



## مقایسه روش‌های درون‌یابی زمین‌آمار (کریجینگ) برای تخمین شوری خاک و عملکرد گندم در مزرعه نمونه ارتش آق‌قلا

رحیم اژیرابی<sup>۱</sup>، بهنام کامکار<sup>۲\*</sup> و امید عبدی<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.  
<sup>۲</sup> دانشیار گروه علوم زراعی، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.  
<sup>۳</sup> کارشناس ارشد اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان گلستان.  
تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۴/۰۳ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۲/۱۴

### چکیده

**سابقه و هدف:** در دهه اخیر داده‌های به‌دست آمده از سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) و سامانه موقعیت‌یاب جهانی (GPS) و زمین‌آمار نقش مهمی در مطالعه توزیع مکانی ویژگی‌های خاک داشته‌اند و نتایج به‌دست آمده اغلب حاکی از این است که تغییرات ویژگی‌های خاک می‌تواند در فواصل بسیار کوچک (در حد چند میلی‌متر) تا فواصل طولانی (چندین کیلومتر) صورت گیرد. این پژوهش با هدف مقایسه روش‌های مختلف درون‌یابی (کریجینگ) برای تعیین بهترین مدل در تهیه نقشه متغیرهای شوری خاک و عملکرد گندم در مزرعه نمونه ارتش آق‌قلا اجرا گردید.

**مواد و روش‌ها:** به منظور مطالعه اثرات شوری خاک و تغییرات آن در طول فصل رشد گندم، با روش نمونه‌برداری سیستماتیک از ۱۰۱ نقطه در مزارع نمونه ارتش آق‌قلا نمونه خاک تهیه شد و مقادیر EC و pH در دو مرحله رشد گندم و عملکرد متناظر آن‌ها در مرحله برداشت اندازه‌گیری شد. به‌منظور درون‌یابی مقادیر شوری، کریجینگ‌های معمولی، جهانی و فصلی در تلفیق با پنج مدل واریوگرامی مورد آزمون قرار گرفتند. به این منظور مزرعه به چهار قسمت جداگانه تقسیم و مدل‌ها به شکل جداگانه آزمون شدند.

**یافته‌ها:** نتایج حاصل از روش‌های درون‌یابی کریجینگ نشان داد که از بین سه روش و پنج مدل انتخابی، روش کریجینگ معمولی با مدل نمایی در برآورد شوری خاک و کریجینگ جهانی با مدل نمایی در برآورد عملکرد گندم از دقت بالاتری برخوردار هستند. در این مطالعه رابطه معنی‌داری بین اختلاف شوری دو مرحله با عملکرد گندم مشاهده شد، به نحوی که به ازای هر واحد افزایش شوری، عملکرد به میزان ۴/۵ گرم کاهش یافت. همچنین نتایج آزمون خاک نشان داد که مقدار EC برای هر کدام از ۴ واحد A، B، C و D، بسته به توپوگرافی و مساحت واحد متفاوت بود، به نحوی که در زمینه شوری خاک واحد A با طیف شوری پایین‌تر در دو مرحله نمونه‌برداری، بیشترین عملکرد را نشان داد. طبق نتایج روش‌های درون‌یابی در زمینه پیش‌بینی عملکرد گندم برای ۴ واحد A، B، C و D، واحد A طیف عملکرد بیشتر و واحد B طیف عملکرد کم‌تری نسبت به واحدهای دیگر از خود نشان دادند. در واحد A شوری کمتر بود و صرفاً رقم کوهدشت کشت می‌شد، در حالی که در سایر واحدها سایر ارقام نیز (لاین ۱۷، مروارید، کوهدشت و N ۸۰۱۹) کشت می‌شدند.

نتیجه‌گیری: در کل نتایج نشان داد که سامانه اطلاعات جغرافیایی در کنار سایر اطلاعات می‌تواند ابزار قدرتمندی برای تشخیص اثرات عوامل غیرزنده (نظیر شوری) بر کارکرد بوم نظام‌های کشاورزی باشد. همچنین نتایج بر این واقعیت تأکید دارند که مزارع از نظر عوامل مختلف، در معرض نوسان‌های مکانی گسترده‌ای قرار دارند و به همین دلیل مدیریت‌های متفاوتی را می‌طلبند.

واژه‌های کلیدی: شوری خاک، کریجینگ، گندم، RMSE، نیم‌تغییرنما.

## مقدمه

گندم یکی از محصولات راهبردی کشور برای تولید نان می‌باشد و نان نیز یکی از منابع مهم غذایی بوده به طوری که حدود ۴۰ درصد انرژی مصرفی مردم ایران از طریق نان تامین می‌گردد. در بیشتر مناطق کشور کمبود آب و شوری خاک عامل ثانویه باعث کاهش رشد گیاه و عملکرد دانه شده است (۲۳). کریجینگ روشی است که با به کارگیری ویژگی‌های ساختاری تغییرنما<sup>۱</sup> و مقادیر داده‌های اولیه تخمین‌های بهینه و نااریب از متغیرهای ناحیه‌ای در مکان‌های نمونه‌برداری نشده ارائه می‌نماید (۱۶). مک‌کنا (۲۰۰۲) برای بالا بردن دقت در تخمین و شبیه‌سازی داده‌های مؤثر بر جریان آب زیرزمینی در ایالت کلرادو آمریکا از روش‌های زمین‌آماري که مبتنی بر استخراج تغییرنما بود، استفاده کرد. نتایج این آزمایش حاکی از آن بود که استفاده از روش‌های زمین‌آمار، معمولاً علاوه بر بالا بردن دقت تخمین داده‌ها، می‌تواند عملکرد محصول گندم را در سال‌های آینده پیش‌بینی کند (۲۴).

محمدی (۲۰۰۰) نشان داد که تخمین‌گرهای زمین‌آمار نسبت به روابط همبستگی خطی از برتری نسبی برخوردار بوده و روش کریجینگ به‌عنوان روش برتر، در برآورد داده‌های مکانی خاک معرفی گردید (۲۶). شائو و همکاران (۲۰۰۶) با استفاده از زمین‌آمار و بهره‌گیری از روش کریجینگ، توزیع مکانی عناصر غذایی موجود در خاک‌های منطقه هبی چین را مشخص کردند (۳۱).

در مقایسه‌ای که ثقفیان و همکاران (۲۰۱۱) بین روش‌ها و مدل‌های مختلف درون‌یابی انجام دادند، کریجینگ معمولی با مدل برازش گوسی بهترین دقت را نشان داد (۲۹). یوسان و همکاران (۲۰۰۹) به مقایسه سه روش درون‌یابی وزن‌دهی عکس فاصله، توابع پایه شعاعی و کریجینگ برای پیش‌بینی تغییرات زمانی و مکانی عمق آب زیرزمینی در کویر مین کین در شمال چین پرداختند. مقایسه مقادیر مشاهده شده با مقادیر میان‌یابی شده نشان داد که روش کریجینگ معمولی روش بهینه جهت میان‌یابی عمق آب زیرزمینی است (۳۸). رابینسون و مترنیچ (۱۹۸۹) با استفاده از ریشه دوم میانگین مربعات خطا<sup>۲</sup> (RMSE)، برای تهیه نقشه اسیدیته و میزان هدایت الکتریکی و شی و همکاران (۲۰۰۵) با استفاده از شاخصه‌های RMSE و MBE<sup>۳</sup> (میانگین خطای اریب) برای تهیه نقشه اسیدیته نشان دادند که روش کریجینگ دقت بالاتری نسبت به روش معکوس فاصله وزنی و اسپیلاین دارد (۲۸) (۳۲). احمدالی و همکاران (۲۰۰۹) به ارزیابی روش‌های کریجینگ و کوکریجینگ در تخمین شوری و اسیدیته عمقی خاک در اراضی منطقه بوکان پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که روش کوکریجینگ برتری خیلی محسوسی نسبت به کریجینگ ندارد (۱). سرمدیان و تقی‌زاده مهرجردی (۲۰۱۰) برخی متغیرهای خاک (شوری، منگنز، مس، روی، سرب، کربن آلی و آهک) را با زمین‌آمار بررسی کردند. نتایج نشان داد که وقتی تعدادی متغیر همبسته باهم

2. Root Mean Square Error.

3. Mean Bias Error.

1. Variogram.

(۱۷). در مطالعه‌ای که حسینی و همکاران (۱۹۹۴) در ۱۶ هزار هکتار اراضی استان خوزستان بر روی شوری خاک انجام دادند روش کریجینگ معمولی با مدل کروی نسبت به روش‌های دیگر دقیق‌تر بود (۱۲). این پژوهش با هدف مقایسه روش‌های مختلف درونیابی (کریجینگ) برای تعیین بهترین مدل در تهیه نقشه متغیرهای شوری خاک و عملکرد گندم در مزرعه نمونه ارتش آق‌قلا اجرا گردید.

### مواد و روش‌ها

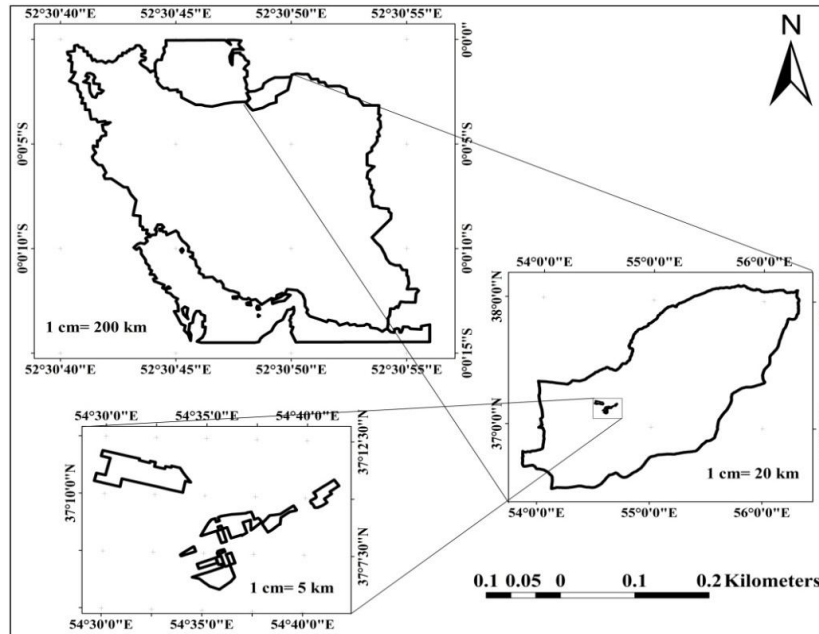
**منطقه مورد مطالعه:** این پژوهش در سال زراعی ۹۱-۱۳۹۰ در مزارع نمونه ارتش واقع در شمال استان گلستان و شهرستان آق‌قلا اجرا گردید. مزارع مورد نظر با عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۵ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۴ درجه و ۴۱ دقیقه شرقی در ارتفاع ۱۳ متر از سطح دریا قرار دارد (شکل ۱).

### مراحل انجام کار

**نمونه برداری:** جهت انجام این تحقیق ابتدا محدوده مزارع مورد مطالعه بوسیله دستگاه GPS Garmin مدل ۵۵۰ ترسیم گردید. سپس ۱۰۱ نقطه به صورت تصادفی در سطح مزرعه تعیین شد (شکل ۲) و در گام بعد دو مرحله از خاک (مرحله اول اواخر اسفند و مرحله دوم اواخر خرداد) و یک مرحله از رشد گندم (اواسط خرداد) جهت تعیین شوری و عملکرد نمونه‌برداری شدند. پس از انجام آزمایش‌های لازم داده‌های هر متغیر برای انجام پردازش به روش‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفتند.

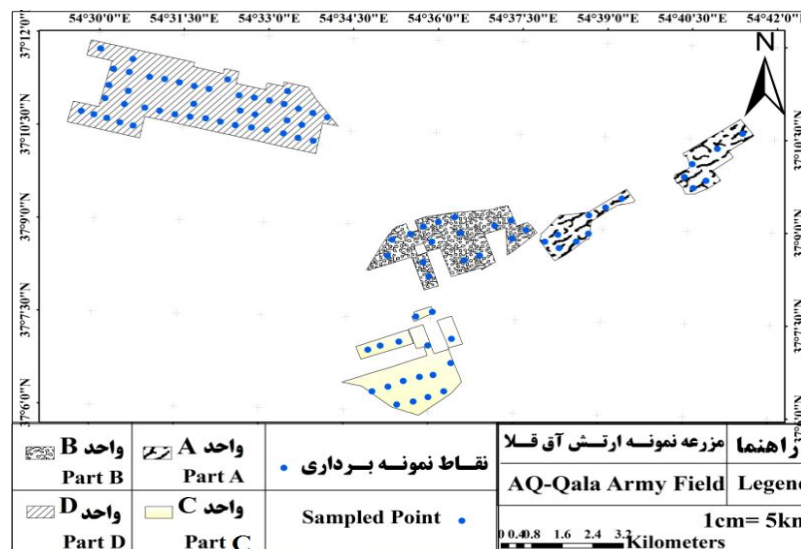
تخمین زده می‌شوند، از نظر تئوری کوکریجینگ نسبت به کریجینگ ارجحیت دارد، حتی وقتی از همه متغیرها به اندازه کافی نمونه در دسترس باشد (۳۰).

امینی و همکاران (۲۰۰۲) میزان کلر موجود در خاک را با استفاده از روش‌های زمین آماری برای منطقه‌ای در جنوب شرق اصفهان مدل‌سازی کردند. ایشان همچنین از میزان شوری به عنوان متغیر کمکی در روش کوکریجینگ استفاده کرده و به این نتیجه رسیدند که استفاده از متغیر کمکی دقت برآوردها را به طور قابل‌ملاحظه‌ای بالا برده است (۴). شی و همکاران (۲۰۰۵) نقشه شوری خاک را در منطقه ساحلی بخشی از کشور چین با استفاده از روش‌های زمین آماری تهیه کردند. برای برآورد جذب سدیم و شوری خاک، روش کوکریجینگ به ترتیب با متغیرهای کمکی سدیم، کلسیم و منیزیم مناسب تشخیص داده شدند (۳۲). آلیسون و همکاران (۲۰۰۵) برای برآورد، برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک نظیر ماده آلی، رطوبت، فسفر و پتاسیم قابل استفاده خاک و واکنش خاک را مورد مقایسه قرار دادند. نتایج آن‌ها 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 (۳). لیش و همکاران (۲۰۰۵) در تهیه نقشه شوری ۱۳ هکتار از اراضی کشاورزی کشور آمریکا تغییرپذیری زیاد مکانی را برای شوری خاک مشاهده نمودند (۲۲). نتایج این تحقیق با نتایج جمز و همکاران (۲۰۰۳) نیز که تغییرات زیاد مکانی در مقدار شوری خاک‌های مزرعه‌ای در کشور بریتانیا را نشان دادند مطابقت دارد



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی مزارع گندم مزرعه نمونه ارتش آق قلا.

Figure 1. Geographical position of wheat-grown field in the army field (AQ-Qala)



شکل ۲- توزیع مکانی نقاط نمونه برداری شده شوری خاک و عملکرد گندم در سطح مزارع نمونه ارتش آق قلا

و تفکیک اراضی به چهار واحد A, B, C و D.

Figure 2. Spatial distribution of sampled points for soil salinity and wheat yield in the army field (AQ-Qala) and lands separation to four parts (A, B, C and D)

مرحله بعد، جهت اعمال درون یابی برای هر سری از داده‌ها نرمال سازی انجام شد. سپس داده‌های هر چهار واحد A, B, C و D به منظور بررسی روش‌های درون یابی به دو بخش نقاط تست و نقاط آموزشی تقسیم شدند (۶). در این مطالعه برای هر چهار واحد

درون یابی: اطلاعات بدست آمده در محیط نرم افزار ArcGIS نسخه ۹٫۳ فراخوانی شدند و سپس به دلیل وجود فاصله زیاد بین دو منطقه از مزرعه و احتمال بروز خطا در هنگام تجزیه و تحلیل، مزرعه به چهار واحد A, B, C و D تقسیم گردید (شکل ۲). در

مورد نظر دارای توزیع نرمال باشد (۳۳). آزمون نرمال بودن داده‌های موجود از طریق بررسی هیستوگرام داده‌ها انجام شد (شکل ۳).

بدین منظور بررسی ساختار مکانی داده‌ها با استفاده از داده‌های نرمال اقدام به ترسیم واریوگرام گردید و نسبت اثر قطعه‌ای به آستانه محاسبه شد. وقتی این نسبت کمتر از ۰/۲۵ باشد متغیر مورد نظر دارای ساختار مکانی قوی می‌باشد، بین ۰/۲۵ - ۰/۷۵ ساختار مکانی متوسط بوده و هنگامی که بزرگ‌تر از ۰/۷۵ باشد ساختار مکانی ضعیف می‌باشد (۲۸). برای ارزیابی نیز (RMSE)، (MAE)، و (MBE) از روابط ۱، ۲ و ۳ برآورد شدند.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (z^*(x_i) - z(x_i))^2}{n}} \quad \text{رابطه (۱)}$$

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |z^*(X_i) - z(X_i)| \quad \text{رابطه (۲)}$$

$$MBE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (z^*(X_i) - z(X_i)) \quad \text{رابطه (۳)}$$

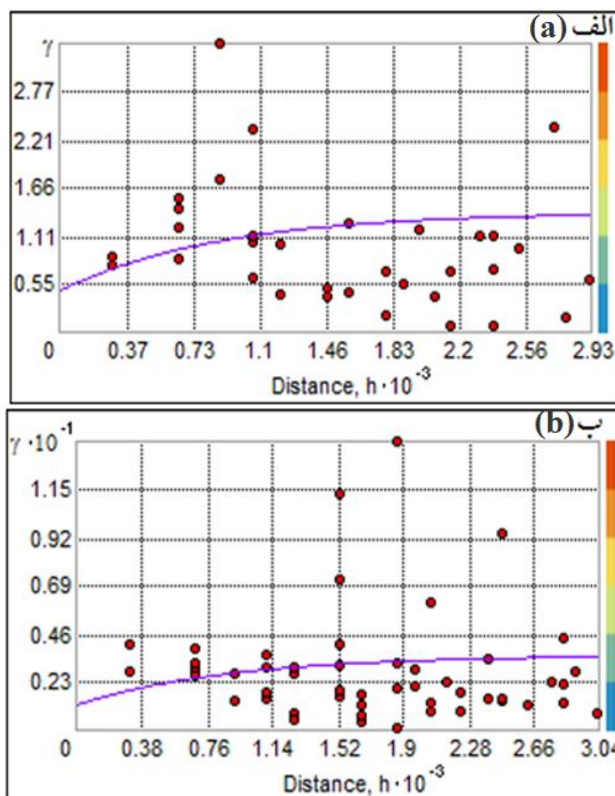
در این رابطه‌ها n تعداد نقاط،  $z^*(X_i)$  مقدار برآورد شده و  $z(X_i)$  مقدار اندازه‌گیری شده در نقطه معلوم می‌باشد. صحت مدل با MAE تعیین می‌شود که مقدار صفر آن نشان‌دهنده صحت ۱۰۰ درصد است و هر قدر مقدار آن از صفر فاصله داشته باشد حاکی از کم شدن صحت مدل است. معیار ارزیابی MBE نیز بیانگر میانگین انحراف است. این معیار علاوه بر دارا بودن علامت مثبت (بیش برآوردی مدل) و یا منفی (کم برآوردی مدل) مقدار انحراف از مقادیر مشاهده شده را نیز نشان می‌دهد. MBE برابر صفر نشان می‌دهد که برآورد مدل خوب بوده و در آن هیچ‌گونه انحرافی وجود ندارد. به طور معمول هر قدر مقدار این دو معیار و همچنین (RMSE) کمتر باشد صحت روش بیشتر است. از نظرتئوری هرگاه این دو معیار برابر صفر شوند نمایان‌گر این است که مقدار تخمین

مزرعه درون‌یابی به روش کریجینگ و با انواع روش‌های عمومی، جهانی و فصلی انجام گرفت. با وارد کردن مشخصات هر تغییرنما، اعتبار نیم‌تغییرنماها با روش اعتبارسنجی متقابل<sup>۱</sup> مورد آزمون قرار گرفت و نقشه‌های شوری خاک و عملکرد گندم تهیه گردید. از میان انواع مدل‌های نیم‌تغییرنمای موجود در روش‌های کریجینگ، مدل‌های دایره‌ای، کروی، نمایی، گوسی و J-Bessel مورد ارزیابی قرار گرفتند و برای هر متغیر میزان خطای موجود در تخمین نقاط مجهول مورد بررسی قرار گرفت. جهت تشخیص مناسب‌ترین روش نیز، میانگین مطلق خطا (MAE)، (MBE) و (RMSE) در هر روش محاسبه و جهت ارزیابی مورد استفاده قرار گرفتند (۱۶). جهت تعیین میزان تغییرات شوری خاک در دو مرحله نمونه‌برداری و با هدف بررسی رابطه بین این متغیر و عملکرد گندم، نقشه‌های شوری خاک تهیه شده براساس مدل‌های برتر جهت محاسبه این اختلاف با استفاده از تابع تفاضل به کار گرفته شدند.

برای تعیین رابطه بین اختلاف شوری در دو مرحله اندازه‌گیری با عملکرد، بعد از تهیه نقشه تفاوت شوری در مرحله اول و دوم نمونه‌برداری و نقشه عملکرد توسط مدل‌های برتر، با استفاده از نرم‌افزار جانبی XTools. Pro شبکه‌ای به ابعاد ۳۰×۳۰ متر تشکیل و مقادیر هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک در نقشه تفاوت و عملکرد نقاط معلوم به سایر نقاط مجهول در سطح مزرعه تعمیم داده شدند و ۲۷۵۲۴ نقطه جدید برای هر نقشه تولید شدند. در نهایت ارزش هر یک از نقاط استخراج و به نرم‌افزار Excel نسخه ۲۰۰۷ انتقال داده شد و رابطه بین این دو پارامتر توسط نقاط جدید تعیین شد. شرط استفاده از روش‌های کریجینگ آن است که متغیر

1. Cross Validation.
2. Mean Absolute Error.

زده شده یک کمیت دقیقاً برابر مقدار واقعی آن است (۳۵) (۶). در این پژوهش از نرم‌افزارهای SAS نسخه ۹٫۳٫۱، Excel نسخه ۲۰۰۷، ArcGIS نسخه ۹٫۳ استفاده گردید.



شکل ۳- نمودار هیستوگرام داده‌های الف- عملکرد گندم ب- شوری خاک.  
Figure 3. Histogram of wheat yield (a) and soil salinity (b)

### نتایج و بحث

توصیف آماری داده‌ها: در بررسی ارتباط متغیرهای اندازه‌گیری شده با عملکرد بدست آمده، داده‌های شوری خاک در مرحله اول و دوم ارتباط معنی‌داری را با عملکرد نشان دادند، ولی داده‌های اسیدیته در مرحله اول و دوم ارتباط ضعیفی با عملکرد داشت و به همین دلیل از ادامه بررسی بر روی داده‌های مربوط به این متغیر خودداری شد (جدول ۱).

جدول ۱- ضرایب همبستگی متغیرهای مورد بررسی در این مطالعه به ترتیب عملکرد، میزان هدایت الکتریکی در مرحله اول ( $EC_1$ )، میزان هدایت الکتریکی در مرحله دوم ( $EC_2$ )، اسیدیته در مرحله اول ( $pH_1$ ) و اسیدیته در مرحله دوم ( $pH_2$ ).

Table 1. Correlation coefficient of studied variables as yield, first stage electrical conductivity ( $EC_1$ ), second stage electrical conductivity ( $EC_2$ ), first stage pH ( $pH_1$ ) and second stage pH ( $pH_2$ )

متغیر Variable	عملکرد Yield	$EC_1$	$EC_2$	$pH_1$	$pH_2$
عملکرد (Yield)	1				
$EC_1$	-0.89**	1			
$EC_2$	-0.81**	0.89**	1		
$pH_1$	-0.1 <sup>n.s</sup>	0.02 <sup>n.s</sup>	0.001 <sup>n.s</sup>	1	
$pH_2$	-0.11 <sup>n.s</sup>	-0.05 <sup>n.s</sup>	0.003 <sup>n.s</sup>	0.49*	1

\*معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۵، \*\* معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۱ و n.s معنی‌دار نیست.

\*, \*\* show significancy at 0.05 and 0.01 of probability level, n.s: not-significant.

شده است. طبق محاسبات، شوری در مرحله اول در واحد B داده‌های نرمالی نداشت و برای نرمال کردن آن از روش لگاریتم‌گیری برای تبدیل داده‌ها استفاده شد.

براساس نتایج، کلیه داده‌ها به جز شوری مرحله اول در واحد B با توجه به آزمون‌های کولموگروف-اسمیرنوف، کرامر-ون مایسز و اندرسون-دارلین نرمال بودند. خلاصه آماری مربوط به دو پارامتر شوری و عملکرد در ۱۲ واحد در جدول (۲) آورده

جدول ۲- آماره‌های توصیفی متغیرهای مورد بررسی در ۴ واحد مورد مطالعه.

Table 2. Descriptive statistics of studied variables in four studied parts

متغیر Variable	واحد Part	میانگین Mean	کمینه Min	بیشینه Max	چولگی Skewness	کشدگی Kurtosis	میانه Median	انحراف معیار Standard deviation
شوری خاک (مرحله اول)* Soil salinity (first stage)*	دسی زیمنس	A	2.95	1.11	5.87	0.55	2.67	1.53
	بر متر	B	1.49	1.08	2.11	0.84	1.42	0.3
	ds m <sup>-1</sup>	C	4.95	2.1	8.43	0.03	2.03	1.86
		D	5.25	2.26	8.33	-0.02	2.79	1.37
شوری خاک (مرحله دوم) Soil salinity (second stage)	دسی زیمنس	A	17.67	7.21	35.77	0.75	2.43	0.46
	بر متر	B	25.95	10.66	47.54	0.74	2.63	0.99
	ds m <sup>-1</sup>	C	29.24	9.93	45.55	-0.2	1.52	1.21
		D	28.31	11.47	48.33	0.48	2.43	0.94
عملکرد yield	تن در هکتار	A	5.71	4.04	6.56	-0.76	2.94	0.69
	ton ha <sup>-1</sup>	B	4.75	1.89	5.87	-0.87	3.63	1.01
		C	4.92	1.74	6.63	-0.79	3.56	1.22
		D	4.93	2.56	6.77	-0.3	2.55	0.97

علامت \* تبدیل لگاریتمی را نشان می‌دهد.

\*: logarithmic conversion

نقشه دست یافتند (۲۷). درستی الگوی برازش داده شده بوسیله خطای تخمین بررسی شد. جدول (۳) مقادیر کنترل اعتبار مبتنی بر کریجینگ شوری خاک و عملکرد گندم را نشان می‌دهد.

نتایج نشان داد که نسبت اثر قطعه‌ای به آستانه برای اکثر روش‌ها و مدل‌ها در دو متغیر شوری و عملکرد بین ۰/۲۵-۰/۷۵ و دارای پیوستگی مکانی متوسطی می‌باشد (جدول ۳). متکان و همکاران (۲۰۰۷) در آستانه ۰/۴۵ به حداکثر دقت برای تولید

جدول ۳- مقادیر کنترل اعتبار و نیم‌تغییرنا جهت تخمین شوری خاک و عملکرد براساس (مدل نمایی).

Table 3. Validity check and semivariograms for soil salinity and yield estimation based on exponential model

متغیر Variable	واحد Part	دامنه تاثیر (A) Effective range	اثر قطعه‌ای (C0) Nugget	حد آستانه (C0+C) Sill	نسبت اثر قطعه‌ای به حد آستانه (C0/C0+C) Nugget/sill
شوری خاک (مرحله اول) Soil salinity (first stage)	A	2630.37	0.47	0.91	0.51
	B	2653.55	1.19	2.38	0.5
	C	2240.29	1.35	2.7	0.5
	D	1930.09	0.79	1.68	0.47
شوری خاک (مرحله دوم) Soil salinity (second stage)	A	2198.53	30.2	59.1	0.51
	B	1695.7	40.6	83.2	0.48
	C	2213.12	46.21	102.55	0.45
	D	2191.66	39.61	74.81	0.52
عملکرد yield	A	2375.4	2013	4262	0.47
	B	1758.01	0.26	0.78	0.33
	C	2107.31	3701	7402	0.5
	D	2085.35	3323	6046	0.54

به دلیل پتانسل بالای شوری خاک منطقه انتظار می‌رفت شوری قابل ملاحظه‌ای در نمونه‌گیری اول مشاهده شود، ولی طبق مندرجات جدول (۲) مشاهده می‌شود که مقادیر حداکثر این متغیر در واحدهای A، B، C و D به ترتیب برابر با ۵/۸۷، ۸/۳۱، ۸/۴۳ و ۸/۳۳ دسی‌زیمنس بر متر و مقادیر حداقل آن به ترتیب برابر با ۱/۱۱، ۲/۹۷، ۲/۱ و ۲/۲۶ دسی‌زیمنس بر متر است که این کمی مقادیر به دلیل سیستم‌های آبیاری غرقابی، نزولات آسمانی آخر فصل و مدیریت بالای زهکشی مزرعه می‌باشد.

جدول ۴- برترین و ضعیف‌ترین مدل‌های مورد استفاده در درون‌یابی کریجینگ معمولی شوری خاک مزرعه ارتش آق‌قلا در مرحله اول و دوم برای واحدهای مدیریتی A، B، C و D.

Table 4. The best and worst models used in ordinary kriging interpolation for soil salinity in AQ-Qala army field in the first and second stages for management units A, B, C and D.

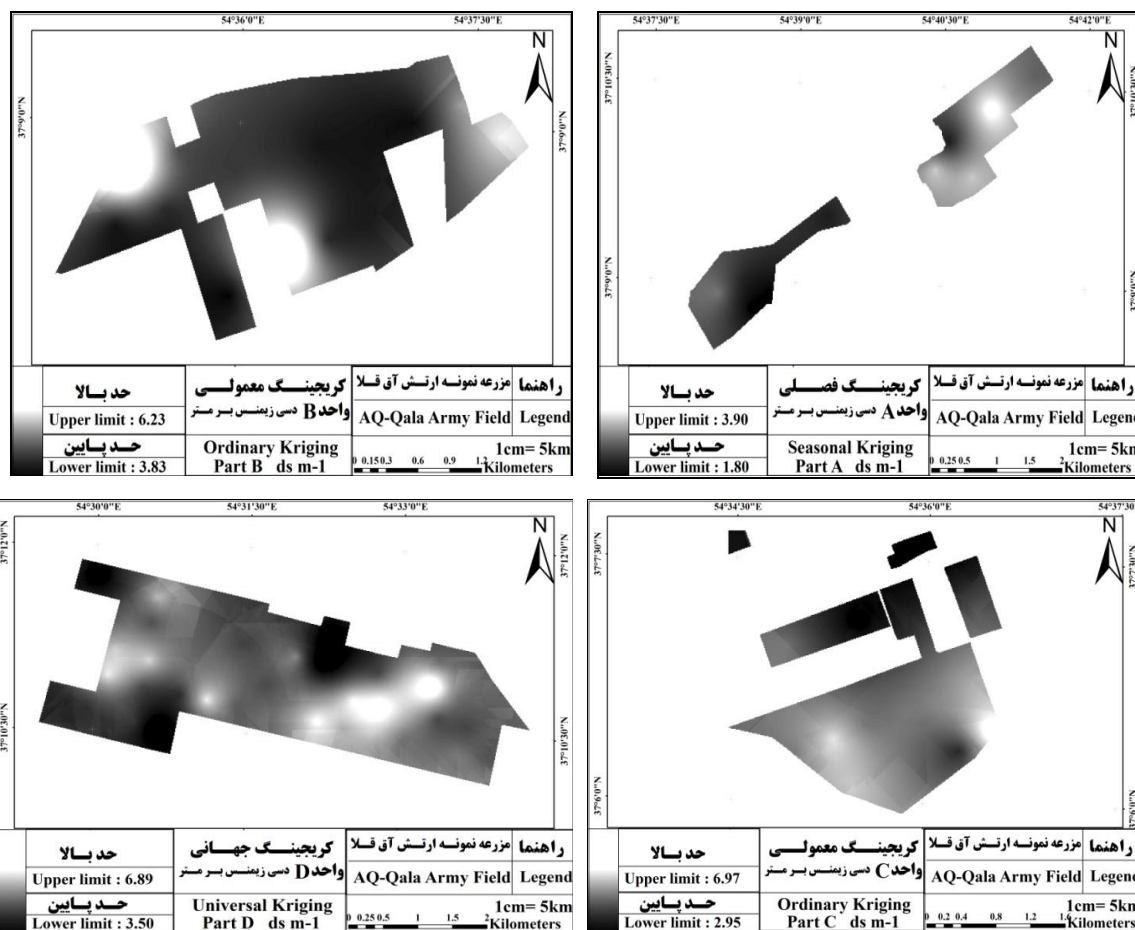
MBE	MAE	RMSE	نام مدل Model	وضعیت مدل Model status	واحدهای نمونه برداری Sampling units	
					مرحله اول First stage	مرحله دوم Second stage
-0.47	1.347	1.174	نمایی Exponential	برتر Best	واحد A Part A	
-0.6	1.697	1.427	گوسی Guassian	ضعیف Worst		
-0.41	1.408	1.066	نمایی Exponential	برتر Best	واحد B Part B	
-0.824	2.705	2.368	j-bessel	ضعیف Worst		
-0.266	1.42	1.03	نمایی Exponential	برتر Best	واحد C Part C	
-0.192	3.287	2.339	j-bessel	ضعیف Worst		
-0.175	2.671	0.746	نمایی Exponential	برتر Best	واحد D Part D	
-0.266	4.885	1.459	j-bessel	ضعیف Worst		
0.53	0.9	0.661	نمایی Exponential	برتر Best	واحد A Part A	
0.512	1.08	0.739	گوسی Guassian	ضعیف Worst		
0.178	0.854	0.544	نمایی Exponential	برتر Best	واحد B Part B	
0.425	2.15	1.493	j-bessel	ضعیف Worst		
0.037	0.878	0.631	نمایی Exponential	برتر Best	واحد C Part C	
0.06	1.13	0.763	گوسی Guassian	ضعیف Worst		
-0.014	1.9	0.608	نمایی Exponential	برتر Best	واحد D Part D	
0.06	2.54	0.769	گوسی Guassian	ضعیف Worst		



طیف شوری‌های بالا نیز بیشتر در واحد D و در قسمتی از واحد B مشاهده می‌شود که شاید یک دلیل آن قرارگیری واحد D در مناطق پست‌تر و تجمع املاح در این نقطه بیشتر از ۳ واحد دیگر است که با نتایج قانعی مطلق و همکاران (۲۰۰۹) که مطالعه‌ای جهت تهیه نقشه شوری خاک در دشت آق‌قلا انجام دادند مطابقت دارد (۹). معیار دیگر ارزیابی دقت، میزان (MBE) می‌باشد. نتایج براساس این آماره نشان داد که در ۴ واحد زراعی مورد مطالعه داده‌های شوری خاک در مرحله اول کمتر از مقدار واقعی برآورد شده‌اند (جدول ۴).

### نتایج ارزیابی روش‌های زمین آماری

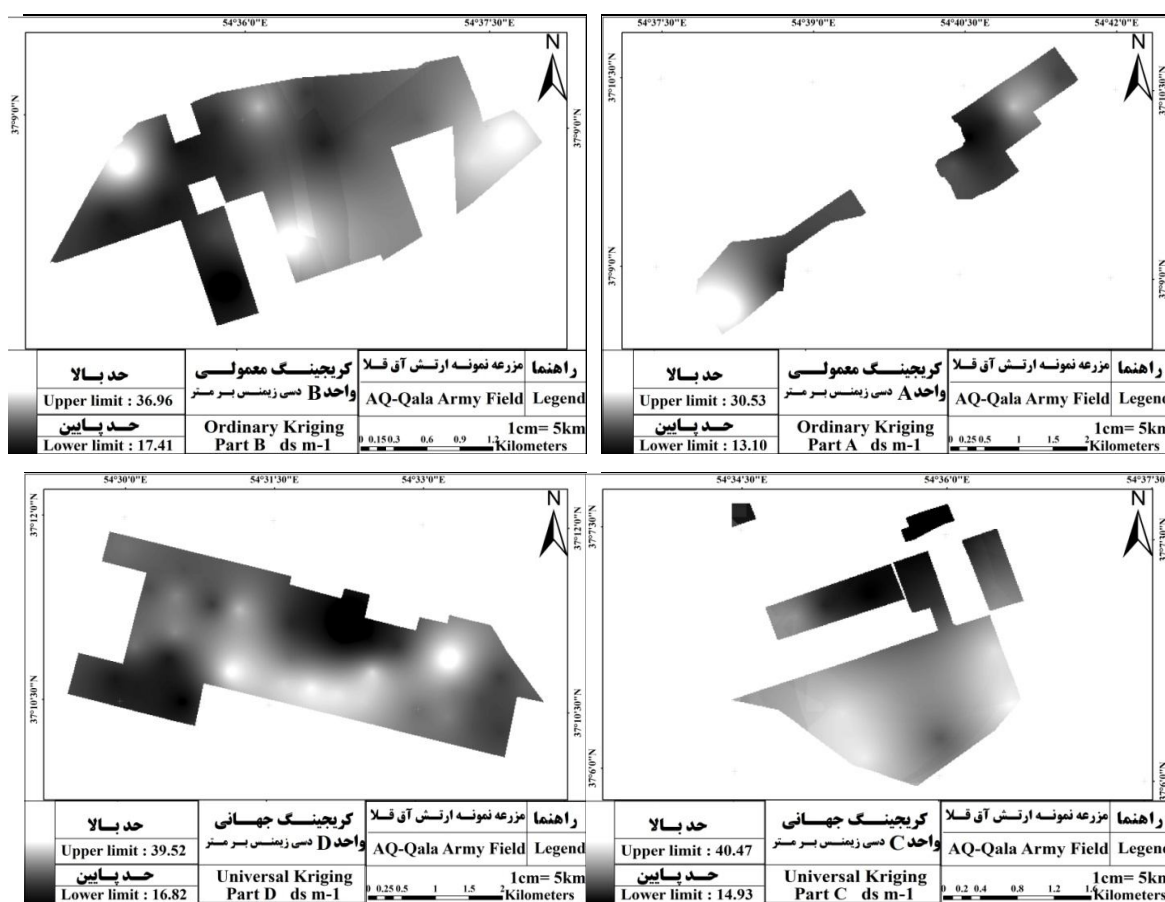
با توجه به نتایج بدست آمده برای شوری خاک در مرحله اول، کریجینگ فصلی در واحد A، کریجینگ معمولی در واحدهای B و C و کریجینگ جهانی در واحد D به دلیل داشتن RMSE کمتر مدل‌های مناسب‌تر تشخیص داده شدند و در بین مدل‌ها نیز مدل نمایی در تمام روش‌ها برتری قابل ملاحظه‌ای داشته است. روش جهانی با مدل J-bessel نیز با توجه به بالا بودن میانگین مربعات خطا ضعیف‌ترین روش و مدل شناخته شدند (جدول ۴). با توجه به شکل (۳)، واحد A طیف شوری نسبتاً پایین‌تری را نسبت به واحدهای دیگر دارد و



شکل ۴- نقشه‌های درونیابی شوری در مرحله اول (دسی‌زیمنس بر متر) در مدل‌های برتر (نمایی) برای واحدهای A، B، C و D.  
Figure 4. Salinity interpolated map in the first stage (ds m-1) for superior model (exponential) in A, B, C and D parts.

به دلیل برداشت محصول در زمین، آبیاری صورت نگرفته و دمای منطقه نیز زمینه تبخیر آب و به سطح آمدن املاح را فراهم ساخت. به طور کلی خاک‌های منطقه مورد مطالعه به دلیل تبخیر بیش از اندازه از سفره‌های آب زیرزمینی شور و کم عمق تحت تاثیر شور و سدیمی شدن قرار دارند با نتایج محلی و منطقه‌ای مقایسه نمایید.

با توجه به مندرجات جدول (۲)، مقادیر حداکثر متغیر شوری خاک در مرحله دوم برای واحدهای A، B، C و D به ترتیب برابر با ۳۵/۷۷، ۴۷/۵۴، ۴۵/۵۵ و ۸۴/۳۳ دسی‌زیمنس بر متر و مقادیر حداقل آن به ترتیب برابر با ۷/۲۱، ۱۰/۶۶، ۹/۹۳ و ۱۱/۴۷ دسی‌زیمنس بر متر بود که بر خلاف مرحله اول نمونه‌گیری میزان بالاتری را نشان داد. در این مرحله



شکل ۵- نقشه‌های درونیابی شوری در مرحله دوم (دسی‌زیمنس بر متر) در مدل‌های برتر (نمایی) برای واحدهای A، B، C و D. Figure 5. Salinity interpolated map in the second stage (ds m-1) for superior model (exponential) in A, B, C and D parts.

برتر معرفی شد. ضعیف‌ترین مدل نیز مدل گوسی تعیین گردید (جدول ۴). در بین این ۴ واحد همانند مرحله اول واحد D طیف شوری بالاتری را نسبت به واحدهای A، B و C به خود اختصاص داد. بررسی تفاوت شوری در مرحله اول و دوم: نقشه تفاوت شوری براساس آستانه‌های تحمل گندم به

نتایج بدست آمده دقت روش‌های درونیابی مورد استفاده برای شوری خاک در مرحله دوم را نشان داد که طبق این نتایج روش کریجینگ معمولی و جهانی نسبت به روش فصلی از دقت بالاتری برخوردار بودند. همچنین از بین مدل‌های انتخابی و با توجه به (RMSE)، مدل نمایی با دقت مناسب‌تر به عنوان مدل

شوری (مطلوب =  $> 6$ ، متوسط =  $6-8$  و ضعیف =  $8-$ )  
 از طبقات تعیین گردید (۱۱) (شکل ۵).  
 (۱۲) در سه کلاسه طبقه‌بندی شد و مساحت هر یک



شکل ۶- نقشه طبقه‌بندی شده تفاوت شوری در مرحله اول با مرحله دوم نمونه برداری.

Figure 6. Reclassified map for salinity difference in the first and second stages of sampling

نشان‌دهنده نوسان شدید شوری خاک اراضی در دو مرحله نمونه‌گیری با یکدیگر است که با نتایج سرمردیان و تقی‌زاده مهرجردی (۲۰۱۰) که مطالعه‌ای در دشت آق‌قلا بر روی شوری خاک منطقه داشتند مطابقت دارد (۳۰).

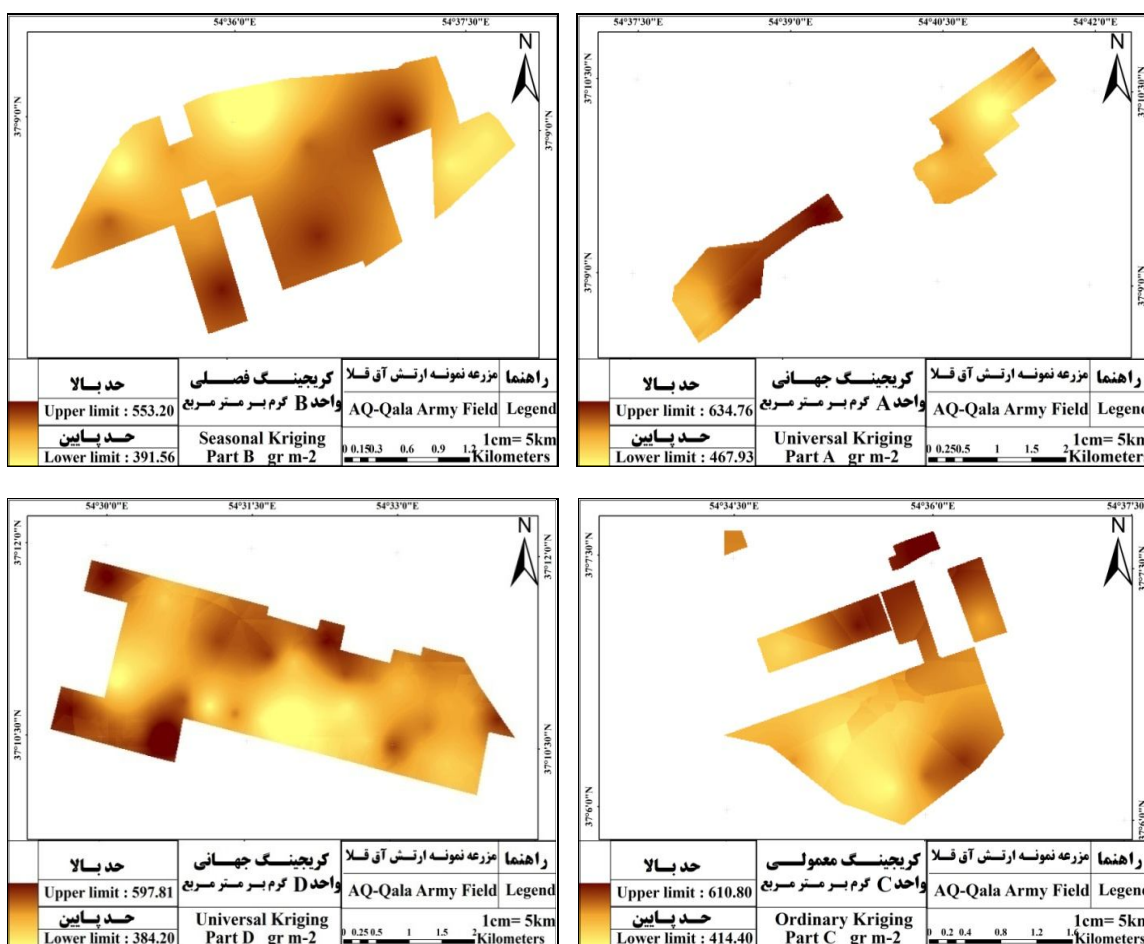
طبق مندرجات شکل (۶) بیشترین مساحت در نقشه تفاوت شوری در شوری‌های بالاتر از ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر بود (واحد B، C و D)، و شوری‌های زیر ۶ دسی‌زیمنس بر متر مساحت بسیار کمی را به خود اختصاص دادند (واحد A و C)، که

جدول ۵- برترین و ضعیف‌ترین مدل‌های مورد استفاده در درون‌یابی عملکرد گندم مزرعه ارتش آق‌قلا برای واحدهای مدیریتی A، B، C و D.  
 Table 5. The best and worst models used in wheat yield interpolation for AQ-Qala army field for management units A, B, C and D.

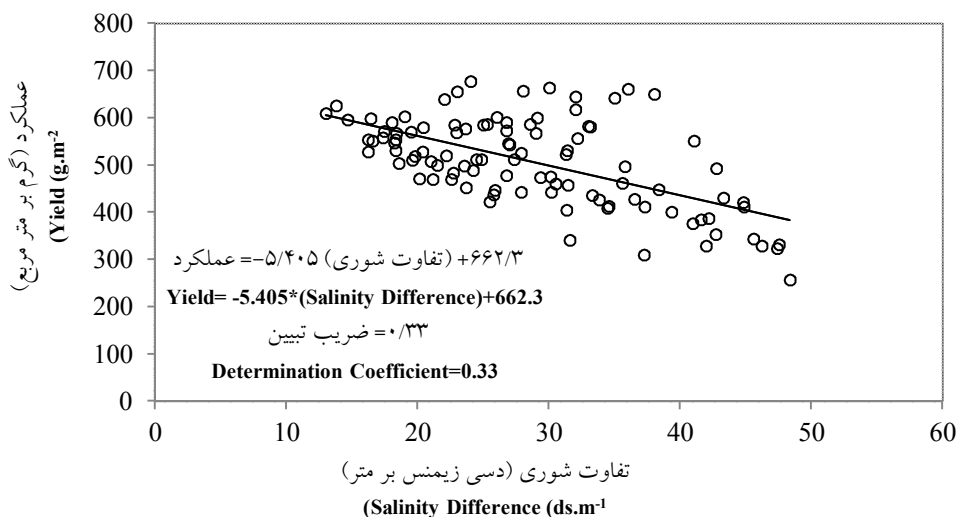
واحدهای نمونه برداری Sampling Units	وضعیت مدل Model status	نام مدل Model	RMSE	MAE	MBE
واحد A Part A	برتر Best	نمایی Exponential	0.542	0.452	-0.09
	ضعیف Worst	گوسی Guassian	0.679	0.643	-0.136
واحد B Part B	برتر Best	نمایی Exponential	0.843	0.939	0.297
	ضعیف Worst	گوسی Guassian	0.969	1.225	0.37
واحد C Part C	برتر Best	نمایی Exponential	0.948	0.998	0.15
	ضعیف Worst	j-bessel	1.48	1.972	0.324
واحد D Part D	برتر Best	نمایی Exponential	0.687	2.247	-0.25
	ضعیف Worst	j-bessel	0.958	3.383	-0.17

به عنوان مدل برتر انتخاب شد. ضعیف‌ترین مدل‌ها نیز مدل‌های گوسی و J-bessel بودند (جدول ۵). میزان برآورد (MBE) با توجه به مقدار مثبت میانگین اریب خطا، در واحدهای B و C بیشتر از مقدار واقعی و با توجه به منفی بودن این معیار در واحدهای A و D کمتر از مقدار واقعی می‌باشد (جدول ۵). صحت مدل (MAE) نیز در واحد A مطلوب‌تر از بقیه واحدها و در واحد D ضعیف‌تر از بقیه واحدها بود که با نتایج مایکلسون و سیلندر (۲۰۰۰) در زمینه ارزیابی دقت شوری خاک بر روی عملکرد گندم در نواحی شمالی ایالت میشیگان کشور آمریکا مطابقت دارد (۲۵).

کمترین اختلاف شوری، در واحد A و C تعیین شده و این مطلب نشان‌دهنده مدیریت بهتر زهکشی و کنترل شوری خاک در این واحدها نسبت به واحدهای دیگر است. براساس نتایج حاصل از درون‌یابی عملکرد گندم در ۴ واحد زراعی مزرعه نمونه ارتش آق‌قلا (جدول ۲)، میانگین بیشترین عملکرد در واحد A و کمترین عملکرد در واحد B مشاهده شد. نتایج بدست آمده حاکی از دقت روش‌های درون‌یابی برای عملکرد گندم بود و روش کریجینگ جهانی نسبت به روش‌های معمولی و فصلی از دقت بالاتری برخوردار بود. همچنین از بین مدل‌های انتخابی و با توجه به (RMSE)، مدل نمایی



شکل ۷- نقشه‌های درون‌یابی عملکرد گندم (گرم بر متر مربع) در مدل‌های برتر (نمایی) برای واحدهای A, B, C و D.  
Figure 7. Wheat yield interpolated maps (gr m-2) for superior model (exponential) in A, B, C and D parts.



شکل ۸- نمودار رابطه رگرسیونی عملکرد گندم و تفاوت شوری در دو مرحله نمونه برداری.

Figure 8. Regression relationship curve for wheat yield against salinity difference in two sampling stages.

### نتیجه گیری کلی

نتایج حاصل از روش های درون یابی کریجینگ نشان داد که از بین سه روش و پنج مدل انتخابی، روش کریجینگ معمولی با مدل نمایی در برآورد شوری خاک و کریجینگ جهانی با مدل نمایی در برآورد عملکرد گندم از دقت بالاتری برخوردار هستند. نتایج حاصل از این مطالعه با نتایج حاصل از تحقیق سایر محققان از جمله لاستت و همکاران (۱۹۸۷)، کرسیس (۱۹۹۱)، وبر و انگلند (۱۹۹۲)، هاچینسون (۱۹۹۳) که به منظور بررسی میزان رابطه عملکرد محصول با شوری خاک بود همخوانی دارد (۲۱) (۵) (۳۶) (۱۳). تحقیقات دیگری نیز در زمینه درون یابی خاک های شور صورت گرفته که در آنها روش های جهانی و فصلی به عنوان روش های برتر انتخاب شده اند که از جمله این تحقیقات می توان به ژیاوپینگ و همکاران (۲۰۰۸) در معرفی کریجینگ جهانی و جین گرو (۲۰۰۴) در انتخاب کریجینگ فصلی به عنوان مدل بهتر در ارزیابی شوری خاک اشاره کرد (۳۷) (۱۹). بر طبق ارزیابی روش های مورد مطالعه در زمینه شوری خاک برای ۴ واحد A, B, C و D، واحد A طیف شوری پایین تری را در دو مرحله

این معادله (شکل ۸) بررسی رابطه رگرسیونی بین عملکرد دانه گندم و هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک در نقشه تفاوت شوری در مرحله اول و دوم نمونه برداری را نشان می دهد به نحوی که به ازای افزایش هر ۱ دسی زیمنس بر متر شوری میزان عملکرد در واحد سطح به اندازه ۵/۴ گرم در متر مربع کاهش می یابد. با توجه به معنی دار بودن ضریب تبیین معادله (شکل ۸). بین داده های عملکرد و تفاوت شوری ( $R^2=0/33$ )، و همبستگی معنی دار دو پارامتر در سطح احتمال ۰/۰۵ درصد ( $T=0/46$ )، نتایج نشان داد که بین افزایش شوری و کاهش عملکرد رابطه معنی داری وجود دارد.

نتایج نهایی نشان داد که در منطقه مورد مطالعه، اسیدیته نمونه ها دارای نوسان بسیار کم است و عموماً مقدار آن بین ۷-۸ متغیر است. به همین دلیل ضریب همبستگی آن با شوری و سدیمی بودن خاک معنی دار نبوده، و امکان مطالعه اسیدیته خاک ضعیف ارزیابی شد. اما میزان شوری خاک در مزارع نمونه ارتش آق قلا در حد فاصل ابتدا و انتهای فصل رشد نوسان قابل توجهی نشان داد (جدول ۱).

برخوردار است و به نظر می‌رسد مدیریت زراعی در زمینه کنترل شوری خاک در این واحد بهتر صورت گرفته است.

طبق ارزیابی روش‌های درون‌یابی در زمینه پیش‌بینی عملکرد گندم برای ۴ واحد A، B، C و D، واحد A طیف عملکرد بالاتری و واحد B طیف عملکرد پایین‌تری را نسبت به واحدهای دیگر از خود نشان دادند. برای عملکرد گندم علاوه بر دلایلی که در ارتباط با پایین بودن شوری خاک در واحد A ذکر شد، می‌توان به فقط رقم کوهدشت در این واحد نسبت به تعداد ارقام در سایر قطعات اشاره کرد (لاین ۱۷، مروارید، کوهدشت و ۸۰۱۹ N).

#### منابع

- Ahmadali, K.H., Nikmehr, S., and Liaghat, A. 2009. Assessment and co-kriging methods to estimate soil depth, salinity and acidity. Iran. J. Study Water, P. 55-64. (In Persian)
- Aliakbari, M., Saadatfar, A., and Shojai, H. 2011. Application of remote sensing and GIS in Natural Resource Sciences. Kerman Journal Research Agriculture, winter 2011, four year, Number one, p. 17-26.
- 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 Agri., 6: 255-270.
- Amini, M.H., and Fathiyanpoor, N. 2002. Comparison between kriging and cokriging for determining of chloride in soil solution. Iran. J. Agric. Sci. 33: 741-747. (In Persian)
- Cressies, N. 1991. Statistic for spatial Data. John Wiley and Sons, New York, N.Y. p. 112-134.
- Dwivedi, R.S. and Sreenivas, K. 1998. Image transforms as a tool for the study of soil salinity and alkalinity dynamics. Int. J. Remote Sensing, 19: 605-619.

نمونه‌برداری نسبت به واحدهای دیگر از خود نشان داد و واحد D از طیف شوری بالاتری نسبت به بقیه واحدها برخوردار بود. چند دلیل صحت این ارزیابی را تایید می‌کند. ۱- واحد A از نظر جغرافیایی در قسمت شمالی و مرتفع‌تر و واحد D در قسمت جنوبی و پست‌تر نسبت به واحدهای دیگر قرار گرفته بود که براساس مطالعاتی که قانعی مطلق و همکاران (۲۰۰۹) در زمینه شوری خاک در دشت آق‌قلا انجام داده بودند، شوری خاک در اراضی شمالی به دلیل عمیق‌تر بودن آب زیرزمینی نسبت به اراضی جنوبی کمتر است (۹). ۲- واحد A از لحاظ سطح زیر کشت نسبت به واحدهای دیگر از مساحت کمتری

- Douaoui, A.E.K., Nicolas, H., and Walteer, Ch. 2006. Detecting salinity hazards within a semiarid context by means of combining soil and remote sensing data. Geoderma, 134: 217-230.
- Gallichand, J., Bouckland, D., Marcotte, D., and Henry M.J. 1992. Spatial Interpolation of Soil Salinity and Sodisity a Saline Soil in Southern Alberta. Can. J. Soil Sci., 72: 503-516.
- Ghaneie motlagh, GH., Pashai aval, A., Khormali, F., and Mosaedi, A. 2009. Soil mapping saline soils to specific management. J. Agric. Sci. Nat. Resour. 15:78-81.
- Habashi, H., and Hosseini, M. 2008. Assess the accuracy of interpolation methods for the estimation of total nitrogen in soils using GIS. Gorgan J. Agri. Sci. Nat. Resour., 1: 28-44.
- Heidari, M., Nadeyan, H., Bakhshandeh, A.M., Alemisaeid, K., and Fathi, G. 2007. Effects of salinity and nitrogen rates on osmotic adjustment and accumulation of mineral nutrients in Wheat. J. Sci. Technol. Agric. Nat, Resour., 11(4): 211-218.
- Hosseini, E., Gallichand, J.D., and Marcotte. T. 1994. Theoretical and experimental performance of spatial interpolation methods for salinity analysis. Trasc, ASAE. 36: 1799-1807.

13. Hutchinson, M.F. 1991. Continent Wide Data Assimilation Using Thin Plate Smoothing Splines. In: J.D. Jasper(Ed). Data Assimilation system. BMRC Research Report No. 27, Melbourne Bureau. Meteorol., P: 104-113.
14. Ian, A., and Nalder, R.W. 1998. Spatial interpolation of climatic Normals: test of a new method in the Canadian boreal forest. *Agri. Forest Meteorol.*, 92(4): 221-233.
15. Iqbal, R.M. 2003. Leaf extension growth of wheat grown under NaCl and Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> salinity. *Asian J. Plant Sci.*, 2 (15): 1092-1096.
16. Issaks, E.H., and Srivastava, R.M. 1989. *An Introduction to Applied Geostatistics.* Oxford University Press, 389 pp.
17. James, I.T., Waive, T.W., Bradley, R.I., Taylor, J.C. and Godwin, R.J. 2003. Determination of soil type boundaries using electromagnetic induction scanning techniques. *Biosyst. Eng.*, 86(4):421-430.
18. Jiachun Shi., Haizhen Wang., Jianming, Xu., Jianjun, Wu., Xingmei, Liu., and Haiping, Z.C.Y. 2007. Spatial distribution of heavy metals in soils: a case study of changxing, china, *Environ Geol.*, 52:1-10.
19. Jingru, H. 2004. *The Theory of Disjunctive Kriging and Its Application in Grade Estimate.* Civil and Environmental Engineering School, Beijing University Sciences Technolgy, Beijing, China, p. 31-57.
20. Knotters, M., Brus, D.J., and Oude Voshaar, J.H. 1995. A comparison of kriging, co-kriging combined with regression for spatial interpolation of horizon depth with censored observations. *Geoderma*, 67: 227-246.
21. Laslett, G.M., Mcbratney, A.B., Phal, P.I., and Hutchinson, M.F. 1987. Comparison of several spatial prediction methods for soil pH. *J. Soil Sci.*, 38: 325-341.
22. Lesch, S.M., Corwin, D.L. and Robinson, D.A. 2005. Apparent soil electrical conductivity mapping as an agricultural management tool in arid zone soils. *Comput. Elect. Agric.*, 46. 351-378.
23. Malakuti, M.J. 2000. *Wheat Balanced Nurture.* Agricultural Education Publication, Karaj. 11-24pp.
24. McKenna, S.A. 2002. Simulating geological uncertainty with imprecise data for groundwater flow and advective transport modeling. Department of Geology and Geological Engineering, Colorado School of Mines Golden, Colorado, U.S.A.
25. Mickelson, J.G., and Silander, J.A. 2000. Delineating forest canopy Photogrammetric Engin. *Remote Sensi.*, 64(9): 891-904.
26. Mohammadi, J. 2000. Evaluation and mapping of soil salinity hazard in Ramhormoz area (Khuzestan) using disjunctive kriging. *J. Agric. Reas.*, 6: 45-57.
27. Mtkan, A., Ziaiiian Firuzabadi, P., and Dadashi Khaneghah, S. 2007. Snow cover detection using image processing. Algorithm in Karaj and Latian Basins, the Third International Conference, Earth from Space, 24: 1163-1170.
28. Robinson, T.P., and Metternicht, G. 2006. Testing the performance of spatial interpolation techniques for mapping soil properties. *Comput. Elec. Agric.*, 50:97-108.
29. Saghafian, B., Razmkhah, H., and Ghermezcheshme, B. 2012. Regional variations in annual precipitation using geostatistical methods. *J. Eng. Sources Water*, 2: 68-73.
30. Sarmadian, F., and Mehrjerdi, T. 2010. Comparison of interpolation methods for mapping soil quality. *Iran. J. Res. Water Soil*, 157-165.
31. 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.
32. Shi, Z., Li, Y., Makeschine, F., and Wang, R.C. 2005. Assessment of temporal and spatial variability of soil salinity in a coastal saline field. *Environ, Geol.*, 48: 171-178.
33. Singh, A.N. and Dwivedi, R.S. 1989. Delineation of salt affected soils through

- digital analysis of landsat Mss data. Int. J. R. Remote Sens., 10: 80-88.
34. Sokutieskooi, R., Mahdian, M.H., Mahmoodi, Sh., and Ghahremani, A. 2008. Comparison of geostatistical methods for spatial prediction of soil salinity. Orumie J. Issue Res. Composing, 74: 90-98.
35. Wackernagel, H. 2003. Multivariate Geostatistics: An Introduction with Applications. Springer, Berlin Heidelberg and New York, 31: 262-390.
36. Weber D., and England, E. 1992. Evaluation and comparison of spatial interpolations. Math. Geol., 24: 381-391.
37. Xiaopeng, Y., and Lingqing, W. 2008. Spatial Analysis and Hazard Assessment of Mercury in Soil around the Coal-Fired Power Plant: A Case Study from the City of Baoji, China, Environ Geol. 53:1381-1388.
38. YueSun, A.A., Shaozhong Kang, F.Li., and Zhang, L. 2009. Comparison of interpolation methods for depth to groundwater and its temporal and spatial variations in the Minqin oasis of northwest China. J. Environ. Model. Software, 24: 1163-1170.