

حذف سیانید از رسوب‌های سد باطله به وسیله فناوری الکتروکینتیک

احمد خدادادی^{۱*}، حسین گنجی دوست^۲، ایزد بنی مصطفی عرب^۳

۱- دانشیار مهندسی محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس

۲- استاد گروه مهندسی عمران- محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد عمران- محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس

akdarban@modares.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۸۵/۰۹/۱۳ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۶/۰۳/۱۳

چکیده- پاکسازی خاک آلوده به سیانید با روش‌های مختلف از جمله اکسیداسیون، خاکشویی، تجزیه بیولوژیکی و روش الکتروکینتیک انجام می‌شود. استفاده از روش الکتروکینتیک برای حذف سیانید تاکنون کم‌تر استفاده شده است. بنابراین، این تحقیق برای بررسی کارایی این روش در خاک با درصد رس بالا و نفوذپذیری پایین انجام شد. در روش الکتروکینتیک با قرار دادن دو الکترود داخل خاک و برقراری جریان مستقیم، یون CN^- که تحت یک میدان الکتریکی قرار گرفته است به سمت قطب مثبت (آند) مهاجرت کرده و خاک پالایش می‌شود. در این پژوهش، پاکسازی خاک سد باطله معدن طلای تکاب از نوع رس (CL) با غلظت سیانید ۴۲۰ میلی‌گرم بر خاک خشک با استفاده از محلول‌های آب مقطر و سود ۱ مولار در آند، مورد بررسی قرار گرفت. مایع مورد استفاده در کاتد آب مقطر بود. خاک مورد نظر با رطوبت بهینه با استفاده از جریان مستقیم با شیب ولتاژ ۱ V/cm و ۱/۵ V/cm با زمان عبور جریان به مدت ۷ و ۱۴ روز آزمایش شد. در انتهای دوره، راندمان حذف سیانید از خاک، pH خاک، رطوبت، جریان الکترواسمز و آمپراژ روزانه اندازه‌گیری شد. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که سیانید در مدت ۷ و ۱۴ روز به ترتیب با راندمان ۶۵ و ۸۰ درصد حذف شده است. pH خاک از میزان اولیه (حدود ۸/۸۳) به ۱ تا ۲ در نزدیکی آند و ۱۲ تا ۱۳ در مجاورت کاتد تغییر کرد. تحلیل نتایج نشان داد که مهاجرت سیانید به سمت قطب مثبت (آند) و تغییرات pH عوامل اصلی در تعیین راندمان حذف سیانید است.

کلیدواژگان: سیانید، پالایش خاک، سد باطله، الکتروکینتیک

۱- مقدمه

مواد معدنی و آلی ترکیب می‌شود. این یون در تشکیل کمپلکس‌های فلزی و غیرفلزی به عنوان یک لیگاند بسیار قوی عمل می‌کند و در بسیاری از مواد آلی و معدنی یافت می‌شود. ورود ۵۰ تا ۲۰۰ میلی‌گرم از سیانور (سیانید آزاد) باعث مرگ انسان می‌شود و همین مقدار از آن در هر لیتر می‌تواند برای جانداران دیگر نیز خطرناک باشد. آژانس

سیانید از مواد سمی و خطرناک است که در استحصال کانی‌های فلزی از جمله سرب، روی، طلا و صنایع شیمیایی مصرف بالایی دارد [۱]. منظور از سیانید، همان یون سیانید (CN^-) است که یک ترکیب شیمیایی کربن و نیتروژن‌دار است و از ایجاد پیوند بین این دو عنصر، تشکیل یافته و با بسیاری از

و از جنس رس می‌باشند پس فرایندهای خاک‌شویی و بیولوژیکی در محل، عملاً با راندمان کمی میسر است و تنها روش در این مورد الکتروکیتیک است. اگرچه روش الکتروکیتیک برای خاک‌های آلوده به فلزات سنگین در مقیاس آزمایشگاهی، پایلوت و میدانی، در دنیا استفاده شده است ولی اطلاعات کمی در خصوص حذف سیانید به روش الکتروکیتیک وجود دارد. در ایران نیز هیچ کار تحقیقاتی در خصوص رفع آلودگی با روش الکتروکیتیک خاک آلوده به سیانید انجام نشده است [۶]. البته تحقیقاتی به وسیله محققان ایرانی در داخل و خارج کشور با استفاده از روش الکتروکیتیک برای پاک‌سازی خاک آلوده به مواد نفتی و فلزات سنگین انجام شده است، که از آن جمله می‌توان به تحقیقات آقایان شریعتمداری، دوستی، اوحدی و همکارانشان اشاره کرد [۷-۹]. بنابراین به تشریح این روش پرداخته می‌شود.

پدیده الکتروکیتیک نخستین بار در سال ۱۸۰۸ به وسیله رئیس^۴ ابداع شد. با وجود این، استفاده از جریان برق به صورت الکترو اسمز ابتدا در سال ۱۹۳۰ مطرح شد. فرایند الکتروکیتیک سازوکار گوناگونی دارد که طی آن آلاینده‌های مختلف به حرکت درآمده و به سمت الکترودها منتقل می‌شوند [۱۰-۱۳].

چانگ و کانگ در سال ۱۹۹۹ مطالعه‌ای در مورد حذف فلزات از خاک‌های رسی دریایی در کشور کره انجام دادند. آن‌ها زمان فرایند، جریان الکتریکی، غلظت فلزات و استفاده از مواد شیمیایی را در فرایند الکتروکیتیک بررسی کردند. در این تحقیق، افزایش زمان و کاربرد مواد شیمیایی و نیز افزایش شدت میدان الکتریکی، باعث افزایش راندمان شد [۱۴]. در سال ۲۰۰۱ نیز دارماون و همکارانش تأثیر کیفیت معدنی خاک را بر حذف فلزات از خاک بررسی

حفاظت از محیط زیست امریکا^۱ مقدار مجاز در آب آشامیدنی را ۰/۲ میلی‌گرم بر لیتر و استاندارد ملی ایران مقدار مجاز آن را در آب معدنی و شبکه آب آشامیدنی ۰/۰۷ میلی‌گرم بر لیتر اعلام نموده است [۱،۲]. علاوه بر آن چون به عنوان یک باز لوئیس^۲ (دهنده الکترون) عمل می‌کند، با فلزات کمپلکس تشکیل می‌دهد. سیانید در حضور اکسیژن با طلا کمپلکس تشکیل می‌دهد ولی با سرب و پلاتین واکنش نمی‌دهد [۳،۴].

هیدروژن سیانید، سدیم سیانید و پتاسیم سیانید، مثال‌هایی از ترکیبات ساده سیانیدی هستند. سیانید غیرغم سمی و خطرناک بودن، یکی از مواد اصلی مورد استفاده در صنایعی مانند پلاستیک، آب‌کاری و کارخانجات سنتز فیبر است. اما یکی از پرسودترین موارد استفاده سیانید و شاید مهم‌ترین مصرف آن، در صنعت معدن‌کاری و برای استحصال فلزات گرانبهایی چون طلا و نقره و هم‌چنین بازیابی مواد با عیار پایین است [۵].

برای رفع آلودگی از خاک‌های آلوده، روش‌های متعددی تاکنون ارائه شده است که بیش از نیمی از آن‌ها به صورت درجا^۳ است. برخی از این روش‌ها که علاوه بر صرفه اقتصادی، از انتشار آلودگی نیز پیش‌گیری می‌کنند عبارتند از:

۱- رفع آلودگی به روش الکتروکیتیک

۲- رفع آلودگی به روش بیولوژیکی

۳- خاک‌شویی

با توجه به محدودیت‌های روش خارج از محل و از طرفی سهولت و سرعت بالای روش الکتروکیتیک، به تازگی سهم عمده‌ای از تحقیقات به این روش اختصاص یافته است. از آن‌جا که حجم خاک سد باطله آلوده به سیانید کارخانه تکاب بسیار زیاد است و این خاکها اغلب ریز دانه

1. EPA (Environmental Protection Agency)

2. Lewis

3. On- Site

4. Reuss

کللی خاک منطقه تکاب آمده است.

جدول (۱) مشخصات خاک منطقه تکاب

نام خاک	CL
حد روانی	۳۱
حد خمیری	۱۸
رطوبت بهینه	۲۰٪
غلظت سیانید	۴۲۰ میلی گرم سیانید بر کیلوگرم خشک خاک
pH	۸/۸۳
EC	۱۰۶۳ میکرو زیمنس بر سانتی متر

در مراحل نمونه سازی، ۳۵۰ میلی لیتر آب مقطر به ۱/۴ کیلوگرم از این خاک اضافه شد و انتخاب حجم آب در این مورد بر اساس رطوبت ۲۵ درصدی انجام شد. هم چنین خاک به وسیله یک همزن برقی مخلوط شد. برای ایجاد تراکم ثابت در خاک، برای همه آزمایش ها وزن معینی از خاک در لایه های نازک درون راکتور کاملاً متراکم شد.

۲-۳- مشخصات پایلوت

مطابق شکل ۱ پایلوت از جنس پلکسی گلاس به ضخامت ۴ میلی متر و به شکل یک مکعب مستطیل با مقطع داخلی ۴×۴ سانتی متر و طول کل ۲۶/۴ سانتی متر ساخته شد. هر پایلوت از سه قسمت تشکیل شده است. قسمت میانی به طول ۱۲ سانتی متر محل قرارگیری نمونه خاک متراکم شده و دو قسمت انتهایی نیز محل نصب الکترودها (به طول ۲ سانتی متر) و ذخیره الکترولیت ها (محلول های آنولیت و کاتولیت به طول ۴ سانتی متر) است. برای جلوگیری از ورود دانه های خاک و یا ذرات جدا شده از الکترودها به سایر بخش ها، در فاصله بین محل نصب الکترودها و قسمت میانی، یک لایه فیلتر از جنس فایبر گلاس به ضخامت ۱/۴ میلی متر و قطر منافذ ۶ میکرون قرار داده شده است.

کردند و نشان دادند که واکنش های بین خاک و یون H^+ اثر مستقیم در راندمان دارد [۱۵]. اوایشی و لی (۲۰۰۴) در یک کار نو و جدید، استفاده از الکتروکیتیک غیریکنواخت (با تعویض متناوب قطبیت الکترودها) در افزایش زیست- سالم سازی خاک های گلدانی آلوده به فنل را بررسی کردند [۱۶]. هدف از این روش، بررسی خنثی سازی سیانید در خاک های آلوده به این ماده سمی است.

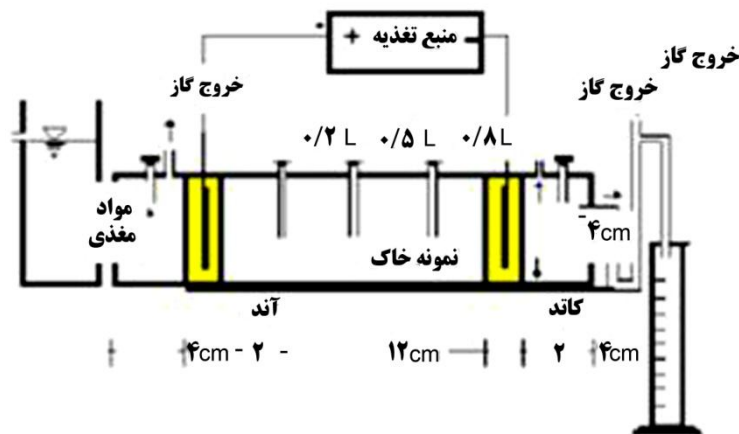
۲- مواد و روش ها

۲-۱- مواد مصرفی

همه مواد شیمیایی مصرفی شامل هیدروکسید سدیم (برای بالا بردن pH محلول برای جلوگیری از گازی شدن سیانید، استفاده به عنوان کاتولیت و برای رقیق سازی غلظت سیانید سدیم در مواقع لازم)، نیترات نقره (برای اندازه گیری سیانید)، استون (تهیه محلول ردانین)، ردانین (به عنوان معرف برای تغییر رنگ محلول برای اطمینان از خنثی شدن سیانید)، آب مقطر، سایر مواد و ترکیبات از محصولات معتبر شرکت مرک آلمان، خاک مورد استفاده نیز از رسوبات سد باطله و کائولینیت (رس) هم از شرکت خاک های معدنی ایران تهیه شد.

۲-۲- مشخصات خاک مصرفی

در این تحقیق از خاک آلوده به سیانید منطقه تکاب استفاده شد. خاک مورد نظر در حدود ۱۰ کیلوگرم و به شکل کلوخه بود. پس از انتقال به آزمایشگاه، به وسیله آسیاب کاملاً خرد شده و به شکل پودر درآمد؛ سپس کل خاک مورد نظر مخلوط شد تا خاکی همگن به دست آید. تمامی ذرات خاک تکاب از الک ۲۰۰ رد شد. طبقه بندی خاک طبق استاندارد متحده (یونیفاید) CL (رس غیرآلی با حد خمیری کم) انجام شد. در جدول ۱ بخشی از مشخصات



شکل (۱) شمای آزمایشگاهی از یک سیستم الکتروکیتیک استفاده شده در تحقیق [۱۷]

برای استخراج سیانید از خاک، از استاندارد EPA 9013A استفاده شد. پس از انتقال سیانید به فاز آبی، اندازه‌گیری سیانید به روش تیتراسیون انجام شد. [۱۶]

۲-۴-۱- تیتراسیون

برای تعیین غلظت سیانید محلول به روش تیتراسیون از استاندارد EPA 9014 استفاده شد. بر اساس حجم نیترات نقره مصرفی، می‌توان غلظت سیانید در محلول را به دست آورد. به علت وجود خطای انسانی در تیتراسیون، هر نمونه سه بار آزمایش شد و هم‌چنین از میکروبوورت با دقت 0.02 میلی‌لیتر استفاده شد تا خطا به میزان کمینه برسد.

۲-۵- برنامه آزمایش‌ها

در این پژوهش، آزمایش‌ها در ۲ مرحله انجام شد: الف) مرحله اول عبارت از پالایش الکتروکیتیک پیشرفته روی خاک رسی آلوده به سیانید بود. در خاک سد باطله معدن طلای تکاب، غلظت سیانید در حد 420 میلی‌گرم بر هر کیلوگرم خاک خشک اندازه‌گیری شد. میزان شیب ولتاژ بر اساس تحقیقات قبلی برابر با یک ولت بر هر سانتی‌متر خاک تعیین شد [۱۷]. اختلاف پتانسیل دو سر سلول برابر

در تحقیقاتی که تاکنون به انجام رسیده، الکترودهای مصرفی عمدتاً از جنس گرافیت، استیل و پلاتین بوده است. در این میان گرافیت و استیل بیش‌ترین کاربرد را داشته‌اند. الکترودهای گرافیتی به شکل مکعب مستطیل با مقطع 23×150 میلی‌متر و ارتفاع 40 میلی‌متر بود.

با توجه به طول 12 سانتی‌متری نمونه، برای ایجاد میدان الکتریکی از یک منبع تغذیه با جریان مستقیم و ولتاژ ثابت 12 و 18 ولت (قابل تنظیم در محدوده $0-25$ ولت) استفاده شد. از یک مولتی‌متر بسیار دقیق نیز برای سنجش ولتاژ و آمپراژ استفاده شد.

۲-۴- روش‌های استخراج و آنالیز

پس از اتمام هر آزمایش، نمونه خاک به چهار قسمت مساوی تقسیم می‌شود و به خاطر همگن و یکسان بودن نمونه‌های استفاده شده در آنالیزهای گوناگون، نمونه خاک استخراج شده از پایلوت به قطعات و اجزای ریز قسمت می‌شود و پس از مخلوط کردن کامل این اجزا، نمونه‌گیری از خاک برای اندازه‌گیری درصد رطوبت خاک، pH و غلظت سیانید انجام شد. برای اندازه‌گیری غلظت سیانید در ابتدا باید سیانید از فاز جامد خاک به فاز محلول منتقل شود، سپس با استفاده از تیتراسیون، سیانید محلول اندازه‌گیری شود.

بالای خاک، یون سیانید انباشته شده و راندمان حذف نسبت به بقیه نقاط خاک کاهش می‌یابد. هم‌چنین غلظت سیانید در نزدیک کاتد در حدود بقیه قسمت‌های میانی است.

ب) انتقال یون سیانید بر اساس جریان الکترواسمز است. در این حالت به علت وجود جریان از سمت قطب مثبت (آند) به سمت قطب منفی (کاتد) و هم‌چنین به علت حلالیت بسیار زیاد یون سیانید در آب، سیانید از همه قسمت‌های خاک به سمت کاتد منتقل می‌شود. بنابراین این غلظت سیانید نزدیک آند در حد قسمت‌های میانی و نزدیک کاتد به علت pH بالای خاک افزایش پیدا کرده و راندمان حذف به شدت کاهش می‌یابد.

شکل‌های ۲ و ۳ تغییرات راندمان حذف سیانید را در طول نمونه خاک نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، شیب ولتاژ ۱ و ۱/۵ ولت بر سانتی‌متر، تفاوت چندانی در راندمان حذف سیانید از خاک نشان نمی‌دهد. با توجه به این که یون منفی سیانید تحت میدان الکتریکی به سمت قطب آند (مثبت) در حال حرکت است راندمان حذف ۸۰ درصد در مدت زمان ۱۴ روز و ۶۵ درصد در مدت زمان ۷ روز، در فاصله بین ۴/۵ تا ۱۲ سانتی‌متر آند، امری بدیهی بود. هم‌چنین تصور می‌شد که در فاصله ۰ تا ۴/۵ سانتی‌متری آند به راندمان کم‌تری از اعداد بالا می‌رسیم، ولی به علت اسیدی بودن خاک در حالت‌هایی که آنولیت استفاده شده آب مقطر بود، یون سیانید تبدیل به گاز HCN شده و از قسمت‌های نزدیک آند خارج شد و راندمان حذف در حدود بقیه قسمت‌های خاک بود. اما در زمانی که از سود ۱ مولار به عنوان آنولیت استفاده شد به علت خنثی بودن خاک در فواصل نزدیک‌اند، راندمانی در حدود ۳۵ تا ۵۵ درصد به دست آمد. هم‌چنین راندمان حذف سیانید در مدت زمان ۱۴ روز نسبت به مدت زمان ۷ روز، در فواصل

با ۱۲ ولت بود. آنولیت استفاده شده در این قسمت نیز آب مقطر و سود ۱ مولار و کاتولیت استفاده شده نیز مانند سایر موارد، آب مقطر بود. مدت زمان این آزمایش نیز با مدت زمان ۷ و ۱۴ روز انجام شد.

ب) مرحله دوم پالایش روی خاک رسی آلوده به سیانید سد باطله معدن طلای تکاب به انجام رسید. تفاوت این آزمایش با مرحله قبل، فقط شیب ولتاژ اعمال شده به نمونه خاک بود، به طوری که شیب ولتاژ اعمال شده به خاک ۱/۵ ولت بر سانتی‌متر یا به عبارتی اعمال ۱۸ ولت بر دو سر سلول بود. هدف از این آزمایش نیز بررسی و مقایسه راندمان پالایش به روش الکتروکیتیک روی خاک سد باطله معدن طلای تکاب بین شیب‌های ولتاژ یک و یک و نیم ولت بر سانتی‌متر بود.

۳- نتایج و بحث

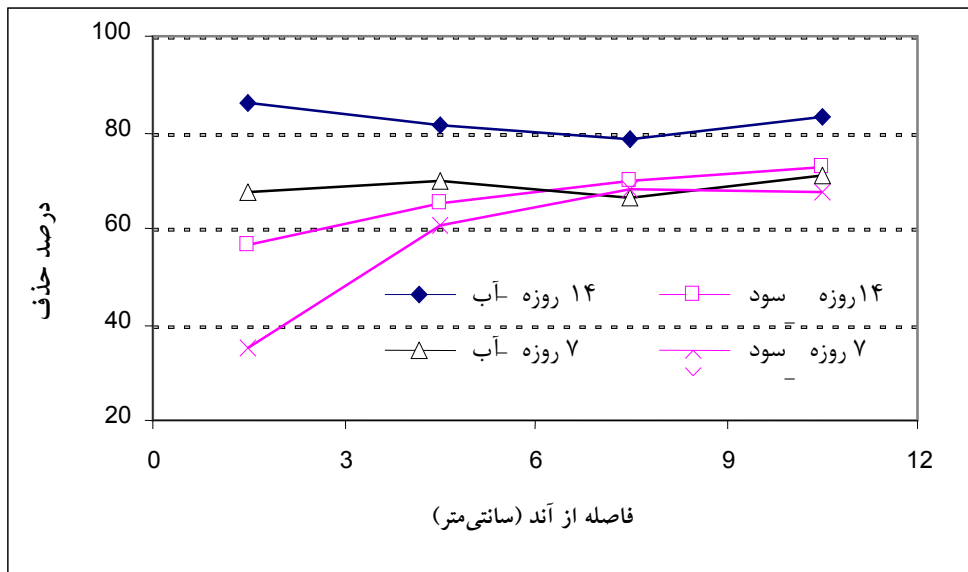
۳-۱- راندمان حذف سیانید

با توجه به این که یکی از مهم‌ترین اهداف این پژوهش، به دست آوردن غلظت نهایی سیانید بعد از فرایند الکتروکیتیک است، راندمان در قسمت‌های مختلف خاک در شرایط مختلف بررسی شد. در مورد مهاجرت یون سیانید و پالایش خاک می‌توان دو فرضیه مطرح کرد.

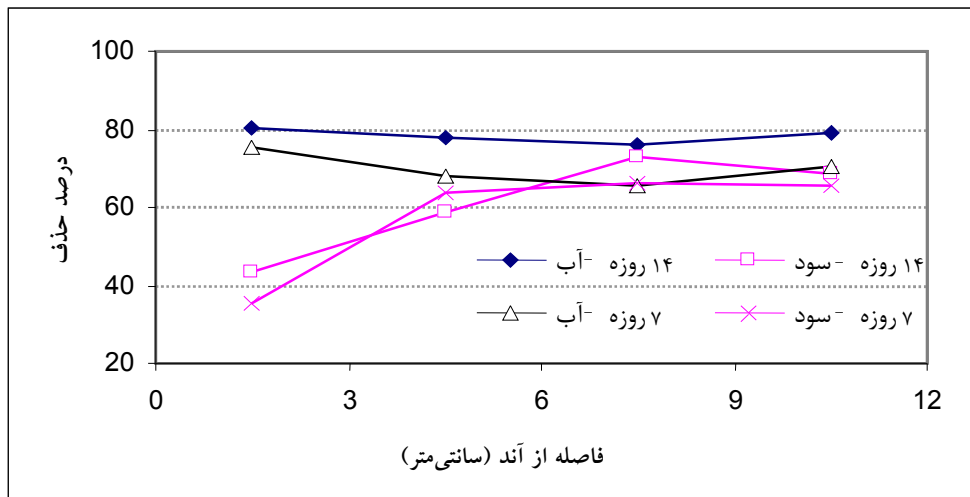
الف) انتقال یون سیانید بر اساس مهاجرت یون‌ها و حرکت بار منفی به سمت قطب مثبت (آند) است. در این حالت یون سیانید به تدریج از نزدیک کاتد حرکت کرده و در نزدیک قطب آند انباشته می‌شود. اما به علت محلول بودن در آب میان حفره‌ای، از خاک به مخزن آند منتقل می‌شود. در ضمن در این حالت به علت اسیدی بودن خاک نزدیک‌اند، در حالت استفاده از آب مقطر، یون سیانید تبدیل به گاز HCN شده و از محیط خارج شد. ولی در حالتی که از سود به عنوان آنولیت استفاده شد، نزدیک‌اند به علت pH

از آن‌جاکه تحقیقی در مورد حذف سیانید از خاک به روش الکتروکیتیک مشاهده نشد، امکان مقایسه با سایر تحقیقات میسر نبود. تحقیقات انجام شده توسط محققین حاضر در خصوص کاتولینیت آلوده به سیانید نشان می‌دهد که راندمان حذف در مورد خاک منطقه تکاب کم‌تر از کاتولینیت است. این موضوع می‌تواند به دلیل ترکیبات پیچیده سیانیدی (آنیون‌ها و کاتیون‌ها) در خاک منطقه باشد [۱۸].

مختلف از اند (۱/۵، ۴/۵، ۷/۵ و ۹/۵ سانتی‌متر) حدوداً ۱۵، ۱۲، ۱۰ و ۸ درصد بیش‌تر است. در نمونه‌هایی که پس از ۱۴ روز روی آن‌ها پالایش خاک انجام شد، تغییرات غلظت سیانید به یک حالت پایدار رسید و غلظت در حالت‌هایی که آنولیت آب مقطر بود تقریباً یکسان شد. با توجه به شکل‌های بالا فرضیه دوم رد می‌شود زیرا در همه حالات، درصد حذف در نزدیک کاتد مشابه بقیه قسمت‌ها است.



شکل (۲) نمودار حذف سیانید خاک تکاب با شیب ولتاژ ۱ ولت بر سانتی‌متر

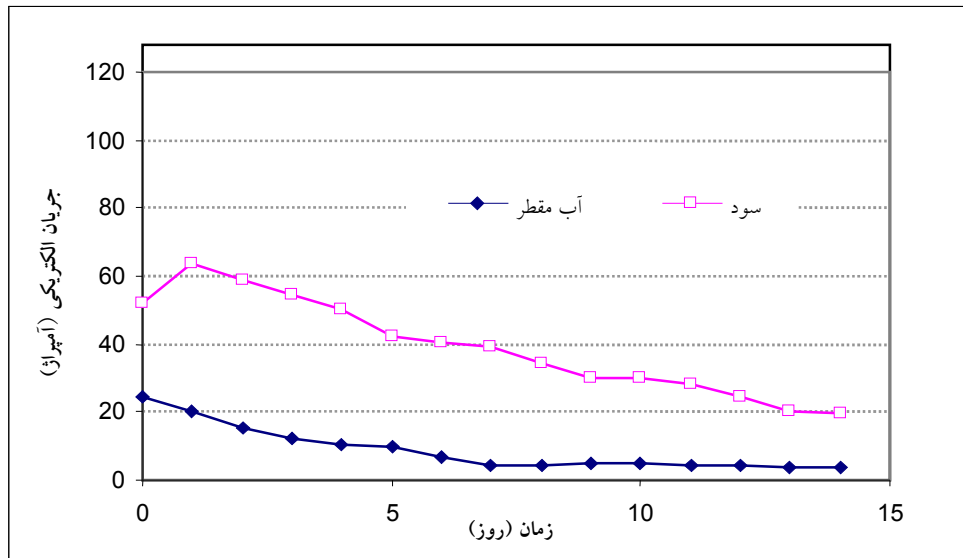


شکل (۳) نمودار حذف سیانید خاک تکاب با شیب ولتاژ ۱/۵ ولت بر سانتی‌متر

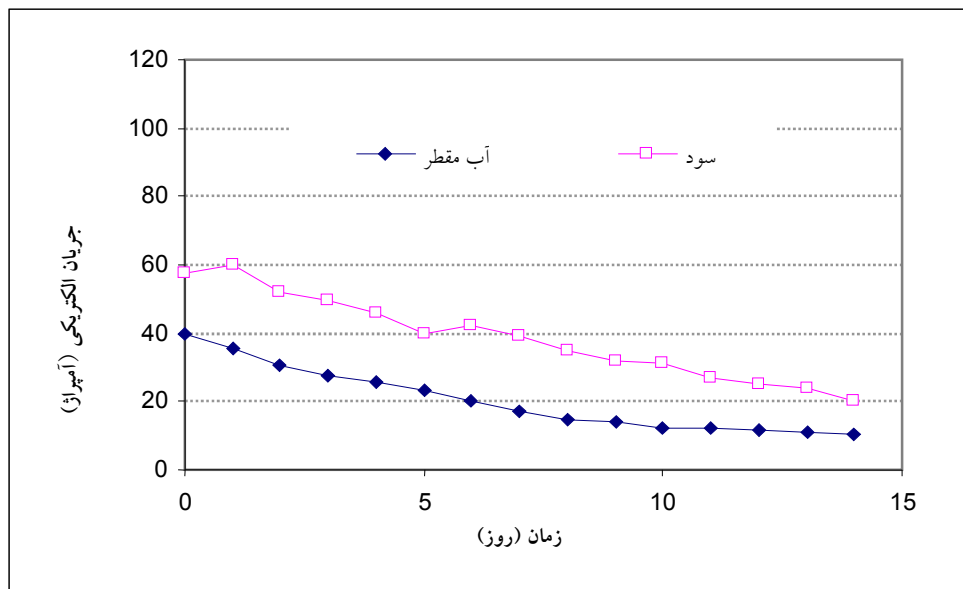
۳-۲- روند تغییر آمپراژ خاک منطقه تکاب

شکل‌های ۴ و ۵ تغییرات جریان الکتریکی را در طول زمان پالایش در هر سلول نشان می‌دهد. همان‌طور که مشخص است، آمپراژ در حالت سود نزدیک به دو برابر بیش‌تر از حالتی است که از آب مقطر استفاده شد. هم‌چنین آمپراژ به علت کاهش یون‌های درون خاک، و افزایش مقاومت خاک،

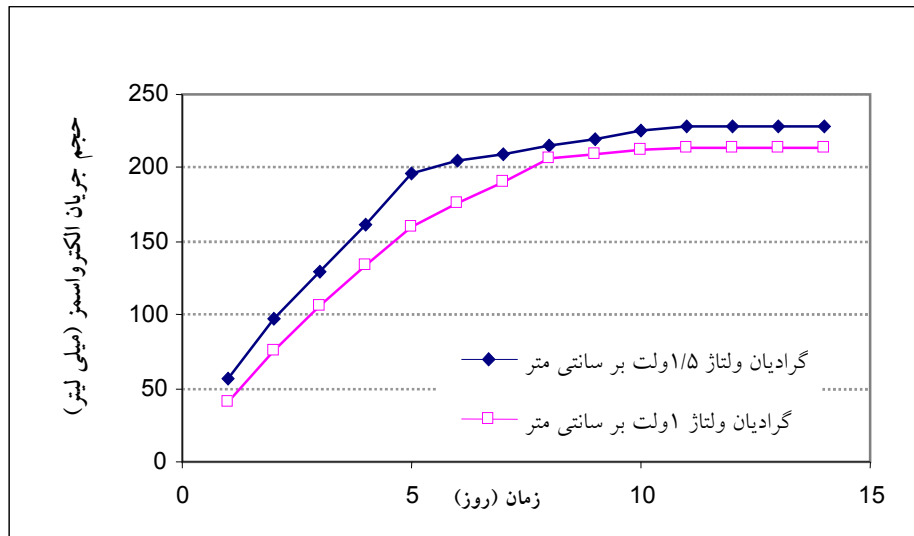
روندی نزولی طی می‌کند. فقط زمانی که شیب ولتاژ تغییر می‌کند، در حالت سود چندان تغییری در نمودار آمپراژ دیده نمی‌شود که شاید به علت یکنواخت نبودن خاک تکاب و یا وجود ترکیبات و یون‌های ناشناخته در خاک تکاب است.



شکل (۴) نمودار تغییرات آمپراژ با شیب ۱ ولت بر سانتی‌متر



شکل (۵) نمودار تغییرات آمپراژ با شیب ۱/۵ ولت بر سانتی‌متر



شکل (۶) نمودار تغییرات جریان الکترواسمز خاک تکاب

قسمت‌های خاک به سمت‌اند حرکت کرده و در آن‌جا جمع می‌شود.

۳- بهترین حالت تصفیه، استفاده از شیب ولتاژ ۱ ولت بر سانتی‌متر با مدت زمان پالایش ۱۴ روز و آنولیت آب بود.
 ۴- استفاده از شیب ولتاژ ۱/۵ ولت بر سانتی‌متر علاوه بر مصرف بیش‌تر انرژی الکتریکی و بالا بردن هزینه‌ها، باعث کاهش درصد حذف شد. بر این اساس استفاده از شیب بالا برای سیانید پیشنهاد نمی‌شود.

۵- با افزایش مدت زمان پالایش از ۷ به ۱۴ روز، درصد حذف نیز بین ۱۰٪ تا ۲۵٪ افزایش پیدا کرد.
 ۶- استفاده از محلول سود به عنوان آنولیت، درصد حذف را تا بیش از ۳۵٪ نسبت به زمانی که دراند آب داشتیم، کاهش داد.

۷- تغییرات pH در خاک معدن طلای تکاب، به علت خاصیت بافری زیاد خاک رسی منطقه، چشم‌گیر نبود. به‌طور مثال pH نزدیک‌اند در حدود ۷ و در نزدیک کاتد ۱۱ بود. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که برای خاک‌های با خاصیت بافری بالا، نیازی به افزودن مواد قلیایی در قطب

۳-۳ روند تغییر جریان الکترواسمز برای خاک تکاب

شکل ۶ روند تغییرات جریان الکترواسمز را نشان می‌دهد. اگر چه در روزهای اول، جریان روندی مثبت داشت اما در روزهای انتهایی، حدوداً ثابت شد و جریانی وجود نداشت. هم‌چنین جریان الکترواسمز رابطه‌ای مستقیم با اختلاف پتانسیل دارد که در شکل نیز با افزایش شیب، ولتاژ جریان نیز افزایش پیدا می‌کند.

۴- خلاصه و نتیجه‌گیری

۱- فرایند الکتروکیتیک که یک روش پالایش خاک‌های آلوده است، به علت امکان اجرا در محل و ساده بودن، در سال‌های اخیر کاربرد گسترده‌ای یافته است، هم‌چنین فرایند بالا توان حذف طیف وسیعی از آلاینده‌ها (کاتیون‌ها و آنیون‌ها) را از خاک دارد.

۲- آلاینده سیانید تحت اثر میدان الکتریکی به سمت قطب مثبت (آند) حرکت می‌کند. بر این اساس مهاجرت الکتروشیمیایی یون سیانید به سمت قطب غیرهمنام، مکانیسم غالب در فرایند بالا است. پس سیانید از تمامی

[۱۰] اوحدی، وحید رضا، سعیدی جم، سعید، تأثیر حضور کربنات بر بازده روش الکتروسیتیک در رفع آلودگی فلزات سنگین از کائولینیت، مقاله پذیرفته شده برای انتشار در مجله فنی و مهندسی دانشگاه تربیت مدرس، ۱۳۸۶.

- [11] Lee, H.H., Yang, J.W., A New method to control electrolytes pH by Circulation system in Electrokinetic Soil Remediation. Journal of Hazardous Material, 2000.B77: 227-240
- [12] Loo, W.W., Electrokinetic Treatment of Hazardous Wastes, Standard Encyclopedia of Environmental Science and Technology, McGraw Hill, New York, NY, 2002p. 14.69 – 14.84.
- [13] Rabbi M.F, Clark B., Gale R.J., Ozsü-Acar E., Pardue J. and Jackson A., Waste Manage, 2000.
- [14] Saichek, R. E., and K. R. Reddy. Effects of system variables on surfactant enhanced electrokinetic, Environ. Technol. 2003.
- [15] Chung, H.I., Kang, B.H., Lead removal from contaminated marine clay by Electrokinetic soil decontamination. Engineering Geology, 1999, 53: 139 – 150.
- [16] Darmawan, Wada, S., Effect of clay mineralogy on the feasibility of electrokinetic soil decontamination technology. Applied Clay Science, 2002, 20: 283-293.
- [17] Evayeshi, Lee, K., 2004. , Bioremediation of diesel-contaminated soil by bacterial cells transported by electrokinetics. J.Microbiol. Biotechnol. 11, 2002.
- [18] Mulligan, C., Yong, R.N. and Gibbs, Remediation technologies for metal-contaminated soils and groundwater: an evaluation, Engineering Geology, Volume 60, Issues 1-4, June 2001, Pages 193-207.

[۱۹] ابنی مصطفی عرب، ایزد، خدادادی، احمد، گنجی دوست، حسین، بررسی روش‌های حذف سیانید از خاک، دومین همایش شیمی و صنعت، اسلامشهر تهران، ۱۳۸۵

آند برای جلوگیری از کاهش pH نیست.

۸- با تغییرات شیب ولتاژ و هم‌چنین مدت زمان پالایش، تغییر محسوسی در pH خاک ایجاد نشد.

۵- منابع

- [1] Chemical Identity – Sodium Cyanide (NaCN). EPA Chemical Profile. 2002. Available, www. Epa. gov/ swercepp/ ehs/profile/143339p.txt.
- [۲] استاندارد ملی ایران، شماره ۱۰۵۳، تجدید نظر پنجم، سال ۱۳۸۸
- [3] Acronyms & Abbreviations; Glossary of Terms; Cost Assumptions; Raw Water Composition; Total Plant Costs; and Water Program. Cyanide fact sheet, U.S. Department of the interior, bureau of reclamation, 1998.
- [4] Botz, M., Overview of Cyanide Treatment Methods', Mining Environmental Management, Mining Journal Ltd., London, UK, 2001. pp. (28-30)
- [5] Kelthy, Henely, Amdel, "The Mineralogy of Refractory Gold Ores ", Mc .Graw – Hill Publishers, 2003, PP (34-48).
- [6] Technical report, Treatment of Cyanide Heap Leaches and Tailings, U.S. Environmental Protection Agency, Office of Solid Waste Special Waste Branch 401 M Street, SW Washington, DC 20460, 1994
- [7] Department of the Army Field Manual (DA FM) 3-9, Potential Military/Biological Agents and Compounds, 1990
- [8] Shariatmadari, N., Remediation of kaolinite metal-contaminated soils by electrokinetics, Ph.D.Thesis, university of Ottawa, ON, Canada, 1996.

[۹] دوستی، علیرضا، پاک‌سازی خاک آلوده به فلزات سنگین و مواد نفتی با استفاده از روش الکتروسیتیک، پایان نامه دکترای گروه مهندسی محیط زیست دانشگاه تربیت مدرس، ۱۳۸۲.