

نقش الگوی نمونه‌برداری در کارایی نقشه‌های پایش شوری خاک

سید امیر سید حسینی اصل: دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز

حسین رضائی*: استادیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز

فرزین شهبازی: استاد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز

شاهین اوستان: استاد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز

نوع مقاله: پژوهشی

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۱/۳۰

تاریخچه مقاله (تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۸/۱۶)



20.1001.1.22517812.1401.12.3.12.1

چکیده

برای جلوگیری از تخریب اراضی، همواره بایستی تغییرات شوری خاک بررسی شود. در پایش مکانی تغییرات ویژگی‌های خاک همچون شوری، طراحی الگوی نمونه‌برداری مناسب اهمیت بالایی دارد. بر این مبنای مطالعه حاضر در ۱۵۵ هکتار از اراضی منطقه شامل استان آذربایجان شرقی به بررسی نقش الگوی نمونه‌برداری (تعداد و توزیع نقاط) در پهنه‌بندی شوری و کارایی نقشه‌های تهیه شده پرداخت. با استفاده از روش کریجینگ، نقشه‌های شوری خاک بر مبنای پنج الگوی نمونه‌برداری شامل شبکه‌های منظم ۱۰۰ و ۲۰۰ متری، شبکه ۲۰۰ متری تو در تو و شبکه‌های مستطیلی ۱۰۰×۲۰۰ متری با دو جهت افقی و عمودی تهیه شد، سپس پارامترهای میانگین اندازه محدوددها در هر نقشه، شاخص حداکثر کاهش و تراکم محدوددها محاسبه شد. نقشه‌های تهیه شده، پهنه‌های مختلفی از شوری را نشان داد که حداکثر مقدار آن در غرب منطقه بود. نتایج مدل‌سازی مکانی برای انواع الگوی نمونه‌برداری نشان داد که در طراحی مدل برتر نیم تغییرنا برای درون‌یابی، نقش توزیع نقاط نمونه‌برداری بیش از تعداد آنهاست اما در مقادیر آستانه و دامنه، تأثیر برعکس است. نتیجه یکسان نسبت آستانه به سقف حاصل شده برای انواع الگوی نمونه‌برداری - که عمدتاً در این مطالعه به ذاتی بودن تغییرات مکانی شوری اشاره دارد - بیانگر مستقل بودن این شاخص از تعداد و توزیع نقاط نمونه‌برداری است. در میان‌یابی‌های صورت گرفته، هر چند توزیع نقاط مطالعاتی در دقت و صحت برآوردهای صورت گرفته مؤثر بود، ولی تعداد نقاط نقش بیشتری داشت. نتایج نشان داد که در مطالعات درون‌یابی، تهیه نقشه‌هایی با وضوح بالاتر و نتایج تفصیلی‌تر همواره به تعداد و تراکم بالای نمونه‌برداری نیاز ندارد، اما در الگوهای با تعداد و تراکم‌های یکسان، کارایی نقشه‌ها به توزیع نقاط نمونه‌برداری وابسته است. همچنین تراکم ایده‌آل محدوددها را نمی‌توان به‌طور مستقیم با تراکم یا توزیع به‌خصوصی از نقاط نمونه‌برداری مرتبط دانست؛ بنابراین توصیه می‌شود در طراحی الگوی نمونه‌برداری خاک، ابتدا تراکم بهینه یافت شود و برای آنها توزیع مناسبی ترسیم گردد.

واژگان کلیدی: پهنه‌بندی شوری، تخریب اراضی، توزیع نمونه‌برداری، شاملو، کریجینگ

۱- مقدمه

مدیریت پایدار منابع خاک و اراضی، مستلزم شناسایی عوامل دخیل در توسعه یا تخریب آنها و منبع و نحوه گسترش این عوامل است. پایه و اساس چنین شناختی از عوامل دخیل، تعیین دقیق و قابل اعتماد پراکنش ویژگی‌های خاک و زمین‌نما است که می‌تواند از طریق ارائه اطلاعات پایه از جنبه‌های مختلف همچون محدودیت‌های خاک، شوری و قلیائی بودن، فرسایش و توپوگرافی و زهکشی با توجه به نقاط ضعف و قوت استعداد اراضی، موفقیت مدیریت را در پی داشته باشد. در مطالعات خاک‌شناسی با وجود پیوستگی ویژگی‌های خاک، نمونه‌برداری‌ها عموماً به صورت نقطه‌ای است و برآورد مقادیر خصوصیات بین نقاط با روش‌های مختلف هندسی، آماری و ریاضیاتی انجام می‌شود (Mohammadi, 2006). توزیع، تعداد و تراکم نقاط مطالعاتی و نوع روش درون‌یابی، از جمله عوامل مؤثر در کارایی برآوردهای صورت گرفته‌است (Li and Heap, 2008).

شوری خاک از جمله مشکلات شایع در نواحی خشک و نیمه‌خشک همچون ایران است که به افت کیفیت خاک و در نهایت تخریب اراضی منجر می‌شود. براساس گزارش سال ۱۳۸۹، اراضی دارای درجات مختلفی از شوری خاک، مساحتی بالغ بر ۵۵/۶ میلیون هکتار از ایران را شامل می‌شوند (Momeni, 2010) که با توجه به شرایط موجود، این وسعت قطعاً افزایش می‌یابد و روز به روز در حال گسترش است؛ از این رو ضروری است برای مقابله با این معضل، تغییرات وسعت و مقدار شوری بررسی شود. نخستین استفاده از زمین‌آمار در ایرا نیز با توجه به اهمیت شوری خاک در نواحی خشک و نیمه‌خشک، به بررسی این ویژگی پرداخت (Hajrasuliha et al, 1980) و در ادامه با توجه به این نکته که همواره این مشکل، پیامدهای منفی مختلفی را بیش از پیش از خود نشان داد، در تخمین و پهنه‌بندی شوری خاک از روش‌های متعدد زمین‌آماری استفاده شد که نتایج غالب آنها از قابلیت بالای روش کریجینگ در این امر حکایت دارد (Hosseini et al, 1994 & Robinson and Metternicht, 2006 & Emadia and Baghernejad, 2014 & Amini et al, 2018).

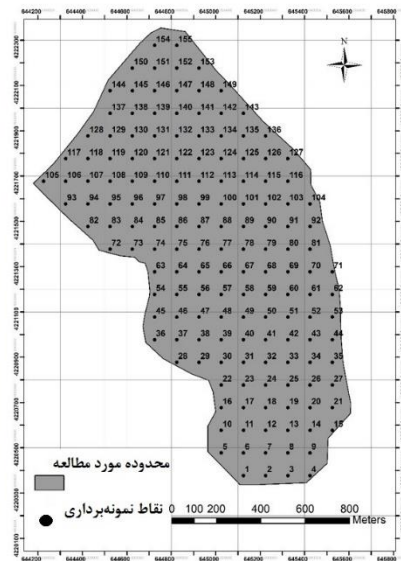
در کنار استفاده از روش‌های مختلف درون‌یابی ویژگی‌های خاک، حفظ دقت برآوردهای صورت گرفته ضمن صرفه‌جویی در زمان و هزینه از مقوله‌های مطرح در مرحله نمونه‌برداری از مطالعات خاک‌شناسی است. این مهم از جنبه‌های مختلفی قابل بحث است که از اصلی‌ترین آنها تعداد نمونه‌ها و به عبارتی، تراکم نمونه‌برداری در یک محدوده مشخص است. دامنه تأثیر ویژگی‌های مختلف خاک، تابعی از مقیاس و فاصله نمونه‌برداری و موقعیت زمین‌نما است (Cambardella et al, 1994). اگرچه نتایج مطالعات پیشین در این خصوص، اصل افزایش دقت کار با افزایش تراکم نمونه‌برداری را تأیید می‌کند (Sheng et al, 2011 & Emadia and Baghernejad, 2014 & Amini et al, 2018)، دست‌یابی به سیستم نمونه‌برداری ایده‌آل همواره بایستی قابل توجه باشد که در آن ضمن حفظ دقت، صرفه‌جویی‌های مربوطه نیز مدنظر قرار گیرد (Mohammad Zamani et al, 2007). گزینش تراکم بهینه نقاط نمونه‌برداری برای تخمین و پهنه‌بندی ویژگی‌های خاک از جمله شوری در تحقیقات Hosseinzadeh و همکاران (2014)، Hasheminejhad و همکاران (2015)، Tsui و همکاران (2016) و Silvero و همکاران (2018)، بیانگر این مطلب بود که در حدی از افزایش تراکم، تغییر معنی‌داری در مقادیر برآوردها و دقت کار مشاهده نمی‌شود. صرف‌نظر از نقش تراکم نمونه‌برداری در دقت درون‌یابی، بایستی در گزینش الگوی بهینه نمونه‌برداری به کارایی نقشه‌های خروجی

نیز توجه کرد؛ چرا که این امر برای کاربران عرصه اجرا - که برنامه‌ریزی‌ها و مدیریت‌های آتی را بر مبنای نقشه‌های تهیه شده انجام می‌دهند - اهمیت دارد (Forbes et al, 1987). در این راستا، Shahbazi و همکاران (2016)، کارایی نقشه شوری خاک را در دو تراکم ۲۵ و ۵۰ متری از الگوی نمونه‌برداری شبکه منظم در اراضی ایستگاه تحقیقاتی کرکج بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که کاهش دو برابری تعداد نمونه‌ها ضمن افزایش تراکم ایده‌آل محدوده‌ها، در کاهش دقت نقشه شوری خاک اثر چشمگیری ندارد.

اگرچه تحقیقات متعددی در مورد نقش تراکم نمونه‌برداری در دقت مطالعات پهنه‌بندی شوری خاک با روش‌های مختلف درونیابی صورت گرفته‌است، به نحوه توزیع نقاط و نقش آن در دقت و کارایی نقشه‌های خروجی توجه بسیار اندکی شده؛ این در حالی است که الگوی نمونه‌برداری خود مشتمل بر عوامل تعداد، تراکم و توزیع نقاط نمونه‌برداری است. بر این مبنای، مطالعه حاضر بر آن است تا نقش توزیع نقاط را در کنار تعداد و تراکم آنها در قالب الگوهای نمونه‌برداری شبکه‌ای منظم، بر دقت و کارایی نقشه‌های شوری حاصل شده بررسی کند. همچنین از آنجایی که استان آذربایجان شرقی از جمله نواحی است که در سال‌های اخیر با معضل شور شدن اراضی روبرو بوده و برون‌رفت از این مشکل توجه خاصی می‌طلبد، مطالعه پیش‌رو در بخشی از اراضی آن صورت گرفت تا گامی در راستای اقدامات مدیریتی آتی در بخشی از اراضی این استان باشد.

۲- منطقه مورد مطالعه

مطالعه حاضر در منطقه شامل شهرستان هریس در استان آذربایجان شرقی واقع در محدوده جغرافیایی ۰۷° ۳۸ تا ۰۸° ۳۸ عرض شمالی و ۳۸° ۴۶ تا ۳۹° ۴۶ طول شرقی، با وسعتی در حدود ۱۵۵ هکتار انجام شد (شکل ۱). با توجه به متوسط بارش سالیانه ۲۸۰ میلی‌متر و دمای ۹/۹ درجه سلسیوس، این منطقه بر اساس سیستم آمبرژه دارای اقلیم نیمه‌خشک سرد است (IRIMO, 2018). رژیم رطوبتی و حرارتی خاک‌های منطقه نیز به ترتیب زیریک و مزیک است (Banaei, 1998). از نظر زمین‌شناسی، این منطقه عمدتاً از مجموعه تشکیلات مارنی - آهکی دوره‌های پلیوسن و میوسن و تشکیلات آهکی همراه با رسوبات دوران چهارم بر روی خاکستر آتشفشانی تشکیل شده‌است. نهشته‌های این منطقه نیز به صورت واحدهای مارنی، ژئوپس، ماسه‌سنگ، شیل و آهک‌های ماسه‌ای ته‌نشست شده‌است (Darvishzadeh, 1991 & GSI, 2006). ارتفاع متوسط محدوده مورد مطالعه، ۱۵۲۰ متر از سطح دریا و واحد فیزیوگرافی آن، دشت است. بر اساس نقشه منابع خاک‌های ایران، زیرگروه‌هایی از اینسپتی‌سول و اریدی‌سول خاک‌های غالب منطقه را تشکیل داده‌اند (Banaei, 2000). کاربری این اراضی در سالیان گذشته، کشت محصولات زراعی با تیپ بهره‌وری عمده گندم و جو بود که اینک به دلیل شوری خاک حاکم بر منطقه، کشت مگر در موارد جزئی - که صرفاً برای حفظ مالکیت اراضی بدون توجیه اقتصادی تولید است - انجام می‌شود و اراضی به صورت بایر رها شده‌اند.



ایران



آذربایجان شرقی



شهرستان همدان

شکل ۱: موقعیت جغرافیایی، الگوی نمونه برداری پایه و شمای منطقه مورد مطالعه

۳- مواد و روش

در نخستین گام، الگوی نمونه برداری شبکه‌ای^۱ به ابعاد ۱۰۰ در ۱۰۰ متر با توجه به دامنه تغییرات مورد انتظار برای همبستگی مکانی و ویژگی مورد بررسی مطابق با شواهد میدانی، به عنوان الگوی پایه طراحی شد که در شکل ۱ نشان داده شده است. با استناد به الگوی نمونه برداری تعیین شده، شبکه‌های مورد نظر با استفاده از مختصات جغرافیایی نقاط حاصل از ناوبری سیستم موقعیت یاب جهانی^۲ در عرصه پیاده و نمونه‌های دست‌خورده خاک از عمق ۲۰-۳۰ سانتی‌متری ۱۵۵ نقطه تهیه شد. در مرحله آزمایشگاهی پس از آماده‌سازی نمونه‌های خاک، مطالعه قابلیت هدایت الکتریکی عصاره گل اشباع با استفاده از دستگاه EC سنج اندازه‌گیری شد (Rhoades, 1996).

به منظور دستیابی به هدف اصلی مطالعه که بررسی اهمیت الگوی نمونه برداری است، پراکنش مکانی شوری و تحلیل‌های مرتبط با دقت و کارایی نقشه‌های خروجی، برای پنج حالت الگوی نمونه برداری مشتمل بر الگوهای الف و ب به ترتیب شبکه‌های مربعی^۳ ۱۰۰×۱۰۰ متری، الگوی پ شبکه مربعی تو در تو^۴ ۲۰۰ متری و الگوهای ت و ث شبکه‌های مستطیلی^۵ ۱۰۰×۲۰۰ متری با دو توزیع عمودی و افقی به‌طور جداگانه صورت گرفت (شکل ۲). براساس الگوهای طراحی شده در سطح مورد مطالعه منطقه، تعداد نقاط نمونه برداری برای حالت‌های الف و ب به ترتیب ۱۵۵ و ۴۱ عدد و برای الگوهای پ، ت و ث به‌طور یکسان ۷۹ عدد بود. ذکر این امر لازم است که در ادامه برای سهولت بحث، از حروف ترتیبی ارائه شده برای انواع الگوی نمونه برداری - که پیش‌تر بیان و در شکل ۲ نشان داده شد - استفاده خواهد شد.

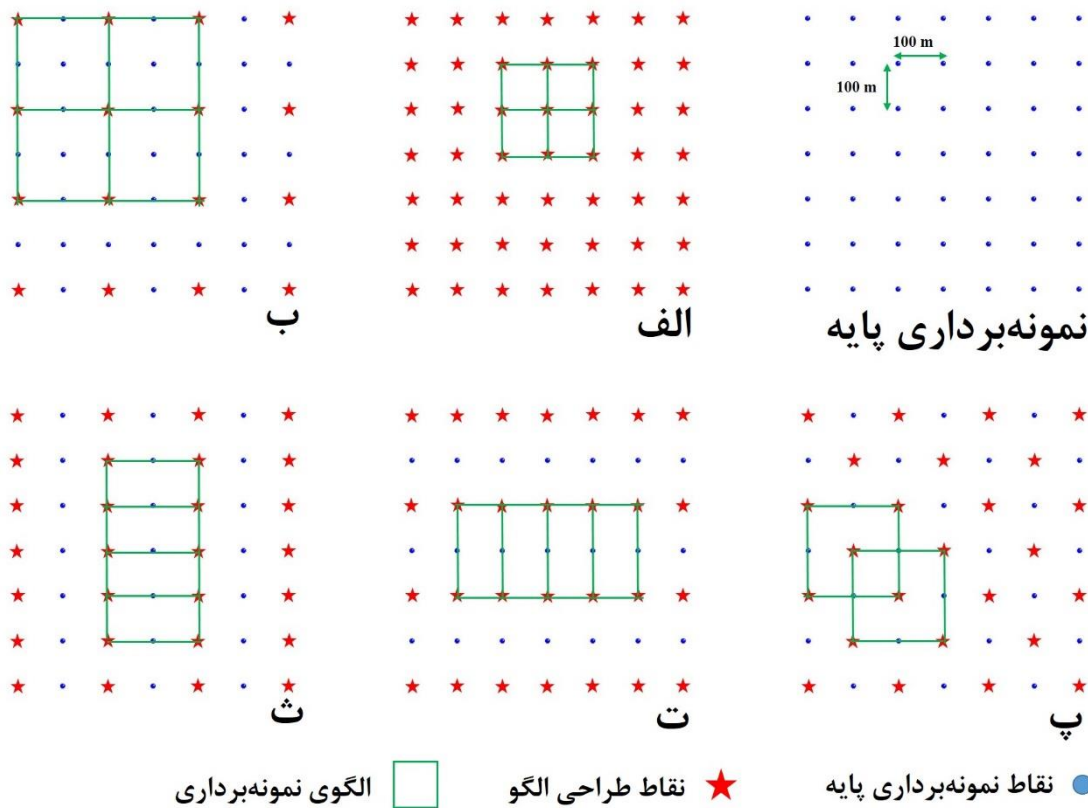
¹ Grid Survey

² Global Position System (GPS)

³ Uniform grids

⁴ Offset grids

⁵ Rectangular grids



شکل ۲: انواع الگوهای نمونه برداری براساس الگوی نمونه برداری پایه: الف - شبکه مربعی ۱۰۰ متری، ب - شبکه مربعی ۲۰۰ متری، پ - شبکه مربعی ۲۰۰ متری، ت - شبکه مستطیلی عمودی ۱۰۰×۲۰۰ متری و ث - شبکه مستطیلی افقی ۱۰۰×۲۰۰ متری

پیش از مدل‌سازی مکانی شوری خاک، تجزیه آماری نتایج به دست آمده از شوری نقاط با استفاده از نرم‌افزار SPSS انجام و نرمال بودن داده‌ها با آزمون کلموگراف - اسمیرنوف بررسی شد. برای مدل‌سازی مکانی شوری خاک، از روش زمین‌آماري کريجینگ - که تخمین‌گیری بر مبنای میانگین متحرک وزن‌دار و تابعی خطی از مجموعه مشاهدات واقع در همسایگی محل مورد تخمین است و به عنوان بهترین تخمین گر نااریب شناخته می‌شود - استفاده شد (Mohammadi, 2006). اساس کار این تخمین‌گر، فرمول ارائه شده توسط Krige (1951) است که در رابطه ۱ نشان داده شد.

$$Z = \sum_{i=1}^n \lambda_i z(x_i) \quad \text{رابطه ۱}$$

در این رابطه، Z مقدار مکانی متغیر برآورد شده، $Z(x_i)$ مقدار متغیر در نقطه‌ای به مختصات x_i و λ_i وزن یا اهمیت کمیت وابسته به نمونه i ام است.

در استفاده از روش کريجینگ برای تخمین مقادیر شوری خاک در نقاط اندازه‌گیری نشده با استفاده از مقادیر نقاط معلوم، ابتدا مدل‌سازی ساختار تغییرات مکانی توسط نرم‌افزار $GS+$ صورت گرفت و طی ترسیم نیم تغییرنما^۱، بهترین مدل ساختار تغییرات مکانی از بین مدل‌های گوسی، نمایی، خطی و کروی براساس بالاترین ضریب تعیین (R^2) و

^۱ Gamma Design Software

^۲ Semivariogram

کمترین مجموع مربعات باقی مانده (RSS) انتخاب شد. سپس براساس مدل انتخابی، پارامترهای سقف^۱، آستانه^۲ و دامنه تأثیر^۳ برای استفاده در برازش مدل‌های درونیابی بر مبنای داده‌های موجود و ترسیم نقشه نهایی محاسبه شد (Webster and Oliver, 2007).

به منظور تست مدل‌های درونیابی یا به عبارتی ارزیابی دقت و صحت تخمین مقادیر شوری خاک حاصل از مدل با توجه به در اختیار نبودن مقادیر واقعی شوری در فواصل بین نقاط معلوم، از روش جکنایف^۴ استفاده شد که بر حذف موقت یک نمونه و تخمین آن، سپس برگرداندن نمونه مورد نظر به مجموعه داده‌ها و تکرار این عمل برای تمام نمونه‌های موجود استوار است. خروجی این ارزیابی مقادیر عددی واقعی و تخمینی، قابلیت هدایت الکتریکی است که بر مبنای آنها از پارامترهای میانگین خطای اریب^۵، میانگین خطای مطلق^۶، ریشه میانگین مربعات خطا^۷، ضریب تعیین^۸ (به ترتیب روابط ۲، ۳، ۴ و ۵) و آزمون t برای بررسی دقت و صحت تخمین استفاده شد (Lu and Wong, 2008).

$$ME = \left(\frac{1}{n}\right) \sum_{i=1}^n (Z_i^* - Z_i) \quad \text{رابطه ۲}$$

$$MAE = \left(\frac{1}{n}\right) \sum_{i=1}^n |Z_i^* - Z_i| \quad \text{رابطه ۳}$$

$$RMSE = \sqrt{\left(\frac{1}{n}\right) \sum_{i=1}^n (Z_i^* - Z_i)^2} \quad \text{رابطه ۴}$$

$$R^2 = \frac{[\sum_{i=1}^n (Z_i - \bar{Z}_i)(Z_i^* - \bar{Z}_i^*)]^2}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (Z_i - \bar{Z}_i)^2 \sum_{i=1}^n (Z_i^* - \bar{Z}_i^*)^2}} \quad \text{رابطه ۵}$$

در روابط فوق، Z_i و Z_i^* به ترتیب ویژگی‌های اندازه‌گیری شده و تخمین زده شده و n تعداد داده‌ها است. پس از تهیه نقشه پیوسته شوری با استفاده از درونیابی، پهنه‌بندی شوری خاک‌های منطقه بر مبنای کلاس‌های ارائه شده توسط مؤسسه تحقیقات خاک و آب ایران صورت گرفت (Mahler, 1979). بررسی کارایی نقشه‌های شوری خاک تهیه شده، با پارامترهای میانگین اندازه محدوددها در هر نقشه^۹، شاخص حداکثر کاهش^{۱۰} و تراکم ایده‌ال محدوددها^۱ انجام شد (Forbes et al, 1987). پارامتر شاخص حداکثر کاهش به‌عنوان عامل مؤثر در عدد مقیاس، بیانگر مقدار کوچک شدن مقیاس یک نقشه بدون کاهش وضوح آن است (رابطه ۶).

¹ Nugget

² Sill

³ Range of parameter

⁴ Jackknife

⁵ Mean Biased Error (ME)

⁶ Mean Absolute Error (MAE)

⁷ Root Mean Square Error (RMSE)

⁸ Coefficient of Determination (R^2)

⁹ Average Size Delineation (ASD)

¹⁰ Index of Maximum Reduction (IMR)

$$IMR = \sqrt{\frac{ASD}{MLD}} \quad \text{رابطه ۶}$$

در رابطه ۶ ASD و MLD^۲ به ترتیب بیانگر مقیاس اسمی میانگین اندازه محدوده‌ها و حداقل محدوده قابل ترسیم بر روی نقشه است. در این مطالعه مطابق با روش مرسوم مورد کاربرد، محدوده قابل ترسیم بهینه ۰/۴ سانتی‌متر مربع در نظر گرفته شد. همچنین میانگین اندازه محدوده‌ها از رابطه ۷ محاسبه شد (Forbes et al, 1987).

$$ASD = \frac{\sum_{j=1}^m A_j}{m} \quad \text{رابطه ۷}$$

تهیه نقشه خوانا مستلزم تراکم ایده آل محدوده ۵٪ است و از این رو بایستی میانگین اندازه محدوده‌ها، بیست برابر بزرگ‌تر از حداقل اندازه محدوده قابل ترسیم باشد (Rossiter, 2000). تراکم محدوده‌ها از رابطه ۸ محاسبه می‌شود که با افزایش تعداد پلی‌گون در سطح مشخصی از یک نقشه، خوانا بودن نقشه کاهش می‌یابد.

$$DD = \frac{MLD}{ASD} \times 100 \quad \text{رابطه ۸}$$

۴- یافته‌ها (نتایج)

جدول ۱، توصیف آماری را از داده‌های اولیه شوری خاک منطقه نشان می‌دهد که با توجه به مقدار سطح معنی‌داری صفر حاصل از آزمون کلموگراف - اسمیرنوف که مقداری کمتر از ۰/۰۵ است، دریافت شد که داده‌ها توزیع غیرنرمال داشتند. از آنجایی که استفاده صحیح از آنالیز واریوگرام در بررسی ساختار مکانی، به نرمال بودن داده‌ها وابسته است (Mohammadi, 2006)، داده‌های شوری پیش از محاسبات زمین‌آماری به روش تبدیل لگاریتمی - که از جمله راهکارهای مورد تأیید در این خصوص است - نرمال شد (Walter and McBratney, 2001 & Jordan et al, 2004).

جدول ۱: توصیف آماری داده‌های شوری خاک منطقه

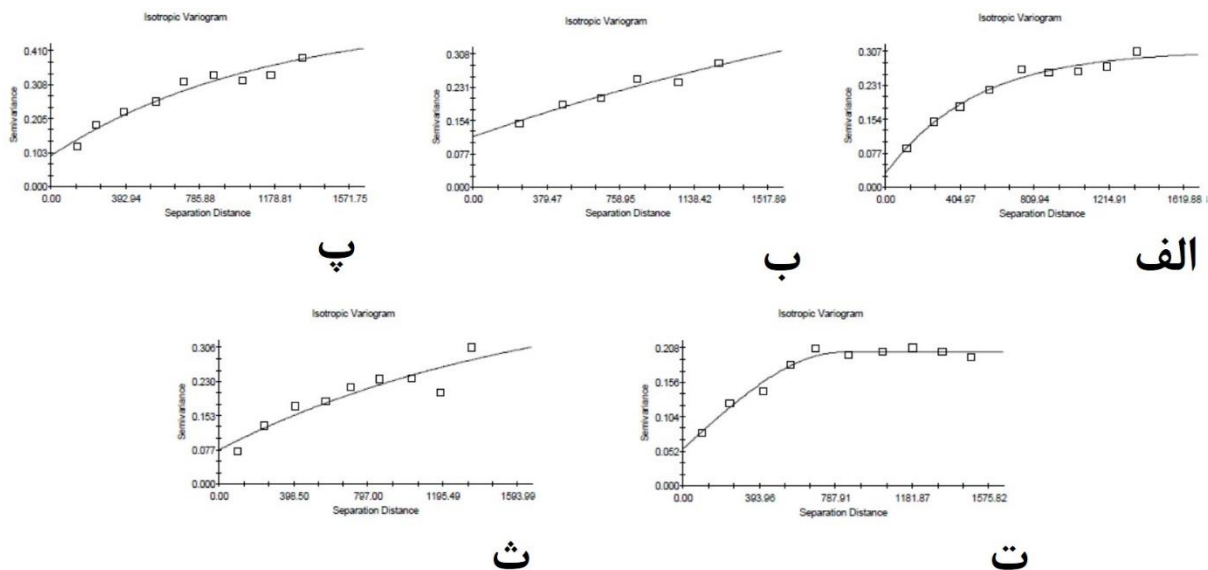
آماره	تعداد داده	حداقل	حداکثر	میانگین	ضریب تغییرات	انحراف معیار	Sig
هدایت الکتریکی (dS.m ⁻¹)	۱۵۵	۲/۴۸	۳۶/۵	۴/۶۵	۱۸/۴۳	۴/۲۹	۰/۰۰

بر مبنای نیم تغییرنماهای رسم شده برای هر یک از الگوهای نمونه‌برداری (شکل ۳)، مشاهده شد که مدل نمایان بهترین حالت برازش یافته با استناد به بالاترین ضریب تعیین و کمترین مجموع مربعات باقی‌مانده در چهار الگوی نمونه‌برداری به جز حالت ت است که در آن مدل کروی حالت بهینه برازش یافته شناخته شده است. مدل‌های برازش یافته در این تحقیق، در مطالعات اخیر نیز به عنوان مدل‌های برتر در این خصوص معرفی شده‌اند (Bagheri Bodaghabadi, 2018 & Abdennour et al, 2019 & Benslama et al, 2020). مشخصات مدل‌های ساختار مکانی هر الگوی نمونه‌برداری برای تخمین‌های صورت گرفته توسط روش کریجینگ، در جدول ۲ بیان شده است. براساس نتایج جمع‌بندی شده در این جدول برای الگوهای نمونه‌برداری مختلف، مقادیر آستانه برخلاف تعریف تئوریک آن بیش از صفر حاصل شد. با توجه به مقادیر حاصل برای این شاخص، از بین الگوها حالت الف با کمترین مقدار برابر با ۰/۰۲۹،

¹ Delineation Density (DD)

² Minimum Legible Delineation (MLD)

برترین گزینه از نظر خطای آستانه بود. از مجموعه عواملی که در ایجاد آستانه در مدل سازی ساختار مکانی معرفی شده اند (Mohammadi, 2006 & Hassani Pak, 2014)، با توجه به شرایط تحقیق انجام شده از قبیل روند یکسان نمونه برداری، آماده سازی و آنالیز داده ها می توان نتیجه گرفت که تغییرات شدید شوری در فواصل کوتاه در غرب منطقه، تعداد نمونه ها و پراکنش آنها، علل ایجاد آستانه در مدل سازی مکانی شوری در منطقه است. بررسی محدوده ساختار فضایی - که به واسطه دامنه تأثیر در تغییر نما^۱ مشخص می شود - نقش فاصله نقاط نمونه برداری را در برآورد مقادیر شوری در نقاط مجهول نشان می دهد که این امر در مطالعات متعددی همچون تحقیقات Mosalaei و همکاران (2015) تأیید شده است. اگرچه این مورد از مقایسه تمام الگوهای نمونه برداری استنباط می شود، توجه به مقادیر این شاخص در دو الگوی الف و ب - که حداقل و حداکثر فواصل نقاط نمونه برداری را در الگوهای مورد بحث دارند - کاملاً واضح است. البته نبایستی از نقش الگوی توزیع نقاط نمونه برداری در محدوده ساختار فضایی چشم پوشی کرد که مقایسه الگوهای پ، ت و ث با تعداد نقاط مطالعاتی برابر، این نکته را تأیید می کند. محاسبه نسبت شاخص های آستانه به سقف برای تخمین های صورت گرفته برای الگوهای نمونه برداری مختلف که نتایج آن در جدول ۲ ارائه شده است نیز عمدتاً از همبستگی مکانی قوی شوری حکایت دارد (مقداری کمتر از ۰/۲۵) و تنها در مورد الگوی ت با مقداری برابر با ۰/۲۷۳، همبستگی مکانی متوسط شوری در منطقه دیده می شود. بنابراین، می توان فاکتورهای ذاتی را عامل اصلی پراکنش شوری در منطقه دانست (Cambardella et al, 1994).



شکل ۳: نیم تغییرنمای تجربی شوری خاک در الگوهای نمونه برداری: الف - شبکه مربعی ۱۰۰ متری، ب - شبکه مربعی ۲۰۰ متری، پ - شبکه مربعی تو در تو ۲۰۰ متری، ت - شبکه مستطیلی عمودی ۱۰۰×۲۰۰ متری و ث - شبکه مستطیلی افقی ۱۰۰×۲۰۰ متری

^۱ Variogram

جدول ۲: مشخصات بهترین مدل نیم‌تغییرنمای برازش داده شده برای انواع الگوی نمونه‌برداری

الگوی نمونه‌برداری*	مدل	آستانه	دامنه تأثیر	سقف	نسبت آستانه به سقف	ضریب همبستگی	مجموع مربعات باقی‌مانده
الف	نمایی	۰/۰۲۹	۴۸۷	۰/۳۰۸	۰/۰۹۴	۰/۹۷۳	۱۰ ^{-۳} × ۱/۰۵
ب	نمایی	۰/۱۱۷	۳۲۹۵	۰/۶۳۵	۰/۱۸۴	۰/۹۴۹	۱۰ ^{-۴} × ۶/۳۶
پ	نمایی	۰/۰۹۲	۱۱۰۱	۰/۵۱۱	۰/۱۸	۰/۹۴۷	۱۰ ^{-۳} × ۳/۱۸۳
ت	کروی	۰/۰۵۵	۸۲۱	۰/۲۰۱	۰/۲۷۳	۰/۹۷۴	۱۰ ^{-۴} × ۴/۴۶۷
ث	نمایی	۰/۰۷۶	۱۷۰۴	۰/۴۴۵	۰/۱۷	۰/۸۴۸	۱۰ ^{-۳} × ۵/۵

* الف - شبکه مربعی ۱۰۰ متری، ب - شبکه مربعی ۲۰۰ متری، پ - شبکه مربعی تو در تو ۲۰۰ متری، ت - شبکه مستطیلی عمودی ۱۰۰×۲۰۰ متری و ث - شبکه مستطیلی افقی ۱۰۰×۲۰۰ متری

اعتبارسنجی مدل کریجینگ (جدول ۳) با توجه به نتایج آزمون t ، معنی‌دار نبودن اختلاف مقادیر واقعی و تخمینی مقدار شوری را در نقاط نمونه‌برداری با وجود کم برآوردی داده‌ها با توجه به مقادیر منفی میانگین خطای اریب در تمامی الگوهای نمونه‌برداری نشان می‌دهد. اما نگاه کلی به نتایج حاصل شده، بیشترین مقدار ضریب تعیین (۰/۶۹۴) و کمترین مقدار منبع خطا (۲/۰۷۳) را به ترتیب برای الگوهای نمونه‌برداری الف و ت نشان می‌دهد؛ از این‌رو، می‌توان الگوهای مذکور را گزینه‌های برتر در دو تراکم نمونه‌برداری مختلف دانست. بررسی جایگاه الگوی نمونه‌برداری ب نسبت به سایر الگوها از نظر شاخص‌های اعتبارسنجی در جدول ۳ (کمترین ضریب تعیین با مقدار ۰/۱۳۴، بیشترین میانگین خطای مطلق با مقدار ۱/۸۶ و مقدار ۲/۷۰۶ برای ریشه میانگین مربعات خطا)، به این نکته اشاره دارد که در دقت و صحت تخمین مکانی مقادیر شوری، نقش تعداد و تراکم نقاط مطالعاتی بیش از توزیع آنها است.

جدول ۳: اعتبارسنجی مدل کریجینگ در انواع الگوی نمونه‌برداری

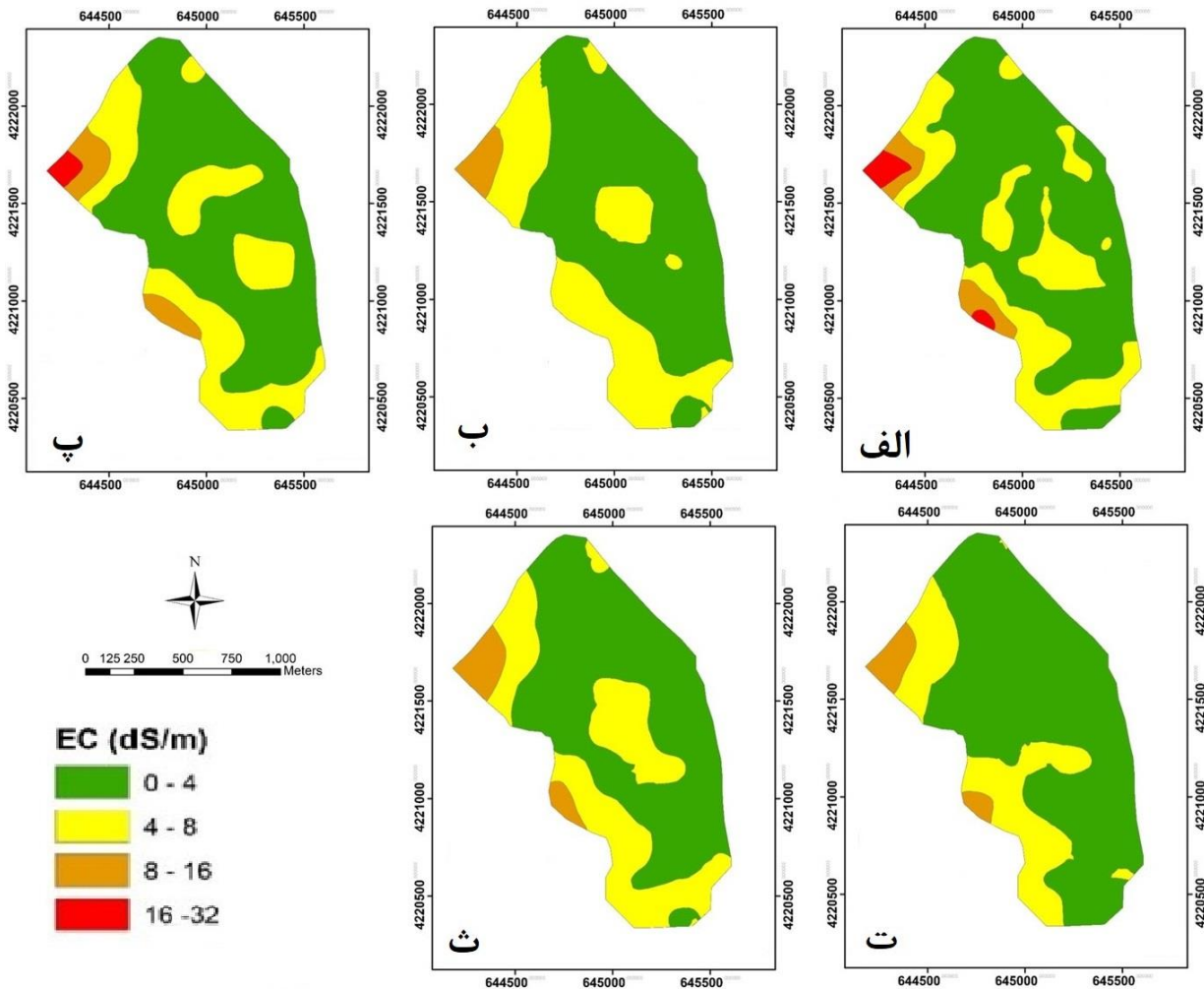
الگوی نمونه‌برداری	ME	MAE	RMSE	R ²	مقادیر t
الف	-۰/۰۸	۱/۲۵	۲/۶۴۳	۰/۶۹۴	۰/۲۲۸ns
ب	-۰/۰۸	۱/۸۶	۲/۷۰۶	۰/۱۳۴	۰/۱۶۵ns
پ	-۰/۱۹	۱/۸	۳/۹۸۴	۰/۴۹۲	۰/۳۱۱ns
ت	-۰/۱۸	۱/۲۸	۲/۰۷۳	۰/۴۴۴	۰/۵۸۳ns
ث	-۰/۰۹	۱/۳۴	۲/۲۶	۰/۶۱۸	۰/۲۴۳ns

* الف - شبکه مربعی ۱۰۰ متری، ب - شبکه مربعی ۲۰۰ متری، پ - شبکه مربعی تو در تو ۲۰۰ متری، ت - شبکه مستطیلی عمودی ۱۰۰×۲۰۰ متری و ث - شبکه مستطیلی افقی ۱۰۰×۲۰۰ متری

شکل ۴، نقشه شوری خاک سطحی و جدول ۴، وسعت پهنه‌های شوری محدوده مورد مطالعه را - که با روش کریجینگ و با استفاده از داده‌های نقاط مطالعاتی انواع الگوهای نمونه‌برداری تهیه شده‌اند - نشان می‌دهند. بر این اساس، چهار کلاس از شوری با حد نهایی ۳۲ دسی‌زیمنس بر متر در منطقه شناسایی شد. بررسی پراکنش شوری در منطقه براساس نقشه‌های ترسیمی، تقریباً از افزایش شوری از سمت شرق به غرب منطقه حکایت دارد؛ در حالی که تغییر چندانی در کلاس‌های شوری در جهت شمالی - جنوبی دیده نمی‌شود. مشاهده روند خاص تغییرات شوری در

نقشه‌های حاصل از درون‌یابی، به لحاظ زمین آماری نیز پیش‌تر به‌واسطه همبستگی مکانی قوی اثبات و بیان شد که این تغییرات منشأ ذاتی دارند. وجود سازندهای زمین‌شناسی متأثر از املاح و جریان آجی‌چای به عنوان یک رود شور در منطقه را می‌توان منشأ اصلی شوری خاک‌ها دانست. همچنین مشاهده روند شرقی - غربی افزایش شوری را می‌توان به شیب اندک منطقه در جهت غرب و حضور خندق‌های ناشی از فرسایش در بخش غربی منطقه ربط داد که شاید به‌عنوان زهکش طبیعی در منطقه عمل می‌کند. البته وجود پهنه‌های کلاس‌های شوری منفصل در نواحی مرکزی منطقه - که الگویی جدای از روند تغییرات شوری کلی در منطقه را هر چند با وسعت کم نشان می‌دهند - نیز می‌تواند بیانگر مدیریت‌های مختلف اراضی زراعی فعال محدوده در سال‌های گذشته باشد. ذکر این امر لازم است که شیب، موقعیت زهکش منطقه و مدیریت، در مطالعات پیشین نیز به‌عنوان عوامل شناخته‌شده مؤثر در توزیع سطحی شوری خاک شناخته شده‌اند (Huang et al, 2015 & Yang et al, 2019 & Xu et al, 2019). بررسی انواع الگوی نمونه برداری از نظر نشان دادن منشأ تغییرات مکانی و تطابق آن با واقعیت‌های میدانی، برتری الگوی ت را تأیید می‌کند که ضمن اعتبار قابل قبول تخمین‌های حاصل شده (جدول ۳)، تاحدی به نقش هر چند اندک مدیریت در پراکنش مکانی شوری با توجه به مقدار نسبت آستانه به سقف در جدول ۲ اشاره کرده‌است.

در مواردی کلاس‌های شوری مختلفی برای یک نقطه مکانی در نقشه‌های حاصل از انواع الگوهای نمونه برداری دیده می‌شود (شکل ۴)، یا وسعت‌های متفاوتی از یک کلاس در پهنه‌بندی شوری حاصل از الگوهای نمونه برداری مختلف مشاهده می‌شود (جدول ۴) که علت آن را می‌توان در حذف برخی از نقاط نمونه برداری به‌واسطه طراحی الگوهای مختلف و قدرت بالای روش کریجینگ در نرم‌سازی داده‌های تخمینی دانست. در این راستا مطابق با نتایج جدول ۱، حداکثر مقدار شوری خاک در منطقه به میزان ۳۶/۵ دسی‌زیمنس بر متر گزارش شد؛ اما در نقشه‌های نهایی تهیه شده بر مبنای تمام الگوهای نمونه برداری (شکل ۴)، حد نهایی شوری ۳۲ دسی‌زیمنس بر متر بود. این امر به دلیل خطای نرم‌سازی داده‌ها است که به ماهیت روش کریجینگ بازمی‌گردد (Mohammadi, 2006 & Hassani Pak, 2014). با توجه به اینکه این خطا در تمام الگوهای نمونه برداری مورد مطالعه به‌طور یکسان وارد شده‌است، تأثیری در مقایسه کارایی نقشه‌های انواع الگوهای نمونه برداری نخواهد داشت. اما پیشنهاد می‌شود در مواردی همچون مطالعات Bhunia و همکاران (2018) - که در آن، مقایسه انواع روش‌های درون‌یابی مدنظر است - به این نکته توجه شود.



شکل ۴: نقشه پهنه‌بندی شوری خاک به روش کریجینگ برای انواع الگوهای نمونه‌برداری: الف - شبکه مربعی ۱۰۰ متری، ب - شبکه مربعی ۲۰۰ متری، پ - شبکه مربعی تو در تو ۲۰۰ متری، ت - شبکه مستطیلی عمودی ۱۰۰×۲۰۰ متری و ث - شبکه مستطیلی افقی ۱۰۰×۲۰۰ متری

جدول ۴: وسعت پهنه‌های شوری (هکتار) منطقه مورد مطالعه برای انواع الگوهای نمونه‌برداری

کلاس	I	II	III	IV	V	شوری
هدایت الکتریکی ($dS.m^{-1}$)	۴-۰	۸-۴	۱۶-۸	۳۲-۱۶	۳۲<	
الف	۹۸/۳	۴۶/۶	۶/۷۴	۳/۳۶		* الگوی نمونه‌برداری
ب	۹۷/۸	۵۲/۵۵	۴/۶۵			
پ	۹۵/۷۴	۴۹/۴۳	۷/۹۳	۱/۹		
ت	۱۱۲/۲۹	۳۶/۳۷	۶/۳۴			
ث	۹۶/۰۸	۵۱/۲	۷/۷۲			

* الف - شبکه مربعی ۱۰۰ متری، ب - شبکه مربعی ۲۰۰ متری، پ - شبکه مربعی تو در تو ۲۰۰ متری، ت - شبکه مستطیلی عمودی ۱۰۰×۲۰۰ متری و ث - شبکه مستطیلی افقی ۱۰۰×۲۰۰ متری

نقشه‌های حاصل از انواع الگوی نمونه برداری (شکل ۴)، به منظور مقایسه با یکدیگر در یک مقیاس عددی ثابت برابر با $\frac{1}{13333}$ تهیه و براساس روش کرنل، محدوده قابل ترسیم بهینه آنها نیز $0/4$ سانتی متر مربع در نظر گرفته شد؛ از این رو، تمامی نقشه‌های تهیه شده دارای مقادیر مشترک $1/33$ متر، 7115 مترمربع، $1/6$ سانتی متر مربع و $2/84$ هکتار به ترتیب برای شاخص‌های حداکثر دقت موضعی، حداقل مساحت قابل تفکیک، محدوده قابل ترسیم بهینه و محدوده قابل تفکیک بهینه است. نتایج شاخص‌های متوسط اندازه محدوده ترسیم شده، شاخص حداکثر کاهش و تراکم محدوده‌ها - که برای نقشه‌های مختلف حاصل از انواع الگوی نمونه برداری متفاوت می‌باشند - نیز در جدول ۵ جمع‌بندی شده‌اند. بر این مبنای، روند کاهش مقادیر شاخص‌های ASD و IMR به ترتیب برای الگوهای ت، ث، ب، پ و الف است؛ در حالی که برای شاخص DD رتبه‌بندی الگوهای نمونه برداری با توجه به تراکم ایده‌آل پنج درصد به ترتیب پ، ث، ب، الف و ت است.

جدول ۵: شاخص‌های کارایی نقشه‌های تهیه شده برای انواع الگوهای نمونه برداری

الگوی نمونه برداری	ASD (cm ²)	IMR	DD (%)
الف	۶/۷۰	۴/۰۹	۵/۹۷
ب	۹/۶۸	۴/۹۲	۴/۱۳
پ	۸/۷۱	۴/۶۷	۴/۵۹
ت	۱۲/۴۴	۵/۵۸	۳/۳۰
ث	۹/۶۹	۴/۹۳	۴/۱۳

* الف - شبکه مربعی ۱۰۰ متری، ب - شبکه مربعی ۲۰۰ متری، پ - شبکه مربعی تو در تو ۲۰۰ متری، ت - شبکه مستطیلی عمودی ۱۰۰×۲۰۰ متری و ث - شبکه مستطیلی افقی ۱۰۰×۲۰۰ متری

شاخص ASD بیانگر میزان تفصیلی بودن یک نقشه است (Forbes et al, 1987 & Rossiter, 2000) که بر مبنای مقدار آن در جدول ۵، نقشه حاصل از الگوی نمونه برداری ت تفصیلی‌ترین مورد است؛ در حالی که نقشه مربوط به الگوی الف کمترین جزئیات را به نمایش گذاشته است. توجه به تعداد و تراکم نقاط نمونه برداری در این دو الگو بیانگر آن است که کاهش تقریباً دو برابری تعداد نمونه‌ها در کاسته شدن از جزئیات نقشه نهایی نقشه ندارد. همچنین جایگاه الگوهای پ و ث نسبت به الگوی ت با تعداد نقاط مطالعاتی برابر از نظر این شاخص نیز بیانگر نقش نحوه توزیع نقاط نمونه برداری در بیان جزئیات تغییرات ویژگی مورد بررسی در منطقه بر روی نقشه است. براساس نتایج جدول ۵، مقدار شاخص IMR بیش از دو مربوط به نقشه‌های حاصل از همه الگوهای نمونه برداری، بیانگر حد بهینه مقیاس آنها است (Forbes et al, 1987 & Rossiter, 2000)، ولی بیشترین و کمترین وضوح نقشه به ترتیب به الگوهای نمونه برداری ت و الف بازمی‌گردد. از مقایسه جایگاه رتبه الگوی الف نسبت به ت از نظر این شاخص می‌توان نتیجه گرفت که کاسته شدن از تعداد نقاط نمونه برداری، به امکان بیشتر برای کاهش مقیاس نقشه منجر می‌شود. بنابراین، از بحث‌های صورت گرفته در خصوص شاخص‌های ASD و IMR نتیجه گرفته می‌شود که تفصیلی‌ترین اطلاعات همراه با واضح‌ترین نقشه‌ها، به ترتیب کاهش از نقشه‌های تهیه شده از نتایج الگوهای نمونه برداری ت، ث، ب، پ و الف به دست می‌آیند. بررسی مقدار شاخص DD برای انواع الگوهای نمونه برداری، در تکمیل نظر Shahbazi و همکاران (2016) - که

کاهش تعداد نمونه‌ها را عامل نزدیکی به تراکم ایده‌آل محدوده‌ها در یک نقشه دانسته‌اند - بیانگر این نکته است که همواره کاهش تعداد نقاط نمونه‌برداری به تراکم ایده‌آل محدوده‌ها منجر نمی‌شود و پس از کاهش تعداد نمونه‌ها از حدی معین، مقدار این شاخص از وضعیت بهینه دور می‌شود. از سوی دیگر، توجه به جایگاه رتبه‌بندی الگوی ت در مورد این شاخص در مقایسه با الگوهای پ و ث همانند مورد بحث شده در خصوص ASD و IMR، نقش توزیع نقاط نمونه‌برداری را در مقدار تراکم محدوده‌های نقشه روشن می‌سازد.

۵- بحث و نتیجه‌گیری

در مطالعات خاک‌شناسی با وجود پیوستگی مکانی ویژگی‌های خاک، محدودیت‌های عملیاتی وجود دارد که به دلیل این محدودیت‌ها، نمونه‌برداری نقطه‌ای و مدل‌سازی مکانی توزیع آنها راهکاری است که از آن برای نمایش پراکنش مکانی ویژگی‌های مختلف خاک به کمک روش‌های زمین‌آماري از جمله کریجینگ استفاده می‌شود. در این راستا صرفه‌جویی در زمان و هزینه مطالعه، ضمن حفظ دقت، صحت و کیفیت نتایج حاصل شده از برآوردهای صورت گرفته، موردی است که در این مطالعه برای پراکنش شوری خاک از طریق بررسی الگوی نمونه‌برداری اعم از تعداد، تراکم و توزیع نقاط مطالعاتی، بررسی و مشاهده شد که نتایج درونیابی‌ها و شاخص‌های کارایی نقشه‌های حاصل از انواع الگوی نمونه‌برداری - که در بخش قبل بحث شدند - متأثر از این عوامل است.

بر مبنای نتایج یکسان حاصل شده برای انواع الگوهای نمونه‌برداری با تراکم‌های متفاوت از نظر برترین مدل درونیابی (مدل نمایی برای الگوهای الف، ب، پ و ث) و مشاهده نوع متفاوت مدل درونیابی برای الگوهای با تراکم یکسان و توزیع متفاوت (مدل کروی برای الگوی ت در مقایسه با مدل نمایی برای الگوهای پ و ث)، می‌توان نتیجه گرفت که در اولین مرحله تهیه نقشه‌ها با استفاده از درونیابی، نقش توزیع نقاط نمونه‌برداری بیش از تراکم آنها است. مقایسه مقادیر آستانه و دامنه تأثیر مدل‌های مرتبط با انواع الگوی نمونه‌برداری، بیانگر نقش بیشتر تراکم نمونه‌برداری نسبت به الگوی توزیع نقاط در به دست آمدن بهترین مقادیر از مشخصه‌های مدل‌های درونیابی است. مشاهده نتیجه تقریباً یکسان حاصل از انواع الگوی نمونه‌برداری برای ذاتی یا مدیریتی بودن تغییرات مکانی شوری که از نسبت شاخص‌های آستانه به سقف حاصل می‌شود، نیز می‌تواند به مزیت و قابلیت اطمینان بالای شاخص مذکور صرف نظر از نوع مدل برتر درونیابی در استفاده برای اقدامات اجرایی به دلیل مستقل بودن آن از تراکم و توزیع نقاط مطالعاتی اشاره داشته باشد. صحت و دقت مدل‌سازی‌های مکانی صورت گرفته برای شوری خاک، اهمیت بیشتر نقش تراکم نمونه‌برداری نسبت به توزیع نقاط را نشان می‌دهد، ولی مقایسه الگوهای با تراکم یکسان و توزیع متفاوت (الگوهای پ، ث و ت) نیز به نقش توزیع نقاط در دقت مدل‌سازی‌ها اشاره دارد.

نقشه‌های خروجی پهنه‌بندی شوری خاک در کنار انعکاس وضعیت پراکنش شوری منطقه، تا حدودی بیانگر خطاهای درونیابی همچون نرم‌سازی ناشی از روش مورد استفاده (کریجینگ) و نقش نحوه طراحی الگوی نمونه‌برداری (اعم از تراکم و توزیع نقاط مطالعاتی) در پهنه‌بندی است. توجه به شاخص‌های کارایی نقشه‌های تهیه شده بیانگر آن است که همواره تعداد و تراکم بالای نقاط نمونه‌برداری، تفصیلی‌تر بودن نتایج ارائه شده در نقشه‌های حاصل از درونیابی و درجه وضوح بالای آنها را تأیید نمی‌کند. البته بایستی توجه کرد در الگوهای با تعداد نقاط مطالعاتی برابر

ولی توزیع متفاوت، در حالت‌هایی که فاصله نقاط نمونه برداری در جهتی کمتر در نظر گرفته شود که تغییرات مقدار پارامتر مورد بررسی (شوری در این تحقیق) نسبت به جهت مقابل بیشتر باشد؛ نقشه‌های با کارایی بالاتر به دست خواهد آمد. همچنین تراکم ایده آل محدوده‌ها را نمی‌توان به‌طور مستقیم با تراکم یا توزیع به‌خصوصی از نقاط نمونه برداری مرتبط دانست، بلکه مطالعات روند می‌تواند در این خصوص راهگشا باشد؛ از این رو، توصیه می‌شود در طراحی الگوی نمونه برداری خاک ابتدا تراکم بهینه یافت شود، سپس توزیع مناسب برای آنها ترسیم گردد.

به طور کلی نتیجه این مطالعه، کاهش پنجاه درصدی تعداد نقاط مطالعاتی و توزیع مناسب آنها را امری مفید برای صرفه‌جویی در زمان و هزینه ضمن حفظ دقت، صحت و کیفیت نقشه‌های شوری خاک خروجی می‌داند، ولی به‌منظور تکمیل و تأیید یافته‌ها و استفاده از نتایج حاصل شده در زمینه‌های اجرایی، پیشنهاد می‌شود از نتایج مطالعه حاضر برای سایر ویژگی‌های خاک در نواحی مختلف نیز استفاده شود و کاربرد انواع روش‌های درون‌یابی توسط محققان توسعه یابد.

منابع

1. Abdenmour, M.A.; Douaoui, A.; Bradai, A.; Bennacer, A.; & M. Pulido Fernández, 2019. Application of kriging techniques for assessing the salinity of irrigated soils: the case of El Ghrous perimeter, Biskra, Algeria, *Spanish Journal of Soil Science*, 9(2), 105-124.
2. Amini, D.; Tavakoli, M.; & M. Rostaminy, 2018. Mapping spatial variability of soil salinity using remote sensing data and geostatistical analysis: A case of Shadegan, Khuzestan, *Quarterly journal of Environmental Erosion Research*, 7(4), 24-43 (in Persian).
3. Bagheri Bodaghabadi, M., 2018. Is it necessarily a normally distributed data for kriging? A case study: soil salinity map of Ghahab area, central Iran, *Desert*, 23(2), 285-294.
4. Banaei, M. H., 1998. Soil moisture and temperature regime map of Iran. Soil and Water Research Institute, Agricultural Research and Education Organization. Ministry of Jihad-e-Agriculture, Iran.
5. Banaei, M. H., 2000. Soil resources and use potentiality map of Iran. Soil and Water Research Institute, Agricultural Research and Education Organization. Ministry of Jihad-e-Agriculture, Iran.
6. Benslama, A.; Khanchoul, K.; Benbrahim F.; Boubehziz, S.; Chikhi F.; & J. Navarro-Pedreño, 2020. Monitoring the variations of soil salinity in a palm grove in Southern Algeria, *Sustainability*, 12(6117), 1-19.
7. Bhunia, S. G.; Shit, P. K.; & R. Maiti, 2018. Comparison of GIS-based interpolation methods for spatial distribution of soil organic carbon, *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 17(2), 114-126.
8. Cambardella, C. A.; Moormam, T. B.; Parkin, T. B.; Karlen, D. L.; Turco, R. F.; & A. E. Konopka, 1994. Field scale variability of soil properties in central Iowa soils, *Soil Science Society of America Journal*, 58, 1501-1511.
9. Darvishzadeh, A., 1991. Geology of Iran. Pub: Amir Kabir- Iran, (in Persian).
10. Emadia, M., & M., Baghernejad., (2014). Comparison of spatial interpolation techniques for mapping soil pH and salinity in agricultural coastal areas, northern Iran. *Archives of Agronomy and Soil Science*. 60(9), 1315-1327.
11. Forbes, T. R.; Rossiter, D.; & A. Van Wambeke, 1982. Guidelines for evaluating the adequacy of soil resource inventories. SMSS Tech. Monogr.4. Cornell University Department of Agronomy, Ithaca, NY.
12. GSI., 2006. Geological map of Iran 1:100000, Sheet 5465. Geological Survey and Mineral Explorations of Iran, Ministry of Industry, Mine and Trade.

13. Hajrasuliha, S.; Baniabassi, N.; Metthey, J.; & D. R. Nielsen, 1980. Spatial variability of soil sampling for salinity studies in Southwest Iran, *Irrigation Science*, 1(4), 197-208.
14. Hasani Pak, A. A., 2014. Geostatistics. Pub: University of Tehran (in Persian).
15. Hasheminejad, Y.; Homae, M.; & A. A. Noroozi, 2015. Determining proper sampling density and strategy for soil salinity assessment before sampling, *Iranian Journal of Soil Research*, 29(3), 335-350 (in Persian).
16. Hosseini, E.; Gallichand, J.; & D. Marcotte, 1994. Theoretical and experimental performance of spatial interpolation methods for soil salinity analysis, *American Society of Association Executives*, 37(6), 1799-1807.
17. Hosseinzadeh, N.; Salehi, M. H.; & J. Mohammadi, 2014. The effect of sampling density on the accuracy of estimation for some of soil properties in Shahrekord Plain, *Journal of Water and Soil*, 28(1), 190-202 (in Persian).
18. Huang, Y.; Wang, Y.; Zhao, Y.; Xu, X.; Zhang, J.; & C. Li, 2015. Spatiotemporal distribution of soil moisture and salinity in the Taklimakan Desert Highway Shelterbelt, *Water*, 7, 4343-4361.
19. IRIMO., 2016. Country climate analysis. In: Islamic Republic of Iran Meteorological Organization, Ahar center. Data sheet.
20. Jordan, M. M.; Navarro-Pedreño, J.; García-Sánchez, E.; Mateu, J.; & P. Juan, 2004. Spatial dynamics of soil salinity under arid and semi-arid conditions: Geological and environmental implications, *Environmental Geology*, 45, 448-456.
21. Krige, D. G., 1951. A Statistical approach to some mine valuation allied problems of the Witwatersrand. Master's thesis of the University of Witwatersrand, 272p.
22. Li, J., & A. D. Heap., (2008). A Review of Spatial Interpolation Methods for Environmental Scientists. Pub: Geoscience Australia.
23. Lu, G. Y., & D. W. Wong., (2008). An adaptive inverse distance weighting spatial interpolation technique. *Computers and Geosciences*. 34(9), 1044-1055.
24. Mahler P. J., 1979. Manual of land classification for irrigation. Soil and Water Research Institute, Agricultural Research and Education Organization, Ministry of Jihad-e-Agriculture, Iran, Pub No. 205.
25. Mohammadi, J., 2006. Pedometry2: Spatial statistic. Pub: Pelk (in Persian).
26. Mohammad Zamani, S.; Ayoubi, Sh.; & F. Khormali, 2007. Spatial variability of wheat yield and soil properties in a selected agricultural land of Sorkhankalateh, Golestan Province, *Journal of Water and Soil Science*, 11(40), 79-91 (in Persian).
27. Momeni, A., 2010. Geographical distribution and salinity levels of Iranian soil resources, *Iranian Journal of Soil Research*, 24(3), 203-215 (in Persian).
28. Mosalaei, M.; Shirani, H.; Mozafari, V.; & I. Esfandiarpour, 2015. Spatial variability of salinity and absorbable B in the soils of Hossein Abad region- Yazd, *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*, 70, 59-67 (in Persian).
29. Robinson, T. P., & G. Metternicht., (2006). Testing the performance of spatial interpolation techniques for mapping soil properties. *Computers and Electronics in Agriculture*. 50, 97-108.
30. Rhoades, J. D., 1996. Salinity: Electrical conductivity and total dissolved solids. Pp. 417-435. In: Sparks, D.L. (ed.). *Methods of Soil Analysis, Part 3: Chemical Methods*, Agronomy Monograph, vol. 9. Pub: American Society of Agronomy and Soil Science Society of America, Madison, WI.
31. Rossiter, D. G., 2000. Methodology for Soil Resource Inventories. Lecture notes, 2nd Revised Version. Soil Science Division, International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences (ITC). Enschede, the Netherlands, 132p.
32. Shahbazi, F.; Rezaei, H.; Alidokht, L.; Heidari, S.; Kazemi, Z.; & S. M. Mahdavi, 2016. Impact of sampling density on efficiency of soil salinity map (A case study: Karkaj Research Station, University of Tabriz), *Journal of Water and Soil Conservation*, 23(2), 239-251 (in

Persian).

33. Sheng, Y. U. D.; Qi, Z.Z.; Hao, Y.; Zheng, S. X.; Zhi, T. M.; Xia, S. W.; & W. H. Jie, 2011. Effect of soil sampling density on detected spatial variability of soil organic carbon in a red soil region of China, *Pedosphere*, 21(2), 207-213.
34. Silvero, N. E. Q.; Júnior, J. M.; Siqueira, D. S.; Gomes, R. P.; & M. M. R. Costa, 2018. Sampling density for characterizing the physical quality of a soil under coffee cultivation in southwestern Minas Gerais, *Engenharia Agricola*, 38(5), 718-727.
35. Tsui, Ch.; Liu, X. N.; Guo, H. Y.; & Z. S. Chen, 2016. Effect of sampling density on estimation of regional soil organic carbon stock for rural soils in Taiwan. Pp.35-57. In: Imperatore, P.; & A. Pepe (eds.), *Geospatial Technology - Environmental and Social Applications*. Pub: InTechOpen.
36. Walter, C., & B. McBratney., (2001). Spatial prediction of topsoil salinity in the Chelif valley, Algeria, using local kriging with local variograms versus local kriging with whole area variogram, *Australian Journal of Soil Research*, 39, 259-272.
37. Webster, R., & M. A. Oliver., (2007). *Geostatistics for Environmental Scientists*, 2nd Edition. Pub: Wiley press.
38. Yang, X. D.; Ali, A.; Xu, Y. L.; Jiang, L. M.; & G. H. Lv, 2019. Soil moisture and salinity as main drivers of soil respiration across natural xeromorphic vegetation and agricultural lands in an arid desert region, *Catena*, 177, 126-133.
39. Xu, L.; Hongru, D.; & X. Zhang, 2019. Spatial distribution characteristics of soil salinity and moisture and its influence on agricultural irrigation in the Ili River Valley, China, *Sustainability*, 11(7142), 1-17.

The Role of Sampling Pattern on the Efficiency of Soil Salinity Monitoring Map in Shamlou Region

Seyed Amir Seyed Hosseini Asl: *M.Sc. Graduate, Department of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz*

Hossein Rezaei¹: *Assistant professor, Department of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz*

Farzin Shahbazi: *Professor, Department of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz*

Shahin Oustan: *Professor, Department of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz*

Article History (Received: 2021/11/7

Accepted: 2022/02/19)



20.1001.1.22517812.1401.12.3.12.1

Extended abstract

1- Introduction

Sustainable management of soil and land resources requires the identification of factors affecting their development or degradation. Accurate and reliable determination of the distribution of soil and landscape properties is the basis of such identification. In this regard, it is necessary to prepare continuous location maps. In soil surveying, soils are generally collected by a point-by-point sampling method and soil properties between these points are estimated by interpolation methods. Soil salinity is one of the most common challenges in arid and semi-arid regions of Iran, which leads to land degradation by declining soil quality. Therefore, monitoring soil salinity is needed to overcome the aforementioned problem. The accuracy and precision of Kriging, as one of the major geostatistical methods, depend on the size, distribution as well as density of soil samples. Due to the use of these maps in soil planning and management for the future, their accuracy and precision are of great importance. This study aims to evaluate the role of grid sampling patterns on the quality and efficiency of final soil salinity maps.

2- Methodology

The study was conducted in Shamlou region with an area of about 155 ha. It is located in Heris County, East Azerbaijan Province comprising abandoned cultivated lands. The dominant soils across the study area were Inceptisols and Aridisols. Based on the main objective of this research, five sampling patterns were designed: I) uniform grids of 100 m; II) uniform grids of 200 m; III) offset grids of 200 m; IV) rectangular grids (100×200 m) with vertical direction; V) rectangular grids (100×200 m) with the horizontal direction. A total of 155 disturbed samples (0-20 cm) were taken in the study area. All the collected samples were transferred to the laboratory for analysis. After providing the soil extracts, EC_e was measured. The Kriging method was also employed to predict the spatial distribution of soil salinity according to the above-mentioned patterns. The accuracy of prepared maps in a classified mode was also evaluated. Finally, the efficiency of each map was evaluated using the Average Size Delineation (ASD), Index of Maximum Reduction (IMR), and Delineation Density (DD) criteria.

¹ Corresponding Author: hosseinarezaei@tabrizu.ac.ir

3- Results

The maximum EC_e in the study area was reported to be 36.5 dS.m^{-1} . The provided maps based on the use of various sampling patterns showed that the salinity of the west part of the area was higher than the east one. Geostatistical analysis revealed that the spherical model can be identified as the best-fitted model for a $100 \times 200 \text{ m}$ rectangular grid with vertical direction, while the exponential model was the best one for the rest patterns. The results demonstrated that the least and the highest values of nugget and range were observed for 100 and 200 m uniform grids, respectively. Since the index of nugget/sill illustrates the spatial dependence of soil salinity, it was found that management has no role in the spatial distribution of salinity using all studied patterns except $100 \times 200 \text{ m}$ rectangular grid with the vertical direction. The t-test results indicated that there is no significant difference between the predicted and actual values. According to the R^2 values, the best sampling pattern was found to be uniform grids of 100 m, followed by, rectangular grids with horizontal direction, offset grids, rectangular grids with vertical direction and uniform grids of 200 m. The next step was to assess the maps (with a scale of 1:13337) efficiency indices. It was found that the maximum location accuracy, minimum legible delineation (MLD), optimum legible delineation (OLD) and optimum legible area (OLA) were 1.33 m, 7115 m^2 , 1.6 cm^2 and 2.84 ha, respectively. The lowest average size delineation (ASD) was found for uniform grids of 100 m while the highest one was for rectangular grids with vertical directions patterns. A similar trend was also observed in terms of index maximum of reduction (IMR). Furthermore, the optimum delineation density (DD) was found to be 4.59 for the offset grids of 200 m pattern.

4- Discussion & Conclusions

The results showed that sampling point distribution had a more important role than sampling point density in selection of the optimum model for interpolation. In terms of nugget and range, this role was demonstrated in an inverse manner. Since the nugget/sill index (taken by all studied sampling patterns in the same results) revealed that salinity has a strong spatial distribution, the density and distribution of sampling points did not play an important role. Although the distribution of sampling points had a role in the accuracy of interpolation, the sampling point density was more effective. The results showed that preparation of high resolution maps with many details does not always require a large density of sampling, but in patterns with the equal densities, the efficiency of maps depends on the distribution of sampling points. Also, there was no direct relation between optimum delineation density and specific density as well as distribution of sampling points. Therefore, prior to the selection of suitable distribution for soil sampling patterns, it is recommended to find the optimum sampling density for the project.

Key Words: Kriging, Land degradation, Salinity zoning, Sampling distribution, Shamlou.