

## تغییرات زمانی و مکانی شوری خاک در بخشی از اراضی طرح زهکشی ۲۸۰ هزار هکتاری استان گلستان

فاطمه ولی نژاد<sup>۱</sup>، مهدی ذاکری نیا<sup>۲\*</sup>، حسین کاظمی<sup>۳</sup>

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۰/۲۴)

(تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۳/۲۲)

### چکیده

شوری زدایی خاک در مزارع زهکشی شده به دلیل تأثیر منفی شوری خاک بر عملکرد محصول اهمیت زیادی دارد. بنابراین پایش شوری خاک به منظور مدیریت بهینه آب و خاک و پایداری اراضی کشاورزی امری ضروری است. از اراضی زهکشی شده ۴۴ نمونه از عمق صفر تا ۳۰ و ۳۰ تا ۶۰ سانتی متری خاک ۵ بار طی یکسال تهیه شد. جهت تهیه نقشه شوری و اسیدیته خاک از روش‌های GPI، LPL، IDW، Ok، RBF استفاده شد. برای ارزیابی دقت هر روش از RMSE و MAE استفاده شد. نتایج ارزیابی شوری در عمق صفر تا ۳۰ سانتی متری خاک، در ماه اول و سوم کریجینگ Stable در ماه دوم کریجینگ نمایی و در ماه چهارم و پنجم RBF مدل چند ربعی معکوس، بعنوان بهترین مدل انتخاب شدند. نتایج ارزیابی شوری در عمق ۳۰ تا ۶۰ نشان داد که در ماه اول و سوم کریجینگ Stable، در ماه دوم کریجینگ گوسی، در ماه چهارم کریجینگ نمایی در ماه پنجم RBF مدل چند ربعی معکوس بعنوان بهترین مدل انتخاب شدند. نتایج ارزیابی pH در عمق صفر تا ۳۰ سانتی متری خاک نشان داد در ماه اول در روش کریجینگ گوسی، ماه دوم و پنجم GPI با توان اول، ماه سوم روش IDW با توان دوم و ماه چهارم روش کریجینگ نمایی کمترین خطا را دارند. نتایج ارزیابی pH در عمق ۳۰ تا ۶۰ سانتی متری خاک در ماه اول، سوم و چهارم روش کریجینگ Stable و در ماه دوم و پنجم روش GPI با توان اول با کمترین خطا بعنوان بهترین روش انتخاب شدند. نتایج نشان داد که مشکل شوری و قلیائیت در غالب نقاط منطقه دیده می‌شود و میزان شوری در لایه سطحی خاک بیشتر از لایه عمقی می‌باشد. مقایسه نقشه شوری در ماه‌های مختلف هم مبین این است شوری در طی ۵ ماه پایش سیر نزولی داشته و روند کلی تغییرات pH نیز مانند EC است.

**واژه‌های کلیدی:** نقشه شوری خاک، نقشه اسیدیته خاک، درون‌یابی، ژئواستاتیک، GIS

ولی نژاد ف.، ذاکرینیا م.، کاظمی ح. ۱۴۰۳. تغییرات زمانی و مکانی شوری خاک در بخشی از اراضی طرح زهکشی ۲۸۰ هزار هکتاری استان گلستان. تحقیقات کاربردی خاک. جلد ۱۲، شماره ۱. صفحه: ۸۳-۹۵.

۱- دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

۲- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

۳- دانشیار گروه زراعت، دانشکده تولیدات گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

\* پست الکترونیک: [mzakerinia@gmail.com](mailto:mzakerinia@gmail.com)

## مقدمه

شور شدن خاک یکی از مهم‌ترین فرآیندهای مخرب خاک می‌باشد. وجود سدیم در خاک سبب پراکنش ذرات خاک و تخریب خاک شده و فرسایش خاک را تشدید می‌کند. در استان گلستان حدود ۳۰ درصد از کل ۲۴۰ هزار هکتار خاک‌های دشت گرگان که مناسب کشت گندم می‌باشند با محدودیت‌هایی نظیر بالا بودن سطح ایستابی و شوری متوسط و سنگین بودن بافت خاک رو برو هستند. (Mohajer & Azimbordi, 1993). بدین منظور نیاز به زهکشی یک مسئله پویا می‌باشد. بطور کلی هدف از زهکشی بعنوان بخشی از مدیریت آب کشاورزی، افزایش رشد محصولات و حفظ حاصلخیزی خاک می‌باشد. در این بین، شوری‌زدایی خاک در مزارع با زهکش روباز به دلیل تأثیر منفی شوری خاک بر عملکرد محصول اهمیت زیادی دارد. بنابراین پایش شوری خاک به منظور مدیریت بهینه آب و خاک و پایداری اراضی کشاورزی امری ضروری است (Aldabaa et al., 2015). نقشه شوری خاک با نمونه‌برداری و اندازه‌گیری هدایت الکتریکی خاک (EC) قابل بررسی است (Kazemi et al., 2012).

نمونه‌برداری و دیدبانی اغلب هزینه سنگینی بر دوش مطالعات زیست محیطی قرار می‌دهد. تکنیک‌هایی که بتوانند بینش ما را از توزیع زمانی و فضایی یک متغیر زیست محیطی، بدون افزایش میزان اندازه‌گیری توسعه دهند بسیار ارزشمندند. ژئواستاتیک<sup>۱</sup> تکنیک‌های متفاوتی را برای بهینه‌سازی استفاده از اطلاعات اندازه‌گیری شده به منظور میان‌یابی متغیرهای فضایی پیشنهاد می‌کند (Snepvangers et al., 2003). همچنین ژئواستاتیک می‌تواند برای مطالعات و پیش‌بینی ساختار ویژه متغیرهای زمین مرجع شده و تهیه نقشه ویژگی‌های خاک استفاده شود (Zendi et al., 2011). مطالعات زیادی در رابطه با استفاده از روش‌های درون‌یابی و تهیه نقشه‌های هم مقدار صورت گرفته است. دادکرمی و بصیرت (Dadkarami & Basirat, 2015) در مطالعه‌ای در دشت ارسنجان نشان داد بهترین مدل برای pH خاک در فصل زمستان و بهار کروی است و در فصل تابستان گوسی است و بهترین میان‌یابی برای pH خاک در زمستان روش IDW است. سلیمانی و همکاران (Soleimani et al., 2016) به ارزیابی کارایی روش‌های درون‌یابی برای تخمین pH و

EC خاک در منطقه درودزن استان فارس پرداختند. تمامی مقادیر EC و pH مربوط به عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر اول خاک با روش‌های درون‌یابی در مدل‌ها و توان‌های گوناگون مورد بررسی قرار دادند. نتایج برتری روش LPL با توان دو روش IDW با توان یک برای فاکتور pH را نشان داد. همچنین روش کریجینگ در مدل گوسن و IDW در توان یک به ترتیب بیشترین دقت را برای پارامتر EC در منطقه مورد مطالعه نشان داد. افزون بر این نتایج نشان داد دقت روش RBF و GPI نسبت به سایر روش‌ها پائین‌تر است. کاظمی و همکاران (Kazemi et al., 2013) طی مطالعه‌ای در استان گلستان، مدل کروی روش کریجینگ را با بالاترین دقت و کمترین خطا برای تخمین pH مناسب دانستند و مدل نمایی کریجینگ را دارای بالاترین دقت برای ارزیابی EC خاک در این منطقه معرفی کردند. لیو و همکاران (Liu et al., 2013) به منظور تهیه نقشه پهنه‌بندی pH خاک در چین نشان داد روش کریجینگ با بیشترین دقت به نسبت روش IDW و Spline کارایی بهتری دارد. مهدی و همکاران (Mehdi et al., 2013) pH خاک سطحی شهرستان سنجاب پاکستان را بررسی کردند و روش‌های میان‌یابی همچون کریجینگ، IDW، RBF و Spiline را بکار بردند نتایج برتری روش کریجینگ را بر سه روش دیگر نشان داد. صاحب‌نی و همکاران (Sahbeni et al., 2022) به مدل‌سازی فضایی شوری خاک با استفاده از تکنیک‌های کریجینگ در مجارستان پرداختند. در این مطالعه از چهار روش درون‌یابی کریجینگ، یعنی کریجینگ معمولی (OK)، کریجینگ تجربی (EBK)، کریجینگ کوکریجینگ (CK) و کریجینگ شاخص (IK) جهت مدل‌سازی فضایی استفاده شد. نتایج مطالعه کارایی کوکریجینگ را با کاهش میانگین مربعات خطا نشان داد. تهیه نقشه ساختار مکانی خصوصیات خاک می‌تواند برنامه‌ریزان را در عرصه‌های گوناگون مدیریتی چون مدیریت منابع طبیعی، برنامه‌ریزی عمرانی، مکان‌یابی اراضی مناسب برای توسعه کشاورزی و برنامه‌ریزی زیست محیطی یاری کند. برداشت‌های پی در پی پروفیل خاک سبب بروز آسیب‌هایی در خاک می‌شود. بنابراین، تعیین صحت روش مناسب با خاک هر منطقه به تخمین ویژگی‌های دیگر نقاط منطقه کمک می‌کند و باعث صرفه‌جویی در وقت و

دارد. در این پروژه زهکش های اصلی به مقدار ۴۵ کیلومتر و زهکش های فرعی به مقدار ۱۳۰ کیلومتر احداث شده است. جاده دسترسی به مقدار ۳۰ کیلومتر ابنیه پل معادل ۱۲۰ عدد احداث شده است. منطقه دارای دو زهکش اصلی به نام صفا ایشان و رهبری است. زهکش های منطقه مورد مطالعه سطحی می باشد و خروجی زهکش ها به تالاب گمیشان تخلیه می گردد. شبکه زهکشی شمال گمیشان سال ۱۳۹۷ اجرا شد. قبل از اجرای پروژه زهکشی عمق تراز آب زیرزمینی در ۰/۵ متری سطح زمین بوده که با احداث زهکش های فرعی در فواصل مناسب عمق تراز آب زیرزمینی به بیش از یک متر افزایش یافته است. زه آب های موجود در زهکش های سنتی قبل از اجرای پروژه دارای  $EC(\mu m/cm)$  از ۲۰ تا ۵۰ هزار بوده که بعد از اجرای شبکه زهکشی و جمع آوری رواناب های ناشی از بارندگی به کمتر از ۱۰ هزار کاهش یافته است.

#### نمونه برداری

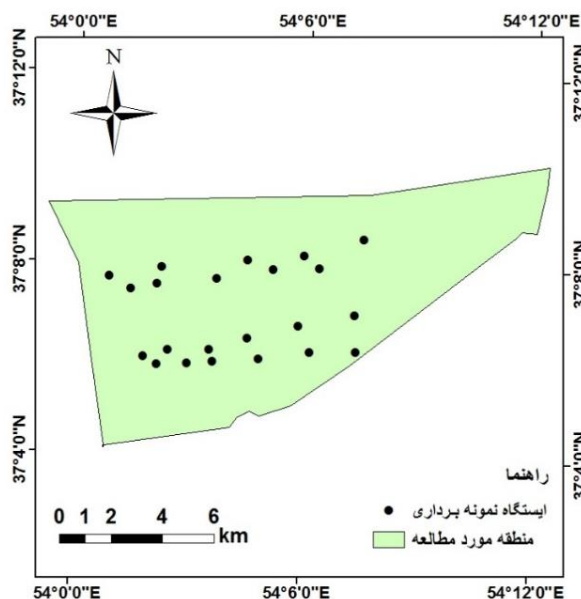
جهت تهیه نقشه شوری و pH خاک ۴۴ نمونه از عمق ۰-۳۰ و ۳۰-۶۰ سانتی متر ۵ بار طی یکسال (خرداد، مهر، آذر، بهمن ۱۴۰۰ و اردیبهشت ۱۴۰۱) در اراضی زهکشی شده منطقه برداشت شد. نمونه های خاک پس از هوا خشک شدن از الک دو میلیمتری عبور داده شد. اسیدیته از گل اشباع و هدایت الکتریکی از عصاره گل اشباع به ترتیب از دستگاه pH متر و EC متر مدل AZ تایوان قرائت شد

هزینه می شود. در این مطالعه جهت پایش شوری خاک در منطقه زهکشی شده شمال گمیشان واقع در استان گلستان نمونه برداری در مکان های مختلف طی دوره زمانی یکساله صورت گرفت. سپس در این مطالعه سعی شد با تمرکز بر مقایسه توان ها و مدل های مربوط به روش های درون یابی گوناگون، کارایی و تناسب این روش ها در نرم افزار ArcGIS برای تعیین پراکنش pH و EC خاک ارزیابی شود. از پنج روش IDW, LPI, GPI, RBF و کریجینگ برای یافتن مناسب ترین پیش بینی پارامتر های pH و EC خاک منطقه زهکشی شده استفاده می شود و دقت و صحت این روش ها از طریق آماره خطا بررسی می شود.

#### مواد و روش ها

##### منطقه مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه در استان گلستان در بخشی از اراضی شمالی شهرستان گمیشان به مساحت ۱۲۰۰۰ هکتار در طول جغرافیایی  $54^{\circ}0'$  تا  $54^{\circ}12'$  شرقی و عرض جغرافیایی  $37^{\circ}04'$  تا  $37^{\circ}12'$  شمالی قرار دارد که زهکش های رهبری و صفا ایشان در آن واقع شده است. متوسط درجه حرارت سالیانه منطقه بر اساس مطالعات هواشناسی ۱۹/۹ درجه سانتی گراد و متوسط بارندگی سالیانه در حدود ۳۶۱ میلی متر می باشد. آب و هوای منطقه با توجه به دما و بارش در اقلیم خشک معتدل قرار



شکل ۱- منطقه مورد مطالعه و وضعیت پراکنش نقاط نمونه برداری خاک

Figure 1. The studied area and the distribution of soil sampling point

## روش‌های درون‌یابی

می‌شود. در این تحقیق از توان ۱ تا ۳ استفاده شد (Kazemi et al., 2012).

روش وزنی عکس فاصله‌ها (IDW)<sup>۱</sup>

مقدار یک متغیر در نقطه‌ای که نمونه‌برداری انجام نشده باشد از روی نقاط مجاورش با استفاده از رابطه (۱) تخمین زده می‌شود: (Ghorbani, 2012)

$$z^* = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{z_i}{d_i^q}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_i^q}} \quad (1)$$

روش کریجینگ معمولی (Ok)<sup>۲</sup>

روش چند جمله‌ای موضعی (LPI)<sup>۹</sup>  
این روش یک دامنه کوتاه از تغییرات در داده‌های ورودی در نظر می‌گیرد و به فاصله بین نقاط حساس است. از داده‌های همه‌ی نقاط برداشت شده برای برآورد مقدار نقطه مجهول استفاده نمی‌شود. در این روش ممکن است تعداد نقاط محدودی در درون‌یابی به کار گرفته شود که تا نقطه مورد نظر کمترین فاصله را دارند. به بیانی دیگر، در این روش نقاط همسایه بر اساس تعداد یا فاصله تعریف می‌شوند. اگر تغییرات مکانی متغیر زیاد باشد، مدل‌های محلی نتایج بهتری به دست می‌دهد. با این حال، تعداد نقاط همسایه که برای برآورد در یک نقطه معین به کار گرفته می‌شوند در کیفیت نتایج تأثیر بسزایی دارند. در این روش از توان ۱ تا ۳ استفاده شد (Kazemi et al., 2012)

روش کریجینگ یک روش تخمین آماری است که مقادیر معلوم و یک نیم تغییرنما، برآورد می‌کند. این روش بر منطق "میانگین متحرک وزن دار" استوار می‌باشد. کریجینگ علاوه بر تخمین مقادیر مجهول، خطای مرتبط با آن تخمین را نیز حساب می‌کند. بنابراین می‌توان فاصله اطمینان تخمین را برای هر مقدار برآورد شده محاسبه کرد (Ghorbani, 2012)

$$Z^*(X_i) = \sum_{i=1}^n \lambda_i z(x_i) \quad (2)$$

$Z^*(X_i)$ : مقدار برآورد در نقطه  $X_i$ ،  $\lambda_i$ : وزن مربوط به متغیر  $Z$ ،  $Z(X_i)$ : مقدار مشاهده شده متغیر اصلی است. نرمال بودن  $Z$  شرط استفاده از این تخمینگر است. اگر  $Z$  توزیع نرمال نداشته باشد، باید از کریجینگ غیرخطی ناربب استفاده کرد، باید عاری از خطای سیستماتیک باشد و واریانس تخمین آن نیز حداقل باشد. در این تحقیق از کریجینگ کروی<sup>۳</sup>، نمایی<sup>۴</sup>، گوسی<sup>۵</sup>، پایدار<sup>۶</sup> و دایره‌ای<sup>۷</sup> استفاده شد.

روش چند جمله‌ای سراسری (GPI)<sup>۸</sup>

روش تابع پایه شعاعی (RBF)<sup>۱۰</sup>  
از جمله روش‌های درون‌یابی است که در آن سطح تخمین از مقادیر مشاهده‌ای عبور می‌کند. از خصوصیات این روش که حالتی از شبکه مصنوعی می‌باشد، این است که مقادیر بیشتر از حداکثر مشاهده‌ای و یا کمتر از حداقل مشاهده‌ای در سطح تخمین وجود دارد. روش تابع پایه شعاعی بر اساس چند تابع مختلف، درون‌یابی داده‌ها را انجام می‌دهد که هسته اصلی توابع، مجموع مقایر مربعات  $(R^2 + h^2)$  است که به ترتیب  $R$  عامل هموار کننده<sup>۱۱</sup> و  $h$  ترسیم ناهمسان‌گرد<sup>۱۲</sup> مرتبط با فاصله نقاط است. در این تحقیق از توابع: چند ربعی معکوس<sup>۱۳</sup>، چند ربعی<sup>۱۴</sup>، نواری کم ضخامت<sup>۱۵</sup>، نواری کاملاً منظم<sup>۱۶</sup> و نواری با تنش<sup>۱۷</sup> استفاده شد (Kazemi et al., 2012)

این روش یک مدل رگرسیونی چند متغیره بر اساس تمامی داده‌ها پدید می‌آورد و سپس یک سطح تفهیمی ایجاد می‌کند. این روش مدلی بر نقاط نمونه‌برداری برازش می‌کند که می‌تواند یک سطح چند ضلعی با توان یک، دو یا چهار باشد. در درون‌یابی سراسری، برای برآورد نقاط مجهول از داده‌های همه نقاط اندازه‌گیری شده استفاده

## معیارهای ارزیابی روش‌های درون‌یابی

9-Local Polynomial Interpolation Method  
10-Radial Basis Fuction Method  
11-Smoothing Factor  
12-Anisotropically Rescaled Factor  
13-Inverse Multiquartic  
14-Multiquartic  
15-Thin Plate Spline  
16-Complatly Regular Spline  
17-Spline Whit Tension

1-IDW:Inverse distant weight Method  
2-OK: Ordinary Kriging  
3-Spherical  
4-Exponential  
5-Gaussia  
6- Stable  
7- Circular  
8-Global Polynomial Interpolation Method

یک به سه افزایش یافته است (جدول ۱ و ۲). روش درون-یاب LPI با برقراری چند رابطه رگرسیونی بین مختصات طول و عرض جغرافیایی ایستگاه‌ها با شوری ایستگاه‌ها استفاده می‌کند تا مقدار شوری در کل منطقه را درون‌یابی کند نیز با افزایش درجه چند جمله‌ای مقدار RMSE و MAE افزایش می‌یابد (جدول ۱ و ۲). در این مطالعه در عمق ۰-۳۰ سانتیمتری خاک جهت تخمین شوری، در ماه اول و سوم کریجینگ Stable در ماه دوم کریجینگ نمایی و در ماه چهارم و پنجم RBF مدل چند ربعی معکوس، با کمترین RMSE و MAE بعنوان بهترین مدل جهت تهیه نقشه استفاده شد. نتایج تخمین شوری در عمق ۰-۶۰ سانتیمتری به این صورت بود که در ماه اول و سوم کریجینگ Stable، در ماه دوم کریجینگ گوسی، در ماه چهارم کریجینگ نمایی و در ماه پنجم RBF مدل چند ربعی معکوس با کمترین RMSE و MAE بعنوان بهترین مدل انتخاب شدند. نقشه‌های شوری خاک در منطقه مورد مطالعه (شکل ۲ و ۳) نشان دهنده تغییرپذیری زیاد خاک از لحاظ شوری می‌باشد. توزیع شوری در منطقه نشان می‌دهد که منطقه با مشکل شوری مواجه است. شوری خاک منطقه در هر دو عمق از ۵ تا ۴۴ دسی زیمنس بر متر متغیر است. علت شوری خاک منطقه عوامل طبیعی همچون وضعیت زمین‌شناسی، شرایط آب و هوایی و غیره می‌باشد. مهمترین عامل شور و قلیا شدن در مجموعه خاک منطقه، سفره آب زیرزمینی با کیفیت نامناسب که در عمق کمی نسبت به زمین واقع شده است، در معرض تبخیر شدید قرار دارد و هر گونه اختلاف ارتفاع و شیب هر چند ناچیز در وضعیت اراضی از نظر میزان نفوذپذیری و زهکشی و در نهایت شور و قلیایی شدن آن نقش اساسی دارد. بنابراین وضعیت ژئومورفولوژیکی حاکم بر منطقه از جمله اراضی پست و بافت نسبتاً سنگین (لوم و سیلتی کلی لوم) موجب ماندابی و شور و قلیا شدن اراضی می‌گردد. محمدی (۱۳۷۷) در بررسی تغییرات مکانی شوری را در منطقه رامهرمز در ۴ واحد فیزیوگرافی شامل: فلات، دشت آبرفتی رودخانه، دشت آبرفتی دامنه‌ای و اراضی پست نشان دادند نقشه شوری ارتباط مستقیمی با لندسکیپ منطقه مطالعاتی دارد و اراضی پست دارای سطح ایستابی بالا و بیشترین شوری می‌باشند و در برخی مناطق سطح خاک آن‌ها با لایه‌ای از نمک پوشیده شده است. کلیچ و

برای ارزیابی تخمین‌گرهای استفاده شده از تکنیک ارزیابی متقابل استفاده شد. در این روش برای کلیه نقاط مشاهده‌ای در هر مرحله یک نقطه مشاهده‌ای حذف و با استفاده از بقیه‌ی نقاط مشاهده‌ای آن نقطه برآورد می‌شود. معیارهای مختلفی برای ارزیابی کارایی روش‌های میان‌یابی وجود دارد که در این تحقیق از معیار آماری میانگین خطای مطلق<sup>۱</sup> و ریشه مجذور مربعات خطا<sup>۲</sup> از روابط زیر استفاده می‌شود (Ghorbani, 2012; Karandish, 2015).

$$MAE = \sum_{i=1}^n |z_{(x_i)}^* - z_{(x_i)}| / n \quad (3)$$

$$RMSE = \left( \left( \sum_{i=1}^n (z_{(x_i)}^* - z_{(x_i)}) \right)^2 / n \right)^{1/n} \quad (4)$$

### توصیف آماری داده‌ها

جهت تهیه نقشه شوری و اسیدیته خاک قبل از انجام هر محاسبه‌ای تست نرمال بودن داده‌ها در نرم افزار ArcGis 10.8 صورت گرفت. داده‌های شوری و اسیدیته مورد مطالعه دارای توزیع نرمال هستند و نیازی به تبدیل داده‌ها نبود. بنابراین تمامی پردازش‌های زمین‌آماری با داده‌های اصلی صورت گرفت. سپس با استفاده از روش‌های مختلف زمین‌آماری که در قسمت مواد و روش‌ها ذکر گردید دقت درون‌یابی مقادیر مورد نظر، بررسی گردید. بدین ترتیب مدلی که داری کمترین مقدار RMSE و MAE بود بعنوان بهترین مدل جهت تهیه نقشه انتخاب شد و سپس از نرم افزار ArcGis 10.8 نقش‌های مورد نظر تهیه شد.

### نتایج و بحث

شوری خاک: نتایج ارزیابی درون‌یابی شوری خاک در دو عمق ۰-۳۰ و ۰-۶۰ سانتی‌متری خاک در طی ۵ ماه، در جدول (۱) و (۲) ارائه شده است. از بین ۱۹ روش-مدل مورد استفاده در این مطالعه، جهت تخمین شوری در عمق ۰-۳۰ و ۰-۶۰ سانتی‌متری خاک، روش درون‌یاب GPI مقدار شوری را در کل منطقه مورد مطالعه با برقراری یک رابطه چند جمله‌ای بین مختصات طول و عرض جغرافیایی ایستگاه‌های نمونه‌برداری درون‌یابی می‌کند. نتایج نشان داد مقدار RMSE و MAE که خطای پیش‌بینی را نشان می‌دهد با افزایش درجه چند جمله‌ای از

2-Root mean square error

1-Mean absolute error

همکاران (۲۰۱۳) که روش کریجینگ را مناسب‌ترین روش جهت تخمین EC و pH خاک معرفی کردند با بخشی از نتایج تحقیق حاضر که برای EC خاک در عمق ۰-۳۰ سانتی‌متر در سه ماه و عمق ۳۰-۶۰ سانتی‌متر در چهار ماه و برای pH در عمق ۰-۳۰ در ماه اول و سوم و pH در عمق ۳۰-۶۰ در ماه اول، سوم و چهارم روش کریجینگ برتری داشت، مشابه است. همچنین نتایج تحقیق حاضر با نتایج کاظمی و همکاران (۲۰۱۲) که جهت تخمین pH کریجینگ کروی و تخمین EC کریجینگ نمایی را مناسب دانست مشابه است. به دلیل اینکه در تحقیق حاضر نیز برای فاکتور EC در عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری خاک در ماه دوم کریجینگ نمایی و برای فاکتور pH در عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری خاک در ماه اول کریجینگ کروی را بعنوان بهترین تخمین‌گر شناخت. با توجه به نتایج بدست آمده خاک منطقه در طبقه خاک-های شور و قلیایی قرار دارد. روند کلی تغییرات pH خاک مانند EC خاک بود. نتایج نشان داد pH خاک منطقه در هر دو عمق از ۷/۳ تا ۸/۵ متغیر است. دلایل تغییرات pH خاک را می‌توان علاوه بر شرایط حاکم بر منطقه به مدیریت اعمال شده در مزارع نیز ربط داد. با کاربرد کود-های شیمیایی، کودهای دامی و خاک‌ورزی‌های مختلف نیز pH تحت تأثیر قرار می‌گیرد. علت تغییر پذیری بالای شوری و اسیدیته خاک در پژوهش حاضر علاوه بر موارد ذکر شده می‌توان شرایط نمونه‌برداری نیز دانست. زیرا با توجه به هدف مورد بررسی سعی شد نمونه‌برداری در شرایط تر سالی و خشک‌سالی و در مکان‌هایی با خصوصیات متفاوت از نظر پوشش گیاهی، خصوصیات خاک و شرایط ژئومورفولوژیکی و غیره صورت گیرد. برای افزایش نقشه‌های پارامترهای دیگری که همبستگی بالایی با نقشه‌های خاک دارند بررسی شود زیرا توزیع فضایی pH و EC خاک با دیگر فاکتورهای زیست محیطی در مقیاس فضایی متفاوت همچون بارش، ارتفاع، عوارض زمین، نوع خاک و پوشش سطحی و گیاهی کنترل می‌شود.

همکاران (۲۰۰۷) در بررسی تغییرات مکانی شوری و قلیائیت در ترکیه با استفاده از زمین آمار نشان دادند که بالا بودن سطح آب زیرزمینی و کیفیت بد آب آبیاری عامل‌های شوری منطقه می‌باشند. میزان شوری در شمال منطقه مطالعاتی در عمق ۰-۳۰ و ۳۰-۶۰ سانتی‌متری به دلیل نزدیکی به دریا و اختلاط آن با سفره آب زیرزمینی بیشتر است. پایش خاک در منطقه از تابستان ۱۴۰۰ تا بهار ۱۴۰۱، نشان می‌دهد EC خاک در این بازه سیر نزولی داشته علت این امر را می‌توان احداث شبکه زهکشی در منطقه دانست که با کاهش سطح آب زیر زمینی تا حدودی از میزان شوری خاک کاسته است. مقایسه نقشه شوری اعماق مختلف خاک هم‌گویای این واقعیت است که میزان شوری در لایه سطحی خاک بیشتر از لایه عمقی بوده که دلالت بر غالب بودن فرآیند صعود مویبگی املاح در نیم‌رخ خاک را دارد.

اسیدیته خاک: نتایج ارزیابی روش‌های درون‌یابی اسیدیته خاک در جداول (۳) و (۴) نمایش داده شده است. نتایج نشان می‌دهد اسیدیته خاک در عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری در ماه اول روش کریجینگ کروی، ماه دوم و پنجم GPI با توان اول، ماه سوم روش IDW با توان دوم و ماه چهارم روش کریجینگ نمایی با کمترین RMSE و MAE بعنوان بهترین روش انتخاب شدند. اسیدیته خاک در عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری خاک در ماه اول، سوم و چهارم روش کریجینگ Stable و در ماه دوم و پنجم روش GPI با توان اول با کمترین RMSE و MAE بعنوان بهترین روش انتخاب شدند. مطالعه سلیمانی سارو و همکاران (۱۳۹۵) که روش کریجینگ برای فاکتور EC و IDW را برای pH پیشنهاد دادند مشابه بخشی از نتایج پژوهش حاضر است چون در تحقیق حاضر نیز برای فاکتور EC در عمق ۰-۳۰ سانتی‌متر سه ماه و در عمق ۳۰-۶۰ سانتی‌متر در چهار ماه روش کریجینگ و برای فاکتور pH در عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری در ماه سوم روش IDW دارای دقت بهتری است. نتایج مطالعه دلبری و جهانی (۱۳۹۳) و لیو و

جدول ۱- نتایج ارزیابی روش‌های زمین آماری در تخمین شوری خاک (EC) در ۵ ماه در عمق ۰-۳۰ سانتی متری خاک

منطقه گمیشان استان گلستان

Table1. Evaluation results of geostatistical methods in estimating soil salinity (EC) in 5 months at a depth of 0-30 cm in Gomishan region of Golestan province

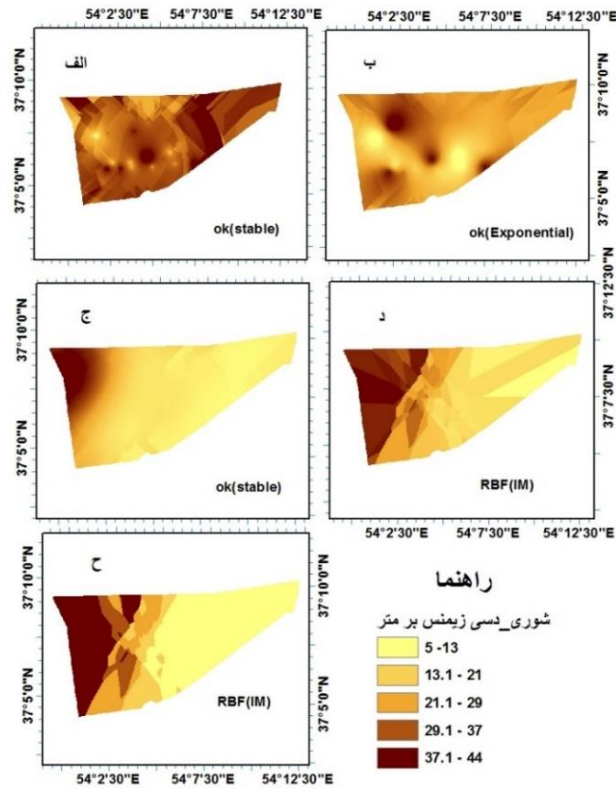
روش	مدل	RMSE					MAE				
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
IDW	IDW <sub>1</sub>	9.22	8.65	8.28	7.90	8.11	4.58	3.56	3.09	2.15	2.59
	IDW <sub>2</sub>	10.19	9.46	9.01	8.66	8.38	5.41	4.02	3.37	2.44	3.01
	IDW <sub>3</sub>	11.00	10.19	9.67	9.25	9.46	5.56	4.30	3.58	2.44	3.54
GPI	GPI <sub>1</sub>	8.99	8.58	8.00	7.85	8.04	4.35	3.60	3.03	2.05	2.60
	GPI <sub>2</sub>	9.68	9.32	9.15	8.92	9.19	4.80	4.07	3.50	2.48	3.20
	GPI <sub>3</sub>	14.51	14.30	14.28	14.37	14.21	6.05	4.48	5.95	3.89	4.43
LPI	LPI <sub>1</sub>	9.59	9.18	8.96	8.50	8.72	4.80	4.01	3.01	2.41	2.75
	LPI <sub>2</sub>	9.83	9.76	9.65	9.58	9.77	4.91	4.08	3.58	2.80	3.98
	LPI <sub>3</sub>	11.19	12.24	12.69	13.14	13.12	5.58	4.27	4.99	3.88	4.25
RBF	CRS	9.79	9.15	8.71	8.38	8.54	4.90	3.99	3.46	2.37	2.98
	IM	8.54	8.06	8.78	7.48	7.55	4.03	3.04	3.46	1.99	2.28
	M	10.65	10.17	9.71	9.28	9.32	5.42	4.30	3.72	2.65	3.03
	SWT	9.62	9.01	8.58	8.27	8.41	4.81	3.98	3.43	2.30	2.84
	TPS	10.71	10.16	9.84	9.44	10.03	5.56	4.21	3.72	2.74	4.20
OK	Stable	4.96	7.26	7.27	8.04	8.22	2.39	2.78	2.55	2.25	2.68
	Circular	5.68	6.94	7.33	8.05	7.86	2.84	2.80	2.69	2.31	2.32
	Gaussian	5.72	7.26	7.28	8.04	7.86	2.96	2.79	2.58	2.33	2.33
	Exponential	5.72	6.65	7.75	8.09	8.24	2.98	2.53	2.86	2.28	2.67
	Spherical	5.72	6.88	7.45	8.05	7.86	3.01	2.82	2.83	2.40	2.34

جدول ۲- نتایج ارزیابی روش‌های زمین آماری در تخمین شوری خاک (EC) در ۵ ماه در عمق ۳۰-۶۰ سانتی متری خاک

منطقه گمیشان استان گلستان

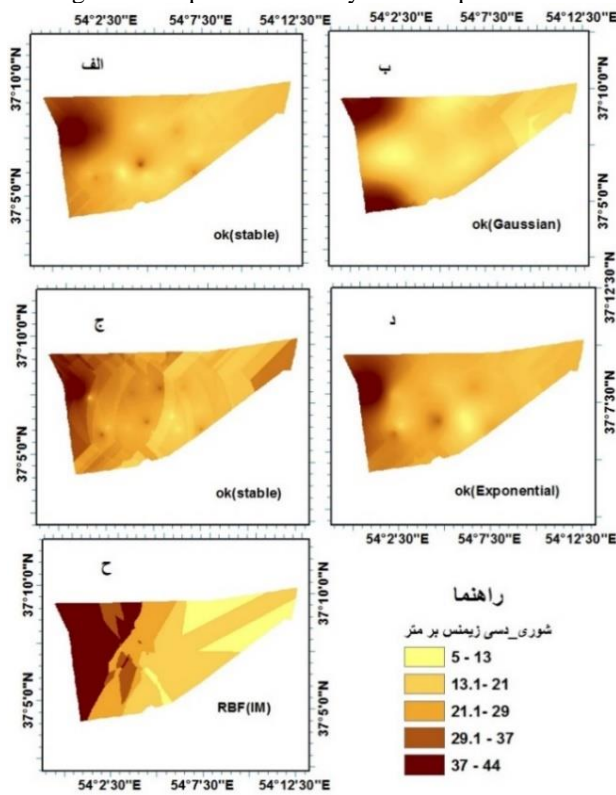
Table2. Evaluation results of geostatistical methods in estimating soil salinity (EC) in 5 months at a depth of 30-60 cm in Gomishan region of Golestan province

روش	مدل	RMSE					MAE				
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
IDW	IDW <sub>1</sub>	9.25	8.86	8.76	8.23	8.28	7.91	6.92	6.63	7.15	6.57
	IDW <sub>2</sub>	10.18	9.71	9.71	8.95	9.03	8.34	7.73	7.15	7.37	7.54
	IDW <sub>3</sub>	11.06	10.46	10.46	9.57	9.68	8.95	8.34	7.26	7.63	7.72
GPI	GPI <sub>1</sub>	9.12	8.83	8.82	8.08	8.16	7.82	6.84	6.74	6.45	6.48
	GPI <sub>2</sub>	9.58	9.42	9.41	9.33	9.54	8.05	7.55	7.07	7.58	7.65
	GPI <sub>3</sub>	14.46	13.78	13.77	14.23	14.36	9.88	8.58	8.34	8.65	9.01
LPI	LPI <sub>1</sub>	9.57	9.35	9.35	8.76	8.88	7.99	7.58	6.98	7.29	6.93
	LPI <sub>2</sub>	9.76	9.58	9.58	9.90	9.96	8.21	7.63	7.10	8.19	7.91
	LPI <sub>3</sub>	11.35	11.79	11.78	12.95	12.96	9.23	8.59	8.27	8.40	8.97
RBF	CRS	9.82	9.36	9.35	8.67	8.72	7.99	7.42	6.99	6.98	6.78
	IM	8.65	8.28	8.72	7.70	7.71	7.68	6.54	5.58	6.66	4.89
	M	10.95	9.94	9.93	9.53	9.72	9.04	7.99	7.16	7.59	7.86
	SWT	9.65	9.21	9.21	8.54	8.59	8.07	7.54	6.98	6.71	6.70
	TPS	10.98	9.92	9.91	9.73	9.94	8.96	8.01	7.16	7.87	7.89
OK	Stable	6.41	7.98	8.71	7.37	7.96	5.90	6.35	4.99	5.89	5.45
	Circular	7.16	7.84	8.73	7.65	8.34	6.73	6.32	6.35	6.62	5.78
	Gaussian	8.25	6.91	9.39	8.24	8.34	7.66	6.21	7.02	6.53	5.77
	Exponential	6.90	8.06	8.73	6.51	8.34	5.92	6.49	6.36	5.77	5.79
	Spherical	7.11	7.87	8.73	7.54	8.34	6.58	6.38	6.40	6.22	5.91



شکل ۲- نقشه پهنه‌بندی شوری عمق ۰-۳۰ سانتیمتری خاک در ماه اول (الف)، در ماه دوم (ب)، در ماه سوم (ج)، در ماه چهارم (د)، در ماه پنجم (ه)

Figure 2. Map of soil salinity at the depth of 0-30 cm



شکل ۳- نقشه پهنه‌بندی شوری عمق ۳۰-۶۰ سانتیمتری خاک در ماه اول (الف)، در ماه دوم (ب)، در ماه سوم (ج)، در ماه چهارم (د)، در ماه پنجم (ه)

Figure 3. Map of soil salinity at the depth of 30-60 cm



جدول ۳- نتایج ارزیابی روش‌های زمین آماری در تخمین اسیدیته خاک (pH) در عمق ۰-۳۰ سانتی متری خاک در منطقه گمیشان

استان گلستان

Table3. Evaluation results of geostatistical methods in estimating soil acidity (pH) in 5 months at a depth of 0-30cm in the Gomishan region of Golestan province.

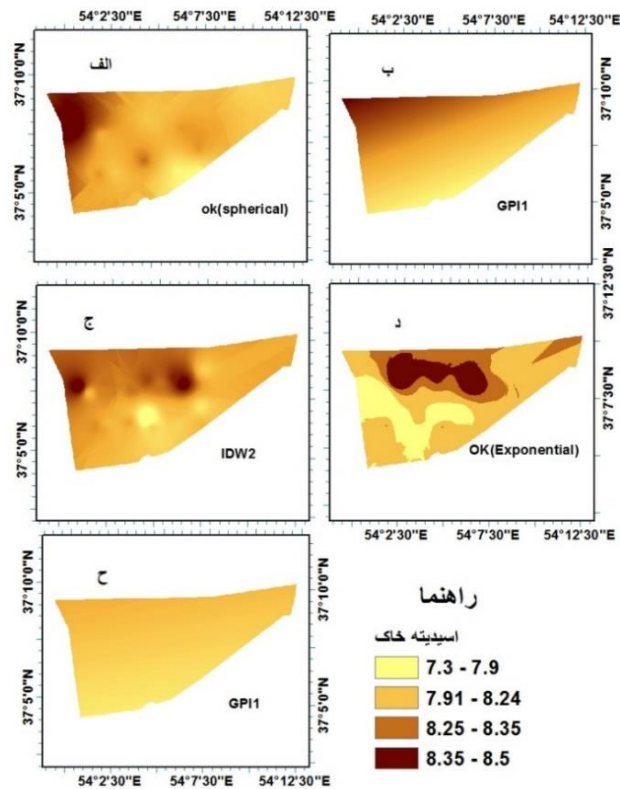
روش	مدل	RMSE					MAE				
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
IDW	IDW1	0.112	0.238	0.251	0.142	0.116	0.064	0.169	0.187	0.120	0.093
	IDW2	0.124	0.242	0.243	0.154	0.124	0.073	0.174	0.163	0.132	0.097
	IDW3	0.135	0.262	0.252	0.167	0.136	0.081	0.175	0.199	0.142	0.129
GPI	GPI1	0.107	0.235	0.254	0.132	0.111	0.062	0.167	0.213	0.115	0.089
	GPI2	0.137	0.329	0.378	0.178	0.140	0.082	0.198	0.254	0.149	0.134
	GPI3	0.151	0.337	0.334	0.147	0.182	0.090	0.200	0.250	0.126	0.194
LPI	LPI1	0.118	0.244	0.270	0.146	0.119	0.067	0.172	0.231	0.121	0.095
	LPI2	0.130	0.285	0.331	0.155	0.159	0.074	0.188	0.238	0.131	0.149
	LPI3	0.151	0.301	0.328	0.150	0.260	0.091	0.194	0.226	0.127	0.211
RBF	CRS	0.119	0.241	0.248	0.148	0.122	0.069	0.174	0.176	0.126	0.096
	IM	0.104	0.239	0.245	0.135	0.115	0.061	0.170	0.169	0.116	0.091
	M	0.142	0.271	0.279	0.164	0.151	0.084	0.185	0.233	0.138	0.145
	SWT	0.117	0.239	0.248	0.146	0.120	0.065	0.171	0.176	0.122	0.118
	TPS	0.148	0.322	0.333	0.177	0.218	0.085	0.197	0.241	0.151	0.209
OK	Stable	0.0928	0.266	0.285	0.108	0.125	0.053	0.181	0.235	0.104	0.121
	Circular	0.0924	0.267	0.278	0.120	0.125	0.051	0.184	0.232	0.111	0.121
	Gaussian	0.0936	0.266	0.279	0.108	0.125	0.059	0.180	0.233	0.099	0.120
	Exponential	0.0927	0.265	0.286	0.106	0.125	0.053	0.178	0.237	0.098	0.120
	Spherical	0.0920	0.265	0.282	0.117	0.125	0.050	0.177	0.234	0.108	0.119

جدول ۴- نتایج ارزیابی روش‌های زمین آماری در تخمین اسیدیته خاک (pH) در عمق ۳۰-۶۰ سانتی متری خاک در منطقه

گمیشان استان گلستان

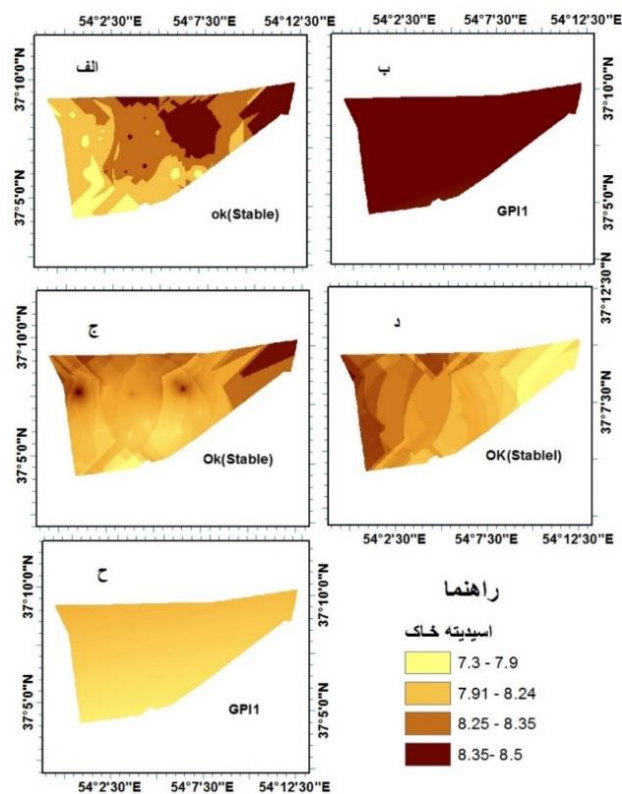
Table4. Evaluation results of geostatistical methods in estimating soil acidity (pH) in 5 months at a depth of 30-60 cm in the Gomishan region of Golestan province.

روش	مدل	RMSE					MAE				
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
IDW	IDW1	0.156	0.199	0.196	0.178	0.119	0.091	0.126	0.128	0.096	0.060
	IDW2	0.154	0.206	0.203	0.189	0.120	0.084	0.139	0.141	0.126	0.062
	IDW3	0.155	0.216	0.213	0.202	0.123	0.086	0.145	0.149	0.137	0.064
GPI	GPI1	0.161	0.190	0.193	0.173	0.115	0.096	0.125	0.123	0.093	0.059
	GPI2	0.205	0.246	0.271	0.226	0.141	0.128	0.158	0.163	0.140	0.077
	GPI3	0.294	0.287	0.329	0.257	0.213	0.137	0.173	0.168	0.145	0.118
LPI	LPI1	0.163	0.202	0.211	0.184	0.120	0.096	0.133	0.148	0.119	0.063
	LPI2	0.198	0.253	0.277	0.217	0.155	0.114	0.171	0.165	0.139	0.085
	LPI3	0.301	0.288	0.313	0.250	0.238	0.165	0.173	0.167	0.141	0.121
RBF	CRS	0.152	0.205	0.202	0.185	0.121	0.081	0.139	0.141	0.121	0.065
	IM	0.151	0.201	0.199	0.175	0.121	0.081	0.134	0.131	0.108	0.064
	M	0.157	0.225	0.228	0.202	0.134	0.094	0.147	0.159	0.138	0.072
	SWT	0.154	0.203	0.200	0.183	0.120	0.085	0.135	0.139	0.112	0.065
	TPS	0.161	0.257	0.269	0.223	0.172	0.094	0.170	0.162	0.140	0.093
OK	Stable	0.130	0.355	0.164	0.149	0.127	0.074	0.188	0.119	0.069	0.066
	Circular	0.135	0.250	0.215	0.150	0.127	0.078	0.166	0.153	0.088	0.069
	Gaussian	0.135	0.355	0.215	0.150	0.127	0.077	0.189	0.152	0.089	0.069
	Exponential	0.135	0.238	0.215	0.150	0.127	0.076	0.155	0.151	0.078	0.068
	Spherical	0.135	0.236	0.215	0.150	0.127	0.076	0.154	0.150	0.086	0.067



شکل ۴- نقشه پهنه‌بندی اسیدیته عمق ۰-۳۰ سانتیمتری خاک در منطقه گمیشان استان گلستان ماه اول (الف)، در ماه دوم (ب)، در ماه سوم (ج)، در ماه چهارم (د)، در ماه پنجم (ح)

Figure 4. Map of soil acidity at the depth of 0-30 cm in Gomishan region of Golestan province



شکل ۵- نقشه پهنه‌بندی اسیدیته عمق ۳۰-۶۰ سانتیمتری خاک اول تا پنجم در منطقه گمیشان استان گلستان ماه اول (الف)، در ماه دوم (ب)، در ماه سوم (ج)، در ماه چهارم (د)، در ماه پنجم (ح)

Figure 5. Map of soil acidity at the depth of 30-60 cm in Gomishan region of Golestan province

## نتیجه‌گیری کلی

بهتر هزینه‌ها همراه با کاهش هزینه‌های اقتصادی ضروری به نظر می‌رسد. نتایج نشان داد جهت تعیین ساختار پراکنش مکانی شوری در منطقه مورد مطالعه در عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری به ترتیب ماه‌های نمونه‌برداری، روش‌های کریجینگ Stable، کریجینگ نمایی، کریجینگ RBF، Stable مدل چند ربعی معکوس و RBF مدل چند ربعی معکوس مناسب بودند. بهترین تخمینگر EC در عمق ۰-۶۰ سانتی‌متری به ترتیب ماه‌های نمونه‌برداری، کریجینگ Stable، کریجینگ گوسی، کریجینگ Stable، کریجینگ نمایی و RBF مدل چند ربعی معکوس بودند. جهت تهیه نقشه پراکنش مکانی pH در عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری به ترتیب ماه‌های نمونه‌برداری، کریجینگ نمایی، GPI توان اول، IDW توان دوم، کریجینگ نمایی، GPI توان اول و در عمق ۰-۶۰ سانتی‌متری به ترتیب کریجینگ Stable، GPI توان اول، کریجینگ Stable، کریجینگ Stable و GPI توان اول با کمترین خطا بعنوان بهترین روش انتخاب شدند. از سوی دیگر با توجه به ماهیت کمی اینگونه نقشه‌ها، از آن‌ها می‌توان بعنوان لایه‌های مختلف اطلاعاتی در سیستم اطلاعات جغرافیایی جهت تجزیه و تحلیل کمی بهره جست. بنابراین می‌توان در کنار روش‌های معمول تهیه نقشه شوری خاک، از روش‌های ارائه شده در ژئواستاتیک استفاده کرد. شایان ذکر است که نتایج بدست آمده فقط در منطقه مورد مطالعه قابل استفاده است و نمی‌توان آن را به مناطق دیگر تعمیم داد.

در این پژوهش مشخص شد شوری و اسیدیته خاک تغییرپذیری بالایی داشتند. شوری خاک از ۵ تا ۴۴ دسی زیمنس بر متر، اسیدیته از ۷/۳ تا ۸/۵ در خاک تغییر نشان داد. بنابراین خاک منطقه در طبقه خاک‌های شور و قلیایی قرار دارد و نیاز به مدیریت و برنامه‌ریزی دارد. در منطقه مورد مطالعه قبل از اجرای شبکه زهکشی با مشکل عمده سیلاب، شوری و سدیمی بودن خاک مواجه بوده که اجرای شبکه زهکشی تا حدودی موجب بهبود ساختار فیزیکی خاک و خروج آب اضافی و کاهش عمق سطح ایستابی گردید بطوریکه در منطقه مورد مطالعه در طی پایش یکساله شوری خاک روند کاهشی داشته که می‌توان آن را به احداث شبکه زهکشی نسبت داد. علیرغم عملیات اصلاح خاک از طریق احداث شبکه زهکشی منطقه مورد مطالعه به دلیل مجاورت دریا و اختلاط آب شور با مشکل عمده شوری و قلیائیت مواجه است. بنابراین با استفاده از نقشه‌های شوری و انتخاب گیاه مناسب با توجه به آستانه شوری گیاهان، می‌توان هم از هزینه‌های اصلاح و بهسازی خاک جلوگیری کرد و هم با انتخاب گیاه مناسب حداکثر محصول را بدست آورد. همچنین ارزیابی و پایش مکانی شوری خاک و تغییرات آن در طول زمان برای اولویت‌بندی اراضی در معرض خطر تخریب و اتخاذ سیاست‌های مدیریتی صحیح برای مقابله با کاهش حاصلخیزی و باروری خاک اهمیت بسزایی دارد (Hamzehpoure & Bogaert, 2017). بنابراین تهیه نقشه شوری برای مدیریت

## References

- Aldabaa A. A. A., Weindorf D. C., Chakraborty S., sharma A., Li B. 2015. Combination of proximal and remote sensing methods for rapid soil salinity quantification. *Geoderma*, 239-240:34-46. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2014.09.011>
- Dadkarami A., and Basirat S. 2015. Geostatistical evaluation of spatial changes of some surface soil characteristics of Arsanjan. *Iranian Journal of Water and Soil Research (Water and Soil Sciences)*, 29(1): 60-69
- Daempanah R., Haqniya GH. H., Alizadeh A., and Karimi Karuyeh. 2011. Preparation of surface soil salinity and salinity map with geostatistical remote sensing methods in the south of Meh Velat city. *Iranian Journal of Water and Soil (Agricultural Sciences and Industries)*, 25(3): 508-498
- Delbari M., and Jahani S. 2014. Investigating spatial changes of soil salinity and sodium properties in Chat area of Golestan province. *Iranian Journal of Soil Research (Water and Soil Sciences)*, 28(20): 434-446
- Ghorbani Kh. 2012. Geographic weighted regression Geographic weighted regression: a method for drawing rainfall maps of Gilan province. *Iranian Journal Water and Soil (Agricultural Sciences and Industries)*, 26(3) 752-743. (In Persian)

- HamzeHpour, N., and Bogaert, P. 2017. Spatio-temporal prediction of soil salinity using soft data a Bayesian maximum Entropy method in western shores of Urmia Lake. *Iranian Journal of Applied Soil Research*, 6(4): 71-83. (In Persian)
- Karandish, F. 2015. Analyzing the Geostatistical methods in spatial monitoring of saline and sodic condition of soil under Treated-Wastewater Irrigation. *Iranian Journal of Applied Soil Research*, 2(1): 115-128. (In Persian)
- Kazemi Poshtmasari H., Tahmasebi Sarvestani Z., Kamkar B., Shataei Sh., and Sadegh S. 2012. A comparison of interpolation methods of estimating pH and EC in agricultural fields of Golestan province (North of Iran). *International Journal of agricultural and crop sciences*, 4(4): 157-167
- Kilic, K., and S. Kilic. 2007. Spatial variability of salinity and alkalinity of a field having salination risk in semi-arid climate in northern Turkey. *Environ Monit Assess*, 127: 55-65.
- Ahmadali Kh., Nik Mehr S., and Liaqat A. 2008. Evaluation of kriging and co-kriging methods in estimating soil salinity and depth acidity (Case study: lands of Bukan region) Iran. *Journal of Water Research*, 2(3):55-64.
- Liu Z.O., Shao M.A., and Wang Y.Q. 2013. Large-Scale spatial interpolation of soil pH across the loess plateau. *China. Environ Earth Sciences*, 69:2731-2741.
- Mohajer M.P., and Azimbordi. J.F. 1993. Desalinization and desodification curve of saline-sodic soils in Gorgan region. Agricultural Resource Center of Golestan.
- Mohammadi, J. 1998. The study of spatial changes of soil salinity in Ramhormoz region (Khuzestan) using geostatistical theory (kriging). *Agricultural Sciences and Techniques*, 2(4): 49-63.
- Mehdi S.M., Mian S.M., Ghani S., Khalid M., Sheikh A.A., Rasheed s., and Iqbal M.A.J. 2013. Modeling of surface soil pH using geostatistical method in Punjab province, Pakistan. *International journal of scientific and engineering research*, 4(11).
- Sahbeni Gh., and Székely B. 2022. Spatial modeling of soil salinity using kriging interpolation techniques (A study case in the Great Hungarian Plain). *Eurasian Journal of Soil Science* 11(2):102-112. <http://dx.doi.org/10.22616/j.balticsurveying.2019.017>
- Sheibani, M., Abtahi. S.A. 2021. Study of spatial changes of soil salinity in Karbal plain of Fars province using geostatistics, 9<sup>th</sup> international Conference on Agriculture sciences, Environment, Urban and Rural development. (In Persian)
- Snepvangers J., Heuvelink G., and Huisman J. 2003. Soil water content interpolation using Spatio-Temporal Kriging with external drift. *Geoderma*, 112: 253-271
- Soleimani saru, E., Maghsud, F., Damavandi, A.A. 2016. Evaluation of the efficiency of interpolation methods for estimating pH and soil salinity in Dorodzan section of Fars province. *Iranian remote sensing & GIS*. 8(3):77-90
- Zendi S., Ghobakhlou A., and Salis PH. 2011. A comparison of spatial interpolation methods for mapping soil pH by depth. Geo-informatics research center. Auckland university of technology New Zealand.

## Temporal and Spatial Changes of Soil Salinity in a part of the 280- Thousand Hectare Drainage Plan Lands of Golestan Province

Fatemeh. Valinezhad<sup>1</sup>, Mehdi. Zakerinia<sup>2\*</sup>, Hossein.Kazemi<sup>3</sup>

(Received: November 2023      Accepted: May 2023)

### Abstract

Soil desalination in drained fields is very important because soil salinity harms on crop yield. Therefore, for the optimal management of water and soil, and the sustainability of agricultural lands, salinity monitoring in soil is essential. In this study, 44 soil samples from the depth of 0-30 and 30-60 cm were prepared from drained lands, during one cropping year. Then, soil salinity and acidity map were produced by GPI, LPL, IDW, Ok, RBF methods. Evaluation of salinity at 0-30 cm showed that stable kriging in the first and third months, exponential kriging in the second month, RBF inverse multi-quadrant model in the fourth and fifth months, were the best models. The results 30-60 cm showed that stable kriging in the first and third month, Gaussian kriging in the second month, Exponential kriging in the fourth month, and RBF inverse multi-quadrant model in the fifth month were selected as the best model. Also, evaluation of pH at the depth of 0-30 cm showed that Spherical kriging in the first month, GPI with the first power in the second and fifth months, IDW with the second power in the third month and Exponential kriging in the fourth month had the lowest RMSE. Evaluation of pH at 30- 60 cm showed that stable kriging method in the first, third, and fourth months and GPI with the first power in the second and fifth months had the lowest RMSE. The problem of salinity and alkalinity was observed in most of the surveyed region, and the level of salinity in the surface layer of the soil was higher than in the deep layer. The comparison of the salinity map in different months shows that the salinity has been decreasing during the 5 months of monitoring and the general trend of pH changes is similar to EC.

**Keywords:** Soil salinity map, Soil acidity map, Interpolation, Geostatic, GIS

Valinezhad F., Zakerinia M and Kazemi H. 2024. Temporal and spatial changes of soil salinity in a part of the 280-thousand-hectare drainage plan lands of Golestan province. *Applied Soil Research*, 12(1): 83-95.

1-PhD Student, Dept. of Water Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

2-Associate Prof., Dept. of Water Engineering , Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

3-Associate Professor, Department of Agriculture, Faculty of Plant Production Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

\* Corresponding Author Email: [Mzakerinia@gmail.com](mailto:Mzakerinia@gmail.com)