

ارزیابی ریسک محیط‌زیستی آندها در چاه‌های حفاظت کاتدیک خطوط انتقال گاز استان زنجان

جابر اعظمی^۱، عباسعلی زمانی، یونس خسروی، دانشگاه زنجان

چکیده

هدف از تحقیق حاضر، ارزیابی ریسک محیط‌زیستی آندها در چاه‌های آبی حفاظت کاتدیک در استان زنجان برای اولین بار در کشور است. در سیستم حفاظت کاتدی، جریان مستقیم از یک منبع خارجی به سطح خارجی خط لوله اعمال و به آندهای نصب شده در چاه‌های آبی منتقل می‌شود؛ در نتیجه سطح لوله از خوردگی محافظت می‌گردد. براساس اطلاعات موجود، سه نوع آند جهت حفاظت از خوردگی شامل آندهای منیزیمی (از رده خارج شده)، آندهای چدنی پرسیلیس و آندهای مولیبدنی وجود دارد. نمونه برداری از آب و رسوبات بستر چاه‌ها در شهریورماه ۱۳۹۶ در ۱۱ چاه آبی موجود در استان زنجان با در نظر گرفتن تغییرات ارتفاع، عمق آب زیرزمینی، نوع آندها، زمین‌شناسی و عمر چاه‌ها انجام گرفت و فلزات با استفاده از دستگاه جذب اتمی سنجش شد. یافته‌ها نشان می‌دهد که مقدار هیچ‌یک از فلزات بیش از مقدار استاندارد پیشنهاد شده نمی‌باشد. اختلاف معنی‌داری از نظر آماری در سطح $0/05$ بین ایستگاه‌های شاهد و دارای آند وجود ندارد ($P\text{-Value} = 0/081$). همچنین نتایج آزمون من ویتنی‌یو نشان داد اختلاف معنی‌داری بین سطوح ریسک محاسبه شده در آندهای چدنی ($33/85$) نسبت به مولیبدنی ($28/70$) وجود دارد ($P\text{-Value} = 0/034$). مقادیر ریسک در هر دو آندهای موجود در استان کاملاً قابل قبول است؛ لذا براساس این نتایج، در حال حاضر، هیچ ریسکی از به‌کارگیری این فناوری که مشکلات ایمنی محیط‌زیستی داشته باشد، وجود نداشته. اما استفاده از آندهای مولیبدنی و توسعه فضای سبز در ایستگاه‌های حفاظت کاتدیک اکیداً توصیه می‌شود.

اطلاعات مقاله

تاریخ ارسال نویسنده: ۹۷/۱۱/۰۲

تاریخ ارسال به داور: ۹۷/۰۲/۲۴

تاریخ پذیرش داور: ۹۷/۰۴/۱۸

واژگان کلیدی:

گاز، آند، ریسک، استاندارد

مقدمه

انتقال حامل‌های انرژی از طریق خطوط لوله یکی از اقتصادی‌ترین روش‌های انتقال گاز طبیعی، نفت و فرآورده‌های نفتی می‌باشد، اما خوردگی این خطوط از دیرباز یکی از بزرگ‌ترین مشکلات انتقال خطوط گاز بوده است که نه تنها سبب ایجاد هزینه‌های زیاد تعمیرات می‌شود، بلکه توقف تولید در زمان تعمیرات و مسائل ایمنی نیز خسارات هنگفتی به وجود می‌آورد [۱]. در جایی که لوله خورده می‌شود، جریان از فلز (لوله) به الکترولیت (خاک یا آب) جاری می‌شود و در جایی که جریان از الکترولیت به طرف لوله جاری می‌شود سطح لوله کاتدی شده و خورده نمی‌شود. در سیستم حفاظت کاتدی، جریان مستقیم از یک منبع خارجی به سطح خارجی خط لوله اعمال می‌شود. زمانی که این جریان به مقدار مناسب تنظیم گردد، با جریان خروجی از کلیه نقاط آندی روی لوله مقابله کرده و بر سطح لوله و به کلیه نقاط جریان می‌یابد. در این صورت سطح لوله کاتدی شده و حفاظت کامل می‌شود [۲]. براساس اطلاعات موجود، سه نوع آند جهت حفاظت از خوردگی وجود دارند [۳] که شامل آندهای منیزیمی، آندهای چدنی پرسیلیس و آندهای مولیبدنی می‌شوند. آندهای منیزیم جهت حفاظت بیش‌تر از سازه‌های فلزی مدفون در یک محدوده مقاومت‌های مخصوص الکتریکی خاک، می‌توانند،

استفاده شوند. ترکیب شیمیایی آندهای منیزیمی شامل: آلومینیوم، منیزیم، مس، سیلیکون، آهن، نیکل، می‌باشد. این نوع آندها بسیار قدیمی و تقریباً در تمام دنیا از مدار خارج شده‌اند. در استان زنجان نیز تمام این آندها (آندهای منیزیمی) جایگزین گردیده‌اند. آندهای چدنی پرسیلیس متداول‌ترین آندهای مورد استفاده در سیستم‌های تریبوتی جریان جهت حفاظت از خوردگی سازه‌های فلزی و خطوط لوله می‌باشند. آندهای چدنی پرسیلیس از نظر ترکیبات شیمیایی شامل: سیلیسیم، منگنز، مولیبدن، مس، آهن و همچنین کبالت، کادمیوم، نیکل، منیزیم می‌شوند. چدن‌های پرسیلیس از آن دسته آلیاژی هستند که دارای استحکام کششی پایین، سختی سطح بالا و تا اندازه‌ای ترد و شکننده می‌باشند. آندهای چدنی پرسیلیس نیز از جمله آندهای قدیمی، سنگین وزن و با عملکرد پایینی هستند که در آینده نزدیک، از مدار خارج خواهند شد [۴]. گرچه هنوز در استان زنجان، این آندها وجود دارند ولی مروری بر منابع تحقیق و بازدیدهای نمونه‌برداری بیانگر لزوم جایگزینی این آندهاست. شاید مهم‌ترین دلیل استفاده از این نوع آندها، قیمت ارزان آن باشد و گرنه از نظر تعبیه در چاه‌ها، بازرسی‌های دوره‌ای، عملکرد فنی و میزان طول عمر، مشکلات مهمی دارند. آندهای مولیبدنی^۱ (MMO) کلاسی

* نویسنده‌ی عهده‌دار مکاتبات (j.aazami@znu.ac.ir)

بالفعل شدن یک خطر است. به صورت ریاضی ریسک را از حاصل ضرب احتمال یک واقعه نامطلوب خاص (مانند صدمه جسمانی، حریق و غیره) در پیامد آن واقعه به دست می‌آورند [۸]

$$\text{Risk} = P \times C$$

P: احتمال یا تکرار رخداد یک واقعه نامطلوب معمولاً با احتمال آن در یک دوره مشخص یا فرکانس آن (تعداد وقایع در واحد زمان) اندازه‌گیری و بیان می‌شود و C: پیامد واقعه است.

مطالعات بسیار اندکی در ارزیابی ریسک به صورت کلی در صنعت گاز در کشور وجود دارد و از طرفی به طور تقریبی هیچ مطالعه‌ی در ایران در موضوع ارزیابی ریسک‌های محیط‌زیستی ناشی از آندها در چاه‌های حفاظت کاتدی انجام نشده است. بنابراین نتایج این مطالعه، می‌تواند بسیار کارآمد و ضروری باشد. هدف از مطالعه حاضر سنجش مقادیر مهم‌ترین عناصر سازنده آندهاست. مقایسه مقادیر به دست آمده با استانداردهای ملی و بین‌المللی و سپس محاسبه ریسک‌های احتمالی از جمله اهداف این پژوهش است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

استان زنجان که از آن به‌عنوان فلات زنجان نیز نام برده می‌شود، در شمال‌غربی کشور، بین ۴۸ درجه و ۳۱ دقیقه شرقی و عرض

از آندهای به‌کار رفته در سیستم اعمال جریان حفاظت کاتدی هستند که امروزه جزو پرمصرف‌ترین آندها در سیستم چاه حفاظت کاتدی به‌شمار می‌روند. پوشش آندهای MMO بسیار نازک (در حد چند میکرون) بوده و بر روی فلز پایه، به روش‌های مختلف قابل اعمال است. این پوشش بسته به نوع کاربرد می‌تواند تلفیقی از دو یا چند اکسید فلزی شامل اکسیدهای ایریدیوم، تانتالیوم، رنتیوم و اکسید تیتانیوم باشد. آندهای مولیبدنی به دلیل جرم سبک، تعبیه آسان، عملکرد بالا، طول عمر زیاد و سهولت بازرسی‌ها مورد توجه‌اند [۵،۶]. تنها مشکل این آندها، قیمت بالاتر و سهولت بالا آمدن از چاه‌ها می‌باشد که سارقان براحتی می‌توانند آن را بالا کشیده و سیم‌های رابط را که غالباً از جنس مس می‌باشند، سرقت کنند. در حالی که بالا آوردن آندهای چدنی پرسیلیس به دلیل جرمی بالاتر از ۳۰ تا ۴۰ کیلوگرم، زمان‌بر، سخت و نیاز به ابزارات خاصی است. قابل ذکر است که جرم سیم‌های رابط به آندها نیز در چاه لحاظ شود، جرم کلی بیش از ۲۰۰ کیلوگرم خواهد بود که عملاً بالا آوردن با نیروی دست، سخت است [۷] به‌رحال با توجه به وجود هر دو نوع آند (آندهای چدنی پرسیلیس و آندهای مولیبدنی) در سیستم حفاظت کاتدی استان، میزان ریسک‌های محیط‌زیستی هر دو مورد بررسی قرار گرفت. ریسک عبارت است از احتمالی که مخاطره باعث صدمه و خسارت شود ضرب در شدت آن صدمه یا خسارت. بنابراین ریسک، احتمال

کد ایستگاه	نام ایستگاه	نوع آند	سطح آب	وضعیت آند	مقاومت الکتریکی ویژه خاک	مختصات جغرافیایی (UTM)		ارتفاع از سطح دریا	کاربری اراضی حاشیه
						N	E		
۱	کوچه‌مشکی	چدنی	۳۰	C	-	۲۷۶۳۱۹	۴۰۶۲۳۱۷	۱۶۷۸	داخل شهر زنجان
۲	دیزج‌آباد	چدنی	۴۹	B	۴۵/۶	۲۸۵۴۴۸	۴۰۵۶۶۸۰	۱۶۹۵	حومه شهر زنجان (اراضی بایر)
۳	آب‌بر	چدنی	۵۷	B	۲۳/۳	۳۱۶۶۴۷	۴۰۸۹۳۸۷	۶۲۵	روستایی
۴	سرچم	مولیبدنی		A	۶/۱	۷۵۹۰۰۲	۴۱۱۲۰۷۵	۱۱۷۱	کوهستانی
۵	قره‌گل	مولیبدنی	۹۰	B	۱۱۳	۷۵۳۴۰۴	۴۰۵۴۸۸۴	۱۴۹۲	بایر
۶	شناط	چدنی	۴۲	C		۳۴۱۷۶۹	۴۰۰۳۶۷۰	۱۵۴۹	داخل شهر ابهر
۷	شاهد کوچه مشکی								
۸	شاهد دیزج‌آباد								
۹	شاهد سرچم								
۱۰	شاهد آب‌بر								
۱۱	رسوب آندی کوچه مشکی								

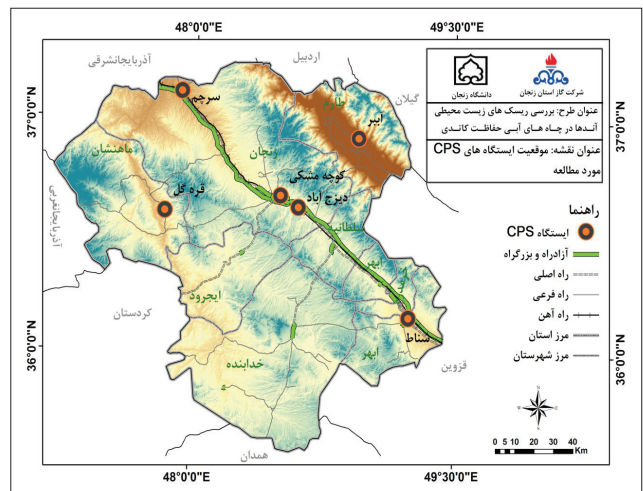
سنجنده گاز در استان، مصرف خانگی جمعیت مذکور را اندازه‌گیری می‌کنند. هم‌چنین بیش از ۲۰ هزار سنجنده صنعتی وجود دارد. وجود دو ناحیه صنعتی بزرگ و فعال در سطح استان، به نام‌های ایجرود و طارم و هم‌چنین ۱۱ شهرک مهم موجب شده است تا حجم گاز قابل‌توجهی در خطوط انتقال گاز جریان یابد، به‌طوری‌که طول خطوط انتقال گاز موجود در این استان بیش از ۵۸۳ کیلومتر است که عملیات گازرسانی را به شهرهای مختلف انجام می‌دهد. در این استان، ۶۳ نقطه چاه حفاظت کاتدیک (CPS) با توزیع زیر وجود دارد (شکل-۱). در تمامی این چاه‌های حفاظت کاتدی، از آندها جهت محافظت لوله استفاده می‌گردد، گرچه برخی از این آندها به‌طور افقی در چاه تعبیه شدند و هم‌چنین از نظر جنس آندی نیز تفاوت‌هایی دارند که در بخش‌های قبلی به آن اشاره شده است.

نمونه‌برداری

نمونه‌برداری از آب و رسوبات بستر چاه‌ها در شهریورماه ۱۳۹۶ در ۱۱ نقطه انجام گرفت که مشخصات ایستگاه‌ها در جدول-۱ نشان داده شده است.

ایستگاه‌های شاهد به این دلیل انتخاب می‌شوند که به‌عنوان مقدار کمی موجود در هر بازه یا نقطه که شرایط طبیعی را دارد مشخص گردد و در واقع آن بخش از آلودگی که به‌طور طبیعی در منطقه وجود دارد، به توسعه فعالیت یا آندهای موجود در چاه‌ها نسبت داده

جغرافیایی ۳۶ درجه و ۳۹ دقیقه شمالی واقع شده است. این استان از شمال به استان‌های اردبیل و آذربایجان شرقی، از جنوب به استان همدان، از شرق به استان‌های قزوین و گیلان و از غرب به استان‌های کردستان و آذربایجان غربی محدود است، که شامل هفت شهرستان به نام‌های زنجان، ابهر، طارم، خدابنده، خرمدره، ایجرود، و ماهنشان می‌باشد. استان زنجان با مساحت ۲۲۱۶۴ کیلومترمربع و جمعیت ۱۰۵۷۴۶۱ نفر به ترتیب ۱/۳۴ و ۱/۳۲ درصد از مساحت و جمعیت کشور را در برمی‌گیرد. تعداد کل شهرهای استان ۲۱ شهر بوده که تماماً تحت پوشش خدمات گازرسانی هستند و بیش از ۲۸۰۰۰۰



شکل ۱ | نقاط نمونه‌برداری در استان زنجان

جدول ۲ | حد مجاز پارامترهای ارزیابی شده در آب شرب و کشاورزی بر اساس استاندارد ملی ایران (IRST) شماره ۱۰۵۳، سازمان بهداشت جهانی WHO، سازمان حفاظت محیط‌زیست آمریکا EPA، سازمان خواربار و کشاورزی آمریکا FAO.

آب کشاورزی				آب شرب			نوع	مصرف نام پارامتر
EPA	WHO	(IRST)	FAO	EPA	WHO	(IRST)		
۶/۵ - ۸/۴	۶ - ۸/۵	۶ - ۸/۵	۶/۵ - ۸	۶ - ۸/۵	۶ - ۸/۵	۶/۵ - ۹	pH	
۲	*	50	*	*	5	۵	کدورت	
*	۱۵۰۰	۱۵۰۰	*	۷۰۰	۷۰۰	۷۵۰	هدایت الکتریکی (μs cm ⁻¹)	
*	*	۱۰۰	۳۰۰	*	*	*	کل مواد جامد معلق (mg/L)	
۵	۵	۱	۵	*	۰/۱	۰/۰۱	سرب (mg/L)	
۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۵	۰/۰۱	۰/۰۰۵	۰/۰۰۵	۰/۰۰۳	کادمیوم (mg/L)	
۱	۲	۲	۲	-	۵	۳	روی (mg/L)	
۰/۲	۰/۲	۰/۲	۰/۲	۱/۳	۱	۲	مس (mg/L)	
۵	۵	۳	۵	*	۰/۱	۰/۳	آهن (mg/L)	
۰/۲	۰/۲	۲	۰/۲	*	*	۰/۰۷	نیکل (mg/L)	
۰/۰۵	*	۰/۰۵	۰/۰۵	*	*	*	کبالت (mg/L)	
۰/۲	۰/۲	۱	۰/۲	*	۰/۵	۰/۴	منگنز (mg/L)	
۲۵	۱۵۰	۱۰۰	*	*	۵۰	۵۰	منیزیم (mg/L)	

می‌باشند. در این پژوهش برای هضم نمونه‌ی رسوب آندی از اسید کلریدریک (مرک) ۳۷ درصد و نیتریک اسید (مرک) ۶۵ درصد استفاده شد.

آماده‌سازی نمونه‌ها در آزمایشگاه

برای اندازه‌گیری ویژگی کل مواد معلق جامد از روش توزین تفاضل استفاده شد. مقدار ۱۰۰ میلی‌لیتر نمونه‌ی آب از ایستگاه‌های مختلف با کاغذ صافی معمولی صاف گردید. سپس کاغذ صافی خشک و از تفاضل کاغذ صافی پیش و پس از صاف کردن، مقدار کل مواد معلق بر حسب میلی‌گرم بر لیتر به دست آمد. جهت اندازه‌گیری مقدار فلزهای سنگین در نمونه‌ی رسوب آندی کوچه‌مشکی بعد از هوا خشک شدن، مقدار ۱ گرم از نمونه با ترازو توزین شد، سپس درون ارلن ۵۰ میلی‌لیتری ریخته و با افزایش ۱۰ میلی‌لیتر تیزاب سلطانی (با نسبت ترکیبی ۳ درصد اسید کلریدریک و ۱ درصد نیتریک اسید) به نمونه، به مدت ۲۴ ساعت زیر هود آزمایشگاهی نگهداری شد. پس از آن نمونه‌ی محلول حاصل، از کاغذ صافی واتمن عبور داده و به داخل بالن ۵۰ میلی‌لیتر ریخته و با آب مقطر به حجم ۵۰ میلی‌لیتر رسانده شد. سپس محلول حاصل در ظرف مخصوصی

نشود. این ایستگاه از چاه‌های آب اطراف منطقه انتخاب شدند.

مواد و دستگاه‌های نمونه‌برداری

دستگاه‌های مورد استفاده در این پژوهش دستگاه GPS Garmin، دستگاه GOSX برای ثبت مختصات جغرافیایی محل نمونه‌برداری، دستگاه نمونه‌برداری از عمق آب مدل PWS، دستگاه پرتابل مولتی‌متر HQd field case HACH برای اندازه‌گیری ویژگی‌های pH، EC، دستگاه کدورت‌سنج مدل Turbidimeter HACH 2100، دستگاه طیفی‌سنج جذب اتمی شعله‌ای Varian مدل (AA 240)، برای اندازه‌گیری غلظت فلزات سنگین و ترازو (Electronic Balance FX 400) جهت توزین

۳ | نحوه‌ی ارزش‌گذاری ارجحیت در ماتریس مقایسه زوجی

امتیاز	تعریف	توضیح
۱	اهمیت مساوی	در تحقق هدف، دو شاخص اهمیت مساوی دارند
۳	اهمیت اندکی بیش‌تر	تجربه نشان می‌دهد که برای تحقق هدف، اهمیت اندکی بیش‌تر از زاست
۵	اهمیت بیش‌تر	تجربه نشان می‌دهد که برای تحقق هدف، اهمیت آبی‌تر از زاست
۷	اهمیت خیلی بیش‌تر	تجربه نشان می‌دهد که برای تحقق هدف، اهمیت آبی‌تری بیش‌تر از زاست
۹	اهمیت مطلق	اهمیت خیلی بیشتر نسبت به زبه‌طور قطعی به اثبات رسیده است
۲، ۴، ۶، ۸	ترجیحات بینابین	هنگامی که حالت میانه وجود دارد.

۴ | نتایج بدست آمده از میانگین سه تکرار پارامترهای سنجش شده

نام پارامتر	کد ایستگاه										
	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱
pH	۶/۶۵	۶/۶۳	۵/۶۸	۶/۲۳	۷/۶۵	۸/۸۷	۷/۷۵	۷/۷۱	۷/۱۰	۷/۳۷	-
کدورت	۱۱۶	>۸۰۰	۶۰۴	۱۶۰	۵/۵	۹۵	۱/۳۰	۴/۲۰	۲/۵۹	۱/۰۲	-
هدایت الکتریکی ($\mu\text{s cm}^{-1}$)	۱۳۸۵	۵۰۰	۴۴۹۰	۲۴۱۰	۱۴۰۶	۷۷۲	۳۱۸	۳۳۸	۲۶۹۰	۲۵۵۰	-
کل مواد جامد معلق (mg/L)	۱۳۰	۲۲۷۲۰	۳۵۰	۱۶۰	۱۰۰	۱۶۰	۵۰	۳۰	۱۱۰	۸۰	-
سرب (mg/L)	ND	۰/۰۲	ND	۰/۰۱	ND	ND	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۸	۰/۵۸	-
کادمیوم (mg/L)	۰/۰۱	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	-
روی (mg/L)	ND	۰/۰۳	۰/۰۱	ND	۰/۰۱	۰/۰۰۹	ND	۰/۰۳	۰/۲۹	۰/۱۵	-
مس (mg/L)	0/01	ND	۰/۱۶	ND	ND	ND	ND	ND	۰/۰۲	ND	-
آهن (mg/L)	۴۸	۰/۰۶	۴۲۵	۱/۱	ND	ND	ND	ND	۰/۵	ND	-
نیکل (mg/L)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	-
کبالت (mg/L)	0/01	ND	۰/۰۴	ND	ND	ND	ND	ND	۰/۰۲	ND	-
منگنز (mg/L)	۱/۰۱	۱/۲	۲/۱۶	۰/۳۶	ND	۰/۳۲	ND	ND	۰/۰۴	ND	-
منیزیم (mg/L)	۲۷	۱۴	۲۵۷	۳۶	۴۰/۴	۲۱/۶	۴	۲۶	۹۷	۱۹/۴	-

*ND: غیر قابل سنجش برای دستگاه اندازه‌گیری

ویژگی‌های آمار توصیفی در نمونه‌های آب						
ویژگی	تعداد	کمینه	بیشینه	میانگین	انحراف معیار	
pH	نمونه چاه	۱۸	۶/۱۸۰۰	۸/۹۲۰	۷/۱۱۸	۰/۹۲۰
	نمونه شاهد	۱۲	۷/۰۵۰	۷/۸۰۰	۷/۴۸۲	۰/۲۸۰
کدورت	نمونه چاه	۱۵	۵/۴۰۰	۶۰۴/۱۰۰	۱۹۶/۱۰۰	۲۱۷/۴۴۵
	نمونه شاهد	۱۲	۰/۹۲۰	۴/۳۰	۲/۲۷۷	۱/۳۱۶
هدایت الکتریکی	نمونه چاه	۱۸	۴۹۹/۹۰۰	۴۴۹۰/۱۰۰	۱۸۲۷/۱۶۷	۱۳۷۲/۷۱۸
	نمونه شاهد	۱۲	۳۱۷/۹۰۰	۲۶۹۰/۱۰۰	۱۴۷۴/۰۰۰	۱۱۹۸/۰۹۶
کل مواد جامد معلق	نمونه چاه	۱۸	۹۹/۹۰۰	۲۲۷۲۰/۱۰۰	۳۹۳۶/۶۶۷	۸۶۴۴/۰۸۹۴
	نمونه شاهد	۱۲	۲۹/۹۰۰	۱۱۰/۱۰۰	۶۷/۵۰۰	۳۱/۶۵۸
سرب	نمونه چاه	۱۸	۰/۰۰۲	۰/۰۲۵	۰/۰۰۷	۰/۰۰۶
	نمونه شاهد	۱۲	۰/۰۰۲	۰/۰۸۵	۰/۰۲۵	۰/۰۳۳
کادمیوم	نمونه چاه	۱۸	۰/۰۰۰۶	۰/۰۱۵	۰/۰۰۲	۰/۰۰۳
	نمونه شاهد	۱۲	۰/۰۰۰۶	۰/۰۰۰۸	۰/۰۰۰۶	۰/۰۰۰
روی	نمونه چاه	۱۸	۰/۰۰۰۲	۰/۰۳۵	۰/۰۹۰	۰/۰۱۰
	نمونه شاهد	۱۲	۰/۰۰۰۲	۰/۲۹۵	۰/۰۸۳	۰/۱۲۴
مس	نمونه چاه	۱۸	۰/۰۰۱	۰/۱۶۵	۰/۰۲۹	۰/۰۶۰
	نمونه شاهد	۱۲	۰/۰۰۱	۰/۰۲۵	۰/۰۰۵	۰/۰۰۸
آهن	نمونه چاه	۱۸	۰/۰۰۱	۴۲۵/۱۰۰	۷۹/۰۲۴	۱۶۰/۲۱۷
	نمونه شاهد	۱۲	۰/۰۰۱	۰/۶۰۰	۰/۱۲۶	۰/۲۲۹
نیکل	نمونه چاه	۱۸	۰/۰۰۲	۰/۰۰۴	۰/۰۰۳	۰/۰۰۰۸
	نمونه شاهد	۱۲	۰/۰۰۲	۰/۰۰۴	۰/۰۰۳	۰/۰۰۰۸
کبالت	نمونه چاه	۱۸	۰/۰۰۱	۰/۰۴۵	۰/۰۱۰	۰/۰۱۴
	نمونه شاهد	۱۲	۰/۰۰۱	۰/۰۲۵	۰/۰۰۷	۰/۰۰۸
منگنز	نمونه چاه	۱۸	۰/۰۰۶	۲/۲۶۰	۰/۸۴۲	۰/۷۴۳
	نمونه شاهد	۱۲	۰/۰۰۶	۰/۰۵۰	۰/۰۱۵	۰/۰۱۵
منیزیم	نمونه چاه	۱۸	۱۳/۹۰۰	۲۵۷/۱۰۰	۶۵/۹۴۰	۸۸/۳۶۸
		۱۲	۳/۹۰۰	۹۷/۱۰۰	۳۶/۶۰۰	۳۷/۳۶

ریخته شد. برای اندازه‌گیری نمونه‌ی آب ایستگاه‌های مورد پژوهش بعد از صاف کردن، ۱۰۰ میلی‌لیتر از نمونه‌ها در ظرف مخصوص ریخته شد. در نهایت نمونه‌های آماده شده برای آنالیز مقدار فلزهای سنگین از جمله سرب، کادمیوم، روی، مس، آهن، نیکل، کبالت، منگنز، منیزیم، توسط دستگاه جذب اتمی شعله‌ای مورد آزمایش قرار گرفت [۹].

استانداردهای مورد استفاده ملی و بین‌المللی

استانداردهای تعیین شده توسط استاندارد ملی ایران شماره ۱۰۵۳ (IRST)، سازمان بهداشت جهانی WHO، سازمان حفاظت محیط‌زیست آمریکا EPA در جدول-۲ آمده است [۱۱ و ۱۰].

تجزیه و تحلیل‌های آماری

به‌منظور مطالعه‌ی آماری بیش‌تر داده‌های به‌دست آمده، آزمون‌های آماری مختلف با استفاده از نرم‌فزارهای SPSS 23 و Excel 2013 انجام شد. از آن‌جایی‌که پیش از طرح آزمون نیازمند به بررسی توزیع جامعه داده‌ها می‌باشد، در بخش نخست به بررسی جامعه آماری داده‌های مورد مطالعه پرداخته شد. مقدار p برابر ۰/۰۵ یا سطح اطمینان ۹۵٪ برای معنی‌دار بودن آماره‌ی آزمون‌ها انتخاب گردید. تجزیه و تحلیل مولفه‌های اصلی (PCA)، فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و مقایسه زوجی به‌صورت ارزش‌گذاری عنصر سطر نسبت به عنصر ستون انجام شد. برای ارزش‌گذاری نیز معمولاً از یک مقیاس فاصله‌ای از ۱ تا ۹ استفاده می‌شود [۱۲]. هرچه مقدار ارزش داده شده بیشتر باشد نشان‌دهنده‌ی اهمیت و ارجحیت بیشتر عنصر سطری نسبت به عنصر ستونی است، به‌طوری‌که ارزش ۹ بیانگر کاملاً مهم‌تر و ارزش یک بیانگر با ارجحیت و اهمیت یکسان است. وزن‌های نسبی هریک از معیارها در ستون آخر جدول درج شده و مجموع آنها برابر صد است.

نتایج

مقادیر فلزات روی، سرب، کادمیوم، مس، آهن، نیکل، کبالت، منگنز و منیزیم که مهم‌ترین اجزا سازنده آندها و موثر بر محیط‌زیست هستند، مورد آنالیز قرار گرفت (جدول-۴).

اندازه‌گیری فلزهای سنگین سرب، کادمیوم، روی، آهن، مس، کبالت و نیکل در چاه‌های نمونه‌برداری نشان می‌دهد که مقدار هیچ‌یک از فلزات در خارج از مقدار استاندارد پیشنهاد شده نمی‌باشد، لذا از نظر غلظت وارد شده به محیط طبیعی، به‌نظر می‌رسد آثار

و با طول عمر بالاست. به هر حال طول عمر آندها به طور دقیق در دسترس نبود، اما پیش‌بینی می‌شود که طول عمر با خوردگی ارتباط مستقیمی داشته باشد.

در این پژوهش ویژگی‌های کیفی آب ایستگاه‌های نمونه‌برداری شامل pH، هدایت الکتریکی (EC)، کدورت، مجموع ذرات معلق (TSS)، و مقدار فلزهای سنگین از جمله سرب، کادمیوم، روی، مس، آهن، نیکل، کبالت، منگنز، منیزیم اندازه‌گیری شده است. به منظور ساده‌سازی داده‌های مربوط، برخی از ویژگی‌های آمار توصیفی از جمله: تعداد، کمینه، بیشینه میانگین و انحراف معیار، واریانس نمونه‌های آب و نمونه‌ی رسوب آندی به ترتیب در جدول ۵ آورده شده است.

به منظور بررسی و مقایسه ویژگی‌های نمونه‌های آب در چاه‌های شاهد و چاه‌های حفاظت کاتدیک از آزمون ناپارامتری من-ویتنی یو استفاده شد (جدول ۶). با توجه به مقدار p کمتر از ۰/۰۵ می‌توان گفت که در میانگین pH، کدورت، کل مواد جامد معلق، آهن و منگنز در دو گروه چاه نمونه‌برداری شده اختلاف معنی‌دار وجود دارد.

در تحلیل نتایج جدول بالا، مقدار KMO همواره بین ۰ و ۱ در نوسان است. در حالی که KMO کمتر از ۰/۵ باشد، داده‌ها برای تحلیل عاملی مناسب نخواهند بود. اگر مقدار آن بین ۰/۵ تا ۰/۶۹ باشد، داده‌ها متوسط بوده و اگر مقدار این شاخص بزرگتر از ۰/۷ باشد، همبستگی‌های موجود در بین داده‌ها برای تحلیل عاملی مناسب خواهند بود [۱۳]. لازم به یادآوری است مقدار KMO در این پژوهش ۰/۶۴۳ است که سطح داده‌های متوسط را معرفی می‌کند. در جدول ۷ مقدار عامل‌های استخراج شده و در شکل ۲ مولفه‌های اصلی نشان داده شده است.

ویژگی‌ها در ابتدا ارزشی برابر یک داشتند و پس از آزمون همبستگی تعیین شد که هر کدام از ویژگی‌ها چقدر بر روی دیگر ویژگی‌ها اثر گذاشته و چقدر اثرش در سایر ویژگی‌ها پخش شده است. فلز نیکل بیشتر از همه در سایر ویژگی‌ها پخش گردیده است. در حالی که فلز آهن کمترین پخش‌شدگی را در سایر ویژگی‌ها دارا می‌باشد. شکل ۲- بیانگر آن است که سه گروه عنصری متفاوت در اعداد فلزها وجود دارد که شامل گروه اول: کبالت، منیزیم، مس، آهن، منگنز، گروه دوم: سرب و روی و گروه سوم: نیکل و کادمیوم قرار دارند. البته توزیع قرارگیری این عناصر بر مولفه‌ی نخست آزمون (PC1) بیانگر تفاوت‌های معنی‌داری است که در مقادیر نمونه‌ها مورد سنجش وجود دارد. برای مولفه دوم (PC2) نیز چنین استباطی وجود

نامطلوبی نداشته باشند. ایستگاه شماره ۱۱ مربوط به رسوب آندی است که نشان می‌دهد این رسوب در طی سالیان طولانی سبب افزایش فلزهای سنگین آب شود. برای فلز منگنز دیده شد که در دو نمونه چاه ۲ و ۳ مقدار منگنز بیش از حد مجاز است که می‌تواند به دلیل خوردگی آندهای چدنی باشد. در اندازه‌گیری فلز منیزیم نیز در ایستگاه ۳ همین رفتار دیده شد. آند چاه شماره ۲ از جنس چدنی

جدول ۶ | مقایسه میانگین ویژگی‌های نمونه‌های شاهد و نمونه‌های حقیقی (آزمون من-ویتنی یو)

ویژگی	Mann-Whitney U	Wilcoxon W	z	p
pH	۵۵/۵۰۰	۲۲۶/۵۰۰	-۲/۲۲۳	۰/۰۲۶
کدورت	۰/۰۰۰	۷۸	-۴/۳۹۲	۰/۰۰۰
هدایت الکتریکی	۹۰	۱۶۸	-۰/۷۶۲	۰/۴۴۶
کل مواد جامد معلق	۹	۸۷	-۴/۱۹۲	۰/۰۰۰
سرب	۶۲	۲۳۳	-۱/۹۶۴	۰/۰۴۹
کادمیوم	۹۰	۱۶۸	-۰/۷۹۴	۰/۴۲۷
روی	۶۳/۵۰۰	۲۳۴/۵۰۰	-۱/۸۸۹	۰/۰۵۹
مس	۹۸/۵۰۰	۱۷۶/۵۰۰	-۰/۴۱۰	۰/۶۸۲
آهن	۵۴	۱۳۲	-۲/۳۰۱	۰/۰۲۱
نیکل	۱۰۸	۱۸۶	۰	۱
کبالت	۱۰۱/۵۰۰	۱۷۹/۵۰۰	-۰/۲۸۰	۰/۰۷۷۹
منگنز	۲۲/۵۰۰	۱۰۰/۵۰۰	-۳/۶۳۲	۰/۰۰۰
منیزیم	۷۲	۱۵۰	-۱/۵۲۴	۰/۱۲۸

جدول ۷ | مقدار ویژه نخستین و مقدار استخراج شده‌ی آنها

ویژگی	مقدار ویژه نخستین	مقدار استخراج شده
Pb	۱	۰/۹۱۱
Cd	۱	۰/۸۳۴
Zn	۱	۰/۹۹۴
Cu	۱	۰/۹۹۸
Fe	۱	۰/۹۹۹
Ni	۱	۰/۸۳۰
Co	۱	۰/۹۹۷
Mn	۱	۰/۸۸۶
Mg	۱	۰/۹۹۶

جدول ۸ | نتایج ماتریس ارزش‌گذاری معیارهای کلی

معیارها	بهداشت	ایمنی	محیط زیست	وزن نهایی نرمال شده
بهداشت	۱	۳	۵	۶۰/۵۴
ایمنی	۰/۳۳	۱	۳	۲۹/۱۵
محیط زیست	۰/۲۰	۰/۳۳	۱	۱۰/۳۱

دارد، به طوری که مقادیر فلزها می‌تواند بیانگر عدم وجود ارتباط معنی‌داری با هم باشند. لازم به ذکر است که از آنجایی که موقعیت قرارگیری ایستگاه‌های کوچه مشکی، دیزج‌آباد و شناس در یک سفره آب زیرزمینی بوده و احتمال اختلاط آب‌های زیرزمینی با همدیگر بالاست، لذا حد مجاز شرب جهت ارزیابی ریسک آندها در چاه‌های مورد مطالعه، مبنای مقایسه بود. احتمال تماس با این توجیه در نظر گرفته شده است که آب‌های زیرزمین به طور مداوم با محیط اطراف، در تماس هستند. البته این سخت‌گیرانه‌ترین حالت است و بدیهی است زمانی که مقدار آلودگی با حد مجاز شرب، مقایسه گردد و میزان آن، دارای ریسک نباشد؛ برای محیط‌زیست یا بخش کشاورزی (آبیاری کشاورزی) که ملاک مقایسه در این پژوهش نیز می‌باشد، قطعاً بدون ریسک خواهد بود. میانگین ریسک براساس سنجش پارامترهای انجام شده به روش ویلیام فاین [۱۴] و نتایج ارزیابی جدول ریسک در نمونه‌های مورد مطالعه در شکل-۳ آورده شده است. تحلیل نتایج ارزیابی AHP بیانگر اهمیت بسیار بیشتر معیارهای بهداشت نسبت به ایمنی و در نهایت محیط زیست است. در واقع براساس نظرات کارشناسان و متخصصان، اهمیت معیارهای بهداشتی نسبت به معیارهای ایمنی در اولویت بیشتری در چاه‌های آبی حفاظت کاتدیک قرار دارد که می‌تواند همانطور که در بخش قبلی بیان شد، کاملاً نسبی باشد.

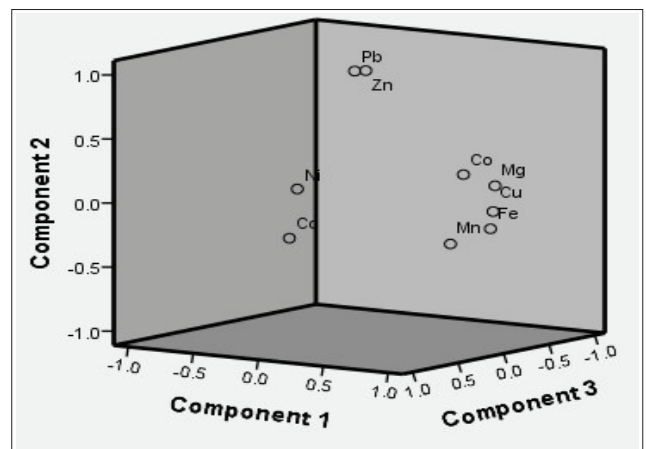
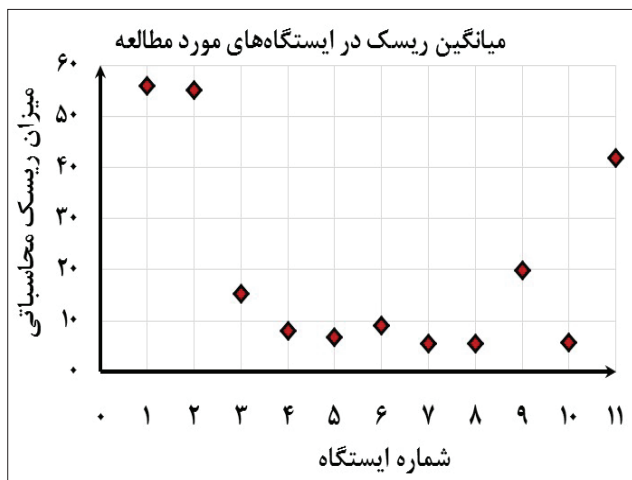
از نظر آماری در سطح ۰/۰۵ بین ایستگاه دارای آندهای MMO و

رسوب آندی اختلاف معنی‌داری وجود دارد (P-Value = ۰/۰۴۹) البته این اختلاف خیلی شدید نیست و این نتیجه همراستا با مطالعه Rousseau و همکاران ۲۰۰۹ است [۱۵]. اختلاف معنی‌داری از نظر آماری در سطح ۰/۰۵ بین ایستگاه‌های شاهد و ایستگاه دارای آندهای چدنی وجود ندارد (P-Value = ۰/۰۸۱)؛ بنابراین علی‌رغم برخی مشکلات در نصب این نوع آندها و بدون در نظر گرفتن کارایی آنها در حفاظت کاتدی، آلودگی خاصی از این نوع آندها به محیط آبی موجود در چاه‌ها وارد نمی‌شود که همراستا با نتایج دیگران نیز می‌باشد. [۱۶].

بهرحال، از نظر آماری در سطح ۰/۰۵ بین ایستگاه شاهد و رسوب آندی اختلاف معنی‌داری وجود دارد (P-Value = ۰/۰۳۲) که به دلیل تجمع زیاد آن در رسوب است. پتانسیل تجمع آلودگی‌ها در بسترهای رسوبی و رسوبات نسبت به آب‌های راکد موجود در چاه‌ها قبلاً اثبات گردیده است که با نتایج این مطالعه تطابق دارد [۱۷]. نتایج آزمون من-ویتنی یو نشان داد اختلاف معنی‌داری بین سطوح ریسک محاسبه شده در آندهای چدنی نسبت به آندهای مولیبدنی وجود دارد (P-Value = ۰/۰۳۴)، میانگین ریسک در آندهای چدنی ۳۳/۸۵ بود، در حالی که میانگین ریسک برای آندهای MMO، عدد ۲۸/۷ به دست آمد. در واقع آندهای MMO، دارای ریسک کمتری هستند و نه تنها به دلیل ریسک کمتر سلامت محیط زیستی، بلکه به دلیل آسانی کاربرد و کارایی بهتر در طول زمان، در کشورهای توسعه یافته بسیار پرکاربردتر هستند [۱۸ و ۱۹]. آنچه از نتایج برمی‌آید بیانگر عدم وجود آلودگی‌های بیش از حد استاندارد در همه آندهای استفاده شده در چاه‌های حفاظت کاتدیک است. گرچه هیچ‌یک از آندها، دارای ریسک بالا نبودند اما بر اساس نتایج این پژوهش ریسک‌های محیط‌زیستی ناشی از آندهای جدید MMO بسیار کمتر از سایر آندهاست. در

نتیجه‌گیری

از نظر آماری در سطح ۰/۰۵ بین ایستگاه دارای آندهای MMO و



به صورت عمودی و در اعماق زمین به صورت چاه‌ها هستند و تا به انسان برسند و عوارض نامطلوب خود را نشان دهند، فاصله زیادی است. در واقع خود اجزاء طبیعت به قدری پتانسیل خود بالایی دارد که مقادیر عددی این پارامترهای ناشی از توسعه و فناوری انتقال گاز تا حد زیادی کنترل و کاهش می‌دهد و لذا از نظر شاخص‌های سلامت جامعه در حال حاضر با بررسی نتایج این مطالعه هیچ تهدید خاصی وجود ندارد. با این حال توسعه فضای سبز در خود ایستگاه با کاشت برخی درختان در محوطه ایستگاه‌های گاز رسانی جهت تأمین محیط زیست سالم تر توصیه می‌شود. ■

این باره لازم است توضیح داده شود که آندهای MMO نسل جدید آندهای حفاظت کننده هستند و علی‌رغم سبکی و سهولت در استفاده و کارگذاری در چاه‌ها از نظر محیط‌زیستی نیز اثرات نامطلوب کمتری دارند. البته نکته مهم و قابل ذکر این مقوله این است که عمر این آندها نسبت به سایر آندها (چدنی پر سیلیس و فولادی) بسیار کمتر است. بهر حال آنچه علم دنیا ثابت کرده است نه تنها کارایی بالاتری از این آندها در استفاده وجود دارد بلکه قطعاً از نظر محیط‌زیستی، این آندها دارای مزایای مختلفی هستند [۲۰]. نتیجه‌گیری بعدی این تحقیق آن است که نقطه تماس آندها با اجزاء محیط‌زیست عمدتاً

منابع

- [1] Kasperson JX, Kasperson RE. Global environmental risk: Routledge; 2013.
- [2] Rezaian S, Irankhahi M, Jozi SA. The Presentation of Environmental Risk Assessment Pattern for Gas Pipeline Project by Using of Indexing System and AHP Methods (Case Study: Transportation Pipelines 24 inches, Tasuj-Salmas Project). Journal of Environmental Science and Technology 2014;16(3): 1123-.
- [3] Yun H, Li J, Chen H-B, Lin C-J. A study on the N-, S-and Cl-modified nano-TiO₂ coatings for corrosion protection of stainless steel. Electrochimica Acta 2007;52(24): 667985-.
- [4] Zmii V, Ruden'kii S, Kartsev N, et al. Multifunctional Erosion-Resistant Gas-Diffusion Coatings on Steels. Powder Metallurgy and Metal Ceramics 2014;52(118-663):(12-.
- [5] Chess PM, Broomfield JP. Cathodic protection of steel in concrete: CRC Press; 2003.
- [6] Goncharov AV, Skuridin NN, Valyushok AV, Zamyatin AV, editors. Long-Term Field Testing of Cathodic Protection Equipment in Soil and Marine Environment. CORROSION 2018; 2018: NACE International.
- [7] Wing. Flow-pipe-soil coupling mechanisms and predictions for submarine pipeline instability. Gas Mechanical Journal 2017(5): 76373-.
- [8] Li Z, Ma Z, van der Kuijp TJ, et al. A review of soil heavy metal pollution from mines in China: pollution and health risk assessment. Science of the total environment 2014;468: 843-53.
- [9] Saleem M. Distribution, Correlation, Source Apportionment, Bioaccessibility and Health Risk Assessments of Selected Metals in Water, Sediments, Soil and Fish from Mangla Lake, Pakistan: Quaid-i-azam university 2017.
- [10] Zafarzadeh A, Rahimzadeh H, Mahvi AH. Health Risk Assessment of Heavy Metals in Vegetables in an Endemic Esophageal Cancer Region in Iran. Health Scope 2018(In Press).
- [11] Federation WE, Association APH. Standard methods for the examination of water and wastewater. American Public Health Association (APHA): Washington, DC, USA 2005.
- [12] Dong Y, Xu Y, Li H, Dai M. A comparative study of the numerical scales and the prioritization methods in AHP. European Journal of Operational Research 2008;186(1): 229-42.
- [13] Williams B, Onsmann A, Brown T. Exploratory factor analysis: A five-step guide for novices. Australasian Journal of Paramedicine 2010;8(3).
- [14] Kakaei H, Poornajaf A, kakaei z, et al. Risk Assessment Using William Fine Method at Ilam Gas Refinery in 2012. journal of ilam university of medical sciences 2018;25(6): 150-9.
- [15] Rousseau C, Baraud F, Leleyter L, Gil O. Cathodic protection by zinc sacrificial anodes: Impact on marine sediment metallic contamination. Journal of hazardous materials 2009;167(18-953):(3-.
- [16] Balgude D, Sabnis A. Sol-gel derived hybrid coatings as an environment friendly surface treatment for corrosion protection of metals and their alloys. Journal of sol-gel science and technology 2012;64(1): 12434-.
- [17] Feng Q, Li T, Teng H, et al. Investigation on the corrosion and oxidation resistance of Ni-Al₂O₃ nano-composite coatings prepared by sediment co-deposition. Surface and Coatings Technology 2008;202(17): 413744-.
- [18] Shreffler III GW, Schutt WR. Method of installing deep anode cathodic protection system including one-piece coiled vent pipe. Google Patents; 2017.
- [19] Burns WAR. Cathodic protection system. Google Patents; 2015.
- [20] Wu W, Huang Z-H, Lim T-T. Recent development of mixed metal oxide anodes for electrochemical oxidation of organic pollutants in water. Applied Catalysis A: General 2014;480: 5878-.