

# کاربرد تکنولوژی الکتروسینتیک در جابجایی رطوبت خاک

داود نیک نژاد\*

مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان شرقی، ۲ کیلومتر بعد از پلیس راه تبریز-آذرشهر

Niknezhad2005@yahoo.com

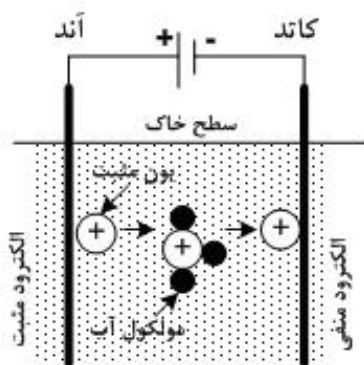
## خلاصه

برای انجام این تحقیق از استوانه‌هایی به قطر داخلی ۳۰ و ارتفاع ۱۰۰ سانتیمتر که جنس آن پلکسی‌گلس بود استفاده گردید و شش نمونه بافت خاک با ترکیبی از بافت لومی‌رسی و ماسه‌ای تهیه و رطوبت آنها بطور یکنواخت به ۱۲ درصد وزنی افزایش داده شد. هر کدام از استوانه‌ها تا ارتفاع ۹۰ سانتیمتری از خاکهای با بافت جدید پر شده بطوریکه ۱۰ سانتیمتر از قسمت تحتانی خاک داخل استوانه‌ها توسط یک سرریز در حالت اشباع نگه داشته شده بود. یک الکتروود بعنوان آند (+) در قسمت اشباع و الکتروود دیگر بعنوان کاتد (-) در عمق ۱۰ سانتیمتری از سطح خاک نصب گردیدند. خاک داخل استوانه‌ها به مدت ۴ روز تحت تأثیر جریان الکتریکی ۶۰ ولت مستقیم قرار گرفتند و رطوبت آنها بعد از مدت مذکور اندازه‌گیری شدند. هدف از این تحقیق جابجایی رطوبت بر اثر فناوری الکتروسینتیک بود. نتایج نشان داد که به ازای یک ولتاژ معین هر چه بافت خاک سنگین‌تر باشد مقدار رطوبت جابجا شده نسبت به شاهد که اختلاف پتانسیل الکتریکی به آن اعمال نشده است بیشتر است.

واژه‌های کلیدی: الکتروسینتیک، جریان الکتریکی، جابجایی رطوبت، خاک

## مقدمه

در خاکهای سنگین و با نفوذپذیری پایین که امکان زهکشی و اصلاح آنها با روشهای معمولی در مدت زمان کمتر امکانپذیر نیست و یا خاکهایی که بدلیل دارا بودن مواد کلوئیدی زیاد حالت باتلاقی و لجنی دارند امکان حفاری در اینگونه موارد براحتی امکان‌پذیر نمی‌باشد. همچنین در بعضی موارد که سازه یا ابنیه‌های تاریخی بدلایلی تحت تأثیر رطوبت قرار گرفته و امکان تخریب و بازسازی آنها موجب از بین رفتن آن اثر و یا بروز خسارت می‌شود نظیر سدهای خاکی در حال بهره‌برداری یا آثار باستانی. یکی از روشهایی که می‌تواند در این زمینه مفید باشد استفاده از پدیده الکتروسینتیک است که دارای شاخه‌های مختلفی از جمله الکتروفورز، الکترواسمز، الکترولیز و الکترومیگرایشن می‌باشد و با توجه به شرایط محیط یک یا چند مورد از شاخه‌های مذکور وارد عمل می‌شود در صورتیکه محیط مورد نظر خاک باشد الکترواسمز نقش اساسی را در این فرآیند بر عهده خواهد داشت. بر اساس تعریف الکترواسمز فرآیندی است که اگر توده‌ای از خاک اشباع یا مرطوب تحت تأثیر اختلاف پتانسیل الکتریکی یکسو قرار گیرد مولکولهای آب به‌همراه کاتیونهای موجود در الکترولیت منفذی و یا کاتیونهای اضافی روی ذرات خاک از سمت الکتروود آند یا قطب مثبت به سمت الکتروود کاتد یا قطب منفی جابجا می‌شوند. کاتیونها با گرفتن الکترون در کاتد، خنثی شده و مولکولهای آب آزاد می‌شوند که با پمپاژ کردن و یا هدایت آن به محیط دیگر که در اثر فشار الکتریکی امکانپذیر می‌شود زهکشی و در نتیجه امکان عملیات عمرانی در خاک فراهم می‌گردد. شکل ۱ فرآیند الکترواسمز را در خاک نشان می‌دهد. پدیده الکترواسمز کاربردهای فراوانی در علوم آب و خاک دارد که می‌توان به مواردی از جمله آبیاری، زهکشی، آبشویی، پاکسازی و اصلاح خاک، بهبود کیفیت فنی خاک، تثبیت لجن، کنترل رانش زمین، اصلاح هسته‌های رسی سدهای خاکی و غیره. یکی دیگر از کاربردهای این پدیده جابجایی رطوبت در بافت‌های مختلف خاک بوده که موضوع این تحقیق می‌باشد.

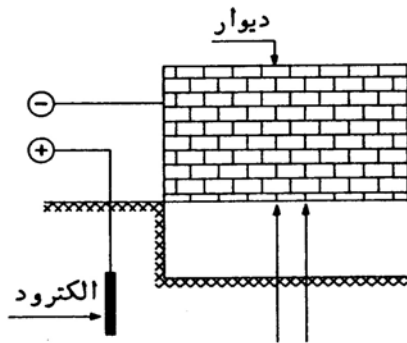


شکل ۱- فرآیند الکترواسمز در خاک [۱]

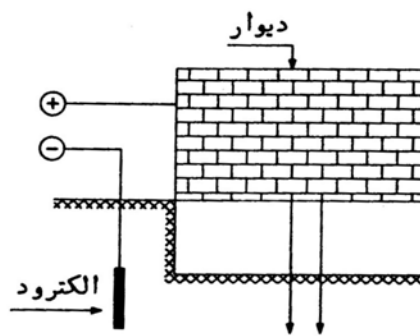
پدیده مذکور در سال ۱۸۰۷ برای اولین بار توسط رئوس (Reuss) شناخته شد و اولین کاربرد عملی آن در سال ۱۹۳۹ در جهت بهبود خواص مکانیکی خاک بکار گرفته شد و در سال ۱۹۸۷ بعنوان یک روش آبیاری در حد مدل آزمایشگاهی مورد بررسی قرار گرفت. این پدیده در سال ۱۳۶۸ در دانشگاه

\* عضو هیات علمی

شیراز در جهت اصلاح خاکهای شور و واگرا بکار گرفته شد. در سال ۱۳۷۰ در دانشگاه تبریز با بکارگیری این روش و خارج ساختن یون سدیم اصلاح خاکهای واگرا را مورد بررسی قرار دادند و بدنبال آن در دانشگاه تهران اصلاح هسته‌های رسی سدهای خاکی مورد بهره برداری که خاک آنها را رس‌های واگرا تشکیل می‌دهند در حد مدل فیزیکی مورد مطالعه قرار دادند [۲]. در سال ۱۹۶۳ با اعمال جریان الکتریکی مستقیم بین دیوار و زمین توانستند رطوبت را از دیوار به زمین منتقل نمایند و با تعویض قطب مثبت و منفی عکس این حرکت اتفاق افتاد و رطوبت از زمین به دیوار منتقل گردید. شکل ۲ و ۳ این وضعیت را نشان می‌دهد. بر اساس این روش می‌توان رطوبت را در جهت دلخواه منتقل نمود و برای دور ساختن آن از ابنیه‌های تاریخی و باستانی که به علت بالا بودن سطح آب زیرزمینی امکان صعود رطوبت بصورت موئینه‌ای به این بناها وجود دارد و بتدریج باعث تخریب شده که مرمت و بازسازی آنها هزینه‌های زیاد را دربردارد استفاده از پدیده الکترواسمز روش مناسبی برای اینگونه موارد بشمار می‌آید که مانع از حرکت رطوبت به سمت این آثار و بناها می‌شود [۳].



شکل ۳ - حرکت رطوبت از زمین به دیوار



شکل ۲ - حرکت رطوبت از دیوار به زمین

در سال ۱۹۴۷ برناتزیکی (Bernatziki) با عبور دادن جریان الکتریکی مستقیم از یک نمونه خاک زاویه اصطکاک داخلی آن را افزایش و خاصیت فشرده‌گی خاک را کاهش داد. در سال ۱۹۶۱ لئوکاساگرانده (Leo Casagrande) به کمک جریان الکتریکی مستقیم با اجرای عملیات زهکشی توانست شیب شیروانی خاکی را در جهت پایداری افزایش دهد. در سال ۱۹۷۵ چپیل (Chappbl) و همکارانش به کمک پدیده مذکور با خارج ساختن آب از یک خاکریز ناپایدار تنش برشی زهکشی نشده خاک را به میزان ۵۰ درصد افزایش دادند. جان استون (John Ston) در سال ۱۹۷۸ تکنولوژی الکترواسمز را برای زهکشی خاکهای دانه‌بندی شده ریز و فرانس سولار (Franz Solar) در سال ۱۹۸۴ برای بالا آوردن رطوبت از سفره آب زیرزمینی به محدوده توسعه ریشه گیاه استفاده نمود [۴]. در سال‌های اخیر پدیده مذکور در ایران در جهت آبیاری [۵]، زهکشی [۶]، آبیاری [۷] و اصلاح خاک از نظر شوری و قلیائیت [۱] در حد مدل فیزیکی آزمایشگاهی مورد استفاده قرار گرفته و تاثیر شدت میدان الکتریکی بر میزان انتقال رطوبت مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته است [۲]. در یک تحقیق دیگر به کمک فناوری الکتروسینتیک توانستند آلاینده‌های مختلف از جمله فلزات سنگین و سمی را از خاک خارج نمایند [۸] و همچنین با برقراری شدت میدان الکتریکی در یک توده خاک اشباع و ایجاد یک دیواره غنی شده از آهن در بین الکترودهای آند و کاتد، خاک را از جهت آلودگیهای فلزات سنگین پاکسازی و تثبیت و پایداری آن را نیز فراهم نمایند [۹].

## مواد و روشها

برای این منظور استوانه‌هایی از جنس پلکسی‌گلس که عایق جریان الکتریکی می‌باشند با قطر داخلی ۳۰ و ارتفاع ۱۰۰ سانتیمتر ساخته شدند سپس نمونه خاکی با بافت لومی رسی رد شده از الک شماره ۱۰ تهیه و با نسبت‌های ۹۰، ۷۰، ۵۰ و ۳۰ درصد با بافت ماسه‌ای بطور یکنواخت مخلوط گردید. بدین ترتیب چهار نمونه بافت خاک جدید بدست آمد که نمونه اولی ۹۰ درصد بافت لومی رسی با ۱۰ درصد بافت ماسه‌ای، نمونه دومی ۷۰ درصد بافت لومی رسی با ۳۰ درصد بافت ماسه‌ای، نمونه سومی ۵۰ درصد بافت لومی رسی با ۵۰ درصد بافت ماسه‌ای و نمونه چهارمی با ۳۰ درصد بافت لومی رسی با ۷۰ درصد بافت ماسه‌ای بودند. دو نمونه بعدی که ۱۰۰ درصد بافت لومی رسی و دیگری ۱۰۰ درصد بافت ماسه‌ای بودند که در مجموع شش نوع بافت خاک خواهیم داشت. رطوبت بافت‌های مذکور را به ۱۲ درصد وزنی افزایش داده و در حدود دو روز در کیسه‌های پلاستیکی سر بسته نگهداری شدند تا از نظر رطوبتی تقریباً به حالت یکنواخت برسند. در کف هر کدام از استوانه‌ها به ضخامت ۵ سانتیمتر فیلتر شنی ریخته و بر روی آنها به ضخامت ۱۰ سانتیمتر از بافت‌های مذکور اضافه گردید. در داخل این قسمت یک الکتروود فولادی به طول ۱۰ و به قطر ۲ سانتیمتر به عنوان آند (+) قرار داده شد سپس نمونه خاک را بطور لایه لایه در داخل استوانه‌ها ریخته و توسط وزنه‌ای با ضربات متوالی متراکم گردید تا جاییکه ضخامت آن به ۷۰ سانتیمتر برسد و بر روی خاک هر کدام از استوانه‌ها یک شبکه توری از جنس استیل بعنوان الکتروود کاتد (-) قرار داده و ۱۰ سانتیمتر خاک بر روی آن اضافه و متراکم گردید. برای شبیه سازی سفره آب زیرزمینی در عمق ۸۰ سانتیمتری از سطح خاک از یک لوله ورودی آب در قسمت تحتانی استوانه‌ها استفاده

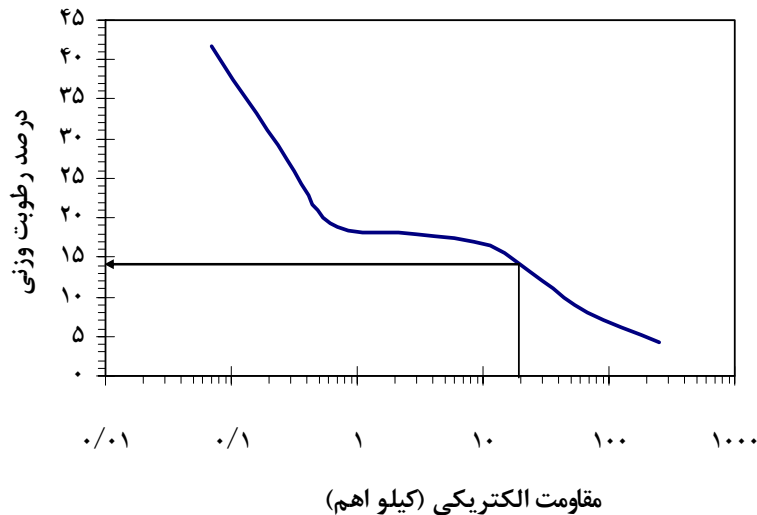
گردید و برای ثابت نگه داشتن سطح آب در عمق مذکور یک سرریز خروجی در دیواره هر کدام از استوانه‌ها تعبیه شد. بعد از انجام این مراحل جریان آب توسط لوله ورودی وارد استوانه‌ها شده و با گذر از فیلتر شنی، به ضخامت ۱۰ سانتیمتر از خاک تحتانی داخل استوانه‌ها را که الکتروود آند در آن قسمت واقع شده به حالت اشباع در می‌آورد. پس از ۲۴ ساعت اختلاف پتانسیل الکتریکی جریان مستقیم از طریق الکتروودها به خاک داخل استوانه‌ها اعمال گردید. انرژی الکتریکی مورد نیاز از برق شهری تأمین می‌شد بدین ترتیب ابتدا جریان برق متناوب وارد منابع تغذیه جریان مستقیم شده و بعد از اینکه به جریان مستقیم تبدیل و مقدار آن به ولتاژ مورد نظر کاهش داده شد قطب مثبت آن به الکتروود آند و قطب منفی به الکتروود کاتد وصل گردید. با توجه به اینکه حداکثر میزان ولتاژ و کشش جریان هر کدام از دستگاههای منابع تغذیه بترتیب ۳۰ ولت و ۳ آمپر و مقادیر آنها قابل کنترل بودند از طرفی دیگر ولتاژ اعمال شده به خاک هر کدام از استوانه‌ها ۶۰ ولت بود لذا می‌بایست به هر کدام از تیمارها از دو دستگاه منبع تغذیه بصورت سری استفاده می‌شد. برای اندازه‌گیری ولتاژ و کشش جریان نهایی از ولت‌متر و آمپر متر بطور موازی و سری استفاده شد. به منظور جلوگیری از نوسان یا قطع برق قبل از منابع تغذیه از یک دستگاه (Uninterruptible Power Supply) UPS استفاده گردید. آب مورد استفاده در سیستم نیز از طریق آب آشامیدنی شهری تأمین می‌شد. در طول انجام آزمایش که به مدت چهار روز طول کشید چنانکه نیازی به اندازه‌گیری رطوبت بود از طریق حسگرهای رطوبتی مقاومتی با نام تجاری فایبرگلس که بفواصل ۱۰ سانتیمتری از یکدیگر در طول ستون خاک از پایین به بالا نصب شده بودند مقاومت الکتریکی آنها توسط اهم‌متر اندازه‌گیری و بر اساس منحنی‌های واسنجی که قبلاً برای هر کدام تهیه شده بودند رطوبت وزنی متناظر با مقاومت الکتریکی قرائت شده استخراج می‌شد. شکل ۴ یک نمونه از شش مدل فیزیکی آزمایشگاهی را به همراه کلیه متعلقات نشان می‌دهد. برای هر کدام از شش مورد یاد شده یک گزینه شاهد نیز در نظر گرفته شده بود که جریان الکتریکی به آنها اعمال نشده بود.



شکل ۴ - مدل فیزیکی آزمایشگاهی به همراه کلیه متعلقات

با توجه به مدل فیزیکی آزمایشگاهی برای هر کدام از استوانه‌ها ۶ عدد حسگر رطوبتی نصب گردید و برای شش استوانه در مجموع ۳۶ عدد حسگر مورد استفاده قرار گرفت که با در نظر گرفتن گزینه‌های شاهد تعداد آنها به ۷۲ عدد می‌رسد و بعلاوه عملکرد منحصریفر آنها برای هر کدام یک منحنی کالیبراسیون جداگانه تهیه گردید. مراحل تهیه منحنی مذکور بدین صورت است که مقداری خاک به همراه سنسور در داخل یک محفظه مکعبی توری قرار گرفته و خاک متراکم می‌گردد تا ذرات خاک کاملاً با سنسور تماس پیدا کند سپس درب محفظه را بسته و بتدریج از پایین در داخل آب فرو برده می‌شود تا خاک داخل آن اشباع گردد بعد از ۲۴ ساعت محفظه را از آب در آورده و در هوای آزاد قرار می‌دهند تا خاک داخل آن بتدریج خشک شود و در این فاصله زمانی که خاک خشک می‌شود مقاومت الکتریکی سنسور در زمانهای مختلف چندین با قرائت گردیده و به‌ازای هر قرائت، کل مجموعه (محفظه + خاک + سنسور) یک بار وزن می‌شود این عمل تا زمانی ادامه می‌یابد که رطوبت خاک به حداقل ممکن یعنی حالت هوا خشک برسد این کار برای هر کدام از سنسورها در سه تکرار صورت می‌گیرد تا خطای حاصله به حداقل برسد. بعد از آخرین قرائت کل مجموعه در داخل آون و در دمای ۱۰۵ درجه بمدت ۲۴ ساعت قرار داده شده تا کاملاً خشک شود. با معلوم بودن وزن سنسور و محفظه خالی می‌توان وزن خاک خشک و درصد رطوبت وزنی را محاسبه نمود. بدین ترتیب تعدادی اعداد مربوط به مقاومت الکتریکی و تعدادی مربوط به درصد رطوبت وزنی بدست می‌آید که با پیاده سازی

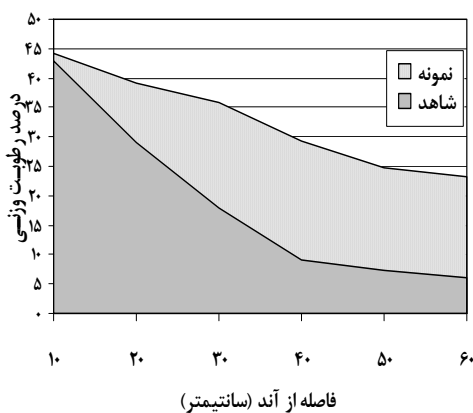
این اعداد بر روی محورهای مختصات نیمه لگاریتمی می‌توان بهترین منحنی را برای نقاط برازش داد. منحنی بدست آمده مختص یک سنسور و بافت خاک مشخصی می‌باشد. بدین ترتیب ۷۲ تا منحنی حاصل می‌گردد که نمونه‌ای از آنها در شکل ۵ نشان داده شده است. حال با نصب سنسور در محل اصلی و قرائت مقاومت الکتریکی می‌توان درصد رطوبت وزنی را از منحنی مذکور استخراج نمود.



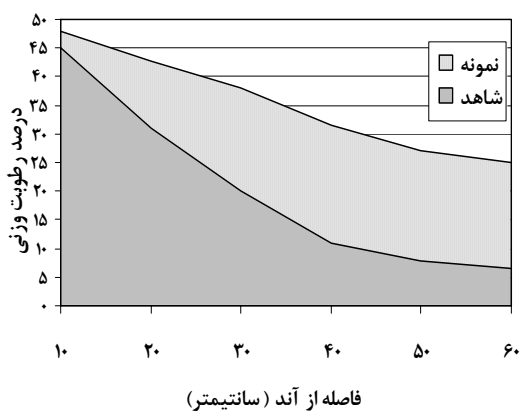
شکل ۵ - منحنی واسنجی حسگر رطوبتی خاک

## نتایج و بحث

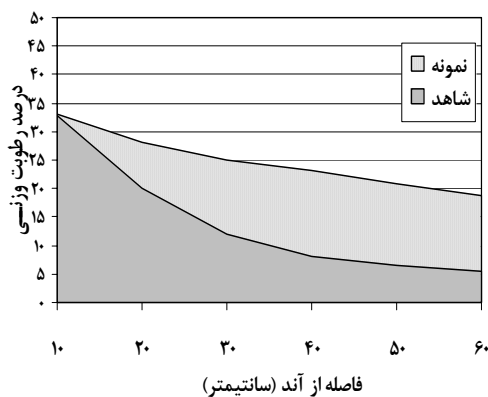
بعد از گذشت چهار روز مقاومت الکتریکی کلیه سنسورها قرائت و رطوبت‌های وزنی متناظر با آنه از طریق منحنی‌های واسنجی استخراج و تغییرات رطوبتی خاک مابین الکترودهای آند و کاتد از پایین به بالا برای گزینه‌های نمونه و شاهد طی ۶ تا نمودار ترسیم گردید. نتایج بدست آمده نشان داد که با افزایش مقدار ذرات رس در بافت خاک رطوبت منتقل شده از قسمت اشباع به توده خاک محصور بین آند و کاتد بیشتر است. این وضعیت در شرایط عملی در جاهایی اتفاق می‌افتد که سطح آب زیرزمینی بالا بوده و بافت خاک سنگین بوده یا ذرات رس آن بیشتر می‌باشد که می‌توان با اعمال جریان الکتریکی مانع از حرکت رطوبت به محدوده مورد نظر شد. اشکال ۶ تا ۱۱ تغییرات رطوبت بین آند و کاتد را در شش نوع بافت خاک برای گزینه‌های نمونه و شاهد نشان می‌دهد.



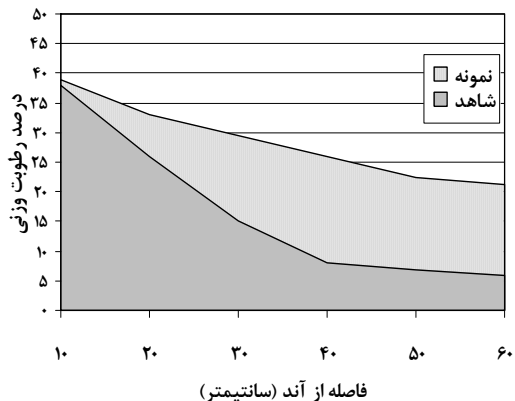
شکل ۷ - تغییرات رطوبت نسبت به فاصله ۹۰ درصد بافت لومی رسی + ۱۰ درصد بافت ماسه‌ای



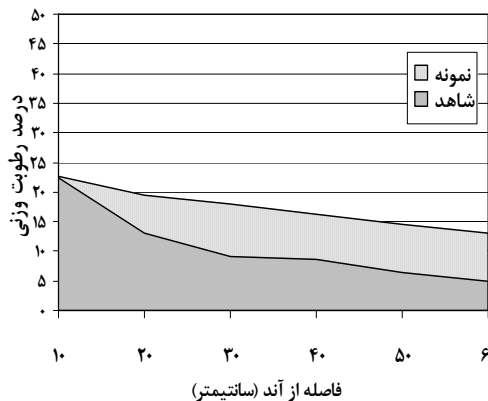
شکل ۸ - تغییرات رطوبت نسبت به فاصله ۱۰۰ درصد بافت لومی رسی



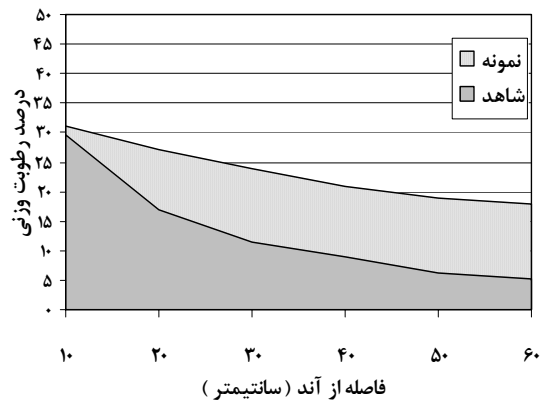
شکل ۹ - تغییرات رطوبت نسبت به فاصله  
۵۰ درصد بافت لومی رسی + ۵۰ درصد بافت ماسه‌ای



شکل ۸- تغییرات رطوبت نسبت به فاصله  
۷۰ درصد بافت لومی رسی + ۳۰ درصد بافت ماسه‌ای

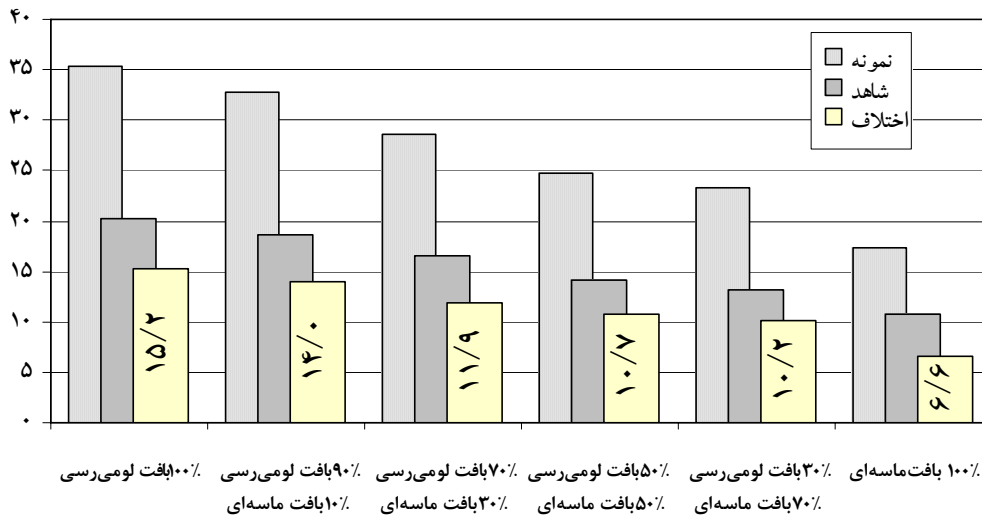


شکل ۱۱- تغییرات رطوبت نسبت به فاصله  
۱۰۰ درصد بافت ماسه‌ای



شکل ۱۰- تغییرات رطوبت نسبت به فاصله  
۳۰ درصد بافت لومی رسی + ۷۰ درصد بافت ماسه‌ای

با توجه به اشکال اخیر می‌توان نتیجه گرفت که ذرات رس بعلا دارا بودن بار الکتریکی سطحی از مکش رطوبتی بالایی برخوردار می‌باشد. املاح موجود در الکترولیت منفذی و همچنین کاتیونهای اضافی روی ذرات خاک با اعمال انرژی الکتریکی در خاک شروع به حرکت از سمت قطب آند به قطب کاتد می‌کنند و مولکولهای آب بعلا دو قطبی بودن به کاتیونها چسبیده و همراه آنها به سمت کاتد روانه می‌شوند. لذا می‌توان دریافت که با تعویض قطبها یا جهت جریان الکتریکی رطوبت را در جهت دلخواه جابجا نمود. چنانکه ذرات خاک از نظر بار الکتریکی سطحی خنثی باشند جابجایی رطوبت صورت نمی‌گیرد و صعود موئینه‌ای صورت گرفته ناشی از کشش سطحی مولکولهای آب و اندازه ذرات می‌باشد که این وضعیت در ماسه تمیز اتفاق می‌افتد. برای تفسیر بهتر اشکال ۵ تا ۱۰ متوسط رطوبت وزنی بافت‌های خاک مابین قطب آند و کاتد محاسبه گردیده و نتیجه نهایی بصورت نمودار ستونی در شکل ۱۲ ارائه شده است. در این شکل متوسط رطوبت برای هر کدام از شش نوع ترکیب خاک که تحت تأثیر انرژی الکتریکی مستقیم قرار گرفته‌اند نسبت به شاهد متناظرشان که جریان الکتریکی به آن اعمال نشده مقایسه گردیده و میزان افزایش رطوبت ناشی از جریان الکتریکی که همان اختلاف رطوبت بین گزینه نمونه و شاهد می‌باشد در شکل مذکور نشان داده شده است. یکی از موارد مهم در این تحقیق مسائل مربوط به ایمنی و برق‌گرفتگی می‌باشد که محاسبات مربوطه صورت گرفته ولی بدلیل تخصصی بودن از بحث آن در این مقاله خودداری می‌شود. مورد بعد مربوط به خوردگی الکترودها در اثر یونیزاسیون بوده که آن هم بدلیل تخصصی بودن خارج از بحث این مقاله بوده و با بهره‌گیری از علم مهندسی مواد و در نظر گرفتن مسائل اقتصادی می‌توان الکتروده مناسب را انتخاب نمود.



### ترکیب خاک

شکل ۱۲ - متوسط رطوبت موجود در بافت‌های مختلف خاک برای گزینه نمونه و شاهد و اختلاف آنها

### نتیجه‌گیری

- هر چه بافت خاک سنگین‌تر و میزان رس آن بیشتر باشد میزان رطوبت جابجا شده در اثر پدیده الکترواسمز بیشتر است.
- در خاکهای با بافت سبک نظیر خاک ماسه‌ای بدلیل کم بودن ذرات باردار پدیده مذکور کارایی چندانی نداشته لذا برای اینگونه خاکها توصیه نمی‌شود.
- هر چه مقدار املاح موجود در خاک و در الکترولیت منفذی آن، بخصوص کاتیون سدیم بیشتر باشد عملکرد این پدیده بهتر است.
- با تزریق کاتیونهای با ظرفیت بالا مانند کلسیم و منیزیم به خاک و جایگزین کردن آنها با کاتیون سدیم که عامل واگرایی خاک می‌باشد می‌توان عامل واگرایی را با این روش از خاک خارج و آن را اصلاح و در نهایت کیفیت فنی خاک را بهبود بخشید.
- با افزایش مدت زمان آزمایش و انرژی الکتریکی تزریقی به خاک رطوبت جابجا شده نیز افزایش می‌یابد.

### مراجع

- ۱ - نیک نژاد، د. ۱۳۸۵. اصلاح خاک با استفاده از پدیده الکترواسمز، مجموعه مقالات نهمین همایش ملی بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان.
- ۲ - نیک نژاد، د. پاییز ۱۳۸۶. تأثیر شدت میدان الکتریکی بر میزان انتقال رطوبت خاک در پدیده الکترواسمز. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه گرگان. سال چهاردهم. شماره چهارم.
- 3 . Par max Andereg, G. (1963) Application de L'electro-osmosis L'humidite Montant dans less murs.
- ۴ - نیک نژاد، د. ۱۳۸۵. تثبیت لجن با استفاده از فناوری الکتروسینتیک. مجموعه مقالات اولین همایش مهندسی محیط زیست. دانشگاه تهران. ایران.
- ۵ - نیک نژاد، د. و رحیمی، ح. ۱۳۸۰. تحقیقات صحرایی آبیاری الکترواسمز. مجموعه مقالات نخستین کنفرانس بهسازی زمین. دانشکده عمران دانشگاه پلی تکنیک. ص ۴۰۱ - ۳۹۱.
- ۶- نیک نژاد، د. ۱۳۸۶. زهکشی خاک با استفاده از فناوری الکتروسینتیک. مجموعه مقالات دهمین کنگره علوم خاک ایران. پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران.
- ۷ - نیک نژاد، د. ۱۳۸۶. الکتروسینتیک و نقش آن در فرآیند آبشویی. مجموعه مقالات دهمین کنگره علوم خاک ایران. پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران.

- 8 . Shrestha, R. Fisher, R. and Rahner, D. (2003) Behavior of cadmium,lead and zinc at the sediment/ water interface by electrochemically initiated processes. *Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng.Aspects*, No. 222. pp. 261-271.
- 9 .Cundy, A. Hopkinson, L. and Faulkner, D. (2005) FIRS (Ferric Iron Remediation and Stabilisation).*ECG(Environmental Chemistry Group) Bulletin*.