بررسی تاثیر بکارگیری سیستم های جدید حفاظت از صاعقه پستهای توزیع هوائی واقع درکریدورهای صاعقه (استان هرمزگان)

حسین فرعونی
شرکت ایمن زمین شمیل

غلامرضا نعمتی
شرکت توزیع نیروی برق استان هرمزگان

چکیده :

یکی از مشکلات عدیده ای که شرکتهای توزیع نیروی برق در مناطق صاعقه خیز همواره با آن روبرو بوده اند ، از مدار خارج شدن ترانسفورماتورها در اثر برخورد غیر مستقیم صاعقه القاء شده بر روی خطوط شبکه می باشد. این پدیده موجب سوختن پستهای هوائی درحضوربرقگیرها وسایر سیستم های حفاظتی میشود.خسارت وارده بلحاظ هزینه ای صرف نظر از خاموشیهای طولانی واتلاف وقت جهت عیب یابی وکشف ترانسفورماتور معیوب ، دراستان هرمزگان سالیانه بالغ بر ۲۰ میلیارد ریال هزینه خرید وجایگزینی پستهای آسیب دیده میشود.

دراین مقاله بابررسی ومطالعه پیرامون شرایط خاص مناطق واقع درکریدورصاعقه دراستان هرمزگان روش مقابله با برخورد صاعقه دراین مناطق ونتایج اجرای پروژه ها ی نمونه آورده شده است . نتایج نشان میدهد با تغییر روش حفاظت ، بیش از ۷۰ درصد مشکلات ناشی از این برخورد کاهش محسوسی داشته است .

کلید واژه- صاعقه ، آمپدانس ، سیستم پنجه کلاغی ، ارت ، مقاومت ذاتی خاک

۱- مقدمه

همه ساله برخورد مستقیم صاعقه با زمین خسارات سنگینی ایجاد میکند .براساس گزارشات ماهواره ای درهرثانیه حدود ۱۰۰ صاعقه بازمین برخوردمیکند . این آمار نشان میدهد که سالیانه بیش از ۱۳۸ میلیون برخورد صاعقه با زمین ثبت میشود .لذا براین اساس نقشه های ماهواره ای متعددی برای ثبت این رویداد وتعیین دقیق محل احتمالی برخورد وجوددارد ومنحنی ایزوکرونیک تعداد این برخوردها را درمناطق جغرافیائی مختلف ثبت میکند.صاعقه حامل انرژی الکتریکی است که مقدار ولتاژ آن تا صدها میلیون ولت و جریانی تا دویست هزار آمپر می باشد. برخوردصاعقه با زمین براساس آمار وگزارشات سالیانه ۲۰۰۰ نفر رابکام مرگ میفرستد.دراین میان بیشترین تاسیسات ساخت بشر که تحت تاثیر این پدیده آسیب می بیند، پستهای هوائی نصب شده برروی خطوط عبوری از دشت ها وبیابان ها ومناطق

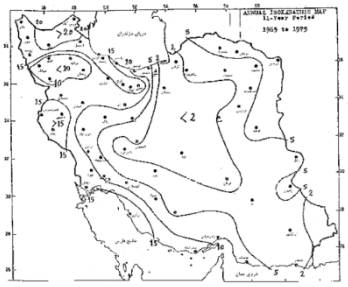
مرتفع وبعبارتی دیگر درمناطق منطبق با نقشه برخورد صاعقه (ایزوکرونیک) هستند.

روشها ی متعددی برا ی مقابله با خسارات احتمالی ناشی از برخورد مستقیم صاعقه با خطوط توزیع درایران توسط استاندارد وزارت نیرو تدارک دیده شده است .اما ازآنجائیکه ماهیت این پدیده ومیزان شدت تاثیرآن توسط یک سیستم دیده بانی و رصد مداوم بررسی نشده است ، لذا دراغلب این حوادث ناکارائی سیستمهای طراحی واجرا شده باثبات رسیده است .

درمنحنی شماره(۱) منحنی ایزوکرونیک سالیانه ایران آورده شده است .بطورکلی دوکریدورصاعقه دراستان هرمزگان شناخته شده است :

۱- کریدورغربی ازشمال غربی شهرستان بستک تامرکزجزیره قشم بطول ۲۱۴ کیلومتردراین کریدوربرخوردسالیانه ۱۰ صاعقه بازمین ثبت شده است.

۲- کریدورشرقی : از شمال شرق بندرجاسک تا شمال غربی حاجی آباد بطول ۷۵۰ کیلومترکه وقوع ۵ صاعقه درسال ثبت شده است .



منحنی شماره (۱): منحنی ایزوکرونیک ایران)

طی چندسال گذشته علی رغم ثبت سالیانه ۱۰ صاعقه درسمت غربی استان خسارات وارده ناشی ازسوختن پستهای هوائی بهنگام بروزصاعقه در شرق بسیاربیشترازسمت غربی استان گزارش شده است.(تصویرشماره۱) (گزارش تکمیلی مورخه ۸۹/۸/۱۵ شرکت ایمن زمین شمیل به بهره برداری شرکت توزیع نیروی برق استان هرمزگان در مورد بازدید ترانسفورماتورهای صاعقه زده)

تصویر(۱): انفجارداخلی ترانسفورماتور دراثربرخوردصاعقه

هر ساله در حدود ۱۵۰ دستگاه ترانسفورماتور در استان هرمزگان واقع درکریدورهای صاعقه بعلت آسیب دیدگی کلی ناشی از صاعقه از مدار توزیع نیروی برق خارج شده و علاوه بر خاموشیهای طولانی ، خسارات و هزینه های تعویضی را نیز تحمیل می نماید.

سیستم های ارتینگی که برای محافظت از صاعقه اجرا شده است ،بصورت ساده و همسان با سیستم ارتی است که برای اتصال زمین نول استفاده می شود. بطور مثال ، اگر برای سیستم ارت نول یک چاه و یا یک میله تکی در نظر گرفته می شود ، برای حفاظت از صاعقه نیز همان روش نول بکار می رود. و یا بعبارتی دیگر ، یک سیستم تعریف شده غیر استاندارد در همه جا معمول شده و همیشه مقدار اندازه گیری زیر ۱۰ اهم/متر(استانداردBS6651,1999) برای سیستم حفاظت صاعقه مد نظر می باشد و به شکل و ترکیب سیستم ارت احداثی توجهی نمی شود. و با وجود داشتن مقاومت زیر ۱۰ اهم/متر ، باز صاعقه بدرستی درون زمین تخلیه نشده و به ترانسفورماتور آسیب می رساند. (سیستمهای ارتینگ بطور عموم بصورت عمودی ، افقی ، ویا عمودی افقی می باشند و بعضی از انواع آنها عبارتند از : تک میله ، چند میله ، چاه یا صفحه ، رینگ ، گرید ، مش ، خطی ، پره دوچرخه ای ، خورشیدی ، ستاره ای ، پای غاز ، پنجه کلاغی)

باید توجه داشت که صاعقه یک پدیده طبیعی است که دارای طیف فرکانس پهن از فرکانس پایین تا حد مگاهرتز می باشد. اندازه گیریهای مقاومت زمین با دستگاههایی صورت می پذیرد که در محدوده فرکانس کم کار می کنند . برای مثال سیستم ارتی ساده که دارای مقاومتی برابر با ۴ اهم می باشد، در هنگام اصابت صاعقه ، این مقدار مقاومت به آمپدانسی در حدود ۷۰ اهم در فرکانس ۱ مگاهرتز می رسد و بعبارتی دیگر ، برای ۱۰ کیلو آمپر جریان ، ولتاژ ۷۰۰ کیلو ولت بجای ۴۰ کیلو

ولت در سیستم ارتینگ اعمال می شود . این بدان معناست که جرقه می تواند اتفاق بیفتد. [۱]

بنابراین در احداث سیستم های ارت محافظت از صاعقه ، بجای استفاده از یک سیستم ارت ساده می بایستی از سیستمهای ارت گسترده که دارای آمپدانس کمی هستند و ترجیحا به روش پنجه کلاغی انجام شود که در ادامه در این مورد توضیح داده می شود.

۲- معرفی سیستم محافظت از صاعقه به روش پنجه کلاغی

سیستم ارت پنجه کلاغی به دلیل شکل آن که به پای کلاغ شباهت دارد به این نام معروف شده است و هم اکنون در اکثر نقاط جهان از این سیستم برای محافظت از صاعقه استفاده می گردد (Crows foot) . در اروپا پیش استاندارد **ENV61024-1,1995**خاطر نشان کرده است که : برای صاعقه شکل و ابعاد سیستم ارت از مقدار مشخص مقاومت الکترود ارت مهم تر است . بهرحال به طور عموم یک مقاومت کم سفارش می شود.

سیستم ارتینگ پنجه کلاغی بعلت گسترده بودن ، دارای آمپدانس پایین می باشد و در هنگام برخورد صاعقه براحتی راه تخلیه بدرون زمین را فراهم می نماید.

دراین سیستم ، آمپدانس در فرمول (۱) تعریف شده است:

$$Z = \frac{\sqrt{r + j\omega l}}{\sqrt{g + j\omega c}}$$

دراین فرمول(۱) :

Z= آمپدانس، r= مقاومت، l= اندوکتانس، g= هدایت الکتریکی، c= ظرفیت خازنی

در سیستم ارتینگ محافظت از صاعقه که به روش پنجه کلاغی انجام می گیرد ، همه پارامترهای فوق شامل می شود .

دراینجا لازم است اشاره شود که مقاومت (r) آن چیزی که ما به عنوان مقاومت زمین می شناسیم نیست ، بلکه به مقدار مقاومت هادی الکترود ارت (معمولا مسی) که در درون زمین کار گذاسته می شود ، اطلاق می شود و با بکارگیری ابعاد و سایز مناسب میتوان این مقدار را کم کرد.

همچنین برای کاهش میزان اندوکتانس (l)، میتوان از چند هادی به طور موازی بجای یک هادی هم ارز برای کل طول استفاده کرد. برای مثال : سه نوار هادی ۳ متری هر کدام به طور شگفتی ، اندوکتانس بهتری از یک نوار ۹ متری دارند. هر چند که مقاومت زمین هر دو معادل است.

درمورد عامل هدایت الکتریکی (g) باید تذکردادکه این عامل به مقاومت ذاتی خاک و الکترود ارت بستگی دارد. تنها چیزی که میتواند میزان هدایت الکتریکی رادر فرمول بهبود دهد ، افزایش تعداد هادیها در ارت و یا اضافه کردن مواد شیمیایی (بنتونیت یا ژل کاهنده) برای افزایش تماس بین خاک و الکترود ارت می باشد.

درمورد عامل ظرفیت خازنی (c) برای افزایش این ظرفیت که نتیجه آن کاهش آمپدانس است ، میتوان سطح الکترودهای دفنی را افزایش داد (برای مثال یک صفحه یا گرید بهتر از یک میله تکی می باشد) .

براساس گزارشات سیستم نظارتی موارد زیادی از سیستم های حفاظت معمولی پستهای توزیع واقع درکریدور صاعقه ملاحظه شده که حتی در خاکهایی با مقاومت ذاتی بالا ، سیستمهای ارت با مقاومت کم احداث شده است . این ارت خوب در فرکانس بالا ناشی ازپدیده صاعقه نتیجه معکوس داشته وبسیار بد عمل مینماید زیرا هادیها که واسطه ارت و سازه می باشند به عنوان یک اندوکتانس عمل می کند.

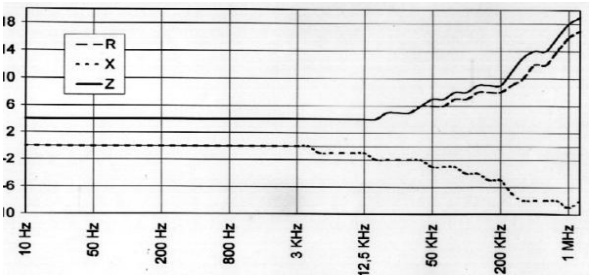
موارد دیگری نیز گزارش شده است که علیرغم ایجاد هم پتانسیل سازی ، ولی در فرکانس بالا بد عمل کرده و جریان صاعقه به جای نقطه مورد انتظار ، در جایی دیگر تخلیه می شود.لذا این پرسش مطرح میشود که مشکل درچیست ؟

مشکل اصلی از موج پیشرو صاعقه بوجود می آید (جاییکه فرکانس بسیار بالا است) و امکان ایجادجرقه در تأسیسات بصورت اضافه ولتاژ را باعث می شود.

اگربه منحنی یک اضافه ولتاژ گذرای ناشی از پدیده صاعقه نگاه کنیم ، متوجه میشویم که قسمت اصلی گنجایش انرژی موج صاعقه در حقیقت در فرکانس پایین تر تحویل داده می شود.(دهها کیلو هرتز) [۱] و

سایز استاندارد هادیها این فشار را تحمل می کنند.

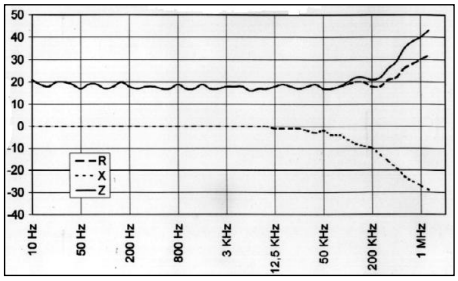
شکل ۱ آمپدانس یک سیستم پنجه کلاغی در خاکی با مقاومت ذاتی بالا را نشان می دهد. آمپدانس از 12.5 KHz افزایش پیدا کرده و مقدارش در 1 MHz تقریبا ۵ برابر بزرگتر از مقدار آن در ۱۰ هرتز می باشد.



شکل ۱- عملکرد سیستم پنجه کلاغی

هنگامیکه خاک مقاومت ذاتی بالا دارد ، علیرغم این افزایش ، مقدار آمپدانس هنوز کاملا منطقی است. در وضعیت مقاومت ذاتی کم خاک (۲۰۰ اهم) تغییرات آمپدانس یک سیستم پنجه کلاغی از ۱۰ هرتز تا ۱ مگاهرتز یقینا ناچیز است. علاوه برآن ، مقدار بدست آمده در ۱ مگاهرتز حتی در خاک بد ، بطور برجسته ای کمتر از مقدار بدست آمده از دیگر سیستمهای ارتینگ می باشد. و این نشان می دهد که روش پنجه کلاغی یک روش رضایتبخش برای ساختن یک ارت محافظت از صاعقه می باشد.

شکل(۲) آمپدانس یک نوار افقی ۲۵ متری در خاک ۱۱۰ اهم را نشان می دهد . آمپدانس بالای ۵۰ کیلوهرتز به طور وسیع افزایش پیدا کرده و در ۱ مگاهرتز مقدار آن تقریبا دو برابر مقدارش در ۱۰ هرتز می رسد.



شکل ۲ – عملکرد یک نوار افقی

در یک نوار افقی ۵۰ متری آمپدانس حتی بالاتر از ۱ مگاهرتز افزایش پیدا می کند. این بطور وضوح نشان می دهد که طول بلندتر نوار مسی که بطور سودمندی مقاومت سیستم ارت را کاهش می دهد ، نمیتواند عملکرد فرکانس بالا را بهبود بخشد.

همچنین موردی مشابه در حفاری عمیق (۲۰ متر و ۵۰ متر عمق در خاکی با مقاومت ذاتی ۲۰۰ اهم) میتواند اتفاق بیفتد ، (مطابق با شکل ۳) جاییکه آمپدانس بطور چشمگیری در فرکانس ۱ مگاهرتز بیشتر از فرکانس پایین بود. (برای مثال عمق ۵۰ متر آمپدانس کمتر از ۱۰ اهم در فرکانس پایین و ۷۰ اهم در ۱ مگاهرتز بود)

۳- نحوه اجرای عملی سیستم ارتینگ به روش پنجه کلاغی

الف : محاسبه

برای انجام دادن علمی و فنی میتوان از فرمول (۲) استفاده کرد

$$R_g = \frac{\rho}{\pi L}\left[\ln\left(\frac{4L}{(dh)^{\frac{1}{2}}}\right) - 1\right] \qquad (۲)$$

که در اینجا

R= مقاومت سیستم ارت (اهم/متر)

ρ = مقاومت ذاتی خاک (اهم/متر)

L = طول الکترود دفن شده (متر)

d = قطر الکترود دفن شده (متر)

h = عمق الکترود دفن شده (متر)

برای بدست آوردن مقدار مقاومت ذاتی خاک(ρ)با دستگاههای اندازه گیری و بوسیله روش ونر اقدام میشودو مقاومت ذاتی خاک را از فرمول (۳) بدست می آوریم :

$$\rho = 2\pi A R \qquad (۳)$$

که در اینجا :

A= فاصله الکترودها از یکدیگر بر روی یک خط راست

R = مقاومت میان دو الکترود پتانسیل

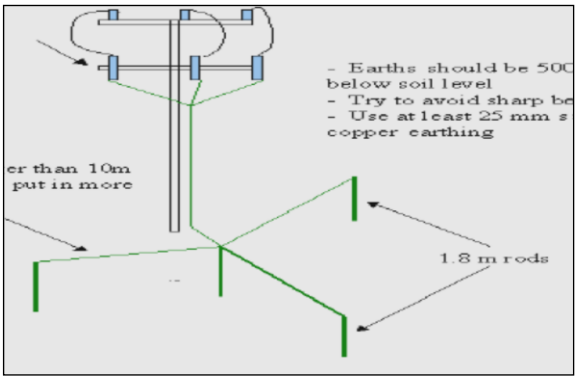
ρ= مقاومت ذاتی خاک

توضیح : امروزه دستگاههای دیجیتالی وجود دارد که عمل محاسبه و اندازه گیری را بطور خودکار انجام می دهند.

ب : اجرا

بمنظوراجرای این روش (سیستم پنجه کلاغی) از پایه های ۱۲ متری که ترانسفورماتور بر روی آنها نصب گردیده

است (تصویرشماره۲) کانالی به طول ۲ متر و عرض ۳۰ سانتیمتر و به عمق ۶۰ سانتیمتر حفر می کنیم.



تصویر۲: سیستم پنجه کلاغی برای محافظت ترانسفورماتور

سپس از انتهای سر ۲ متر ، سه کانال که مرکز تلاقی آنها همین نقطه می باشد به طول ۸ متر و با عرض ۳۰ سانتیمتر و به عمق ۶۰ سانتیمتر حفر می شود. زاویه بین کانالها بیشتر از ۴۵ درجه است. (مقادیر ذکر شده به نوع زمین و مقاومت ذاتی خاک بستگی دارد و این مقادیر ، حداقل می باشند.) در مرکز و همچنین در انتهای سر کانالها ، یک میله ۱/۵ متری ، قطر ۱۷ میلیمتر ، مغز فولادی با روکش مسی حداقل ۲۵۰ میکرون ، کوبیده و یا دفن می شود(مجموعا ۴ میله) . چنانچه خاک زمین گلی و نرم می باشد بصورت کوبیدن و در صورت سنگی و سفت بودن باید برای هر کدام از میله ها یک چاه ۲ متری به قطر ۸۰ سانتیمتر حفر شود. میله ها را بوسیله تسمه مسی ۲۵ * ۳ میلیمتر که در طول کانال خوابانده شده است ، اتصال می شود.(تصویر۳)

در سیستمهای ارتینگ ، اتصالات نقاط ضعیف یک ارت بشمار می روند. بنابراین در اتصالاتی که در زیر خاک انجام می گیرد، باید به روش جوش انفجاری (کدولد) انجام پذیرد. [۲]

پس از اتمام کار و پوشاندن کلیه الکترودهای دفنی با خاک یا مواد شیمیایی ، سیستم ارتینگ احداثی را به روش ۶۲ ٪ [۳] اندازه گیری شده و یک مقدار مقاومت زیر ۱۰ اهم را باید بدست آید

چنانچه این مقدار مقاومت حاصل نشد ، میتوان هر یک از کانال ها را تا ۲۳ متر طول امتداد داد ، ولی بیشتر از این حد به صورت اشباع در آمده و تاثیری در کاهش آمپدانس پدید نمی آید.

اگر با امتداد دادن کانال ها به حداکثر ۲۳ متر ، باز مقدار مقاومت زیر ۱۰ اهم حاصل نشد ، میتوان یک کانال دیگر به همان مرکز احداث کرد و همچنین میتوان از مواد شیمیایی نظیر بنتونیت ویا ژل کاهنده استفاده کرد.

شاید لازم باشد که از مرکز چندین کانال دیگر حفر شود ، باید توجه داشت که احداث ارت محافظت از صاعقه ترانسفورماتور همیشه با هزینه های بالایی روبروست ولی انجام آن میتواند ترانسفورماتورها را تا سالها در برابر صاعقه محافظت کند.

۴- بررسی نتایج حاصل ازاجرای سیستم پنجه کلاغی

درسال ۱۳۸۸ برای اولین بار پایش وضعیت سیستم ضدصاعقه استان بویژه درنیمه شرقی استان انجام گردید.دراین برنامه مقاومت ذاتی خاک وسیستم اتصال زمین حفاظت صاعقه پستهای هوائی واقع درکریدورصاعقه بشکل نواری به عمق ۳۰ کیلومترمورد پایش واندازه گیری قرارگرفت ومشخص شد که در اکثرمکانهایی که بازدید بعمل آمد ،خاک ها مقاومت ذاتی کمی داشتند .خاکها به صورت گل- شوره زار- خاک همراه باریگ –سنگی می باشند ازنظر رطوبت در اکثر مناطق خاک تقریبا دارای رطوبت خوبی است (حداقل اندازه رطوبت خاک ۲۲٪ می باشد) درجه حرارت در همه مناطق خوب وبصورت گرم می باشد (درجه حرارت تاثیر مستقیمی برروی سیستم ارت می گذارد و هوای سرد باعث افزایش مقاومت ارت می شود) نوع بکارگیری سیستم ارت صاعقه همگی به صورت فقط عمودی وتکی بود .بدلیل مقاومت ذاتی کم خاک ، ارت ها به صورت حداقل سایز احداث گردیده شده اند .(سایز سیم –سایز اتصالات –سایز سیستم ارت) تا مقاومت سیستم ارت در حد استاندارد باشد وهمچنین از نظر هزینه اقتصادی پایین باشد

ایرادات وارده به سیستم حفاظت صاعقه مطابق با جدول شماره ۱ بشرح ذیل بوده است :

الف- بکارگیری نامناسب سیستم ارت

سیستم های بکارگیری شده همه بصورت تکی بوده واز چاه یامیله تکی استفاده شده است .درحالی که برای تخلیه شارژ صاعقه ،سیستم ارت می بایست به صورت گسترده

قطع بودن ارت یا نداشتن ارت	۴۴%
مشترک بودن سیستم ارت نول وصاعقه	۸۰%
پیچ وخم های تندهادی پایین بر	۶۶%
اتصالات دستی (به همدیگر پیچاندن سیم ها)	۴۷%
عدم وجود برقگیر	۳۷%
اتصالات ناهمگون	۱۳%

جدول ۱: ایرادات وارده به سیستم حفاظت ضد صاعقه ترانسفورماتورهای هوائی

باشد .

ب- بکارگیری نامناسب هادیهای مقطع پایین

هادیهای پایین بر(سیم) اکثرا از سایزهای متفاوت ۱۶ الی ۳۵بوده که این مقدار سایز جهت تخلیه شارژ صاعقه کم می باشد .هادیهای پایین بر بصورت پیچ وخم های تند به پایین کشیده شده است که این امر مشکل بزرگی در امرتخلیه صاعقه بوجود می آورد .(تصویر۴)

تصویر۴: نصب غلط هادی سیستم اتصال زمین

ت -بکارگیری نامناسب اتصالات .

اتصالات غالبا به صورت دستی وپیچاندن در همدیگر بود ویا بوسیله بست های ناهمگون (دوفلزی) استفاده گردیده است .در بعضی از نقاط که بصورت دستی پیچانده شده بود ، شل بودن اتصال به وضوح قابل مشاهده است .در بست های ناهمگون، آثار فرسودگی مشهود است .(تصویر۵)

تصویر۵: نحوه غلط اتصالات سیستم اتصال زمین

ث -بکارگیری منبع ارت مشترک جهت نول وصاعقه.

ج- بکارگیری نامناسب سایز هادیهای دفن شده

هادیهای دفن شده در درون زمین همگی سایزهای پایین تر از حد استاندارد داشتند بدینصورت که از میله هایی به طول ۱/۵ متر تکی وبا روکش مسی پایین تر از ۲۵۰ میکرون استفاده شده ویا از صفحاتی با سایز پایین تر از ۵/* ۵۰ * ۵۰ سانتی متر استفاده گردیده است .

ح- عدم وجود سیستم ارت ویا قطعی الکتریکی

بعضی از سیستم های ارت دارای قطعی اتصالات ارتی بر اثر سرقت سیم و یا غیره بوده ویا به طور کلی فاقدهرگونه سیستم ارتی بودند.

درمجموع بابررسیهای بعمل آمده دراین پایش نیازبه اصلاحات وتعمیرات پیشگیرانه مطابق با شرح جدول شماره (۱) احساس گردید:

پس ازبازدید حدود۵۰۰ دستگاه پست واقع درکریدورصاعقه اجرای سیستم حفاظت برای ۱۵۰ دستگاه درمعرض خطر باملاحظاتی بشرح ذیل انجام گردید:

الف - نوع بکارگیری سیستم ارت صاعقه به صورت گسترده وبه شکل افقی + عمودی بوده وترجیحا به صورت پنجه کلاغی تا بتواند با داشتن آمپدانس پایین شارژهای صاعقه را دردرون زمین پخش نماید .

ب- سایز هادیهای پایین بر از سایزهای بالاتر ودرحدود سایز ۷۰ استفاده گردید .

پ - اتصالات در هوای آزاد به صورت بست اسپلیت بولت تیپ اچ از جنس مس و در درون زمین ازجوش انفجاری یا اگزوترمیک استفاده گردید .

ت- تعداد پیچ و خم های هادیهای پایین بر به حداقل رسانده ودر صورت نیاز به پیچ وخم حداقل با شعاعی ۸ برابر سایز هادی پایین بر انجام گردید(پیچ و خم با زاویه تند ، مقدار مقاومت سیستم ارت را افزایش می دهد) .

دراولین قدم اقدام به اجرای سیستم مذبور برا ی مدیریت برق رضوان به تعداد ۳۰ دستگاه پست هوائی شد. دراین مدیریت بدلیل قرار داشتن درکریدور صاعقه سالیانه بیش از ۳۰ مورد سوختن ترانسفورماتور گزارش میشد.دراواسط سال ۱۳۸۹ این سیستم با موفقیت با هزینه ای بالغ بر ۴۰۰ میلیون ریال برای ۳۰ دستگاه ترانسفورماتور درمعرض خطر اجرا گردید .

درنتیجه اقدامات پیشگیرانه شامل اصلاح سیستم حفاظت صاعقه آمارترانس سوزی ناشی ازصاعقه طی دوسال اخیر (سالهای ۱۳۸۸-۸۹) به حدود۵ دستگاه کاهش یافته است .این مقدار معادل کاهش ۷۳ درصدی درتعداد و۸۰ درصد کاهش هزینه خسارت وارده به ترانسفورماتورهای نصب شده ودرحال بهره برداری (۲۰۰۰ میلیون ریال شامل هزینه عیب یابی ونرخ انرژی فروخته نشده)میباشد.(جدول شماره ۲)

جدول شماره ۲:نتایج اجرای سیستم جدیدضد صاعقه

سال	تعداد ترانس سوزی	هزینه سوختن ترانس (میلیون ریال)	هزینه اجرا ارت ۳۰ دستگاه (میلیون ریال)
۸۸	۱۸	۲۰۰۰	۴۰۰
۸۹	۸	۴۹۰	عدم نصب
۹۰	۵	۴۰۰	عدم نصب

درتصویر شماره ۶ نحوه اجرای سیستم آورده شده است.

تصویر۶: نحوه اجرای سیستم ضد صاعقه پنجه کلاغی

توجه شود که تمامی اتصالات بروش جوش اگزوترمیک (کات ولد) انجام گردیده است .

۵- بحث ونتیجه گیری

بررسی سیستم جدید ضد صاعقه پنجه کلاغی بلحاظ فنی واقتصادی نشان میدهد که هرچند اجرای این سیستم گران تراز سیستمهای معمولی اتصال زمین ضد صاعقه میباشد (حدود پنج برابر) اما حفاظت از ترانسفورماتورهای درمعرض

خطر درکریدور صاعقه بلحاظ اعمال خاموشیهای گسترده وهزینه سرسام آور خرید ونصب ترانسفورماتور قابل توجیه میباشد. درعین حال شناخت رفتار صاعقه ورصد میزان برخورد صاعقه درمناطق مختلف وپهنه بندی وبروزآوری منحنی ایزوکرونیک میتواند درمدیریت هزینه اجرای این سیستم بسیار موثر ومفید باشد.

۶- تقدیر وتشکر

نویسندگان این مقاله مراتب تقدیر وتشکر خودرا ازمهندس وجدانی مدیرعامل محترم شرکت توزیع نیروی برق استان هرمزگان وسرکارخانم مهندس حیدری کارشناس ناظر پروژه ومدیران ادارات برق مناطق فین ، رضوان و بشاکرد استان هرمزگان که ما را در امر این پژوهش یاری کرده اند ، اعلام میدارند.

۷- مراجع

1-Auriol P, Rakotomalala A, Rousseau A, "lightning through earthing system ",lightning protection workshop Hobart 12-13 november1992(published also in IEEE EMC proceedings in 1994 under same title)

2-IEIEEE std 837 , IEEE std 80 - 1986 , UL467.2.8.3

3-IEEE std 81 – 1983