

## بررسی تغییرات مکانی و پهنه‌بندی شوری اراضی کشاورزی جنوب تهران با استفاده از کریجینگ و GIS

فاطمه یزدانی‌نژاد<sup>۱</sup>، حسین ترابی‌گل‌سفیدی<sup>۲\*</sup>

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد گروه خاک‌شناسی دانشکده علوم کشاورزی دانشگاه شاهد

۲. استادیار گروه خاک‌شناسی دانشکده علوم کشاورزی دانشگاه شاهد

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۱۰/۱۳ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۲/۹/۶)

### چکیده

استفاده از آب‌های با کیفیت نامناسب در اراضی کشاورزی جنوب تهران خطر افزایش شوری این اراضی را افزایش داده و کشت انواع محصولات باغبانی و زراعی را با مشکل مواجه ساخته است. این تحقیق به منظور بررسی وضعیت شوری در بخشی از اراضی جنوب تهران و تهیه نقشه پراکنش آن انجام شد تا ضمن تهیه نقشه شوری خاک و شناسایی نواحی شور و غیر شور بتوان برای مدیریت و انتخاب نوع محصول تصمیم گرفت. منطقه مطالعه شده زمینی به وسعت ۲۰۰۰۰ هکتار از اراضی کشاورزی جنوب تهران در حد فاصل بزرگراه‌های آزادگان و تهران- ساوه و تهران- قم است. برای تهیه نقشه شوری خاک، به صورت شبکه منظم ۱۰۰۰ در ۱۰۰۰ متر در ۱۹۶ نقطه از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متر سطح خاک نمونه‌برداری انجام شد. هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک (ECe) اندازه‌گیری و تجزیه و تحلیل داده‌ها و تهیه نقشه شوری خاک با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) و روش درون‌یابی کریجینگ انجام شد. نتایج نشان داد هدایت الکتریکی عصاره اشباع منطقه مطالعه شده بین ۰/۲ تا ۱۴ دسی‌زیمنس بر متر متغیر است. بر اساس نقشه شوری خاک، خاک‌های مطالعه شده در چهار محدوده شوری ۰ تا ۲ و ۲ تا ۴ و ۴ تا ۸ و ۸ تا ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر و سهم هر یک از آن‌ها به ترتیب ۳۰/۴ و ۴۲/۴ و ۲۲/۶ و ۴/۵ درصد از کل مساحت مطالعه شده است. همچنین بهترین مدل برازش داده شده مدل نمایی بود. دامنه تأثیر در این مطالعه ۱۱۳۰ متر به دست آمد. با توجه به اینکه آستانه بسیاری از محصولات صیفی و سبزی در شوری کمتر از ۴ دسی‌زیمنس بر متر است، افزایش شوری منطقه جنوب تهران به سمت شوری بیشتر از ۴ دسی‌زیمنس بر متر نگران‌کننده است. مطالعات نشان داد خاک‌های منطقه به علت تفاوت در عمق آب زیرزمینی و پستی و بلندی اراضی و استفاده از آب با کیفیت نامناسب چاه‌های کم‌عمق و رودخانه و فاضلاب جهت آبیاری مزارع تحت تأثیر شوری است.

**کلیدواژگان:** اراضی کشاورزی جنوب تهران، پهنه‌بندی، شوری، کریجینگ، GIS.

### مقدمه

زمین‌های دنیا متأثر از پدیده شوری‌اند. سرعت شورشدن زمین‌ها در برخی کشورها، مانند ایران و مصر و آرژانتین، ۳۰ درصد بیشتر از دیگر کشورهاست و از حدود ۱۹ میلیون هکتار اراضی کشاورزی ایران حدود ۵۰ درصد آن‌ها، با درجات مختلف، مشکل شوری یا سدیمی یا غرقابی دارند (Daempanah *et al.*, 2011). از مجموع ۶/۸ میلیون هکتار اراضی کشاورزی کشور، که مبتلا به درجات مختلف شوری‌اند، حدود ۴/۳ میلیون هکتار از این اراضی، به غیر از شوری، محدودیت دیگری ندارند (Moameni, 2011). در جهان نیز یک‌پنجم اراضی کشاورزی آبی مشکل تجمع نمک در خاک را دارند. مناطق گسترده‌ای در چین، هند، پاکستان، آسیای میانه، و ایالات متحده در حال از دست دادن بهره‌وری خود به علت افزایش شوری‌اند (Postel, 1999). شوری باعث افزایش پتانسیل اسمزی و کاهش دسترسی گیاهان به آب و تأثیر مستقیم و منفی بر متابولیسم گیاه می‌شود (Douaik *et al.*, 2004).

دشت‌های جنوب استان تهران، با داشتن خاک عمیق و حاصل‌خیز، در تولید و تأمین انواع سبزیجات و محصولات زراعی نظیر گندم و ذرت علوفه‌ای این استان نقشی بسیار مهم دارند. در سال‌های اخیر ورود زه‌آب و فاضلاب‌های با کیفیت پایین به این اراضی مشکل شوری را در نقاط مختلف این زمین‌ها ایجاد کرده است. شوری منابع آب و خاک یکی از موانع بسیار مهم در تولید محصولات کشاورزی کشور است. این محدودیت به عوامل متعددی بستگی دارد؛ از جمله پراکنش وسیع رسوبات تبخیری، پایین بودن میزان بارندگی، بالابودن پتانسیل تبخیر و تعرق، وضعیت خاص توپوگرافی با ایجاد حوضه‌های آبریز بسته و نیمه‌بسته، آبیاری با آب‌های غیر متعارف (سطحی و زیرزمینی)، و کمبود شبکه‌های آبیاری و زهکشی. به طور میانگین ۲۰ درصد

\* نویسنده مسئول: htorabi@shahed.ac.ir

انجام شد. نتایج مناسب‌تر بودن روش کریجینگ را از میان دیگر روش‌ها نشان داد (Hosseini *et al.*, 1994).

به‌منظور بررسی شوری و سدیمی بودن خاک‌ها در بخشی از پلاپای واقع در جنوب شهرستان مه‌ولات، ۸۸ نمونه از عمق ۰ تا ۱۰ سانتی‌متری خاک از محل تقاطع خطوط یک شبکه منظم با ابعاد ۱۰۰۰ در ۱۰۰۰ متر برداشت و نقشه‌های شور و سدیمی با استفاده از فن دورسنجی و روش زمین‌آماری تهیه شد (Daempanah *et al.*, 2011). با مقایسه این دو روش مشخص شد در روش زمین‌آماري و استفاده از کریجینگ باید تعداد نقاط نمونه‌برداری بیشتر باشد؛ در صورتی که در روش دورسنجی با تعداد نقاط کمتر، ضمن صرفه‌جویی در وقت و هزینه، به نقشه‌هایی دقیق‌تر می‌توان دست یافت. تقسیم‌بندی سنتی خاک‌های شور و غیر شور، با توجه به اندازه‌گیری قابلیت هدایت الکتریکی عصاره گل اشباع، ۴ دسی‌زیمنس بر متر تعیین شده است. ولی در سال‌های اخیر کمیته واژه‌یابی انجمن خاک‌شناسی آمریکا پیشنهاد کرد این حد به ۲ دسی‌زیمنس بر متر کاهش یابد. زیرا تعداد بسیار زیادی از درختان میوه، سبزی‌ها، و گیاهان زینتی در شرایط شوری با هدایت الکتریکی (EC) بین ۲ تا ۴ دسی‌زیمنس بر متر خسارت می‌بینند. تحمل گیاهان مختلف در برابر شوری متفاوت است. بر این اساس می‌توان گیاهان را به چهار دسته تقسیم کرد: گروه متحمل، نیمه‌متحمل، نیمه‌حساس، حساس. تأثیر شوری بر گیاهان زراعی و مقاومت آن‌ها بسته به نوع گیاه و نوع گونه و مرحله رشد گیاه متفاوت است. هدف این مطالعه بررسی پراکنش شوری در اراضی کشاورزی جنوب تهران با استفاده از تکنیک زمین‌آمار و بررسی علل آن جهت توصیه کشت گیاهان متناسب با وضعیت شوری خاک است.

## مواد و روش‌ها

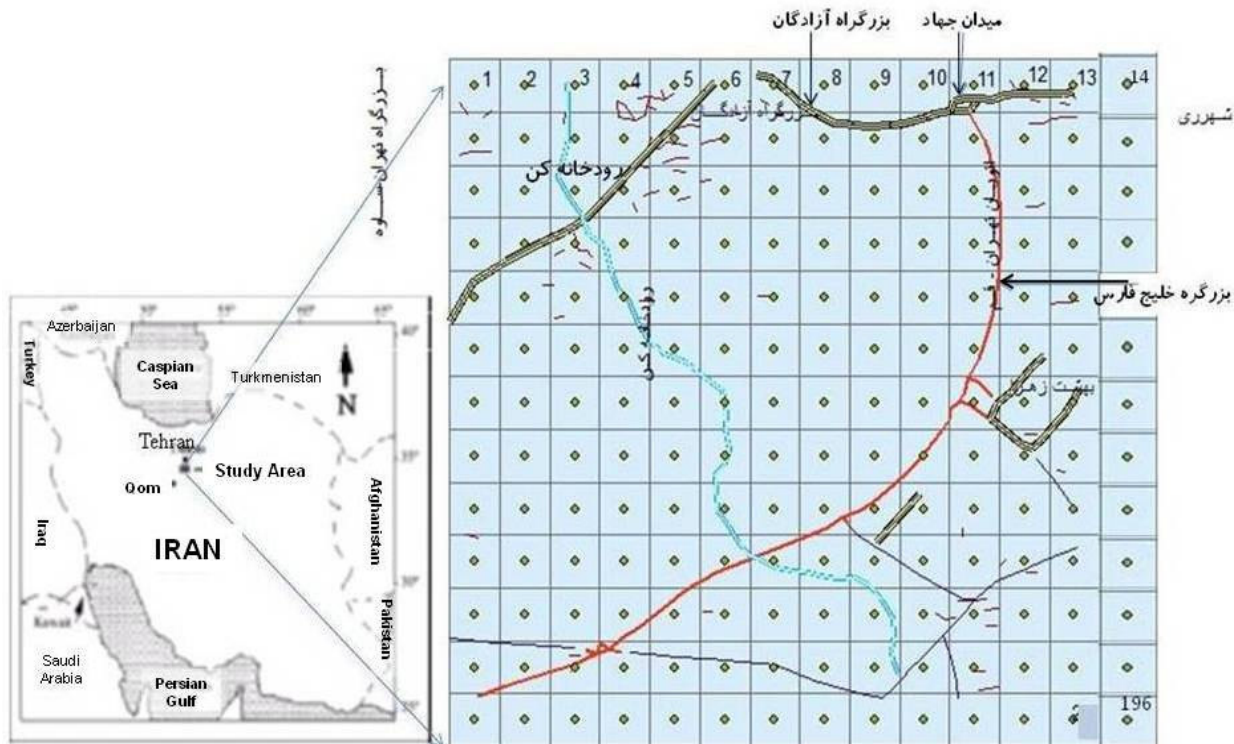
### معرفی منطقه مطالعه‌شده

استان تهران با مساحتی نزدیک به ۱۹۰۰۰ کیلومتر مربع در محدوده جغرافیایی ۵۱ تا ۵۳ درجه طول شرقی و ۳۵ درجه و ۲۱ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۲۰ دقیقه عرض شمالی واقع است. این استان از شمال به استان مازندران، از شرق به استان سمنان، از جنوب به استان‌های قم و مرکزی، و از غرب به استان قزوین محدود می‌شود. از نظر موقعیت، این استان در غرب دشت کویر و جنوب رشته‌کوه‌های البرز قرار دارد. طی ۵۵ سال گذشته، متوسط بارش سالیانه ۲۳۳ میلی‌متر و میانگین حرارت ۱۷٫۲ درجه سانتی‌گراد بوده است. منطقه مطالعه‌شده با حدود ۲۰۰۰۰ هکتار وسعت در جنوب تهران و در حد فاصل بزرگراه‌های آزادگان و ساوه- تهران و تهران- قم قرار دارد (شکل ۱).

بررسی تعیین پراکنش مکانی شوری و اسیدیته در سه عمق متفاوت و مقایسه دو روش کریجینگ و کوکریجینگ نشان داد روش کوکریجینگ برتری چندان محسوس نسبت به روش کریجینگ ندارد و با توجه به پیچیدگی این روش نسبت به کریجینگ، در شرایطی که تعداد نمونه‌ها برابر و مدل‌های برازش‌داده‌شده بر داده‌ها یکسان باشند، روش کریجینگ توصیه می‌شود (Ahmadali *et al.*, 2009). با استفاده از ایجاد همبستگی بین داده‌های ماهواره‌ای (لندست ETM - ۲۰۰۰ میلادی) و مقادیر به‌دست‌آمده از آنالیز ۲۳۶ نمونه خاک، نقشه شوری خاک دشت قزوین در محیط GIS تهیه شد (Abdinam, 2004). با استفاده از اطلاعات ماهواره‌ای در منطقه رودشت اصفهان، روشن شد در چند سال گذشته اراضی بیشتری دچار مشکل شوری شده‌اند و این افزایش شوری تحت تأثیر کانال‌های آبیاری و زهکشی به‌وجود آمده‌اند (Khorasgani and Karimi, 2009). مطالعه شوری در منطقه رامهرمز به روش ژئواستاتستیک انجام شد. در این تحقیق ۶۰۰ نمونه خاک به فواصل ۵۰۰ متر و از سه عمق متفاوت جمع‌آوری و از تابع آماری واریوگرام برای تجزیه و تحلیل ساختار فضایی متغیرها استفاده شد (Mohammadi, 1999).

مطالعه خاک‌های کلرادو نشان داد علت شوری این خاک‌ها هوازدگی طبیعی مواد معدنی یا فسیل‌های نمکی به‌جای‌مانده از دریا‌های قدیمی، شرایط آب‌وهوایی خشک، کیفیت بد آب، و منابع انسانی مانند فاضلاب‌های شهری است (Cardon *et al.*, 2007). پهنه‌بندی شوری در خاک‌های سواحل ابوظبی امارات با استفاده از GIS و سنجش از دور (RS) انجام شد (Abdelfattah *et al.*, 2009). به‌منظور برآورد و شناسایی تغییرات مکانی شوری و با اندازه‌گیری  $EC_e$  در ۲۰۰ کیلومتر مربع از اراضی کشاورزی شمال و جنوب منطقه بهار یا در مصر با استفاده از روش کوکریجینگ نقشه‌های پهنه‌بندی شوری این منطقه تهیه شد (Darwish *et al.*, 2002).

نقشه شوری سطح خاک با استفاده از داده‌های دورسنجی ETM<sup>+</sup> در دشت آق‌قلا با استفاده از شبکه نمونه‌برداری منظم ۲ در ۱۰ کیلومتر انجام شد (Tajgardan *et al.*, 2009). نقشه شوری خاک بخشی از اراضی شمال شرقی دشت آق‌قلا به صورت شبکه‌بندی منظم ۱۰۰ در ۱۰۰ متر در ۷۸۴ نقطه از عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متر با استفاده از روش کریجینگ و با کمک GIS تهیه شد (Ghaneie *et al.*, 2009). برای تعیین روش‌های مناسب میان‌یابی به‌منظور تهیه نقشه‌های خطوط هم‌مقدار شوری خاک در جنوب غربی ایران مطالعه‌ای انجام گرفت. این مطالعه در ۱۶ هزار هکتار از اراضی کشاورزی استان خوزستان



شکل ۱. نقشه تهران و منطقه مطالعه شده

کشیدگی محاسبه گردید. برای بررسی توزیع و آزمون نرمال بودن داده‌ها در سطح اطمینان ۹۵ درصد از آماره کولموگروف-اسمیرنوف استفاده شد. در شرایطی که داده‌ها توزیع نرمال نداشتند، با تبدیل‌های مناسب لگاریتمی یا ریشه دوم متغیر به توزیع نرمال تبدیل شدند. آنالیزهای آمار توصیفی با استفاده از نرم‌افزار SPSS انجام شد. الگوهای تغییرنا به‌وسیله نرم‌افزار GS<sup>+</sup> رسم و بهترین الگوی تغییرنا انتخاب شد و پهنه‌بندی شوری با کمک نرم‌افزار ArcGIS 10 انجام گرفت.

قبل از استفاده از روش‌های درون‌یابی آمار مکانی برای هر متغیر آزمون داده‌های پرت، روند، و همسان‌گردی انجام شد. وجود روند با استفاده از برازش مدل‌های خطی و غیرخطی پلی‌نومیال بر مقادیر متغیر نسبت به فواصل نمونه‌برداری در جهت X (شرق-غرب) و جهت Y (شمال-جنوب) بررسی شد. تغییرناها توابعی هستند که تغییرات متغیرهای ناحیه‌ای را کمی می‌کنند و مؤلفه‌ای بسیار مفید برای نشان دادن اختلاف بین نمونه‌ها در یک جهت یا در جهات مختلفاند (Hassanipak, 1998; Webster and Oliver, 2001; Mohammadi, 2006).

تغییرنا از رابطه زیر محاسبه گردید:

$$\gamma_i(h) = \frac{1}{2N_i(h)} \sum_{j=1}^{N_i(h)} [Z_i(x_j) - Z_i(x_j + h)]^2 \quad (\text{رابطه ۱})$$

گسترش بی‌رویه و نامناسب شهر تهران به سمت دشت‌های جنوب این شهر باعث شده برخی اراضی کشاورزی در احاطه مناطق مسکونی و تجاری و صنعتی قرار گیرند و فعالیت‌های انسانی به‌شدت بر این مناطق تأثیر بگذارند. در برخی از این مناطق فاضلاب شهری برای آبیاری به صورت مستقیم وارد این اراضی می‌شود (شکل ۲).

در این مطالعه به‌منظور نمونه‌برداری خاک محدوده‌ای به عرض حدود ۱۵ کیلومتر به موازات بزرگراه آزادگان در جهت غربی-شرقی به طول حدود ۱۵ کیلومتر در جهت شمال-جنوب انتخاب شد و از روش شبکه‌بندی منظم با فواصل ۱۰۰۰ در ۱۰۰۰ متر تعداد ۱۹۶ نمونه خاک از تقاطع بین خطوط و عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری برداشته شد. به‌منظور افزایش دقت نمونه‌برداری، نمونه‌ها در چهار جهت متفاوت از نقطه اصلی و با فاصله حدود ۲۰ متر از مرکز نقطه به صورت مرکب برداشت شد. پس از عملیات نمونه‌برداری، نمونه‌های خاک به آزمایشگاه منتقل و هواخشک شد و پس از کوبیدن از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شد. پس از تهیه گل اشباع، عصاره‌گیری با کمک پمپ خلأ انجام شد. هدایت الکتریکی به‌وسیله دستگاه هدایت‌سنج WTW مدل اینولب ۷۲۰ اندازه‌گیری شد.

#### روش آماری

اطلاعات اولیه آماری نمونه‌ها، شامل توزیع فراوانی داده‌ها و شاخص‌های آماری مانند میانگین، میانه، واریانس، چولگی، و



شکل ۲. نهر فاضلاب که مستقیم وارد اراضی کشاورزی می‌شود و یکی از منابع آبیاری برای زراعت است.

$d_i$  عبارت از فاصله بین نقطه تخمین تا هر یک از نمونه‌های واقع در همسایگی  $\hat{Z}(x_i)$  آن، مقدار تخمینی خاصیت، نقطه  $Z(x_i)$  مقدار مشاهده شده خاصیت مورد نظر در نقطه  $x_i$ ، و  $\alpha$  توان معکوس فاصله (پارامتر نمایی) است. در این روش به نقاط نزدیک به محل تخمین وزن بیشتر و نقاط دورتر وزن کمتری اختصاص می‌یابد. برای ارزیابی کارایی روش‌ها در پیش‌بینی خواص در نقاط نمونه‌برداری نشده از تکنیک کریجینگ جک نایف، آماره‌های میانگین خطا (رابطه ۳)، جذر میانگین مربعات خطای تخمین (رابطه ۴)، و ضریب تعیین (رابطه ۵) استفاده شد.

$$ME = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [\hat{Z}(x_i) - Z(x_i)] \quad \text{(رابطه ۳)}$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [\hat{Z}(x_i) - Z(x_i)]^2} \quad \text{(رابطه ۴)}$$

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (Z(x_i) - \hat{Z}(x_i))^2}{\sum_{i=1}^N (Z(x_i) - \bar{Z})^2} \quad \text{(رابطه ۵)}$$

$\hat{Z}(x_i)$  مقدار تخمینی خاصیت مورد نظر در نقطه  $x_i$ ،  $Z(x_i)$  مقدار مشاهده شده خاصیت مورد نظر در نقطه  $x_i$ ، و  $n$  تعداد نقاط است.

میانگین خطا مقدار اریب تخمین را نشان می‌دهد و اگر به صفر میل کند، روش نا اریب است (Robinson and

زوج مشاهدات،  $Z_i(x_j+h)$  و  $Z_i(x_j)$  مقدار متغیر در دو نقطه که به فاصله  $h$  از هم قرار دارند، و  $\gamma_i(h)$  نیم‌واریانس است. در این تحقیق با استفاده از نرم‌افزار GS+ (Version 5.1) نیم‌تغییرنمای همه متغیرهای مطالعه شده محاسبه و برای ارزیابی بهترین برازش مدل‌های تئوری (خطی، نمایی، کروی) بر نیم‌تغییرنمای تجربی از آماره‌های مجموع مربعات باقی‌مانده (RSS) و ضریب تعیین ( $R^2$ ) استفاده شد. برای پی‌بردن به قدرت ساختار (وابستگی) مکانی متغیر از رابطه  $C_0/(C+C_0)$  استفاده شد که در آن  $C_0$  واریانس قطعه‌ای و  $C+C_0$  آستانه نیم‌تغییرنماست. نسبت واریانس قطعه‌ای به آستانه سهم واریانس قطعه‌ای از کل تغییرات را نشان می‌دهند. با کمک این نسبت می‌توان میزان نسبی اثر واریانس قطعه‌ای را بین صفات مختلف مقایسه کرد (Trangmar et al., 1985). اگر مقدار این نسبت کمتر از ۲۵ درصد باشد، متغیر دارای وابستگی مکانی قوی، اگر بین ۲۵ تا ۷۵ درصد باشد، دارای وابستگی مکانی متوسط، و اگر بیشتر از ۷۵ درصد باشد، دارای وابستگی مکانی ضعیف است (Cambardella et al., 1994). پهنه‌بندی و تخمین متغیر شوری در نقاط نمونه‌برداری نشده برای مدل نمایی با استفاده از روش درون‌یابی کریجینگ انجام شد.

$$\hat{Z}(x_i) = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_i^\alpha} Z(x_i)}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_i^\alpha}} \quad \text{(رابطه ۲)}$$

از ۳۵ درصد تغییرپذیری بالایی دارد. در این مطالعه میزان ضریب تغییرات بیش از این مقدار بود. شکل ۴ هیستوگرام توزیع فراوانی شوری خاک را در محدوده‌های مختلف نشان می‌دهد. بیشترین و کمترین درصد اراضی از نظر شوری به ترتیب در محدوده ۴ تا ۸ و ۸ تا ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر قرار دارند. بر اساس اعلام کمیته اصلاحات جامعه خاک‌شناسان ایالات متحده مرز بین خاک‌های شور و غیر شور ۲ دسی‌زیمنس بر متر است. بنابراین، اغلب خاک‌های اراضی جنوب تهران در طبقه خاک‌های با شوری متوسط قرار دارند.

جدول ۱. خلاصه آماری داده‌های شوری (dS/m) قبل و بعد از تبدیل لگاریتمی

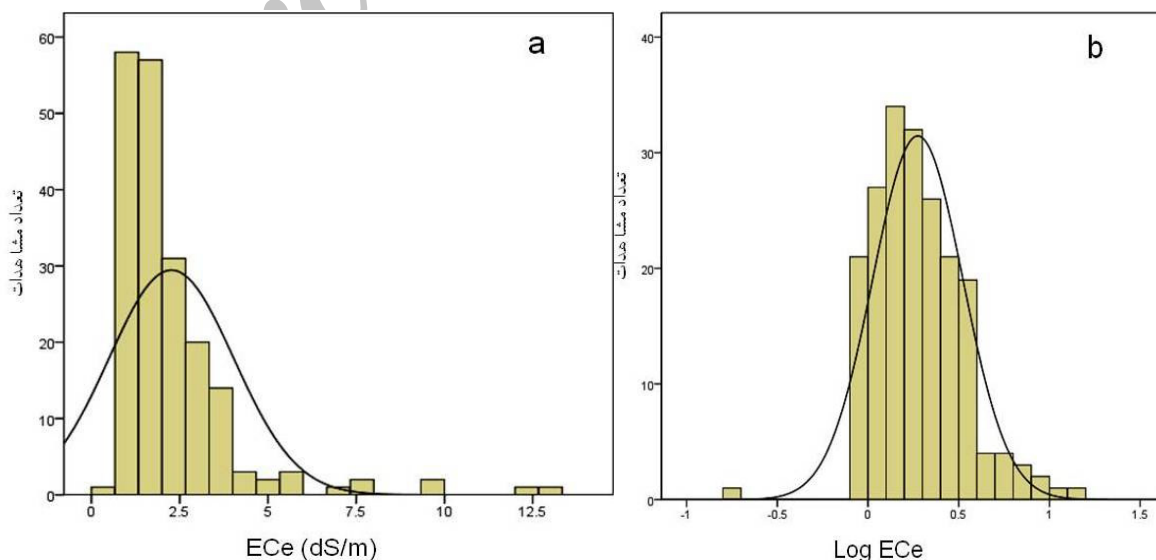
پارامتر آماری	داده‌های اصلی	بعد از تبدیل لگاریتمی
تعداد نمونه‌ها	۱۹۶	۱۹۶
میانگین	۲٫۲۶	۰٫۲۷
میانه	۱٫۷۹	۰٫۲۵
واریانس	۳٫۱۳	۰٫۰۶۲
حداقل	۰٫۲	-۰٫۸
حداکثر	۱۳	۱
چولگی	۳٫۲۷*	۰٫۶۳
کشیدگی	۱۳٫۸	۱٫۷
ضریب تغییرات	۰٫۷۵**	۰٫۸۸
آزمون کولموگروف-اسمیرنوف	۰٫۲۰۳**	۰٫۰۸ <sup>ns</sup>

\* معنادار در سطح احتمال ۵ درصد \*\* معنادار در سطح احتمال ۱ درصد  
ns غیر معنادار

(Metternicht, 2005). آماره RMSE معیاری از صحت تخمین است و هر اندازه RMSE یک متغیر کوچک‌تر باشد، صحت آن بیشتر خواهد بود. ضریب تعیین ( $R^2$ ) باید به عدد ۱ نزدیک باشد تا نشان‌دهنده مناسب بودن روش تخمین باشد.

### یافته‌ها و بحث

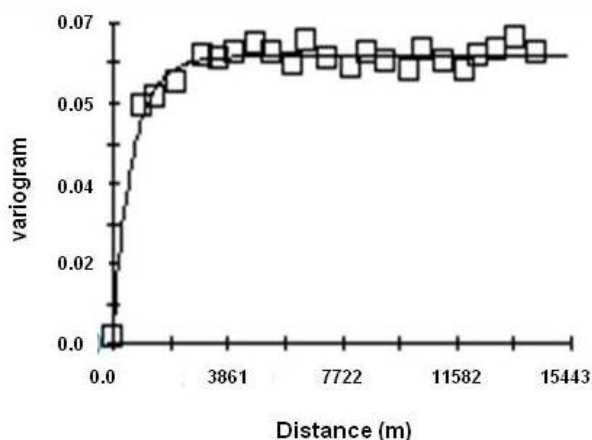
خلاصه آماری داده‌های شوری (جدول ۱) و منحنی فراوانی داده‌ها (شکل ۳a) بیانگر توزیع داده‌ها با چولگی زیاد در جهت مثبت است. در واقع چولگی دلالت بر غیر نرمال بودن توزیع فراوانی داده‌ها دارد و بیشتر بودن مقدار آن، بیانگر غیر یکنواخت بودن واریانس، وجود جوامع فرعی، یا داده‌های پرت است (Shakouri *et al.*, 2011). نتایج آزمون کولموگروف-اسمیرنوف نیز تأیید می‌کند داده‌های شوری غیر نرمال هستند (جدول ۱). از آنجا که زیادبودن انحراف از توزیع نرمال در تجزیه و تحلیل‌های آماری، به‌ویژه محاسبه واریوگرام، تأثیر نامطلوب دارد، لگاریتم داده‌های شوری گرفته شد. خلاصه آماری این داده‌ها نیز در جدول ۱ می‌آید. پس از گرفتن لگاریتم، مقدار میانگین و میانه بسیار به هم نزدیک شد. همچنین مقدار چولگی کاهش یافت (۰ تا ۱) که بیان‌کننده انحراف کم از توزیع نرمال است (شکل ۳b). پارامتر ضریب تغییرات بدون بعد است و می‌توان از آن برای مقایسه تغییرات یک صفت در مقیاس‌های متفاوت نمونه‌برداری استفاده کرد (Mohammadi, 2006). پژوهش Tajgardan *et al.* (2009) نشان داد بر اساس طبقه‌بندی وایلدینگ خصوصیات خاک با ضریب تغییرات بیش



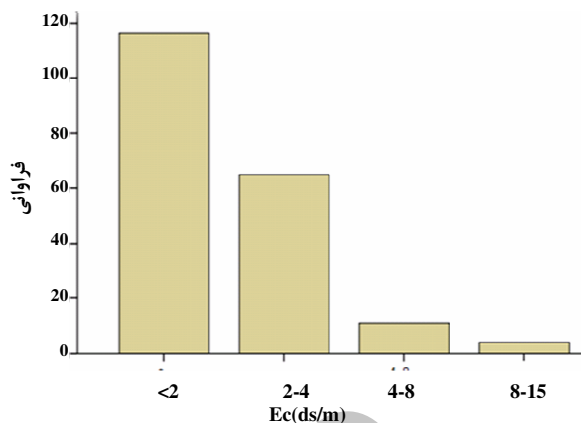
شکل ۳. توزیع فراوانی داده‌های شوری خاک، قبل (a) و بعد (b) از نرمال کردن



تعیین نقاط نمونه برداری نشده نیاز است (Hassanipak, 1998). از پارامترهای دیگر تغییرنا اثر قطعه‌ای است. اثر قطعه‌ای آن مقدار از واریانس است که در نتیجه عواملی مانند تغییرات مشخصه مورد بررسی در فواصل کمتر از کوتاه‌ترین فاصله نمونه برداری، خطاهای اندازه‌گیری، خطای نمونه برداری و آزمایشگاهی، و دیگر تغییرات پیش‌بینی‌ناپذیر روی می‌دهد (Mohammadi, 2006). میزان اثر قطعه‌ای در این تحقیق ۰/۰۲ بود. جهت بررسی استحکام ساختار فضایی با کمک نسبت  $C_0/(C+C_0)$  مشخص شد خصوصیت مورد مطالعه ساختار فضایی متوسط دارد. وابستگی مکانی قوی به وسیله تغییرات ذاتی ویژگی‌های خاک، مانند بافت خاک و کانی‌شناسی، و وابستگی مکانی ضعیف‌تر توسط تغییرات غیر ذاتی، مانند استفاده از فاضل اب‌های خانگی و صنعتی یا استفاده از کودهای آلی و شیمیایی، کنترل می‌شود.



شکل ۵. واریوگرام تجربی  $\ln(ECe)$  و مدل نمایی برازش داده شده



شکل ۴. هیستوگرام توزیع فراوانی در محدوده‌های شوری خاک

به منظور بررسی و مطالعه ساختار تغییرات مکانی داده‌های شوری، پس از تبدیل لگاریتمی داده‌ها، با در نظر گرفتن متوسط فاصله  $h=1000$  متر، واریوگرام تجربی رسم شد. شکل ۵ واریوگرام تجربی و مدل نظری برازش داده شده را نشان می‌دهد. بهترین مدل برازش داده شده مدل نمایی است. پارامترهای این مدل در جدول ۲ می‌آید. برای ارزیابی روش‌های درون‌یابی از توابع ME (قدر مطلق میانگین خطا)، RMSE (ریشه میانگین مربعات خطای تخمین)، و ارزیابی دو جانبه (cross validation) که معیاری از دقت و صحت تخمین را نشان می‌دهند استفاده شد. نتایج ارزیابی اعتبار مدل با استفاده از توابع ME و RMSE در جدول ۲ و شکل ۶ می‌آید. دامنه تأثیر واریوگرام در منطقه مطالعه شده ۱۱۳۰ متر است. دامنه تأثیر خصوصیات خاک تابعی از مقیاس مورد مطالعه و فاصله نمونه برداری و موقعیت سیمای اراضی است. بدیهی است دامنه تأثیر بزرگ‌تر بر ساختار مکانی گسترده‌تر، پراکنش پیرایشی‌تر (رونددار)، و در حقیقت پیوستگی مکانی بیشتر در مقادیر متغیر مورد نظر دلالت دارد. هر چه دامنه گسترده‌تر باشد به تعداد نمونه کمتری جهت

جدول ۲. ضرایب مدل برازش داده شده بر واریوگرام تجربی و مقادیر کنترل اعتبار برای تخمین کریجینگ شوری خاک

عمق (سانتی‌متر)	مدل	اثر قطعه‌ای	حد آستانه	دامنه تأثیر	$C_0/(C+C_0)$	$R^2$	ME	RMSE
۰-۳۰	نمایی	۰/۰۲	۰/۰۶	۱۱۳۰	۰/۳۳	۰/۸۲	۰/۰۱۸	۲/۱

اثر قطعه‌ای =  $(\ln(ECe))^2$ ، حد آستانه =  $(\ln(ECe))^2$ ، دامنه تأثیر (m)، ME: میانگین خطا، RMSE: ریشه میانگین مربعات خطای تخمین،  $R^2$ : ضریب تبیین

برای تهیه نقشه شوری خاک مشخص گردید. محدوده‌های شوری خاک شامل ۰ تا ۲، ۲ تا ۴، ۴ تا ۸، و ۸ تا ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر است که هر یک از این محدوده‌های شوری به ترتیب ۳۰/۴، ۴۲/۴، ۲۲/۶، و ۴/۵ درصد از کل مساحت منطقه مطالعه شده را شامل می‌شوند. به عبارت دیگر، ۶۰/۸۲

نقشه پراکنش و پهنه‌بندی شوری منطقه به روش کریجینگ معمولی و با استفاده از ArcGIS 10 ترسیم شد. نقشه‌ها در شکل ۶ می‌آید. با توجه به داده‌های به دست آمده از تجزیه هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک نمونه‌های برداشت شده از منطقه مورد مطالعه، ۴ محدوده شوری خاک

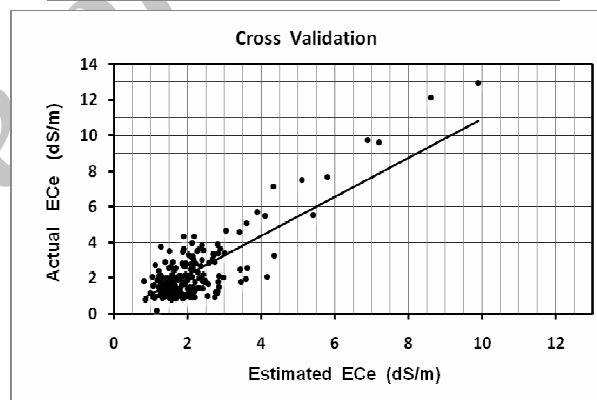
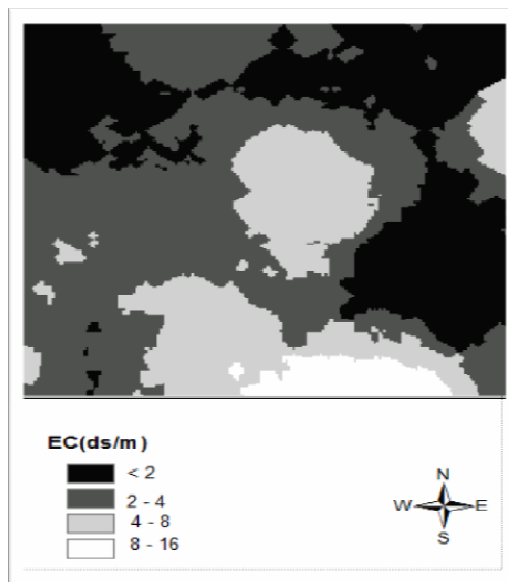
معرفی کردند. برای تهیه نقشه شوری منطقه مطالعه شده از روش کریجینگ استفاده شد؛ زیرا این روش بهترین تخمینگر خطی نارایب است و نتایج بهتری را نسبت به روش میان‌یابی معکوس فاصله (IDW) نشان می‌دهد. مقادیر  $R^2$ ، ME، و RMSE در روش میان‌یابی معکوس فاصله به ترتیب ۰/۸، ۰/۳، و ۲/۴۵ است که در مقایسه با روش کریجینگ (جدول ۲) مطلوبیت کمتری دارد. در همین زمینه Hosseini *et al.* (1994) جهت تهیه نقشه شوری اراضی خوزستان از روش کریجینگ، به دلیل دقت بالایی که نسبت به دیگر روش‌ها دارد، استفاده کردند. بر اساس توصیه کمیته اصلاحات جامعه خاک‌شناسان ایالات متحده مرز بین خاک‌های شور و غیر شور ۲ دسی‌زیمنس بر متر است و با توجه به کشت بسیاری از محصولات سبزی و صیفی که در برابر شوری بالای ۲ حساسیت بیشتری دارند، باید به چنین نقشه‌هایی بیشتر توجه کرد. پهنه‌بندی دامنه شوری خاک‌های منطقه مطالعه شده در شکل ۶ می‌آید.

مهم‌ترین علل افزایش شوری در برخی نقاط عبارت است از تفاوت در عمق آب زیرزمینی، پستی و بلندی اراضی منطقه، استفاده از آب چاه‌های کم‌عمق، استفاده از آب فاضلاب برای آبیاری مزارع، نزدیکی اراضی کشاورزی به مناطق مسکونی و صنعتی و دامپروری، و حتی نوع کشت. در برخی نقاط پست بالابودن سطح ایستابی و تجمع رواناب سطحی در مواقعی از سال باعث افزایش شوری خاک سطحی می‌شود. استمرار استفاده از آب‌های کم‌کیفیت به تدریج باعث افزایش نمک و شوری خاک خواهد شد. فاضلاب شهری و زه‌آب برخی فعالیت‌های صنعتی و دامداری‌ها حاوی املاحی هستند که باعث افزایش قابلیت هدایت الکتریکی آن‌ها می‌شود و ورود آن‌ها به اراضی کشاورزی نیز افزایش تدریجی شوری خاک را به دنبال دارد. کشت برخی سبزیجات و صیفی‌جات مستلزم استفاده زیاد از کودهای حیوانی است و استفاده مداوم از این کودها، که قابلیت هدایت الکتریکی بالایی دارند، می‌تواند باعث افزایش تدریجی شوری خاک شود.

### نتیجه‌گیری

نتایج نشان می‌دهد فقط ۳۰/۴ درصد (۶۰۸۲ هکتار) از اراضی منطقه مطالعه شده فاقد هر گونه مشکل شوری با قابلیت هدایت الکتریکی کمتر از ۲ دسی‌زیمنس بر متر است. این اراضی عمدتاً در مناطقی قرار دارند که از آب چاه عمیق استفاده می‌کنند. ۴۲/۴ درصد (۸۴۸۸ هکتار) از اراضی، با قابلیت هدایت الکتریکی ۲ تا ۴ دسی‌زیمنس بر متر، علاوه بر استفاده از آب

هکتار دارای ECe کمتر از ۲ دسی‌زیمنس بر متر، ۸۴۸۸ هکتار دارای ECe ۲ تا ۴ دسی‌زیمنس بر متر، ۴۵۲۶ هکتار دارای ECe ۴ تا ۸ دسی‌زیمنس بر متر، و ۹۰۴ هکتار دارای ECe ۸ تا ۱۳ دسی‌زیمنس بر متر است.



شکل ۶. نقشه‌های کریجینگ شوری در عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متر (چپ) و نمودار ارزیابی دوجانبه (Cross Validation) (راست)

نتایج نشان داد خاک‌های مطالعه شده از نظر شوری تغییرپذیری مکانی بالایی دارند (جدول ۱). این تحقیق با تحقیق Ghaneie *et al.* (2009) در استان گلستان، مبنی بر تغییرپذیری مکانی شوری بالا، مطابقت دارد. با توجه به نقشه‌های شوری (شکل ۶) و همچنین تطبیق همه اطلاعات توصیفی مکان نمونه‌برداری با نقشه شوری تهیه شده در محیط ArcGIS مشخص شد بیشترین شوری در اراضی پایین دست رودخانه کن، مجاور سوله‌های صنعتی و دامپروری و مناطق مسکونی، است که با آب‌های نامناسب و فاضلاب آبیاری می‌شوند. در همین زمینه Cardon *et al.* (2007) با مطالعه خاک‌های کلرادو به نتایجی مشابه رسیدند و علت شوری را کیفیت بد آب آبیاری و منابع انسانی، مانند فاضلاب‌های شهری،

دارند. وضع ظاهری زمین همراه بالابودن نسبی سطح ایستابی و استفاده از آب با کیفیت پایین عوامل اصلی شورشدن این اراضی‌اند. نتایج این تحقیق نشان داد اراضی کشاورزی جنوب تهران در معرض شورشدن قرار دارند و در حال حاضر امکان کشت بسیاری از سبزیجات و صیفی‌جات در بخش بزرگی از اراضی مطالعه‌شده با مشکلات جدی مواجه است و با کاهش عملکرد همراه خواهد بود. نقشه‌های پیوسته تهیه‌شده از این اراضی می‌تواند الگوی مناسبی برای انتخاب گیاه متحمل یا نیمه‌متحمل در برابر شوری در این اراضی باشد.

چاه‌های عمیق، به علت محدودیت‌های آبی در سال‌های اخیر، از آب فاضلاب برای آبیاری اراضی زراعی استفاده کرده‌اند. مناطق با قابلیت هدایت الکتریکی ۴ تا ۸ دسی‌زیمنس بر متر ۲۲/۶ درصد (۴۵۲۶ هکتار) از اراضی را اشغال کرده‌اند که اغلب این اراضی در دشت‌های مسطح‌تر بخش جنوبی قرار دارند و اغلب با آب فاضلاب و آب چاه‌های کم‌عمق و آب با کیفیت نامناسب پایین‌دست رودخانه کن آبیاری می‌شوند. ۴/۵ درصد (۹۰۴ هکتار) از اراضی با قابلیت هدایت الکتریکی ۸ تا ۱۳ دسی‌زیمنس بر متر نیز غالباً در اراضی پایین‌دست دشت قرار

## REFERENCES

- Abdelfattah, M., Shahid, S., and Othman, Y. (2009). Soil salinity mapping model developed using Rs and GIS A case study from Abu Dhabi, united Arab Emirates, *European Journal of Scientific Research*, 26 (3), 342-351.
- Abdinam, A. (2004). An investigation on preparing of the soil salinity map using correlation method between imagery and soil salinity data in the Qazvin plain, *Journal of Pazhouhesh and Sazandegi*, 64, 33-38, (In Farsi).
- Ahmadali, K., Nikmehr, S., and Liyaghat, A. (2009). Evaluation methods of kriging and cokriging for estimation salin and deep Acidity (case study: lands of Bookan region), *Iranian Water Research Journal*, 2, 55-64, (In Farsi).
- Cambardella, C. A., Boorman, T. B., Novak, J. M., Parkin, T. B., Karlen, D. L., Turco, R. F., and Konopka, A. E. (1994). Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. *Soil Sci Soc. Am. J.*, 58, 1501-1511.
- Cardon, G. E., Davis, J. G., Bauder, T. A., and Waskom, R. M. (2007). *Managing Saline Soils*, Colorado State University Extension Fact Sheet No. 0.503, Crop Series- Soil.
- Daempanah, R., Haghnia, Gh., Alizadeh, A., and Karimi, A. (2011). Mapping salinity and sodicity of surface soil by remote sensing and geostatistic methods in South Side of Mah Valat county, *Journal of Water and Soil*, 25(3), 498-508, (In Farsi).
- Darwish, Kh. M., Kotb, M. M., and Ali, R. (2002). Mapping soil salinity using collocated cokriging in Bahariya Oasis, Egypt, Soils & Water Use Dept., National Research Centre (NRC), El-Tahrir ST., Dokki, Cairo, Egypt (NRC), 1-9.
- Douaik, A., Meirvenne, V. M., and Tóth, T. (2004). *Spatio-temporal kriging of soil salinity rescaled from bulk soil electrical conductivity*, In: X Sanchez-Vila, J Carrera and J Gomez-Hernandez (eds.) *GeoEnv IV: geostatistics for environmental applications*, Kluwer Academic Publ., Dordrecht, The Netherlands.
- Ghaneie Motlagh, Gh., Pashae Aval, A., Khormali, F., and Mosaedi, A. (2009). Preparing the soil salinity map for site-specific management, Case study: some farmlands in northeast of Aq-Qala. *J. Agric. Sci. Natur. Resour.*, 15 (6), 1-9, (In Farsi).
- Hasanipak, A. (1998). *Geostatistics*. Tehran univ. Press, 314 p, (In Farsi).
- Hosseini, E., Gallichand, J. D., and Marcotte (1994). Theoretical and experimental performance of spatial interpolation methods for salinity analysis, *Trasc, ASAE*. 36, 1799-1807.
- Khorasgani, N. and Karimi, M. (2009). Studying salinity and land use changes for Roodasht region in Isfahan Plain using landsat TM and MSS satellite data, *Journal of soil and water Conservation*, 22 (2), 48-60, (In Farsi).
- Moameni, A. (2011). Geographic distribution and salinity levels of the soil resources of Iran, *Iranian Journal of Soil Research*, 24 (3), 203-215.
- Mohammadi, J. (1999). Study of the Spatial Variability of Soil Salinity in Ramhormoz Area (Khuzestan) Using Geostatistical Theory II. Cokriging, *JCPP*. 3 (1), 1-8.
- Mohammadi, J. (2006). *Spatial statistics (geo statistics-part 2)*, Pelk Pub, Tehran, 453 p, (In Farsi).
- Postel, S. L. (1999). *Pillar of salts: Can the irrigation miracle last?* W. W. Norton, New York.
- Robinson, T. P. and Metternicht, G. (2005). Testing the performance of spatial interpolation techniques for mapping soil properties, Elsevier B. V. All rights reserved. doi:10.1016/j.compag.
- Shakouri, M. Shabanpour, M., Asadi, H., Davatgar, N., and Babazadeh, Sh. (2011). Evaluation efficiency spatial interpolation techniques in mapping organic carbon and bulk density paddy soils of Guilan, *Journal of Water and Soil Conservation*, 18 (2), 195-209, (In Farsi).
- Tajgardan, T., Ayoubi, Sh., Shatai, Sh., and Khormali, F. (2009). Mapping soil surface salinity using remote sensing data of ETM<sup>+</sup> (Case study: North of Agh Ghala, Golestan Province), *Journal of Water and Soil Conservation*, 16 (2), 1-18, (In Farsi).
- Trangmar, B. B., Yost, R. S., and Uehara, G. (1985). Application of geostatistics to spatial studies of soil properties, *Advanced, Agr*. 38, 45-94.
- Webster, R. and Oliver, M. A. (2001). *Geostatistics for Environmental Scientists*, John Wiley and Sons, Brisbane, Australia.