بررسی کمی و کیفی چاه‌های آبی سیستم حفاظت کاتدی لوله‌های انتقال گاز

نسیبه حاجیلری[1*]، عرفان حیدری[2]، محمدامین فقیه[1]، علی بهمدی[1]

۱. گروه مهندسی شیمی، دانشکده فنی و مهندسی علی آباد کتول، دانشگاه گلستان، گلستان، ایران

۲. بخش حفاظت کاتدی، شرکت گاز استان گلستان، گلستان، ایران

آدرس پست الکترونیک نویسنده مسئول مکاتبات: n.hajilari@gu.ac.ir

مقاله‌ی علمی- ترویجی

صفحه ۱۸ - ۲۶

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۲/۱۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۳/۰۵

چکیده

در این مقاله، روش حفاظت کاتدی در لوله‌های انتقال گاز با استفاده از بستر آندی برای چاه‌های آبی موردمطالعه قرار گرفت. در این پژوهش، با روش مانیتورینگ ۱۴ چاه آندی آبی بررسی و بر روی آب موجود در چاه‌ها نیز آنالیز انجام شد. نتایج آنالیزها بیانگر شکستگی دیواره چاه، قطع شدن طناب‌ها، نامنظم بودن کابل‌ها و رانش زمین در اعماق داخلی چاه‌ها است. سختی آب از ۸۰۰ تا ۵۲۰۰ ppm، کلرین از ۵ تا ۸۶ و آمپر از ۰/۲۱ تا ۳/۶ در چاه‌های مختلف تغییر کرده است. برخی چاه‌ها دارای pH کمتر از ۶/۵ و درنتیجه دارای محیطی اسیدی و مستعد برای خوردگی هستند. برخی چاه‌های موردمطالعه دارای TDS بالاتر از ۳۰۰۰ mg/l و برخی دارای سختی آب بالایی بودند. همچنین اکثر چاه‌ها هدایت الکتریکی پایینی داشتند. بر اساس نتایج این تحقیق مشخص گردید در زمان طراحی و بهره‌برداری از چاه‌های آندی بایستی ویژگی‌های خاک، احتمال نفوذ شوینده‌ها به آب چاه‌ها و دیگر مسائل محیط زیستی در نظر گرفته شود. همچنین پیشنهاد شد اندازه‌گیری مشخصات شیمیایی و الکتریکی آب و خاک چاه به بازرسی‌های سالانه اضافه شود و در این زمینه استانداردی تدوین گردد.

کلیدواژه‌ها: خوردگی، حفظت کاتدی، چاه آندی آبی، کلرین، آمپر

۱. مقدمه

خوردگی در تمامی دسته‌های اصلی مواد شامل فلزات، سرامیک‌ها، پلیمرها و کامپوزیت‌ها اتفاق می‌افتد اما وقوع آن در فلزات فراگیرتر است. خوردگی یک واکنش شیمیایی یا الکتروشیمیایی مخرب بین سطح فلز و محیط اطراف آن است. با توجه به اینکه ازلحاظ ترمودینامیکی مواد اکسیدشده نسبت به مواد در حالت معمولی در سطح پایین‌تری از انرژی قرار دارند، تمایل رسیدن به سطح انرژی پایین سبب اکسید (خورده) شدن فلز می‌گردد. با این توضیح می‌توان گفت که هیچ‌گاه نمی‌توان به‌طور کامل از خوردگی جلوگیری نمود بلکه باید به نحوی میزان خوردگی را به حد قابل‌قبول رسانید. در حالت ایدهآل انتظار می‌رود با اعمال یک پوشش مناسب در شرایط محیطی مناسب میزان خوردگی فلز به صفر برسد ولی در عمل این هدف فقط با اعمال پوشش بر فلز قابل‌دستیابی نیست، بنابراین نیاز است که اقداماتی علاوه بر اعمال پوشش جهت حفظ دائمی خطوط لوله فلزی از خوردگی انجام گیرد تا میزان خوردگی را در عمل به حداقل برساند [۱, ۲].

یکـی از روش‌هایی که برای جلوگیـری از خوردگی فلزات بسـیار مورداستفاده قرار می‌گیرد روش حفاظت کاتدی است. حفاظـت کاتـدی بـه دو روش جریان مؤثـر و آند فنا شـونده اعمـال می‌گـردد [۳]. در صنعـت نفـت و گاز بیشـتر از روش آندهای فنا شونده اسـتفاده می‌شود. فلز آند داخل موادی که کاهنده مقاومت ویژه زمین هسـتند و نیـز ارتباط یونی آند با خاک را تسهیل می‌کنند دفن می‌گردد که به مجموعه مذکور بستر آندی گفته می‌شود.

یکـی از انـواع بسـترهای آنـدی بسـترهای چاهی اسـت. بسـترهای چاهی در مناطق شـهری و پرتراکم که محدودیت و دشـواری در تحصیـل اراضـی وجـود دارد و همچنیـن در زمین‌هایـی کـه لایـه فوقانـی خـاک دارای مقاومـت ویـژه الکتریکـی زیاد باشـد و بتوان با انجام حفـاری به خاک با لایه مقاومـت الکتریکـی کم دسـت پیـدا کـرد مورداسـتفاده قرار می‌گیرنـد [۴]. مکانی به‌عنوان بسـتر آندی انتخاب می‌شـود کـه کمتریـن مقاومـت مخصـوص را داشـته باشـد [۵]. برای اجـرای این نوع بسـتر مطابـق اسـتاندارد IPS-M-TP-707 ضروری است عملیات حفاری از سطح زمین تا رسیدن به آب انجام شـود. لوله غلافی فلزی نیز از سـطح زمین تا سطح آب گذاشـته می‌شـود. جهت اتصال آندها به منبع تغذیه از جعبه کنتـرل مثبت مطابق اسـتاندارد IPS-M-TP-702 اسـتفاده می‌شـود. این جعبه به قطـب مثبت ترانس یکسوسـاز وصل می‌شـود و در کنـاره چاه قرار می‌گیرد. بـرای اتصال خط لوله بـه منبع تغذیه از جعبه کنترل منفی چهار ترمیناله اسـتفاده می‌شـود. یک ترمینال برای اتصال منفی مبدل یکسوسـاز و دو ترمینـال بـا کابل کم مقاومـت به لوله متصل می‌شـود که یکـی وظیفه تزریق جریـان و دیگری برای آزمایش پتانسـیل استفاده می‌شود.

یکـی از روش‌هـای حفاظـت کاتـدی با بسـتر آنـدی در خطـوط توزیع گاز طبیعی، بسـتر چاه آندی آبی اسـت [۶]. در این نوع بسـتر آندها به‌صورت عمودی قرار می‌گیرد. عمق این نوع بسـترها بسـتگی بـه عمق سـفره‌های آب زیرزمینی دارد، یعنی بایسـتی حفاری تا عمقی انجام پذیرد که آب کل عمق بسـتر را در برگیرد. در این نوع بسـتر، آندها به‌وسـیله طنـاب مخصـوص و با اسـتفاده از قرقـره در مرکز چـاه قرار می‌گیرنـد و فاصلـه مرکـز به مرکـز آن‌ها به‌وسـیله طناب‌ها تنظیم می‌گردد. در (شـکل ۱) نمایی از چاه حفاظت کاتدی آندی آبی نشان داده‌شده است.

شکل ۱. سر چاه حفاظت کاتدی آبی

در زمینه حفاظت کاتدی پژوهش‌های زیادی در ایران و در دنیا انجام‌گرفته است، اما در موردبررسی آب چاه‌های حفاظت کاتدی آبی تحقیقات زیادی انجام‌نشـده است. در یک پژوهش جوادی نژاد و همکاران تغییرات pH را با جریان، پتانسیل خط لولـه و ولتاژ خروجی منبع تغذیـه در چاه‌های حفاظت کاتدی اسـتان اصفهان بررسـی کردند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که برای اینکه سیستم حفاظت کاتدی با بستر چاهی آبی بازدهی مناسبی داشته باشد بایستی پتانسیل و مقدار جریان بهینه باشد و آب موجـود برای جلوگیری از وقوع واکنش‌های ناخواسـته از کیفیت مطلوبی برخوردار باشد [۷]. همچنین بهادری نشان داد کاهش pH و به عبارتی اسـیدی شـدن آب باعث ایجاد محیط خورنده و درنتیجه عملکرد نامطلوب و درنهایت تخریب سیستم حفاظـت کاتـدی می‌شـود [۸]. در تحقیـق دیگـری تخریـب چاه‌هـای حفاظت کاتدی آندی آبی به عوامل بسـیاری ازجمله جریان اعمالی و ولتاژ خروجی از منبع تغذیه، نوع و جنس آندها و غـلاف چاه، خواص شـیمیایی آب چاه، حجـم آب درون چاه و امـکان تبادل آن با بسـتر و همچنین امکان نفوذ پسـاب‌های صنعتی بـه درون چاه و درنتیجه تغییر افزایش میزان آنیون‌ها، کاتیون‌ها و ترکیبات فلزی و غیرفلزی ارتباط داده شد [۹].

عملکرد نامطلوب چاه‌های حفاظـت کاتدی درنهایت باعث خوردگی در لوله‌ها خواهد شد که خسارات زیادی به شرکت‌ها وارد می‌کند و همچنین نیروی انسانی زیادی نیز برای حل این مشـکل بایسـتی درگیر شـوند، بنابراین ضروری است چاه‌های حفاظت کاتدی آندی آبی موردبررسـی دقیق‌تـر قرار بگیرند و عوامـل مؤثر بر عملکرد این چاه‌ها مشـخص شـوند. لذا در این مقاله عملکرد چاه‌های آندی آبی شهرستان‌های استان گلستان با اسـتفاده از روش مانیتورینگ بررسـی شـد. همچنین از آب چاه‌هـا نمونه‌بـرداری و بر روی آن‌هـا آنالیز انجام شـد. در انتها نتایج حاصل از بررسـی‌ها تحلیل و پیشـنهادهایی در این مورد ارائه‌شده است.

۲. مواد و روش تحقیق

در ایـن تحقیق به‌منظور بررسـی عملکرد سیسـتم حفاظت کاتدی با روش بستر آندی تعدادی از چاه‌های آبی استان گلستان با موقعیت مکانی متفاوت بررسـی و آب چاه‌ها مـورد آنالیز قرار گرفت. برای بررسـی ایسـتگاه‌های شـهرهای گنبـد، کردکوی، گرگان و مینودشت (مجموعاً ۱۴ چاه) در نظر گرفته شد.

۲-۱. بررسی چاه

برای نمونه‌برداری و بررسی وضعیت چاههای حفاظت کاتدی، از روش مانیتورینگ استفاده شد. در روش مانیتورینگ از چاهی که تجهیزات کار گذاشته‌شده‌اند فیلم تهیه می‌شود و اطلاعاتی نظیر ارتفـاع چاه، موقعیت آندهـا، میزان خرابی کابل‌هـا، ارتفاع غلاف‌ها، ارتفاع سـطح آب، میزان پرشدگی چاه و درنهایت آنالیز آب چاه بررسـی می‌شـود. با مانیتورینگ می‌توان موارد زیادی را موردبررسـی قرارداد که می‌تـوان به موارد زیر اشـاره نمود: علت خرابی و یا کار نکردن آندها، میزان پرشدگی چاه، وجود و یا عدم شکستگی غلاف‌ها، میزان رانش چاه (با تجهیزات موجود)، درست قرار گرفتن غلاف‌ها، درسـت قرار گرفتـن کابل‌ها و آندها، ارتفاع سـطح آب، ارتفـاع چاه، نمونه‌گیـری از حداکثر عمق پیشـروی، نمونه‌بـرداری از آب چـاه و فیلم‌بـرداری در عمق زیـاد. به‌منظور بررسـی وضعیت چاه‌های آبی بـه روش مانیتورینگ از دسـتگاه تحقیقاتـی جدیـدی تحت عنـوان «مانیتـور کننده هفـت‌کاره» (سـازنده شرکت گاز گلسـتان) استفاده‌شده اسـت. این دستگاه قابلیت وارد شدن به چاه، تهیه فیلم و نمونه‌گیری از آب را دارد.

۲-۲. آنالیز آب

بعد از نمونه‌برداری از آب چاه توسـط دسـتگاه مانیتور کننده هفت‌کاره، نمونه‌های آب چاه‌ها برای انجام آنالیز به آزمایشگاه خاک آزمایی ارسال شد. روش انجام آزمایش‌ها در ادامه ارائه‌شده است.

بـرای اندازه‌گیری مقدار یون کلرید، از روش موهر[1] اسـتفاده شـد. یون کلر بـا نیتـرات نقـره اسـتاندارد در pH ۷ و مجاورت یـون کرومات به‌عنوان معرف تیتر اسـتفاده شـد. در پایان عمل تیتراسـیون، رسـوب قرمـز آجـری کرومات نقـره ظاهر شـد. با محاسبه میزان کلر مصرفی و نرمالیته کلر، غلظت یون کلر موجود در نمونه مشخص گردید. به‌منظور اندازه‌گیری یون‌های کلسیم و منیزیـم موجـود در آب (عامل سـختی آب) در ابتدا به کمک هیدروکسید آمونیوم pH محیط را به ۱۰ رسانده و سپس معرف اریوکروم به آن اضافه شد. اگر هیچ یون فلزی از کلسیم و منیزیم در آب موجـود نباشـد معرف آبی می‌شـود ولـی کمپلکس‌های فلـزی آن به رنگ قرمز شـرابی و یا نارنجـی درمی‌آیند. پس اگر رنـگ محیط قرمز شـود یون‌های فلـزی در آن وجـود دارد. اگر به چنیـن محلول قرمزرنگی محلـول EDTA اضافه شـود ابتدا با کلسـیم سـپس منیزیم متصل به اریوکروم کمپلکس تشکیل داده و ازآنجایی‌کـه این کمپلکس‌ها از کمپلکس‌های فلز بارنگ پایدارتر هسـتند اریوکروم کاملاً از قید یون‌های فلزی آزادشـده و آبی می‌شـود. پس لحظه‌ی آبی شـدن محلول زمانی است که تمام یون‌های فلزی با EDTA واکنش داده‌اند. برای اندازه‌گیری هدایت الکتریکی از دستگاه هدایت سنج دارای دو الکترود یکسان فلزی پلاتینه شـده استفاده شد که پیل هدایت سنجی را درون محلول قرار داده و دسـتگاه با ولتاژ مناسـبی کـه بین الکترودها می‌فرستد هدایت محلول را نشان می‌دهد. اندازه‌گیری‌های pH در آزمایشگاه توسط دستگاه pH متر انجام‌شده است.

۳. نتایج و بحث

۳-۱. بررسی وضعیت داخلی چاه

عوامـل اثرگذار بر عملکـرد چاه حفاظت کاتـدی و وضعیت چاه‌های استان گلستان موردبررسی قرار گرفت. با توجه به شهر و محل ایستگاه چاه‌ها شماره‌گذاری شده‌اند (جدول ۱).

جدول ۱. شماره‌گذاری چاه‌های استان گلستان

شماره چاه	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷
شهرستان	گنبد	گنبد	گنبد	گنبد	گنبد	کردکوی	کردکوی
ایستگاه	امام‌زاده	آرش	اداره مرکزی	فرهنگیان	بهارستان	شهرک صنعتی	خیابان کارگر
عمق مانیتورینگ	۳۱	۲۴	۲۶	۳۰	۸	۳۲	۱۲
عمق چاه	۵۰	۵۰	۵۰	۵۰	۵۰	۵۰	۵۰
شماره چاه	**۸**	**۹**	**۱۰**	**۱۱**	**۱۲**	**۱۳**	**۱۴**
گرگان	گرگان	گنبد	گرگان	مینودشت	مینودشت	گرگان	کلاله
ایستگاه	مطهری	نومل	بلوار حسام	گوگل	مزار	شهرک امام	دوراهی
عمق مانیتورینگ	۹۴	۴۹	۲۰	۳۵	۴۹	۴۰	۲۰
عمق چاه	۱۲۲	۶۳	۵۰	۵۰	۵۰	۷۰	۷۰

1. Mohr

همان‌طور که در (جدول ۱) مشخص است انجام مانیتورینگ در تمام عمق چاه به دلیل مشکلاتی که وجود داشت امکان‌پذیر نبود.

۳-۲. کدورت

در ابتـدا آب چاه‌ها به‌طور کیفی موردبررسـی قرار گرفت. همان‌طور که در (شکل ۲) مشخص است آب چاه‌های مختلف ازلحـاظ رنگ و ماهیت متفاوت هسـتند. پس از نمونه‌برداری توسط دسـتگاه مانیتورینگ از ایستگاه‌های مختلف دیده شد که رنگ تعدادی از نمونه‌های به‌دست‌آمده از یکدیگر متفاوت اسـت. در (شـکل ۲ (الف و ج)) رنگ نمونه آب زردرنگ است و در (شـکل ۳ (ب)) رنگ نمونه تیره است. این تغییر رنگ را می‌توان ناشـی از متفـاوت بودن میزان کل مـواد معلق جامد (TSS)[1] در آب چاه‌ها دانست. بالا بودن مقدار TSS می‌تواند عامل کدورت آب چاه و کاهش شفافیت آن باشد.

الف)

ب)

ج)

شکل ۲. نمونه آب چاه حفاظت کاتدی ایستگاه‌های الف) شماره سه ب) شماره یک ج) شماره چهار

۳-۳. میزان pH (اسیدیته)

مطلـوب اسـت آب چـاه در حالـت نزدیک به خنثی باشـد. pH بیـن ۶/۵ تا ۸ محدوده مطلوب برای چاه‌های آندی اسـت. همان‌طور که در (جدول ۲) مشـخص اسـت بیشـتر چاه‌ها در محـدوده مطلـوب قرار دارنـد. آب با pH کوچک‌تـر از ۶/۵ آبی اسـیدی، نـرم و خورنده اسـت، درحالی‌که آب بـا pH بزرگ‌تر از ۸ آبی قلیایی، رسـوب‌گذار و سـخت به‌حسـاب می‌آید [۱۰, ۱۱]. در چاه‌های شـماره ۳، ۱۱ و ۱۲ آب ازلحاظ اسـیدیته در محدوده اسـیدی و نامطلـوب قرار دارد. کاهـش pH آب وجود مقادیـر اندکی اسـیدهای معدنـی و آلـی از منابع سـولفیدی، نیتراتی، کلریدی و فلوراید‌ی در آب را نشـان می‌دهد. اسـیدی شـدن آب چاه می‌تواند یکی از عوامل اصلـی خوردگی آندها و تجهیزات داخل چاهی باشـد و موجب از کار افتادگی سیسـتم حفاظت کاتدی و مشکلاتی نظیر شکستگی دیواره چاه‌ها شود [۷]. آب چـاه شـماره یک تا حدی در ناحیـه قلیایی قرارگرفته اسـت که بازهـم در محدوده عملکرد نامطلـوب جای می‌گیرد. ورود مواد شوینده به منابع آب زیرزمینی و درنتیجه نفوذ آن‌ها به چاه می‌تواند دلیل قلیایی شـدن آب باشـد. عـلاوه بر این در صورت وجود فلزات سـنگین، اگر محیط اسیدی باشد احتمال ایجاد محیط میکروبی بیشتر می‌شود و اگر محیط قلیایی باشد احتمال رسوب این فلزات بیشتر خواهد شد [۱۲].

جدول ۲. میزان pH آب چاه‌های مختلف

چاه	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴
pH	۸/۳	۷/۲	۴/۵	۷/۶	۷/۹	-	-	۷/۲	۷/۶	۷/۱	۶/۲	۳/۹	۷/۲	۷/۲

۳-۴. کل جامدات محلول[2] (TDS)، کاتیون‌ها و آنیون‌ها

منظـور از TDS، کل مواد جامد محلول آلی و معدنی در آب و یـا به‌عبارت‌دیگر مجموع غلظت همه یون‌هـای موجود در آب ازجمله (کربنات، کلراید، سولفات، نیترات، سدیم، پتاسیم، کلسیم، منیزیـم،...) اسـت. به‌طورکلـی در آب‌های زیرزمینـی کاتیون‌ها (کلسیم، منیزیم، سدیم و پتاسیم) و آنیون‌ها (کربنات، بی‌کربنات، سولفات و کلرید) بیشتر به‌صورت محلول یافت می‌شود. همان‌طور که در (جدول ۳) نشـان داده‌شده است میزان TDS در چاه‌های ۱، ۴، ۵، ۶ و ۷ نسـبتاً بـالا اسـت. در ایـن چاه‌ها مقـدار مجموع کاتیون‌ها و آنیون‌ها نیز بالاتر بوده است. همچنین سختی و املاح محلول و معلق درون آب بر مقدار pH نیز اثر مستقیم دارند [۱۰, ۱۱]. افزایـش مقدار یون‌های مثبت و منفـی درون آب می‌تواند باعث افزایش خاصیت اسیدی آب و یا به‌عبارت‌دیگر کاهش pH آب شـود که مشـکلاتی ازجمله ایجاد خوردگی و آسیب زدن به دیواره چاه را موجب می‌شوند [۱۰, ۱۱, ۱۳].

1. Total suspended solid
2. Total dissolved solid

جدول ۳. نتایج آنالیز TDS، کاتیون‌ها و آنیون‌ها (برحسب میلی اکی والان بر لیتر) در آب چاه‌های مختلف

چاه	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴
TDS (mg/l)	۳۳۲۳	۹۸۳	۱۱۹۲	۵۷۳۱	۴۱۰۶	۴۳۰۷	۲۶۴۳	۹۸۳	۷۱۵	۱۰۲۰	۶۱۱	۵۴۴	۱۰۱۷	۳۱۲
مجموع‌کاتیون‌ها	۵۷/۳	۱۶/۱	۱۵/۴	۱۸۶/۶	۸۸/۸	۸۱		۱۵/۸	۱۱/۴	۱۳/۵	۹/۷	۳/۸	۱۸/۳	۶/۹
Na+	۲۸/۳	۷/۸	۱۰/۴	۸۲/۶	۴۷/۸	۶۵	۵۰	۲/۶	۲/۶	۲/۶	۱/۷	۲/۹	۳/۳	۱/۵
Mg++	۱۱/۵	۶/۶	۵	۷۲/۵	۲۸/۵	۱۳/۵		۴/۳	۶/۸	۰/۶	۲/۹		۶/۸	۱
Ca++	۱۷/۵	۱/۷	-	۳۱/۵	۱۲/۵	۲/۵	۵	۸/۹	۲	۱۰/۳	۵/۱	۲/۹	۸/۲	۴/۴
مجموع آنیون‌ها	۶۰/۴	۱۶/۹	۱۶/۶	۲۰۷/۴	۸۸/۷	۸۳/۱		۱۵/۳	۱۳	۱۷/۳	۱۰/۷	۷/۳	۱۶/۴	۹/۶
$SO4^{-2}$	۲	۲/۸	۰	۱۲۰	۳۲	۱۴	۸	۳/۲	۲	۳/۶	۲/۸	۰	۴/۸	۱/۶
Cl	۵۷/۵	۵/۸	۱۶/۲	۸۶/۵	۵۵/۵	۶۰	۱۶	۳/۵	۴/۵	۴/۶	۳/۱	۷/۳	۷/۴	۱/۲
HCO^{-3}	۰/۹	۸/۳	۰/۴	۰/۹	۱/۲	۹/۱		۸/۶	۶/۵	۹/۱	۴/۸	۰	۴/۲	۶/۸
$CO3^{-2}$	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰

کلرین در ابتدا هادی است ولی بعد از رسوب کردن هدایت الکتریکی را پایین می‌آورد. یون کلرین همواره باعث افزایش سرعت خوردگی در فلزات و آلیاژها می‌شود. بیشتر این کلر در واقع از منبع آب آشامیدنی است اما در چاه‌های مختلف متفاوت است. آنالیز چاه‌ها نشان می‌دهد که یون کلرین در چاه‌های شماره ۱، ۴ تا ۶ دارای مقدار بالایی است که این می‌تواند باعث کاهش هدایت الکتریکی شود و درنتیجه ایستگاه آمپر کمتری منتقل کند و احتمال خوردگی آند و تجهیزات درون‌چاهی افزایش یابد.

سولفات‌های کلسیم و منیزیم اصلی‌ترین منابع ایجاد یون‌های سولفات در آب هستند. افزایش میزان یون سولفات در آب باعث افزایش TDS، هدایت الکتریکی [1](EC) و سختی آب می‌شود [۱۴, ۱۵]. با پایین رفتن سطح آب‌های زیرزمینی هم غلظت یون سولفات افزایش‌یافته و اثرات آن بیشتر خواهد شد [۱۴, ۱۵]. در چاه شماره (۴) بالا بودن میزان یون سولفات می‌تواند باعث افزایش پارامتر TDS و درنتیجه کاهش pH و به دنبال آن ایجاد مشکلاتی برای سیستم حفاظت کاتدی می‌شود.

۳-۵. سختی آب

تمامی املاح، سولفات، یون‌های فلزی، ترکیبات فسفر، پلی فسفات‌ها و فسفات‌های آلی از عواملی هستند که باعث افزایش سختی آب در بعضی چاه‌ها شده‌اند. بر اساس (جدول ۴) بیشترین سختی آب در چاه‌های شماره ۲،۱ و ۳ وجود داشته است.

جدول ۴. سختی آب و نسبت جذب سدیم در چاه‌های مختلف

چاه	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴
سختی (ppm)	۱۴۵۰	۲۰۵۰	۵۲۰۰	۲۵۰	۴۱۵	۸۰۰	-	۴۴۰	۶۶۰	۵۴۵	۰/۹	۷۵۰	۱۴۵	۴۰۰
نسبت جذب سدیم	۷/۴	۳/۹	۶/۵	۱۱//۵	۱۰/۶	۲۳		۱	۱/۲	۱/۱	۰/۸۵	۰/۸	۱/۲	۰/۹

نسبت جذب سدیم در واقع نسبت بین سدیم به کلسیم و منیزیم آب خاک یا عصاره اشباع است و فرض بر این است که نسبت سدیم به کلسیم و منیزیم در سطح ذره رس از نسبت سدیم به کلسیم و منیزیم در آب خاک تبعیت می‌کند [۱۶]. عکس‌العمل خاک‌ها نسبت به شرایط شوری یا سدیمی بودن بسته به نوع کانی‌های خاک بسیار متفاوت است. مقدار نسبت جذب سدیم کمتر از ۱۳ در خاک‌ها نشان‌دهنده‌ی میزان نسبتاً کم‌سدیم تبادلی است که خاک شور نامیده می‌شوند و مقادیر بزرگ‌تر از ۱۳ بیانگر فزونی میزان سدیم تبادلی نسبت به خاک‌های شور است. در این حالت ورود هوا و آب به خاک به‌طور چشمگیری کاهش می‌یابد [۱۶]. در اکثر چاه‌های مورد بررسی نسبت جذب سدیم کمتر از ۱۳ بوده است و خاک شور است، اما در چاه شماره ۶ با نسبت جذب سدیم ۲۳، خاک شور-سدیمی است.

1. Electrical conductivity

۳-۶. سدیم کربنات باقی‌مانده

برای بیان سـدیم روش‌های متفاوتی نظیر درصد سدیم محلول، شاخص نمک و استفاده از دیاگرام ویلکاکس وجود دارد [۱۷]. معمول‌ترین روشـی که برای ارزیابی اثر سـدیم بر نفوذپذیری خاک و به عبارتی برآورد خطر سـدیم در آب آبیاری به کار می‌رود، اسـتفاده از نسبت جذب سدیم است که بر اسـاس طبقه‌بندی آزمایشـگاه شـوری ایالات‌متحده، اگـر نسـبت جذب سـدیم ۱۰-۰ باشـد درجه سـدیمی کم اسـت و اختلالـی در خـاک ایجـاد نمی‌کند و اگـر ۱۰-۱۸ باشـد درجه سـدیمی متوسـط بوده کـه اسـتفاده از چنین آبـی در اراضـی سـنگین رسـی و لوم-رسـی در درازمـدت خطرناک اسـت و اگر ۱۸-۲۶ باشـد درجه سـدیمی شدید بـوده و چنانچـه این میـزان در دامنه ۳۰-۲۶ باشـد درجه سـدیمی خیلی شدید بوده و استفاده از این آب‌ها خطرناک و غیرمجاز اسـت [۱۸]. همان‌طور که در (جدول ۴) نشـان داده‌شـده است سدیم کربنات باقیمانده در همه چاه‌ها صفر بود.

۳-۷. هدایت الکتریکی

هدایت الکتریکی آب رابطه مسـتقیمی بـا TDS و نمک‌های محلول در آب دارد و با افزایش غلظت املاح در آب، میزان هدایت الکتریکی افزایش می‌یابد. مطالعات نشان داده است اگر pH بزرگ‌تر از ۹ و یا کوچک‌تر از ۵ باشـد اسـت هدایت الکتریکی تأثیرگذاری بیشـتری دارد و می‌تواند احتمـال وقوع واکنش‌های ناخواسـته را افزایش دهد[۱۳]. علاوه بر این هدایت الکتریکی آب چاه‌های آندی که یکی از عوامل محدودکننده جریان است می‌تواند مانع ارائه آمپر پیش‌بینی‌شده در ایستگاه‌های حفاظت کاتدی شود. همان‌طور که مشـخص است برخی از چاه‌ها دیگر توانایی آمپردهی و یا استمرار کار در آمپرهای بالا را به‌طور مداوم ندارند. اگر هدایت الکتریکی چاه پایین باشد نمی‌تواند آمپر را به‌خوبی انتقال دهد. در بررسی انجام‌شده همان‌طور که در (جدول ۵) مشخص است چاه‌های شماره ۲، ۳ و ۸ الی ۱۴ هدایت الکتریکی پایینی دارند. هدایت الکتریکی پایین باعث می‌شـود ایستگاه آمپر کمتری را به خطوط لوله اعمال می‌نماید و بنابراین در طول زمان آمپر سیر نزولی می‌گیرد و احتمال خوردگی آند و تجهیزات درون چاهی افزایش می‌یابد.

جدول ۵. میزان هدایت الکتریکی آب چاه‌های مختلف

چاه	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴
هدایت‌الکتریکی (ECe6)	۵۱۹۲	۱۵۳۶	۱۸۶۳	۸۹۵۵	۶۴۱۵	۶۷۳۰	۴۱۳۰	۱۴۶۵	۱۱۱۸	۱۵۹۵	۹۵۴	۸۵۰	۱۵۹۰	۶۸۷

کمپلکس‌هـا و بنیان‌های منفی موجـود در آب تحت تأثیر میدان‌های الکتریکـی می‌توانند بر روی آندهای معلق رسـوب کنند و درنتیجه از توانایی آمپردهی کاسـته و منجر به کاهش کارایـی آن‌ها شـوند. ترکیبـات نیترات‌ها، فسـفات‌ها و کربناته موجود در خـاک که درنتیجه تخلیه فاضلاب‌ها در خاک ایجاد می‌شـوند نیز بـار منفـی دارند و توانایـی آمپر دهـی را کاهش می‌دهند که خود این می‌تواند عامل کاهش آمپر در چاه‌ها باشد درنتیجه احتمال خوردگی افزایش می‌یابد. مقدار آمپر چاه‌های مختلف قبل و بعد از مانیتورینگ در (جدول ۶) نشان داده‌شده اسـت. با توجه بـه اینکه از ترانـس ۲۵ آمپر و ۷۵ ولت بیشـتر استفاده‌شده است آمپر چاه‌ها نسـبتاً در محدوده مناسبی قرار دارد. آمپر بالا می‌تواند نشـان‌دهنده‌ی باز زیاد بر روی ایستگاه، خرابی پوشش و یا خرابی اتصالات عایقی علمک‌ها باشد.

جدول ۶. مقدار آمپر قبل و بعد از انجام مانیتورینگ در چاه‌های مختلف

چاه	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴
قبل از مانیتورینگ	۳/۶	۲/۸	۱/۲۴	۲/۷۵	۲/۰۸	۱/۱۲	۲	۲	۱/۲۷	۵/۰۸	۱/۸۳	۰/۹۶	۳/۲۸	۰/۷۷
بعد از مانیتورینگ	۳/۶	۲/۸۳	۱/۲۶	۲//۹	۳/۳۵	۱/۱۵	۲/۳	۲/۱	۱/۳۱	۶/۰۸	۱/۹	۱/۰۶	۳/۳	۰/۸

همچنین یکی از دلایل بروز خوردگی در سیسـتم حفاظت کاتـدی با بسـتر آنـدی، شـار جریان تولیدشـده توسـط منبع تغذیه اسـت. جریان و پتانسـیل خروجی منبع تغذیه بر ایجاد جریان‌هـای سـرگردان تأثیـر می‌گذارنـد، بخصـوص وقتی‌که تجهیـزات تحـت حفاظت در نزدیکی بسـتر آندی قرار داشـته باشـند. شار جریان از بستر چاهی به سـمت لوله یا سازه تحت

حفاظت کاتدی در اثر تخلیه جریان اعمالی از منبع تغذیه ایجاد و سپس به منبع تغذیه از طریق اتصالات فلزی بازمی‌گردد [۱۹]. در صورت ایجاد تداخل کاتدی در مجاورت کاتد پلاریزه شده، جهت پتانسیل در جهت مخالف جریان خروجی از سازه تغییر می‌کند و موجب بروز خوردگی در سازه تحت حفاظت می‌شود. در این حالت در اطراف آند افزایش جریان و در نواحی کاتدی تخلیه اتفاق می‌افتد. در ادامه این تداخل ترکیبی باعث افزایش جریان و وقوع پدیده حفاظت بیش‌ازحد و درنهایت افزایش واکنش‌های آندی بر روی سطح آندها می‌شود. درنتیجه این پدیده‌ها آندها، غلاف چاه، اتصالات و کابل‌های درون چاه خورده می‌شوند [۱۹].

شدت‌جریان موردنیاز به فلز تحت حفاظت و محیط اطراف آن بستگی دارد. شدت‌جریان اعمالی باید از شدت‌جریان معادل با سرعت خوردگی در همان محیط بیشتر باشد، بنابراین هرقدر سرعت خوردگی بیشتر باشد، مقدار جریان اعمالی نیز بیشتر می‌شود. اگر جریان اعمالی سبب ایجاد یک لایه رسوب مواد معدنی روی سطوح کاتدی شود، مقدار جریان کل لازم با افزایش رسوب کاهش می‌یابد. ولتاژ اعمالی باید نیز به مقداری باشد که بتواند شدت‌جریان کافی برای تمام نقاط تحت حفاظت کاتدی را تأمین نماید. در مورد آب‌هایی با مقاومت الکتریکی زیاد، ولتاژ اعمال‌شده باید بیشتر از محیط‌هایی با مقاومت الکتریکی کم باشد. همچنین که طول زیادی از یک خط لوله توسط تنها یک بستر آندی حفاظت شود، به ولتاژ اعمال‌شده بیشتری نیاز است. افزایش چگالی جریان خروجی از آندها، باعث افزایش فشار بر آندها، شدت یافتن واکنش‌های آندی روی سطح آندها و گاهی افزایش نرخ خوردگی و یا غیرفعال شدن آن‌ها می‌شود [۸, ۲۰].

۴. نتیجه‌گیری

در این مقاله ۱۴ چاه آندی آبی شهرهای استان گلستان با روش مانیتورینگ موردبررسی قرار گرفت. نتایج مانیتورینگ نشان داد بعضی از چاه‌ها دارای شکستگی دیواره، قطع شدن طناب‌ها و مشکلات دیگر بودند. همچنین آب موجود در چاه نمونه‌برداری و مورد آنالیز قرار گرفت. نتایج آزمایش‌ها نشان داد مقادیر ترکیبات در هر چاه با چاه دیگر بسته به نوع خاک و نوع بهره‌برداری متفاوت است. همچنین اکثر چاه‌ها هدایت الکتریکی پایینی داشتند. علاوه بر این خاک چاه شماره ۶ تبدیل به خاک شور-سدیمی شده است. در زمان طراحی و بهره‌برداری از چاه‌های آندی بایستی ویژگی‌های خاک، احتمال نفوذ شوینده‌ها به آب چاه‌ها و دیگر مشکلات محیط زیستی را در نظر گرفت. همچنین پیشنهاد می‌گردد مشخصات شیمیایی آب و خاک به‌طور سالانه اندازه‌گیری و ثبت شود و در طول مدت بهره‌برداری بازرسی سالانه به همراه آنالیز آب برای آن‌ها در نظر گرفته شود. همچنین با انجام بازرسی سالانه از وضعیت چاه‌ها در صورت وجود مشکل از حفاری مجدد در آن منطقه جلوگیری به عمل آید. علاوه بر این لزوم تدوین استاندارد در این موضوع خاص نیز احساس می‌شود.

۵. تشکر و قدردانی

از حمایت شرکت ملی گاز گلستان و همچنین کمک های آقای سعید اعتصامی و فرید امجد در انجام این پژوهش صمیمانه تشکر می شود.

مراجع:

[1]. P. Kentish, Gas pipeline failures: Australian experience, British Corrosion Journal, Vol. 20, 1985, Pp. 139 -146.

[2]. L. Xu, Y. Cheng, Experimental and numerical studies of effectiveness of cathodic protection at corrosion defects on pipelines, Corrosion Science, Vol. 78, 2014, Pp. 162-171.

[3]. G. Cui, Z. Li, C. Yang, X. Ding, Study on the interference between cathodic protection systems of gas station and long distance trunk pipeline, Anti-Corrosion Methods and Materials, Vol. 63, 2016, Pp. 405- 413.

[۴]. آهنگری، بهزاد (۱۳۸۹)، شناسایی ومقابله با پدیده خوردگی در خطوط لوله فولادی انتقال وتوزیع نفت وگاز. تهران: انتشارات ناقوس.

[۵]. مرگان، جان (۱۳۸۴)، حفاظت کاتدی، (ترجمه حسین جمالی). تهران: انتشارات شرکت ملی گاز ایران.

[۶]. شیخ زاده دوانی، بیژن (۱۳۷۱)، خوردگی، تهران: انتشارات شرکت ملی گاز ایران .

[۷]. جوادی نژاد، حمیدرضا، احمدی، مهدی، کاویان، امین، گلعذار، محمدعلی (۱۳۹۵)، بررسی کاهش PH چاه های آبی سیستم حفاظت کاتدی . دهمین همایش

مشترک وپنجمین کنفرانس بین المللی انجمن مهندسی مواد ومتالوژی وانجمن علمی ریخته گری ایران، شیراز.

[8]. A. Bahadori, Cathodic corrosion protection systems: a guide for oil and gas industries, Gulf Professional Publishing, 2014.

[9]. F. Hongchen, Cathodic Protection System Operation and Maintenance, International Parkway, 2007

[10]. S.E. Manahan, Water chemistry : green science and technology of nature's most renewable resource, Taylor & Francis Group, Boca Raton, 2011.

[11]. L.M. Nollet, L.S. De Gelder, Handbook of water analysis, Taylor & Francis Group, New York, 2014.

[12]. S.T. Nesaratnam, Water Pollution Control, John Wiley & Sons, 2014.

[13]. N. Walton, Electrical conductivity and total dissolved solids—What is their precise relationship?, Desalination, Vol.72, No. 4, 1989, Pp. 275-292.

[14]. D. Kaown, D-C. Koh, B. Mayer, K.-K. Lee, Identification of nitrate and sulfate sources in groundwater using dual stable isotope approaches for an agricultural area with different land use, Chuncheon, mid-eastern Korea, Agriculture, ecosystems & environment, Vol. 132, 2009, Pp. 223-231.

[15]. X. Liu, J. Šimůnek, L. Li, J. He, Identification of sulfate sources in groundwater using isotope analysis and modeling of flood irrigation with waters of different quality in the Jinghuiqu district of China, Environmental earth sciences, Vol. 69, 2013, Pp. 1589-1600.

[۱۶]. بای بوردی، محمد(۱۳۵۹)، طبقه بندی و تشکیل خاک، انتشارات دانشگاه تهران.

[۱۷]. غلامعلی زاده، آهنگر(۱۳۸۱)، کیفیت و ارزیابی کیفی آب آبیاری: نشر علوم کشاورزی.

[۱۸]. الیاس، آذر، (۱۳۸۱)، اصلاح خاکهای شور و سدیمی (مدیریت خاک و آب)، انتشارات جهاد دانشگاهی ارومیه..

[19]. J. Fitzgerald, Stray-Current Analysis, Uhlig's Corrosion Handbook, 3nd Ed , Pp. 1013-1020, 2011.

[20]. T.H. Lewis, Jr., Deep Anode Systems - Design, Installation, and Operation, NACE International, 2000.

Quantitative and Qualitative Study of Water Wells in Cathodic Protection System of Gas Pipelines

Nasibeh Hajilary[1*], Erfan Heydari[2], Mohammadamin Faghih[1], Ali Behmadi[1]

1. Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, Golestan University, Aliabad Katol, Iran
2. Cathodic protection section, National Gas Company of Golestan, Golestan, Iran

[*]Corresponding Author, Email Address: n.hajilari@gu.ac.ir

Abstract

Cathodic protection using an anode is one of the common methods for preventing the corrosion of metals in the oil and gas industry. In Golestan province, in some cities, the ground bed has been used for cathodic protection. In this research, with a monitoring method and using a novel- research tool, 14 anodic water wells in the cities of Golestan Province were investigated and the water of wells was analyzed. The breakage of the well wall, broken rope, irregularity of cables, and ground drift were observed at the well`s internal. Water hardness varied from 800 to 5200 ppm, chlorine from 5 to 86, and current from 0.21 to 3.6 in different wells. Wells No. 3, 11, and 12 have a pH lower than 6.5 and therefore have an acidic environment that is prone to corrosion. Wells 1, 4, 5, and 6 had TDS higher than 3000 mg/l, wells 1 to 3 had high water hardness, and the sodium adsorption ratio in well No. 6 was reached 23 indicating saline-sodium soil. Most wells also had low electrical conductivity. Based on the results of this research, it has become clear that during the design and operation of the anodic wells, soil characteristics, the probability of penetration of detergents into water wells, and other environmental issues should be considered. Moreover, It is suggested that the chemical and electrical properties of water and wells should be measured the during annual inspections and, that a standard be established in this field.

Keywords: *Corrosion, Cathodic protection, Ground bed, Chlorine, Amperage*