

واسنجی دستگاه القاء گر الکترومغناطیس (EM38) برای ارزیابی شوری خاک

محمدحسن رحیمیان^{۱*} و یوسف هاشمی‌نژاد

کارشناس آبیاری و زهکشی، واحد سنجش از دور و GIS، مرکز ملی تحقیقات شوری؛ mbrahimian@gmail.com

عضو هیأت علمی بخش آبیاری و فیزیک خاک، مرکز ملی تحقیقات شوری؛ Hasheminejhad@gmail.com

چکیده

ابزارهای القاء گر الکترومغناطیس که هدایت الکتریکی ظاهری توده خاک^۲ را اندازه گیری می کنند امروزه در سطح دنیا به منظور ارزیابی سریع تغییرات مکانی شوری خاک کاربرد گسترده ای یافته‌اند. در این تحقیق اقدام به واسنجی یکی از این ابزارها به نام EM38 در دو باغ پسته در منطقه چاه افضل استان یزد شده است، برای واسنجی این دستگاه شوری عصاره اشباع خاک در اعماق مختلف در دو قطعه زمین با خاک لوم رسی با مساحت های ۴۵ و ۴۰ هکتار با متوسط درصد رطوبت وزنی ۲۵ و ۳۵ درصد اندازه گیری شد. به همین منظور از یک شبکه منظم نمونه برداری با ابعاد ۸۰ × ۲۰ متر استفاده و قرائتهای دستگاه در دو وضعیت افقی و عمودی برای هر نقطه از این شبکه انجام گردید. جهت تبدیل قرائتهای دستگاه به شوری عصاره اشباع خاک، از فرمولهای متعدد استفاده و بهترین روش برای این کار انتخاب شد. نتایج این تحقیق نشان داد که بهترین روش برای واسنجی این دستگاه، بکارگیری مستقیم روابط رگرسیون چند متغیره خطی است. همچنین مشخص گردید که روابط رگرسیونی بین شوری اعماق مختلف خاک و قرائتهای افقی و عمودی دستگاه مذکور در رطوبت وزنی ۳۵ درصد در مقایسه با درصد رطوبت وزنی ۲۵ درصد بهتر قابل استخراج بوده و ضرایب همبستگی (R^2) بین ۰/۶۷ تا ۰/۸۵ را برای اعماق مختلف خاک بدست خواهد داد. همچنین در این تحقیق به کمک قرائتهای دستگاه مذکور نقشه های شوری باغات پسته در اعماق مختلف خاک و نیز نقشه تغییرات عمقی شوری در ابتدا و انتهای نوارهای آبیاری نیز ترسیم و تفسیر شده است.

واژه‌های کلیدی: شوری خاک، نقشه، القاء الکترومغناطیس (EM38)، واسنجی، چاه افضل

مقدمه

دراز مدت فعالیتها و عملیات درون مزرعه‌ای نظیر آبیاری، مدیریت گیاه و همچنین خاک را در مقیاس مزرعه‌ای و منطقه‌ای ارائه می‌کند (سودوت و همکاران، ۲۰۰۱؛ لو و همکاران، ۲۰۰۲). در طی دو دهه اخیر بسیاری از تکنیکهای جدید مانند آرایه ونر^۳ (رودز و اینوالسون، ۱۹۷۱)، پروبهای هدایت الکتریکی رودز (رودز، ۱۹۷۶)، روش انعکاس سنجی زمانی^۴ یا TDR و روش القای

اقدامات انجام شده برای پایش و ارزیابی هدایت الکتریکی خاک به طور فزاینده ای در سطح دنیا در حال گسترش است زیرا نه تنها هدایت الکتریکی به عنوان نماینده برخی خصوصیات خاک نظیر شوری، درصد رطوبت، عمق خاک و میزان رس آن محسوب می‌گردد، بلکه اطلاعات بسیار مهمی راجع به اثرات و پیامدهای

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

* دریافت: آذر، ۱۳۸۹ و پذیرش: اسفند ۱۳۸۹

2 - Soil bulk apparent electrical conductivity
3 - Wenner array
4 - Time domain reflectometry

روشهای موفق در واسنجی و ارائه ضرایب مربوط به این دستگاه روش رگرسیون چند متغیره است که به تعداد نسبتاً زیاد و قابل قبولی از قرائتهای دستگاه نیاز دارد. در تحقیق حاضر نیز از همین روش به عنوان روش واسنجی استفاده شده است. مبنای روش مذکور مرتبط ساختن قرائتهای افقی و عمودی دستگاه با شوری عصاره اشباع خاک (یا شوری اعماق مختلف خاک و یا متوسط وزنی شوری پروفیل خاک) به صورت یک سری از ضرایب رگرسیونی است که در صورت امکان می توان ضرایب متفاوتی را برای انواع مختلف نیمرخهای شوری خاک (نیمرخ معکوس^۵ که شوری با افزایش عمق خاک کاهش می یابد، نیمرخ منظم^۶ که شوری در عمق افزایش می یابد و نیمرخ یکنواخت^۷ که شوری با عمق تغییر چندانی نمی کند) و یا برای کلاسهای مختلف رطوبتی و یا برای کلاسهای مختلف بافت خاک تعیین و به صورت معادلات مجزا ارائه نمود. از این دستگاه در نقاط مختلف دنیا استفاده فراوانی شده است. به عنوان مثال دستگاه EM38 در سال ۲۰۰۰ در خاکهای رسی سنگین و شور نواحی مرکزی دلتای نیل در مصر استفاده گردید و در شرایط مختلف مزرعه ای مورد آزمایش قرار گرفت. همزمان با انجام قرائتهای این دستگاه، نمونه برداری از ۲۵ نقطه مختلف در هر مزرعه و در ۱۰ عمق مختلف از خاک (۵-۰، ۱۰-۵، ۲۰-۱۰، ۳۰-۲۰، ۴۰-۳۰، ۵۵-۴۰، ۷۵-۵۵، ۱۰۰-۷۵، ۱۴۰-۱۰۰، ۲۰۰-۱۴۰ سانتیمتری) نیز انجام و با انتقال آنها به آزمایشگاه میزان شوری عصاره اشباع آنها تعیین شد. همچنین میزان رطوبت خاک اعماق مختلف در زمان قرائتها نیز تعیین گردید. در تحقیق مذکور دو روش برای واسنجی به کار برده شده است. در روش اول رابطه بین شوری متوسط وزنی خاک با قرائتهای عمودی ($EC_e=f(EM_h)$) و افقی ($EC_e=f(EM_v)$) با روش رگرسیون ساده تعیین گردید. در روش دوم همین روابط در کلاسهای مختلف رطوبت وزنی خاک (۳۲-۲۵، ۳۸-۳۲، ۴۵-۳۲، ۵۲-۴۵ درصد) تعیین شده است. نتایج این تحقیق نشان داد که ضرایب همبستگی روابط رگرسیونی مختلف (R^2) از ۰/۵۳ تا ۰/۸۵ متغیر بوده که بیشترین همبستگیها مربوط به کلاس رطوبتی ۳۲-۳۸ درصد بوده است (عبدالغنی و همکاران، ۲۰۰۰). در کشور هند نیز تجربیات مشابهی صورت گرفته و عنوان شده است که با انجام واسنجی دقیق و بکارگیری معادلات مناسب، دستگاه EM38 می تواند ابزار مناسبی برای انجام سریع پیمایشهای شناسائی در سطح کشور هند باشد. بر اساس اعتقاد

الکترومغناطیسی^۱ یا EM (مک نیل، ۱۹۸۰ الف و ۱۹۸۰ ب) برای اندازه گیری شوری خاک در شرایط مزرعه مورد استفاده قرار گرفته اند. در این میان تکنیک القای الکترومغناطیسی به خاطر اینکه برای انجام اندازه گیری نیازی به گرفتن نمونه خاک ندارد، از سهولت و راحتی بیشتری برخوردار است. ابزارهای القاءگر الکترومغناطیس که هدایت الکتریکی ظاهری^۲ یک توده از خاک (EC_a) را اندازه گیری می کنند، در تعیین الگوی تغییرات مکانی درون مزرعه ای برخی خصوصیات فیزیکی-شیمیایی خاک نظیر شوری، درصد رس، درصد رطوبت و عمق خاک لایه سطحی آن هم به صورت همزمان با لحظه پیمایش^۳ ثمر هستند (لش و همکاران، ۲۰۰۵؛ تریانتفیلیس و لش، ۲۰۰۵؛ نای و همکاران، ۲۰۰۲؛ یانگ، ۱۹۹۵). علاوه بر اینها دلایل متعدد دیگری نظیر قابلیت حمل آسان، سهولت کار با آن، کاهش صرف وقت و همچنین تقلیل هزینه های نمونه برداری صحرائی نیز وجود دارد که آنرا نسبت به سایر روشهای متداول در این زمینه متمایز می نماید. دستگاه EM همچنین برای تعیین آلوده کننده های خاک و آبهای زیرزمینی کم عمق و حتی عملکرد محصول مورد استفاده قرار گرفته است (تریانتفیلیس و همکاران، ۲۰۰۰؛ کوروین و لش، ۲۰۰۳؛ اندرسون و همکاران، ۲۰۰۲). متداول ترین نوع این دستگاه که در کشاورزی مورد استفاده قرار می گیرد مدل EM38 است که توسط شرکت ژئونیکس^۴ کانادا ساخته شده است. مطالعات فراوانی بر روی استفاده از EM38 برای ارزیابی و تعیین شوری خاک صورت گرفته (باربیرو و همکاران، ۲۰۰۱؛ سونگ و همکاران، ۲۰۰۲؛ لی و همکاران، ۲۰۰۶) و نتایج همه آنها نیز به صورت بسط و توسعه معادلاتی است که قرائتهای دستگاه را به هدایت الکتریکی نسبتهای آب به خاک ($EC1:5$)، عصاره اشباع خاک (EC_e) و هدایت الکتریکی ظاهری (EC_a) در اعماق مختلف خاک مرتبط ساخته است. تاکنون روشهای متعددی برای واسنجی EM38 و ارائه ضرایب مربوطه پیشنهاد گردیده است که از آن جمله میتوان به ضرایب رگرسیون چند متغیره (رودز و کوروین، ۱۹۸۱)، ضرایب وزنی وابسته به عمق (وولنهایت و همکاران، ۱۹۸۶)، ضرایب برقرار شده مختص یک منطقه مشخص (کوروین و رودز، ۱۹۸۲ و ۱۹۸۴)، ضرایب حاصل از مدل سازیها (اسلایچ، ۱۹۹۰؛ اسلایچ و پترسون، ۱۹۹۰) و ضرایب ریاضی (کوک و واکر، ۱۹۹۲) اشاره نمود. یکی از

5- Inverted profile
6- Regular profile
7- Uniform profile

1 - Electromagnetic induction
2- Apparent electrical conductivity
3- Real time
4- Geonics

مواد و روشها

اساس کار دستگاه EM38

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^۲ نیز قرار داده است. دستگاه EM38 در درون خود دارای یک سیم‌پیچ فرستنده امواج 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^۳ 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^۴ می‌باشند. حجم و عمق اندازه‌گیریهای EM38 بستگی به ارتفاع قرارگیری آن نسبت به سطح زمین و همچنین وضعیت قرارگیری آن نسبت به سطح خاک (افقی یا عمودی) دارد. عمق موثر 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 موثر 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).

نویسندگان این مقاله دلیل فراگیر نشدن کاربرد این دستگاه در کشور هند قیمت دستگاه، محدودیت بکارگیری آن در بررسی خاکهای قلیائی و محدودیتهای کلی در سرویس دهی پس از فروش دستگاههایی که به کشور وارد شده می‌باشد. به نظر می‌رسد که با تأکید بر تهیه نقشه خاکهای مبتلا به نمک در هند، استفاده از این دستگاه مقرون به صرفه باشد (شرما و گوپتا، ۲۰۰۰). در استرالیا نیز تجربه استفاده از این دستگاه وجود داشته و در طی ۱۵-۱۰ سال گذشته مورد استفاده وسیعی قرار گرفته است. به نظر می‌رسد که عملیات واسنجی غالب آنها به روش دو مرحله ای انجام شده (هیت و همکاران، ۱۹۹۹) که شامل استفاده از پروب رودز^۱ برای تعیین پروفیل شوری ظاهری خاک (ECa) می‌باشد. منظور از واسنجی دو مرحله ای، استفاده از یک وسیله دیگر همراه با قرائتهای EM است که به طور همزمان کار اندازه‌گیری شوری ظاهری خاک را انجام می‌دهد و از طریق آن روابط رگرسیونی برقرار می‌گردد. در آفریقا نیز از این دستگاه برای پایش شوری استفاده گردیده است (جانستون، ۱۹۹۴). در این تحقیق مشخص گردید که قرائتهای انجام شده توسط سنسور EM38 به تصحیح در دمای ۲۵ درجه نیازمند می‌باشند. همچنین برای اینکار دمای ثبت شده در عمق ۴۵ سانتی متری از سطح خاک می‌تواند به عنوان دمای معرف پروفیل استفاده شود. همچنین عنوان گردید که دستگاه EM38 ابزار مناسبی برای تهیه نقشه شوری می‌باشد، اما نیازمند اتوماتیک کردن و کاربرد همزمان آن با دستگاه GPS می‌باشد. تجربیات متعدد دیگری از استفاده این دستگاه در پاکستان، کانادا، آمریکا و سایر کشورها موجود است که همگی بر نیاز به استفاده از این دستگاه در پایش شوری تأکید داشته و استفاده از آنرا در عرصه‌های مختلف همراه با در نظر گرفتن نکات فنی و واسنجی دقیق آن توصیه نموده اند (ولتمن، ۲۰۰۰). در ایران نیز یک نمونه از دستگاه هدایتگر الکترومغناطیس (EM38) در مرکز ملی تحقیقات شوری موجود بوده و توسط آن پیمایشهای محدودی از شوری خاک انجام شده است (چراغی و همکاران، ۲۰۰۷؛ رحیمیان و همکاران، ۲۰۰۷). هدف از تحقیق حاضر نیز واسنجی دستگاه الکترومغناطیس ۳۸ (EM38) برای ارزیابی شوری خاک و بررسی مزایا و محدودیتهای آن جهت پایش اراضی شور می‌باشد.

2-Remotely sensed instruments
3-Loop
4- Depth-weighted
5-Orientation

1- Rhoades probe

روش تحقیق

این تحقیق در دو باغ پسته منطقه چاه افضل در شمال شهرستان اردکان در استان یزد انجام شده است. عمده اراضی این منطقه به دلیل قرار گرفتن در انتهایی ترین نقطه دشت یزد-اردکان و مجاورت با کویر سیاه کوه (باتلاق چاه افضل)، شیب و زهکشی طبیعی اندک و همچنین وجود سخت لایه در اعماق کم، مشکلاتی نظیر ماندابی و شوری دارند که این عوامل تأثیرات زیادی بر ریشه دوانی و رشد درختان پسته داشته است. عمده این مشکلات سبب شده است که کشاورزان این منطقه علی‌رغم احداث برخی زهکشهای سطحی روباز نتوانند عملکرد قابل توجهی در پسته‌زارهای خود داشته باشند. تحقیق حاضر در دو قطعه مجاور هم با مساحت‌های ۴۰ و ۴۵ هکتار صورت پذیرفت. بافت خاک در هر دو قطعه لوم و با متوسط درصد رس ۲۰٪ می باشد. علت انتخاب این دو قطعه تفاوت در میزان رطوبت خاک در زمان نمونه برداری (ناشی از تقدم و تأخر آبیاریها) جهت بررسی تأثیر آن بر ارزیابی شوری خاک توسط دستگاه هدایتگر الکترومغناطیسی می باشد. میزان رطوبت وزنی خاک در زمان نمونه برداری دو قطعه (۱) و (۲) به ترتیب ۲۵ و ۳۰ درصد بوده است. روش آبیاری اعمال شده در هر دو قطعه یکسان و از نوع غرقابی و به صورت نواری می باشد. در هر نوار آبیاری که حدود ۲۰ متر عرض و ۱۰۰ متر طول دارد، سه ردیف درخت با فواصل ۴ × ۶ متر از همدیگر کاشت شده اند. شکل شماره ۱ نمایی از این دو قطعه همراه با نحوه مرزبندی‌ها، آرایش درختان پسته، روش آبیاری، نقاط نمونه گیری از خاک و نقاط قرائت دستگاه EM38 را نشان می دهد.

نقاط قرائت شده توسط دستگاه EM38 در هر قطعه به صورتی انتخاب گردید که در هر نوار آبیاری دو نقطه یکی در ابتدای نوار و دیگری در انتهای آن وجود داشته باشد. بدین ترتیب تعداد ۴۲ نقطه در قطعه (۱) و ۴۰ نقطه در قطعه (۲) انتخاب و قرائت‌ها انجام شد. هر یک از این نقاط حدود ۲۰ متر از نقطه مجاور و حدود ۸۰ متر از نقطه روبروی خود فاصله داشتند. تعداد قرائت‌ها در هر نقطه دو تکرار بود که دستگاه در یکی از آنها نسبت به تکرار دوم ۹۰ درجه اختلاف زاویه داشت. بدین ترتیب که در تکرار اول دستگاه هدایتگر الکترومغناطیس موازی ردیفهای درختان پسته و در تکرار دوم عمود بر آنها قرار می گرفت. وضعیت قرارگیری دستگاه نیز در هر دو تکرار در دو وضعیت عمودی و افقی بود. بنابراین در هر نقطه دو قرائت در وضعیت عمودی و دو قرائت در وضعیت افقی انجام شد. با میانگین‌گیری از تکرارهای هر وضعیت، قرائت‌های

عمودی (EMv) و افقی (EMh) دستگاه در هر نقطه مشخص گردید. در ۵۰٪ این نقاط (به صورت یک در میان) و همزمان با انجام قرائت‌های دستگاه هدایتگر الکترومغناطیس، نمونه برداری از خاک اعماق مختلف آن (۳۰-۰، ۶۰-۳۰ و ۹۰-۶۰ سانتیمتر) توسط اگر دستی نیز انجام شد. سپس اقدام به بکارگیری روابط مناسب جهت تبدیل قرائت‌های دستگاه به شوری خاک گردید. در این مرحله که به مرحله واسنجی نیز معروف است، روابط متعددی توسط محققان مختلف توصیه شده‌اند. معادلات رودز و همکاران (۱۹۹۹)، معادلات بنرجی و همکاران (۱۹۹۸)، معادلات رودز و همکاران (۱۹۸۹) که قرائت‌های EM38 توسط داده‌های SCT واسنجی شده و همچنین معادلات رودز و همکاران (۱۹۸۹) که قرائت‌های EM38 توسط داده‌های آرایه ونر واسنجی شده است از جمله این روابط هستند. این معادلات شوری عصاره اشباع (ECe) خاک اعماق مختلف را از طریق جایگذاری قرائت‌های عمودی و افقی دستگاه EM38 بدست می دهند. در برخی از آنها نیز نوع پروفیل خاک (معکوس، منظم و یکنواخت) مد نظر قرار گرفته و برای هر یک از آنها یک دسته معادلات مجزا ارائه شده است. در این تحقیق نیز از معادلات پیشنهادی توسط این محققان و همچنین روش رگرسیون خطی چند متغیره استفاده و نهایتاً مناسبترین روش جهت تعیین شوری خاک توسط قرائت‌های دستگاه انتخاب گردید. با مشخص شدن بهترین معادلات برای تعیین شوری عصاره اشباع خاک (ECe) در اعماق مختلف نمونه برداری و همچنین میزان دقت هر یک از این معادلات، با تعمیم آنها بر سایر نقاط فاقد نمونه برداری، امکان ترسیم نقشه شوری خاک در اعماق مختلف خاک برای هر دو قطعه فراهم شد. همچنین در این تحقیق به بررسی تغییرات شوری در عمق نیز پرداخته شد. همان طوری که عنوان گردید نقاط نمونه برداری طوری انتخاب شده بودند که نیمی از آنها در ابتدای نوار آبیاری و نیمی دیگر در انتهای نوار آبیاری قرار داشتند. لذا با تفکیک این نقاط از هم، دو مجموعه مجزا از اندازه گیریها بدست آمد که ضمن تهیه نقشه‌های پروفیل شوری در این دو مقطع، به بررسی تأثیر آبیاری و فرصت نفوذ بر تغییرات شوری در عمق‌های مختلف پرداخته شد.

نتایج

جدول شماره ۱ نتایج حاصله جهت تعیین بهترین روش برای واسنجی و محاسبه شوری خاک توسط قرائت‌های دستگاه EM38 در هر یک از قطعات انتخابی را نشان می دهد. همان طوری که ملاحظه می گردد، روش واسنجی مستقیم قرائت‌های دستگاه و توسعه روابط

لایه‌های اطلاعاتی با همدیگر نقشه شوری متوسط خاک در عمق ۹۰-۰ سانتیمتر تهیه شد. شکل شماره ۲ نشان دهنده این نقشه‌ها است. در این نقشه مناطق با شوری بیشتر با رنگ تیره‌تری نشان داده شده‌اند. به طور کلی مشاهده می‌شود که نقاط ابتدای نوار آبیاری که فرصت تماس بیشتری با آب داشته‌اند و در نتیجه آبشویی بیشتری در آن واقع شده است شوری کمتری از انتهای کرت دارند. این موضوع در قطعه شماره ۱ بوضوح قابل مشاهده است.

همچنین در شکل شماره ۳ تغییرات عمقی شوری خاک در ابتدا و انتهای نوارهای آبیاری در قطعه شماره (۲) مشاهده می‌گردد. همان طوری که در این شکل مشهود است، مقادیر شوری عصاره اشباع خاک در ابتدای نوارهای آبیاری (شکل ۳- الف) هم در سطح و هم در عمق کمتر از مقادیر متناظر همان نقطه در انتهای نوار (شکل ۳- ب) می‌باشد. علت این امر نیز به تفاوت در فرصت نفوذ آب در خاک در ابتدا و انتهای نوار برمی‌گردد، به طوری که بدلیل زمان بیشتر تماس آب با خاک در ابتدای نوارهای آبیاری، امکان شسته شدن نمکها و تقلیل شوری عصاره اشباع خاک بیشتر از انتهای نوارهای آبیاری میسر شده است.

مهمترین جنبه کاربردی نقشه‌های مذکور (شکل‌های ۲ و ۳) ارائه تصویر واضحی از توزیع شوری خاک در سطح و عمق است که به مدیریت مکانی^۱ نهاده‌های مختلف کشاورزی - و از همه مهمتر آب - در سطح باغات و یا مزارع کشاورزی کمک نموده و قدمی موثر در مسیر کشاورزی دقیق^۲ در کشور محسوب می‌گردد. تعیین میزان اثر بخشی اقدامات آبشویی در اراضی شور نیز با کمک چنین نقشه‌هایی امکانپذیر است. شناسایی منشاء ورود نمک نیز از دیگر کاربردهای نقشه‌های توزیع سطحی و عمقی شوری خاک خصوصاً در مناطقی که آب زیرزمینی شور است، سطح ایستابی بالاست و یا خاک در مجاورت سازند شور قرار گرفته می‌باشد. آنچه که از شکل‌های فوق استنباط می‌گردد توزیع غیریکنواخت شوری سطحی و عمقی خاک به دلیل عدم یکنواختی در پیشروی جبهه رطوبتی و همچنین نفوذ عمقی رطوبت است که عمدتاً ناشی از تسطیح نامناسب بستر نوارهای آبیاری می‌باشد. با توجه به امکان صدمه دیدن ریشه گیاه در برخی نقاط، توصیه می‌گردد که با تسطیح بستر امکان توزیع یکنواخت‌تر شوری در سطح و در عمق فراهم گردد. مشکل تجمع نمک در انتهای نوارهای آبیاری نیز می‌تواند

رگرسیون چند متغیره بهترین نتایج را در هر دو قطعه و در تمامی عمقها حاصل خواهد کرد.

نکته قابل توجه دیگر در مورد جدول ۱ این است که تقریباً در تمامی روشهای مورد استفاده، ضرایب همبستگی حاصله برای قطعه ۲ که دارای میانگین درصد رطوبت بالاتری نسبت به قطعه ۱ می‌باشد، بهبود یافته است. جداول شماره ۲ و ۳ بهترین روابط رگرسیونی بدست آمده در مرحله واسنجی دستگاه هدایتگر الکترومغناطیس جهت تخمین شوری خاک اعماق مختلف در دو قطعه (۱) و (۲) را نشان می‌دهند. همان طوری که در جدول شماره ۲ (مربوط به قطعه زمین با رطوبت وزنی ۲۵٪) مشاهده می‌شود، ضرایب همبستگی برای تخمین شوری در اعماق مختلف خاک متفاوت است. بیشترین همبستگی‌ها به معادله تخمین شوری در اعماق ۶۰-۳۰ و ۶۰-۰ سانتیمتر مربوط است ($r^2_{adj}=0/68$). اعماق ۳۰-۰ و ۹۰-۰ سانتیمتر نیز همبستگیهای قابل قبول دارند. این در حالی است که رابطه بدست آمده برای عمق سوم (۹۰-۶۰ سانتیمتر) چندان رضایت‌بخش نمی‌باشد.

در جدول شماره ۳ نیز ضرایب همبستگی بین قرائتهای دستگاه هدایتگر الکترومغناطیس و شوری عصاره اشباع خاک در قطعه شماره (۲) با متوسط رطوبت وزنی ۳۵٪ مشاهده می‌گردد. ضرایب همبستگی در این قطعه تقریباً در تمامی اعماق مناسب است. به طوری که بیشترین همبستگیها در عمق ۶۰-۰ سانتیمتر مشاهده می‌گردد ($r^2_{adj}=0/85$). مقایسه نتایج پایش شوری در دو قطعه با رطوبتهای مختلف خاک نشان می‌دهد که همبستگی بین قرائتهای دستگاه هدایتگر الکترومغناطیس در خاک با رطوبت وزنی ۳۵٪ بیشتر از خاکی با رطوبت وزنی ۲۰٪ است. از آنجایی که هدایت ظاهری امواج الکترومغناطیس از کل توده خاک انجام می‌شود ولی ضرایب هدایت این امواج در محیطهای مختلف متفاوت است، و از طرف دیگر ضریب هدایت این امواج در پوسته پیوسته‌ای از آب به شدت افزایش می‌یابد (رودز و همکاران، ۱۹۹۹)، لذا با افزایش رطوبت خاک دقت اندازه‌گیری‌های این ابزار نیز افزایش خواهد یافت.

با مشخص شدن روابط رگرسیونی معنی‌دار بین قرائتهای EM38 و شوری عصاره اشباع خاک در اعماق مختلف خاک، امکان تخمین شوری در نقاط فاقد نمونه برداری نیز فراهم شد. لذا با استفاده از این معادلات، شوری عصاره اشباع اعماق مختلف خاک در تمامی نقاط پیش‌بینی شد و سپس به کمک روش زمین آماری کریجینگ، نقشه شوری خاک اعماق مختلف به صورت لایه‌های اطلاعاتی مجزا ترسیم گردید. نهایتاً با تلفیق این

1- Site specific management
2- Precision agriculture

با اقداماتی نظیر احداث زهکشهای سطحی و زیرزمینی در این نواحی مرتفع گردد.

بحث

انجام واسنجی دقیق هر یک از ابزارهای سنسجش شوری از جمله ضروریات استفاده از آنها است. دستگاه EM38 نیز از این مورد مستثنی نیست. لازم به ذکر است که اصطلاح واسنجی برای این دستگاه به دو مرحله مختلف اطلاق می‌گردد. اولین مرحله از واسنجی به تست مشخصات فنی و عملگرهای آن در هنگام استفاده مربوط می‌شود. بازرسی باطری، نول نمودن دستگاه در آغاز و پایان هر روز از روزهای قرائت دستگاه و همچنین صفر نمودن آن در طول قرائتهای روزانه به دفعات مختلف، تنظیم پیچهای ماکرو و میکرو، عدم حضور اشیاء فلزی در نزدیکی دستگاه در هنگام استفاده و بررسی تجهیزات آن در شروع اندازه گیریها از جمله اقداماتی است که به واسنجی اولیه آن مرتبط است. واسنجی دوم به توسعه روابط مناسب جهت تخمین شوری خاک توسط قرائتهای دستگاه مربوط می‌شود. در این مرحله، روشهای متعددی توسط محققان مختلف توصیه شده‌اند (رودز و همکاران (۱۹۹۹)، بنرجی و همکاران (۱۹۹۸)، رودز و همکاران (۱۹۸۹)) که هر یک تحت شرایط خاصی قابل استفاده می‌باشند. اما همان طوری که در این تحقیق نیز مشاهده شد، بهترین روش واسنجی توسعه روابط رگرسیونی جدید تحت شرایط محلی و مجزا برای هر یک از واحدهای کاری در هر منطقه است. لذا پیشنهاد می‌گردد که همین روش برای سایر مناطق اجرا و روابط رگرسیونی مناسب برای آن

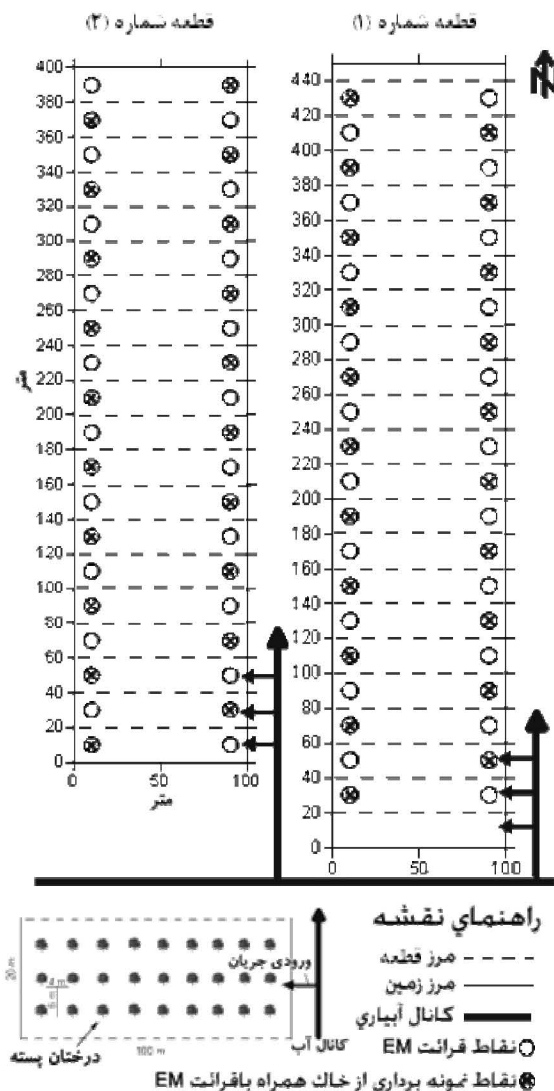
منطقه بدست آید و مورد استفاده قرار گیرد. یکی از اقداماتی که می‌توان جهت افزایش ضریب همبستگی بین قرائتهای این دستگاه با شوری خاک انجام داد، طبقه بندی منطقه مورد نظر به کلاسه‌های مختلف رطوبتی است (ولتمن، ۲۰۰۰). همان طوری که در این تحقیق نیز ملاحظه گردید، روابط رگرسیونی بدست آمده برای قطعه شماره ۲ با درصد رطوبت وزنی ۳۵٪ مناسب‌تر از روابط مربوط به قطعه ۱ با درصد رطوبت وزنی ۲۵٪ بود. همچنین طبقه‌بندی اراضی به کلاسه‌های مختلف بافت خاک و درصدهای مختلف رس نیز می‌تواند در بسط و توسعه روابط رگرسیونی مناسب موثر باشد (رودز و همکاران، ۱۹۹۹). در عرصه‌های وسیع غیرکشت (بایر) نیز امکان استفاده از این دستگاه برای پایش شوری وجود دارد. توصیه می‌شود که در این شرایط از برخی ابزارهای دیگر سنسجش نظیر تصاویر ماهواره‌ای نیز بهره‌گیری و با استفاده تلفیقی از آنها، اقدام به پایش و ارزیابی شوری در سطوح وسیع گردد. اقدامات صورت گرفته توسط لوبل (۲۰۰۴) و کوروین و همکاران (۲۰۰۹) از این جمله‌اند. در صورت وسیع بودن عرصه مورد نظر تعداد نمونه‌برداری‌ها و آنالیزهای آزمایشگاهی لازم جهت انجام واسنجی دستگاه تا ۱۰٪ کل نقاط یک شبکه نمونه‌برداری نیز قابل کاهش است. استفاده از قابلیت‌های سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، سامانه موقعیت یاب جهانی (GPS) و همچنین نرم‌افزارهای تحلیل مکانی که ویژه این دستگاه نیز طراحی گردیده و موجود است از دیگر اقدامات موثر در این زمینه خواهد بود.

جدول ۱- مقایسه ضرایب همبستگی بین مقادیر اندازه گیری شده شوری عصاره اشباع خاک (ECe) و مقادیر محاسبه شده از طریق قرائتهای دستگاه EM38 با روشهای مختلف واسنجی در دو قطعه زمین (۱) و (۲) با مقادیر رطوبت وزنی ۲۵٪ و ۳۵٪

ضرایب همبستگی (r ²)				روش واسنجی		
عمق ۶۰-۹۰ سانتیمتر		عمق ۳۰-۶۰ سانتیمتر		عمق ۰-۳۰ سانتیمتر		
قطعه (۱)	قطعه (۲)	قطعه (۱)	قطعه (۲)	قطعه (۱)	قطعه (۲)	
۰/۳۶*	۰/۶۳**	۰/۵۴*	۰/۵۵*	۰/۴۱*	۰/۷۸**	معادلات رودز و همکاران (۱۹۹۹)
۰/۲۶	۰/۶۷**	۰/۶۶**	۰/۷۰**	۰/۶۱**	۰/۷۵**	معادلات بنرجی و همکاران (۱۹۹۸)
۰/۰۹	۰/۰۵	۰/۰۴	۰/۰۶	۰/۵۲*	۰/۷۵**	معادلات رودز و همکاران (۱۹۸۹) با واسنجی EM38 توسط داده‌های SCT
-	-	۰/۵۸**	۰/۷۶**	۰/۵۷**	۰/۷۰**	معادلات رودز و همکاران (۱۹۸۹) با واسنجی EM38 توسط داده‌های آرایه ونر
۰/۳۵*	۰/۶۸**	۰/۶۸**	۰/۷۱**	۰/۶۱**	۰/۸۴**	واسنجی مستقیم از طریق توسعه روابط رگرسیون چند متغیره خطی بین ECe و EMv و EMh

* معنی دار بودن همبستگیها در سطح اطمینان ۹۵ درصد

** معنی دار بودن همبستگیها در سطح اطمینان ۹۸ درصد



شکل ۱- روش آبیاری، وضعیت قرار گیری درختان پسته و محل‌های نمونه برداری در دو قطعه (۱) و (۲) با مساحت‌های ۴۵ و ۴۰ هکتار در منطقه چاه افضل در استان یزد

جدول ۲- معادلات تخمین شوری عصاره اشباع خاک (EC_e) با استفاده از قرائت‌های افقی (EM_h) و عمودی (EM_v) دستگاه هدایتگر الکترومغناطیس در قطعه شماره (۱) با متوسط رطوبت وزنی ۲۵٪

ضریب همبستگی اصلاح شده r^2_{adj}	معادله	عمق (سانتیمتر)
۰/۶۱**	$EC_e = 0.213 EM_h - 0.035 EM_v - 27.113$	۰-۳۰
۰/۶۸**	$EC_e = 0.157 EM_h + 0.005 EM_v - 24.649$	۳۰-۶۰
۰/۳۵*	$EC_e = 0.05 EM_h + 0.055 EM_v - 10.076$	۶۰-۹۰
۰/۶۸**	$EC_e = 0.185 EM_h - 0.015 EM_v - 25.881$	۰-۶۰
۰/۶۴**	$EC_e = 0.14 EM_h + 0.008 EM_v - 20.613$	۰-۹۰

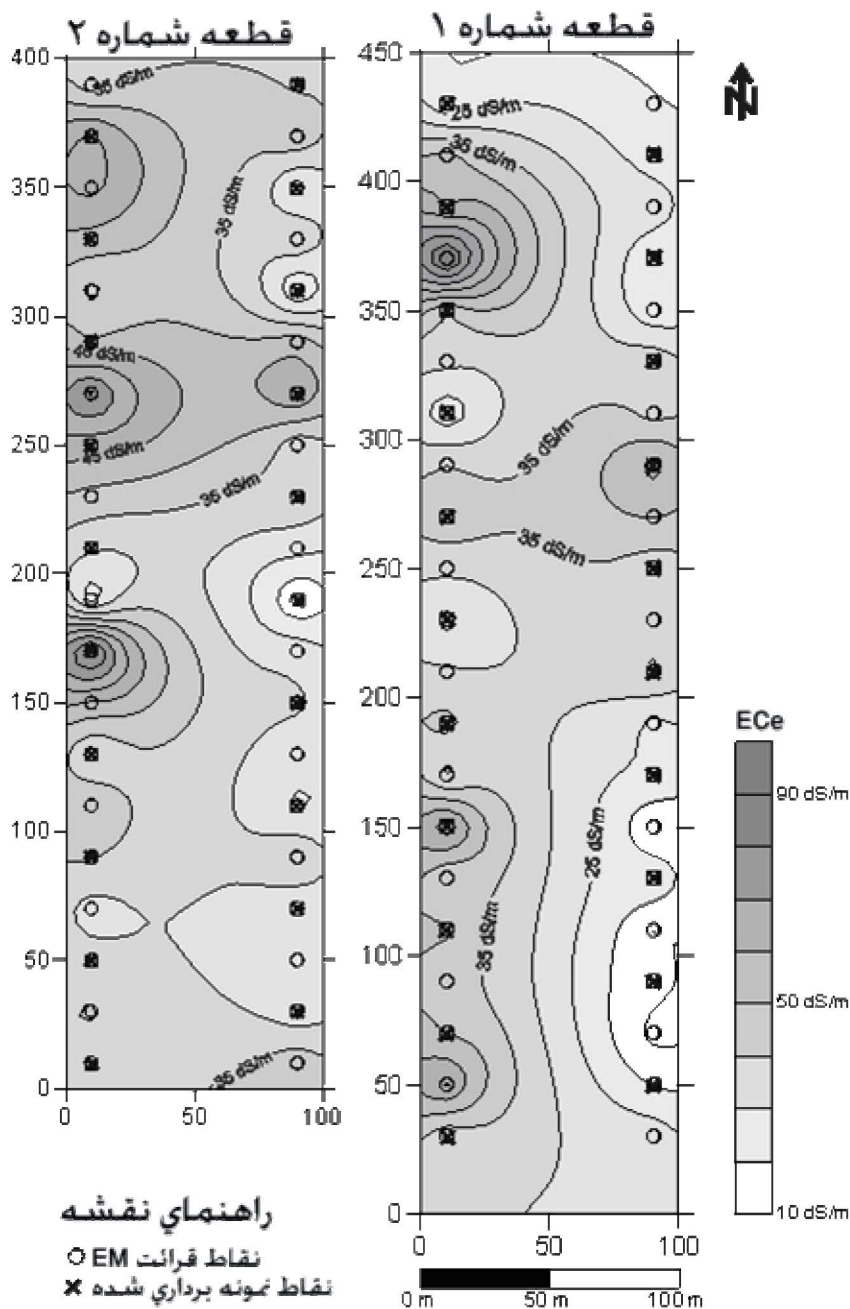
* معنی دار بودن همبستگیها در سطح اطمینان ۹۵ درصد

** معنی دار بودن همبستگیها در سطح اطمینان ۹۸ درصد

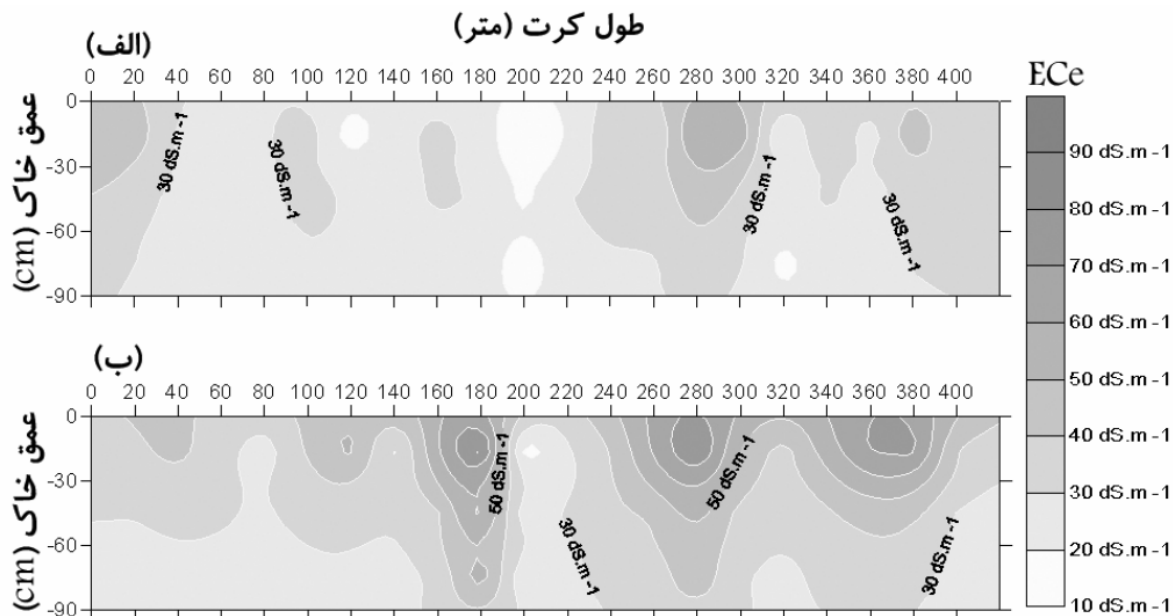
جدول ۳- معادلات تخمین شوری عصاره اشباع خاک با استفاده از قرائتهای افقی (EMh) و عمودی (EMv) دستگاه هدایتگر الکترومغناطیس در قطعه شماره (۲) با متوسط رطوبت وزنی ۳۵٪

ضریب همبستگی اصلاح شده R^2_{adj}	معادله	عمق (سانتیمتر)
۰/۸۲**	$EC_e = 0.252 EM_h - 0.161 EM_v - 7.609$	۰-۳۰
۰/۷۰**	$EC_e = 0.103 EM_h - 0.013 EM_v - 6.186$	۳۰-۶۰
۰/۶۸**	$EC_e = 0.089 EM_v - 9.975$	۶۰-۹۰
۰/۸۵**	$EC_e = 0.177 EM_h - 0.087 EM_v - 6.898$	۰-۶۰
۰/۸۳**	$EC_e = 0.148 EM_h - 0.055 EM_v - 7.923$	۰-۹۰

** معنی دار بودن همبستگیها در سطح اطمینان ۹۸ درصد



شکل ۲- نقشه شوری متوسط خاک در عمق ۰-۹۰ سانتیمتر در دو قطعه پسته زار در منطقه چاه افضل استان یزد که توسط تلفیق عملیات نمونه برداری زمینی و پایش توسط دستگاه هدایتگر الکترومغناطیس (EM38) تهیه شده است.



شکل ۳- تغییرات عمقی شوری خاک در (الف) ابتدا و (ب) انتهای نوارهای آبیاری پسته در منطقه چاه افضل استان یزد

فهرست منابع:

1. Abdel Ghany, M.B, Hussein A.M., Omara M.A., EI-Nagar H.M, 2000, Testing Electromagnetic Induction Device (EM 38) under Egyptian Conditions, EM38 Workshop, New Delhi, India.
2. Alavi Panah S.K., and Zehtabian G.R., 2001, Remote sensing and GIS Tools for Planning and Management, International Conference of New Technology for a New Century, Seoul, Korea.
3. Alavi panah S.K., and zehtabian G.R., 2002, A Database Approach for Soil Salinity Mapping and Generalization from Remotely Sensed Data and Geographic Information System, FIG XXII International Congress, Washington, D.C. USA.
4. Cheraghi S.A.M., Y. Hasheminejhad and M.H. Rahimian. 2007a, 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.
5. Corwin D.L., Lobell D.B, Lesch S.M., Ulmer M., Anderson K., Potts D., Doolittle J., Matos M., and Baltes M., 2009, Salinity Assessment of the Red River Valley Using MODIS and Electromagnetic Induction Directed Soil Sampling: Phase I.
6. Eldeiry A., and L. Garcia, 2008, Spatial modeling of soil salinity using remote sensing, GIS and field data, VDM, Lightning Source UK Ltd., Milton Keynes UK, pp. 98.
7. Heath, J., Challis, P., Norman, C., 1999, Manual for Calibration of EM38. Agriculture Victoria- Natural Resources & Environment. Institute of Sustainable Irrigated Agriculture. 1-9.
8. 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.

9. Lobell D. B., 2004, Mapping Regional Salinity with Remote Sensing, 2004 EPA graduate fellowship conference, Stanford University, Stanford, CA.
10. Mcneill, J.D. 1980a, Electrical conductivity of soil and rocks. Technical note TN-5 Geonics Ltd. Mississauga, Ontario, Canada, p.21
11. Metternich, G.I. and Zinck, J.A. 2002, Remote Sensing of soil salinity: potentials and constraints. Remote sensing of Environment 85,1-20.
12. Mcneill, J.D. 1980b, Electromagnetic terrain conductivity measurements at low induction numbers. Technical note TN-5 Geonics Ltd. Mississauga, Ontario, Canada, p.15
13. Rahimian, M. H., Y. Hasheminejad, and S. A. M. Cheraghi, 2007, Use of EM38 for salinity assessment in irrigated fields (unpublished data).
14. Rhoades, J.D. 1976, Measuring, mapping and monitoring field salinity and water depths with soil resistance measurements. FAO Soils Bulletin, 31: 69-1 09.
15. Rhoades, J.D., F. Chanduvi and S.M. Lesch, 1999, Soil Salinity Assessment Methods and Interpretation of Electrical Conductivity Measurements, FAO Irrigation and Drainage Paper, No. 57, Rome, Italy. 152 pp.
16. Rhoades, J.D. and Ingvalson, R.D. 1971, Determining Salinity in Field Soils with Soil Resistance Measurements. Soil Science Society of America Proceedings, 35: 54-60
17. Sharma D.P. and Gupta S.K., 2000, Application of EM38 for Soil Salinity Appraisal: an Indian Experience, EM38 Workshop, New Delhi, India.
18. Vlotman W. F., 2000, Calibrating of EM38, EM38 Workshop, New Delhi, India.