

## پهنه‌بندی شوری خاک با استفاده از تکنیک زمین‌آمار و دستگاه القاء گر الکترومغناطیس در منطقه اردکان

روح‌الله تقی‌زاده مهرجردی<sup>1\*</sup>، فریدون سرمیدیان، محمود امید، غلامرضا ثوابی،

محمد جواد روستا و محمد حسن رحیمیان

گروه مهندسی علوم خاک، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران؛ [Taghizadeh@ut.ac.ir](mailto:Taghizadeh@ut.ac.ir)

گروه مهندسی علوم خاک، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران؛ [fsarmad@ut.ac.ir](mailto:fsarmad@ut.ac.ir)

گروه مهندسی ماشین‌آلات، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران؛ [omid@ut.ac.ir](mailto:omid@ut.ac.ir)

گروه مهندسی علوم خاک، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران؛ [savagheb@ut.ac.ir](mailto:savagheb@ut.ac.ir)

عضو هیأت علمی مرکز ملی شوری یزد؛ [rousta@farsagres.ir](mailto:rousta@farsagres.ir)

کارشناس مرکز ملی شوری یزد؛ [mhrahimian@gmail.com](mailto:mhrahimian@gmail.com)

### چکیده

تهیه نقشه دقیق از تغییرات مکانی خاک‌های شور و سدیمی، اولین گام برای مدیریت بهینه این خاک‌ها می‌باشد. لذا، در این تحقیق، برای تهیه نقشه شوری 78000 هکتار از اراضی منطقه اردکان، اقدام به نمونه‌برداری از 151 پروفیل انتخاب شده بر اساس روش هایپرکیوب شد. به منظور پیش‌بینی پراکنش مکانی شوری خاک در عمق‌های 0-30 و 0-100 سانتی‌متری، از روش کریجینگ و کوکریجینگ استفاده شد. متغیرهای کمکی مورد استفاده در روش کوکریجینگ شامل داده‌های تصویر ماهواره‌ای ETM<sup>+</sup>، پارامترهای اراضی و قرائت‌های افقی-عمودی دستگاه القاء گرمغناطیسی می‌باشد. با استفاده از روش ارزیابی متقابل و استفاده از معیارهای ریشه مربعات خطا و میانگین خطا، روش مناسب میان‌یابی انتخاب شد. نتایج نشان داد که برای پهنه‌بندی شوری خاک، روش کوکریجینگ با متغیر کمکی هدایت‌گر الکترومغناطیسی دارای دقت مناسب‌تری می‌باشد. دقت روش کوکریجینگ، بر اساس معیارهای ریشه مربعات خطا و میانگین خطا در عمق 0-30 سانتی‌متری به ترتیب 69/1، 30/55 و در عمق 0-100 سانتی‌متری به ترتیب 48/8، 20/41 است. نقشه‌های نهایی شوری خاک همچنین نشان دادند که بیشترین مقدار تجمع نمک در قسمت شمالی منطقه و کمترین میزان شوری در مناطق مرتفع‌تر می‌باشد که این مسئله به علت حالت شکل محدب منطقه مورد مطالعه می‌باشد که باعث حرکت املاح و در نهایت تجمع نمک در نواحی شمالی می‌شود.

واژه‌های کلیدی: ارزیابی متقابل، پارامترهای اراضی، درون‌یابی، سنجش از دور

### مقدمه

اقدامات انجام شده برای پایش و ارزیابی شوری خاک به طور فزاینده‌ای در سطح دنیا در حال گسترش

<sup>1</sup> نویسنده مسئول، آدرس: کرج، خیابان امامزاده حسن، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کد پستی: 77871-31587.

\* دریافت: اسفند 1390 و پذیرش: مهر 1391

تصاویر LANDSAT به عنوان متغیر کمکی استفاده کردند. نتایج نشان داد که روش رگرسیون کوریجینگ در مقایسه با روش کوریجینگ کارایی بالاتری داشته است. به طوری که این روش توانسته تغییرات موضعی کوچک در شوری خاک را نیز به خوبی پیش‌بینی کند.

محققین مختلفی نیز از داده‌های القای الکترومغناطیس برای تهیه نقشه شوری خاک استفاده کردند. به عنوان مثال، تریتافالیس و همکاران (2001) از داده‌های EM به منظور پیش‌بینی شوری خاک استفاده کردند. سای و همکاران (2009) نیز از داده‌های EM برای پیش‌بینی بافت خاک در کشور بلژیک استفاده کرده و کارایی این داده‌ها را تایید کرده‌اند. برای پیش‌بینی شوری خاک در کشور آمریکا، سودا و همکاران (2001) از داده‌های EM38 استفاده کردند و نتایج قابل قبولی گرفتند. کرون و لیچ (2005) از داده‌های هدایت الکتریکی ظاهری و روش معکوس فاصله برای بیان تغییرات مکانی بعضی از خصوصیات خاک استفاده کردند. آن‌ها نشان دادند که هدایت الکتریکی ظاهری با هدایت الکتریکی خاک، غلظت‌های کلر، پتاسیم، سدیم و کربنات همبستگی بالایی داشته است و توانسته دقت نقشه‌های حاصل را به میزان معنی‌داری افزایش دهد. تحقیق مشابهی توسط تریتافالیس و بوچنان (2010) در کشور استرالیا صورت گرفته و از داده‌های EM برای تهیه نقشه شوری با رزولوشن‌های متفاوت و همچنین از روش رگرسیون برای کالیبره کردن دستگاه استفاده کرده‌اند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که فواصل یک کیلومتری برای داده‌برداری EM برای مطالعات اجمالی شوری خاک کافی می‌باشد.

کینال و همکاران (2006) کارایی EM را برای تهیه نقشه شوری در خاک‌های جنگلی استرالیا در دو فصل بررسی کرده و نتیجه گرفتند که ضریب همبستگی بین شوری و EM در فصل بهار 0/66 و پاییز 0/64 بوده است. در ایران نیز تحقیقات بر روی استفاده از این دستگاه و بررسی کارایی آن در شرایط مختلف خاک آغاز شده است (رحیمیان و هاشمی نژاد، 1389، رحیمیان 2007، چراغی و همکاران 2007).

علاوه بر این، برای پیش‌بینی شوری خاک می‌توان از پارامترهای اراضی نیز استفاده کرد. شنگ و همکاران (2009) برای پهنه‌بندی شوری خاک در مشتقات اولیه و ثانویه نقشه رقومی ارتفاع بهره گرفتند. اگر مخانونف و ولک (2012) در کشور ازبکستان برای تهیه نقشه شوری از انواع داده‌های کمکی از جمله مشتقات سرزمین استفاده کردند. آن‌ها گزارش کردند که این داده‌های کمکی

است. این در حالی است که نمونه‌برداری مستقیم همراه با اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی یا صحرایی معمولاً پرهزینه و وقت‌گیر بوده و در نتیجه برای اهداف کاربردی دارای محدودیت می‌باشند. در نتیجه، در سال‌های اخیر، برای تخمین شوری خاک از روش‌های غیرمستقیم استفاده شده است (بوما، 1989). در طی دو دهه اخیر بسیاری از تکنیک‌های جدید مانند آرایه ونر<sup>1</sup> (رودز، 1976)، پروب‌های هدایت الکتریکی رودز (1976)، روش انعکاس‌سنجی زمانی<sup>2</sup> یا TDR و روش القای الکترومغناطیسی<sup>3</sup> (رودز، 1976) برای اندازه‌گیری غیرمستقیم شوری خاک در شرایط مزرعه مورد استفاده قرار گرفته است (رحیمیان و هاشمی نژاد، 1389). در این میان، تکنیک القای الکترومغناطیسی به دلیل این‌که برای انجام اندازه‌گیری نیازی به گرفتن نمونه خاک ندارد، از سهولت و راحتی بیشتری برخوردار است. علاوه بر این، در سال‌های اخیر استفاده از پارامترهای اراضی برای پیش‌بینی شوری خاک نیز رواج یافته است. محققین برای پهنه‌بندی شوری خاک از انواع داده‌های کمکی (تصویر ماهواره، پارامتر اراضی، القای الکترومغناطیس) در انواع روش‌های پهنه‌بندی از جمله زمین‌آمار استفاده کرده‌اند.

تکنیک کوریجینگ یکی از روش‌های زمین‌آماری است که از متغیر کمکی بهره می‌گیرد. به عنوان مثال، دوایی و همکاران (2006) نقشه شوری خاک را برای منطقه‌ای در الجزایر با استفاده از روش‌های زمین‌آماری تهیه کردند. در تحقیق یادشده، از داده‌های تصاویر ماهواره‌ای نظیر NDVI به عنوان متغیر کمکی در روش کوریجینگ استفاده کردند و نتایج قابل قبولی بدست آوردند. تار و همکاران (2005) با استفاده از روش کوریجینگ اقدام به تهیه نقشه شوری خاک نمودند. آن‌ها در تحقیق خود متغیرهای کمکی مختلفی نظیر مقدار رس، کلسیم محلول، منیزیم محلول، عمق افق آرجیلیک و عمق سنگ بستر را مورد آزمون قرار دادند و در نهایت مقدار رس را به عنوان متغیر کمکی مناسب برای پیش‌بینی شوری در روش کوریجینگ، معرفی نمودند. طی تحقیقی، الدیری و گارسیا (2009) قابلیت دو روش کوریجینگ و رگرسیون کوریجینگ را در تهیه نقشه شوری خاک مورد مقایسه قرار دادند. آن‌ها از ترکیب باندهای مطلوب برای پیش‌بینی شوری در

1. Wenner Array

2. Time Domain Reflectometry

3. Electromagnetic Induction

شده هر متغیر می‌باشد. توزیع تجمعی هر متغیر به  $n$  فاصله با احتمال مساوی تقسیم می‌شود و یک مقدار از هر فاصله به‌طور تصادفی انتخاب می‌شود. سپس،  $n$  مقدار بدست آمده برای هر متغیر با متغیرهای دیگر جفت می‌شود. این روش یک پوشش کاملی از هر متغیر را ایجاد می‌کند.

پس از مشخص شدن محل پروفیل‌ها با استفاده از تکنیک مذکور، تعداد 600 نمونه خاک از افق‌های ژنتیکی پروفیل‌های خاک‌های مختلف جمع‌آوری شد و بعد از انتقال به آزمایشگاه، در معرض هوا خشک شده، سپس کوبیده و از الک دو میلی‌متر عبور داده شد و میزان شوری عصاره اشباع خاک اندازه‌گیری شد (اسپارکس و همکاران، 1996) سپس، میزان شوری به صورت وزنی در عمق 0-30 و 0-100 سانتی‌متری به صورت وزنی محاسبه شد. همچنین، در محل پروفیل‌ها، قرائت‌های دستگاه EM38 در دو جهت عمودی - افقی و در دو وضعیت انجام گرفت (شکل 2). نمونه‌برداری‌ها در اردیبهشت و خرداد ماه سال 1390 جمع‌آوری شد.

#### داده‌های کمی

در مرحله بعد، پارامترهای اولیه و ثانویه اراضی شامل شیب، جهت شیب، انحنای شیب، شاخص خیزی، طول شیب و شاخص اراضی مطابق با روش ارائه شده توسط هنگل و همکاران (2004) با استفاده از نرم افزار SAGA در محل پروفیل‌ها استخراج شد. مبنای محاسبه شاخص‌های فوق‌الذکر ایجاد یک شبکه سلولی  $3 \times 3$  بر روی تصویر است (شکل 3).

مشتقات لازم برای محاسبه شاخص‌های پستی و بلندی به شرح ذیل است (مور و همکاران، 1991).

$$G = \frac{df}{dx} = \frac{Z3 + Z6 + Z9 - Z1 - Z4 - Z7}{6.p} \quad (1)$$

$$H = \frac{df}{dy} = \frac{Z1 + Z2 + Z3 - Z4 - Z8 - Z9}{6.p} \quad (2)$$

(3)

$$D = \frac{d^2f}{dx^2} = \frac{Z1 + Z3 + Z3 + Z4 + Z6 + Z7 + Z9 - 2(Z2 + Z5 + Z8)}{3.p^2} \quad (4)$$

$$E = \frac{d^2f}{dx^2} = \frac{Z1 + Z2 + Z3 + Z7 + Z8 + Z9 - 2(Z4 + Z5 + Z6)}{3.p^2}$$

$$F = \frac{d^2f}{dx^2 dy} = \frac{Z3 + Z7 + Z1 + Z9}{4.p^2} \quad (5)$$

رابطه معنی‌داری با داده‌های شوری نداشته که به علت کم ارتفاع بودن منطقه بوده است.

با توجه به مرور منابع، محققین از پارامترهای کمکی مختلف از جمله داده‌های دستگاه الکترومغناطیس، پارامترهای اراضی و سنجش از راده دور برای پهنه‌بندی شوری خاک در مناطق گوناگون استفاده کرده‌اند. اما مطالعه چندانی به‌منظور بررسی کارایی این پارامترها در مناطق خشکی مانند ایران مرکزی صورت نگرفته است. لذا، در این تحقیق به بررسی تغییرات مکانی و تهیه نقشه شوری خاک‌های منطقه اردکان با استفاده از روش‌های کریجینگ و کوکریجینگ (با تاکید بروی انواع داده‌های کمکی) پرداخته شده است.

#### مواد و روش‌ها

##### منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه با وسعت 72000 هکتار اراضی در اردکان در استان یزد قرار دارد. در شکل (1) نمایی از منطقه مورد مطالعه در استان یزد مشاهده می‌شود. منطقه مورد مطالعاتی از تشکیلات بزرگ فلات مرکزی ایران است. جنوب غربی دشت دارای قدیمی‌ترین تشکیلات زمین‌شناسی است و حتی لایه‌های گچ در آن‌ها نیز مشاهده می‌شوند. تشکیلات پرمین و دونین در مقیاس محدودتری اغلب به‌صورت سنگ‌های آهکی شنی قرمز رنگ کنگلومرا تا سنگ‌های دولومیتی وجود دارد. از اردکان به سمت جنوب و جنوب شرقی باریکه‌ای از رسوبات میوسن معروف به نئوژن تشکیل شده است. خاک‌های منطقه عمدتاً در سه واحد فیزیوگرافی شامل فلات‌های مرتفع بریده شده، دشت‌های رسوبی و اراضی پست است. منطقه مورد مطالعه، عمدتاً بایر می‌باشد. در قسمت میانی منطقه و در نزدیکی شهر اردکان باغات پسته می‌باشد.

##### نمونه‌برداری

بر اساس تکنیک هایپر کیوب، محل 151 پروفیل در منطقه اردکان به وسعت 78000 هکتار انتخاب شد (شکل 1). این روش، یک طرح تصادفی طبقه‌بندی شده‌ای است که به‌وسیله آن می‌توان نمونه‌برداری موثری به کمک توزیع چند متغیر ایجاد نمود. یک شبکه مربع حاوی موقعیت‌های نمونه، یک شبکه لاتین است، اگر و تنها اگر فقط یک واحد نمونه‌برداری در هر ردیف و هر ستون وجود داشته باشد. یک هایپرکیوب لاتین، تعمیم این مفهوم به تعداد اختیاری از ابعاد است، به‌طوری که هر واحد نمونه‌برداری فقط در یک صفحه آن قرار گرفته باشد. (مینانسی و مک برتنی، 2006) تکنیک هایپر کیوب یا مربع لاتین شامل نمونه‌برداری  $n$  مقدار از توزیع تشریح

شانون انتخاب شدند. ایده روش فوق، این است که هر چه پراکندگی در مقادیر یک شاخص، بیشتر باشد، آن شاخص نسبت به دیگر شاخص‌ها از اهمیت بیشتری برخوردار است (سلیمانی و زارع‌پیشه، 2009). برای رتبه‌بندی کردن ورودی‌ها از نرم افزار EXCEL استفاده شد.

$$E_{ij} = -k \sum (p_{ij} \times \ln p_{ij})$$

که در آن:  $E_{ij}$  آنترپی،  $P_{ij}$  درایه‌های ماتریس نرمال شده و  $k$  ضریب می‌باشد.

انتخاب متغیر کمکی برای کوکریجینگ

برای تعیین متغیرهای مؤثر برای روش کوکریجینگ از رابطه همبستگی بین مقادیر شوری خاک و داده‌های کمکی استفاده شد. به طوری که پارامتری که دارای بیشترین ضریب همبستگی بود، به عنوان متغیر کمکی در نظر گرفته شد.

پهنه‌بندی شوری خاک

برای پهنه‌بندی شوری خاک در این تحقیق، از تکنیک زمین‌آمار (کریجینگ و کوکریجینگ) استفاده شد. همچنین، برای بررسی میزان دقت و صحت نقشه نهایی از نتایج ارزشیابی متقابل و روش میانگین مربعات باقیمانده و میانگین خطا استفاده شد (حسنی‌پاک، 1998).

نتایج و بحث

نمونه‌برداری با استفاده از مربع لاتین

در ابتدا، با استفاده از تکنیک آنترپی شانون، پارامترهای ورودی مؤثر برای مدل‌سازی مربع لاتین تشخیص داده شد که نتایج آن در جدول (1) ارائه شده است. بر اساس جدول (1)، قرائت‌های عمودی-افقی EM38، شاخص اراضی<sup>3</sup>، باند<sup>3</sup>، شاخص خیزی<sup>4</sup> و انحنای شیب<sup>5</sup> به ترتیب مهم‌ترین عوامل تأثیر گذار بر تغییرات شوری خاک معرفی شد. در نتیجه، ورودی‌هایی که دارای وزن بیشتر و پراکندگی بیشتری بودند را به عنوان ورودی مدل در منطقه انتخاب شد.

برخی از شاخص‌های آماری داده‌های مربوط به پارامتر شوری خاک در عمق 0-30 و 0-100 سانتی‌متر در جدول (2) ارائه شده است. نرمال بودن داده‌ها با استفاده از روش کولموگروف-اسمیرنوف مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که داده شوری خاک از توزیع نرمال پیروی

$$Z5^+ s. \frac{Z1 + Z2 + Z3 + Z4 + Z6 + Z7 + Z8 + Z9}{9}$$

پارامترهای G-F مشتقات درجه اول و دوم هستند تا درجه و شدت تغییرات مقادیر سلول‌های 9 تایی را نسبت به یکدیگر محاسبه کنند. Z5 مقدار تخمینی سلول میانی است که با استفاده از سایر سلول‌ها بدست می‌آید. حداکثر شیب ( $\beta$ )، جهت شیب ( $\psi$ ) و میانگین انحنای سطح زمین<sup>1</sup> عبارت‌اند از:

$$SLOPE = \sqrt{H^2 + G^2}$$

$$MEANC = - \left( \frac{(1+H^2) D - 2. G.H. F. + (1+G^2) E}{2.(1+G^2 + H^2)^{1.5}} \right)$$

$$ASPECT = \arctan \left( \frac{H}{G} \right)$$

شاخص رطوبتی<sup>2</sup> به عنوان شاخصی از توزیع مکانی رطوبت خاک در طول زمین‌نما می‌باشد که به وسیله معادله ذیل قابل محاسبه است.

$$w = \ln \left( \frac{A_s}{\tan \beta} \right)$$

در این معادله مقدار  $A_s$  سطح ویژه حوزه و  $\beta$  درجه شیب می‌باشد.

همچنین، در این مطالعه از تصاویر ماهواره‌ای سنجنده ETM استفاده شد. تصاویر این سنجنده مربوط به آگوست 2002 مصادف با 19 مرداد 1381 می‌باشد. پس از آماده‌سازی تصویر و رفع خطاها، شاخص‌های NDVI و روشیابی محاسبه شد.

انتخاب ورودی‌های مربع لاتین

برای تعیین مکان‌های نمونه‌برداری از خاک بر اساس روش مربع لاتین نیاز به یک سری داده‌های ورودی می‌باشد. پارامترهای ورودی بر اساس تکنیک آنترپی

<sup>3</sup> Land Index  
<sup>4</sup> Wetness Index  
<sup>5</sup> Curvature

<sup>1</sup> Mean Curvature  
<sup>2</sup> Wetness Index

نمی‌کند و چون فرض زمین‌آمار بر نرمال بودن داده است، در نتیجه این خصوصیت با لگاریتم‌گیری نرمال‌سازی شد. همان‌طور که جدول (2) نشان می‌دهد، تغییرات شوری خاک دارای محدوده بسیار زیاد می‌باشد. مشاهدات صحرائی نشان داد که شورترین خاک‌ها در نواحی شمالی منطقه قرار گرفته‌اند.

#### پهنه‌بندی شوری خاک

اولین گام در استفاده از روش‌های کریجینگ و کوکریجینگ بررسی وجود ساختار مکانی در بین داده‌ها با استفاده از آنالیز واریوگرام می‌باشد، بدین منظور، ترسیم واریوگرام با استفاده از داده‌های نرمال شده انجام شد. شکل‌های (4) و (5) واریوگرام‌های مربوط به روش کریجینگ (30-1 و 100-0 سانتی‌متری) را نشان می‌دهد. بعد از بررسی مدل‌های مختلف با استفاده از شاخص RMSE و در نظر گرفتن ساختار مکانی هر یک از مدل‌های برازش داده شده، مدل مناسب برای برازش بر روی واریوگرام تجربی انتخاب شد. مقدار شاخص ریشه مربعات در اعماق 0-30 و 100-0 سانتی‌متری به ترتیب 74/6 و 52/9 می‌باشد. در جدول (3) مدل به همراه پارامترهای واریوگرام ارائه شده است. همان‌طور که این جدول نشان می‌دهد، نسبت اثر قطعه‌ای برآستانه (Co/Co+C) برای شوری در عمق 30 سانتی‌متر 0/37 و برای شوری در عمق 100 سانتی‌متری کمتر از 0/25 می‌باشد و نشان‌دهنده این است که میانگین شوری خاک در عمق 0-100 سانتی‌متری دارای پیوستگی مکانی نسبتاً قوی‌تری می‌باشد. همچنین، مقدار شعاع تأثیر برای شوری 0-100 سانتی‌متری خاک 6518 متر می‌باشد که این مقدار بیشتر از میانگین شوری خاک در سطح خاک (30-0 سانتی‌متر) می‌باشد. همچنین، جدول (3) نشان می‌دهد که مدل کروی و نمایی برای پهنه‌بندی شوری در عمق‌های 0-30 و 100-0 سانتی‌متری مدل‌های مناسبی می‌باشد.

در روش کوکریجینگ، پس از تشکیل ماتریس همبستگی، برای پیش‌بینی خصوصیات خاک (متغیر اولیه) از پارامتری به عنوان متغیر کمکی استفاده شد که دارای بیشترین ضریب همبستگی با متغیر مورد نظر را دارا می‌باشد و همچنین دارای ارتباط فیزیکی با متغیر اولیه باشد (جدول 4 و 5). لذا، مطابق با نتایج همبستگی برای برآورد شوری در عمق 30 و 100 سانتی‌متری به ترتیب از قرائت‌های افقی و عمودی دستگاه القاگر مغناطیسی به عنوان متغیر کمکی استفاده شد. سپس، واریوگرام‌های متقابل محاسبه که نتیجه آن در شکل‌های (6) و (7) ارائه شده است.

پس از مدل‌سازی واریوگرام، روش‌های

میان‌یابی کریجینگ و کوکریجینگ برای پیش‌بینی تغییرات مکانی شوری خاک ارزیابی شد. مطابق جدول (6) به منظور تخمین شوری خاک در اعماق 0-30 و 100-0 سانتی‌متری، روش کوکریجینگ بر اساس مقدار شاخص ریشه مربعات و میانگین خطا به ترتیب 69/1، 30/55 و 48/8، 20/41 نسبت به روش دیگر ارجحیت داشت. الیسون و همکاران (2005) برای برآورد برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک نظیر ماده آلی، رطوبت، فسفر و پتاسیم قابل استفاده خاک و واکنش خاک مورد مقایسه قرار دادند. نتایج ایشان نشان داد که روش کوکریجینگ به همراه متغیر کمکی شوری خاک نسبت به روش کریجینگ معمولی در برآورد ویژگی‌های ذکر شده از دقت بالایی برخوردار است.

شی و همکاران (2005) نقشه پراکنش شوری خاک را در مناطق ساحلی بخشی از کشور چین با استفاده از روش‌های زمین‌آماري تهیه کردند. برای برآورد نسبت جذب سدیم و شوری خاک، روش کوکریجینگ به ترتیب با پارامترهای کمکی سدیم و کلسیم - منیزیم مناسب تشخیص داده شدند.

همچنین، نتایج نشان داد که روش کوکریجینگ دارای دقت بالاتری با متغیر کمکی EM38 می‌باشد. این نتایج تأیید کننده این مسئله است که داده‌های هدایت‌گر الکترومغناطیسی به راحتی می‌توانند برای بررسی تغییرات شوری خاک استفاده شود. محققین مختلفی کارایی داده‌های EM را تأیید کرده‌اند. به عنوان مثال، ترینتافالیس و بوجنان (2010) برای تهیه نقشه شوری خاک و بالا بردن دقت نقشه از داده‌های کمکی EM38 استفاده کردند. به طور مشابه، سای و همکاران (2009) و سودا و همکاران (2001) نیز کارایی بالای داده‌های EM38 را نشان داده‌اند. البته بعضی از محققین ضریب همبستگی بالاتری را بین شوری و داده‌های EM ( $<0/90$ ) در مقایسه با نتایج حاضر (0/73 و 0/56) به دست آورده‌اند که این می‌تواند به این دلیل باشد که داده‌های الکترومغناطیسی نسبت به رطوبت خاک، کانی‌شناسی، بافت خاک و دمای محیط نیز حساس می‌باشند. میزان رس در منطقه دارای تغییرات شدیدی می‌باشد، به طوری که در قسمت‌های میانی منطقه میزان رس بیش از درصد می‌باشد، در حالی که در قسمت‌های مرتفع‌تر (نواحی شمال شرقی) درصد رس به کمتر از 15 درصد می‌رسد. این تغییرات می‌تواند بر روی داده‌های دستگاه تأثیر بگذارد. اما میزان رطوبت و دمای خاک به نظر می‌رسد که کمترین تأثیر را بر روی قرائت‌های دستگاه EM گذاشته‌اند.

پس از انتخاب روش میان‌یابی مناسب

منطقه مشاهده شد است (شکل‌های 8 و 9). دلیل این امر می‌تواند میزان رس بالای خاک و در نتیجه تجمع املاح بخصوص در لایه‌های سطحی خاک باشد. از سویی، فعالیت‌های کشاورزی بدون در نظر گرفتن پتانسیل منطقه و برداشت بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی، به تشدید این فرآیند کمک می‌کند. علاوه بر این، شوری زیاد خاک‌ها در این نواحی، تناسب اراضی را برای استفاده پایین آورده است. با توجه به رشد سریع جمعیت و توسعه مناطق صنعتی و مسکونی که عامل مؤثری در محدود شدن اراضی برای کشاورزی بخصوص در مناطق خشکی مانند یزد، به شمار می‌آیند، نیاز به استفاده بهینه از اراضی موجود احساس می‌شود. کشاورزی پایدار در صورتی تحقق می‌یابد که اراضی بر حسب تناسب برای انواع مختلف کاربری‌ها طبقه‌بندی شوند. بنابراین، به منظور عدم گسترش آثار ناشی از بهره‌برداری غلط از اراضی، لزوم یک برنامه‌ریزی صحیح و طولانی مدت در زمینه استفاده از اراضی بر اساس استعدادشان و نوع احتیاجات جامعه امروز انسانی مشهود است.

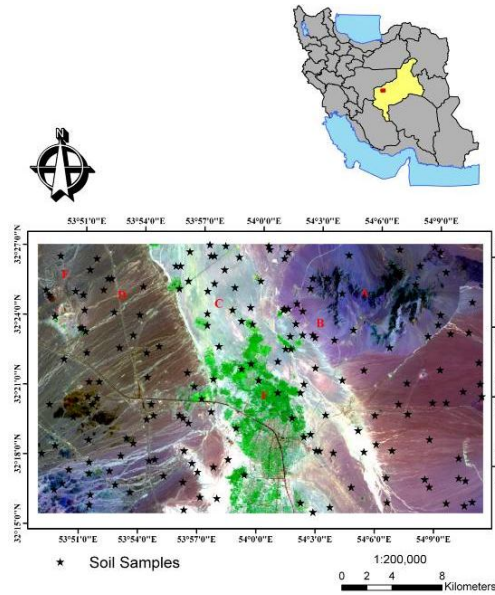
در این راستا، یکی از اطلاعات پایه منابع اراضی، بدون شک نقشه خصوصیات خاک می‌باشد. لذا، با کمک گرفتن از روش‌های نوین از جمله زمین‌آمار می‌توان با تعداد محدودی داده‌های، اقدام به تهیه نقشه خصوصیات خاک کرد. علاوه بر این، استفاده از منابع داده کمکی از جمله پارامترهای اراضی، سنجش از راه دور و داده‌های دستگاه الکترومغناطیس که به راحتی و با هزینه بسیار کمتر نسبت به داده‌برداری مستقیم شوری خاک بدست می‌آید، بسیار سودمند و مقرون به صرفه‌تر می‌تواند باشد. به طوری که نتایج این تحقیق هم نشان داد که استفاده از داده‌های کمکی بخصوص EM38 در روش کوکریجینگ توانست دقت نقشه‌های تولیدی را به میزان تقریباً هفت درصد نسبت به روش کریجینگ بالا ببرد که محققین دیگر هم کارائی روش کوکریجینگ را تأیید کرده و ایشان توانستند دقت نقشه‌های تولیدی را بین 2 تا 10% افزایش بدهند.

(کوکریجینگ) با داده کمکی EM38، برای شوری خاک در عمق‌های مختلف اقدام به تهیه نقشه پهنه‌بندی شوری خاک تهیه شد (شکل‌های 8 و 9). همان‌طور که در این اشکال ملاحظه می‌شود، بیشترین مقدار شوری خاک (بیشتر از 200 دسی‌زیمنس برای عمق 0-30 سانتی‌متری و بیشتر از 150 دسی‌زیمنس برای عمق 0-100 سانتی‌متری خاک) در قسمت شمالی منطقه قرار گرفته است. این در حالی است که کمترین مقدار شوری (هر دو عمق) در واحد کوه در قسمت شمال شرقی منطقه مشاهده می‌شود. مقادیر متوسط شوری را می‌توان در اراضی گچی مشاهده نمود.

اراضی باغی (شکل 1) که در میان منطقه مورد مطالعه قرار گرفته است، دارای شوری نسبتاً زیادی تا حدود 64-132 دسی‌زیمنس در عمق 30 و 100 سانتی‌متری خاک می‌باشد. حالت محدب شکل منطقه باعث تجمع تدریجی نمک در قسمت‌های میانی و شمالی شده است. به این صورت که املاح محلول از قسمت‌های مرتفع‌تر منطقه با جریان آب حرکت و به سمت پایین (میانی منطقه) سرازیر می‌شود. این مسئله باعث تجمع نمک در این نواحی و بخصوص در نواحی شمالی می‌شود. علاوه بر این، بافت سنگین‌تر خاک در قسمت‌های کم ارتفاع نسبت به قسمت‌های مرتفع‌تر باعث حرکت مویینه می‌شود. آب صعود کرده در اثر جریان کاپیلاری بالا آمده و در اثر تبخیر، املاح محلول به صورت نمک در سطح خاک تجمع پیدا کرده است. اگر به توزیع و مقدار نمک در اشکال (8) و (9) دقت شود، کاملاً مشخص است که میزان شوری در عمق 30 سانتی‌متری خاک در شمال منطقه مورد مطالعه بیشتر از میزان نمک در 100 سانتی‌متری خاک در همین منطقه می‌باشد. این بدین دلیل است که تغییرات شوری خاک در پروفیل به این صورت می‌باشد که بیشترین شوری در بالای خاک تجمع یافته است.

### نتیجه‌گیری

نقشه‌های تهیه شده نشان می‌دهد مقدار شوری خاک در منطقه مورد مطالعه دارای تغییرات زیادی می‌باشد که بیشترین میزان شوری در قسمت‌های پست



شکل 1- موقعیت منطقه مورد مطالعه و پراکنش نقاط نمونه برداری (A: کوه، B: اراضی واریزه‌ای، C: اراضی پف کرده، D: اراضی باهادا، E: اراضی گچی، F: اراضی باغی)



شکل 2- موقعیت قرارگیری دستگاه EM38 به صورت عمودی

|            |            |            |
|------------|------------|------------|
| ZNB1<br>WB | ZNB2<br>WA | ZNB3<br>WB |
| ZNB4<br>WA |            | ZNB6<br>WA |
| ZNB7<br>WB | ZNB8<br>WA | ZNB9<br>WB |

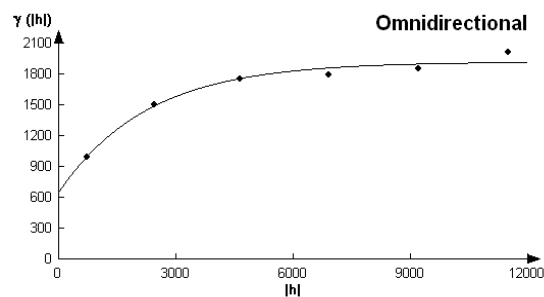
شکل 3- ساختار شبکه DEM، با یک آرایه 3x3 متحرک

جدول 1- وزن‌های پارامترهای موثر بر تغییر پذیری شوری خاک بر اساس تکنیک آنتروپی شانون

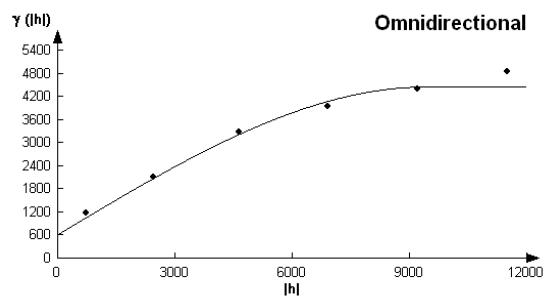
| پارامتر آماری | باند 3 | انحنای شیب | شاخص خیسی | شاخص اراضی | قرائت افقی | قرائت عمودی |
|---------------|--------|------------|-----------|------------|------------|-------------|
| وزن           | 0/002  | 0/001      | 0/001     | 0/28       | 0/36       | 0/38        |

جدول 2- پارامترهای آماری داده‌های استفاده شده در مدل‌سازی برای شوری در عمق 0-30 و 0-100

| پارامتر آماری | شوری (0-30) | شوری (0-100) | باند 3 | انحنای شیب | شاخص خیسی | شاخص اراضی | قرائت افقی | قرائت عمودی |
|---------------|-------------|--------------|--------|------------|-----------|------------|------------|-------------|
| کمترین        | 0/10        | 0/10         | 0/10   | 0/10       | 0/10      | 0/10       | 0/10       | 0/10        |
| بیشترین       | 0/90        | 0/90         | 0/90   | 0/90       | 0/90      | 0/90       | 0/90       | 0/90        |
| میانگین       | 0/30        | 0/32         | 0/39   | 0/26       | 0/52      | 0/14       | 0/26       | 0/28        |
| انحراف معیار  | 0/21        | 0/19         | 0/16   | 0/06       | 0/12      | 0/08       | 0/17       | 0/19        |
| کشیدگی        | 1/14        | 0/74         | 0/75   | 7/33       | 0/28      | 5/87       | 1/97       | 1/64        |



شکل 4- واریوگرام شوری خاک در عمق 0-30



شکل 5- واریوگرام شوری خاک در عمق 0-100

جدول 3- مدل برازش داده شده به واریوگرام و پارامترهای مربوط به آن

| عمق خاک | مدل   | اثر قطعه ای (C <sub>o</sub> ) | آستانه (C <sub>o</sub> +C) | شعاع تأثیر (m) | اثر قطعه ای برآستانه (C <sub>o</sub> /C <sub>o</sub> +C) |
|---------|-------|-------------------------------|----------------------------|----------------|--|
| 0-30    | کروی  | 641                           | 1723                       | 3764           | 0/37   |
| 0-100   | نمایی | 609                           | 3674                       | 6518           | 0/16   |

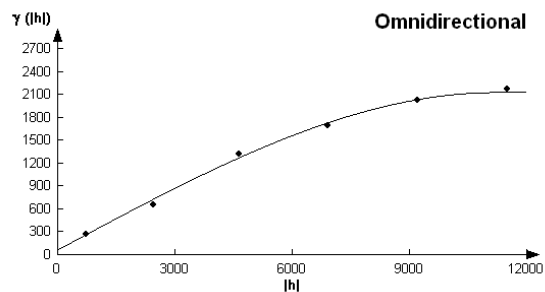


جدول 4- ضرایب همبستگی بین شوری خاک (0-30) و پارامترهای کمکی

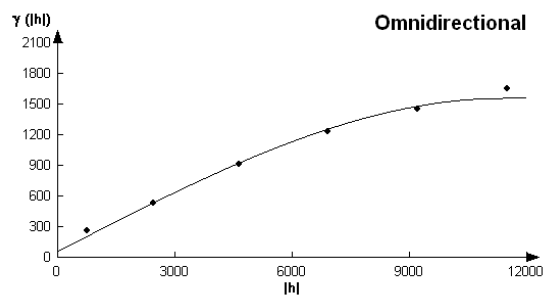
| قرائت عمودی | قرائت افقی | شاخص اراضی | شاخص خیسی | انحنای شیب | باند 3 | شوری (0-30) |             |
|-------------|------------|------------|-----------|------------|--------|-------------|-------------|
|             |            |            |           |            |        | 1           | شوری (0-30) |
|             |            |            |           |            | 1      | 0/40        | باند 3      |
|             |            |            |           | 1          | 0/1    | 0/1         | انحنای شیب  |
|             |            |            | 1         | -0/46      | 0/1    | 0/1         | شاخص خیسی   |
|             |            | 1          | 0/2       | 0/52       | 0/29   | 0/26        | شاخص اراضی  |
|             | 1          | 0/24       | 0/1       | 0/1        | 0/44   | 0/73        | قرائت افقی  |
| 1           | 0/98       | 0/25       | 0/1       | 0/1        | 0/43   | 0/71        | قرائت عمودی |

جدول 5 - ضرایب همبستگی بین شوری خاک (0-100) و پارامترهای کمکی

| قرائت عمودی | قرائت افقی | شاخص اراضی | شاخص خیسی | انحنای شیب | باند 3 | شوری (0-100) |              |
|-------------|------------|------------|-----------|------------|--------|--------------|--------------|
|             |            |            |           |            |        | 1            | شوری (0-100) |
|             |            |            |           |            | 1      | 0/30         | باند 3       |
|             |            |            |           | 1          | 0/08   | 0/18         | انحنای شیب   |
|             |            |            | 1         | -0/46      | 0/06   | 0/22         | شاخص خیسی    |
|             |            | 1          | 0/2       | 0/50       | 0/30   | 0/27         | شاخص اراضی   |
|             | 1          | 0/2        | 0/1       | 0/10       | 0/44   | 0/54         | قرائت افقی   |
| 1           | 0/98       | 0/2        | 0/1       | 0/10       | 0/43   | 0/56         | قرائت عمودی  |



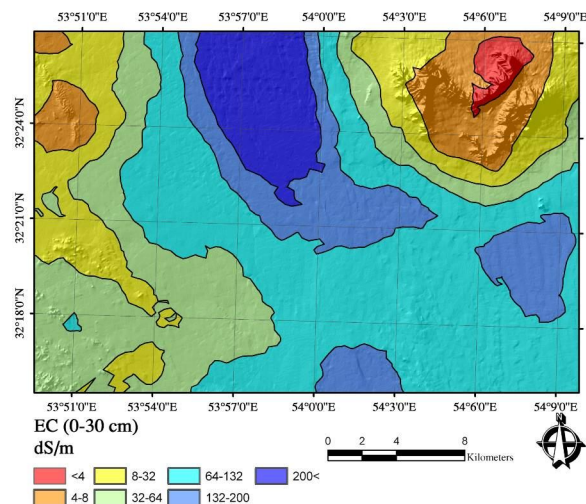
شکل 6- واریوگرام متقابل شوری خاک در عمق 0-30



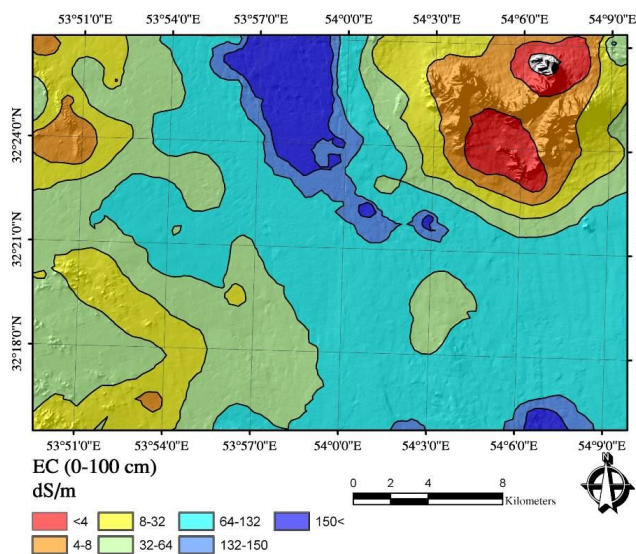
شکل 7- واریوگرام متقابل شوری خاک در عمق 0-100

جدول 6- نتایج خطای میان‌یابی برای تخمین شوری خاک

| خصوصیات خاک  | کوکر یجینگ |       | کریجینگ |       |
|--------------|------------|-------|---------|-------|
|              | RMSE       | ME    | RMSE    | ME    |
| شوری (0-30)  | 69/1       | 30/55 | 74/6    | 33/64 |
| شوری (0-100) | 48/8       | 20/44 | 52/9    | 21/35 |



شکل 8- نقشه پهنه‌بندی شوری خاک (0-30) با استفاده از کوکر یجینگ



شکل 9- نقشه پهنه‌بندی شوری خاک (0-100) با استفاده از کوکر یجینگ

### فهرست منابع:

1. رحیمیان، م. ح. و هاشمی‌نژاد، ی. 1389. واسنجی دستگاه القاء‌گر الکترومغناطیس برای ارزیابی شوری خاک. مجله پژوهش‌های خاک، علوم خاک و آب، الف، جلد 24، شماره 3، ص. 243-252.

2. Akramkhanov, A. and Vlek, P.L.G. 2012. The assessment of spatial distribution of soil salinity risk using neural network. *Environmental Monitoring and Assessment*, 184:2475–2485.
3. Alison, B.T., Kenneth, J.M., Burras, C.L., Donald, G.B. and Philip M.D. 2005. Improving map accuracy of soil variables using soil electrical conductivity as a covariate. *Precision Agriculture*, 6: 255–270.
4. Bouma, J. 1989. Using soil survey data for quantitative land evaluation. *Soil Science*, 9: 177–213.
5. Cheraghi S.A.M., Hasheminejhad Y. and Rahimian M.H. 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.
6. 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.
7. Douaoui, A.E.K., Nicolas, H. and Walter C. 2006. Detecting Salinity hazard within a semi arid context by means of combining soil and remote – sensing data. *Geoderma*, 134: 217-230.
8. Eldeiry, A. and Garcia L.A. 2009. Comparison of regression kriging and cokriging techniques to estimate soil salinity using LANDSAT images. *Hydrology Days*, 27-37.
9. Hassani-pak, A. 1998. Geostatistics. Tehran: University of Tehran. In Persian.
10. Hengl, T., Huvelink, G.B.M. and Stein A. 2004. A generic framework for spatial prediction of soil variables based on regression-kriging. *Geoderma*, 120: 75–93.
11. Kinal, J., Stoneman, G.L and Williams M.R. 2006. Calibrating and using an EM31 electromagnetic induction meter to estimate and map soil salinity in the Jarrah and Krri forests of south-western Australia. *Forest Ecology and Management*, 233:78–84.
12. Minasny, B. and McBratney A.B. 2006. A conditioned Latin hypercube method for sampling in the presence of ancillary information. *Computer and Geosciences*, 32:1378-1388.
13. Moore, I.D., Grayson, R.B. and Ladson A.R. 1991. Digital terrain modeling: review of hydrological, geomorphological and biological applications. *Hydrology Processing*, 5:3-30.
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. Saey, T., Van Meirvenne, M., Vermeersch, H., Ameloot, N. and Cockx L. 2009. A pedotransfer function to evaluate the soil profile textural heterogeneity using proximally sensed apparent electrical conductivity. *Geoderma*, 150: 389–395.
16. Shao, W.H., Ji, Y.J., Li, P.Y. and You L.B. 2006. Spatial variability of soil nutrients and influencing factors in a vegetable production area of Hebei Province in China. *Nutr Cycl Agroecosyst*, 75:201–212.
17. Sheng, J., Ma, L., Jiang, P., Li, B., Huang, F. and Wu, H. 2009. Digital soil mapping to enable classification of the salt-affected soils in desert agro-ecological zones. *Agricultural Water Management*, 35: 54-60.
18. Soleimani-damaneh, M. and Zarepisheh, M. 2009. Shannons entropy combining the efficiency results of different DEA models: Method and application, *Expert System with Applications*, P.5147.
19. Sparks, D. L., Page, A. L., Helmke, P. A., Leoppert, R. H., Soltanpour, P. N., Tabatabai, M. A., Johnston, G.T. and Summer M.E. 1996. *Methods of soil analysis*. Madison: Soil

Sci. Soc. of America.

20. 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.
21. Tarr, A.B., Moor, K.J., Bullock, D.G. and Dixon, P.M. 2005. Improving map accuracy of soil variables using soil electrical conductivity as a covariate. *Precision Agriculture*, 6:255–270.
22. Triantafilis, J. and Buchanan S.M. 2010. Mapping the spatial distribution of subsurface saline material in the Darling River valley. *Journal of Applied Geophysics*, 70: 144–160.
23. Triantafilis, J., Odeh, I.O. A. and McBratney A.B. 2001. Five Geostatistical Models to Predict Soil Salinity from Electromagnetic Induction Data across Irrigated Cotton. *Journal of Soil Science Society of America*, 65: 869–878.