

پهنه‌بندی شوری اراضی منطقه شمال دشت یزد- اردکان با استفاده از داده‌های دستگاه

## القای الکترومغناطیسی و مدل‌سازی با نرم افزار ESAP

علی محمد قائمی نیا، محمد علی حکیم‌زاده اردکانی<sup>1</sup>، روح الله تقی‌زاده مهرجردی و فرهاد دهقانی

دانشجوی دکتری بیابان‌زدایی، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد؛ a.ghaemini@yahoo.com

دانشیار دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد؛ hakim@yazd.ac.ir

استادیار دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اردکان؛ rtaghizadeh@ardakan.ac.ir

استادیار پژوهش مرکز ملی تحقیقات شوری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، یزد، ایران؛ dehghany47@gmail.com

دریافت: 97/8/1 و پذیرش: 97/12/18

### چکیده

افزایش خشکی در سال‌های اخیر منجر به کاهش سرعت آستانه باد برای برداشت ذرات گرد و غبار از سطح خاک مناطق خشک شده است. انباشت نمک‌ها در سطح خاک به دلیل کمی بارش و تبخیر زیاد، سبب متلاشی شدن خاکدانه‌ها می‌شود. ذرات نمک به همراه ذرات خاک توسط باد برداشته شده و پس از طی مسافتی فرو می‌نشینند. اگر منطقه هدف اراضی کشاورزی باشد گرد و غبار حاوی نمک منجر به انتقال نمک به اراضی مزبور شده و باعث کاهش محصول می‌شود. در این پژوهش، به منظور تهیه نقشه شوری خاک سطحی (0-30 سانتی‌متر) در محدوده اراضی شمال دشت یزد- اردکان از دستگاه القای الکترومغناطیس EM38 در حالت افقی استفاده شد. همچنین برای تعیین تعداد و محل‌های نمونه‌برداری خاک به منظور تعیین مدل رگرسیونی و تهیه نقشه الگوی شوری منطقه، بسته نرم‌افزاری ESAP-2.35R به کار گرفته شد. با انتقال داده‌های EM38 به برنامه ESAP-RSSD این نرم‌افزار، تعداد استاندارد و محل نمونه‌برداری خاک برای 12 نقطه مشخص گردید. پس از آن با استفاده از برنامه ESAP-Calibrate به منظور تعیین شوری خاک محدوده مورد بررسی با بهره‌گیری از داده‌های آزمایشگاهی هدایت الکتریکی عصاره اشباع (ECe)، درصد اشباع (SP) و درصد رطوبت وزنی (WC)، مدل رگرسیونی خطی چندگانه (MLR) ایجاد گردید. نتایج نشان داد مدل رگرسیونی پیشنهادی نرم‌افزار با ضریب تبیین 0/37 و میانگین ریشه مربعات خطا 80/55، شوری خاک سطحی از قرائت‌های دستگاه EM38 را مدل‌سازی کرده است. نتایج استفاده از برنامه ESAP-SaltMapper سطحی نشان داد که مناطق واقع در جنوب شرق منطقه مورد مطالعه دارای شوری بیشتری بوده و امکان برداشت نمک توسط باد در آنجا بیشتر است. نتایج همچنین نشان داد لازم است استفاده از دستگاه EM38 در اراضی همگن و دارای رطوبت استاندارد در حد ظرفیت مزرعه انجام شود و می‌توان از طریق نرم‌افزار ESAP نقشه شوری اراضی را تهیه نمود.

واژه‌های کلیدی: گرد و غبار شور، بیابان‌زایی، مناطق خشک، فرسایش بادی، القای الکتریکی

<sup>1</sup> نویسنده مسئول، آدرس: دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد، یزد، ایران

## مقدمه

خطی چندگانه (MRL)<sup>5</sup> در بسته نرم‌افزاری ESAP به دست آوردند. نتایج نشان داد این مدل در الپاسو شوری و سدیمی بودن را به ترتیب با ضریب تعیین  $(R^2)$  0/87 و 0/86 و در هادسپت به ترتیب با 0/88 و 0/80 برآورد کرده است.

برادران مطیع و همکاران (1390) به منظور کالیبره نمودن و تهیه نقشه هدایت الکتریکی خاک مزرعه با استفاده از سامانه چهار الکتروود طراحی شده توسط خود به روش ونر، از بسته نرم‌افزاری ESAP استفاده کردند. آنها با به دست آوردن ضریب همبستگی 0/61 برای پیش-بینی هدایت الکتریکی آزمایشگاهی و با برشمردن عوامل ایجاد خطا به این نتیجه دست یافتند که می‌توان سامانه طراحی شده را برای تهیه نقشه‌های هدایت الکتریکی به منظور اجرای برنامه کشاورزی دقیق پیشنهاد نمود.

رحیمیان و همکاران (1393) به منظور تهیه نقشه کسر آبشویی در باغ‌های پسته شمال اردکان اقدام به استفاده تلفیقی از دستگاه EM38 برای تهیه نقشه شوری خاک در منطقه توسعه ریشه و دستگاه تعیین‌گر جبهه رطوبتی (WFD) برای جمع‌آوری زه‌آب خروجی از ناحیه ریشه کردند. نتایج نشان داد بین شوری خاک به دست آمده از این طریق و کسر آبشویی ارتباط آماری معنی‌داری وجود داشته ( $R^2=0/67$  و  $RMSE=0/054$ ) و می‌توان نقشه کسر آبشویی را با دقت قابل قبولی تهیه کرد.

کوگانتی و همکاران<sup>6</sup> (2017) برای پهنه‌بندی ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) خاک مزرعه‌ای در شهر باداجوز در جنوب غرب اسپانیا با اندازه‌گیری هدایت الکتریکی ظاهری خاک (ECa) توسط دستگاه Veris 3100 و تبدیل داده‌های آن با نرم‌افزار invVERIS، به ایجاد یک رابطه رگرسیون خطی بین هدایت الکتریکی حقیقی محاسبه شده و ظرفیت تبادل کاتیونی اندازه‌گیری شده در عمق‌های مختلف پرداختند. نتایج نشان داد رابطه همبستگی خطی به دست آمده ضریب تعیین زیادی ( $R^2=0/89$ ) را دارا است.

آمزکتا<sup>7</sup> (2007) در پژوهش خود قابلیت به کارگیری روش یکپارچه دربرگیرنده قرائت دستگاه EM38 و بسته نرم‌افزاری ESAP برای ارزیابی، پیش‌بینی و تهیه نقشه شوری خاک در مقیاس مزرعه را نشان داد. وی شوری 1/74 هکتار از مزرعه آبیاری سطحی شده در شمال اسپانیا را با قرائت دستگاه EM38 در 180 نقطه و نمونه‌برداری از 20 نقطه انجام داد. شوری عامل غالب

برداشت گرد و غبار حاوی نمک از اراضی شور و سست توسط باد و فرونشست آنها پس از انتقال به اراضی غیرشور، موجب ورود املاح به خاک و افزایش شوری می‌شود. افزایش شوری در درجات مختلف به ویژه در اراضی کشاورزی، کاهش محصول تا بیابانی شدن کامل را به دنبال دارد. طبق تحقیقات انجام شده میزان عناصر قابل حل در گرد و غبار برداشت شده از اراضی شور می‌تواند 10 تا 25 درصد باشد (اردینگر و همکاران<sup>1</sup>، 2004؛ عبدویلی و همکاران<sup>2</sup>، 2008). با زیاد شدن شوری خاک، فرسایش‌پذیری آن به باد افزایش یافته (عظیم‌زاده و همکاران، 1381) و از این رو شناسایی مناطق شور و دارای پتانسیل برداشت گرد و غبار حاوی املاح در مناطق حساس به بادبردگی حائز اهمیت است.

تهیه نقشه شوری خاک می‌تواند به منظور ارائه برنامه مدیریتی ویژه برای اصلاح و بهسازی خاک‌ها مورد استفاده قرار گیرد (فانعی مطلق و همکاران، 1387). این در حالی است که نمونه‌برداری مستقیم همراه با اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی یا صحرایی معمولاً پرهزینه و وقت‌گیر بوده و برای اهداف کاربردی دارای محدودیت می‌باشد (نقی‌زاده مهرجردی و همکاران، 1391).

روش اندازه‌گیری هدایت الکتریکی ظاهری خاک (ECa) برای تعیین برخی خصوصیات خاک مانند میزان نمک (شوری)، میزان رطوبت، عمق خاک سطحی و میزان رس توسط برخی محققین مورد استفاده قرار گرفته است (سادوث و همکاران<sup>3</sup>، 2017؛ سادوث و همکاران، 2001). مهم‌ترین مزیت استفاده از این روش در تعیین ویژگی‌های مذکور، سرعت پیمایش منطقه توسط دستگاه-های مربوط (مانند EM38) است که از نظر زمان و هزینه صرفه‌جویی زیادی را به دنبال دارد (رحیمیان و همکاران، 1393؛ مشکوه و همکاران، 1392).

گانجگانت و همکاران<sup>4</sup> (2012) به منظور توسعه اقدامات مدیریتی، اقدام به ارزیابی دقت روش القای الکترومغناطیس با اندازه‌گیری هدایت الکتریکی ظاهری خاک (ECa) از طریق دستگاه EM38 برای ترسیم پراکنش ECe و SAR در خاک‌های آبیاری شده برای پرورش کتان در الپاسو و هادسپت در غرب دور تگزاس در امریکا کردند. آنها معادلات کالیبراسیون برای تبدیل ECa به ECe و SAR را با استفاده از مدل رگرسیون

<sup>1</sup> Erdinger et al.

<sup>2</sup> Abuduwaill et al.

<sup>3</sup> Sudduth et al.

<sup>4</sup> Ganjegunte et al.

<sup>5</sup> Multiple Linear Regression

<sup>6</sup> Koganti et al.

<sup>7</sup> Amezketta

دستگاه EM38 فاصله ثابت یک متر را بین سیم‌پیچ فرستنده واقع شده در یک طرف و سیم‌پیچ گیرنده در انتهای دیگر دستگاه دارد و در فرکانس 14/6 kHz کار می‌کند (سادوت و همکاران<sup>6</sup>، 2001).

دستگاه EM38 در دو حالت عمودی و افقی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در حالت عمودی بیشترین حساسیت را در عمق تقریبی 0/4 متر (دامنه عمق مؤثر حدود 1/5 متر) و در حالت افقی، بیشترین حساسیت را در سطح زمین (دامنه عمق مؤثر حدود 0/75 متر) دارد (اولری<sup>7</sup>، 2006) (شکل 2). از این رو، حالت افقی برای بررسی‌های خاک سطحی مفیدتر است. در این بررسی، فاصله اندازه‌گیری‌ها با یکدیگر در هر ردیف تقریباً 8 متر (برگرفته از کوروین و لسچ<sup>8</sup>، 2005) و فاصله ردیف‌ها با یکدیگر 70 متر (برگرفته از زار و همکاران<sup>9</sup>، 2015) در نظر گرفته شد. در مجموع 380 اندازه‌گیری ECa در سراسر منطقه مورد مطالعه با استفاده از دستگاه EM38 متعلق به مرکز ملی تحقیقات شوری انجام شد. با توجه به هدف بررسی شوری سطحی خاک در این پژوهش، قرائت‌های دستگاه EM38 تنها به حالت افقی (EMh) با واحد میلی‌زیمنس بر متر (mS/m) به طور دستی در صحرا در فرم تهیه شده طبق دستورالعمل دستگاه (رحیمیان و همکاران، 1393) درج گردید و برای ثبت طول و عرض جغرافیایی نقاط به منظور زمین مرجع نمودن همزمان، از دستگاه GPS (Garmin 76CSx) استفاده شد (شکل 3).

#### معرفی نرم‌افزار ESAP

در این پژوهش از بسته نرم‌افزاری ESAP (نمونه‌برداری هدایت الکتریکی، ارزیابی و پیش‌بینی)<sup>10</sup> نسخه 2.35R سال 2006 میلادی توسعه یافته توسط آزمایشگاه شوری ایالات متحده آمریکا استفاده شد. این نرم‌افزار برای تعیین مدل رگرسیونی و تهیه نقشه الگوی شوری پیش‌بینی شده برای یک زمین پیمایش<sup>11</sup> شده توسط دستگاه اندازه‌گیری هدایت الکتریکی مانند EM38 توسعه یافته است.

تأثیرگذار بر قرائت‌های EM38 بود و مدل کالیبراسیون رگرسیون خطی چندگانه (MLR) هدایت الکتریکی عصاره اشباع (ECe) را با ضریب تعیین  $(R^2)$  0/38 تا 0/90 برای پروفیل خاک در اعماق مختلف از داده‌های EM38 پیش‌بینی کرد.

در این پژوهش، به منظور تهیه ارزان و سریع نقشه شوری خاک سطحی (0-30 سانتی‌متر) در محدوده اراضی حساس به بادبردگی شمال دشت یزد-اردکان از دستگاه القای الکترومغناطیس EM38 در نرم افزار مدل‌سازی ESAP استفاده شده است.

#### مواد و روش‌ها

##### منطقه مورد مطالعه

این پژوهش در تابستان سال 1397 در منطقه‌ای نزدیک روستای چاه‌افضل در 30 کیلومتری شمال شهرستان اردکان در استان یزد انجام شد (شکل 1). رژیم حرارتی و رطوبتی خاک منطقه به ترتیب هایپرترمیک<sup>1</sup> و اریدیک (توریک)<sup>2</sup> است و خاک‌های منطقه از لحاظ رده-بندی آمریکایی در رده انتی‌سول‌ها<sup>3</sup> و زیر رده اورتننت<sup>4</sup> قرار دارد (مهدوی اردکانی، 1389). شوری خاک لایه‌های سطحی (0-30 سانتی‌متر) در بخش زیادی از منطقه بیشتر از مقادیر شوری در اعماق خاک (30-60 و 60-100 سانتی‌متر) است و این موضوع ارتباط مستقیم با نوع کاربری اراضی، آبیاری نشدن بیشتر مناطق و آبخوبی جزئی اراضی دارد (مشکوه و همکاران، 1392).

با بازدید صحرایی از محدوده‌ای به وسعت 20000 هکتار از اراضی شمال دشت یزد-اردکان مشخص شد که اراضی واقع در مرکز محدوده که همپوشانی با واحد ژئومورفولوژی دشت‌سر، تیپ دشت‌سر پوشیده داشت، به طور همگن دربردارنده رخساره‌های واضح فرسایش بادی ریپل‌مارک و شوره‌زار بود و قابلیت برداشت گرد و غبار توسط باد در آنجا مشهود بود (شکل 1). از این رو، به منظور انجام پیمایش با دستگاه EM38، منطقه‌ای به وسعت 21 هکتار از آن محدوده انتخاب گردید (شکل 3).

##### معرفی دستگاه EM38

در این تحقیق برای اندازه‌گیری هدایت الکتریکی ظاهری<sup>5</sup> (ECa) خاک به طور متحرک، از دستگاه EM38 (Geonics Ltd, Canada) استفاده شد.

6. Sudduth et al.

7. O'Leary

8. Corwin and Lesch

9. Zare et al.

10. Electrical conductivity sampling, assessment and prediction

11. Survey

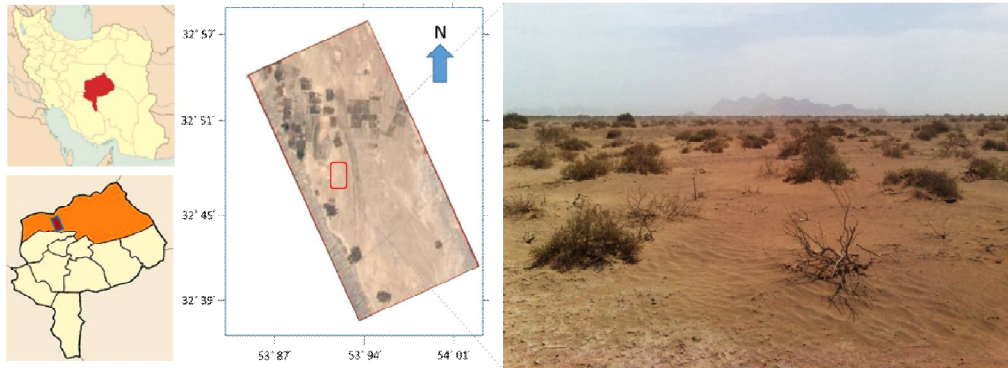
1. Hypertermic

2. Aridic (Torric)

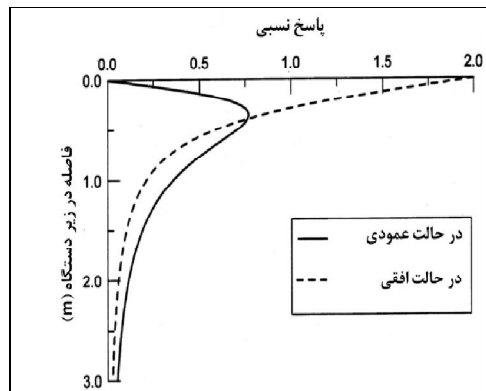
3. Entisols

4. Ortent

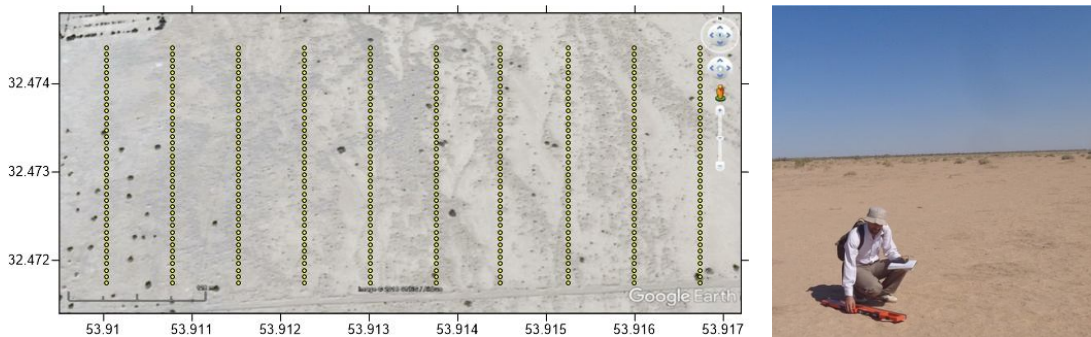
5. Apparent Electrical Conductivity



شکل 1- موقعیت جغرافیایی و نمایی از رخساره‌های فرسایش بادی منطقه مورد مطالعه



شکل 2- پاسخ نسبی دستگاه EM38 به عنوان تابعی از فاصله از سطح زمین (برگرفته از مک‌نیل<sup>1</sup>، 1992)



شکل 3- محدوده پیمایش، شیوه و محل قرانت (نقاط زرد رنگ) دستگاه EM38 در منطقه مورد مطالعه

<sup>1</sup>. McNeill

برنامه دیگر ESAP-Calibrate با دریافت و تلفیق فایل داده‌های مربوط به محل پیمایش و نمونه-برداری (\*.svy) و فایل پارامترهای اندازه‌گیری شده از نمونه‌های آنالیز شده در آزمایشگاه (\*.pro)، با ایجاد مدل رگرسیونی به دو روش تصادفی<sup>5</sup> (آماری) یا قطعی<sup>6</sup> (تابعی) به انجام کالیبراسیون می‌پردازد. با توجه به این که بهترین روش برای کالیبراسیون دستگاه القاء‌گر الکترومغناطیس به کارگیری مستقیم روابط رگرسیونی خطی چندگانه (MLR)<sup>7</sup> می‌باشد (رحیمیان و هاشمی-نژاد، 1389)، در این تحقیق روش تصادفی که مدل-سازی MLR را در این برنامه انجام می‌دهد، انتخاب گردید. سپس فایل داده پیش‌بینی حاصل از این مرحله با فرمت \*.prd ذخیره شد.

همچنین به منظور تعیین خصوصیات خاک غالب تأثیرگذار بر هدایت الکتریکی ظاهری (ECa) خاک اندازه‌گیری شده توسط دستگاه EM38 و برای آنالیز همبستگی داده‌های آزمایشگاهی پروفیل خاک، از مدل هدایت موازی مسیر دوگانه (DPPC)<sup>8</sup> موجود در این برنامه استفاده شد. این آنالیز این امکان را فراهم می‌کند تا مجموعه‌ای از قرائت‌های هدایت خاک بر اساس مقادیر داده شوری، میزان آب و بافت خاک ورودی محاسبه شود. سپس این قرائت‌های محاسبه شده هدایت خاک (calc-ECa) می‌توانند با داده‌های خاک ورودی و یا قرائت‌های اندازه‌گیری شده هدایت توسط دستگاه EM38 مقایسه شوند. این روش برای روشن ساختن روابط متقابل بین داده‌های پروفیل (نمونه خاک) و هدایت (پیمایش) استفاده می‌شود. صحت و دقت نتایج به دست آمده نیز با ضریب تعیین ( $R^2$ ) و میانگین ریشه مربعات خطا (RMSE) مدل، مورد آزمون قرار می‌گیرد.

در مرحله آخر با استفاده از برنامه ESAP-SaltMapper، نقشه‌های دو بُعدی از پارامتر مدل‌سازی شده به روش درون‌یابی مجذور عکس فاصله (IDS)<sup>9</sup> (زیا<sup>10</sup> و همکاران، 2010) ترسیم شد. در این پژوهش، با توجه به هدف، نقشه طبقات میزان هدایت الکتریکی (ECe) خاک سطحی در اراضی حساس به فرسایش بادی شمال دشت یزد-اردکان تهیه گردید.

همچنین این نرم‌افزار برای فرآیند کالیبراسیون، الگوریتمی برای تعیین تعداد و محل‌های نمونه‌برداری خاک در یک زمین پیمایش شده فراهم می‌کند (رودز و همکاران<sup>1</sup>، 1999). این نرم‌افزار، سه برنامه ESAP-RSSD، ESAP-Calibrate و ESAP-SaltMapper را در بر می‌گیرد.

برنامه آماری ESAP-RSSD (طراحی نمونه-برداری سطح پاسخ)<sup>2</sup> در این نرم‌افزار، در ابتدا برای اجرا به ورود داده‌های جمع‌آوری شده ECa توسط دستگاه EM38 در یک حالت عمودی یا افقی و یا هر دو، بسته به عمق خاک مورد بررسی به همراه مختصات آنها (x, y) با فرمت \*.dat\* احتیاج دارد (لسچ و همکاران<sup>3</sup>، 2000). خروجی این برنامه، تعیین تعداد و محل نمونه‌برداری بهینه از داده‌های پیمایش شده است (هانسیکر و همکاران، 2009) که در مرحله بعد در برنامه ESAP-Calibrate مورد استفاده قرار می‌گیرد. در انجام این تحقیق، با توجه به ثبت داده‌های EM38 بدون استفاده از ثبت‌کننده داده<sup>4</sup> در صحرا، ابتدا داده‌ها به نرم‌افزار Surfer 13 وارد و با فرمت \*.dat\* ذخیره و پس از ورود به برنامه ESAP-RSSD، فایل داده پیمایش با فرمت \*.svy\* ایجاد گردید که خروجی آن ارائه مکان 12 نقطه نمونه‌برداری بود. با مراجعه مجدد به صحرا از 12 نقطه مشخص شده توسط این برنامه، نمونه‌برداری خاک در فواصل 10 سانتی‌متری تا عمق 30 سانتی‌متر صورت گرفت.

ویژگی‌های اصلی نمونه خاک تأثیرگذار بر داده-های هدایت الکتریکی ظاهری (ECa) در نرم‌افزار ESAP شامل شوری (ECe)، بافت (درصد رس) یا درصد اشباع (SP)، رطوبت وزنی یا حجمی و وزن مخصوص ظاهری است. با انتقال 36 نمونه به آزمایشگاه علاوه بر اندازه-گیری هدایت الکتریکی عصاره اشباع (ECe) توسط دستگاه Aqualytic AL20Con برای هر نمونه، متغیرهای اصلی دیگر اثرگذار مانند درصد اشباع (SP) از گل اشباع و میزان رطوبت نمونه (درصد رطوبت وزنی (WC)) به روش کاهش وزن بعد از قراردادن در آون در دمای 105°C به مدت 24 ساعت نیز اندازه‌گیری شد (مصدقی، 1389). علاوه بر این برای تعیین بافت خاک منطقه از روش هیدرومتری توسط هیدرومتر ASTM 152H استفاده شد. خروجی نتایج آزمایشگاهی نیز با فرمت مناسب \*.pro\* ذخیره گردید.

5. Stochastic

6. Deterministic

7. Multiple Linear Regression

8. Dual Pathway Parallel Conductance

9. Inverse Distance Squared

10. Zia et al.

1. Rhoades et al.

2. Response Surface Sampling Design (RSSD)

3. Lesch et al.

4. Data Logger

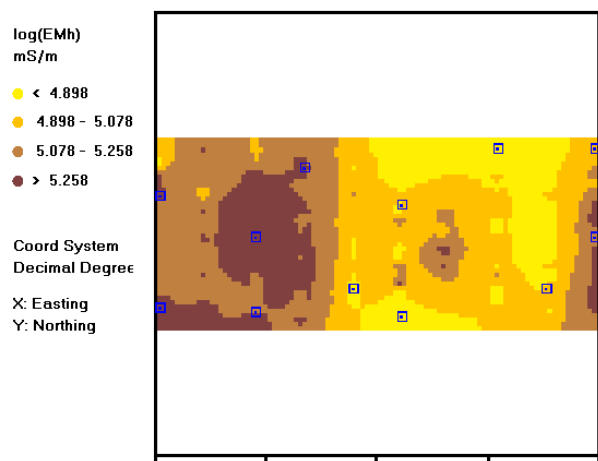
## نتایج و بحث

خاک در منطقه 166/3 mS/m و ضریب تغییرات آن 26/6 درصد است.

خلاصه آماری هدایت الکتریکی ظاهری اندازه-گیری شده توسط دستگاه EM38 در منطقه مطالعاتی در جدول 1 آمده است. میانگین هدایت الکتریکی ظاهری

جدول 1- خلاصه آماری هدایت الکتریکی ظاهری (ECa (mS/m) اندازه‌گیری شده در منطقه پیمایش

منبع داده	تعداد	کمینه	بیشینه	میانگین	انحراف معیار	ضریب تغییرات (%)	چولگی
پیمایش	380	89	293	166/3	44/3	26/6	0/54
نرم‌افزار	380	4/489	5/680	5/079	0/265	-	-



شکل 4- محل‌های نمونه‌برداری انتخاب شده به عنوان خروجی از برنامه ESAP-RSSD از داده‌های پیمایش شده

طرح‌های نمونه‌برداری یکنواخت<sup>3</sup> عالی به حساب می‌آید (لسچ و همکاران، 2000)، انتخاب گردید. جدول 2 ویژگی‌های خاک مورد بررسی در عمق‌های 0-10، 10-20 و 20-30 سانتی‌متری در نقاط نمونه‌برداری از طرح انتخاب شده توسط نرم‌افزار را نشان می‌دهد. با توجه به این که میانگین هدایت الکتریکی عصاره اشباع (ECe) خاک در سه عمق مورد بررسی برابر با 214/7 dS/m به دست آمده است، خاک منطقه در گروه خاک‌های با شوری خیلی زیاد قرار دارد. ضریب تغییرات هدایت الکتریکی اشباع نسبت به دو ویژگی دیگر زیاد است و تنوع زیاد شوری در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. بافت خاک سطحی در محدوده مورد مطالعه بیشتر از نوع لوم شنی (SL) است و بافت‌های لومی (L) و شن لومی (LS) نیز مشاهده می‌شود. در محدوده مورد بررسی، خاک در عمق 0-30 سانتی‌متر دارای رطوبت ناچیزی است و میزان رطوبت

با انتقال داده‌ها به نرم‌افزار ESAP در برنامه ESAP-RSSD طبق راهنمای نرم‌افزار، از آنجا که پیمایش برای شوری خاک مد نظر بود و انتظار می‌رفت شوری حداقل 10 درصد از خاک محدود مورد مطالعه از dS/m 4 فراتر رود، تبدیل لگاریتم طبیعی (log EMh) بر روی داده‌های سیگنال ورودی انجام شد (جدول 1). با بررسی داده‌های پیمایش توسط نرم‌افزار، با توجه به این که داده پرتی<sup>1</sup> شناسایی نشد، بنابراین هیچ داده‌ای حذف نگردید. شکل 4، طرح نمونه‌برداری از 12 نقطه استاندارد انتخاب شده توسط برنامه ESAP-RSSD با توجه به داده‌های ورودی، برای انجام نمونه‌برداری برای کالیبراسیون داده‌های دستگاه EM38 را نشان می‌دهد. این طرح با تکرار پنج مرتبه طراحی، با توجه به کم‌تر بودن پارامتر معیار بهینه‌سازی<sup>2</sup> آن برابر با 1/12 است و لذا از

1. outlier

2. Optimization Criteria (OptCri)

3. Uniform Sampling Plans

سطح خاک (0-10 cm) سبب افزایش رابطه همبستگی بین شوری و هدایت الکتریکی ظاهری خاک خواهد شد. شرایط شوری و خشکی خاک در منطقه نشان دهنده خطر بالقوه این شورزار در برداشت ذرات گرد و غبار حاوی املاح توسط باد است.

وزنی نمونه خاک از 4/57 درصد فراتر نرفته است. البته ضریب تغییرات رطوبت خاک در منطقه برای عمق 30-20 سانتی‌متر زیاد است که حاکی از شرایط طبیعی و بدون هر گونه مدیریتی است. تغییرات اندک درصد اشباع (حاکی از میزان رس) و در درجه بعد میزان رطوبت در

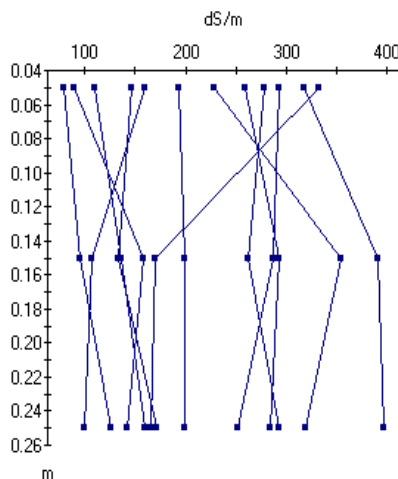
جدول 2- ویژگی‌های اندازه‌گیری شده خاک در عمق‌های مختلف از طرح نقاط نمونه‌برداری انتخاب شده

ویژگی	عمق (cm)	تعداد	میانگین	انحراف معیار	ضریب تغییرات (%)	کمینه	بیشینه
ECe (dS/m)	0-10	12	211/5	92/2	43/6	79/0	332/4
	10-20	12	215/5	99/1	45/9	95/9	391/2
	20-30	12	217/1	90/5	41/7	99/3	396/8
SP (%)	0-10	12	41/1	3/6	8/7	34/1	46/5
	10-20	12	41/7	6/1	14/6	33/3	52/9
	20-30	12	43/7	4/4	10/2	39/1	53/9
WC (%)	0-10	12	1/0	0/1	11/4	1/0	1/4
	10-20	12	1/2	0/4	35/9	1/0	2/28
	20-30	12	1/4	1/1	75/6	1/0	4/57

ECe<sup>+</sup>: هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک، SP: درصد اشباع و WC: درصد رطوبت وزنی.

است. همچنین وجود پستی و بلندی‌های کوچک مقیاس در منطقه منجر به انباشت و یا آبشویی املاح توسط جریان‌های سطحی اندک در برخی نقاط شده و برآیند کلی بیشتر بودن شوری در عمق 30-20 سانتی‌متر نسبت به سطح خاک است.

شکل 5 وضعیت شوری خاک در نقاط نمونه- برداری منطقه، خروجی از نرم‌افزار، را نشان می‌دهد. شکل پروفیل‌ها حاکی از آن است که در عمق مورد بررسی (0-30 سانتی‌متر) شوری خاک در حالت‌های مختلف یکنواخت، معکوس و منظم قرار دارد که نشان دهنده عدم وجود هر گونه مدیریت شوری خاک به دلیل بایر بودن



شکل 5- پروفیل‌های (0-30 cm) شوری عصاره اشباع خاک در 12 نقطه نمونه‌برداری

قرائت‌های دستگاه EM38 با ویژگی‌های خاک را نشان می‌دهد. همان گونه که مشخص است شوری خاک در عمق 0-10 cm نسبت به اعماق پایینی ارتباط همبستگی بیشتری ( $R^2=0/30$ ) با قرائت‌های دستگاه EM38 در

با انتقال داده‌های هدایت الکتریکی عصاره اشباع (ECe)، درصد رطوبت وزنی (WC) و درصد اشباع به برنامه ESAP-Calibrate، فرآیند کالیبراسیون داده‌های دستگاه EM38 انجام شد. جدول 3 نتایج همبستگی بین

حالت افقی دارد و تأیید می‌کند که شوری عاملی تأثیرگذار بر داده‌های دستگاه EM38 است. البته با توجه به شرایط محل پیمایش، میزان رطوبت خاک عاملی اثرگذارتر از شوری خاک بر این داده‌ها بوده است

( $R^2=0/40$ ). به طور کلی عوامل تأثیرگذار بر قرائت‌های دستگاه EM38 در منطقه مورد مطالعه را می‌توان به ترتیب رطوبت خاک (WC)، شوری (ECe) و میزان رس (بر گرفته از SP) ذکر کرد.

جدول 3- همبستگی داده‌های دستگاه EM38 با ویژگی‌های خاک مورد بررسی در عمق‌های مختلف

ویژگی	عمق نمونه خاک (m)		
	0/05	0/15	0/25
In ECe	0/30	-0/03	-0/06
SP	-0/17	0/07	0/19
WC	0/47	0/44	0/35

جدول 4- آنالیز همبستگی DPPC برای داده‌های هدایت الکتریکی ظاهری (ECa) و خصوصیات خاک مورد بررسی

ویژگی خاک	همبستگی ECa با ویژگی‌های خاک		
	همبستگی مشاهده شده	همبستگی پیش‌بینی شده	همبستگی بین ویژگی‌های خاک
In ECe	0/10	-0/13	-
(%) SP	0/05	-0/07	0/01
(%) WC	0/40	0/21	-0/49

نتایج آنالیز همبستگی DPPC نشان داد که همبستگی قوی بین داده‌های هدایت الکتریکی محاسبه شده و اندازه‌گیری شده وجود ندارد ( $R^2=0/24$ ) و داده‌های پیمایش شده تحت این شرایط به دلیل رطوبت ناچیز و ویژگی‌های خاک تأثیرگذار در اعماق بیشتر از 30 سانتی‌متر زیاد معتبر نبوده و لازم است پیمایش در هنگام قراردادن رطوبت خاک در حد ظرفیت زراعی و نمونه برداری خاک تا دامنه عمق مؤثر دستگاه EM38 در حالت افقی (75 cm) انجام شود که با اهداف این پژوهش در تعیین مناطق با شوری خاک بیشتر در سطح و انتقال توسط باد در این منطقه خشک مغایر بود. همچنین همبستگی مشاهده شده<sup>1</sup> (همبستگی بین ECa اندازه‌گیری شده و ویژگی مشخص خاک) و همبستگی پیش‌بینی شده<sup>2</sup> (همبستگی بین ECa پیش‌بینی شده با استفاده از مدل DPPC و ویژگی مشخص خاک) (آمزکتا، 2007) نیرومندی مدل را تحت این شرایط پیمایش نشان نمی‌دهد (جدول 4).

$$\ln(ECe) = b_0 + b_1(Z1) + b_2(x) + b_3(y) \quad (1)$$

خاک در منطقه نشان داد که تمامی منطقه شوری بالای 4 ds/m داشت و از این رو، دارای درجات مختلفی از شوری بود. همچنین مناطق واقع در جنوب شرق دارای شوری بیشتری هستند. معادله واسنجی استفاده شده دارای بیشترین همبستگی برای تبدیل<sup>3</sup> اندازه‌گیری‌های EM38 به داده‌های ECe چنین است:

که در آن،  $Z1 = a1(S1 - \text{mean}[S1])$  است و  $a1 = 1/(\text{std. dev}[S1])$  و  $S1$  قرائت‌های خام دستگاه EM38 می‌باشد.  $b_0$  عرض از مبدأ و  $b_1$ ،  $b_2$  و  $b_3$  پارامترهای رگرسیون بوده و  $x$  و  $y$  نیز نشان دهنده مختصات مکانی محل‌های قرائت دستگاه EM38 هستند. جدول 5 مقادیر ضریب تعیین ( $R^2$ ) مدل رگرسیونی را نشان می‌دهد که از 0/27 تا 0/46 متغیر است و بیشترین همبستگی متعلق به سطحی‌ترین عمق مورد بررسی یعنی 0-10 cm است.

مدل واسنجی رگرسیونی خطی چندگانه برای پیش‌بینی مقادیر ECe عمق مشخص خاک در محل‌های نمونه‌برداری نشده باقی‌مانده استفاده شد. پراکنش شوری

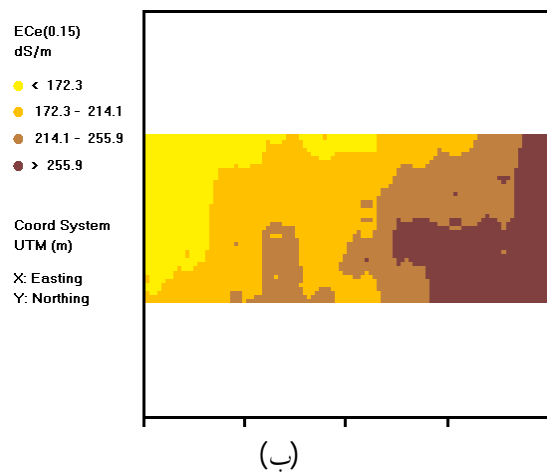
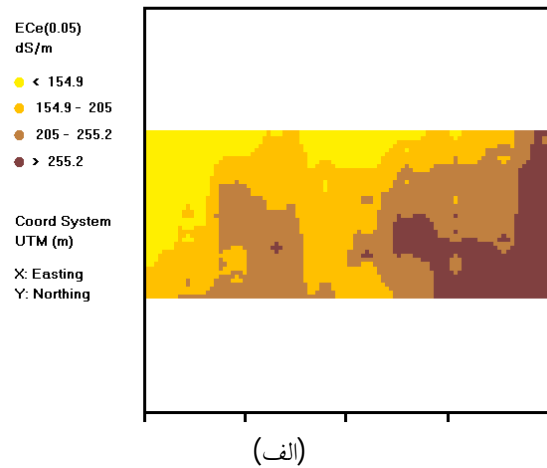
1. Observed correlation  
2. Predicted correlation

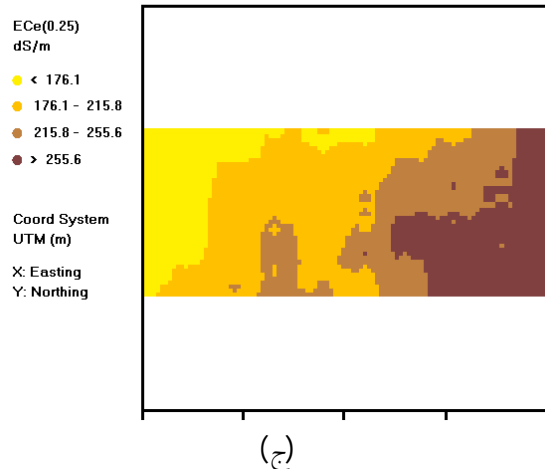
3. Covert



جدول 5- خلاصه آماری مدل رگرسیونی خطی چندگانه در سه عمق نمونه‌برداری و میانگین کلی

عمق	ضریب تعیین ( $R^2$ )	RMSE
0-10	0/46	77/09
10-20	0/27	99/26
20-30	0/30	88/79
0-30	0/37	80/55





شکل 6- نقشه شوری خاک پیش‌بینی شده خروجی نرم‌افزار با استفاده از معادله واسنجی انتخاب شده در سه عمق مورد بررسی الف) 0/05 cm، ب) 0/15 cm و ج) 0/25 cm

### نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این بررسی نشان داد که روش القای الکترومغناطیس می‌تواند برای ترسیم سریع پراکندگی شوری خاک در داخل محدوده مورد مطالعه مورد استفاده قرار گیرد. از محدودیت‌های روش استفاده شده در این پژوهش، مراجعه به صحرا طی دو مرحله مجزای پیمایش و نمونه‌برداری است که موجب دو برابر شدن زمان حضور در صحرا می‌شود. البته در صورت در اختیار داشتن ثبت کننده داده و رایانه قابل حمل، می‌توان پس از اتمام مرحله پیمایش، نقاط نمونه‌برداری توسط مدل طرح نمونه‌برداری نرم‌افزار را مشخص و اقدام به نمونه‌برداری خاک نمود که در این صورت مراجعه به صحرا تنها برای یک بار کافی است.

نتایج حاصل از بررسی شیوه پیمایش انتخاب شده در این پژوهش نشان داد که با عدم شناسایی داده پرت توسط نرم‌افزار و همچنین پارامتر معیار بهینه‌سازی کم برای طرح نمونه‌برداری انتخاب شده، این شیوه روش مناسبی برای پیمایش منطقه توسط دستگاه EM38 است.

از نواقص دستگاه EM38 وابستگی آن به میزان رطوبت خاک است به طوری که در رطوبت‌های پایین دقت آن کم می‌شود (مشکوه و همکاران، 1392). از این رو، لازم است برای عملکرد بهینه دستگاه EM38 عمل پیمایش در میزان رطوبت خاک ظرفیت زراعی و یا نزدیک به آن انجام شود (آمزکتا، 2007) و این حالت 24 تا 48 ساعت پس آبیاری در اراضی کشاورزی رخ می‌دهد. این در حالی است که منطقه مورد مطالعه بایر و رها بوده و به منظور رعایت این

شرط باید منتظر وقوع بارش به میزان کافی برای رساندن رطوبت خاک به حد ظرفیت زراعی بود.

همان گونه که شکل 6 نشان می‌دهد نوع پروفیل شوری خاک در سه عمق سطحی منطقه متنوع است و تمامی سه حالت یکنواخت، معکوس و منظم را در بر می‌گیرد که منجر به متفاوت بودن ضریب همبستگی (جدول 5) در عمق‌های مختلف شده است.

با توجه به هدف، این پژوهش به بررسی تغییرات شوری در سطح خاک‌های خشک فرسایش‌پذیر منطقه (30-0 سانتی‌متر) محدود بود و با توجه به این که مطابق شکل 2، دستگاه EM38 در حالت افقی دارای حساسیت بیشتر تا عمق 75 سانتی‌متری است، تغییرات خصوصیات خاک در اعماق بیش از 30 سانتی‌متر منجر به تأثیرگذاری بر قرائت‌های دستگاه شده و کاهش همبستگی در این پژوهش را به دنبال داشته است.

بر اساس نقشه شوری به دست آمده (شکل 6)، مناطق واقع در غرب منطقه (شکل 1) دارای شوری کمتر و مناطق واقع در شرق (شکل 3) دارای شوری بیشتری هستند که مطابق با میزان استقرار طبیعی پوشش گیاهی در منطقه است، البته این مطابقت با بیشتر بودن میزان رطوبت خاک در غرب منطقه نیز مشاهده می‌شود.

با استفاده از رابطه همبستگی خطی معمولی بین قرائت‌های دستگاه EM38 و میزان هدایت الکتریکی عصاره اشباع 12 نمونه خاک در عمق 0-10 سانتی‌متر مشخص شد که ضریب تعیین این همبستگی بیشتر از  $R^2=0/13$  نیست در صورتی که با استفاده از نرم‌افزار ESAP و به کارگیری الگوریتم آن، ضریب تعیین به حدود

3/5 برابر یعنی 0/46 افزایش یافت. با توجه به نتایج پیشنهاد می‌شود استفاده از روش واسنجی قرائت‌های دستگاه EM38 از طریق نرم‌افزار ESAP در سایر اراضی همگن و دارای رطوبت استاندارد خاک نزدیک به ظرفیت زراعی انجام شود.

### تشکر و قدردانی

به این وسیله از جناب آقای مهندس مهدی شیران کارشناس ارشد محترم مرکز ملی تحقیقات شوری یزد به خاطر کمک در انجام پیمایش صحرایی دستگاه EM38 تشکر و قدردانی می‌گردد.

### فهرست منابع:

1. برادران مطیع، ج.، آق‌خانی، م. ح.، عباسپور فرد، م. ح. و لکزبان، ا. 1390. ساخت و ارزیابی سامانه تهیه نقشه هدایت الکتریکی خاک مزرعه در حین حرکت. ماشین‌های کشاورزی، (1): 33-25.
2. تقی‌زاده مهرجردی، ر.، سرمیدیان، ف.، امید، م.، ثواقبی، غ. ر.، روستا، م. ح. و رحیمیان، م. ح. 1391. پهنه‌بندی شوری خاک با استفاده از تکنیک زمین آمار و دستگاه القاءگر الکترومغناطیس در منطقه اردکان. پژوهش‌های خاک (علوم خاک و آب)، الف، (4): 369-380.
3. رحیمیان، م. ح.، نوری امامزاده‌ئی، م. ر.، طباطبایی، س. ح. و قائمی‌نیا، ع. م. 1393. همبستگی قرائت‌های دستگاه القاءگر الکترومغناطیس با برخی ویژگی‌های فیزیکی خاک در شرایط شور. پژوهش‌های خاک (علوم خاک و آب)، الف، (1): 28: 197-207.
4. رحیمیان، م. ح.، نوری امامزاده‌ئی، م. ر.، هاشمی‌نژاد، ی.، طباطبایی، س. ح. و نشاط، ع. 1393. تعیین کسر آبشویی باغ-های پسته شمال اردکان با استفاده ترکیبی از تعیین‌گر جبهه رطوبتی و القاءگر الکترومغناطیس. پژوهش‌های خاک (علوم خاک و آب)، الف، (1): 163-173.
5. رحیمیان، م. ح. و هاشمی‌نژاد، ی. 1389. واسنجی دستگاه القاءگر الکترومغناطیس (EM38) برای ارزیابی شوری خاک. پژوهش‌های خاک (علوم خاک و آب)، ویژه شوری، (3): 243-252.
6. رحیمیان، م. ح.، هاشمی‌نژاد، ی.، مشکوه، م. ع. و قائمی‌نیا، ع. م. 1393. پایش شوری خاک به کمک هدایت‌گر الکترومغناطیس EM38 (دستورالعمل استفاده، روش‌های کالیبراسیون و نرم‌افزارهای مربوطه)، مرکز ملی تحقیقات شوری، دستورالعمل فنی، 40 ص.
7. عظیم‌زاده، ح. ر.، اختصاصی، م. ر.، حاتمی، م. و اخوان قالیباف، م. 1381. مطالعه تأثیر خصوصیات فیزیکی - شیمیایی خاک در شاخص فرسایش‌پذیری بادی خاک ارائه مدل جهت پیشگویی آن در دشت یزد- اردکان. علوم کشاورزی و منابع طبیعی، (1): 9: 139-151.
8. قانعی مطلق، غ. ر.، پاشایی اول، ع.، خرمالی، ف. و مساعدی، ا. 1387. تهیه نقشه شوری خاک به منظور مدیریت ویژه خاک‌های شور (مطالعه موردی: بخشی از اراضی زراعی شمال شرقی دشت آق‌قلا). علوم کشاورزی و منابع طبیعی، (6): 75-82.
9. مشکوه، م. ع.، رحیمیان، م. ح. و تقی‌زاده، ر. 1392. بررسی دقت دستگاه القاءگر الکترومغناطیس (EM38) به منظور پایش شوری خاک در مقایسه با روش متداول استاندارد (مطالعه موردی: دشت یزد- اردکان). خشک‌بوم، (2): 3: 72-83.
10. مصدقی، م. ر. 1389. دستور کار آزمایشگاه رابطه آب و خاک و گیاه. گروه خاکشناسی دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان، 39 ص.
11. مهدوی اردکانی، س. ر.، جعفری، م.، ضرغام، ن.، زارع چاهوکی، م. ع.، باغستانی میبیدی، ن. و طویلی، ع. 1389. بررسی تأثیر گونه‌های گز، تاغ و اشنان بر خاک در منطقه چاه افضل یزد. جنگل ایران، انجمن جنگلبانی ایران، (4): 2: 357-365.

12. Abuduwailli J, Gabchenko, M. V, Xu J R. 2008. Eolian transport of salts - a case study in the area of Lake Ebinur (Xinjiang, Northwest China). *Journal of Arid Environments*, 72: 1843–1852.
13. Amezketta, E. 2007. Soil salinity assessment using directed soil sampling from a geophysical survey with electromagnetic technology: a case study. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 5(1): 91-101.
14. Corwin, D. L. and Lesch, S. M. 2005. Characterizing soil spatial variability with apparent soil electrical conductivity Part II. Case study. *Computers and Electronics in Agriculture*, 46: 135–152.
15. Erdinger L, Eckl P, Ingel F. 2004. The Aral Sea disaster - human biomonitoring of Hg, As, HCB, DDE, and PCBs in children living in Aralsk and Akchi, Kazakhstan. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 207: 541–547.
16. Ganjegunte, G. K., Sheng, Z. and Clark, J. A. 2012. Soil salinity and sodicity appraisal by electromagnetic induction in soils irrigated to grow cotton. *Land degradation & development*, 25 (3): 228-235.
17. Husaker, D. J., El-Shikha, D. M., Clarke, T. R., French, A. N. and Thorp, K. R. 2009. Using ESAP software for predicting the spatial distributions of NDVI and transpiration of cotton. *Agricultural Water Management*, 96: 1293–1304.
18. Koganti, T., Moral, F. J., Rebollo, F.J., Huang, J. and Triantafilis, J. 2017. Mapping cation exchange capacity using a Veris-3100 instrument and invVERIS modelling software. *Science of the Total Environment*, 599–600: 2156–2165.
19. Lesch, S. M., Rhoades, J. D. and Corwin, L. C. 2000. ESAP-95 Version 2.01R User Manual and Tutorial Guide. United States Department of Agriculture, Salinity Laboratory, Research Report, 146, 161 p.
20. McNeill, J. D. 1992. Rapid, accurate mapping of soil salinity by electromagnetic ground conductivity meters. In: *Advances in Measurement of Soil Physical Properties: Bringing Theory into Practice*. Spec. Publ. 30, SSSA, Madison, WI, pp. 209–229.
21. O’Leary, G. 2006. Standards for Electromagnetic Induction mapping in the grains industry. The Grains Research and Development Corporation (GRDC) Precision Agriculture Manual, Victorian Department of Primary Industries, Australia.
22. Rhoades, J. D., Chanduvi, F. and Lesch, S. 1999. Soil Salinity Assessment, Methods and interpretation of electrical conductivity measurements. Food and Agriculture Organization (FAO), Irrigation and drainage paper, 57, Rome.
23. Sudduth, K. A., Drummond, S. T. and Kitchen, N. R. 2001. Accuracy issues in electromagnetic induction sensing of soil electrical conductivity for precision agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*, 31: 239–264.
24. Sudduth, K. A., Kitchen, N. R. and Drummond, S. T. 2017. Inversion of soil electrical conductivity data to estimate layered soil properties. *Advances in Animal Biosciences: Precision Agriculture (ECPA)*, 8(2): 433–438.
25. Zare, E., Huang, J., Monteiro Santos, F. A., and Triantafilis, J. 2015. Mapping Salinity in Three Dimensions using a DUALEM-421 and Electromagnetic Inversion Software. *Soil Science Society of America Journal, Pedology*, 15: 1729-1740.
26. Zia, S., Wenyong, D., Spreer, W., He, X., and Müller, J. 2010. Mapping of soil salinity and clay content based on electromagnetic induction measurements by EM38. XVII<sup>th</sup> World Congress of the International Commission of Agricultural and Biosystems Engineering (CIGR), Canadian Society for Bioengineering, Québec City, Canada, June 13-17, 10 p.

## Mapping Soil Salinity of the Northern Region of Yazd-Ardakan Plain Using EM38 Instrument and ESAP Modeling Software

M. Ghaemina, M. A. Hakimzadeh Ardakani<sup>1</sup>, R. Taghizadeh-Mehrjardi, and F. Dehghani

PhD. Candidate of Combatting Desertification, Yazd University;

E-mail: a.ghaemina@yahoo.com

Assistant Professor, Yazd University; E-mail: hakim@yazd.ac.ir

Assistant Professor, Ardakan University; E-mail: rtaghizadeh@ardakan.ac.ir

Assistant Professor, National Salinity Research Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Yazd, Iran; E-mail: dehghany47@gmail.com

Received: October, 2018 and Accepted: March, 2019

### Abstract

Increasing aridity caused by the drought phenomenon in recent years has led to a decrease in the threshold wind speed for removing dust particles from the soil surface of arid areas. The accumulation of salts on the surface of the soil, due to low precipitation and high evaporation, causes disintegration of the aggregates. Salt particles along with the soil particles are removed by wind and they fall over a distance. If the target area is agricultural land, dust containing salt results in the transfer of salt to the affected area, which leads to a decrease in the yield of the crops. In this research, EM38 electromagnetic induction instrument was used in horizontal orientation in order to provide a cheap and fast map for surface soil salinity (0-30 cm) in the area that are sensitive to wind erosion in northern Yazd-Ardakan plain. The ESAP-95 2.35R Software package was also used to determine the number and location of soil samples in order to determine the regression model and to prepare a map of the salinity pattern in the area. With the transfer of EM38 data to the ESAP-RSSD program, the standard number and soil sampling points for 12 sites were identified. Subsequently, a Multiple Linear Regression model (MLR) was developed using ESAP-Calibrate and using Electrical Conductivity data of the saturated extract (EC<sub>e</sub>), saturation percentage (SP) and percentage of water content (WC). The results showed that the proposed regression model could model the soil surface salinity from EM38 readings with a determination coefficient ( $R^2$ ) of 0.37 and Root Mean Square Error (RMSE) of 80.55. The results of using the ESAP-SaltMapper program for mapping soil surface salinity showed that the southeast of the study area had higher salinity and the possibility of harvesting salt by the wind was much higher. The results also showed that the use of the EM38 device should be made in areas with homogeneous and standardized moisture at field capacity level and ESAP software can be used to map soil salinity.

**Keywords:** Salty dust, Desertification, Arid areas, Wind erosion, Electrical induction

---

<sup>1</sup> Corresponding author: Faculty of Natural resources and desert, Yazd University