



ISSN 2251-7480

بررسی تأثیر فرآیند الکتروکینتیک به همراه آبشویی بر کیفیت زه‌آب در اصلاح یک خاک شور - سدیمی

میثم رضانی^۱، محمدعلی غلامی سفیدکوهی^{۲*} و میرخالق ضیاءتبار احمدی^۳

(۱) دانشجوی دکتری؛ گروه مهندسی آب؛ دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی ساری؛ ساری؛ ایران

(۲) استادیار گروه مهندسی آب؛ دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی ساری؛ ساری؛ ایران
* نویسنده مسئول مکاتبات: ma.gholami@sanru.ac.ir

(۳) استاد گروه مهندسی آب؛ دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی ساری؛ ساری؛ ایران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۱۲/۱۷

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۷/۰۴

چکیده

شوری آب و خاک موضوعی است که به دلیل اهمیت آن در بسیاری از کشورها از آن به‌عنوان «مرگ سفید» یاد می‌شود. مقدار آب آبشویی، انرژی و هزینه مصرف‌شده و همچنین مدت زمان مورد نیاز برای اصلاح خاک، از مهمترین عوامل در انتخاب مناسب‌ترین روش اصلاح خاک می‌باشند. الکتروکینتیک یک روش فیزیکی برای استخراج نمک‌ها اعم از ترکیبات شیمیایی آلی و معدنی از خاک می‌باشد. در این مطالعه الکترودها به‌صورت افقی و به همراه فرآیند آبشویی در اصلاح الکتروکینتیکی یک خاک شور-سدیمی استفاده شدند. بدین منظور الکترودهایی از جنس آلومینیوم مشبک شده و به عنوان آند و کاتد به ترتیب در بالا و پایین ستون‌های خاک با چهار ارتفاع ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۵ سانتی‌متر قرار گرفتند. سپس آبی معادل چهار برابر آب منفذی و با تناوب ۳۰ میلی‌متر از بالای نمونه‌ها وارد خاک شده و خصوصیات زه‌آب خروجی اندازه‌گیری و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. همچنین فرآیند آبشویی در هر یک از ارتفاع‌ها به عنوان شاهد و بدون اعمال روش الکتروکینتیک انجام شد. نتایج نشان داد که در تیمارهای الکتروکینتیک هدایت الکتریکی لحظه‌ای زه‌آب و شدت جریان الکتریکی عبور کرده از خاک به‌صورت افزایشی-کاهشی تغییر کرده‌اند. همچنین اسیدیته زه‌آب خروجی نسبت به شاهد افزایش داشته و بین ۶/۸ تا ۹ متغیر بوده و دمای آن بین ۲۳ تا ۳۵ درجه سانتی‌گراد تغییر کرده است. اعمال جریان الکتریکی خروج کاتیون‌ها را به‌طور معنی‌داری ($p < 0/05$) افزایش داده است (۲۵ درصد) و خروج آنیون‌ها را به مقدار کمی (۲ درصد) کاهش داده است. همچنین فرآیند الکتروکینتیک، نسبت خروج یون سدیم را به دو یون کلسیم و منیزیم به‌طور متوسط ۸/۵ درصد در مقایسه با تیمارهای شاهد افزایش داده است. به‌طور کلی تأثیر اعمال جریان الکتریکی بر روی متوسط هدایت الکتریکی زه‌آب، وزن نمک خارج‌شده در واحد وزن خاک و اسیدیته زه‌آب خروجی معنی‌دار بوده است.

کلید واژه‌ها: اصلاح خاک شور-سدیمی؛ الکترود افقی؛ الکترو آلومینیوم؛ جریان الکتریکی

مقدمه

دنیا به علت مشکلات شوری و سدیمی شدن، در هر دقیقه

۳ هکتار زمین کشاورزی غیر قابل کشت می‌شود (Abrol, Yadav, & Massoud, 1988).

بر اساس گزارش فائو، بیش از نیمی از زمین‌های تحت آبیاری مناطق خشک و نیمه‌خشک دارای مشکلات مختلف شوری و سدیمی شدن هستند (Abrol et al., 1988). در حال حاضر حدود ۲۳ درصد خاک‌های دنیا شور و حدود

شوری آب و خاک یکی از فاکتورهای محدودکننده تولیدات کشاورزی می‌باشد. موضوعی که به دلیل اهمیت آن در بسیاری از کشورها از آن به‌عنوان "مرگ سفید" یاد می‌شود. از کل ۲۳۰ میلیون هکتار از زمین‌های دنیا که آبیاری می‌شوند ۴۵ میلیون هکتار به علت شوری آب آبیاری شور شده‌اند. این‌گونه تخمین زده می‌شود که در

از محققان را به خود جلب کرده است (Virkutyte, Sillanpää, & Latostenmaa, 2002).

کار بر روی تکنولوژی الکتروکیتیک در سال ۱۹۸۵ در هلند آغاز شده است (Lageman, Clarke, & Pool, 2005). الکتروکیتیک یک روش فیزیکی برای استخراج نمک‌ها اعم از ترکیبات شیمیایی آلی و معدنی از مکان‌های آلوده مانند خاک‌ها، رسوبات و آب‌های زیرزمینی می‌باشد. در واقع این روش قرار دادن دو الکترود، یکی به عنوان آند و دیگری به عنوان کاتد در اطراف محیط موردنظر می‌باشد (Reddy & Cameselle, 2009). سپس یک جریان مستقیم (DC) و یا یک شیب پتانسیل الکتریکی کم به الکترودها اعمال می‌شود که سبب ایجاد یک میدان الکتریکی در محیط متخلخل واقع بین دو الکترود می‌شود. به دنبال اعمال جریان و ایجاد میدان الکتریکی بین الکترودها، واکنش‌های مختلف الکتروشیمیایی در خاک اتفاق افتاده و یون‌ها توسط فرآیندهای انتقالی مختلفی جابجا می‌شوند (Giannis, Gidarakos, & Skouta, 2007). به‌طور کلی الکتروکیتیک دربرگیرنده سه فرایند مهاجرت الکتریکی یون (Electromigration)، الکترواسمز (Electroosmosis) و الکتروفورز (Electrophoresis) است. این روش می‌تواند برای حذف یک یا چند یون به‌طور همزمان در خاک‌های اشباع و غیراشباع استفاده شود (Turer & Genc, 2005). در سال‌های اخیر محققان زیادی برای اصلاح آلودگی فلزات سنگین از روش مذکور استفاده نموده‌اند. Reddy و Saichek (۲۰۰۴)، گزارش کردند که با استفاده از این روش توانسته‌اند ۶۲ تا ۱۰۰ درصد کادمیوم، کروم و نیکل را از خاک حذف نمایند. تلاش‌های زیادی در جهت عملی کردن تکنولوژی الکتروکیتیک در مقیاس‌های بزرگ برای اراضی شور در حال انجام است (Xu, Chen, Wang, Chen, & Yang, 2012). هر چند توجیه اقتصادی برای اجرای این روش، یکی از موانع بزرگ در مقابل اجرای آن در سطوح وسیع می‌باشد.

۳۷ درصد نیز سدیمی هستند. در آسیا بیشترین مساحت اراضی شور پس از کشورهای آسیای میانه، هندوستان و پاکستان در ایران قرار دارد (Pillay, Williams, El Mardi, Hassan, & Al-Hamdi, 2005). بر اساس مطالعات انجام‌شده بیش از ۵۰ درصد اراضی تحت کشت ایران شور می‌باشند و متأسفانه به علت عدم مدیریت صحیح، سالیانه بر شدت اثرات سوء آن افزوده می‌شود (Mahjoory, 1979). حدود ۳۳۰ هزار هکتار از اراضی شور و شور-سدیمی در نواحی پست استان گلستان قرار دارند (جلیل‌فر و همکاران، ۱۳۷۲). بخش اعظم نمک‌های محلول از سه کاتیون Na^+ ، Mg^{+2} و Ca^{+2} و چهار آنیون Cl^- ، SO_4^{2-} ، HCO_3^{2-} ، CO_3^{2-} تشکیل شده است. اصولاً نمک‌ها با جریان آب به سمت پایین حرکت می‌کنند اما آن‌هایی که قابلیت انحلالشان کم است رسوب می‌کنند. لذا برخی یون‌ها مانند کلر و سدیم راحت‌تر انتقال یافته و برخی دیگر همچون کلسیم و منیزیم سخت‌تر انتقال می‌یابند (پذیرا و کشاورز، ۱۳۸۷؛ هاشمی نژاد و همکاران، ۱۳۹۱).

اگرچه در دهه‌های گذشته روش‌های نوینی برای اصلاح آلودگی و شوری خاک‌ها مورد آزمون قرار گرفته‌اند و تا حدودی قادر به حل این مشکل بوده‌اند، ولی هنوز یک روش جامع برای اصلاح درجای خاک‌های شور معرفی نشده است. اصلاح خاک‌های شور و سدیمی با استفاده از آبشویی توسط برخی محققان موردتوجه قرار گرفته است (Akhtar, Steenhuis, Richards, & McBride, 2004; Ammari, Tahboub, Saoub, Hattar, & Al-Zu'bi, 2008; Anapali, Üstün, Öztafi, & Hanay, 2001). باید گفت که احتمالاً در آینده نیز یک روش منحصربه‌فرد برای اصلاح درجای خاک وجود نخواهد داشت، بلکه تنوع زیاد روش‌ها و ترکیب مناسب آن‌ها با یکدیگر برای حذف آلودگی و خارج ساختن یون‌ها در مکان‌های مختلف توسعه خواهد یافت (Reddy & Cameselle, 2009). از میان روش‌های مختلف مقابله با شوری خاک، روش‌های زیست‌پالایی، بازجذب حرارتی، گیاه‌پالایی و الکتروکیتیک (Electrokinetic) توجه بسیاری

آن کلر، نیترات، سولفات، کلسیم، منیزیم و پتاسیم بودند. آن‌ها از الکترودهای استیل با ابعاد ۷ سانتی‌متر در ۲۵ سانتی‌متر به مدت ۱۴ روز استفاده کردند. این محققان مشاهده نمودند که پدیده الکترواسمز پس از پنج روز متوقف شده و حرکت رو به بالای یون‌ها به دلیل تبخیر شدت گرفت. در این مطالعه مقدار تبخیر قابل توجه گزارش شده است به طوری که رطوبت خاک طی آزمایش از ۳۰ درصد به ۱۸ درصد کاهش داشته است. هدایت الکتریکی متوسط خاک در پایان آزمایش ۷/۱ دسی‌زیمنس بر متر و راندمان کاهش هدایت الکتریکی ۸/۵ درصد گزارش شد. Xu و همکاران (۲۰۱۲) با پیشنهاد استفاده از یک لایه لجن بر روی نمونه خاک نتیجه گرفتند که خارج ساختن یون‌های سدیم، کلسیم، منیزیم و کلر در روش الکتروکیتیک با لایه لجن تا ۷۲ درصد موفق بوده است و این مقدار ۲۸ درصد بیشتر از اصلاح الکتروکیتیک بدون لایه لجن می‌باشد.

Lee و همکاران (۲۰۱۳) در کره جنوبی تأثیر اعمال جریان ممتد و پالسی را بر روی حذف یون‌ها (کلسیم، سدیم، منیزیم، پتاسیم، کلر و سولفات) از خاک شور در محیط گلخانه‌ای و در مقیاس پایلوت (ابعاد ۲ متر در ۱۰ متر) و به مدت یک ماه بررسی کردند. آن‌ها بدین منظور از الکترودهای از جنس آهن با ابعاد ۱ متر در ۳۰ سانتی‌متر و ضخامت ۵ میلی‌متر استفاده نمودند. میزان ولتاژ اعمال شده در این تحقیق بین ۳۰ تا ۶۰ ولت متغیر بود. در این تحقیق مشخص شد که راندمان حذف سدیم از سایر یون‌ها بیشتر بوده است ولی راندمان حذف کلسیم به دلیل حلالیت پایین آن کم بوده است. هرچند در مراحل اجرای این تحقیق ذکر شده است که دو لوله زهکش در مقطع فرارگیری کاتدها نصب شده و در طول اجرای آزمایش آبیاری بارانی انجام شده است، ولی نتایجی از مقدار و کیفیت زه‌آب خروجی از این زهکش‌ها و همچنین حجم آب آبیاری شده توسط آب‌پاش‌ها ارائه نشده است. بنابراین می‌توان گفت که یکی از کمبودهای این تحقیق عدم بررسی تأثیر

محققان دیگری نیز در حذف فلزات سنگین مانند سرب و کادمیوم نتایج موفقیت‌آمیزی گزارش نموده‌اند (Giannis et al., 2007; S. Kim, Moon, & Kim, 2001;) (Sah & Chen, 1998; Sun & Ottosen, 2012). مطالعات متعدد آزمایشگاهی و صحرایی انجام شده بیانگر این است که متغیرهای متعددی از جمله فرایندهای شیمیایی در الکترودها، مقدار رطوبت خاک، ساختمان خاک، pH و شیب pH نوع و غلظت مواد شیمیایی در خاک، ولتاژ و شدت جریان اعمال شده، نوع الکتروولت بکار رفته و سایر شرایط نمونه در حذف یون‌ها دخیل هستند (Virukutyte et al., 2002).

فرآیند الکتروکیتیک به واسطه میدان الکتریکی اعمال شده، بر pH، پتانسیل زتا و مقدار رطوبت خاک اثر می‌گذارد (Luo, Zhang, Wang, & Qian, 2004). همچنین شدت جریان الکتریکی عبوری از خاک به متغیرهای متعددی همچون مقدار آب خاک، خصوصیات الکترو، هدایت الکتریکی محلول الکتروولت یا غلظت گونه‌های یونی در محلول منفذی وابسته می‌باشد (Al-Hamdan & Reddy, 2008; Yuan, Wu, Wan, & Lu, 2009).

گرچه تاکنون بیشترین تمرکز در اجرای روش الکتروکیتیک برای حذف و یا کاهش فلزات سنگین از خاک صورت گرفته است (Beaudin, 2010)، ولی در چند سال اخیر تحقیقاتی در مورد تأثیر جریان الکتریکی در احیای اراضی شور که دارای یون‌های معمول اراضی کشاورزی هستند نیز صورت گرفته است (Cho, Park, & Baek, 2010; Choi, Maruthamuthu, Lee, Ha, & Bae, 2009; Hassan & Mohamed-el-hassan, 2012; D. H. Kim, Jo, Choi, Yang, & Baek, 2012; Lee, Choi, Lee, & Ha, 2013; Lee, Choi, Lee, Ha, & Bae, 2012; Mohamed-el-hassan & Shang, 2003; Ou, Chien, & Wang, 2009; Xu et al., 2012).

Kim و همکاران (۲۰۱۲) آزمایشی را در کره جنوبی در مقیاس پایلوت (ابعاد ۱ متر در ۱ متر در ۲۵ سانتی‌متر) و در محیط گلخانه با خاک سیلتی لوم انجام دادند. هدایت الکتریکی اولیه خاک ۷/۸ دسی‌زیمنس بر متر و یون غالب

آن‌ها فیلتر مناسبی برای ممانعت از عبور ذرات ریز خاک تعبیه شد. همچنین برای هر یک از ارتفاع‌ها یک تیمار شاهد با شرایط مشابه تهیه شد. تمامی آزمایش‌ها در سه تکرار انجام شده و میانگین نتایج تکرارها در هر تیمار به عنوان نتیجه نهایی ارائه شد.

میانگین تکرارها برای تیمارهای الکتروکینتیک در چهار ارتفاع (فاصله الکتروود) مختلف به ترتیب با علائم EK30, EK10, EK20, EK45 و میانگین تکرارها برای تیمارهای شاهد با علائم T10, T20, T30, T45 نام‌گذاری شدند. ستون‌ها به‌گونه‌ای از خاک پر شدند که جرم مخصوص ظاهری آن‌ها نزدیک ۱/۴۵ گرم بر سانتیمتر مکعب باشد. بدین منظور در هنگام پر کردن ستون‌ها ضرباتی به‌طور متوالی به ظرف و سطح خاک وارد شد. همچنین برای جلوگیری از ایجاد جریان ترجیحی و ایجاد یکنواختی حرکت آب، دیواره ستون‌ها با گریس چرب شد. شکل (۱) ستون خاک و سایر تجهیزات استفاده شده در فرایند الکتروکینتیک را نشان می‌دهد.

الکتروودها از جنس آلومینیوم با ضخامت ۲ میلی‌متر انتخاب شده و سوراخ‌هایی با قطر ۲ میلی‌متر در سطح مقطع آن‌ها ایجاد شد به‌طوری‌که مجموع مساحت سوراخ‌های ایجاد شده ۰/۱ مترمربع در واحد سطح بود. الکتروودها به‌صورت افقی در بالا و پایین نمونه‌ها تعبیه شد. برای برقراری جریان الکتریکی از یک منبع تغذیه جریان مستقیم با قابلیت تنظیم اختلاف پتانسیل استفاده شد و اختلاف پتانسیل بر روی ۳۰ ولت تنظیم شد.

با توجه به اهمیت بیشتر خروج کاتیون‌ها (مانند یون غالب و مخرب سدیم) از خاک، قطب منفی (کاتد) به الکتروود زیرین و قطب مثبت (آند) به الکتروود بالایی متصل شد. در طول آزمایش شدت جریان الکتریکی با استفاده از مولتی‌متر موجود بر روی دستگاه پایش شد. آب موردنظر آبشویی از بالای نمونه‌های خاک به‌وسیله یک سرنگ و به‌طور یکنواخت از درون سوراخ‌های تعبیه شده در الکتروودها وارد شده و حجم، هدایت الکتریکی، اسیدیته و

آبشویی به‌صورت مجزا بوده است. نتایج این تحقیق نشان داد که درصد کاهش EC در حالت جریان ممتد و پالسی به ترتیب ۵۶ و ۵۵ درصد بوده است در صورتی‌که در حالت جریان پالسی مصرف انرژی تقریباً نصف جریان ممتد بوده است.

همچنین Lee و همکاران (۲۰۱۲) این نتیجه رسیدند که کاربرد الکتروود از جنس آهن برای اصلاح خاک‌های سولفات دار مناسب‌تر است. در استرالیا آزمایشی را برای بررسی کارایی روش الکتروکینتیک در اصلاح خاک شور-سدیمی در مدت ۱۴ روز انجام شد. محققان خاک را در یک تانک شیشه‌ای قرار داده و از الکترودهایی از جنس استیل استفاده کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که عملیات اصلاحی باعث شده است که SAR و ESP تا ۹۰ درصد کاهش داشته باشند (Jayasekera & Hall, 2007).

در بیشتر مطالعات انجام شده، الکتروودها به‌صورت عمودی نصب شده و حرکت افقی املاح در حالت اشباع مدنظر بوده است، لذا در تحقیق حاضر هدف اصلی، بررسی تأثیر نصب افقی الکتروودها و اعمال فرآیند الکتروکینتیک همزمان با آبشویی خاک و در شرایط غیر اشباع بوده است.

مواد و روش‌ها

خاک مورد نیاز تحقیق از اراضی شور-سدیمی اطراف شهر اینچه‌برون واقع در استان گلستان با عرض جغرافیایی "۲۱' ۲۷" ۳۷° و طول جغرافیایی "۱۸' ۴۵" ۵۴° و از اعماق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری جمع‌آوری شد. اقلیم منطقه خشک و معتدل، متوسط بارندگی سالیانه منطقه ۳۲۰ میلی‌متر و متوسط درجه حرارت سالیانه منطقه ۱۸/۵ سانتی‌گراد می‌باشد. تمامی خاک‌های جمع‌آوری شده به خوبی با یکدیگر مخلوط شده، در معرض هوا خشک شده و سپس از الک دو میلی‌متری عبور داده شدند.

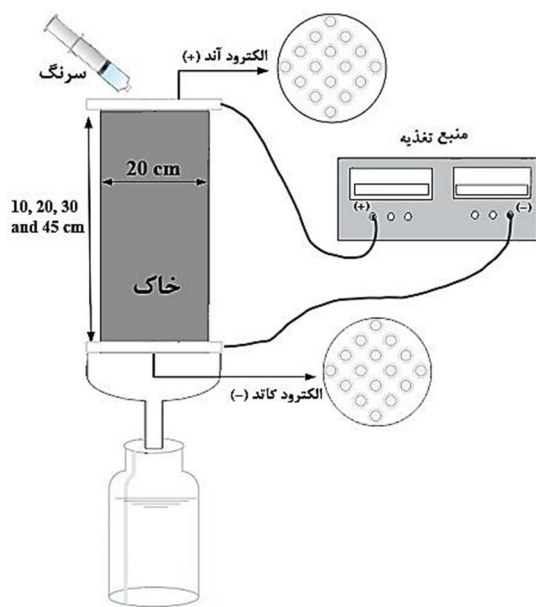
برای تشکیل ستون‌های خاک، لوله‌های استوانه‌ای شکل از جنس پلی‌اتیلن با قطر ۲۰ سانتی‌متر در چهار ارتفاع ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۵ سانتی‌متر تهیه شدند و در انتهای تحتانی

نتایج و بحث

نتایج حاصل از تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک مورد آزمایش و آب مورد استفاده برای آبشویی به ترتیب در جدول (۱) و (۲) نمایش داده شده است. یون‌های غالب عصاره اشباع خاک را روی هم‌رفته به ترتیب غلظت کلر، سدیم، کلسیم، سولفات، منیزیم و بی‌کربنات تشکیل داده است. این در حالی است که عصاره اشباع خاک کلاً فاقد یون کربنات بوده است. بدین ترتیب نتیجه می‌گردد که یون‌های خاک را عمدتاً کلرور (در مرحله اول کلرور سدیم) و سولفات‌های سدیم، کلسیم و منیزیم تشکیل می‌دهند.

دمای زه‌آب خروجی اندازه‌گیری شد. در ابتدای آزمایش حجم آبی معادل آب موردنیاز برای رسیدن به ظرفیت مزرعه به نمونه‌ها اضافه شد. با توجه نفوذپذیری خاک مورد آزمایش، آبی معادل چهار برابر آب منفذی و با تناوب ۳۰ میلی‌متر وارد نمونه‌های خاک گردید.

برای هدایت زه‌آب و جمع‌آوری آن نیز از ظروف قیفی شکل و مدرج استفاده شد. اسیدیته زه‌آب خروجی توسط pH متر و هدایت الکتریکی توسط چند EC متر اندازه‌گیری شدند. از آزمون تی‌تست برای مقایسه میانگین‌ها استفاده شده و نمودارها توسط نرم‌افزار اکسل ویرایش ۲۰۱۳ ترسیم شد.



شکل ۱. نمای شماتیک اجزای سیستم اصلاح الکتروکینتیکی

جدول ۱. خصوصیات شیمیایی و فیزیکی خاک مورد آزمایش

خصوصیات شیمیایی										
Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	ماده آلی	EC	SAR	PH	ESP
meq/lit					%	dS/m	(meq/lit) ^{0.5}	---	%	
۵۳۵	۴۳۲	۱۵/۲	۰/۴	۹۲۱	۶۲/۹	۰/۶	۸۴/۳	۳۵/۷	۷/۵	۵۴/۵
خصوصیات فیزیکی										
درجه اشباع			شن	سیلت	رس	بافت	---			
			%			لومی رسی				
۴۴			۳۸	۳۳	۲۹					

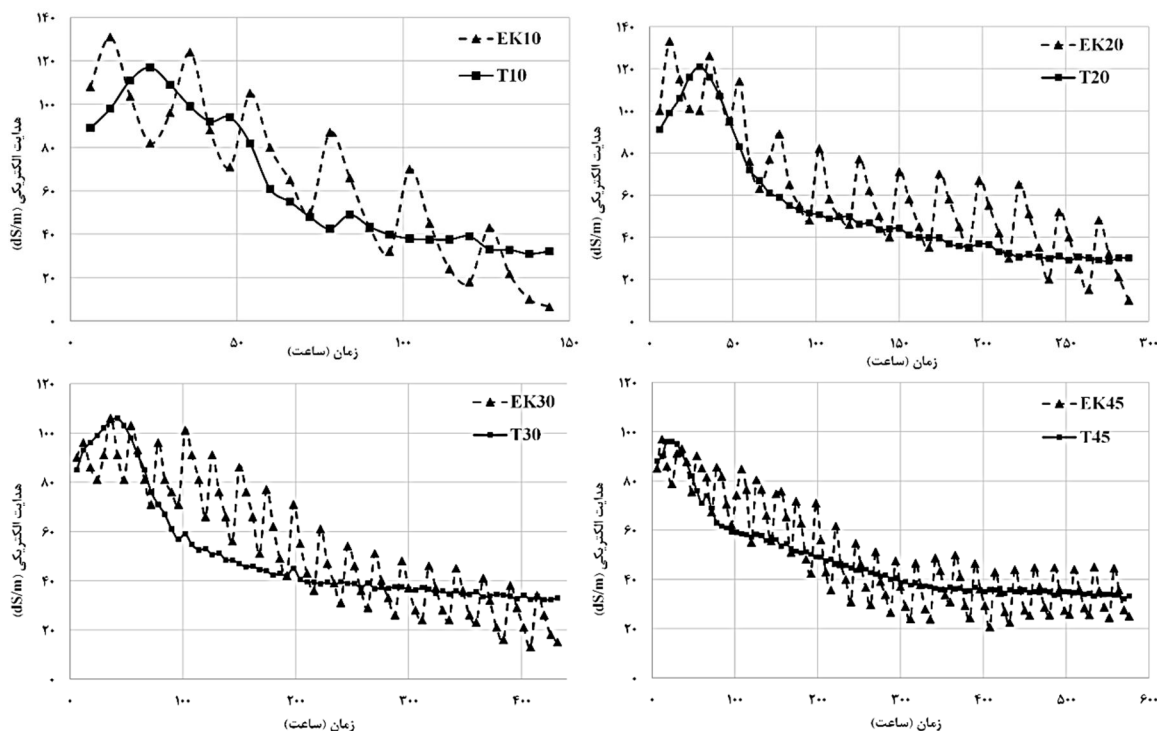
جدول ۲- خصوصیات آب مورد استفاده برای آبیویی

Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	کلاس آب	دما	EC	SAR	PH
meq/lit					----	°C	dS/m	(meq/lit) ^{0.5}	---
۱/۱	۷/۱	۰/۴	۶/۵	۱/۲	C3-S1	۲۳	۰/۹	۰/۶	۷/۱

از نمونه‌ها در طول مدت آزمایش می‌باشند. قابل ذکر است که تمامی نتایج ارائه شده در بخش نتایج و بحث مربوط به میانگین سه تکرار برای هر تیمار می‌باشد.

هدایت الکتریکی زه‌آب

نتایج کلی آبیویی به صورت منحنی‌های شکل (۲) نشان داده شده است. این منحنی‌ها نشان دهنده تغییرات لحظه‌ای (غیر تجمعی) هدایت الکتریکی زه‌آب خروجی



شکل ۲. تغییرات لحظه‌ای هدایت الکتریکی زه‌آب خروجی در طول مدت آزمایش

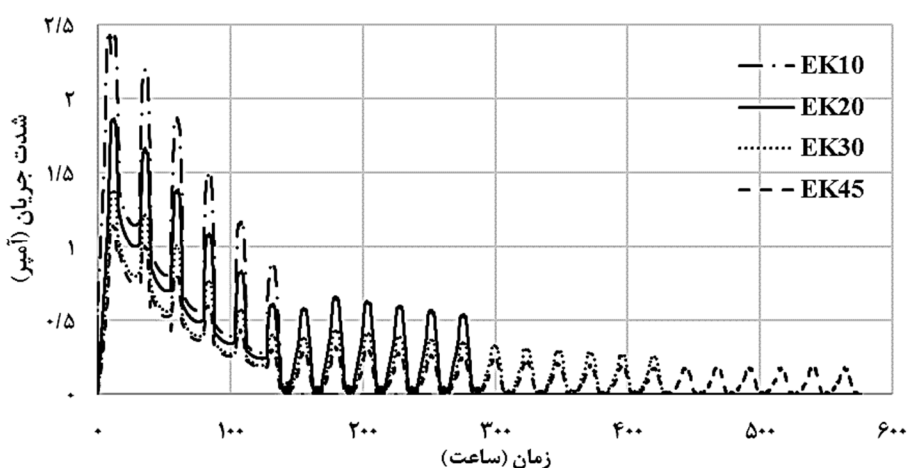
در طی آزمایش دانست، به طوری که مدتی پس از ورود هر قسمت از آب آبیویی هدایت الکتریکی آب خروجی به حداکثر خود رسیده و پس از آن با کاهش رطوبت خاک، غلظت یون‌های خروجی نیز کاهش یافته است. Virkutyt و همکاران (۲۰۰۱) نیز مقدار رطوبت خاک را یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر در فرآیند الکتروکیستیک دانسته است که صحت این امر در تحقیق حاضر با توجه به تغییرات مشاهده شده در هدایت الکتریکی به تناسب تغییرات رطوبت خاک تایید گردید.

همان‌گونه که در شکل‌ها مشخص است، در تمامی تیمارهای شاهد هرچه از زمان شروع آزمایش گذشته است، هدایت الکتریکی زه‌آب خروجی ابتدا افزایش و سپس کاهش یافته است و این کاهش در مراحل ابتدایی آزمایش با شیب بیشتری نسبت به مراحل انتهایی هر آزمایش صورت گرفته است. هرچند در تیمارهای الکتروکیستیک نیز روند کلی همانند تیمارهای شاهد، به صورت کاهشی می‌باشد، ولی تغییرات لحظه‌ای هدایت الکتریکی به صورت سینوسی بوده است. می‌توان این تغییرات افزایشی و کاهشی را تابع درصد رطوبت خاک

تغییرات شدت جریان الکتریکی در طول مدت آزمایش در شکل (۳) نشان داده شده است. همان گونه که در شکل مشهود است، تغییرات شدت جریان نیز به صورت افزایشی کاهشی بوده و تقریباً در تمامی تیمارهای الکتروکینتیک از یک الگو پیروی می نمایند. البته مقدار بیشینه شدت جریان به ویژه در مراحل ابتدایی آزمایش ها با توجه به فاصله الکترودها متفاوت بوده و هر چه فاصله الکترودها کمتر بوده است، شدت جریان بیشتری از خاک عبور نموده است. به طوری که مقدار بیشینه شدت جریان برای تیمارهای EK45 و EK30, EK20, EK10 به ترتیب برابر ۲/۴۳، ۱/۸۷، ۱/۳۸ و ۱/۱۵ آمپر می باشد.

هدایت الکتریکی زه آب خروجی در آخرین لحظه آزمایش برای تیمارهای EK30, EK20, EK10 و EK45 به ترتیب برابر ۶/۵، ۱۰/۲، ۱۴/۹ و ۲۴/۷ دسی زیمنس بر متر بوده است در صورتی که مقادیر معادل آنها برای تیمارهای شاهد T45 و T30, T20, T10 به ترتیب برابر ۳۰/۱، ۳۲/۴، ۳۴/۸ و ۳۲/۹ می باشد. مقایسه هر یک از مقادیر آزمایش های الکتروکینتیک با مقادیر متناظر شاهد آنها نشان می دهد که به طور کلی روش اصلاح الکتروکینتیک توانسته است هدایت الکتریکی نهایی زه آب که در تعادل با شوری عصاره اشباع خاک می باشد را بیشتر از مقادیر شاهد کاهش دهد.

شدت جریان الکتریکی



شکل ۳. تغییرات شدت جریان الکتریکی در طول مدت آزمایش

باشد. محققان زیادی تغییرات شدت جریان را تابعی از رطوبت، غلظت یونها و اسیدیته خاک دانسته اند (Al-Hamdan & Reddy, 2008; Yuan et al., 2009).

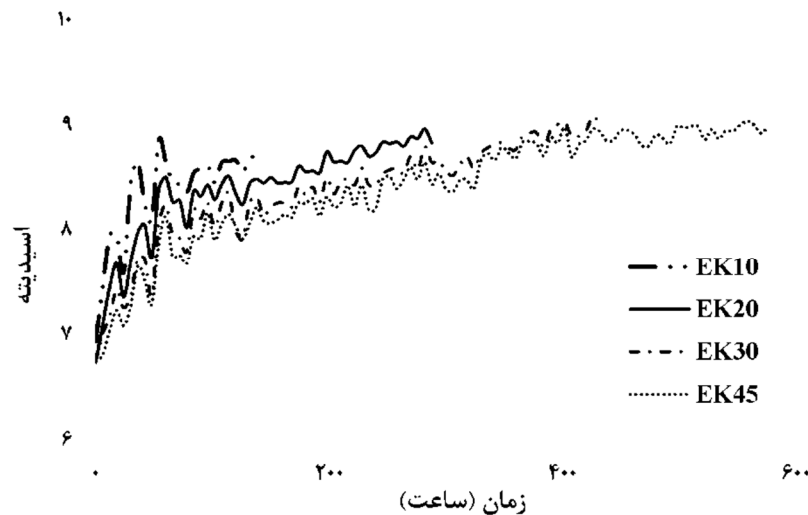
اسیدیته زه آب

عموما در فرآیند الکتروکینتیک، یونهای H^+ از قسمت آند وارد ستون خاک شده و به سمت کاتد حرکت می نمایند و همچنین یونهای OH^- از کاتد وارد شده و به سمت آند حرکت می نمایند (Mattson, Bowman, & Lindgren, 2002). میانگین اسیدیته کل زه آب خروجی در

از آنجایی که نقطه اوج منحنی ها تقریباً ۶ تا ۱۲ ساعت پس از ورود آب آبهویی به خاک اتفاق افتاده است می توان نتیجه گرفت که تغییرات شدت جریان نیز مانند تغییرات کیفیت زه آب خروجی، به طور مستقیم در ارتباط با رطوبت خاک بوده و پس از توزیع کامل آب وارد شده در خاک، شدت جریان نیز بیشینه شده است. همچنین در تمامی تیمارها هر چه از زمان آزمایش گذشته است، دامنه نوسان شدت جریان بین دو آبیاری کاهش یافته است. دو عامل اصلی این کاهش نوسانات می تواند کاهش تدریجی شوری خاک و همچنین اسیدیته خاک در طی آزمایش

تغییرات اسیدیته در خاک را از مقادیر نزدیک ۳ در نزدیکی آند تا مقادیر نزدیک ۱۱ در نزدیکی کاتد گزارش کرده است. علت عدم افزایش اسیدیته تا مقادیر گزارش شده در منابع را می‌توان این‌گونه ذکر نمود که در آزمایش‌های معمول الکتروکیتیک، رطوبت خاک ثابت بوده و فرآیند الکتروکیتیک همواره در طول مدت آزمایش در حال انجام است، در صورتی که در مطالعه حاضر به دلیل زهکشی هم‌زمان خاک و همچنین ورود آب از بالای نمونه‌ها، رطوبت خاک همواره متغیر بوده و فرآیند الکتروکیتیک بصورت نوسانی انجام شده است.

طول مدت آزمایش در شکل (۴) نشان داده شده است. از آنجایی که در آزمایش حاضر، الکتروکاتد در قسمت زیرین نمونه‌ها قرار گرفته و با توجه به تشکیل جبهه بازی و تولید یون هیدروکسیل در نزدیکی کاتد، اسیدیته زه‌آب خروجی تحت تأثیر کاتد بوده و روند افزایشی داشته است. به‌طورکلی در تمامی تیمارهای الکتروکیتیک، اسیدیته زه‌آب خروجی در شروع آزمایش از مقداری نزدیک اسیدیته خاک و آب ورودی (نزدیک ۷) شروع شده و سپس در ابتدا با شدت زیادی افزایش یافته و سپس با شیب ملایمی حداکثر تا مقدار ۹ پیش رفته است. Yeung در سال ۲۰۱۱ با مروری بر چندین تحقیق، میزان



شکل ۴: تغییرات اسیدیته زه‌آب خروجی در طول مدت آزمایش

که عامل دما در آزمایش حاضر تأثیر بسزایی نداشته است.

دمای زه‌آب

با توجه به اینکه در فرآیند الکتروکیتیک، واکنش‌های مختلفی رخ می‌دهد که بسیاری از آن‌ها گرمازا می‌باشند، دمای خاک و در نتیجه دمای زه‌آب خروجی افزایش می‌یابد. افزایش بیش از حد دما می‌تواند بر روی میکروارگانیسم‌های خاک و همچنین کارایی روش الکتروکیتیک تأثیر منفی ایجاد نماید (Tahmasbian, 2012). اندازه‌گیری دمای خروجی زه‌آب در تیمارها، نشان از عدم تغییر قابل توجه این پارامتر داشت. به‌طوری‌که دمای زه‌آب در تیمارهای الکتروکیتیک بین ۲۳ تا ۳۵ درجه سانتی‌گراد متغیر بود. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت

خصوصیات زه‌آب به تفکیک یونها

بررسی خصوصیات زه‌آب به تفکیک یون‌های مختلف (جدول ۳) نشان می‌دهد که به‌طورکلی در تیمارهای شاهد، خروج یون‌های مختلف یا یکدیگر تفاوت چندانی نداشته‌اند و متوسط خروج یون‌های دو ظرفیتی مانند کلسیم و منیزیم کمی از خروج یون‌های تک‌ظرفیتی مانند سدیم کمتر بوده است. با توجه به قرارگیری الکتروکاتد در قسمت زیرین ستون خاک در تیمارهای الکتروکیتیک، انتظار می‌رود که حرکت یون‌های مثبت (کلسیم، منیزیم و

خاک‌های سدیمی می‌باشد. به طور کلی با توجه به جدول (۳) می‌توان نتیجه گرفت که نمک‌های شسته شده عمدتاً کلرور، سدیم و کلسیم بوده‌اند.

به منظور مقایسه بهتر تمامی تیمارهای ارتفاع با یکدیگر، مقادیر مجموع وزن نمک‌های خارج شده در واحد وزن خاک محاسبه و به همراه سایر خصوصیات در جدول (۴) ارائه شده است. نتایج آزمون تی‌تست نشان داد که بین میانگین‌های دو جامعه شاهد و الکتروکیتیک در مورد وزن نمک خروجی، متوسط هدایت الکتریکی، نسبت جذبی سدیم و اسیدپته زه‌آب خروجی اختلاف معنی‌داری در سطح ۹۵ درصد وجود دارد. بنابراین می‌توان نتیجه‌گیری نمود که اعمال روش الکتروکیتیک به همراه آبشویی می‌تواند روند اصلاح خاک‌های شور- سدیمی را بهبود ببخشد.

مقایسه مقادیر وزن نمک خروجی در واحد وزن خاک بین تیمارهای ارتفاع نشان می‌دهد که هر چه ارتفاع ستون خاک افزایش می‌یابد، اختلاف بین نمک خروجی در تیمار الکتروکیتیک و شاهد کاهش می‌یابد. به طوری که این اختلاف در تیمار ۱۰ سانتی‌متری برابر ۱۸/۲ گرم در کیلوگرم بوده است ولی در تیمار ۴۵ سانتی‌متری برابر ۳/۳ گرم در کیلوگرم می‌باشد. لذا مجدداً مشخص می‌شود که افزایش فاصله الکترودها، راندمان فرآیند الکتروکیتیک را کاهش می‌دهد.

سدیم) به سمت این الکتروود زیرین افزایش یافته و غلظت این یون‌ها در محلول زه‌آب نهایی بیشتر باشد (Beaudin, 2010). اعداد ارائه شده در جدول (۳) این مسئله را تصدیق می‌نماید. آزمون تی‌تست بین میانگین غلظت یون‌های با بار مثبت در زه‌آب خروجی نشان داد که تفاوتی معنی‌دار ($p < 0.05$) بین دو گروه الکتروکیتیک و شاهد وجود داشته است و اصلاح الکتروکیتیک به طور معنی‌داری خروج یون‌های مثبت را افزایش داده است.

با توجه به قرارگیری الکتروود آند در بالای نمونه خاک‌ها و تمایل حرکت آنیون‌ها به سمت آند، مشاهده می‌شود که به طور کلی خروج یون‌های منفی مانند کلر در زه‌آب خروجی کاهش یافته است، ولی این مقدار کاهش معنی‌دار ($p < 0.05$) نبوده است. علت تأثیر کم الکتروود آند در جلوگیری از خروج آنیون‌ها را می‌توان مشکل بودن حرکت یون‌ها بر خلاف نیروی گرانش زمین و فرآیند آبشویی دانست.

همچنین مشاهده می‌شود که اعمال جریان الکتریکی باعث افزایش بیشتر خروج یون سدیم در مقایسه با دو یون کلسیم و منیزیم شده است. به طوری که افزایش خروج یون سدیم به طور متوسط به مقدار ۸/۵ درصد بیشتر از متوسط خروج یون‌های کلسیم و منیزیم بوده است، این در حالی است که این مقدار در تیمارهای شاهد فقط ۳/۵ درصد بوده است. این مسئله نشان می‌دهد که روش الکتروکیتیک، روشی مناسب برای اصلاح

جدول ۳. متوسط غلظت یون‌های مختلف در محلول زه‌آب خروجی

یون‌ها	T10	EK10	T20	EK20	T30	EK30	T45	EK45
کلر	۵۱۵	۵۰۵/۷	۵۰۴/۱	۴۸۹/۸	۴۶۴/۸	۴۵۵/۸	۴۷۰/۳	۴۴۲/۹
بیکربنات	۰/۳	۰/۳۱	۰/۳	۰/۳	۰/۲	۰/۲	۰/۲	۰/۲
سولفات	۴۳/۴	۴۸/۷	۴۴/۷	۴۸/۱	۳۲/۳	۴۲/۵	۲۹/۲	۲۷/۸
منیزیم	۸/۸	۱۳/۶	۸/۶	۱۲/۱	۷/۸	۱۰/۴	۸/۳	۹/۲
کلسیم	۲۳۱/۲	۳۳۸/۱	۲۲۱/۶	۲۴۲/۲	۲۰۵/۷	۳۰۷/۸	۲۲۷/۶	۲۵۵/۶
سدیم	۳۲۴/۷	۴۹۶/۸	۳۱۱/۸	۴۷۲/۵	۲۷۴/۷	۴۱۶/۳	۲۸۰/۳	۳۰۶/۵

جدول ۴: متوسط خصوصیات کیفی زه‌آب خروجی و متوسط شدت جریان الکتریکی

تیمار	متوسط هدایت الکتریکی زه‌آب (EC)	وزن نمک خروجی در واحد وزن خاک	نسبت جذبی سدیم (SAR)	متوسط اسیدیته (PH)	متوسط شدت جریان الکتریکی
	(dS/m)	(gr/kg)	(meq/lit) ^{0.5}	---	Am
T10	۴۸/۲	۴۲/۶	۲۹/۴	۷/۲	---
EK10	۶۲/۲	۵۶/۸	۳۷/۷	۸/۹	۲/۴
T20	۴۶/۷	۴۲/۵	۲۳/۹	۷	---
EK20	۵۸/۳	۵۲/۸	۳۵/۴	۸/۷	۱/۹
T30	۴۲/۱	۳۸/۶	۲۶/۲	۷/۴	---
EK30	۵۵/۱	۵۰/۷	۳۳/۸	۸/۶	۱/۴
T45	۴۰/۲	۳۲/۲	۲۶/۴	۷/۳	---
EK45	۴۸/۶	۴۰/۵	۳۰/۱	۸/۵	۱/۱

نتیجه‌گیری

در این تحقیق، تأثیر همزمان آبشویی و اعمال جریان الکتریکی در خاک مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که اصلاح الکتروکینتیکی با قرارگیری کاتد در قسمت خروج یون‌های مثبت از خاک را افزایش دهد به طوری زیرین نمونه توانسته است به طور معنی‌داری ($p < 0.05$) که خروج کاتیون‌ها به مقدار ۲۵ درصد نسبت به شاهد افزایش یافته است. همچنین این روش، باعث شده است خروج یون سدیم نسبت به یون‌های کلسیم و منیزیم به مقدار بیشتری نسبت به تیمارهای شاهد افزایش یابد که این مسئله یکی از مزیت‌های این روش در اصلاح

خاک‌های سدیمی به حساب می‌آید. می‌توان گفت که اجرای روش الکتروکینتیکی مجموعاً توانسته است روند خروج یون‌ها از خاک را تسریع نموده و در نتیجه با استفاده از این روش می‌توان در یک مدت‌زمان ثابت و حجم مشخصی آب آبشویی، یون‌های بیشتری را از خاک خارج نمود. هرچند هزینه تجهیزات و مصرف انرژی از معایب این روش می‌باشد ولی با توجه به محدودیت تأمین آب با کیفیت مناسب در بسیاری از مناطق و همچنین چشم‌انداز روشن کاهش هزینه‌های تولید انرژی در آینده، می‌توان اصلاح خاک به روش الکتروکینتیکی را بیش از پیش مورد توجه قرار داد.

فهرست منابع

- پذیرا، ا. و کشاورز، ع. ۱۳۸۷. بررسی و تعیین آب مورد نیاز اصلاحی خاک‌های شور و سدیمی اراضی جنوب شرقی استان خوزستان. مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی، جلد ۴، شماره ۱۶.
- جلیل‌فر، عظیم‌بردی، و مهاجرمیلانی، پ. ۱۳۷۲. منحنی‌های شور و سدیم‌زدایی خاکهای شور و قلیا منطقه گرگان. نشریه فنی شماره ۲۰۷/۷۲ مرکز تحقیقات کشاورزی گرگان و گنبد.
- هاشمی‌نژاد، ی.، غلامی، م. و سلطانی، و. ۱۳۹۱. ارزیابی دقت روش‌های حل مدل بیلان حجمی در تخمین پیشروی آب در آبیاری جویچه‌ای. نشریه حفاظت منابع آب و خاک، ۱ (۳): ۵۹-۶۸.
- Abrol, I. P., Yadav, J. S. P., & Massoud, F. I. 1988. Salt-Affected Soils and their Management. FAO Soils Bulletin. Soil Resources Management and Conservation Service FAO Land and Water Development Division. Retrieved from <http://www.fao.org/docrep/x5871e/x5871e00.htm#Contents>
- Akhtar, M. S., Steenhuis, T. S., Richards, B. K., & McBride, M. B. 2004. Chloride and Lithium Transport in Large Arrays of Undisturbed Silt Loam and Sandy Loam Soil Columns. Vadose Zone Journal. <http://doi.org/10.2136/vzj2004.0316>
- Al-Hamdan, A. Z., & Reddy, K. R. 2008. Transient behavior of heavy metals in soils during electrokinetic remediation. Chemosphere, 71(5): 860-871. <http://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2007.11.028>

- Ammari, T. G., Tahboub, A. B., Saoub, H. M., Hattar, B. I., & Al-Zu'bi, Y. a. 2008. Salt removal efficiency as influenced by phyto-amelioration of salt-affected soils. *Journal of Food, Agriculture and Environment*, 6(3-4): 456-460.
- Anapali, Ö., Üstün, N., Öztafi, T., & Hanay, A. 2001. Defining Effective Salt Leaching Regions Between Drains. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 25: 51-56.
- Beaudin, J. J. 2010. Remediation of Salt Contaminated Sites Using Electrokinetics. ROYAL ROADS UNIVERSITY.
- Cho, J. M., Park, S. Y., & Baek, K. 2010. Electrokinetic restoration of saline agricultural lands. *Journal of Applied Electrochemistry*, 40(6): 1085-1093. <http://doi.org/10.1007/s10800-010-0072-3>
- Choi, J. H., Maruthamuthu, S., Lee, H. G., Ha, T. H., & Bae, J. H. 2009. Nitrate removal by electro-bioremediation technology in Korean soil. *Journal of Hazardous Materials*, 168(2-3): 1208-1216. <http://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.02.162>
- Giannis, A., Gidarakos, E., & Skouta, A. 2007. Application of sodium dodecyl sulfate and humic acid as surfactants on electrokinetic remediation of cadmium-contaminated soil. *Desalination*, 211(1-3): 249-260. <http://doi.org/10.1016/j.desal.2006.02.097>
- Hassan, I., & Mohamed-el-hassan, E. 2012. Electrokinetic Remediation with Solar Power for a Homogeneous Soft Clay Contaminated with Copper. *International Journal of Environmental Pollution and Remediation*, 1(1). <http://doi.org/10.11159/ijepr.2012.010>
- Jayasekera, S., & Hall, S. 2007. Modification of the properties of salt affected soils using electrochemical treatments. *Geotechnical and Geological Engineering*, 25(1): 1-10. <http://doi.org/10.1007/s10706-006-0001-8>
- Kim, D. H., Jo, S. U., Choi, J. H., Yang, J. S., & Baek, K. 2012. Hexagonal two dimensional electrokinetic systems for restoration of saline agricultural lands: A pilot study. *Chemical Engineering Journal*, 198-199, 110-121. <http://doi.org/10.1016/j.cej.2012.05.076>
- Kim, S., Moon, S., & Kim, K. 2001. Removal of heavy metals from soils using enhanced electrokinetic soil processing. *Water, Air, and Soil Pollution*, 125(1): 259-272.
- Lageman, R., Clarke, R. L., & Pool, W. 2005. Electro-reclamation, a versatile soil remediation solution. *Engineering Geology*, 77(3-4 SPEC. ISS.), 191-201. <http://doi.org/10.1016/j.enggeo.2004.07.010>
- Lee, Y.-J., Choi, J.-H., Lee, H.-G., & Ha, T.-H. 2013. Electrokinetic Remediation of Saline Soil Using Pulse Power. *Environmental Engineering Science*, 30(3): 133-141. <http://doi.org/10.1089/ees.2012.0118>
- Lee, Y.-J., Choi, J.-H., Lee, H.-G., Ha, T.-H., & Bae, J.-H. 2012. Effect of Electrode Materials on Electrokinetic Reduction of Soil Salinity. *Separation Science and Technology*, 47(1), 22-29. <http://doi.org/10.1080/01496395.2011.607205>
- Luo, Q. , Zhang, X. , Wang, H., & Qian, Y. 2004. The migration and its mechanism of phenolic contaminants in soil by electrokinetics. *China Environmental Science*, 24(2): 134-138.
- Mahjoory, R. a. 1979. The Nature and Genesis of Some Salt-Affected Soils in Iran1. *Soil Science Society of America Journal*. <http://doi.org/10.2136/sssaj1979.03615995004300050041x>
- Mattson, E. D., Bowman, R. S., & Lindgren, E. R. 2002. Electrokinetic ion transport through unsaturated soil: 1. Theory, model development, and testing. *Journal of Contaminant Hydrology*, 54(1-2), 99-120. [http://doi.org/10.1016/S0169-7722\(01\)00144-9](http://doi.org/10.1016/S0169-7722(01)00144-9)
- Mohamed-el-hassan, E., & Shang, J. Q. 2003. Electrokinetics-generated pore fluid and ionic transport in an offshore calcareous soil. *Canadian Geotechnical Journal*, 40(6), 1185-1199. <http://doi.org/10.1139/t03-060>
- Ou, C. Y., Chien, S. C., & Wang, Y. G. 2009. On the enhancement of electroosmotic soil improvement by the injection of saline solutions. *Applied Clay Science*, 44(1-2): 130-136. <http://doi.org/10.1016/j.clay.2008.12.014>
- Pillay, a. E., Williams, J. R., El Mardi, M. O., Hassan, S. M., & Al-Hamdi, A. 2005. Boron and the alternate-bearing phenomenon in the date palm (*Phoenix dactylifera*). *Journal of Arid Environments*, 62(2): 199-207. <http://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2004.11.007>
- Reddy, K. R., & Cameselle, C. 2009. Electrochemical Remediation Technologies for Polluted Soils, Sediments and Groundwater. *Electrochemical Remediation Technologies for Polluted Soils, Sediments and Groundwater*. <http://doi.org/10.1002/9780470523650>
- Reddy, K. R., & Saichek, R. E. 2004. Enhanced electrokinetic removal of phenanthrene from clay soil by periodic electric potential application. *Journal of Environmental Science and Health. Part A, Toxic/hazardous Substances & Environmental Engineering*, 39(5): 1189-1212. <http://doi.org/10.1081/ESE-120030326>
- Sah, J. G., & Chen, J. Y. (1998). Study of the electrokinetic process on Cd and Pb spiked soils. In *Journal of Hazardous Materials*, 58: 301-315. [http://doi.org/10.1016/S0304-3894\(97\)00140-4](http://doi.org/10.1016/S0304-3894(97)00140-4)
- Sun, T. R., & Ottosen, L. M. (2012). Effects of pulse current on energy consumption and removal of heavy metals during electrodialytic soil remediation. In *Electrochimica Acta*, 86: 28-35. Elsevier Ltd. <http://doi.org/10.1016/j.electacta.2012.04.033>

- Tahmasbian, I. 2012. Soil electrokinetic remediation and its effects on soil microbial activity- A review. *African Journal of Microbiology Research*, 6(10): 2233–2238. <http://doi.org/10.5897/AJMR11.967>
- Turer, D., & Genc, a. (2005). Assessing effect of electrode configuration on the efficiency of electrokinetic remediation by sequential extraction analysis. *Journal of Hazardous Materials*, 119(1-3), 167–174. <http://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2004.12.003>
- Virkutyte, J., Sillanpää, M., & Latostenmaa, P. 2002. Electrokinetic soil remediation - Critical overview. *Science of the Total Environment*, 289(1-3): 97–121. [http://doi.org/10.1016/S0048-9697\(01\)01027-0](http://doi.org/10.1016/S0048-9697(01)01027-0)
- Xu, H., Chen, W., Wang, C., Chen, B., & Yang, J. 2012. An enhanced electrokinetic remediation of saline lands by sludge layer. *Journal of Food, Agriculture and Environment*, 10(1): 709–713.
- Yeung, A. T. 2011. Milestone developments, myths, and future directions of electrokinetic remediation. *Separation and Purification Technology*, 79(2): 124–132. <http://doi.org/10.1016/j.seppur.2011.01.022>
- Yuan, S., Wu, C., Wan, J., & Lu, X. 2009. In situ removal of copper from sediments by a galvanic cell. *Journal of Environmental Management*, 90(1): 421–427. <http://doi.org/10.1016/j.jenvman.2007.10.009>



ISSN 2251-7480

Surveying the effect of electrokinetic together with leaching remediation on quality of drain water of a saline-Alkaline soil

Meysam Ramezani¹, Mohammad Ali Gholami Sefidkouhi^{2*}, Mirkhalegh Ziatabar Ahmadi³

1) Ph.D. student, Department of Water Eng., Agriculture and Natural Resources, University of Sari, Sari, Iran

2) Assistant professor, Department of Water Eng., Agriculture and Natural Resources, University of Sari, Sari, Iran

*Corresponding author email: ma.gholami@sanru.ac.ir

3) Assistant professor, Department of Water Eng., Agriculture and Natural Resources, University of Sari, Sari, Iran

Received: 26-09-2015

Accepted: 07-03-2016

Abstract

The salinity of water and soil is called white death in many countries, because of its importance. Generally, the quantity of leaching water, energy consumption and time usage of soil remediation procedure are important factors which affect suitable method of soil reclamation. Electrokinetic (EK) is a physical method for salt extraction such as chemical, Organic and inorganic compounds. In this study, the horizontal placement of electrodes along with leaching procedure was used in Electrokinetic remediation of a saline-alkaline soil. For this purpose, two aluminum and reticular electrodes was placed above and under the soil column as anode and cathode, respectively. The soil columns heights were 10, 20, 30 and 45 cm. Then leaching water (30 mm) every day and totally Equivalent to Four times pore water was entered to soil and properties of drain water was measured. Although, leaching procedure without applying electrokinetic technique was done as control treatment. The results showed that Electrical Conductivity (EC) of drain water and current rate was changed sinusoidal in EK. Although, pH and temperature of drain water was changed between 6.8 to 9 and 23 to 35 centigrade, respectively. Leaching of cations increased in EK technique significantly ($p < 0.05$). Leaching of anions decreased, but this change was not significant. The ratio of Na^+ leaching compared to Ca^{2+} and Mg^{2+} in EK treatments was 8.5 percent greater than controls. Generally, EK method changed EC, weight of leached salt per soil weight and PH of drain water significantly.

Keywords: aluminum electrodes; electrical current; horizontal electrokinetic; saline-alkaline soil remediation