

جابه‌جایی قائم‌املاح در خاک غیراشباع بر اثر فرایند الکتروشیمی - اسمز

داود نیک‌نژاد و حسن رحیمی*

* به ترتیب عضو هیئت علمی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان شرقی، نشانی: تبریز، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان شرقی، ص. پ. ۱۴۱-۵۳۵۵۵، تلفن: ۲۶۶۲۹۹۳ (۰۴۱۲)، پیام‌نگار: niknezhad2005@yahoo.com؛ و استاد پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران.

تاریخ دریافت مقاله: ۸۵/۱/۱۹؛ تاریخ پذیرش: ۸۶/۹/۲۴

چکیده

در تحقیق حاضر تأثیر جریان الکتریکی مستقیم بر جابه‌جایی املاح، تغییرات هدایت الکتریکی، و اسیدیته خاک در مسیر قائم بررسی شده است. برای این منظور، استوانه‌ای از جنس پلگسی گلاس به ارتفاع ۱ متر و شعاع ۱/۴ متر ساخته شد و تا عمق ۹/۰ متر نسبت به کف با نمونه خاک دارای رطوبت یکنواخت پر شد و ۱۰/۰ متر از قسمت پایین خاک در طول آزمایش در حالت اشباع نگه داشته شد. الکتروود مثبت به شکل میله در قسمت اشباع و الکتروود منفی به شکل شبکه توری در عمق ۱۰/۰ متری از سطح خاک قرار گرفت. بین قسمت اشباع و بخش فوقانی خاک میدان الکتریکی جریان مستقیم با ولتاژ ۸۰ ولت و کشش جریان ۳/۰ آمپر به مدت یک هفته برقرار شد. بعد از اتمام آزمایش مشاهده شد که غلظت یون سدیم از آند به کاتد، همانند شاهد روند صعودی و غلظت یون‌های کلسیم و منیزیم بر عکس غلظت یون سدیم، از آند به کاتد روند نزولی دارد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که در اثر اعمال جریان الکتریکی مستقیم بر توده‌ای از خاک، یون سدیم از آند به سمت کاتد و یون‌های کلسیم و منیزیم از سمت کاتد به سمت آند حرکت می‌کنند و این جابه‌جایی یون‌ها می‌تواند در اصلاح قلیائیت خاک با اهمیت باشد که در این آزمایش مقدار متوسط آن از ۹/۰ به ۴۹/۰ کاهش یافته است. همچنین هدایت الکتریکی ستون خاک مورد آزمایش از بالا به پایین و در مورد شاهد از پایین به بالا افزایش داشته است به طوری که مقدار متوسط آن در ستون خاک مذکور در نمونه شاهد ۴/۱ و در نمونه مورد آزمایش ۱/۱ دسی‌زیمنس بر متر دیده شد و تغییر اسیدیته با توجه به میزان جریان الکتریکی، نسبت به شاهد قابل توجه نبود.

واژه‌های کلیدی

الکتروشیمی - اسمز، جریان الکتریکی مستقیم، حرکت املاح، خاک

مقدمه
بررسی خواهد شد. با توجه به اهمیت موضوع، یک مطالعه موردی با هدف تعیین تأثیر میدان الکتریکی جریان مستقیم بر تعدادی از پارامترهای شیمیایی خاک از جمله غلظت یون‌های سدیم، کلسیم، و منیزیم؛ هدایت الکتریکی؛ و اسیدیته صورت گرفت.

فعالیت‌های الکتروشیمیایی^۱ تابع شرایط محیط و محلول منفذی موجود در آن است. این ویژگی، شدت و

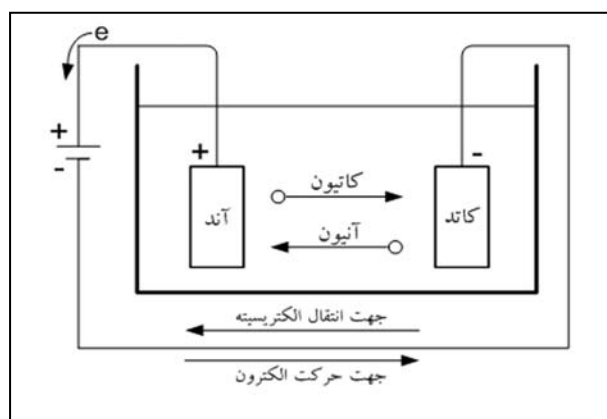
خاک، بستر اصلی در تولید محصولات کشاورزی و تکیه‌گاه ابنیه فنی و عمرانی روی زمین به‌شمار می‌رود. بنابراین، بررسی خواص این نهاد با ارزش می‌تواند اهمیت خاصی داشته باشد. در این خصوص، در زمینه کشاورزی بیشتر خواص شیمیایی و در زمینه فنی و عمرانی خواص مکانیکی و به‌صورت توأم خواص هیدرودینامیکی خاک

آبکاری به کار می‌رود، الکترولیز^۲ می‌گویند. عامل اصلی انتقال یون‌ها، در نتیجه انتقال جرمی است که به واسطه اختلاف غلظت بین قسمت‌های مختلف الکترولیت پیش می‌آید. انتقال جرم در بین توده محلول و محلول اطراف الکترود رخ می‌دهد، که در آنجا یون‌ها بی‌بار می‌شوند و شیب غلظت به وجود می‌آید. بی‌بار شدن یون‌ها در الکترود منجر به تغییرات شیمیایی و در نتیجه موجب اکسیداسیون در آنند و احیا در کاتد می‌شود (Rostami, 1993). شکل ۱ جهت حرکت کاتیون‌ها، آنیون‌ها، الکتروسیته، و الکترون را در یک سلول الکتروشیمیایی نشان می‌دهد (Mofidi, 1988).

مقاومت ویژه خاک رُس دارای ۳۰ درصد رطوبت وزنی، با افزایش درصد املاح (کلرید سدیم) به شدت کاهش می‌یابد (Moradi, 1992) و اضافه کردن ذرات رُس به محلول‌های الکترولیت باعث افزایش هدایت ویژه آنها می‌شود که دلیل آن وجود لایه دوگانه پخشیده^۳ در سطح ذرات رُس است که می‌تواند جریان الکتروسیته را انتقال دهد. با افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی^۴ رُس، هدایت الکترولیت منفذی افزایش می‌یابد (Anon, 1979).

جهت ولتاژ به وجود آمده را تا زمانی تعیین می‌کند که مواد متخلخل با یک الکترولیت^۱ در حال تعادل باشند (Dobrin, 1977). در این تحقیق منظور از ماده متخلخل، خاک و منظور از محلول منفذی همان محلول موجود در خاک است که به عنوان الکترولیت از آن یاد می‌شود و هدایت از نوع الکترولیتی است که با انتقال و جابه‌جایی یون‌ها همراه است.

برای بیان محسوس پدیده الکتروشیمی، چنانچه دو قطعه فلز هادی الکترون که الکتروند نامیده می‌شوند، به فاصله‌ای معین در داخل محلول الکترولیت قرار داده شوند و دو سر آنها به یک منبع تغذیه جریان مستقیم وصل شود مشاهده خواهد شد که اعمال نیروی محرک الکتریکی باعث می‌شود کاتیون‌ها (در جهت جریان و از قطب مثبت به منفی) و آنیون‌ها (در خلاف جهت قراردادی جریان) به حرکت درآیند. الکترودی که در آن واکنش اکسیداسیون یا خوردگی صورت می‌گیرد قطب مثبت یا آنند و الکترودی که در سطح آن واکنش احیا عملی می‌شود، قطب منفی یا کاتد نامیده می‌شود (Mofidi, 1988). این فرایند را که در علم مهندسی شیمی و مهندسی مواد جهت خالص‌سازی فلزات و



شکل ۱- سلول الکتروشیمیایی (Mofidi, 1988)

و به لحاظ شور بودن هدایت الکتریکی بالایی دارد (Niknezhad, 2007). اصلاح و پاکسازی خاک‌های آلوده به فلزات سنگین نمونه‌ای دیگر است که برای این کار یک سیستم بازچرخانی آب از کاتد به آند و ترسیب‌دهنده‌های شیمیایی در محیط اشباع اضافه می‌شود (Niknezhad, 2006).

مواد و روش‌ها

برای اجرای این تحقیق، یک مدل آزمایشگاهی از جنس پلگسی گلاس^۳ به ارتفاع ۱۰۰ سانتی‌متر و قطر داخلی ۲۸ سانتی‌متر ساخته و تا ارتفاع ۹۰ سانتی‌متری از خاک لومی یکنواخت رد شده از الک شماره ۱۰، با رطوبت ۱۲ درصد وزنی و لایه‌هایی به ضخامت ۱۰ سانتی‌متری پر شد. بعد از ریختن هر لایه خاک، تعدادی ضربه روی آن اعمال شد تا تقریباً به حالت تراکم طبیعی مزرعه برسد. عمق آب نسبت به سطح خاک به کمک یک سرریز در ۸۰ سانتی‌متری ثابت نگه داشته شد. الکتروود مثبت (آند) به شکل یک میلگرد فولادی در مرکز نمونه در زیر سطح ایستابی و الکتروود منفی (کاتد) به شکل شبکه توری فلزی در عمق ۱۰ سانتی‌متری از سطح خاک قرار گرفت. چنانچه سطح آب زیرزمینی به عنوان یک سطح هم پتانسیل و شبکه توری موازی سطح آب در نظر گرفته شود، فاصله دو سطح ۷۰ سانتی‌متر خواهد بود. جریان الکتریکی مورد نیاز سیستم از برق شهری تأمین و با چند منبع تغذیه جریان مستقیم، به جریان یکسو تبدیل شد که ولتاژ و کشش جریان هر یک از آنها قابل کنترل بود. برای جلوگیری از نوسان و قطع برق و پیوسته بودن جریان الکتریسیته به هنگام آزمایش، یک دستگاه UPS^۴ به طور موازی بین منبع تغذیه و برق شهری قرار داده شد. ولتاژ و کشش جریان نهایی

برنات زیک^۱ به نقل از وفائیان (Vafaeeyan, 1991) در سال ۱۹۴۷ با عبور دادن جریان الکتریسیته مستقیم از یک نمونه خاک، زاویه اصطکاک داخلی خاک را از ۲۵ به ۳۵ درجه افزایش و خاصیت فشرده‌گی آن را کاهش داد. لئوکاساگرانده^۲ به نقل از وفائیان (Vafaeeyan, 1984) با اجرای عملیات زهکشی به کمک جریان الکتریسیته یکسو توانست شیب پایدار یک شیروانی خاکی را که ۲/۵:۱ بود به ۱:۱ افزایش دهد. تزریق کاتیون‌های با ظرفیت بالا توسط جریان الکتریکی مستقیم در خاک نیز موجب تثبیت الکتروشیمیایی خاک می‌شود (Chappbl, 1974). کاهش رطوبت خاک با استفاده از انرژی الکتریکی مستقیم باعث افزایش مقاومت برشی و در نتیجه بهبود کلی در خواص خاک می‌شود (Lo et al., 1991). همچنین، اصلاح خاک‌های شور در دانشگاه شیراز روی یک نمونه افقی صورت گرفت و نتایج نشان داد که اعمال جریان الکتریسیته مستقیم روی نمونه خاک اشباع باعث کاهش هدایت الکتریکی خاک می‌شود (Zareian, 1989). در دانشگاه تبریز از انرژی الکتریکی برای خارج کردن یون سدیم، که عامل واگرایی خاک رسی است، استفاده شد؛ خاک‌های رسی واگرا از این طریق اصلاح شدند (Moradi, 1992). از این روش در جهت بالابردن مقاومت برشی از طریق ایجاد نشست استفاده و مشاهده شد که درصد واگرایی خاک در اطراف آند کاهش و در اطراف کاتد در داخل میدان الکتریکی افزایش می‌یابد. مهم‌ترین کاربرد عملی این پدیده را اصلاح سدهای خاکی ساخته‌شده‌ای ذکر کرده‌اند که هسته رسی آنها را خاک‌های واگرا تشکیل می‌دهند (Meydani, 1995). از دیگر کاربردهای عملی این پدیده، تثبیت لجن اراضی ساحلی (مانند ساحل دریاچه ارومیه) را می‌توان نام برد که بیشترین ذرات ریز آنها را کلوئیدهای رس تشکیل می‌دهد

1- Bernatzik

2- Leo Casagrande

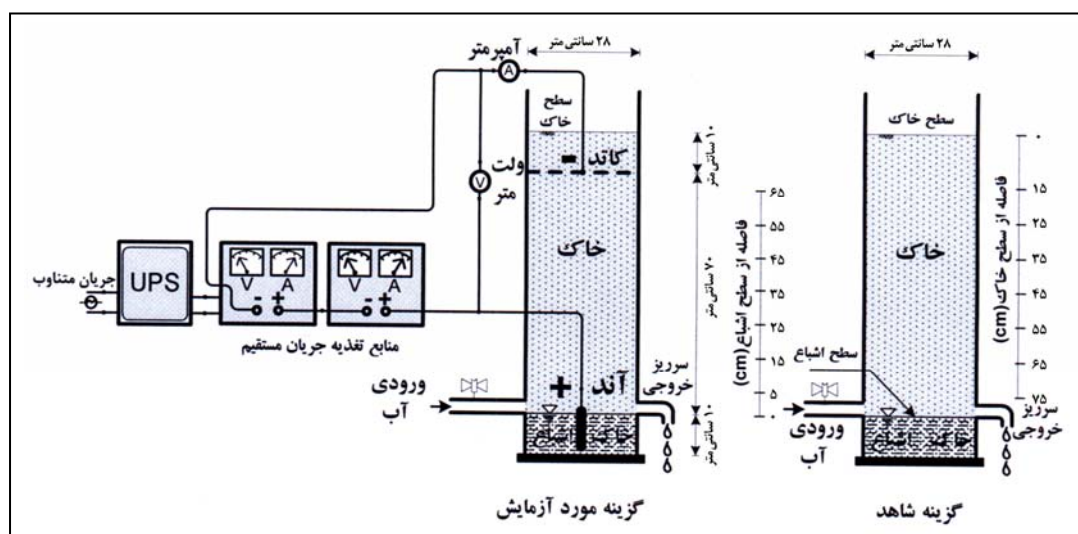
3- Plexi- Glass

4- Uninterruptible Power Supply

خاکشناسی مورد تجزیه شیمیایی قرار گرفتند. در هر نمونه غلظت یون‌های سدیم، کلسیم، و منیزیم محلول و نیز هدایت الکتریکی و اسیدیته عصاره خاک اندازه‌گیری شد. برای مطالعه تأثیر جریان الکتریسیته بر پارامترهای شیمیایی مذکور و مقایسه، یک گزینه شاهد نیز در کنار نمونه مورد آزمایش پیش‌بینی شد. همزمان با نمونه‌برداری از خاک داخل استوانه مورد آزمایش، از خاک داخل استوانه شاهد نیز به همان طریق نمونه‌برداری و نمونه‌ها مورد تجزیه شیمیایی قرار گرفتند. بر اساس شکل ۲، مدل فیزیکی گزینه شاهد نیز از نظر ابعاد همانند گزینه نمونه بود با این تفاوت که جریان الکتریکی به آن اعمال نشده است.

سیستم نیز با ولت‌متر و آمپر متر که به ترتیب به طور موازی و سری در مدار نصب شده بودند اندازه‌گیری می‌شد. نمایی از مدل فیزیکی ساخته‌شده به همراه لوازم جانبی در شکل ۲ نشان داده شده است.

ولتاژ مورد استفاده در این آزمایش ۸۰ ولت و آمپراژ نشان داده شده با آمپر متر با توجه به ولتاژ مذکور حداکثر ۰/۳ آمپر بود که به مدت ۷ روز به طور پیوسته بر خاک داخل مدل اعمال می‌شد. بلافاصله بعد از اتمام دوره آزمایش و قطع جریان الکتریکی، خاک استوانه به تدریج از بالا به پایین با بیلچه تخلیه و از هفت عمق مورد نظر (۱۵، ۲۵، ۳۵، ۴۵، ۵۵، ۶۵، و ۷۵ سانتی‌متری از سطح خاک) به اندازه مورد نیاز نمونه برداشت شد؛ نمونه‌ها از نظر



شکل ۲- مدل فیزیکی طرح الکتروشیمی- اسمز (تیمار و شاهد)

جابه‌جایی قائم املاح در خاک غیراشباع بر اثر ...

نتایج و بحث

داده شده است. با توجه به اینکه کیفیت آب زیرزمینی شبیه‌سازی شده (آب آشامیدنی شهری) به هنگام آزمایش ثابت بود، در همان ابتدا یک بار مورد تجزیه شیمیایی قرار گرفت که نتایج آن در جدول ۱ ارائه شده است. مشخصات فیزیکی و شیمیایی اولیه خاک مورد استفاده در آزمایش نیز به ترتیب در جدول‌های ۲ و ۳ ارائه گردیده‌اند.

بر اساس مجموعه نتایج به دست آمده در این تحقیق، متوسط غلظت کاتیون‌های اصلی در ستون خاک گزینه شاهد و گزینه نمونه بعد از اتمام مدت زمان آزمایش، از نمونه خاک‌های برداشت‌شده در عمق‌های مذکور که در روش آزمایش به آنها اشاره شد محاسبه و در شکل ۳ نشان

جدول ۱- نتایج حاصل از تجزیه شیمیایی آب زیرزمینی شبیه‌سازی شده

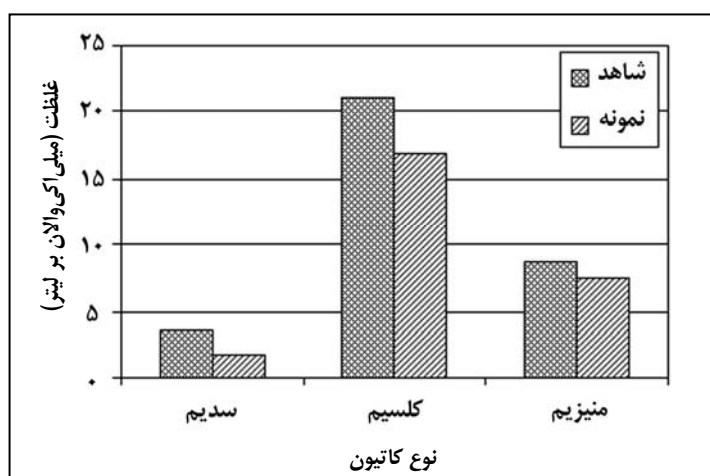
Na ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	EC	pH
(میلی‌مول بر لیتر)	(میلی‌مول بر لیتر)	(میلی‌مول بر لیتر)	(دسی‌زیمنس بر متر)	
۰/۸	۲/۸	۱/۵	۰/۵	۷/۵

جدول ۲- مشخصات فیزیکی خاک (قبل از آزمایش)

درصد رطوبت وزنی				بافت خاک	وزن مخصوص (گرم بر سانتی‌متر مکعب)	
اشباع	ظرفیت زراعی	اولیه	نقطه پژمردگی		حقیقی	ظاهری
۳۰/۵	۲۲	۱۲	۹/۴	لوم	۲/۵۹	۱/۴۴

جدول ۳- مشخصات شیمیایی اولیه خاک (قبل از آزمایش)

Na ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻	Cl ⁻	pH	EC
غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌های محلول (میلی‌اکی‌والان بر لیتر)								
۳/۴	۱۶/۴	۶/۸	۱۴/۶	۳/۱	-	۴/۹	۷/۹	۲/۱



شکل ۳- متوسط غلظت کاتیون‌های اصلی در نمونه مورد آزمایش و شاهد بعد از اتمام آزمایش

اشباع برای رسیدن به حالت خنثی یا تعادل یونی، تبادل کاتیونی انجام می‌دهند و تعدادی از کاتیون‌های با ظرفیت بالا نظیر کلسیم و منیزیم به سمت پایین جابه‌جا و جایگزین سدیم می‌شوند. از طرف دیگر، با توجه به اینکه جهت حرکت رطوبت از پایین به بالا یا از آند به کاتد است تعدادی از کاتیون‌های موجود در آب به همراه آب وارد ستون خاک می‌شوند و تا زمانی که تمام قسمت‌های خاک از نظر الکتریکی به حالت تعادل برسد کاتیون‌های با ظرفیت بالا در آن قسمت جذب می‌شوند، تا تمام قسمت‌های ستون خاک از نظر بار الکتریکی خنثی شود. در این تحقیق اسیدیته یا pH خاک نیز اندازه‌گیری شد که تغییرات محسوسی در آن مشاهده نگردید. مقدار متوسط اسیدیته برای گزینه شاهد ۷/۵۳ و برای نمونه مورد آزمایش ۷/۸۷ بود که روند تغییرات آن در نمونه مورد آزمایش از قطب مثبت به منفی افزایشی و برای گزینه شاهد برعکس بود. با توجه به نتایج به دست آمده چنین استنباط می‌شود که خاک از نظر شوری و قلیائیت اصلاح شده است، نمک‌های دو ظرفیتی مانند کلسیم و منیزیم جایگزین نمک یک ظرفیتی مانند سدیم شده‌اند که

با توجه به شکل ۳، در حالت کلی متوسط غلظت کاتیون‌های محلول در ستون خاک نمونه مورد آزمایش (فاصله بین ۵ تا ۶۵ سانتی‌متری بالای سطح اشباع) نسبت به شاهد کمتر است. برای تعیین میزان سدیمی یا قلیایی بودن نمونه‌های مورد بررسی از معیار نسبت جذبی سدیم^۱ یا SAR استفاده شد. بر اساس محاسبه، این مقدار در فاصله مذکور برای گزینه شاهد برابر ۰/۹ و برای گزینه نمونه مورد آزمایش برابر ۰/۴۹ بود که قلیائیت خاک را تقریباً به نصف کاهش داده است. پارامتر دیگر قابل بررسی، شوری یا هدایت الکتریکی خاک است که متوسط آن در محدوده یادشده از ستون خاک گزینه شاهد بعد از اتمام آزمایش ۴/۱ و در نمونه مورد آزمایش ۱/۱ دسی‌زیمنس بر متر است که تقریباً چهار برابر کاهش یافته است. بدین ترتیب، اعمال جریان الکتریسیته در خاک سبب کاهش شوری خاک شده است. دلیل آن جذب قسمتی از املاح از جمله سدیم در شبکه کاتد و تجمع آن در محدوده کاتد است که باعث افزایش بیش از حد بار مثبت در این محدوده می‌شود و قسمت‌های دیگر ستون خاک در فاصله بین کاتد و سطح

1- Sodium Adsorption Ratio

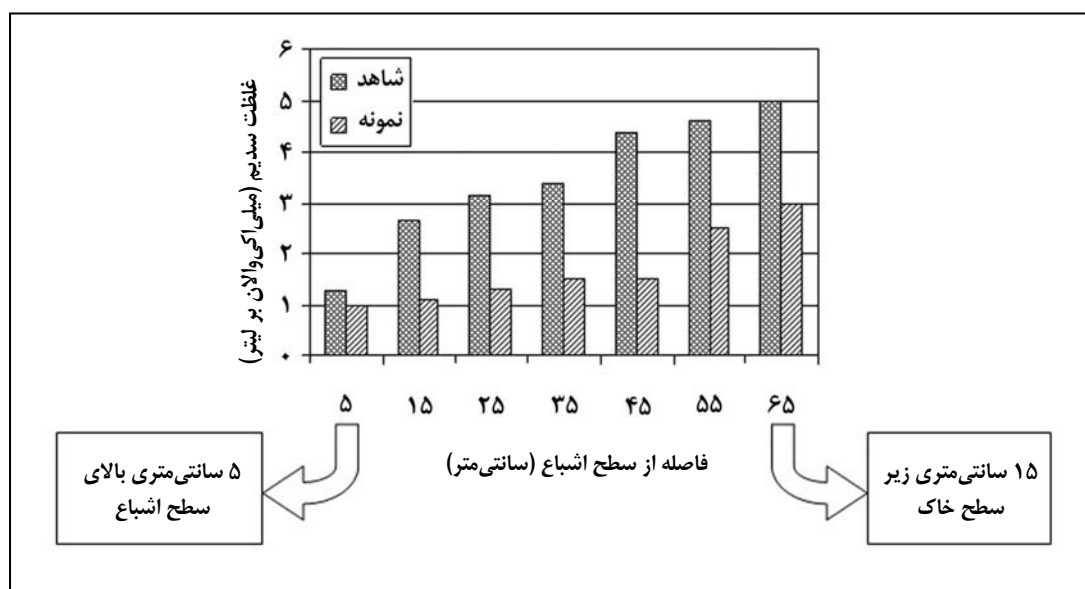
جابه‌جایی قائم املاح در خاک غیراشباع بر اثر ...

ثانیاً غلظت یون مذکور از قطب مثبت به منفی روند افزایشی دارد و در نزدیکی‌های کاتد شدت افزایش بیشتر است که این امر نشان‌دهنده حرکت سدیم به سمت کاتد و تجمع آن در این محل است. دلیل این جابه‌جایی مربوط به اعمال جریان الکتریکی مستقیم بر ستون خاک است که باعث برهم‌زدن تعادل یونی، به‌خصوص یون‌هایی می‌شود که به دلیل داشتن شعاع هیدراته بیشتر آزادی بیشتری نیز دارند. در این میان یون سدیم به دلیل داشتن بار مثبت به‌راحتی به سمت قطب منفی حرکت می‌کند و مولکول‌های آب نیز به دلیل دو قطبی بودن از قطب منفی به یون‌های سدیم می‌چسبند و روانه کاتد یا قطب منفی می‌شوند. یون سدیم در آنجا با گرفتن الکترون، خنثی می‌شود؛ مولکول‌های آب نیز در آن ناحیه آزاد می‌شوند.

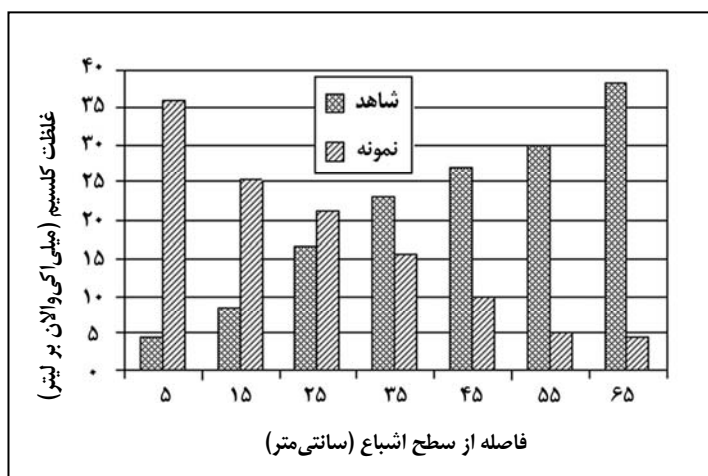
این موضوع سبب هم‌آوری و دانه‌بندی خاک گردیده است. این امر ناشی از بالابودن ظرفیت کلسیم و منیزیم است که با شدت بیشتری به ذرات خاک می‌چسبند و سدیم به دلیل ظرفیت پایین، شعاع هیدراته بیشتر، و شدت جذب کمتر، آزادی بیشتری دارد و لذا به سمت کاتد حرکت می‌کند و در اطراف آن تجمع می‌یابد.

در صورتی‌که روند تغییرات غلظت یون‌ها و معیار شوری و سدیمی در فاصله بین آند و کاتد بررسی شوند، نتایج بهتری حاصل خواهد شد. شکل‌های ۴، ۵، و ۶ تغییرات غلظت کاتیون‌ها را از سطح اشباع به سمت بالا و در فواصل ۱۰ سانتی‌متری ستون خاک برای گزینه نمونه و شاهد نشان می‌دهد.

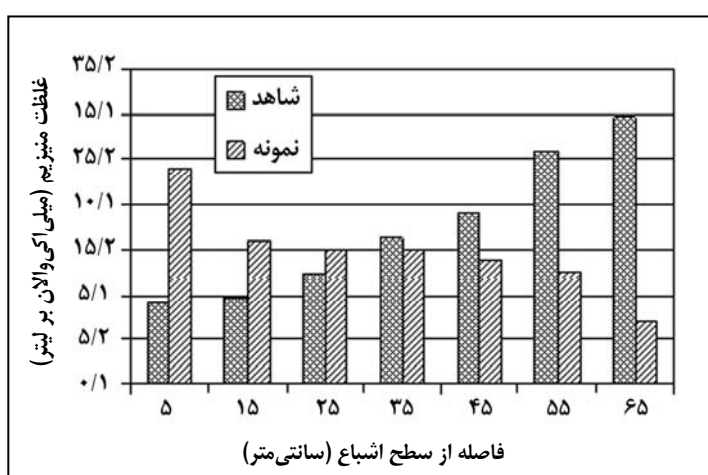
در شکل ۴ می‌بینیم که اولاً غلظت یون سدیم در تمام فاصله بین آند و کاتد نسبت به شاهد کمتر است،



شکل ۴- تغییرات غلظت یون سدیم در گزینه شاهد و نمونه مورد آزمایش



شکل ۵- تغییرات غلظت یون کلسیم در گزینه شاهد و نمونه مورد آزمایش



شکل ۶- تغییرات غلظت یون منیزیم در گزینه شاهد و نمونه مورد آزمایش

شکل‌های ۵ و ۶ نشان می‌دهند که غلظت یون‌های کلسیم و منیزیم از کاتد به آند افزایش می‌یابند و یون‌های مذکور از سمت قطب منفی به سمت قطب مثبت حرکت می‌کنند، در حالی که گزینه شاهد عکس این وضعیت را نشان می‌دهد. بدین ترتیب با تزریق کاتیون‌های با ظرفیت بالا به خاک از سمت کاتد در داخل میدان الکتریکی یا از پشت آند در خارج از میدان الکتریکی به همراه آب و به

شکل‌های ۵ و ۶ نشان می‌دهند که غلظت یون‌های کلسیم و منیزیم از کاتد به آند افزایش می‌یابند و یون‌های مذکور از سمت قطب منفی به سمت قطب مثبت حرکت می‌کنند، در حالی که گزینه شاهد عکس این وضعیت را نشان می‌دهد. بدین ترتیب با تزریق کاتیون‌های با ظرفیت بالا به خاک از سمت کاتد در داخل میدان الکتریکی یا از پشت آند در خارج از میدان الکتریکی به همراه آب و به

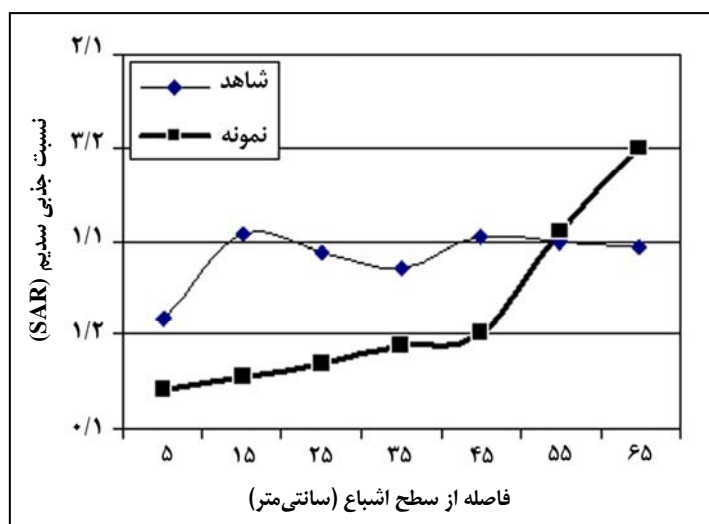
جابه‌جایی قائم املاح در خاک غیراشباع بر اثر ...

از ابهامات با اطمینان و به طور شفاف تفسیر شوند ولی چون این اندازه‌گیری‌ها در این تحقیق عملی نشد نمی‌توان به طور یقین در این موارد اظهار نظر کرد و باید در تحقیقات بعدی موارد مذکور بررسی شوند.

بر اساس غلظت کاتیون‌های مذکور، می‌توان نسبت جذبی سدیم یا SAR را در فواصل بین آند و کاتد (فاصله بین ۵ تا ۶۵ سانتی‌متری بالای سطح اشباع) به دست آورد که نتیجه آن در شکل ۷ ارائه شده است. شکل ۷ نشان می‌دهد که نسبت جذبی سدیم در خاک نمونه مورد آزمایش از قطب مثبت به قطب منفی روند افزایشی دارد، به طوری که شدت افزایش در نزدیکی‌های قطب منفی بیشتر است و در نتیجه، قلیائیت خاک در اطراف قطب مثبت کاهش و در اطراف قطب منفی افزایش می‌یابد.

منفذی به سمت آند حرکت خواهند کرد و مقداری از یون‌های کلسیم و منیزیم به دلیل داشتن بار مثبت بیشتر نسبت به سدیم، به این کلوئیدها می‌چسبند و همراه آنها به سمت آند جابه‌جا می‌شوند. از این پدیده به‌عنوان الکتروفورز^۱ یاد می‌شود که حرکت کلوئیدها و ذرات باردار جامد را تحت گرادیان الکتریکی جریان مستقیم سبب می‌شود (Meydani, 1995; Sibel, 1997; Dosti, 2006).

در تحقیق حاضر دو موضوع اساسی نیز قابل بحث است یکی اینکه آیا انرژی الکتریکی بر جابه‌جایی و برهم‌زدن یون‌های تبادل‌ی خاک تأثیر دارد یا خیر. دوم اینکه در کیفیت آب خروجی از زهکش انتهایی استوانه در اثر اعمال جریان الکتریکی بر سیستم چه تغییراتی ایجاد شده است. اندازه‌گیری موارد مذکور امکان می‌دهد برخی

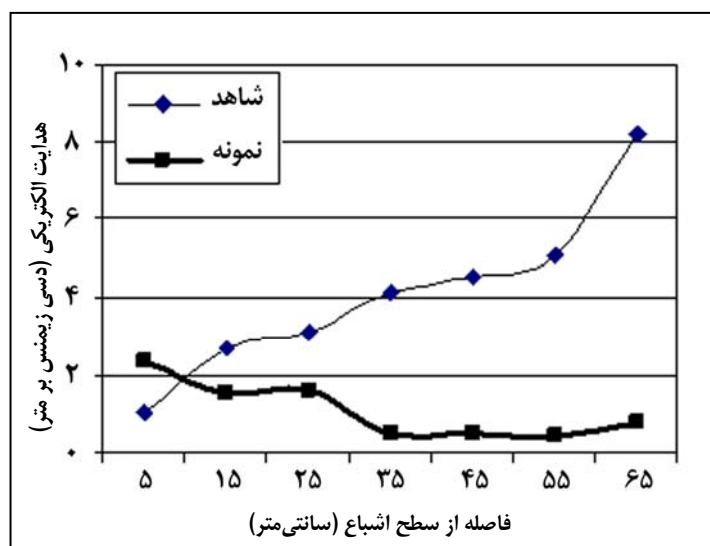


شکل ۷- تغییرات نسبت جذبی سدیم در گزینه شاهد و مورد آزمایش

این آزمون نشان داد که میزان کاهش سدیم محلول و هدایت الکتریکی در نمونه مورد آزمایش نسبت به شاهد در سطح ۵ درصد معنی‌دار است ولی تغییرات کلسیم و منیزیم تفاوت معنی‌داری را نشان نمی‌دهد. این موضوع از شکل‌های ۵ و ۶ نیز قابل استنباط است زیرا تغییرات کلسیم و منیزیم در نمونه مورد آزمایش از ۵ تا ۶۵ سانتی‌متری بالای سطح اشباع نزولی و در گزینه شاهد در فاصله مذکور صعودی است و میانگین داده‌های نمونه مورد آزمایش با شاهد تقریباً یکسان است یعنی این عناصر از محدوده یادشده در ستون خاک خارج نشده بلکه جابه‌جا شده‌اند. در صورتی که میانگین سدیم و هدایت الکتریکی در شاهد و مورد آزمایش تقریباً چهار برابر با هم اختلاف دارند که نشان‌دهنده خروج سدیم و شوری از محدوده نمونه برداری ستون خاک به خارج است.

در خصوص شوری خاک نیز می‌توان روند تغییر را از سمت قطب مثبت به قطب منفی در داخل میدان الکتریکی بررسی کرد، که نتیجه آن در شکل ۸ نشان داده شده است. در این شکل می‌بینیم که هدایت الکتریکی یا شوری خاک از قطب منفی به قطب مثبت افزایش می‌یابد و در نزدیکی قطب مثبت، گرادیان^۱ این افزایش بیشتر است در حالی که در گزینه شاهد این روند رو به کاهش می‌رود. در نتیجه با تعویض جهت جریان الکتریسیته می‌توان شوری خاک را در جهت دلخواه کاهش یا افزایش داد.

تغییرات میزان سدیم، کلسیم، و منیزیم و هدایت الکتریکی در فواصل مشخصی از ستون خاک در نمونه مورد آزمایش و شاهد بعد از اتمام آزمایش اندازه‌گیری و با آزمون آماری t استیودنت مقایسه شدند. نتایج حاصل از



شکل ۸- تغییرات هدایت الکتریکی در شاهد و نمونه مورد آزمایش

- متوسط غلظت کاتیون‌های اصلی در ستون خاک کاهش می‌یابد به طوری که میزان یون سدیم از آند به سمت کاتد افزایش می‌یابد و کلسیم و منیزیم عکس این قضیه را نشان می‌دهد و دلیل این مسئله تکاثر یون سدیم در اطراف آند است. بنابراین می‌توان با تزریق نمک‌های دو ظرفیتی و بیشتر (مانند کلسیم و آلومینیم)، نمک‌های یک ظرفیتی را از خاک خارج کرد و در نتیجه همآوری و دانه‌بندی خاک را بهبود بخشید. فرایند مذکور در اصلاح هسته‌های رسی واگرایی سدهای خاکی در حال بهره‌برداری که امکان تخریب آنها وجود ندارد اهمیت‌ی خاص دارد. این عمل با خارج کردن یون سدیم از خاک صورت می‌گیرد که عامل واگرایی در خاک به‌شمار می‌آید و یکی از مهم‌ترین کاربردهای عملی این فرایند است.
- متوسط قلیائیت و شوری در ستون خاک کاهش می‌یابد، به طوری که روند تغییرات قلیائیت از سمت آند به سمت کاتد افزایشی و برای شوری عکس این قضیه است. بدین ترتیب می‌توان خاک را از نظر قلیائیت و شوری در جهت دلخواه اصلاح کرد. این مسئله می‌تواند در آبشویی و نفوذ دادن آب در خاک‌های سنگین با اهمیت باشد که نفوذپذیری پایینی دارند و زمان زیادی برای این کار مورد نیاز است.
- متوسط pH در ستون خاک کاهش می‌یابد و روند تغییر آن از سمت آند به سمت کاتد صعودی است. به طوری که در خاک منطقه مجاور کاتد حالت قلیایی و در خاک منطقه مجاور آند حالت اسیدی دیده می‌شود. همه آزمایش‌های الکتروشیمیایی و الکترواسمزی سایر محققان این مسئله را تایید می‌کند.

تحقیقات صورت‌گرفته (Meydani, 1995) نیز تغییرات سدیم، کلسیم، و منیزیم ذکر شده در این مقاله را تأیید می‌کند. در تحقیق مذکور، مقادیر سدیم، منیزیم، و کلسیم خاک اولیه - به ترتیب ۹۶۰، ۵۵، و ۱۰۰ میلی‌اکی‌والان بر لیتر- بعد از آزمایش که به مدت ۱۲ ساعت با ولتاژ ۳۰ ولت مستقیم ادامه یافت در نزدیک آند به ترتیب به ۱۱۰، ۷۹، و ۷۰ و در نزدیک کاتد به ۳۵۰، صفر، و صفر میلی‌اکی‌والان بر لیتر تغییر یافت. متذکر می‌شود که نمونه خاک به صورت افقی قرار گرفته بود و آب مقطر از یک طرف وارد خاک و از طرف دیگر خارج می‌شد خاک نیز بین دو الکتروود آند و کاتد صفحه‌ای مشبک قرار گرفته بود. در این آزمایش سدیم از سمت آند به کاتد حرکت می‌کرد و به همراه آب از سمت کاتد خارج می‌شد. مقدار منیزیم در آند افزایش یافت و در کاتد ناچیز یا صفر بود. مقدار کلسیم در نزدیک آند کاهش یافت ولی در نزدیک کاتد تقریباً به صفر رسید. بنابراین، در حالت کلی میزان کلسیم و منیزیم از سمت کاتد به سمت آند روند صعودی داشته است و pH در نزدیکی کاتد ۱۰ و در نزدیکی آند ۷/۷ بود در نتیجه اسیدیته از سمت آند به کاتد روند صعودی داشت و کلیه آزمایش‌های الکتروشیمیایی و الکترواسمزی مؤید این قضیه است. در آزمایش صورت گرفته، هدایت الکتریکی خاک از سمت آند به سمت کاتد دارای روند افزایشی بود که نتایج حاصل از این تحقیق را تأیید می‌کند.

نتیجه‌گیری

در حالت کلی، فرایند الکتروشیمی - اسمز منجر به تغییرات زیر در خاک می‌شود:

قدردانی

اجرای این تحقیق با پشتیبانی مالی مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی و همکاری گروه مهندسی آبیاری دانشکده کشاورزی دانشگاه تهران محقق شد که از آنها صمیمانه قدردانی می‌شود.

مراجع

- Anon. 1979. Electrical conductivity of soil and rocks. International institute for aerospace survey and earth sciences. I. T. C. Technical Note TN-5.
- Anon. 1986. Guide for safety in AC substation grounding. STD J. 80, 71-74.
- Chappbl, B. A. and Burton, P. L. 1974. Electro-osmosis applied to unstable embankment. J. Geotechnical Eng. Division. ASCE. 101(8): 733-740.
- Dosti, M., Yosefi Kebriya, D. and Movafagh, A. 2006. Lead extraction by electro kinetic technology. Proceeding of the 9th National Congress on Environmental Health. Isfahan University of Medical Sciences. Isfahan. Iran. (in Farsi)
- Lo, K. Y., Ho, K. S. and Inculet, I. I. 1991. Field test of electro - osmotic strengthening of soft sensitive clay, Canadian Geotechnical J. 28(1): 74-83.
- Meydani, R. 1995. Evaluation of electro-osmotic application in reclaim dispersive clay soils. M. Sc. Thesis. Technical College. University of Tehran. Tehran. Iran. (in Farsi)
- Mofidi, J. 1988. Electrochemical. University of Pub. Tehran. Iran. (in Farsi)
- Moradi, G. 1992. Reclaim dispersive clay soils by electro-osmotic method. M. Sc. Thesis. Technical College. Tabriz University. Tabriz. Iran. (in Farsi)
- Niknezhad, D. 2006. Remediation methods of contaminated soils with heavy metals. The 2nd Conference of Applied Geology and Environment. Eslamshahr Azad University. In press. (in Farsi)
- Niknezhad, D. 2007. Sludj fixation by electro kinetic technology. Proceeding of the 1st Conference of Environmental Engineering. University of Tehran. Tehran. Iran. (in Farsi).
- Rostami, A. (Translator). 1993. Electrochemical Reactors Design. Mazandaran University Pub. Mazandran. Iran. (in Farsi)
- Sibel, P. 1997. Electro-Chemical Technologies for in Situ Restoration of Contaminated Subsurface Soils. EJGE. Lehigh University USA.
- Soboti, M., Akkashe, B., Zomorrediyani, H. and Hosseynzadeh, N. (Translators). 1977. Introduction to Geophysical Exploration. University of Tehran Pub. Tehran. Iran. (in Farsi)
- Vafaeyan, M. 1984. Strength and Rupture of Soil. Jihad-e-University Pub. Isfahan University of Technology. Isfahan. Iran. (in Farsi)

جابه‌جایی قائم‌املاح در خاک غیراشباع بر اثر ...

Vafaeyan, M. 1991. Soil Engineering Properties. Jihad-e-University. Isfahan University of Technology. Isfahan. Iran. (in Farsi)

Zareian, S. 1989. Application of electro - osmosis to reclaim saline soils. AMA. 20(3): 9-11, 14.



Vertical Movement of Salts in Unsaturated Soil by Electro-Chemico-Osmosis

D. Niknezhad* and H. Rahimi

*Corresponding Author: Academic Member, Agricultural and Natural Resources Research Center, P. O. Box: 53555-141, Tabriz, Iran. E-mail: niknezhad2005@yahoo.com

This study investigates the vertical replacement of salts, variability of electrical conductivity (EC) and soil acidity (pH) due to direct electrical current. A Plexiglas cylinder 100 cm in depth with a 14 cm radius was used as a soil container and filled with uniform moist soil to 90 cm. During the experiments, the bottom 10 cm of soil in the cylinder was kept saturated. A steel bar was used as a positive electrode in the saturated part of the soil. Wire mesh was used as the negative electrode and was placed 10 cm in depth from the surface of the soil. A current of 80 V and 0.3 amp was applied between the saturated and upper part of the soil. It was found that, after one week, the Na^+ concentration increased from anode to cathode (as for the control), while Ca^{++} and Mg^{++} decreased from anode to cathode. It can be concluded that Na^+ moves from anode to cathode, but Ca^{++} and Mg^{++} move from cathode to anode. This replacement of ions is important in soil alkalinity reclamation. In this study, the mean decreased from 0.9 to 0.49. Also, the average electrical conductivity, or salinity, decreased in the soil column, moving from cathode to anode. These means were 4.1 and 1.1 ds/m for the control and treatment, respectively. Change in the acidity of the soil was not significant.

Key Words: Direct Electrical Current, Electro-Chemico-Osmosis, Salt Replacement, Soil