

مطالعه موردی

اندازه‌گیری پتانسیل خاموش لحظه‌ای خطوط لوله فلزی در شبکه‌های به هم پیوسته توزیع گازی شهری

مهدی مطهری^{۱*}

^۱ مسئول حفاظت کاتدی، شرکت گاز استان خوزستان، اهواز، ایران

* نویسنده مسئول: motahari.me@gmail.com

تاریخ ارسال: ۱۴۰۰/۱۲/۲۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۳/۲۰

چکیده

اندازه‌گیری پتانسیل خاموش لحظه‌ای خطوط لوله به منظور مشخص شدن وضعیت حفاظت کاتدی شبکه و ایجاد یک دید کلی از کیفیت پوشش اجتناب‌ناپذیر می‌باشد. لیکن وجود چالش‌های زیاد در اندازه‌گیری این کمیت برای شبکه‌های توزیع گاز شهری به دلیل ساختار به هم پیوسته، تداخلات جریانی به خصوص تداخلات ایستگاه‌های خودی، اتصال شبکه‌های جدید و قدیم با سطح پتانسیل مورد نیاز متفاوت، وجود شبکه‌هایی با پوشش‌های متفاوت در یک منطقه، بافت‌های فرسوده شهری، ترافیک و تعدد نقاط اندازه‌گیری، تعداد زیاد ایستگاه‌های موجود در ناحیه هدف، شناسایی گردیده است. در این مقاله تلاش گردیده راه حل‌های چالش‌های مذکور ناشی از تجارب اندازه‌گیری پتانسیل خاموش لحظه‌ای در شبکه توزیع گاز کلان شهر اهواز و الزامات تسهیل کننده اجرای پروژه و نیز برداشت داده‌هایی با دقت بالاتر در کنار تحلیل نتایج، ارائه گردد. اندازه‌گیری صورت گرفته بر پایه استفاده از قطع و وصل کننده‌های جریان و نیز ولت‌مترهای دقیق حافظه‌دار قابل اتصال به رایانه سنکرون شونده، بوده است. گرچه مطالب در زمان استفاده از سایر تجهیزات از جمله تایمرهای ترانس رکتیفایرها و ولت‌مترهای معمولی (با رعایت دستورالعمل استفاده) قابل تعمیم می‌باشند.

کلیدواژه: پتانسیل خاموش لحظه‌ای، شبکه توزیع گاز شهری، قطع و وصل کننده جریان^۱، ولت‌متر حافظه‌دار^۲، نقطه اندازه‌گیری^۴، ترانس رکتیفایر

-
- 1- Instant off potential
 - 2- interrupter
 - 3- Data logger
 - 4- Test point

Case Study

Measurement of Instant off Potential of Steel Pipelines in Conjoint Urban Gas Distribution Networks

M. Motahari ^{1*}

¹ Expert in charge of cathodic protection, Khuzestan Gas Company, ahvaz, iran

* **Corresponding Author:** motahari.me@gmail.com

Submission: 2022, 03, 11 **Acceptance:** 2022, 06, 10

Abstract

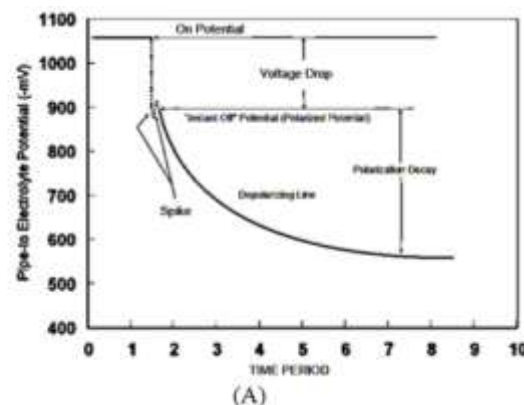
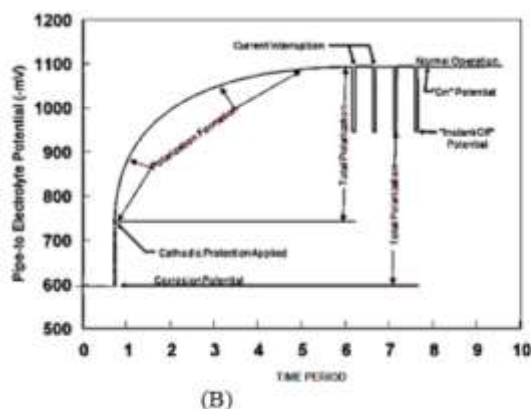
Measuring the instant off potential of pipelines in order to specify the cathodic protection condition of the pipelines and provide an overview of the quality of the coating is inevitable. However, there are many challenges in measuring this quantity for urban gas distribution networks due to interconnected structure, current interferences, especially interferences of local station networks, connection of new and old networks with different required potential levels, existence of networks with Different coatings in one area, worn urban structures, traffic and number of test points, large number of stations in the target area, have been identified. In this paper, an attempt has been made to provide solutions to the above-mentioned challenges resulting from IOP measurement experiences in the Ahwaz metropolitan gas distribution network and the requirements that facilitate project implementation, as well as data collection with higher accuracy. The measurement was based on the use of interrupter and fast data logger synchronizable that could be connected to pc. However, the contents can be generalized when using other equipment, such as trans-rectifier timers and usual voltmeters (in accordance with the instructions for use).

Keywords: Instant off potential, urban gas distribution network, interrupter, data logger, test point, trans-rectifier

۱- مقدمه

خطوط لوله فلزی مدفون، به منظور حفاظت از خوردگی به وسیله مواد دارای خاصیت عایقی پوشش می‌گردند، لذا با هدف اطمینان از محافظت لوله، این خطوط تحت سامانه حفاظت کاتدی قرار می‌گیرند. به دلایلی از جمله مقاومت خاک، کارایی سامانه حفاظت کاتدی، تداخلات جریانی و آسیب به پوشش، ممکن است بخش‌هایی از شبکه محافظت نگردد. پتانسیل خاموش لحظه‌ای معیاری کاربردی در بررسی ارزیابی عملکرد سامانه حفاظت کاتدی و شناسایی مناطق بحرانی و آسیب دیده پوشش شبکه مورد استفاده می‌باشد [۱۱] و [۱۳]. این کمیت در واقع اختلاف میان پتانسیل ناشی از جریان تزریقی سامانه حفاظت کاتدی به لوله در فصل مشترک لوله و خاک و پتانسیل ناشی از پلاریزاسیون کاتدی^۱ روی سطح فلزی لوله، می‌باشد که بلافاصله پس از قطع جریان تزریقی سامانه حفاظت کاتدی به لوله اندازه‌گیری می‌شود [۱]. در شکل (۱) نمودار پلاریزاسیون و دیپلاریزاسیون خطوط لوله فلزی و رفتار شبکه در زمان قطع و وصل جریان تزریقی مطابق [۷] و اثر سوزنی ناشی از رفتار خازنی خط لوله [۱۱] نشان داده شده است.

روش اجرایی اندازه‌گیری IOP و تحلیل نتایج بدست آمده در این مقاله بر اساس [۴] می‌باشد. بر اساس این روش جریان کلیه ایستگاه‌های حفاظت کاتدی یک شبکه (خط انتقال) با استفاده از قطع و وصل کننده‌های سنکرون شونده در بازه‌های زمانی مشخصی در حالت قطع و وصل قرار می‌گیرند. سپس در نقاط اندازه‌گیری مشخص شده اقدام به ثبت پتانسیل‌های خاموش و روشن می‌گردد. در زمان از ولت‌مترهای دیجیتالی، رقم دوم نمایش داده شده به عنوان پتانسیل خاموش در نظر گرفته می‌شود ولی در صورت استفاده از دیتالاگر سنکرون شونده، با تنظیم تاخیر زمانی در بازه ۲۰۰ تا ۵۰۰ میلی ثانیه بعد از لحظه خاموشی، اثر پدیده‌های سوزنی^۲ در زمان ثبت پتانسیل خاموش لحظه‌ای حذف می‌شود. سنکرون بودن زمانی دیتالاگر و ایترپتر در این فرآیند شرط مهم در اصالت داده‌های برداشت شده می‌باشد. مقدار مجاز حداکثر و حداقل پتانسیل روشن جهت تنظیم ترانس رکتیفایرها در زمان اندازه‌گیری IOP و مقدار حداقل و حداکثر پتانسیل خاموش لحظه‌ای با توجه به نوع پوشش بر اساس [۴] تعیین شده است. گرچه در [۵] و [۶] نیز آستانه مجاز معتبر قید شده است.



شکل ۱- نمودار پلاریزاسیون (A)، دیپلاریزاسیون شبکه و اثر پدیده سوزنی در لحظه قطع جریان (B)

1- Cathodic polarization
2- spike

۲- بررسی شبکه، الزامات مقدماتی

۲- ۱- بازسازی ایستگاه‌های حفاظت کاتدی،

بررسی اثر بخشی

اندازه‌گیری پتانسیل‌های روشن و خاموش لحظه‌ای در شبکه‌ای با سامانه‌های حفاظت کاتدی دارای راندمان کم نمی‌تواند منتج به قضاوتی صحیح از وضعیت حفاظتی شبکه گردد. شبکه توزیع گاز شهر اهواز دارای قدمت بالای ۵۰ سال در برخی نقاط می‌باشد. بررسی‌های صورت گرفته از شبکه در محدوده منطقه یک گاز رسانی در سال‌های گذشته وجود ریسک حفاظت کاتدی را نشان می‌داد لیکن به دلایلی از جمله راندمان پایین برخی ایستگاه‌های حفاظت کاتدی به دلیل پر شدن چاه و عدم امکان حفر چاه جدید در آن مکان، نزدیکی بستر به لوله و جمع آوری برخی ایستگاه‌ها به دلیل تغییر در بافت شهری، امکان اندازه‌گیری دقیق IOP میسر نبود. لذا ۱۷ ایستگاه حفاظت کاتدی جدید احداث و مورد بهره‌برداری قرار گرفت. به منظور اطمینان از صحت داده‌های برداشت شده پیش از اندازه‌گیری IOP راندمان تمام ایستگاه‌های شبکه مورد ارزیابی قرار گرفت.

$$\eta = \frac{V_{dc} \times I_{dc}}{V_{ac} \times I_{ac}} \quad (1)$$

۲- ۲- حذف بسترهای آندی موقت

با توجه به ضرورت حذف بسترهای موقت در اندازه‌گیری IOP، تمام بسترهای موقت شبکه مورد مطالعه، غیر فعال گردید. این امر در مورد بسترهای بدون باند باکس و اطلاعات موقعیت مکانی کاری بسیار دشوار می‌باشد. در جدول (۱) تعداد ایستگاه‌های حفاظت کاتدی خاموش و بسترهای غیر فعال شده نشان داده شده است.

۲- ۳- اندازه‌گیری پتانسیل طبیعی

به منظور اندازه‌گیری پتانسیل طبیعی تمام ایستگاه‌های حفاظت کاتدی خاموش و پس از گذشت چهار روز اقدام به ثبت پتانسیل نقاط اندازه‌گیری گردید. لیکن در برخی نقاط مقادیری بالاتر از پتانسیل طبیعی مشاهده گردید [۶]. با اندازه‌گیری مجدد در روزهای بعد و عدم کاهش پتانسیل، فرضیه وجود بسترهای موقت تایید گردید و مطابق (۲-۲) این بسترها حذف و پس از گذشت زمان مناسب اندازه‌گیری تکرار و مقادیر مناسب بدست آمده ثبت گردید. در جدول (۲) تعداد نقاط پیش‌بینی شده، اندازه‌گیری شده تکراری و مجموع اندازه‌گیری پتانسیل طبیعی، ارائه شده است.

جدول ۱- ایستگاه‌های خاموش شده-بسترهای موقت غیر

تعداد	ایستگاه‌های حفاظت کاتدی خاموش شده	بسترهای موقت غیر فعال شده
	۳۲	۷

جدول ۲- تعداد نقاط اندازه‌گیری پتانسیل طبیعی

تعداد	نقاط اندازه‌گیری پیش‌بینی شده	نقاط با اندازه‌گیری تکراری پتانسیل طبیعی	مجموع اندازه‌گیری پتانسیل طبیعی در نقاط شبکه (TP)
	۳۸۸	۹۷	۴۸۵

۲-۴- ناحیه بندی شبکه

به دلیل پیوستگی تمام خطوط لوله گاز شهری به هم (به گونه‌ای که خطوط لوله موجود در یک خیابان ممکن است توسط دو سامانه متفاوت حفاظت گردد)، وجود ایستگاه‌های حفاظت کاتدی متعدد با آرایش شعاعی، تعداد زیاد انشعابات به عنوان نقاط احتمالی پوشش آسیب دیده در اثر انشعاب‌گیری از خط اصلی، تفکیک حوزه شهری به نواحی کوچکتر با اهداف زیر ضروری می‌باشد.

- کاهش طول خط لوله مورد مطالعه در یک مقطع زمانی خاص

- تسهیل در مطالعه شبکه و حذف تاثیر پذیری خطوط متصل به هم در یک شبکه به هم پیوسته

- کاهش تعداد ایستگاه‌های حفاظت کاتدی نیازمند نصب اینتراپتر (خصوصاً در زمان استفاده از اینتراپتر قابل جابجایی)

- کاهش تعداد نقاط اندازه‌گیری

لذا منطقه شهری مورد نظر پس از مطالعه شبکه و با تکیه بر تجربه در خصوص شعاع تاثیرگذاری احتمالی ایستگاه‌های حفاظت کاتدی بر نواحی تحت حفاظت و مجاور، وضعیت سلامت پوشش خطوط و نیز درجه دشواری اندازه‌گیری به لحاظ تراکم بافت و محدودیت‌های ترافیکی، با اولویت قرار دادن یک توپولوژی مدون به شرح زیر، به شش ناحیه بخش‌بندی گردید.

- تاثیرپذیری شبکه ناشی از ایستگاه‌هایی که در ناحیه تعیین شده قرار گرفته‌اند.

- تاثیرپذیری شبکه ناشی از ایستگاه‌هایی که در بیرون از ناحیه تعیین شده قرار گرفته‌اند.

- تعداد ایستگاه‌های حفاظت کاتدی در ناحیه تعیین شده

- تعداد ایستگاه‌های حفاظت کاتدی خارج از ناحیه تعیین شده

و تاثیر گذار روی نقاط اندازه‌گیری واقع شده در مرز نواحی تفکیک شده.

۲-۵- شناسایی ایستگاه‌های حفاظت کاتدی تاثیر

گذار

با توجه به تاثیر ایستگاه‌های حفاظت کاتدی بر روی پتانسیل شبکه در نقاط اندازه‌گیری واقع شده در مرز نواحی، به منظور دقت در برداشت مقادیر، پیش از اجرای عملیات اندازه‌گیری IOP اقدام به تعیین تاثیرگذاری ایستگاه‌های خارج از نواحی، روی نقاط مرزی گردید. بدین منظور پس از مشخص شدن آزمون پوینت‌های مرزی، شش گروه کاری تشکیل شد و طی یک عملیات طولانی، هماهنگ، برنامه‌ریزی شده و دقیق، نفراتی در ایستگاه‌های کاندید تاثیرگذاری و دو گروه اندازه‌گیری جهت ثبت پتانسیل مقادیر در آزمون پوینت‌های مرزی مستقر گردیدند. بدین صورت که پس از درخواست نفرات اندازه‌گیری کننده، ایستگاه‌های حفاظت کاتدی خارج از ناحیه تعیین شده به تناوب خاموش می‌گردید و پس از گذشت زمان مورد نظر تاثیرات پتانسیل در آزمون پوینت بررسی و ثبت می‌گردید. این فرآیند برای تمام ایستگاه‌های حفاظت کاتدی کاندید شده و همه آزمون پوینت‌های واقع شده در مرز نواحی انجام گردید که کاری بسیار دشوار و نیازمند صبر و حوصله و آمیخته با دقت می‌باشد. پس از بررسی مقادیر ثبت شده، در نهایت ایستگاه‌های تاثیر گذار بر نقاط مرزی مشخص گردید. در جدول (۳) اطلاعات مربوط به نواحی شش گانه، شامل تعداد ایستگاه‌های حفاظت کاتدی داخل و بیرون ناحیه، تعداد نقاط اندازه‌گیری و تعداد نقاط اندازه‌گیری مرزی ارائه شده است.

بر اساس جدول (۳) با توجه به تعداد ایستگاه‌های داخل نواحی و ایستگاه‌های تاثیر گذار روی ناحیه و لزوم نصب اینتراپتر روی هر دو گروه از ایستگاه‌های مورد اشاره، تعداد اینتراپترهای نصب شده در اندازه‌گیری IOP در هر ناحیه در جدول (۴) ارائه شده است.

جدول ۳- اطلاعات تعداد ایستگاه‌های حفاظت کاتدی و نقاط اندازه‌گیری نواحی شش گانه

تعداد نقاط اندازه‌گیری مرزی	تعداد کل نقاط اندازه‌گیری ناحیه	تعداد ایستگاه‌های حفاظت کاتدی تأثیرگذار روی ناحیه	تعداد ایستگاه- های حفاظت کاتدی داخل ناحیه	
۱۴	۵۲	۵	۵	ناحیه ۱
۱۵	۶۰	۸	۳	ناحیه ۲
۱۳	۲۹	۷	۱	ناحیه ۳
۱۱	۶۳	۶	۱	ناحیه ۴
۱۷	۹۰	۴	۴	ناحیه ۵
۱۳	۱۰۰	۶	۴	ناحیه ۶

جدول ۴- تعداد اینتراپترهای نصب شده بر روی ایستگاه‌های حفاظت کاتدی در اندازه‌گیری IOP هر ناحیه

ناحیه ۱	ناحیه ۲	ناحیه ۳	ناحیه ۴	ناحیه ۵	ناحیه ۶	
۱۰	۱۱	۸	۷	۸	۱۰	تعداد اینتراپتر نصب شده بر روی ایستگاه‌های حفاظت کاتدی

۲-۶- کالیبراسیون تجهیزات

دستیابی به داده‌هایی دقیق مستلزم عدم بروز خطاهای انسانی و تجهیزات در اندازه‌گیری می‌باشد. به منظور اطمینان از صحت داده‌های برداشت شده کالیبراسیون تجهیزات اندازه‌گیری شامل موارد زیر [۶]، ضروری می‌باشد.

- دیتالاگر

- اینتراپتر سنکرون شونده

- هافسل مرجع پرتابل

لذا پیش از شروع پروژه لازم است موارد ۱ و ۲ توسط شرکت‌های ذیربط و هافسل‌های مرجع مورد استفاده مطابق [۶] آزمون و کالیبره شوند. گرچه در پروژه مورد اشاره به دلیل حساسیت مجری و گرمای زیاد هوا، کالیبراسیون هافسل‌ها به صورت هفتگی با استفاده از آب دیونایز صورت گرفته است.

۳- اندازه‌گیری IOP

در پروژه‌هایی با حجم کار زیاد نظیر اندازه‌گیری IOP در سطح یک کلان شهر، داشتن طرح کار، ریسک مواجهه با مسائل پیش‌بینی نشده را کاهش می‌دهد. بدین منظور پیش از شروع به کار اندازه‌گیری، در هر ناحیه متناسب با شرایط خاص ناحیه مربوطه، یک طرح کار تدوین و پیاده‌سازی می‌گردید. متغیرهای مورد توجه در طرح کار شامل موارد زیر می‌باشند:

- تعداد نیروی کار و خودرو مورد نیاز.

- تقسیم گروه‌های کاری بر اساس مهارت لازم در کار محوله.

- تهیه نقشه‌های مورد نیاز هر ناحیه به تعداد گروه‌های مورد نظر.

- در نظر گرفتن شرایط جوی.

- زمان مناسب شروع و پایان فعالیت گروه‌های کاری در سطح شهر به لحاظ ترافیک، امنیت و وسعت ناحیه.

- پیشگیری از بروز خطاهای سیستماتیک در برداشت داده‌ها. مطابق طرح کار تدوین شده، اندازه‌گیری IOP در هر مرحله فقط در یک ناحیه مشخص انجام می‌گردد. به دلیل استفاده از اینتراپترهای قابل حمل با هدف پیش‌گیری از اتلاف زمانی ناشی از نصب و جداسازی اینتراپترها در هر روز کاری، یک روز پیش از اندازه‌گیری ناحیه مورد نظر، دستگاه‌های اینتراپتر بر روی ایستگاه‌های مشخص شده در ناحیه هدف نصب می‌شد و اینتراپترهای مورد استفاده یک روز پس از پایان اندازه‌گیری ناحیه مربوطه جمع‌آوری می‌شدند. این امر مستلزم تعریف برنامه زمانی شروع و اتمام کار اینتراپترها بر روی این دستگاه‌ها می‌باشد. در برنامه‌ریزی صورت گرفته با توجه به زمان طولانی اندازه‌گیری (۹ ساعت)، دو بازه زمانی استراحت (عدم قطع و وصل) در حدود ۴۰ دقیقه به منظور جلوگیری از دیپلارایز شدن شبکه به دلیل رخداد اثر تجمعی زمان‌های خاموشی مکرر، در نظر گرفته شد. به دلیل گرمای هوا و لزوم دقت در برداشت اطلاعات تمام اندازه‌گیری‌ها در شب و از ساعت ۱۹ لغایت ۴ بامداد روز بعد انجام شده است. با هدف بالابردن دقت اندازه‌گیری، هر شب پیش از شروع عملیات، یک گروه اقدام به تنظیم تمام ایستگاه‌های حفاظت کاتدی مجهز شده به اینتراپتر و بررسی صحت عملکرد این

دستگاه‌ها به لحاظ سنکرون بودن و انجام عمل قطع و وصل، می‌نمود. به دلیل بروز مشکلاتی در برخی مناطق، کلیه اندازه‌گیری‌ها در این نقاط مردود و در روزهای بعد مجدداً اقدام به اندازه‌گیری تمام نقاط مشخص شده گردید. در جدول (۵) تعداد نقاط اندازه‌گیری پیش‌بینی شده، نقاط اندازه‌گیری تکراری و مجموع نقاط اندازه‌گیری شده در نواحی شش گانه IOP ارائه شده است.

اندازه‌گیری IOP یک پروسه فرآیندی است به این مفهوم که هدف صرفاً ثبت اطلاعات از یک نقطه اندازه‌گیری نمی‌باشد بلکه پس از بررسی مجموعه‌ای از شرایط مطابق فلوجارت شکل (۲) می‌توان درباره ثبت و یا رد داده‌های مشاهده شده، تصمیم‌گیری نمود.

یک روش مبتنی بر تجارب بدست آمده از اندازه‌گیری مکرر IOP بر اثر مشاهده ابهامات در زمان تحلیل نتایج و نمودارها به دلیل وجود مقادیر خارج از محدوده مورد انتظار و یا داده‌های توأم با خطا، به این صورت پیشنهاد می‌شود که پیش از اقدام به ثبت نتایج، یک دید کلی از وضعیت پروفیل پتانسیل‌های روشن و خاموش در سطح ناحیه مورد نظر توسط تیم‌های اندازه‌گیری، از چندین نقطه پراکنده در سطح ناحیه هدف حاصل گردد. در این خصوص ارتباطات بین تیم‌های اندازه‌گیری مقوله‌ای بسیار مهم است این ارتباط می‌تواند رادیویی و یا به وسیله تلفن‌های همراه صورت گیرد.

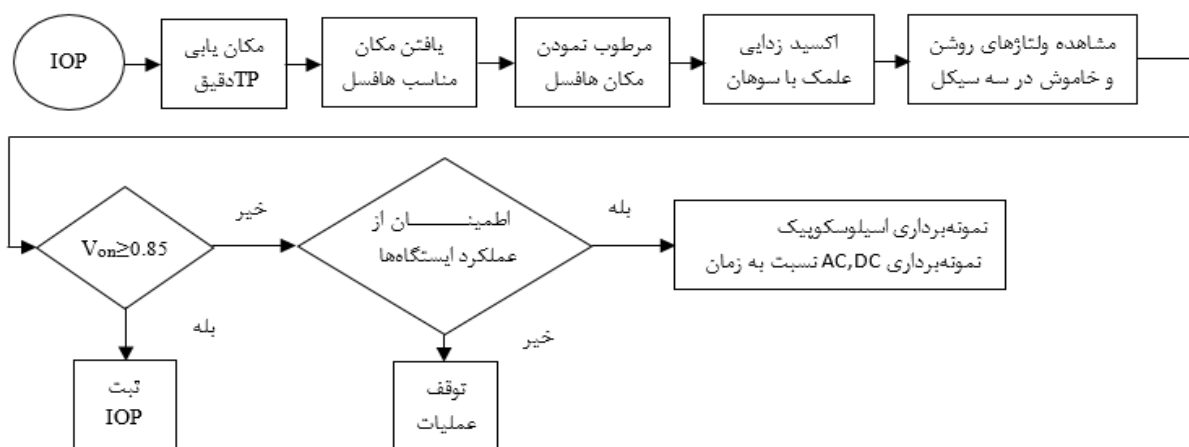
جدول ۵- تعداد نقاط اندازه‌گیری شده، تکراری و مجموع نقاط و داده‌های برداشت شده

تعداد نقاط پیش بینی شده	تعداد نقاط اندازه‌گیری شده تکراری	تعداد کل نقاط اندازه‌گیری شده	تعداد داده‌های برداشت شده
۳۸۸	۱۱۱	۴۹۹	۲۴۶۷

پتانسیل‌های ناحیه) متفاوت است. پس از حفاری، در زیر سطح خاک قطعه‌ای پلاستیک و یا سایر مواد نارسا مشاهده شده است. در جدول (۶) متوسط زمان صرف شده در اندازه‌گیری IOP مربوط به یک نقطه اندازه‌گیری ارائه شده است.

در جدول (۷) متوسط زمان صرف شده، روزهای کاری و حجم کار انجام شده در اندازه‌گیری IOP کلان شهر اهواز (در محدوده اداره گاز ناحیه ۱) ارائه شده است. حجم کار با در نظر گرفتن گروه کاری شش نفره محاسبه شده است.

بدین ترتیب در زمان بررسی یک نقطه اندازه‌گیری، در صورت مشاهده مقادیر خارج از محدوده پروفیل پتانسیل‌های ناحیه، به جای ذخیره اطلاعات، اقدامات اصلاحی نظیر بررسی محل هافسل، اکسیدزدایی علمک، بررسی عایق علمک و در صورت خرابی عایق، تعویض علمک انتخابی، انجام گردد. از موارد فوق الذکر، محل و نحوه قرارگیری هافسل از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در برخی موارد ملاحظه شده است که هافسل بر روی خاک قرار دارد ولی پتانسیل قرائت شده با مقادیری که انتظار می‌رود (اشاره به مقادیر پروفیل



شکل ۲ - فلوچارت فرآیند پتانسیل خاموش لحظه‌ای

جدول ۶ - زمان لازم در برداشت اطلاعات IOP هر TP

مجموع	برداشت اطلاعات	تمیز نمودن علمک	ایجاد مکان مناسب هافسل	مکان TP یابی	زمان (دقیقه)
۱۹	۶	۱	۵	۷	

جدول ۷ - اطلاعات زمان، روز و حجم کار انجام شده در اندازه‌گیری IOP

مقدار	زمان اندازه‌گیری کل نقاط مورد نظر (دقیقه)	متوسط زمان صرف شده جهت تنظیم ایستگاه‌ها در ابتدای هر روز کاری (دقیقه)	تعداد روزهای کاری	زمان صرف شده در اندازه‌گیری (دقیقه)	حجم کار انجام شده (نفر - ساعت) در کل پروژه
۹۴۸۱	۱۳۰	۵۵	۲۶۴۰	۲۶۴۰	۲۶۴۰

۴- تحلیل نتایج IOP

پس از ثبت نتایج IOP با توجه به [۴] و [۵] می‌توان مقادیر حاصله را مورد ارزیابی قرار داد. تحلیل صورت گرفته با توجه نوع پوشش و مقادیر مجاز پتانسیل‌های روشن و خاموش لحظه‌ای مربوطه انجام شده است. در جدول (۸) نوع پوشش برای نواحی شش گانه IOP ارائه شده است. تمام مقادیر اندازه‌گیری شده با لحاظ نمودن تاثیر دمای محیط ثبت گردیده‌اند. با توجه به جدول (۸) تقسیم بندی شبکه بر اساس کمترین مقدار حداکثر پتانسیل خاموش لحظه‌ای بر پایه نوع پوشش موجود در ناحیه مورد بررسی، انجام شده است. در جدول (۹) مقادیر حداقل و حداکثر پتانسیل روشن و خاموش لحظه‌ای مطابق [۴] ارائه شده است.

درصد نقاط اندازه‌گیری دارای پتانسیل کمتر از مقدار حداقل پتانسیل روشن، حداقل پتانسیل خاموش لحظه‌ای و نقاط دارای مقادیر بیشتر از حداکثر پتانسیل خاموش لحظه‌ای، بر اساس استاندارد یاد شده و مطابق با نوع پوشش شبکه موجود در ناحیه، به عنوان نقاط بحرانی و نیز نقاط دارای حفاظت مناسب، در جدول (۱۰) داده شده است.

در صورت استفاده از معیار 100mV پلاریزاسیون پتانسیل خاموش لحظه‌ای نسبت به پتانسیل طبیعی جهت تحلیل نتایج [۶] و [۷]، درصد نقاط دارای پتانسیل خاموش لحظه‌ای کمتر از معیار مورد پذیرش استاندارد، برای هر ناحیه به تفکیک در جدول (۱۱) ارائه شده است.

جدول ۸- نوع پوشش شبکه به تفکیک نواحی IOP

ناحیه ۱	ناحیه ۲	ناحیه ۳	ناحیه ۴	ناحیه ۵	ناحیه ۶
✓	✓	✓	✓	✓	✓
کلتار ۱					
-	✓	✓	-	-	-
نوار سرد دو لایه ۲					
✓	✓	-	✓	-	✓
نوار سرد سه لایه ۳					

جدول ۹- مقادیر حداقل و حداکثر پتانسیل روشن و خاموش لحظه‌ای

حداکثر پتانسیل روشن	حداقل پتانسیل روشن	حداکثر پتانسیل روشن	حداقل پتانسیل روشن	حداکثر پتانسیل خاموش لحظه‌ای	حداقل پتانسیل خاموش لحظه‌ای
نوار سرد پلاستیکی دولایه	-۰/۸۵	-۲/۱	-۰/۸۵	-۱/۰۲	-۱/۰۷
نوار سرد پلاستیکی سه لایه پلی اتیلن	-۰/۸۵	-۱/۵	-۰/۸۵	-۱/۰۵	-۱/۱۰
قیر پایه زغال سنگی	-۰/۸۵	-۲/۱	-۰/۸۵	-۱/۱۲	-۱/۲
قیر پایه زغال نفتی	-۰/۸۵	-۲/۱	-۰/۸۵	-۱/۱۲	-۱/۲
پلی اتیلن سه لایه	-۰/۸۵	-۱/۲	-۰/۸۵	-۱/۱۰	-۱/۱۰
پوشش مایع (FBE/PU)	-۰/۸۵	-۱/۵	-۰/۸۵	-۱/۰۷	-۱/۱۲

- 1- Coal tar
- 2- Cold Joint wrap tape
- 3- Hand applied 3 ply polyethylene

جدول ۱۰- درصد نقاط در محدوده‌های مجاز و غیر مجاز پتانسیل روشن و خاموش لحظه‌ای

	کمتر از حداقل پتانسیل روشن	کمتر از حداقل پتانسیل خاموش لحظه‌ای	بیشتر از حداکثر پتانسیل خاموش لحظه‌ای	دارای پتانسیل خاموش لحظه‌ای مناسب	کمتر از حداقل پتانسیل روشن و خاموش لحظه‌ای
ناحیه ۱	۰	٪۶۵/۴۶	۰	٪۳۲/۶۹	۰
ناحیه ۲	٪۳/۳۳	٪۵۸/۳۳	٪۱/۶۶	٪۴۰	٪۳/۳۳
ناحیه ۳	٪۱۷/۲۴	٪۱۷/۲۴	٪۱۳/۷۹	٪۶۸/۹۶	٪۱۷/۲۴
ناحیه ۴	٪۳۶/۵	٪۴۷/۶۱	٪۴/۷۶	٪۲۳/۸۰	٪۳۶/۵
ناحیه ۵	٪۱/۱۱	٪۱/۱۱	٪۹۰	٪۱۰	٪۱/۱۱
ناحیه ۶	۰	۰	٪۱۹	٪۷۹	۰

جدول ۱۱- درصد نقاط دارای پتانسیل خاموش لحظه‌ای کمتر از معیار ۱۰۰mv پلاریزاسیون به تفکیک

ناحیه ۱	ناحیه ۲	ناحیه ۳	ناحیه ۴	ناحیه ۵	ناحیه ۶
۷/۶۹	۳/۳۳	۱۷/۲۴	۳۴/۹۲	۰	۰
درصد نقاط					

با در نظر گرفتن نتایج اندازه‌گیری در نواحی شش گانه IOP، مقادیر پارامترهای حفاظت کاتدی بر اساس محدوده‌های مجاز و غیر مجاز استاندارد روی نقشه ناحیه مربوطه، مطابق جدول راهنمای (۱۲) در شکل‌های (۴) و (۵) تفکیک گردیده‌اند.

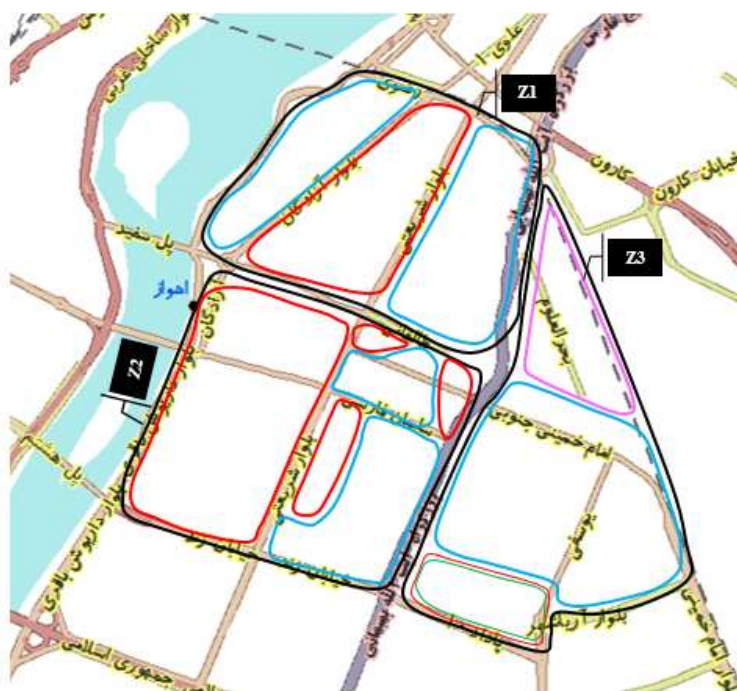
در صورت استفاده از دستگاه‌های دیتالاگر و اسیلوسکوپ می‌توان علاوه بر تحلیل مقدار پتانسیل‌های بدست آمده، رفتار شبکه و مولفه‌های تاثیر گذار بر پوشش و سازه فلزی را بصورت دقیق مورد ارزیابی قرار داد [۱۳]. گرچه وجود جریان سرگردان و یا اختلالات عملکردی اینتراپترها نظیر خروج از سنکرونیزم و یا زمان روشن و خاموش نامتناسب با سایر اینتراپترها باید توسط دیتالاگر تشخیص داده شده و مانع ثبت توسط کاربر گردد، لیکن وجود جریان‌های سرگردان با دامنه کم، ریل DC و یا پتانسیل AC با دامنه کم، بخصوص در شبکه‌های با پوشش ضعیف به دلیل عدم توانایی فیلتراسیون این نوسانات توسط پوشش، می‌توانند در مقادیر

حاصله تغییرات موثری ایجاد کنند. استفاده از ولتمترهای معمولی علاوه بر خطای ثبت پتانسیل خاموش لحظه‌ای توسط کاربر، امکان مشاهده و تحلیل مولفه‌های تاثیر گذار بر روی شبکه را نیز فراهم نمی‌کند و این یک ریسک در تصمیمات آتی برپایه نتایج ثبت شده می‌باشد.

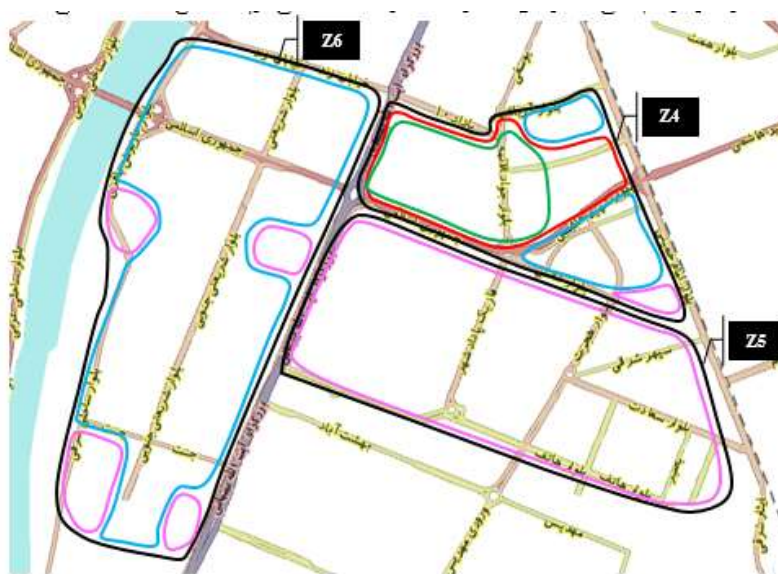
در اندازه‌گیری پتانسیل خاموش لحظه‌ای انجام شده برای تمام نقاط اندازه‌گیری، داده برداری پیوسته زمانی ۱ در دو حالت AC و DC و ثبت نمودار اسیلوسکوپی، انجام شده است. نمودار ثبت شده برخی از نقاط اندازه‌گیری در شکل‌های (۶) تا (۱۱) نمایش داده شده است. شکل (۵) مربوط به نمودار سه گانه نقطه اندازه‌گیری مورد مطالعه T.P1 در منطقه سبز و قرمز ناحیه ۴ می‌باشد، مطابق جدول (۱۰) ناحیه سبز مربوط به نواحی دارای پتانسیل زیر ۰/۸۵- است.

جدول ۱۲- راهنمای محدوده پارامترهای حفاظت کاتدی نواحی شش گانه

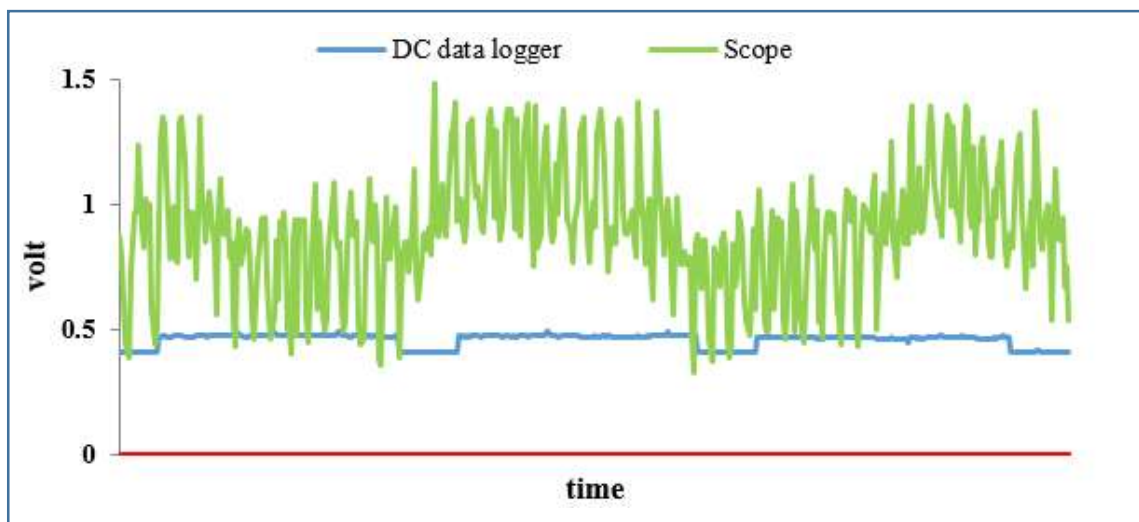
شاخص	پتانسیل روشن کمتر از حداقل	پتانسیل خاموش کمتر از حداقل لحظه‌ای	بیشتر از حداکثر پتانسیل خاموش لحظه‌ای	دارای پتانسیل خاموش لحظه‌ای مناسب	مرز ناحیه
	■	■	■	■	■



شکل ۴- محدوده ناحیه ۱، ۲ و ۳ مرز بندی شبکه و بخش بندی بر اساس وضعیت پتانسیل حفاظت کاتدی



شکل ۵- محدوده ناحیه ۴، ۵ و ۶ مرز بندی شبکه و بخش بندی بر اساس وضعیت پتانسیل حفاظت کاتدی



شکل ۶ - نمودار سه گانه نقطه اندازه‌گیری مورد مطالعه T.P1

کاتدی شبکه، نوسانات پتانسیل در نمودار AC و اسیلوسکوپ مشاهده شده در بازه زمانی وصل اینتراپترها، مربوط به رایبل^۲ پتانسیل ایستگاه‌های خودی روی شبکه و ضعف پوشش در فیلتر کردن این نوسانات می‌باشد.

شکل (۱۰) مربوط به نمودار داده‌های سه گانه نقطه اندازه‌گیری T.P5 در ناحیه ۱ می‌باشد. در بخش بزرگی از این ناحیه همان گونه که در شکل (۴) مشاهده می‌گردد پوشش در منطقه قرمز قرار دارد، این ضعف پوشش در نمودار شکل (۸) و (۹) بصورت رفتار پله‌ای در پلاریزاسیون و دیپلاریزاسیون مشاهده می‌گردد.

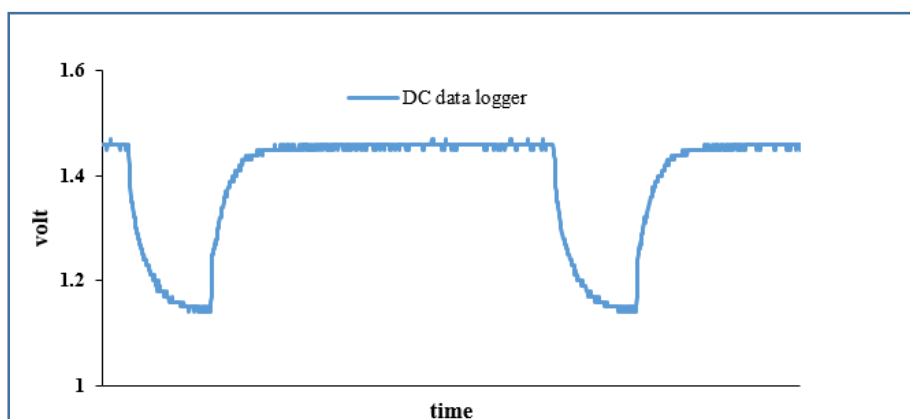
پتانسیل AC اندازه‌گیری شده بصورت مقدار ثابت (بدون رایبل) در تمام زمان‌های قطع و وصل شبکه ثبت گردیده است، لذا مقدار این پتانسیل ناشی از اثر جریان‌های AC سرگردان منابع خارجی (ثالث) می‌باشد. نوسانات مشابه موج سینوسی سیگنال اسیلوسکوپ، ناشی از اثر پتانسیل AC اشاره شده می‌باشد.

در شکل (۷) که مربوط به نقطه اندازه‌گیری مورد مطالعه T.P2 در ناحیه ۵ می‌باشد، این نمودار مطابق شکل (۱) منطبق بر نمودار استاندارد مورد انتظار پتانسیل خاموش لحظه‌ای بر روی خطوط لوله فلزی [۷] می‌باشد و این امر سلامت پوشش به دلیل رفتار مناسب در زمان پلاریزه و دیپلاریزه شدن کاتدی خط لوله را نشان می‌دهد.

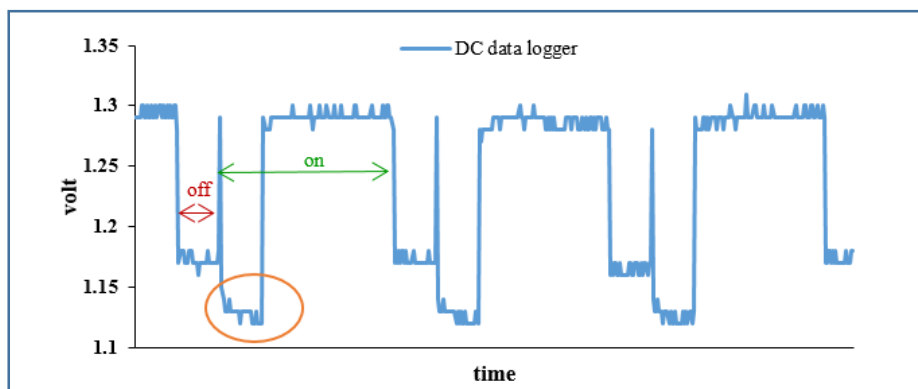
شکل (۸) اثر خروج از سنکرونیزم^۱ یکی از اینتراپترها بر روی داده‌های نقطه اندازه‌گیری T.P3 در ناحیه ۶ را نشان می‌دهد. گرچه عدم تنظیم یکسان زمان‌های خاموش و روشن شدن اینتراپترها نیز اثر مشابهی ایجاد می‌نماید.

در شکل (۹) رفتار شبکه در نقطه اندازه‌گیری T.P4 در ناحیه ۲ نمایش داده شده است. چندین نکته در تحلیل این شکل قابل توجه می‌باشد، نخستین مورد ضعف پوشش می‌باشد که سبب پلاریزه و دیپلاریزه شدن پله‌ای خط لوله در زمان‌های قطع و وصل شده است. با توجه به صفر شدن مقدار پتانسیل AC در زمان‌های قطع اینتراپترها و نیز عدم مشاهده نوسان در نمودار اسیلوسکوپ در زمان خاموشی ایستگاه‌های حفاظت

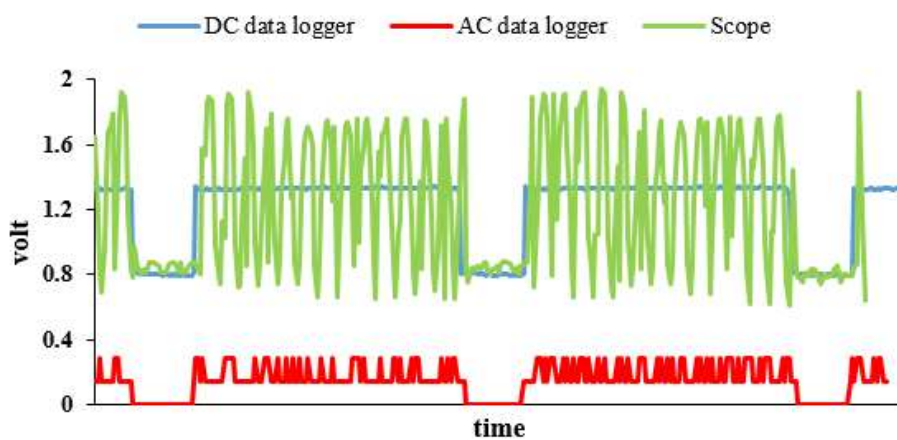
1- synchronize
2- Ripple



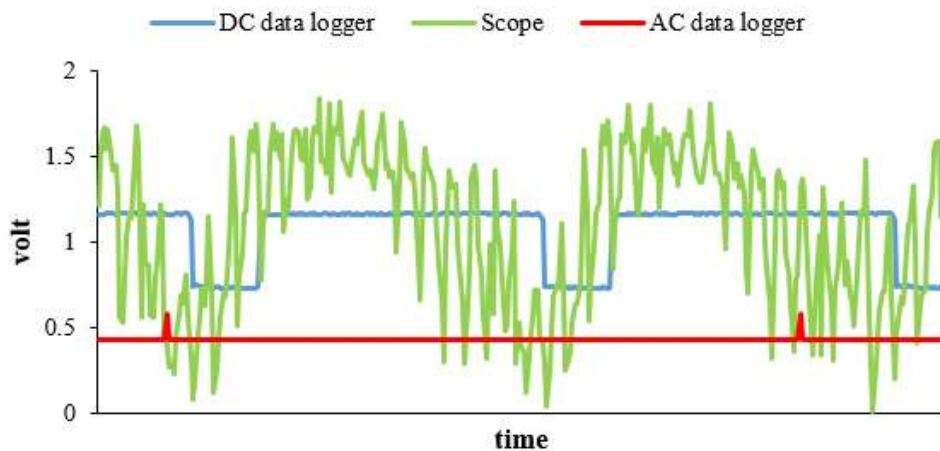
شکل ۷- نمودار سه گانه نقطه اندازه‌گیری مورد مطالعه T.P2



شکل ۸- نمودار سه گانه نقطه اندازه‌گیری مورد مطالعه T.P3



شکل ۹- نمودار سه گانه نقطه اندازه‌گیری مورد مطالعه T.P4



شکل ۱۰- نمودار سه گانه نقطه اندازه‌گیری مورد مطالعه T.P5

نتیجه‌گیری

بررسی پوشش شبکه با استفاده از روش‌هایی نظیر نقشه برداری جریانی شبکه با دستگاه PCM در مناطق بحرانی و نیز ترمیم یا تعویض پوشش در نقاط کشف شده بوسیله ACVG یا DCVG به عنوان اقدامات اصلاحی ساختاری، پس از اندازه‌گیری پتانسیل خاموش لحظه‌ای و نیز اقدامات ساده در مواجهه با پتانسیل‌های حفاظتی خارج از محدوده‌های مجاز به دلایلی از جمله، موارد مشکوک به نحوه بهره‌برداری و حفاظت شبکه، نظیر اندازه‌گیری مقاومت و PH خاک و تعیین پتانسیل روشن ایستگاه‌های حفاظتی بر اساس شرایط پایش شده، افزایش راندمان ایستگاه‌های حفاظت کاتدی در صورت عدم تامین پتانسیل کافی برای حفاظت شبکه، استفاده از آندهای فدا شونده جهت تقویت بخش‌هایی از شبکه خصوصاً در انتهای خطوط، کاهش پتانسیل تزریقی ایستگاه‌های حفاظت کاتدی در مناطق دارای پتانسیل خاموش بیشتر از حد مجاز، به عنوان اقدامات اصلاحی مقدماتی اندازه‌گیری پتانسیل خاموش لحظه‌ای محسوب می‌گردند. پس از جاری‌سازی هر دو گروه از اقدامات اصلاحی، اندازه‌گیری مجدد پتانسیل خاموش لحظه‌ای شبکه برای بررسی اثر بخشی اقدامات صورت گرفته ضروری می‌باشد.

توجه به نوع پوشش در زمان تحلیل مقادیر حاصله بسیار ضروری می‌باشد. اندازه‌گیری پتانسیل خاموش لحظه‌ای یک پروسه فرآیندی می‌باشد که لزوم بررسی فاکتورهای متعددی قبل از شروع و حین اندازه‌گیری بسیار حائز اهمیت می‌باشد. از جمله این موارد می‌توان به تنظیم دقیق ایستگاه‌های حفاظت کاتدی، تنظیم صحیح و اطمینان از صحت عملکرد و سنکرون بودن تجهیزات، حذف بسترهای موقت و شناسایی و حذف جریان‌های سرگردان خودی و بیگانه، ناحیه‌بندی مناطق بزرگ، شبکه‌های به هم پیوسته و دارای ایستگاه‌های حفاظت کاتدی متعدد و نیز تعیین تاثیر گذاری ایستگاه‌های حفاظت کاتدی بیرون از نواحی تعیین شده بر روی مرز نواحی، موقعیت یابی مکانی صحیح نقطه اندازه‌گیری، انتخاب مکان مناسب قرارگیری هافسل، ارتباطات مستمر گروه‌های اندازه‌گیری از طریق وسایل ارتباطی در دسترس و بازخورد نتایج و مشکلات به سایر گروه‌ها در حین اندازه‌گیری، آگاهی از پروفیل کلی پتانسیل‌های روشن و خاموش در سطح منطقه و مشاهده چند سیکل تغییرات پتانسیل‌های روشن و خاموش لحظه‌ای روی دستگاه دیتالاگر پیش از اقدام به ذخیره داده‌ها، آزمون سلامت عایق علمک‌ها در صورت مشاهده نتایج خارج از مقادیر قابل انتظار ناحیه مورد مطالعه، اشاره نمود.

مراجع

- [1] E.W. Peabody, W.A. "Corrosion control of pipelines" second edition. Translated by T. Shahrabi Farahani, A. Danesh Maslak, M. Aliaf Khazarai. Academic Jihad Publications. Shabak 1388-102-062-9.
- [2] M. Farzam. "Corrosion Engineering and Protection of Metals". Yadavareh Book Publications. 1378
- [3] M.J. Fontana. "Corrosion Engineering" 3rd edition. Translated by A. Saatchi Academic Jihad Publications. 2019
- [4] IGS-R-TP-028(0), Instant Off Potential Measuring Method on Buried Distribution and Network Gas Steel Pipes, 2013.
- [5] NACE SP0169, Control of external corrosion on underground or submerged Metallic piping systems.
- [6] UFC-3-570-06, Cathodic protection systems operation and maintenance, 2003.
- [7] NACE TM0497, Measurement techniques related to criteria for cathodic protection on underground or submerged metallic piping systems, 2018.
- [8] V. Hock, L. Setliff, W. Houtz, M. Noble, B. Lewis, M. McLeod, "Off-Potential Measurement Systems for Impressed Current Cathodic Protection". USA CERL Technical Report FM-94/16. US Army Corps. 1994.
- [9] J. Dabkowski, T. Hamilton. "A Review of Instant-Off Polarized Potential Measurement Errors." paper No. 561. Houston, NACE, 1993.
- [10] R. Alexander. "Instant off Potentials for Cathodic Protection of Buried Steel Structures" 2006.
- [11] T. Kodama, K. Kimura, Y. Shinoda, N. Mochizuki, Nakabohtec. "Determination of Instant-Off Potential of Cathodically Protected Reinforcing Steel in Concrete Bridges Located in Coastal Atmosphere ". NACE International. Conference Paper ID 06337 .2006
- [12] M. Mateer, "Using Failure Probability Plots to Evaluate the effectiveness of" Off" vs, "On" Potential CP Criteria", Pipeline and gas journal Mp, Pp22-24. Sept 2004,
- [13] F.M. Song and H. Yu, "Steel Pipe Native Potentials In Soils Affect CP Criteria" Pipeline and gas journal. San Antonio, TX. Vol. 239 No. 3 .2012
- [14] B.W. Cherry, "An analysis of the Potential Decay when Cathodic Protection is Interrupted", 4th Asian-Pacific Corrosion Control Conference, Tokyo, 1985

