

ارزیابی اثرات کاتیونی و آنیونی خاک بر قرائت‌های دستگاه القاگر الکترومغناطیس در دشت آزادگان

محمدجواد روستا، محمدحسن رحیمیان^{*}، محمدعلی مشکوه، روح‌اله تقی‌زاده و

محمی‌الدین گوشه

دکتری خاکشناسی و عضو هیأت علمی مرکز ملی تحقیقات شوری، mjrousta@yahoo.com

کارشناس آبیاری و زهکشی، مرکز ملی تحقیقات شوری، mhrahimian@gmail.com

دکتری خاکشناسی و عضو هیأت علمی مرکز ملی تحقیقات شوری، azdmeshkat@gmail.com

دکتری خاکشناسی و عضو هیأت علمی مجتمع آموزش عالی اردکان، rh_taghizade@yahoo.com

کارشناس ارشد خاکشناسی و عضو هیأت علمی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، magoosheh@yahoo.com

چکیده

در حال حاضر اگرچه ابزارهای متعددی برای پایش سریع و کم‌هزینه برخی پارامترهای خاک وجود دارند، هنوز انجام پیمایش‌های طاقت‌فرسای صحرایی در سطوح وسیع و نمونه‌برداری از اعماق مختلف به عنوان یکی از مراحل ضروری در تهیه داده‌های زمینی محسوب می‌گردد. در این پژوهش اقدام به معرفی و استفاده از ابزاری به نام هدایتگر الکترومغناطیس (EM₃₈) شده که بر اساس شواهد و مستندات علمی متعدد در نقاط مختلف دنیا می‌تواند تعداد نمونه‌برداری‌های صحرایی به منظور پایش شوری اعماق مختلف خاک را به میزان قابل توجهی کاهش داده و از این طریق در هزینه و زمان نمونه‌برداری‌ها و اقدامات آزمایشگاهی صرفه‌جویی نماید. هدف از انجام تحقیق حاضر شناخت بیشتر این ابزار و مشخصاً ارزیابی اثرات کاتیونی و آنیونی خاک بر قرائت‌های این وسیله در دشت آزادگان در استان خوزستان می‌باشد. بدین منظور با نمونه‌برداری از خاک اعماق مختلف و همچنین قرائت همزمان دستگاه EM₃₈ در محل نقاط نمونه‌برداری شده، اقدام به بررسی‌های آماری بین مقادیر آنیون، کاتیون، شوری و نسبت جذب سدیم خاک اعماق مختلف و قرائت‌های این دستگاه شده است. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که بیشترین همبستگی‌های آماری بین قرائت‌های EM₃₈ و میزان یون سدیم خاک وجود دارد. بنابراین انتظار می‌رود که به توان از این وسیله در پایش میزان سدیم خاک نقاط مختلف کشور نیز بهره‌برداری نمود. همبستگی معنی‌دار قرائت‌های این وسیله و SAR خاک لایه‌های مختلف نیز بیانگر همین موضوع است.

واژه‌های کلیدی: خاک، شوری، SAR، هدایتگر الکترومغناطیس (EM₃₈)، دشت آزادگان.

مقدمه

عدم شستشوی نمک‌ها، بی‌توجهی به تناوب و انتخاب گیاه، عدم رعایت آیش و استفاده نامتعادل از کودهای شیمیائی و فاضلاب‌های شهری از جمله عواملی هستند که

یکی از مشکلات گریبان‌گیر کشاورزی در مناطق خشک و نیمه خشک شور شدن تدریجی خاک است. عملیات مختلف مانند مدیریت نادرست آبیاری اراضی،

^۱ نویسنده مسئول، آدرس: یزد، انتهای بلوار آزادگان، خ نهالستان، مرکز ملی تحقیقات شوری، ص.پ. ۳۱۵-۸۹۱۹۵

* دریافت: بهمن ۱۳۹۰ و پذیرش: شهریور ۱۳۹۱

در دراز مدت موجب شوری خاک چنین مناطقی می‌گردند (مسعود، ۱۹۷۶). در حال حاضر از ۱۴۷۴ میلیون هکتار اراضی زیر کشت جهان، حدود ۲۳۰ میلیون هکتار به کشت آبی اختصاص داشته و از این مقدار حدود ۲۰ درصد آن تحت تأثیر شوری می‌باشند (قاسمی و همکاران، ۱۹۹۵). در کشور ما نیز بر اساس آخرین اطلاعات مستخرج شده از وضعیت شوری کشور در مقیاس سرزمین-نقشه یک میلیونیم منابع و استعداد خاک‌های ایران (بنائی، ۱۳۸۰)- اراضی دارای خاک‌های با درجات مختلف شوری دارای مساحتی بالغ بر ۵۵/۶ میلیون هکتار یعنی ۳۴ درصد مساحت کل ایران را شامل می‌شوند که عمدتاً در فلات مرکزی، دشت‌های ساحلی جنوب و دشت خوزستان واقعند (مومنی، ۱۳۸۹).

شوری در خاک می‌تواند ناشی از حضور یون‌های مختلف نظیر کلسیم، منیزیم، سدیم، کلرید، سولفات و ... باشد که هر یک تأثیرات متفاوتی را هنگام حضور گیاه و فعالیت‌های آن بر جا می‌گذارند. افزایش شوری خاک با منشاء یونی متفاوت منجر به تغییر فعالیت یونی عناصر غذایی در خاک (کاهش و یا افزایش) می‌شود. چنانچه یون مورد نظر خود از یون‌هایی باشد که شوری خاک را باعث شده، افزایش شوری خاک منجر به افزایش این فعالیت‌ها می‌گردد. یک مثال روشن در این مورد کاهش قابلیت دسترسی فسفر در خاک‌های شور است. زیرا از یک طرف با افزایش شوری خاک، اثر قدرت یونی منجر به کاهش فعالیت یون فسفر شده و از طرف دیگر غلظت فسفر خود بوسیله فرآیندهای جذب سطحی در خاک مهار می‌گردد (همائی، ۱۳۸۱). اثر قدرت یونی و تغییرات آن در ارتباط مستقیم با شوری خاک (و مشخصاً پارامتر هدایت الکتریکی) است. جعفری و همکاران (۱۳۸۶) برای بررسی رابطه بین هدایت الکتریکی و قدرت یونی عصاره خاک در یک خاک شور و سدیمی در منطقه حوض سلطان قم ۴۰ نمونه خاک را برداشت نمودند. نتایج آنان نشان داد رابطه بین هدایت الکتریکی و قدرت یونی محلول خاک نمایی بوده و ۹۲ درصد تغییرات قدرت یونی به میزان هدایت الکتریکی خاک وابسته است.

اولین گام در راه مدیریت صحیح و علمی شوری خاک و جلوگیری از روند شور شدن آن، شناسایی مناطق شور و تعیین پراکنش مکانی و زمانی این خاک‌ها است. بررسی تغییرات شوری خاک بویژه در مناطقی با وسعت زیاد، گران و زمان‌بر است. از این رو به روش‌هایی احساس نیاز می‌شود که بتواند براحتی سطح گسترده‌ای از مناطق را پایش کرده و روند تغییرات شوری را مورد بررسی قرار دهد. امروزه با پیشرفت علوم، استفاده از

فناوری‌های جدید موجب کاهش هزینه و افزایش دقت و سرعت در انجام پروژه‌ها می‌گردد. عکس‌های هوایی، تصاویر سنجنده‌های چند طیفی فضایی، تصاویر سنجنده‌ای امواج کوتاه، تصاویر ویدیویی و ژئوفیزیک هوایی برای نمایش تغییرات شوری خاک در نقاط مختلف دنیا استفاده شده‌اند (مترینخ و زینک، ۲۰۰۳). داده‌های ماهواره‌ای حاوی اطلاعات بسیار سودمند از ویژگی‌های خاک سطحی شامل بافت و مواد معدنی خاک، ماده آلی، شوری و مانند آن می‌باشند (علوی پناه، ۱۹۹۷). قابلیت این تصاویر در طبقه‌بندی خاک‌های تحت تأثیر شوری و قلیائیت نیز بررسی و اشاره شده است که این روش در افزودن سرعت، دقت و کاهش هزینه بررسی خاک‌های شور و سدیمی مؤثر می‌باشد (مسعودی، ۱۳۸۰). از این تکنیک در شناسایی و طبقه‌بندی اراضی شور نقاط مختلف کشورمان استفاده فراوان شده است. به عنوان مثال در بررسی امکان کاربرد داده‌های ماهواره‌ای در بخش کوچکی از دریاچه حوض سلطان قم عنوان گردیده که در صورت وجود داده‌های به هنگام، می‌توان از این داده‌ها جهت طبقه‌بندی اراضی شور استفاده کرد (درویش صفت و دماوندی، ۱۳۷۹). عبدی‌نام در سال ۱۳۸۳ جهت تهیه نقشه شوری خاک در قزوین، ۲۳۶ نمونه خاک را مورد تجزیه آزمایشگاهی قرار داد و میزان شوری خاک را با باندهای لندست ETM قطع داد. دادرسی و همکاران (۱۳۸۵) روند تغییرات شوری (۲۰۰۱-۱۹۸۷) را در جنوب شرقی سبزوار با استفاده از داده‌های TM مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند. آنان با استفاده از نتایج آزمایشگاهی نمونه خاک برداشت شده از منطقه، نقشه شوری خاک در هر دو زمان را به دو روش نظارت شده و نظارت نشده تهیه نمودند. احمدیان و همکاران (۱۳۸۹) تغییرات شوری دشت قهاوند در استان همدان را به کمک پردازش اطلاعات ماهواره‌ای بررسی نمودند و به منظور طبقه‌بندی داده‌های سنجنده ETM از ۵۳ نقطه از منطقه نمونه برداری کردند.

همانطوری که ملاحظه می‌گردد یکی از مهمترین مسائلی که در مطالعات خاک توسط تکنیک‌های سنجش از دور مطرح بوده و هست، استفاده از داده‌ها و برداشت‌های زمینی برای تهیه نقشه شوری و سایر پارامترهای خاک و همچنین بررسی دقت و صحت این نقشه‌ها می‌باشد. این مرحله از کار، مهمترین اقدام برای اعتبار بخشی به مطالعات سنجش از دور خاک محسوب می‌شود. چنانچه منطقه مطالعاتی از وسعت قابل توجهی برخوردار باشد، این مرحله با صرف هزینه و زمان قابل توجهی نیز همراه خواهد بود. استفاده از برخی ابزارهای

مواد و روشها

معرفی منطقه مطالعاتی

این تحقیق در دشت آزادگان در غرب استان خوزستان انجام شده است. منطقه مطالعاتی حدود ۱۵۰ هزار هکتار وسعت دارد و در ۶۰ کیلومتری شمال غربی اهواز است. منطقه مورد نظر از شمال به مسیر اصلی رودخانه کرخه، از شرق به حمیدیه، از غرب به هورالهویزه در مرز ایران و عراق و از جنوب به حاشیه پایینی کرخه نور و انشعابات آن محدود می‌شود. شکل شماره ۱ تصویری از منطقه مطالعاتی را نشان می‌دهد.

بر اساس آمار و اطلاعات موجود، دشت آزادگان دارای تابستان‌های گرم و زمستان‌های معتدل و کوتاه بوده و حداقل و حداکثر دما به ترتیب در ماه‌های دی با ۵ درجه سانتیگراد و تیر و مرداد با ۴۳/۲ درجه سانتیگراد گزارش شده است. بر اساس آمار بارندگی ده ساله منطقه، حداکثر بارندگی در آذر ماه با ۴۴/۱ میلیمتر و حداقل آن در خرداد، تیر، مرداد و شهریور ماه بدون هیچ گونه بارندگی رخ می‌دهد. بیشترین تبخیر و تفرق مربوط به تیرماه با ۳۰۳/۶ میلیمتر و کمترین آن مربوط به دی ماه با ۴۲/۷ میلیمتر گزارش شده است. بر اساس همین گزارشات میزان کل بارندگی و کل تبخیر سالانه در منطقه به ترتیب برابر با ۱۷۵ و ۲۰۰۴ میلیمتر می‌باشد.

روش کار

به منظور انجام این تحقیق از خاک ۲۳ نقطه در اعماق مختلف آن از سطح زمین تا رسیدن به سطح ایستابی در هر نقطه (بین ۱۲۰ تا ۳۰۰ سانتیمتر از سطح زمین) نمونه‌برداری صورت پذیرفت. این نمونه‌برداری‌ها در فصل تابستان سال ۱۳۹۰ و در اراضی کشاورزی فاقد کشت انجام شده است. همزمان با انجام نمونه‌برداری‌ها، از دستگاه هدایتگر الکترومغناطیس مدل EM₃₈ ساخت شرکت ژئونیکس^۵ کانادا استفاده شده است. این دستگاه مستطیل شکل است که طول آن ۱ متر، پهنای آن ۱۰ سانتیمتر و ضخامتش حدود ۵ سانتیمتر می‌باشد. این دستگاه یا مستقیماً بر روی سطح زمین قرار می‌گیرد و یا اینکه بدون تماس با سطح خاک و در یک ارتفاع مشخص (مثلاً نیم متر) و موازی با سطح زمین قرار گرفته و قرائت‌های آن انجام می‌شود. فراهم بودن امکان عدم تماس مستقیم این وسیله با سطح خاک است که آنرا در زمره ابزارهای سنجش از دور^۶ نیز قرار داده است. دستگاه EM₃₈ در درون خود دارای یک سیم‌پیچ فرستنده امواج

برداشت سریع داده در این مرحله می‌تواند نقش مهمی در کاهش هزینه و زمان مشاهدات ضروری زمینی برای مطالعات سنجش از دور را ایفا کند. در طی دو دهه اخیر بسیاری از تکنیک‌های جدید مانند آرایه ونر^۱ (رودز و اینوالسون، ۱۹۷۱)، پروبهای هدایت الکتریکی رودز (رودز، ۱۹۷۶)، روش انعکاس سنجی زمانی^۲ یا TDR و روش القای الکترومغناطیسی^۳ یا EM (مک نیل، ۱۹۸۰ الف و ۱۹۸۰ ب) برای اندازه‌گیری شوری خاک در شرایط مزرعه مورد استفاده قرار گرفته‌اند. در این میان تکنیک القای الکترومغناطیسی به خاطر اینکه برای انجام اندازه‌گیری نیازی به گرفتن نمونه خاک ندارد، از سهولت و راحتی بیشتری برخوردار است (رحیمیان و هاشمی‌نژاد، ۱۳۸۹). متداول ترین نوع این دستگاه که در کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرد مدل EM₃₈ است که توسط شرکت ژئونیکس^۴ کانادا ساخته شده است. گزارش شده است که تغییرات مکانی شوری ثبت شده توسط EM₃₈ می‌تواند برای پیش‌بینی تغییرات تولید محصول (به‌علت تغییرات آب موجود در خاک) نیز استفاده شود (هرمان و همکاران، ۲۰۰۰). فواید اندازه‌گیری شوری خاک با استفاده از EM₃₈ توسط کمیته کشاورزی بررسی شده است (فریتز و همکاران، ۱۹۹۹). مطالعات قبلی ارتباط قوی بین مقدار رس و میزان هدایت الکتریکی اندازه‌گیری شده بوسیله EM₃₈ را بیان نموده‌اند (هدلی، ۲۰۰۴). استفاده از دستگاه EM₃₈ برای اندازه‌گیری اثر شوری خاک بر گیاه اکالیپتوس در جنوب غربی استرالیا توسط بنت و جورج (۱۹۹۵) و همچنین هیت و همکاران (۱۹۹۹)، در آفریقا توسط جانستون و همکاران (۱۹۹۴)، در خاک‌های رسی سنگین و شور نواحی مرکزی دلتای نیل در مصر توسط عبدالغنی و همکاران (۲۰۰۰) و بدست آوردن ضرایب همبستگی ۰/۵۳ تا ۰/۸۵، در انجام سریع پیمایش‌های شناسائی در سطح کشور هند توسط شرما و گوپتا (۲۰۰۰)، در ایالت فنج کیو چین توسط یاکان و همکاران (۲۰۰۸) همگی گواه بر کارآمدی این دستگاه در پایش شوری و سایر پارامترهای خاک نظیر میزان سدیم خاک، بافت خاک، درصد رس و رطوبت می‌باشد. هدف از انجام تحقیق حاضر نیز شناخت بیشتر این ابزار برای استفاده در شرایط حاکم بر خاک‌های کشور و مشخصاً ارزیابی اثرات کاتیونی و آنیونی خاک بر قرائت‌های این وسیله در دشت آزادگان در استان خوزستان می‌باشد.

1. Wenner array

2. Time domain reflectometry

3. Electromagnetic induction

4. Geonics

5. Geonics

6. Remotely sensed instruments

سانتیمتر) در آزمایشگاه مورد تجزیه قرار گرفته و میزان کاتیون‌ها و آنیون‌های عصاره اشباع آنها به روش‌های استاندارد آزمایشگاهی (علی‌احیائی، ۱۳۷۶) مشخص گردیدند. کاتیون‌ها و آنیون‌های مورد بررسی شامل پتاسیم، سدیم، منیزیم، کلسیم، سولفات، کلرید، بی‌کربنات و همچنین نسبت جذب سدیم (SAR) و هدایت الکتریکی (ECe) بودند. برای سایر اعماق خاک (۱۲۰-۹۰، ۱۵۰-۱۲۰ و ...)، تنها پارامتر هدایت الکتریکی عصاره اشباع (ECe) اندازه‌گیری و تحلیل شد. تجزیه و تحلیل‌ها در نرم افزار SPSS و توسط آزمون همبستگی دو متغیره^۴ (جهت محاسبه ماتریس همبستگی بین قرائت‌های دستگاه EM₃₈ و مقادیر کاتیون‌ها و آنیون‌های خاک و سپس مشخص سازی سطح معنی‌داری این همبستگی‌ها) و همچنین رگرسیون خطی چندمتغیره^۵ (جهت پیش‌بینی مقادیر SAR و شوری اعماق مختلف خاک از روی قرائت‌های EM₃₈) انجام پذیرفت.

نتایج و بحث

شکل شماره ۱ نشان دهنده ضرایب همبستگی بین مقادیر هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک اعماق مختلف و قرائت‌های انجام شده توسط دستگاه هدایت‌گر الکترومغناطیس در دو وضعیت افقی و عمودی است. بر این اساس بیشترین این همبستگی‌ها در اعماق ۹۰-۶۰ و ۱۲۰-۹۰ سانتیمتری از سطح خاک در هر دو قرائت افقی و عمودی مشاهده می‌گردد. تحلیل‌های آماری نشان از وجود همبستگی معنی‌دار در سطح اطمینان ۱ درصد بین قرائت‌های افقی و عمودی این دستگاه و مقادیر شوری اعماق مذکور است. این شکل همچنین گویای این موضوع است که در تمامی اعماق خاک، قرائت‌های عمودی (EM_v) دارای همبستگی بیشتری نسبت به قرائت‌های افقی (EM_h) با مقادیر شوری خاک می‌باشند.

همانطوری که قبلاً نیز اشاره شد نمونه‌برداری‌های میدانی در فصل تابستان و در اراضی بدون کشت انجام شده است. بر اساس شواهد و مستندات مربوط به منطقه مطالعاتی، افزایش نیاز تبخیری جو در فصول گرم سال و بایر ماندن اراضی در این مواقع منجر به کاهش قابل توجه رطوبت خاک لایه‌های سطحی می‌شود. همچنین انتظار می‌رود که صعود موئینگی آب زیرزمینی تا لایه‌های سطحی خاک ادامه نیافته و حتی در صورت وقوع، بواسطه تبخیر بیش از حد از سطح، میزان رطوبت خاک این لایه‌ها مجدداً به حداقل ممکن کاهش یابد. همین موضوع (کاهش رطوبت خاک لایه‌های سطحی) بر

الکترومغناطیس در یک طرف و یک سیم‌پیچ گیرنده امواج در طرف دیگر است. سیم‌پیچ فرستنده حلقه‌هایی از جریان‌های الکترومغناطیسی دوار را در خاک زیرین خود القاء می‌کند. اندازه هر یک از این حلقه‌های جریان^۱ به طور مستقیم متناسب با هدایت الکتریکی خاک اطراف آن حلقه می‌باشد. هر یک از این حلقه‌های جریان یک میدان الکترومغناطیسی ثانویه ایجاد می‌نمایند که اندازه این میدان وابسته به مقدار جریانی است که در بین این حلقه‌ها وجود دارد. بخشی از این میدان الکترومغناطیسی ثانویه در اطراف هر حلقه، توسط سیم‌پیچ گیرنده دستگاه دریافت می‌گردد. تمامی سیگنال‌های دریافت شده پس از تقویت شدن به یک ولتاژ خروجی تبدیل و بر روی نمایشگر دستگاه مشاهده می‌گردند. ولتاژ خروجی دستگاه به صورت خطی وابسته به مقادیر هدایت الکتریکی در اعماق مختلف نیم‌رخ خاک بوده و اصطلاحاً گفته می‌شود که این مقادیر به صورت وزنی وابسته به عمق^۲ می‌باشند. حجم و عمق اندازه‌گیری‌های EM₃₈ بستگی به ارتفاع قرارگیری آن نسبت به سطح زمین و همچنین وضعیت قرارگیری^۳ آن نسبت به سطح خاک (افقی یا عمودی) دارد. عمق مؤثر اندازه‌گیری دستگاه EM₃₈ مدل ژئونیکس برای وضعیت‌های قرارگیری افقی (خوابیده) و عمودی (ایستا) بر سطح خاک به ترتیب حدود ۱ و ۲ متر می‌باشد. عرض مؤثر اندازه‌گیری‌ها به حدود ۰/۵ متر از طرفین و نیز از دو انتهای دستگاه می‌رسد. لذا این دستگاه اندازه‌گیری را در یک حجم بیضی شکل از خاک با طول حدود ۲ متر و عرض حدود ۱ متر و عمق متغیر (وابسته به وضعیت قرارگیری) انجام می‌دهد (رودز و همکاران، ۱۹۹۷). در این تحقیق قرائت‌ها در دو وضعیت قرارگیری افقی (خوابیده) و عمودی (ایستا) و همچنین در دو امتداد مختلف (جمعاً چهار قرائت) انجام شده است. شکل شماره ۲ نشان دهنده نحوه قرارگیری این دستگاه در سطح زمین برای انجام چهار قرائت مختلف حول هر نقطه می‌باشد.

سپس با میانگین‌گیری از دو قرائت افقی و دو قرائت عمودی در هر نقطه، مقادیر EM_h و EM_v به عنوان قرائت‌های افقی و عمودی این دستگاه در هر نقطه در نظر گرفته شده و در تحلیل‌ها مورد استفاده قرار گرفت. جهت مطالعه تأثیرات آنیونی و کاتیونی خاک بر قرائت‌های دستگاه هدایت‌گر الکترومغناطیس در منطقه مطالعاتی، خاک مربوط به سه عمق اصلی (۳۰-۰، ۶۰-۳۰، و ۹۰-۶۰

1. Loop

2. Depth-weighted

3. Orientation

4. Bivariate correlation

5. Multiple linear regression

قرائت‌های دستگاه هدایتگر الکترومغناطیس تأثیر گذاشته و منجر به کاهش همبستگی‌ها در اعماق ۳۰-۶۰ و ۳۰-۶۰ سانتیمتر (ناحیه الف در شکل ۲) شده است.

در اینجا همچنین باید به این نکته اشاره شود که کاهش همبستگی‌ها در اعماق ۱۵۰ سانتیمتری خاک و پائین‌تر (ناحیه ب در شکل ۲)، به علت کاهش و سپس قطع اثر امواج الکترومغناطیسی دستگاه EM38 در چنین اعماقی بوده و ارتباطی به میزان فراهمی رطوبت خاک در این لایه‌ها ندارد. بر این اساس می‌توان چنین نتیجه‌گیری نمود که عمق بهینه برای پایش شوری خاک توسط دستگاه EM38 در فصول گرم سال و در شرایط حاکم بر منطقه مطالعاتی (اراضی بدون کشت، سطح ایستابی نسبتاً کم عمق و تبخیر نسبتاً زیاد) بین ۶۰ تا ۱۲۰ سانتیمتر است و لذا همبستگی بین قرائت‌های این وسیله و مقادیر شوری خاک در سایر اعماق (هم در اعماق بالاتر و هم در اعماق پائین‌تر از آن) کاهش خواهد یافت. با توجه به اینکه نتایج مذکور مربوط به حادترین فصل سال از نظر شرایط رطوبتی خاک می‌باشد، یقیناً هر گونه تغییر در توزیع رطوبت پروفیل خاک در سایر زمان‌ها (و خصوصاً فصل کشت) به نفع عملیات پایش شوری خاک توسط این وسیله رقم خواهد خورد و ضرایب همبستگی بین قرائت‌های آن و شوری خاک لایه‌های بالاتر - ناحیه توسعه ریشه گیاهان غالب در منطقه مطالعاتی - را افزایش خواهد داد.

جدول ۱ ضرایب همبستگی بین قرائت‌های افقی و عمودی دستگاه هدایتگر الکترومغناطیس با کاتیون‌ها و آنیون‌های اعماق مختلف خاک و همچنین نسبت جذب سدیم (SAR) در منطقه مطالعاتی را نشان می‌دهد. به طور کلی همبستگی‌های مربوط به لایه سطحی خاک (۳۰-۶۰) کمتر از سایر اعماق بوده و با افزایش عمق این ضرایب نیز افزایش می‌یابند. این مساله همانند هدایت الکتریکی، به عدم حضور رطوبت خاک در این لایه برمی‌گردد که قبلاً توضیح داده شده است. نکته قابل تأمل در این جدول این است که بیشترین همبستگی‌ها بین قرائت‌های این وسیله و میزان سدیم خاک دیده می‌شود. با توجه به تأثیر زیاد سدیم بر قرائت‌های دستگاه EM38، انتظار می‌رود که بتوان از این وسیله در پایش خاک‌های سدیمی نیز بهره‌برداری نمود. همبستگی معنی‌دار قرائت‌های این وسیله و SAR خاک لایه‌های مختلف مبین همین موضوع است.

تحلیل نتایج آزمایشگاهی نمونه‌های خاک مورد بررسی در این پژوهش مشخص می‌کند که منشاء شوری خاک در منطقه مطالعاتی عمدتاً مربوط به وجود یون‌های

کلر، سدیم، کلسیم و منیزیم در خاک است. به عنوان مثال برای لایه ۳۰-۶۰ سانتیمتری خاک، این یون‌ها به ترتیب دارای ضرایب همبستگی ۰/۹۸، ۰/۹۵، ۰/۹۴ و ۰/۹۳ با میزان شوری عصاره اشباع خاک (EC_e) هستند. در حالی که برای همین عمق خاک و برای سایر یون‌ها نظیر سولفات، پتاسیم و بی‌کربنات این ضرایب به ترتیب برابر با ۰/۶۷، ۰/۵۲ و ۰/۱۰ می‌باشند. این در حالی است که همبستگی بین قرائت‌های دستگاه EM38 و SAR بیشتر از همبستگی بین قرائت‌های این دستگاه و شوری خاک و یون‌های مختلف خاک است. اما همانطوری که اشاره شد، از بین یون‌های مختلف خاک یون سدیم بیشترین همبستگی با قرائت‌های EM38 را دارا می‌باشد.

جدول ۲ معادلات رگرسیونی بدست آمده برای تعیین نسبت جذب سدیم و شوری خاک اعماق مختلف در منطقه مطالعاتی را نشان می‌دهد. بهبود جزئی در ضرایب همبستگی این جدول در معادلات پیش‌بینی مقادیر شوری و SAR خاک نسبت به ضرایب آزمون همبستگی دو متغیره (شکل ۱ و جدول ۱) ناشی از بکارگیری روش رگرسیون چند متغیره و دخالت دادن قرائت‌های افقی و عمودی دستگاه EM38 به صورت توأم می‌باشد.

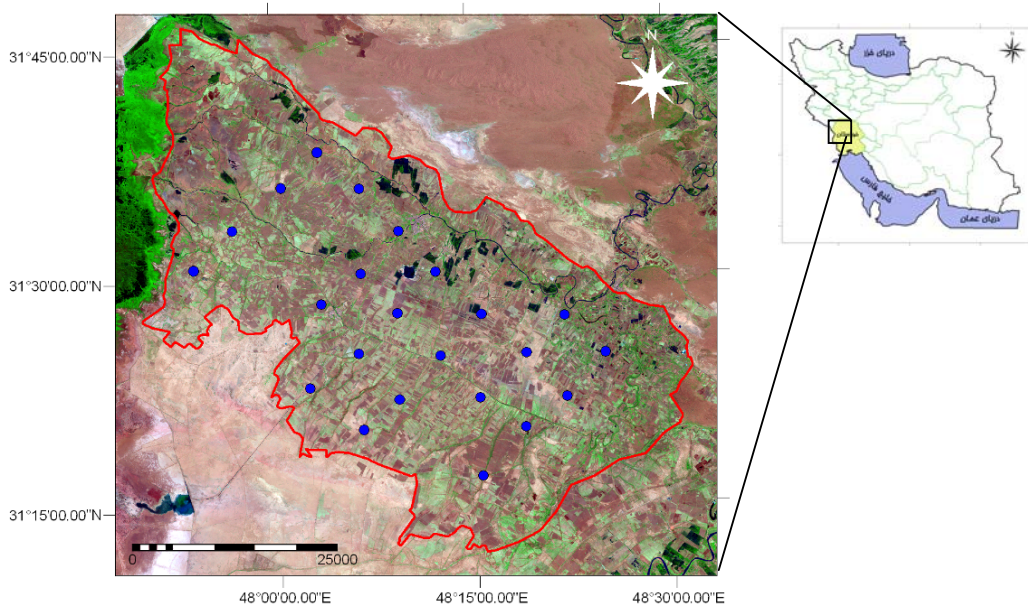
نتیجه‌گیری و پیشنهادات

بر اساس نتایج کسب شده در این پژوهش مشخص گردید که بیشترین همبستگی‌ها بین قرائت‌های EM38 و مقدار یون سدیم خاک وجود دارد. اگرچه منشاء شوری در نمونه‌های مورد بررسی مربوط به وجود یون‌های کلر، سدیم، کلسیم و منیزیم در خاک است (به عنوان مثال برای لایه ۳۰-۶۰ سانتیمتری خاک، این یون‌ها به ترتیب دارای ضرایب همبستگی ۰/۹۸، ۰/۹۵، ۰/۹۴ و ۰/۹۳ با میزان شوری عصاره اشباع هستند)، اما همبستگی بین قرائت‌های EM38 و SAR بیشتر از همبستگی بین قرائت‌های این دستگاه و شوری عصاره اشباع (EC_e) است. لذا بر اساس یافته‌های این تحقیق انتظار می‌رود که بتوان از این وسیله علاوه بر پایش میزان شوری، در پایش سدیم خاک نیز خاک بهره‌برداری نمود. نظر به اینکه با کمک این دستگاه می‌توان تعداد نمونه برداری‌های زمینی و عملیات آزمایشگاهی را به حداقل ممکن کاهش داد و با صرف کمترین زمان و هزینه، اقدام به تولید داده‌های لازم از مقادیر شوری و سدیم اعماق مختلف خاک در یک منطقه وسیع نمود، لذا توصیه می‌گردد که در پیمایش‌های وسیع صحرایی از این ابزار استفاده شود. از جمله قابلیت‌های دیگر این دستگاه تعیین نحوه توزیع نمک در اعماق مختلف خاک است که با صرف زمان و

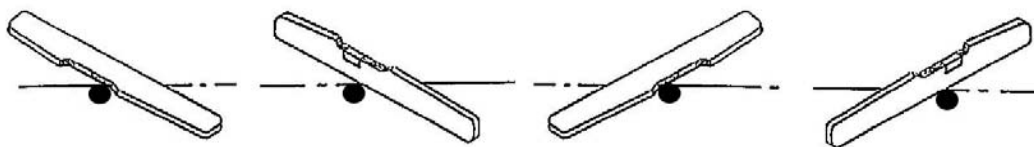
در اعماق ۰-۳۰ و ۳۰-۶۰ سانتیمتری خاک نیز فراهم خواهد گردید. بنابراین توصیه می‌شود که زمان انجام پیمایش‌های زمینی توسط این وسیله را متناسب با عمق مورد نظر برای پایش شوری خاک در نظر گرفته و در صورتی که نیاز به پایش شوری لایه‌های سطحی خاک است، از انتخاب فصول گرم و پرتبخیر سال به عنوان زمان پیمایش‌های صحرائی EM₃₈ (خصوصاً در اراضی فاقد کشت و بایر) اجتناب گردد.

هزینه کمتر نسبت به روش‌های نمونه‌برداری از اعماق مختلف آن قابل دستیابی است.

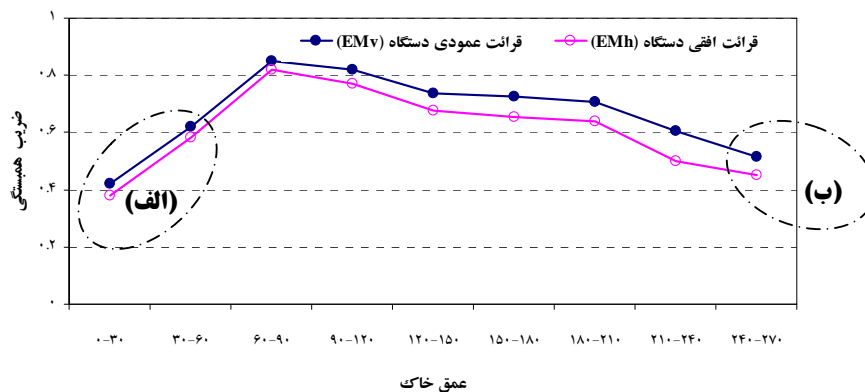
از نکات قابل توجه در این پژوهش زمان انجام قرائت‌های دستگاه EM₃₈ است. نتایج حاصله نشان می‌دهد که در فصول گرم سال و در شرایط حاکم بر منطقه مطالعاتی (اراضی بدون کشت، سطح ایستابی نسبتاً کم عمق و تبخیر نسبتاً زیاد)، عمق بهینه برای پایش شوری خاک توسط دستگاه EM₃₈ بین ۶۰ تا ۱۲۰ سانتیمتر است که با تغییر در زمان نمونه برداری‌ها، امکان پایش شوری



شکل ۱- تصویر ماهواره‌ای منطقه مطالعاتی و نقاط نمونه‌برداری زمینی و موقعیت قرارگیری آنها بر روی نقشه کشور



شکل ۲- نحوه قرارگیری دستگاه هدایتگر الکترومغناطیس حول یک نقطه مشخص در سطح زمین برای انجام چهار قرائت مختلف توسط این دستگاه



شکل ۲- مقایسه ضرایب همبستگی بین قرائت‌های افقی و عمودی دستگاه هدایت‌گر الکترومغناطیس (EM₃₈) با هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک اعماق مختلف در دشت آزادگان

جدول ۱- ضرایب همبستگی بین قرائت‌های افقی و عمودی دستگاه هدایت‌گر الکترومغناطیس با کاتیون‌ها و آنیون‌های اعماق مختلف خاک و SAR در دشت آزادگان

SAR	آنیونها			کاتیونها				وضعیت قرارگیری EM ₃₈	عمق خاک (سانتیمتر)
	HCO ₃	Cl	SO ₄	Ca	Mg	Na	K		
.653**	-.467*	.361	-.135	.313	.287	.439*	.264	عمودی	۰-۳۰
.610**	-.438*	.325	-.128	.274	.249	.403	.221	افقی	
.818**	-.430*	.542**	.196	.454*	.414*	.728**	.444*	عمودی	۳۰-۶۰
.786**	-.403	.503*	.207	.408	.376	.691**	.380	افقی	
.857**	-.208	.794**	.187	.694**	.646**	.884**	.478*	عمودی	۶۰-۹۰
.826**	-.193	.773**	.165	.662**	.628**	.859**	.428*	افقی	

** همبستگی معنی دار آماری در سطح اطمینان ۱ درصد * همبستگی معنی دار آماری در سطح اطمینان ۵ درصد

جدول ۲- معادلات بدست آمده برای تعیین نسبت جذب سدیم و شوری خاک اعماق مختلف در دشت آزادگان

ضریب همبستگی	شوری عصاره اشباع خاک (دسی‌زیمنس بر متر)		نسبت جذب سدیم خاک		عمق خاک (سانتیمتر)
	معادله	ضریب همبستگی	معادله	ضریب همبستگی	
0.48*	ECe=0.3*EM _v -0.27*EM _h -8.3	0.69**	SAR=0.155*EM _v -0.123*EM _h -2		۰-۳۰
0.64**	ECe=0.14*EM _v -0.1*EM _h -2.1	0.83**	SAR=0.1*EM _v -0.06*EM _h +1.41		۳۰-۶۰
0.86**	ECe=0.11*EM _v -0.06*EM _h -2.7	0.87**	SAR=0.1*EM _v -0.06*EM _h +3		۶۰-۹۰

** همبستگی معنی دار آماری در سطح اطمینان ۱ درصد * همبستگی معنی دار آماری در سطح اطمینان ۵ درصد

فهرست منابع:

- احمدیان، م.، پاک‌پور، م.، و عاشورلو، د. ۱۳۸۹. بررسی تغییرات شوری خاک به کمک پردازش رقومی اطلاعات ماهواره لندست در دشت قهاوند (استان همدان). مجله پژوهش‌های خاک (علوم خاک و آب)، الف، جلد ۲۴، شماره ۲، صفحات ۱۷۹-۱۹۱.

۲. بناپی، م. ح.، ع. مؤمنی، م. بایبوردی و م. ج. ملکوتی. ۱۳۸۳. خاک‌های ایران: تحولات نوین در شناسایی، مدیریت و بهره‌برداری. انتشارات سنا.
۳. جعفری، م.، زارع چاهوکی، م. ع.، طویلی، ع.، و شفیع‌زاده نصرآبادی، م. ۱۳۸۶. مجله علوم کشاورزی ایران، دوره ۳۸، شماره ۴، ص ۵۹۱-۵۸۷.
۴. دادرسی، ا.، پاک‌پرور، م.، یمانی، م.، و داورزنی، ز. ۱۳۸۵. بررسی روند تغییرات شوری خاک با استفاده از داده‌های سنجش از دور و سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی در ناحیه گرم و خشک جنوب شرقی شهرستان سبزوار. مجله جغرافیا و توسعه، بهار و تابستان ۱۳۸۵، ص ۱۸۴-۱۷۳.
۵. درویش صفت، ع. اص.، و ع. ا. دماوندی. ۱۳۷۹. بررسی امکان طبقه‌بندی اراضی شور با استفاده از داده‌های رقومی ماهواره لندست. مجله بیابان، شماره ۲، جلد ۵، ص ۳۶-۲۷.
۶. رحیمیان، م. ح.، و هاشمی‌نژاد، ی. ۱۳۸۹. واسنجی دستگاه القاگر الکترومغناطیس (EM38) برای ارزیابی شوری خاک. مجله پژوهش‌های خاک، علوم خاک و آب، الف، جلد ۲۴، شماره ۳، صفحات ۲۵۲-۲۴۳.
۷. سکوتی اسکوتی، ر.، مهدیان، م. ح.، محمودی، ش.، و قهرمانی، ا. ۱۳۸۶. مقایسه کارایی برخی روش‌های زمین آماری برای پیش‌بینی پراکنش مکانی شوری خاک، مطالعه موردی دشت ارومیه. مجله پژوهش و سازندگی در زراعت و باغبانی، شماره ۷۴، بهار ۱۳۸۶، صفحات ۹۸-۹۰.
۸. عبدی نام، ع. ۱۳۸۳. تهیه نقشه شوری خاک با استفاده از ایجاد همبستگی بین داده‌های ماهواره‌ای با مقادیر عددی شوری خاک در دشت قزوین. مجله پژوهش و سازندگی، شماره ۶۴، پاییز ۱۳۸۳، ص ۳۸-۳۳.
۹. مسعودی، م. ۱۳۸۰. بررسی قابلیت تصاویر ماهواره‌ای در طبقه‌بندی خاک‌های تحت تأثیر شوری و قلیائیت. تحقیقات مرتع و بیابان ایران (۴). مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع.
۱۰. علی‌احیایی، م. ۱۳۷۶. شرح روش‌های تجزیه شیمیایی خاک (جلد دوم)، نشریه شماره ۱۰۲۴ مؤسسه تحقیقات خاک و آب، ص ۱۱۳.
۱۱. مومنی، ع. ۱۳۸۹. پراکنش جغرافیایی و سطوح شوری منابع خاک ایران، پژوهش‌های خاک (ویژه شوری-الف)، ج ۲۴، شماره ۳، ۲۱۵-۲۰۳.
۱۲. همائی، م. ۱۳۸۱. واکنش گیاهان به شوری. انتشارات کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، ۹۷ صفحه.
13. Abdel Ghany, M.B, Hussein A.M., Omara M.A., EI-Nagar H.M, 2000, Testing Electromagnetic Induction Device (EM 38) under Egyptian Conditions, EM38Workshop, New Delhi, India.
14. Alavipannah S.K. 1997. Study of soil salinity in the Ardakan (Iran) based upon field observation, remote sensing and GIS. Ph.D Thesis, Gent University. 292pp.
15. Bennett, D.L. , R.J. George. 1995. Using the EM38 to measure the effect of soil salinity on Eucalyptus globulus in south-western Australia. Agricultural Water Management, Volume 27, Issue 1, April 1995, Pages 69-85.
16. Brevik, E. C. & Fenton, T. E. 2002. The relative influence of soil water content, clay, temperature, and carbonate minerals on soil electrical conductivity readings taken with an EM-38 along a Mollisol Catena in Central Iowa. Soil survey horizons, 43, 9-13.
17. Cheraghi S.A.M., Y. Hasheminejhad and M.H. Rahimian. 2007, An overview of salinity problem in Iran: assessment and monitoring technology. First Expert Consultation on "Advances in Assessment and Monitoring of Salinization for Managing Salt-affected Habitats" of the Global Network on Salinization Prevention and Productive Use of Salt-affected Habitats (SPUSH) and Meeting on the Status and Progress of Biosaline Agriculture of the Inter-Islamic Network on Biosaline Agriculture. Dubai, UAE.

18. De Clerck, F., M.J. Singer and P. Lindert. 2003. A 60-year history of California soil quality using paired samples. *Geoderma* 114: 215-230.
19. Fritz, R. M., Malo, D. D., Schumacher, T. E., Clay, D. E., Carlson, C. G., Ellsbury, M.M., & Dalsted, K. J. 1999. Field comparison of two soil electrical conductivity measurement systems. In: Robert, P. C., Rust, R. H., Larson, W. E. (eds). *Proceedings of the fourth international conference on precision agriculture*, pp. 1210-1217. ASA, CSSA, SSSA, Madison, USA.
20. Ghassemi, F., A. J. Jakeman and H. A. Nix. 1995. *Salinization of land and water resources: Human causes, extent, management and case studies*. UNSW Press, Sydney, Australia, and CAB International, Wallingford, UK.
21. Hall, N. Greiner, R and Yangvanit. S. (2001). *Modeling Salinity management at from and catchment level in NSW and Thailand and Modsim 2001*. Australian National University, Canberra.
22. Herrero, J. and O. Perez-Coveta. 2005. Soil salinity changes over 24 years in a Mediterranean irrigated district. *Geoderma* 125: 287-308.
23. Heath, J., Challis, P., Norman, C., 1999, *Manual for Calibration of EM38*. Agriculture Victoria- Natural Resources & Environment. Institute of Sustainable Irrigated Agriculture. 1-9.
24. Hedley, C. B., Yule, I. Y., Eastwood, C. R., Shepherd, T. G., & Arnold, G. 2004. Rapid identification of soil textural and management zones using electromagnetic induction sensing of soils. *Australian Journal of Soil Research* 42(4), 389-400.
25. Heermann, D. F., Hoeting, J., Duke, H. R., Westfall, D. G., Buchleiter, G. W., Westra, P., Peairs, F. B., & Fleming, K. 2000. *Irrigated Precision Farming for Corn Production*. *Proceedings of Second International Conference on Geospatial Information in Agriculture and Forestry*, pp. 144-151, Lake Buena Vista, Florida.
26. Hossain, MD. B. 2008. *EM38 for measuring and mapping soil moisture in a cracking clay soils*. Thesis for the degree of doctor. Department of geology and planning, University of New England, Australia. 187 pp.
27. Hossain, M.B., D.W. Lamb, P.V. Lockwood, P. Frazier. 2010. EM38 for volumetric soil water content estimation in the root-zone of deep vertosol soils. *Computers and Electronics in Agriculture*, Volume 74, Issue 1, October 2010, Pages 100-109.
28. Johnston, M.A., Savage, M.J., M.J., Moolman, J.H., DU Plessis, H.M., 1996, *Calibration Models for Interpretation of Soil Salinity Measurements Using an Electromagnetic Induction Technique*. *South Africa Journal, Plant Grond* 1996, 13(4). Water Research Commission, South Africa. 1-6.
29. Massoud, F. I. 1976. *Basic principles for prognosis and monitoring of salinity and sodicity*. *Proceedings of international salinity conference*, Texas Tech. University, Lubbock, Texas.
30. Masoud, A.A and Kolk, K., 2004, *Soil salinity induced land cover change detection and analysis in siwa region, NW Egypt*. *Informational symposium on geoinformatics for spatial Infrastructure development in earth and allied sciences*.
31. Metternicht, G.I. and Zinck, J.A., 2003. *Remote sensing of soil salinity: potentials and constraints*. *Remote sensing of Environment*, 85(1): 1-20.
32. Padhi, J., R.K. Misra. 2011. *Sensitivity of EM38 in determining soil water distribution in an irrigated wheat field*. *Soil and Tillage Research*, Volume 117, December 2011, Pages 93-102
33. Rahimian, M. H., Y. Hasheminejhad, and S. A. M. Cheraghi, 2007, *Use of EM38 for salinity assessment in irrigated fields (unpublished data)*.
34. Sharma, D.P. and Gupta, S.K., 2000, *Application of EM38 for Soil Salinity Appraisal: an Indian Experience*, EM38 Workshop, New Delhi, India.

35. Yu-juan, Chen. 2004. The application of EM38 conductivity gauge in the measurement of soil salt. *Agricultural Research in the Arid Areas*, Volume 2.
36. Ya-kun, Wu. Yang. Jing-song., Yang, Xiao-ying., Liu, Guang-ming. 2008. Surveying soil salinization in Fengqiu County based on EM38. *Agricultural Research in the Arid Areas*, Volume 5.