

شبکه های کابل فاصله دار در اکثر کشورها و به ویژه در آمریکا ، برزیل، کشورهای آسیای جنوب شرقی و اروپا بطور گسترده استفاده می شوند [۴]. مثلاً در تمام شبکه توزیع برق ایالتهای ماساچوست، گروتون و استرلینگ از کابل های فاصله دار استفاده می شود همچنین ویژگیهای خاص آنها موجب شده است تا این شبکه ها از آلاسکا گرفته تا ایستگاه آزمایشی خلیج Mcmurdo در قطب جنوب مورد

استفاده قرار گیرند. کابل های فاصله دار در ولتاژهای فوق توزیع ودر سطح ولتاژ ۶۹ کیلو نیز بکار برده شده اند. این شبکه به ویژه بمنظور کاهش حریم مورد استفاده قرار گرفته است [۵]. .تجربیات شرکت CEMIG برزیل نشان داده است که با استفاده از کابل فاصله دار می توان نرخ عیب را از ۰/۹ عیب در هر کیلومتر در سال برای شبکه های توزیع با هادیهای لخت به ۰/۰۴ عیب در هر کیلومتر در سال کاهش داد [۶-۷].

در خرداد ماه ۱۳۸۸ یک قرارداد پژوهشی بین دانشگاه تبریز و شرکت توزیع نیروی برق آذربایجان شرقی جهت طراحی و نصب اولین خط هوایی ۲۰ کیلو وات با کابل فاصله دار منعقد گردید. محل نصب خط مذکور شهرک سرمایه گذاری خارجی تبریز و طول فاز اول خط ۶۳۰ متر می باشد. قیمت هادیهای این خط کمتر از نصف کابل های خود نگهدار فشار متوسط ۲۰ کیلووات با سطح مقطع یکسان بوده و بنظر می رسد در آینده نزدیک بتواند جایگزین شبکه های کابل خودنگهدار فشار متوسط هوایی در ایران گردد.

هدف این مقاله معرفی شبکه ها کابل فاصله دار، تجهیزات، روشهای طراحی الکتریکی، مکانیکی، ویژگیهای نصب و همچنین گزارش پیشرفت پروژه تحقیقاتی مذکور می باشد.

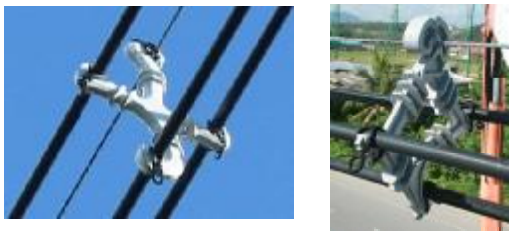
۲- ساختار شبکه های هوایی توزیع کابل فاصله دار

در شبکه کابل فاصله دارهوایی یا (Aerial Spacer Cable) کابلهای سه لایه در سه راس فاصله نگهدارهای عایقی که به شکل لوزی یا صلیبی هستند بسته می شوند. از راس بالایی فاصله نگهدارها یک سیم فولادی (یا آلومینیوم آلیاژی) به عنوان سیم نگهدارنده عبور می کند. وظیفه سیم سیم نگهدارنده تحمل نیروی وزن می باشد. این سیم خط را در مقابل صاعقه نیز حفاظت می نماید و بدین ترتیب مشکلات شبکه های هادی روکش دار مانند لزوم بکارگیری سیم گارد مجزا، شاخک های هوایی و یا لخت نمودن هادی در محل اتصال به مقره بطورکامل رفع می شود. فاصله نگهدارها علاوه بر نصب به کراس آرم در سر تیرها، در فواصل حدود ده متری در بین اسپن ها نیز قرار می گیرند.

در این سیستم هادی ها قادر به تحمل اتصال کوتاه بین فازها و یا برخوردها اتفاقی دیگراشیاء ازجمله تماس شاخه درختان و پرندگان را بدون وقفه در برق رسانی دارند. هادیهای مذکور از سیم فولادی آویزان بوده و تقریباً هیچ نیروی کششی (بجز وزن کم حدود پنج متر از هادی در هر طرف هر کدام از فاصله نگهدارها) را تحمل نمی کنند.

عمده ترین مزیت طرح مذکور جدا شدن کامل طراحی مکانیکی و الکتریکی از همدیگر می باشد. در واقع می توان مطابق با طول اسپن، شرایط بارگذاری منطقه و وزن هادیها، نوع سیم حمال فولادی را به سادگی و در یک محدوده وسیع انتخاب نمود. چنین شرایطی امکان عبور از اسپن های بسیار بلند را که قبل از این در شبکه های توزیع امکان آن وجود نداشت میسر می نماید. نکته قابل توجه این است که تمامی طرح ها و شبکه های کابل فاصله دار فشار متوسط اجرا شده در سطح دنیا از سیم حمال فولادی برای این شبکه ها استفاده می کنند که این امر امکان اقتباس و استفاده از استانداردها، تجهیزات، آزمون ها و روشهای نصب و تجربیات آنها را عیناً فراهم می نماید [۸-۱۴]. در ضمن در اجرای این شبکه ها نیازی به آلومینیوم آلیاژی که در دو شبکه هادی روکش دار و کابل خودنگهدار بسیار مشکل آفرین شده بود رفع شده است.

همانطوریکه ذکر گردید امکان طراحی الکتریکی هادیها در شبکه کابل فاصله دار بدون رعایت هرگونه محدودیت وجود دارد. درواقع صرفاً بر اساس توان الکتریکی مورد استفاده و افت ولتاژ مجاز می توان سطح مقطع هادیهای نمام آلومینیوم روکش دار سه لایه را تعیین و پس از اتمام طراحی الکتریکی نسبت به تعیین مشخصات سیم حمال فولادی اقدام نمود. شکل (۱) عکسهایی از این شبکه ها را که توسط مولفین تهیه شده است را نشان می دهد



شکل ۱) عکسهای شبکه های کابل فاصله دار در کشورهای خارجی

۳- مزایای شبکه های کابل فاصله دار

مزایای عمده حاصل از بکارگیری این خطوط نسبت به شبکه های لخت هوائی عبارتند از:

۱- باند حریم کم به دلیل فاصله ۳۸ سانتیمتری بین دو فاز کناری
۲- حذف مقره و یراق آلات بسیار کم
۳- قیمت کمتر نسبت به شبکه های با هادیهای لخت در طی دوره بهره برداری بدلیل کاهش خسارت خاموشیها
۴- کاهش هزینه بهره برداری به جهت نرخ عیب کمتر
۵- افزایش امکان حفاظت اشخاص از برق گرفتگی
۶- قطعی برق کمتر وکاهش انرژی های توزیع نشده
۷- کاهش قطع درختان و جلوگیری از مرگ و میر پرندگان و حیوانات
۸- رضایت مندی استفاده کنندگان به ویژه در یک بازار برق رقابتی
۹- هادی ها تمام آلومینیومی (ارزان تر، قابل تولید در داخل کشور ، سبک تر شدن هادی)

۴- مقایسه کابلهای فاصله دار با شبکه های کابلهای خودنگهدار فشار متوسط

می توان مهمترین مزایای شبکه های هوائی توزیع با کابلهای فاصله دار نسبت به شبکه های توزیع با کابلهای خودنگهدار را بشرح زیر ذکر نمود:

۱- عیب یابی کابلهای خود نگهدار بدلیل پیچیده شدن فازها بسیار دشوار و تعمیرات آن مشکل است در حالی که در شبکه کابل فاصله دار این مشکل براحتی حل شده است.
۲- قیمت کمتر. هزینه احداث شبکه های هوایی توزیع با کابلهای فاصله دار حدود ۶۰٪ شبکه های با کابلهای خودنگهدار فشار متوسط معادل الکتریکی می باشد.
۳- یراق آلات بسیارکمتر. شبکه های هوایی توزیع باکابلهای فاصله دار اساسا ساختار بسیار ساده ای داشته ومانند کابلهای خودنگهدار یراق آلات، ابزارها و آموزشهای خاصی جهت نصب نیاز ندارند.
۴- انشعاب گیری و اتصال ترانس ها در شبکه کابل خودنگهدار فشار متوسط بسیار دشوار بوده در حالیکه درشبکه کابل فاصله دار بهره برداری بسیار راحت تر شده است.
۶- کابلهای فاصله دار از کابلهای خودنگهدار سبک تر هستند و در نتیجه قدرت پایه ها کمتر خواهد بود.

۵- مزایای کابل های فاصله دار نسبت به هادی های روکش دار فشار متوسط

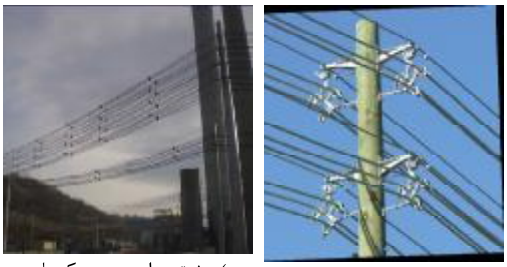
۱- -عدم نیاز به تجهیزات اضافی حفاظت در مقابل صاعقه
۲- -عدم نیاز به مقره و کاهش بیشتر باند حریم
۳- -امکان اجرای چندین مدار بر روی یک پایه
۴- -امکان عبور از اسپن های خیلی بزرگ

۶- ویژگیها [۱۰]

گرچه مناطقی که کاربرد شبکه های کابل فاصله دار در آنها توصیه شده اند به موارد مشروحه زیر مختص نمی شوند و می توان از آنها در هر منطقه ای که محدودیتهای اجرایی وجود دارد استفاده نمود اما استفاده از آنها در مو.ارد زیر توصیه شده است:

الف- اجرای چند مدار بر روی یک پایه

با استفاده از این شبکه ها می توان چندین فیدر را بر روی یک پایه اجرا نمود. شکل (۲) این مورد را نشان می دهند.



الف) چهار مدار بر روی یک پایه ب) هشت مدار بر روی یک پایه

شکل ۲) اجرای چند مدار بر روی یک پایه

ب- استفاده در مناطق شهری جهت کاهش حریم مجاز

فاصله کم بین دوفاز کناری امکان کاهش باند آزادسازی حریم را فراهم می کند. بدیهی است علاوه بر موضوع

مذکور، این شبکه ها بدلیل روکش دار بودن و در صورت اصلاح قوانین حریم در سطح کشور مزایای بیشتری را نیز از این نظر خواهند داشت.

ج- مناطق مجاور دریا بمنظور جلوگیری از خوردگی شیمیایی

وجود سه لایه روکش بطور محسوسی از خوردگی شیمیائی جلوگیری میکند. همچنین عدم وجود فولاد در هادیها از خوردگی گالوانیکی جلوگیری خواهد نمود.

د- قابلیت بکارگیری در مناطق کوهستانی:

در زمانی که مناطق مرتفع با مشکلات برخورد هادی ها در زمان وزش طوفانهای شدید و یا افتادن سنگ مواجه هستند یا مناطقی که افتادن شاخه درختان ایجاد قطعی و خاموشی می نمایند این سیستمها بسیار مناسب می باشند. همچنین با توجه به اینکه مناطق کوهستانی بیشتر دچار مشکلات ناشی از برخورد صاعقه هستند این سیستم بدلیل ارت شدن سیم نگهدارنده و قرار گرفتن آن در بالای شبکه بهترین راه حل مقابله با برخورد صاعقه را نیز دارا می باشد.

ه- عبور از رودخانه های عریض، اسپن های بلند و یا دریاچه های مصنوعی پشت سدها:

در اینگونه موارد بدلیل اسپن های بزرگ عملاً امکان عبور سیم های لخت در طول زیاد غیر ممکن می باشد. با استفاده از کابلهای فاصله دار و فقط با انتخاب مناسب سیم نگهدارنده در هر مورد می توان این شبکه ها را به راحتی اجرا نمود.

شکل ۳) عبور از رودخانه (اسپن بلند)

و- مناطقی که مشکلات پرندگان و حیوانات در برخورد به شبکه و ایجاد خاموشیهای زیاد ناشی از عوامل خارجی را دارا هستند.

ز- کاهش افت ولتاژ

با توجه به نزدیک بودن هادیها به همدیگر در طول خط، خاصیت سلفی خط کاهش و خاصیت خازنی آن افزایش یافته و موجب کاهش افت ولتاژ می گردد. همچنین فاصله نگهدارها موجب قرار گرفتن هادیها بر روی رئوس یک مثلث متساوی الاضلاع شده و تساوی امپدانس هر سه فاز را از این نظر تضمین می کند.

ح) امکان حفاظت کابلها در صورت افتادن درخت

یکی از معظلات همه شبکه های توزع هوائی افتادن درخت بر روی شبکه به ویژه پس از وقوع طوفان در مناطق پردرخت می باشد. سیم نگهدارنده شبکه کابل فاصله دار بدلیل موقعیت مکانی خود قادر است کابلهای این شبکه را از آسیب درختان و شاخه های آنها محفوظ نگهدارد. شکل (۴) این ویژگی را نشان می دهد.

و) امکان نصب در زیر خطوط ۶۳ کیلوولت

بدلیل امکان اجرای اسپن های بلند، می توان این شبکه ها را بر روی پایه های خطوط ۶۳ کیلوولت و در زیر شبکه ۶۳ کیلوولت نصب نمود. شکل (۴) این ویژگی را نشان می دهد.

شکل ۴) امکان نصب بر روی پایه های خط ۶۳ کیلوولت موجود و حفاظت کابلها از آسیب درختان و شاخه ها ی آنها

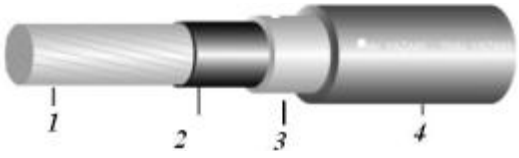
۷- تجهیزات اصلی شبکه کابل فاصله دار

یکی از ویژگیهای اصلی شبکه کابل فاصله دار تعداد کم مواد و تجهیزات ویژه آن می باشد. در ادامه مشخصات اسای هادیها، فاصله نگهدارها، سیم نگهدارنده فولادی و مقره های ویژه این شبکه ها به اختصار توضیح داده می شود.

۷-۱- هادیها

جنس‌رسانای هادیها از نظر امکان تولید می‌تواند شامل تمام انواع رایج در خطوط هوایی لخت باشد اما با توجه به اینکه سیم نگهدارنده در این سیستم عهده دار تحمل نیروهای کشش مکانیکی است لذا عموماً از هادیهای تمام آلومینیم رشته‌ای استفاده می‌شود. شکل (۵) ساختار رایج این هادیها در فشار متوسط نشان داده شده است. در این شکل شماره های ۱ الی ۴ به ترتیب نشانگر هادیهای رشته ای کمپکت شده تمام آلومینیومی، لایه نیمه هادی پلی اتیلنی (یا XLPE) ترموپلاستیک اکسترود شده، لایه LDPE و HDPE مشکی می باشد. لازم بذکر است دو لایه خارجی را به ترتیب از سمت هادی از XLPE و XLPE مشکی نیز تولید می کنند و در این صورت حداکثر دمای کار پیوسته هادی بجای ۷۵ می تواند تا ۹۰ درجه سانتیگراد افزایش یابد.

. جدول (۱) اطلاعات و مشخصات فنی هادی های شبکه فاصله دار تولیدی یکی از شرکتهای خارجی را نشان می دهد.



شکل (۵) ساختار رایج کابل فاصله دار فشار متوسط

جدول (۱) مشخصات فنی کابل های فاصله دار تولیدی یکی از شرکتهای خارجی

Nominal Sectional Area mm²	Minimum Number of wire NO	Diameter of Conductor (approx) mm	Thickness of Insulation mm	Thickness of sheath mm	Overall Diameter (approx) mm	Maximum DC. conductor resistance at 20 °C Ω / km	Minimum insulation resistance at 15.6 °C MΩ - km	Allowable ampacities in free air at 40 °C ambient A	Cable weight (approx) kg/km	Standard Packing m
25	6	5.90	3.175	3.175	20.0	1.20	2,827	119	317	500/R
35	6	6.95	3.175	3.175	21.0	0.868	2,580	149	363	500/R
50	6	8.33	3.175	3.175	22.0	0.641	2,314	186	432	500/R
70	12	9.73	3.175	3.175	24.5	0.443	2,100	229	509	500/R
95	15	11.45	3.175	3.175	26.0	0.320	1,887	279	615	500/R
120	15	12.95	3.175	3.175	27.0	0.253	1,712	321	729	500/R
150	15	14.27	3.175	3.175	29.5	0.206	1,600	371	826	500/R
185	30	15.98	3.175	3.175	31.0	0.164	1,477	429	959	500/R
240	30	18.47	3.175	3.175	33.5	0.125	1,328	520	1,170	500/R

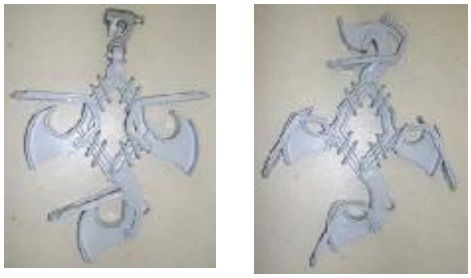
R = Packing in reel

۷-۲- فاصله نگهدارها

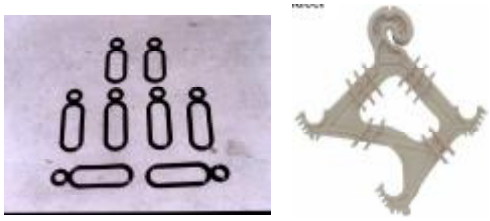
فاصله نگهدارها باید بر روی سیم فولادی نگهدارنده و در موقعیت مناسب محکم شوند و در طی مراحل نصب و پس از آن از موقعیت خود حرکت نکنند. در هر صورت نباید به فاصله نگهدارها هیچگونه نیروی طولی وارد شود.ساختارهای متفاوتی از فاصله نگهدارها که توسط شرکتهای مختلف تولید شده اند در شکل (۶) مشاهده می شود. فاصله نگهدارها عموماً از جنس HDPE بوده و باید در مقابل اشعه UV خورشید مقاوم باشند. جهت تطابق بیشتر با محیط اطراف رنگ آنها خاکستری انتخاب می شود. با ایجاد چترک هایی سعی می شود تا فاصله خزش تا حد امکان افزایش یابد. ابعاد فاصله نگهدارها به گونه ای انتخاب می شود که هادیها بر روی رئوس یک مثلث متساوی الاضلاع قرار بگیرند. فاصله بین دو فاز کناری در حدود ۳۸ سانتیمتر می باشد که بسیار کمتر از فاصله رایج ۲۲۰ سانتیمتری بین فازهای کناری در شبکه های با هادیهای لخت می باشد که این موضوع تاثیر قابل توجهی در کاهش باند آزاد سازی حریم خواهد داشت.

فاصله نگهدارهای دارای اهرم نگهدارنده بدلیل استحکام مکانیکی بیشتر نسبت به بستهای ضد UV دارای قابلیت اطمنان بیشتری هستند اما قیمت آنها نیز حدود ۳/۵ برابر بیشتر می باشد. فاصله نگهدارها در طرح های سه فاز عمودی و تکفاز نیز تولید شده و مورد استفاده قرار می گیرند (شکل ۶ –ج). امروزه امکان نصب و استفاده از خطوط ۶۹ کیلوولت فاصله نگهدار با استفاده از فاصله نگهدارهای ویژه مشابه شکل (6-ج) فراهم آمده است که

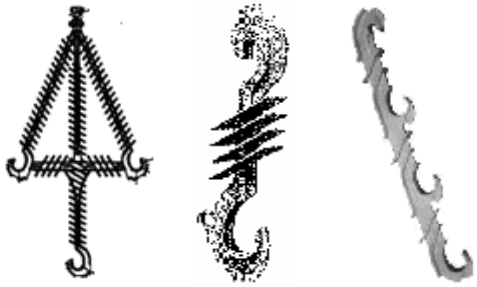
عموماً بمنظور کاهش باند آزاد سازی حریم و افت ولتاژ خط (بدلیل افزایش خاصیت خازنی و کاهش اثر سلفی) مورد استفاده می باشد [۵].



الف) فاصله نگهدار مجهز به اهرم های نگهدارنده



ب) فاصله نگهدار مجهز به بستهای ضد UV



ج) طرح های سه فاز عمودی،تک فاز و طرح ۶۹ کیلولتی

شکل (۶) طرح ها و کاربردهای مختلف فاصله نگهدارها

۷-۳- سیم نگهدارنده (مسنجر)

این هادی نقش نگهدارنده هادی های روکش دار در فواصل تعریف شده آنها را بعهده دارند. جنس این سیم ها معمولاً فولاد با روکش آلومینیوم (آلمو ولد) و یا فولاد گالوانیزه می باشد.این هادی علاوه بر نقش نگهدارنده بایستی نقش سیم ارت و حفاظت در مقابل صاعقه را نیز بعهده بگیرند. سیم فولادی متناسب با میزان تحمل استقامت کششی تغیین می شود. درمناطقی که رعدو برق زیاد باشد میتوان دو رشته از این مفتول ها را آلومینیومی انتخاب نمود تا هدایت جریان صاعقه را براحتی انجام پذیرد در اینصورت دیگر رشته های فولادی از نوع (Alumni clad) می باشند. دلیل استفاده از آلومینیوم ایجاد هدایت الکتریکی زیاد در مقابل برخورد صاعقه و همچنین کاهش افت ولتاژ در شبکه های فشار ضعیف کابل فاصله دار می باشد. لازم بذکر است در شبکه های فشار ضعیف سیم نگهدارنده را از جنس آلومینیوم آلیاژی انتخاب نموده و به عنوان نول مورد استفاده قرار می دهند.

۷-۴- مقره ها

بر روی پایه های زاویه دار و بمنظور عدم اعمال نیروهای کششی به فاصله نگهدارها از مقره استفاده می شود. مقره های مذکور از HDPE ساخته شده و دارای ضریب دی الکتریک مناسب با روکش XLPE یا HDPE کابلهای فاصله دار می باشند. شکل ۷-الف نمونه ای از این مقره های ۲۰ کیلوولتی را نشان می دهد.

مقره های مذکور علاوه بر سبک بودن در مقابل اشعه UV نیز مقاوم می باشند. علاوه بر مقره های مذکور، سیمهای اصله نیز نباید دارای قسمتهای فلزی باشند. در وافع نمی توان از سیمهای اصله شبکه های هوائی لخت در شبکه های کابل فاصله دار (یا هادی های روکش دار) استفاده نمود. در این حالت قسمت فلزی سیم اصله و هادی کابل فاصله دار مانند دو صفحه یک خازن عمل نموده و بر روی سیم اصله از طرف شبکه تحت ولتاژ، بارالکتریکی القا می شود. تشکیل خازن مذکور موجب ایجاد میدان الکتریکی و به تبع آن تخلیه های الکتریکی و کرونا شده و نهایتاً موجب خرابی و کاهش عمر کابل فاصله دار (هادی روکش دار) می گردد. شکل ۷ –ب نمونه ای از سیم اصله ترموپلاستیک مناسب را نشان می دهد.

شکل ۷) مقره پلیمری و سیم اصله ویژه

۸- روشهای اجرا

اجرای شبکه های کابل فاصله دار روش خاص خود را برای سیم کشی دارد. در واقع سیم کشی این شبکه ها دو مرحله ای می باشد: ابتدا سیم نگهدارنده نصب می شود. میزان

کشش و فلش آن متناسب با محاسبات انجام شده بر اساس شرایط بارگذاری منطقه، طول اسپن، وزن هادیها، سیم نگهدارنده و فاصله نگهدارها و همچنین دمای روز سیم کشی انتخاب می گردد. این میزان کشش اولیه سیم نگهدارنده بایستی به نحوی انتخاب گردد که پس از آویختن هادی ها و فاصله نگهدارهای عایقی بر روی آن و اضافه شدن وزن، کشش سیم نگهدارنده از مقدار مجاز تجاوز نکند. محاسبات مذکور با استفاده از معادله تغییر وضعیت انجام می شود

در طراحی مکانیکی سیستم های کابل فاصله دار، در شرایط اولیه وزن واحد طول سیم نگهدارنده به تنهایی در نظر گرفته می شود و وزن حالت نهایی شامل ترکیب سیم نگهدارنده، هادی های روکش دار ضخیم و $\frac{1}{10}$ وزن فاصله نگهدارهای عایقی(بدلیل نصب فاصله نگهدارها در فواصل ده متری) خواهد بود.

میزان کشش سیم نگهدارنده فولادی با توجه به قدرت پایه کششی و در نظر گرفتن ضرائب اطمینان لازم تعیین می شود. بدیهی است امکان استفاده از سیم مهار یا بیش از یک پایه جهت افزایش بارگذاری سیم نگهدارنده وجود دارد. در واقع می توان اسپن های بلند را با انتخاب مناسب سیم نگهدارنده فولادی و طرح پایه ها براحتی اجرا نمود.

بمنظور حل معادله درجه سه تغییر وضعیت و نیز استخراج بار منتجه در انواع شرایط آب و هوایی نرم افزار ویزه های تهیه گردید تا جدول کشش و فلش انواع کابلهای فاصله نگهدار در تمامی شرایط بارگذاری استاندارد (شرایط شش گانه)پذیر گردد.

با استفاده از نرم افزار مذکور امکان استخراج نتایج زیر فراهم شده است:

۱- امکان استخراج دو مرحله ای کشش در سیم نگهدارنده بدون بار کابل در مرحله اول و سپس امکان اضافه کردن شبکه کابل بر روی آن و استخراج نتایج مرحله دوم برای کشش و فلش.

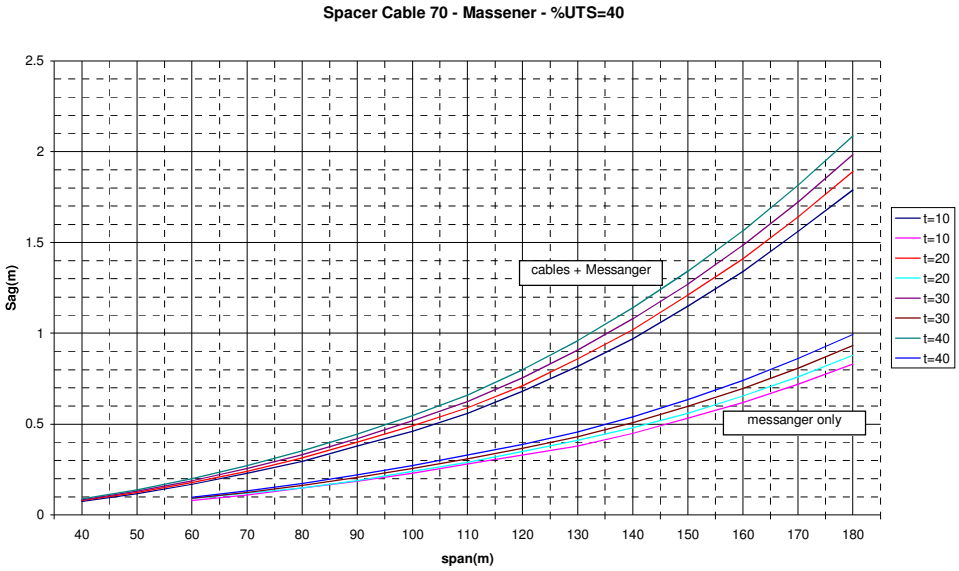
۲- امکان محاسبه و استخراج سطح مقطع معادل برای محاسبه فشار باد تبر روی انواع کابل فاصله دار.

۳- امکان تعریف و یا تعویض فقط سیم نگهدارنده با حفظ دیگر شرایط خط کابل فاصله دار

شکل زیر یکی از منوهای نمایش نرم افزار تهیه شده را نشان می دهد.

شکل (۸) – چند تمونه از منو های نرم افزار محاسبات مکانیکی کشش و فلش خطوط هوایی کابل فاصله دار

شکل (۹) قسمتی از نتایج حاصل از نرم افزار مذکور را نشان می دهد. در این شکل محور عمودی مقدار فلش بر حسب متر و محور افقی طول اسپن بر حسب متر را نشان می دهد. سطح مقطع هادیهای کابل فاصله دار ۷۰ میلیمتر مربع و سیم نگهدارنده مغزی سیم Curlew انتخاب شده است.پارامتر منحنی ها دمای روز سیم کشی می باشد که از ده تا چهل درجه سانتیگراد (از پائین به بالای دسته منحنی ها) در نظر گرفته شده است. در دو دسته منحنی نشان داده شده، دسته منحنی پائین نشانگر شرایط نصب بدون وزن کابلها و فاصله نگهدارها بوده و دسته منحنی بالا با در نظر گرفتن موارد مذکور می باشد. بااستفاده از منحنی های مذکور می توان تعیین نمود که در یک اسپن و دمای روز سیم کشی مشخص، مقدار فلش سیم نگهدارنده در روز سیم کشی و بدون بارگذاری هادیها و فاصله نگهدارها چقدر باید باشد. همچنین با استفاده از دسته منحنی های بالاتر می توان مقدار فلش را پس از نصب هادیها و فاصله نگهدارها کنترل نمود. در این شکل، حداکثر بارگذاری سیم



شکل ۹) مشخصه فلش – اسپن

نگهدارنده فولادی در بدترین رژیم بارگذاری مساوی ۴۰٪ UTS در نظر گرفته شده است. نرم افزار فوق الذکر قادر است مشخصه های مشابهی را برای انواع سایزهای کابل و سیم نگهدارنده فولادی تعیین نماید.

۹- مشخصات اولین شبکه کابل فاصله دار ایران

هدف از اجرای اولین پروژه کابل فاصله دار ۲۰ کیلوولت ایران، تدوین و بومی سازی دانش فنی طراحی شبکه های مذکور از طرطق طراحی و نصب آن می باشد. طراحی مذکور متناسب با شرایط و مقتضیات منطقه بوده و شامل روشهای نصب، اجراء و بهره برداری این خطوط نیز خواهد بود.

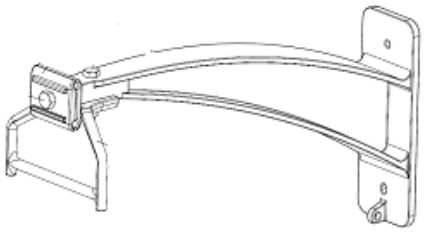
پروژه مذکور طی یک همکاری پژوهشی بین شرکت توزیع نیروی برق آذربایجان شرقی و دانشکده مهندسی برق دانشگاه تبریز در خرداد ماه سال۱۳۸۸ آغاز گردیده است. در این پروژه پایلوت یک خط هوایی فاصله دار چهار مداره با سطح مقطع هادی آلومینیومی۱۵۰ میلیمتر مربع با روکش ضخیم به طول ۶۵۰ متر در شهرک سرمایه گذاری خارجی واقع در جاده تبریز - صوفیان طراحی ، تامین تجهیزات و اجرا می گردد سپس خط مذکور بصورت دو مداره به طول یک کیلومتر امتدادخواهد یافت. این خط قادر است ضمن انتقال بیش از۳۶ مگاوات توان بیش از۲۰۰۰ میلیون ریال در هزینه های احداث نسبت به خطوط کابل زیر زمینی صرفه جویی نماید. این پروژه پایلوت به صورت انتقال دانش فنی از خارج از کشور و همچنین طراحی و ساخت داخلی قطعات برنامه ریزی گردیده است.

جهت انتقال دانش فنی بازدیدهای لازم توسط مشاور طرح از چند کشور خارجی انجام شده و طی جلسات مختلف اطلاعات لازم جهت طراحی اخذ گردیده و منابع معتبر تامین کننده فاصله نگهدارهای عایقی شناسائی شده است. هم اکنون قالبهای لازم جهت تولید داخلی فاصله نگهدارهای مذکور در دست تهیه می باشد. در هنگام نگارش مقاله پایه گذاری پروژه مذکور به اتمام رسیده و تمامی سفارشهای خرید داخلی و خارجی در حال تحویل می باشد. بنظر می رسد مراحل نصب تا خرداد ۱۳۸۹ تکمیل گردد.

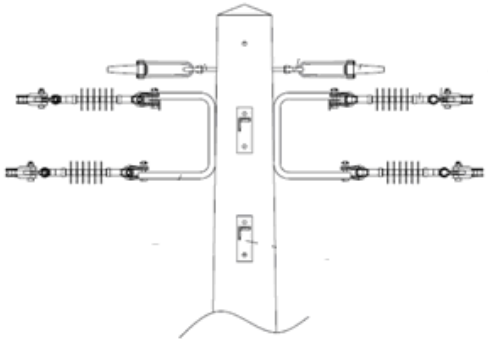
۱۰- طراحی مکانیکی و تحلیل بارگذاری سازه ها

طراحی و تحلیل شرایط بارگذاری کنسول های پاه های عبوری و کششی با استفاده از نرم افزار ABAQUS انجام شده و نهایتاً قالب های لازم تهیه گردیده و تجهیزات مورد نیاز تولید شده است. لازم بذکر است بدلیل محدودیتهای

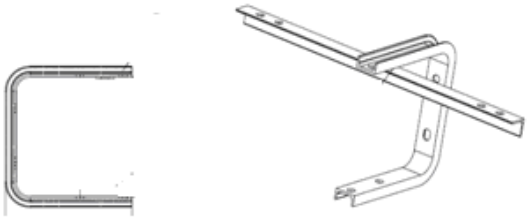
موجود امکان خرید تجهیزات و ابزارآلات لازم از خارج از کشور ممکن نگردید اما خوشبختانه هم اکنون قطعات فلزی در داخل کشور طراحی و تولید شده و همچنین با ابداع روشهای خاص در نصب شبکه مذکور نیازی به ابزارآلات پیچیده نصب مرتفع گردیده است. شکلهای(۱۰) نقشه های طراحی کنسول ها و تحلیل های بارگذاری سازه ها را نشان می دهند.



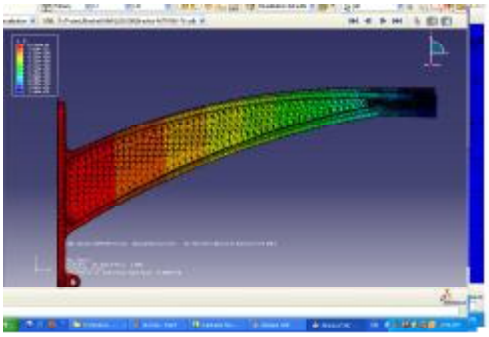
الف) طرح پایه عبوری (مشابه طرح آمریکائی)



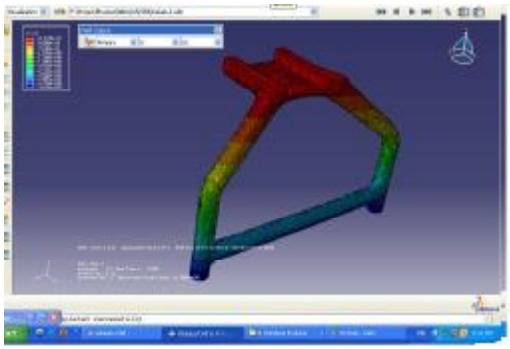
ب) طرح پایه کششی دوطرفه



ج) طرح پایه کششی



د) تحلیل بارگذاری پایه عبوری



ه) تحلیل بارگذاری رکاب کنسول پایه عبوری

شکل ۱۰) نمونه هایی از طرح ها و تحلیل بارگذاری انجام یافته با نرم افزار ABAQUS

۱۱- تحلیل اقتصادی

جهت بررسی اقتصادی شبکه کابل فاصله دار محاسبات هزینه سرمایه گذاری اولیه برای یک خط هوائی ۲۰ کیلوولت با هادی آلومینیوم فولاد (۱۲۰ ×۳) میلیمتر مربع و آرایش سر تیر افقی با استفاده از مقره های سوزنی در پایه های تو خطی که یکی از خطوط رایج در شبکه های توزیع کشور می باشد انجام گرفته است. خط مذکور یکبار بصورت هادی لخت و در مراحل دیگر بصورت هادی روکش دار با روکش XLPE ، کابل خودنگهدار و شبکه کابل فاصله دار در نظر گرفته شده است. متوسط اسپن ۶۰ متر در نظر گرفته شده و از قیمتهای سال ۱۳۸۸ استفاده شد.

شکل (۱۲) نتایج حاصل را نشـان مـی دهـد. همانطوریکـه ملاحظه می شود هزینه سرمایه گـذاری اولیـه شـبکه هـای کابل فاصله دار بطور قابل ملاحظه ای کمتر از شـبکه کابـل خودنگهدار ۲۰ کیلوولت است. بدیهی است جهت بررسـی کامل اقتصادی در حالت کلی باید چهار پارامتر زیر مد نظـر قرار گیرد اما در این مقاله صرفاً نتایج مقایسه هزینه سـرمایه گذاری اولیه احداث خط ارائه گردیده است.

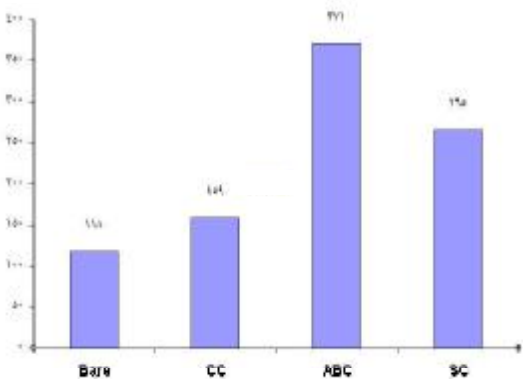
:الف- هزینه سرمایه گذاری اولیه احداث خط

ب- هزینه حال آزادسازی حریم

ج-هزینه حال خسارت خاموشی سالیانه

د-هزینه حال بهره برداری وتعمیرات

میلیون ریال



شکل (۱۲) : متوسط هزینه احداث هر کیلومتر انواع خط هوایی

۱۲- سپاسگزاری

این تحقیق با حمایت شرکت توزیع نیـروی بـرق آذربایجـان شرقی انجام شده اسـت. مـولفین بدینوسـیله از حمایتهـای مدیریت محتـرم شـرکت مـذکور سپاسـگزاری مـی نماینـد. همچنین از آقایان مهندس محمـدی و قشـنگی پـور بـدلیل انجام محاسبات و تحلیل های مکانیکی قدردانی می شود.

۱۳- مراجع

[۱] مهرداد طرفدارحق. کریم روشـن میلانـی، سـید محمـد سید قیاسی "هادی های هـوایی روکـش دار- نسـل جدیـد خطوط توزیع ایران"، دهمین کنفرانس شـبکه هـای توزیـع ایران.، اردیبهشت ۸۴، دانشگاه تبریز، صفحه ۶۴-۷۲.

[۲] مهرداد طرفدار حق، سید محمـد سـید قیاسـی، مجیـد مستوفی سرکاری، فرهاد فرنام "هادیهای هوایی روکـش دار و نتایج حاصل از تولید نیمه صنعتی" بیسـتمین کنفـرانس بین المللی سیستمهای قدرت، آبان ماه ۱۳۸۴، -98-F-PDS 468

[۳] مهرداد طرفدارحق، کریم روشن میلانـی، سـید محمـد سید قیاسی و مجیـد مسـتوفی، گـزارش مرحلـه اول پـروژه تحقیقاتی "طراحی و تدوین مشخصات فنی سـاخت وتولیـد هادیهای عـایق دار" بـرق منطقـه ای آذربایجـان - شـرکت سیمکات- ۱۳۸۵

[4] Ricardo C. C., et. al., "New Technologies, Standards, and Maintenance Methods in Spacer Cable Systems", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 17, No. 2, APRIL 2002, pp. 562-568.

[5] M. Kuhlenengel, et. al., "Development and Installation of a 69kV Aerial Cable System", http://www.hendrix-c.com/hendrix/catalogfiles/e.htm

[6] J. D. Bouford, "Spacer Cable Reduces Tree Caused Customer Interruptions", Transmission and Distribution Conference and Exposition, 2008. Chicago, IL., pp. 1-3.

[7] Schainker. R., "Techical Report; Tree Fault and Equipment Issues", EPRI Project; Power Quality Implieation of Transmission and Distribution Constraction -2005.

[8] Neal A. Smith, "Design Considerations of Spacers for Aerial Spacer Cable", IEEE Trans. on Electrical Insulation, Vol. EI-4, No. 1, March 1969, pp. 12-17.

[9] A. G. Kanashiro, W. Pinheiro,G. F. Burani1, L. Gualberto, " Evaluation of Distribution Line Spacers through the Leakage Current Monitoring", Proceedings of the XIVth International Symposium on High Voltage Engineering,, Tsinghua University, Beijing, China, August 25-29, 2005, pp. 1-5.

[10] Western power, 2009, "Hendrix Coverd Conduetor Manual", Marcel Oosthuizen, February 2009.

[11] M. R. Soares, F. R. Britto, F. Nishimura, L. D. Cicarelli, "Spacer Cable and ABC Distribution Lines a Long - Term Analysis", Transmission and Distribution Conference, 1996. Proceedings., 1996 IEEE, Los Angeles, CA., pp. 219 – 224.

[12] J. G. Gill, R. U. Seely, "Impulse Characteristics of Aerial Spacer Cable", IEEE Trans. on Power Apparatus and Sys., Vol. PAS-86, No. 3, MARCH, 1967, pp. 369-373.

[13] C.C. Landinger, "Spacer Cable Systems for Rural Electric Cooperatives", Rural Electric Power Conference, Aug. 2000, Louisville, KY., pp. B5-1 – B5-6.

[14] Grace Ge Jiang, Steven Boggs, James W. Tarpey, Ronald H. Wamer, " Spacer-Cable Lightning-Induced Over-voltages Computed Using Measured Ground Resistances", IEEE Trans. on Ind. App., Vol. 43, No. 1, Jan./Feb. 2007, pp. 202-207.