

## استفاده از تکنیک نمونه برداری مرحله‌ای در تعیین نقاط اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی در مزرعه

جمال عباس پلنگی<sup>1</sup>، محمد علی غلامی سفیدکوهی<sup>2\*</sup>

تاریخ دریافت: 1395/5/2 تاریخ پذیرش: 1395/10/29

### چکیده

هدایت هیدرولیکی اشباع، مهم‌ترین پارامتر فیزیکی حرکت آب در خاک، به‌ویژه در تعیین فاصله بین خطوط زهکش‌ها در طرح‌های زهکشی محسوب می‌شود. هزینه‌بری بالا و وقت‌گیر بودن اندازه‌گیری مزرعه‌ای این پارامتر از یک سو و تغییرپذیری زیاد این پارامتر از سویی دیگر، درک صحیح از تغییرات مقادیر هدایت هیدرولیکی اشباع در پروژه‌ها را با مشکل مواجه ساخته است. انتخاب محل و تعداد نقاط اندازه‌گیری، اولین گام جهت تعیین تغییرات مکانی هدایت هیدرولیکی اشباع منطبق با واقعیت می‌باشد. بنابراین لازم است تا تاثیر روش‌های نمونه‌برداری جدید بر دقت تخمین زمین آمار مورد بررسی قرار گیرد. منطق طراحی نمونه برداری بهینه، نمونه‌برداری مرحله‌ای است. در این روش نمونه‌برداری از یک پارامتر در دو یا چند مرحله صورت می‌پذیرد و داده‌های حاصل از هر مرحله، اساس طراحی مرحله بعد را تشکیل می‌دهند. پژوهش حاضر، به منظور بررسی تاثیر روش نمونه‌برداری مرحله‌ای بر اساس شاخص خطای استاندارد برآورد کریجینگ، با روش‌های متداول نمونه‌برداری (تک مرحله‌ای)، بر بهبود تخمین تغییرات مکانی هدایت هیدرولیکی اشباع، در سطح چهل هزار هکتار در حد فاصل رودخانه سیاه‌رود تا تالار استان مازندران انجام گردید. در این پژوهش چهار سناریوی پیشنهادی متفاوت شامل یک سناریو نمونه‌برداری یک مرحله‌ای و سه سناریو نمونه‌برداری مرحله‌ای (دو مرحله‌ای) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاکی از آن است که کاربرد کلیه سناریوهای شامل نمونه‌برداری مرحله‌ای، منجر به خطای کم‌تر، تخمین بهتر و استحکام فضایی قوی‌تر در تعیین تغییرات مقادیر هدایت هیدرولیکی اشباع می‌شود. در بین روش‌های مرحله‌ای نیز، روش طراحی متوازن شده مکانی نسبت به شاخص خطای استاندارد برآورد از دقت کم‌تری برخوردار است. در سناریوی طراحی بر اساس خطای استاندارد کریجینگ هدایت هیدرولیکی اشباع نسبت به روش متداول نمونه‌برداری یک مرحله‌ای، مقدار خطای ریشه متوسط مجذور خطا، میانگین قدرمطلق خطا و خطای استاندارد متوسط، از 5/56، 4/7 و 17/3 به ترتیب به 3/79، 2/84 و 3/86 متر در روز، کاهش یافته و بنابراین منجر به بهبود 39/6، 31/8 و 77/7 درصدی میزان این سه شاخص گردید.

**واژه‌های کلیدی:** خطای استاندارد برآورد، روش کریجینگ، طراحی متوازن شده مکانی، نمونه‌برداری مرحله‌ای

### مقدمه

مدیریت آب و خاک، کار بسیار مشکلی است (Mohanty et al., 1994; Moustafa., 2000)

افزایش تعداد نمونه‌برداری برای کاهش این تغییرپذیری اجتناب ناپذیر می‌باشد، که این خود علاوه بر هزینه‌بر بودن نیاز به صرف زمان بیش‌تر دارد. بنابراین با تعیین تعداد و محل بهینه نقاط نمونه برداری، نمایش واقعی‌تری از تغییرات مقادیر هدایت هیدرولیکی اشباع در خاک خواهیم‌داشت و در هزینه و زمان صرفه‌جویی قابل توجهی خواهد شد (Moustafa., 2000).

جهت تهیه نقشه پهنه‌بندی یک متغیر مانند هدایت هیدرولیکی، دو مرحله متمایز شامل نمونه‌برداری و میان‌یابی (پیش‌بینی) وجود دارد. بیش‌تر مطالعات انجام شده به مرحله دوم آن توجه داشته‌اند، به طوری که انواع روش‌های میان‌یابی مورد مقایسه و ارزیابی قرار گرفته‌اند. در دو دهه اخیر به جنبه نمونه‌برداری تهیه یک نقشه توجه بیش‌تری شده است (Brus and Heuvelink., 2007). به طوری که

هدایت هیدرولیکی اشباع از مهم‌ترین مشخصه‌های هیدرودینامیکی خاک است که در ارزیابی جریان آب زیرزمینی و محاسبه فواصل زهکشی مورد نیاز بوده و در مباحث حرکت آب و املاح در خاک و طراحی پروژه‌های زهکشی مورد توجه قرار می‌گیرد. بنابراین تعیین دقیق این پارامتر از اهمیت زیادی برخوردار است. از طرفی تغییرپذیری مکانی این پارامتر در خاک بسیار زیاد می‌باشد به طوری که درک صحیح از میزان آن جهت تعیین فاصله زهکش‌ها و

1 - دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری  
2- دانشیار گروه مهندسی آب دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، گروه مهندسی آب  
\* - نویسنده مسئول: (Email: ma.gholami@sanru.ac.ir)

دست‌آمده با روش شبیه‌سازی متوالی گوسی دقیق‌تر از مدل به‌دست‌آمده با روش شبیه‌سازی متوالی شاخص است.

مرشدی و معاریان (1389) نمونه‌برداری تک مرحله‌ای و چند مرحله‌ای پارامترهای مورد نیاز برای تعیین ساختگاه سد سمیلان را مورد بررسی قرار دادند. مطالعات آن‌ها حاکی از آن است که خطای تخمین پارامترها و تابع تعیین محل گمانه بر اساس منطق طراحی چند مرحله‌ای مبتنی بر واریانس کریجینگ، کاهش یافته و نحوه آرایش نقاط نمونه‌برداری تاثیر زیادی در کاهش خطای تخمین دارد.

وان گرونیجن و همکاران الگوریتم بهینه‌سازی تبرید شبیه‌سازی شده فضایی را به منظور نمونه‌برداری مرحله‌ای معرفی نمودند. مطالعات آن‌ها نشان داد که با استفاده از این روش میزان واریانس کریجینگ معمولی در محاسبه درصد شن از 28/2 به 23/7 درصد کاهش یافته است. ضمناً این روش کارایی بالایی در کاهش واریانس کریجینگ در نقاط نزدیک مرز محدوده مطالعاتی دارد (Van Groenigen et al., 1999).

بروس و هیولینگ و همینطور تریکی، روش کریجینگ عام<sup>5</sup> را برای بهینه‌سازی شبکه نمونه‌برداری سطح آب زیرزمینی و افزایش دقت تغییرات مکانی آن ارزیابی نمودند (Brus, Triki et al., 2013). دلم و گوورت روش وزن‌دهی واریانس کریجینگ را در نمونه‌برداری دو مرحله‌ای معرفی نمودند (Delmelle and Heuvelink, 2007). یانگشا و همکاران روش‌های طراحی مبنا نظیر روش‌های نمونه‌برداری سیستماتیک، تصادفی و طبقه‌بندی شده را با روشی موسوم به MSN<sup>6</sup> مقایسه نمودند. روش پیشنهادی آن‌ها ترکیبی از روش کلاسیک نمونه‌برداری فضایی طبقه‌بندی شده<sup>7</sup> و روش کریجینگ قطعه‌ای<sup>8</sup> می‌باشد. مطالعه آن‌ها نشان داد که روش پیشنهادی برای بهینه‌سازی شبکه پایش موجود مناسب می‌باشد (Yangsha et al., 2011). براکا و همکاران شبکه پایش سطح آب زیرزمینی را در منطقه‌ای با کاربری کشاورزی در شمال ایتالیا بهینه‌سازی نمودند. مطالعه آن‌ها بر اساس انحراف استاندارد کریجینگ بین شبکه موجود و شبکه معرفی شده با کاهش نقاط نمونه‌برداری، نشان داد که کاهش محل‌های نمونه‌برداری تاثیر معنی‌داری در پیش‌بینی سطح آب ندارد (Barca et al., 2013).

هسلر و همکاران نشان دادند که به‌منظور طراحی یک سیستم پایش هدایت هیدرولیکی اشباع جهت بررسی تغییرات زمانی این پارامتر، هر دو روش نمونه‌برداری تصادفی ساده<sup>9</sup> و تصادفی طبقه‌بندی بندی شده ساده<sup>10</sup> از کارایی یکسانی برخوردار می‌باشند (et al., 2014).

این موضوع از کاربرد الگوریتم‌های جدید نظیر الگوریتم تبرید شبیه‌سازی شده فضایی<sup>1</sup> تا درج در نسخه‌های جدید نرم افزارها نظیر برنامه ArcGIS پیش‌رفته است (Pereira et al., 2013; ESRI., 2015).

سوالی که در این جا مطرح می‌شود این است که بهترین استراتژی نمونه‌برداری چیست؟ در واقع هدف، تعیین تعداد و محل بهینه نمونه برداری برای ترسیم نقشه رقمی از یک متغیر می‌باشد (Verstraete and Van Meirvenne., 2008). انواع روش‌های نمونه‌برداری مکانی<sup>2</sup> به دو بخش نمونه‌برداری طراحی مبنا<sup>3</sup> و نمونه‌برداری مدل مبنا<sup>4</sup> تقسیم‌بندی می‌شود (Hassler et al., 2014; Brus, 2010). در روش طراحی مبنا، انتخاب نمونه‌ها به‌طور تصادفی انجام می‌شود و هنگامی که نیاز به اندازه‌گیری میانگین و میانه نمونه‌ها باشد، کارایی خوبی دارد. شبکه‌بندی منظم و نمونه‌برداری سیستماتیک از نمونه‌های بارز این روش می‌باشد. به این روش، نمونه‌برداری تصادفی نیز می‌گویند (Knotters and Brus., 2010; Brus., 2010).

برخلاف روش قبلی، نمونه‌برداری مدل مبنا، روش نمونه‌برداری هدفمند بوده و نمونه‌برداری به‌صورت تصادفی یا احتمالاتی انجام نمی‌شود. این روش کارایی و دقت بالاتری داشته و بر اساس تجزیه و تحلیل نیم‌تغییرنما در زمین‌آمار انجام می‌گیرد (Brus and Heuvelink., 2007; Brus et al., 2006). در واقع نقاط مناسب نمونه‌برداری در روش مدل مبنا نقاطی هستند که دارای استحکام فضایی مناسب باشند و این امر با استفاده از نیم‌تغییرنما و طی فرایندی به نام طراحی مرحله‌ای انجام می‌شود.

روش نمونه‌برداری مرحله‌ای بر این اصل استوار است که نمونه‌برداری از یک پارامتر در دو یا چند مرحله صورت می‌پذیرد و داده‌های حاصل از هر مرحله، اساس طراحی مرحله بعد را تشکیل می‌دهند. در این روش با انجام هر مرحله، شناخت از محیط نمونه‌برداری و تغییرات متغیر افزایش یافته و در نتیجه می‌توان نمونه‌برداری را فقط در نقاطی متمرکز کرد که تغییرپذیری در اطراف آن نقاط بیش‌تر است (مرشدی و معاریان، 1389). بنابراین منطق طراحی مرحله‌ای نوعی بهینه‌سازی می‌باشد (Verstraete and Van Meirvenne., 2008).

دلبری و افراسیاب (1394) روش شبیه‌سازی متوالی گوسی و روش غیر پارامتری شبیه‌سازی متوالی شاخص برای مدل کردن عدم قطعیت تخمین هدایت هیدرولیکی خاک، در منطقه خیرآباد استان خوزستان، به کار بردند. در زمینه عدم قطعیت، نتایج این تحقیق نشان داد واریانس کریجینگ مستقل از مقادیر داده‌هاست. بنابراین، محدودیت زیادی در استفاده از آن وجود دارد. مدل عدم قطعیت به -

5 - Universal kriging

6 - Mean of Surface with Non-homogeneity

7 - spatial stratified sampling

8 - block Kriging

9 - simple random sampling

10 - stratified simple random sampling

1 - Spatial Simulated Annealing(SSA)

2 - Spatial sampling

3 - Design-based sampling

4 - Model-based sampling

(Hassler 2014)

اشباع، استفاده شد. با توجه به این که در مقادیر بدست آمده اعدادی نظیر 40 و 70 متر در روز نیز دیده می‌شد که جز داده‌های به شدت پرت محسوب می‌شوند، با مقایسه مقادیر با جداول پیشنهادی مقادیر هدایت هیدرولیکی اشباع و با توجه به نوع بافت خاک، مقادیر غیرمنطقی حذف شدند (علیزاده، 1387). در نهایت پس از حذف داده‌های پرت، به ترتیب 66 و 132 نقطه از داده‌های سری اول و دوم برای انجام پژوهش انتخاب شدند (شکل 1).

در این تحقیق دو روش نمونه برداری مرحله‌ای مورد ارزیابی قرار گرفت. در روش اول نمونه برداری بر اساس طراحی متوازن شده مکانی<sup>1</sup> (SBD) و در روش دوم نمونه برداری بر اساس شاخص خطای خطای استاندارد برآورد<sup>2</sup> انجام شد (ESRI, 2015; Bhat et al., 2015). خطای استاندارد برآورد در واقع همان مجذور اختلاف بین مقادیر واقعی و پیش‌بینی شده می‌باشد (Bhat et al., 2015).

بهات و همکاران از خطای استاندارد کریجینگ جهت بهینه‌سازی شبکه پایش سطح آب زیرزمینی در دشت فلوریدا، آمریکا استفاده کردند. مطالعات آن‌ها نشان داد که با اضافه کردن 55 چاه با فواصل حدود 29/3 کیلومتری به 44 چاه موجود، میزان خطای استاندارد، 43 درصد کاهش می‌یابد (Bhat et al., 2015). زاهید و همکاران و ساتماری و همکاران نیز روش تیرید شبیه‌سازی شده فضایی را به ترتیب برای بهینه‌سازی شبکه نمونه برداری و طراحی شبکه نمونه برداری چند متغیره، به کار بردند (Zahid et al., 2016; Szatmári et al., 2016).

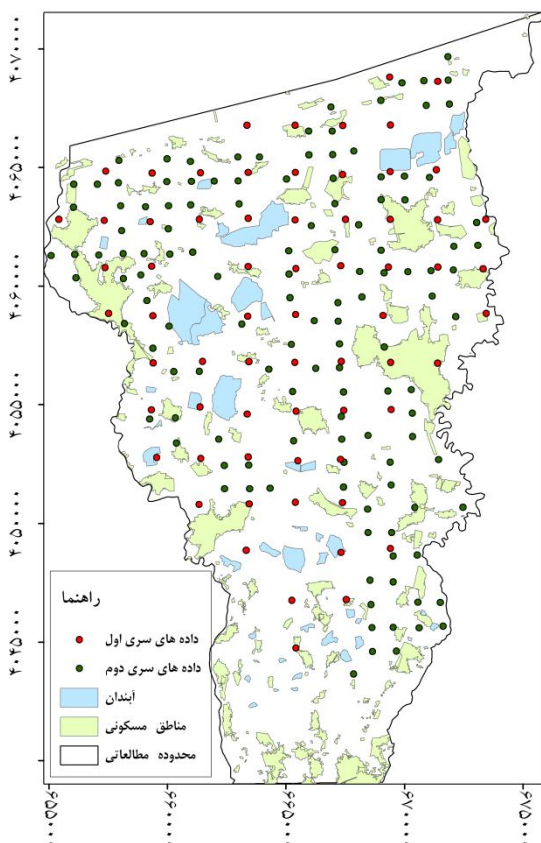
علی‌رغم این که مطالعات متعددی در زمینه بهینه‌سازی شبکه پایش پارامترهایی مانند سطح آب زیرزمینی و کیفیت آب انجام شد، تاکنون مطالعه‌ای در خصوص کاربرد طراحی مرحله‌ای و بررسی تاثیر آن بر دقت تغییرات مکانی هدایت هیدرولیکی اشباع انجام نشده است. بنابراین به منظور بهبود دقت تغییرات مکانی هدایت هیدرولیکی اشباع، روش نمونه برداری یک مرحله‌ای و متداول شبکه‌بندی با روش‌های نمونه برداری طراحی مرحله‌ای بر اساس شاخص خطای استاندارد برآورد و روش طراحی متوازن شده مکانی، در محدوده بین رودخانه سیاه‌رود تا تالار استان مازندران، مورد ارزیابی قرار گرفتند.

## مواد و روش‌ها

محدوده مورد مطالعه با مساحت 40 هزار هکتار، اراضی ما بین رودخانه‌های سیاه‌رود تا تالار رود در استان مازندران، می‌باشد. متوسط بارندگی، رطوبت نسبی و دمای هوای سالیانه به ترتیب، 720 میلی-متر، 79 درصد و 17 درجه سانتی‌گراد می‌باشد. بر اساس اقلیم نمای آمبروزه منطقه دارای اقلیم مرطوب معتدل است. قابلیت نفوذ متوسط و آهسته، بافت سطحی سنگین، شیب کلی 0 تا 2 درصد و پستی و بلندی جزئی، از ویژگی بارز خاک‌شناسی منطقه می‌باشد (بی‌نام، 1392). شکل 1 محدوده مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

در این پژوهش از دو سری مقادیر اندازه‌گیری شده هدایت هیدرولیکی اشباع استفاده شد. سری اول از پروژه مطالعات بانک جهانی سد البرز می‌باشد، که هدایت هیدرولیکی خاک در محدوده طرح به روش ارنست بر روی 147 چاهک در سال 1388 و در یک شبکه 1 کیلومتری انجام شد (بی‌نام، 1388). سری دوم اطلاعات، از مقادیر هدایت هیدرولیکی پروژه مطالعات زهکشی اراضی شالیزاری محدوده سیاه‌رود تا تالار می‌باشد که هدایت هیدرولیکی خاک در محدوده طرح به روش ارنست بر روی 74 چاهک در یک شبکه 2 کیلومتری در سال 1391 انجام شد (بی‌نام، 1392).

از آن‌جا که در نقاط مورد نظر پارامتر نفوذ خاک نیز وجود داشت، از این اطلاعات نیز به‌عنوان عامل تاثیرگذار بر هدایت هیدرولیکی



شکل 1- محدوده مورد مطالعه و نقاط اندازه‌گیری شده سری اول و دوم

1 - Spatially Balanced Design(SBD)

2 - Standard Error of Prediction(STERR)

دیگر بر اساس روش نمونه‌برداری مرحله‌ای بر مبنای نقشه خطای استاندارد، می‌باشد. سناریو سوم (S3) تهیه نقشه هدایت هیدرولیکی اشباع، بر اساس 33 نقطه انتخابی از داده‌های سری دوم به اضافه تعیین 33 نقطه دیگر بر اساس روش نمونه‌برداری مرحله‌ای بر مبنای نقشه خطای استاندارد با اضافه کردن لایه رستری نرمال شده است. سناریو چهارم (S4) نیز تهیه نقشه هدایت هیدرولیکی اشباع بر اساس 33 نقطه انتخابی از داده‌های سری دوم به اضافه تعیین 33 نقطه دیگر بر اساس روش SBD می‌باشد.

برای تهیه نقشه خطای استاندارد کریجینگ حاصل از 33 نقطه انتخابی از مقادیر سری دوم پارامترهای هدایت هیدرولیکی اشباع و نفوذ خاک استفاده شد. ابتدا با استفاده از نرم افزار ArcGIS مقادیر هدایت هیدرولیکی هر دو سری اطلاعات، بر اساس مختصات جغرافیایی به فایل GIS Ready تبدیل شدند. سپس 33 نقطه از 66 نقطه اندازه‌گیری سری دوم بر اساس یک شبکه حدوداً 4 کیلومتری، انتخاب شدند. به منظور انجام عملیات زمین‌آمار ابتدا در صورت نیاز مقادیر با استفاده از روش Box-Cox یا تبدیل لگاریتمی از الحاقیه زمین‌آمار به توزیع نرمال تبدیل شدند و با توجه به این‌که در آن‌ها روند وجود داشت، روند موجود نیز در مرحله تهیه نقشه کریجینگ حذف شد. با توجه به این‌که این پژوهش به کاربرد زمین‌آمار می‌پردازد از توضیحات در مورد روش زمین‌آمار خودداری شد. برای مطالعه بیشتر در این خصوص به رفرنس (Geoff., 2005) مراجعه شود.

در مرحله بعد عملیات واریوگرافی برای تعیین بهترین نیم تغییر-نمای تجربی انجام گردید. نقشه بدست آمده از روش کریجینگ ابتدا به نقشه خطای استاندارد تبدیل شده و سپس نقشه مربوطه به فرمت رستری تبدیل گردید. فایل رستری در محیط ArcMap با استفاده از رابطه 1 بین صفر و یک نرمال شد. تمامی مراحل قبلی برای مقادیر نفوذ خاک نیز انجام شد.

در مرحله بعد دو لایه رستری نرمال شده (هدایت هیدرولیکی و نفوذ) در هم ضرب شده و لایه بدست آمده نیز مجدداً بر اساس رابطه 1 بین صفر تا یک نرمال گردید. از لایه رستری بدست آمده در تعیین نقاط اندازه‌گیری در سناریو های (S3) و (S4) استفاده شد.

$$N_{rv} = \left( \frac{O_{rv} - \min_{rv}}{\max_{rv} - \min_{rv}} \right) \quad (1)$$

در رابطه 1،  $N_{rv}$  مقدار جدید در هر نقطه،  $O_{rv}$  مقدار قبلی در همان نقطه،  $\min_{rv}$  حداقل مقدار در بین کلیه نقاط و  $\max_{rv}$  حداکثر مقدار در بین کلیه نقاط نقشه رستری، می‌باشند.

سپس 33 نقطه اندازه‌گیری دوم بر اساس روش‌های مرحله‌ای برای سناریو دوم (S2)، سوم (S3) و چهارم (S4) محاسبه گردید. مجدداً عملیات واریوگرافی به منظور تعیین بهترین روش، برای هر چهار سناریو انجام گردید. به منظور ارزیابی خطای تخمین مدل‌های

در نمونه‌برداری مرحله‌ای بر اساس شاخص خطای استاندارد برآورد، ابزار تعیین نقاط نمونه‌برداری جدید، لایه‌های خطای استاندارد حاصل از روش‌های کریجینگ یا کوکریجینگ نقاط نمونه‌برداری مرحله اول می‌باشند. بنابراین نقاط نمونه‌برداری جدید نقاطی خواهند بود که میزان خطای استاندارد را کاهش دهند. این نقاط مکان‌هایی خواهند بود که بیش‌ترین مقدار خطای استاندارد برآورد را دارند. (ESRI., 2015).

تئوبالد و همکاران اولین کسانی بودند که روش طراحی متوازن شده مکانی را گسترش دادند (Theobald et al., 2007). در نمونه-برداری مرحله‌ای بر اساس طراحی متوازن شده مکانی، برای تعیین نقاط نمونه‌برداری از یک نقشه رستری در محیط نرم افزار ArcMap<sup>TM</sup>، که مقادیر هر نقطه از آن بین صفر تا یک است، استفاده می‌شود. در واقع مقادیر این نقشه نقاطی که نیاز به انجام عمل نمونه‌برداری ضروری است را نشان می‌دهند، به این‌صورت که نقاطی از این لایه رستری که دارای مقادیر صفر هستند از عدم قطعیت کم‌تری برخوردار بوده و تراکم نمونه‌برداری در آن‌جا مناسب می‌باشد و نقاط دارای مقادیر بزرگ‌تر از صفر، دارای شانس یکسان برای انتخاب محل نمونه‌برداری می‌باشند (ESRI., 2015). در این پژوهش از شاخص خطای استاندارد برآورد پارامترهای هدایت هیدرولیکی و نفوذ خاک برای تهیه این نقشه رستری استفاده شده است.

در این پژوهش چهار سناریو پیشنهادی متفاوت مورد بررسی قرار گرفت. سناریو اول (S1)، تهیه نقشه هدایت هیدرولیکی اشباع، بر اساس 66 نقطه اندازه‌گیری از داده‌های سری دوم است که در واقع همان روش متداول در تهیه نقشه هم هدایت هیدرولیکی (تک مرحله‌ای) می‌باشد. سایر سناریوها، بر اساس روش مرحله‌ای (دو مرحله‌ای) بوده و با سناریو اول مورد مقایسه قرار گرفتند. سناریوهای بعدی به گونه‌ای طراحی شدند تا به منظور مقایسه سناریوها تعداد نقاط اندازه‌گیری مساوی با سناریو اول بدست آید. از آن‌جا که با توجه به مساحت محدوده، استاندارد تراکم نقاط اندازه‌گیری شبکه 2 کیلومتری می‌باشد، بنابراین این نقاط به‌گونه‌ای انتخاب شدند که برای مرحله اول و به‌عنوان یک تخمین اولیه مناسب، یک شبکه 4 کیلومتری را تشکیل دهند. بنابراین 33 نقطه اندازه‌گیری از داده‌های سری دوم به‌عنوان نقاط نمونه‌برداری مرحله اول انتخاب شدند. این نقاط در شکل 3 نشان داده شده است.

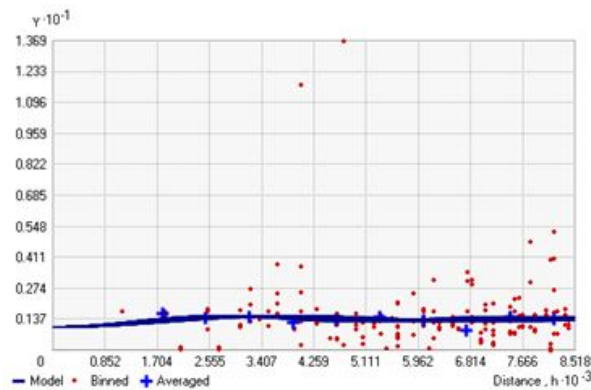
با توجه به این‌که سناریو اول دارای 66 نقطه بود برای مقایسه روش طراحی دو مرحله‌ای در سه سناریو دیگر، علاوه بر 33 نقطه اول، 33 نقطه دوم بر اساس روش مرحله‌ای و با استفاده از شاخص خطای استاندارد برآورد حاصل از 33 نقطه اول انتخاب شدند.

سناریو دوم (S2) تهیه نقشه هدایت هیدرولیکی اشباع، بر اساس 33 نقطه انتخابی از داده‌های سری دوم به اضافه تعیین 33 نقطه

باشد وابستگی مکانی متوسط و اگر بیش از 75 درصد باشد وابستگی مکانی ضعیف است. بر اساس جدول 2 نسبت اثر قطعه‌ای 72/8 درصد برای سناریو اول، نشان می‌دهد که بین نقاط انتخاب شده ساختار مکانی ضعیفی برقرار می‌باشد. اگرچه مقادیر کم‌تر از 75 درصد قابل قبول است ولی نسبت به سایر سناریوها از کم‌ترین ساختار مکانی برخوردار می‌باشد.

جدول 1- نتیجه آزمون کلموگروف-اسمیرنوف برای داده‌های سناریو اول

		Senaro_s1
N		66
Normal Parameters <sup>a,b</sup>	Mean	5.4044
	Std. Deviation	4.46008
Most Extreme Differences	Absolute	.176
	Positive	.176
	Negative	-.115
Kolmogorov-Smirnov Z		1.433
Asymp. Sig. (2-tailed)		.033



شکل 2- بهترین نیم تغییرنمای تجربی (نقاط قرمز) و برازش شده (خط آبی)

کلیه مراحل واریوگرافی برای 66 نقطه نهایی سه سناریو دیگر نیز انجام شد. از آنجا که هدف این پژوهش تجزیه و تحلیل نتایج این فعالیت‌ها نبود، بلکه استفاده از نتایج آن برای طراحی مرحله‌ای نمونه برداری می‌باشد، این مراحل در سایر سناریوها درج نگردید و صرفاً نتیجه نهایی آن‌ها آمده است.

در مرحله بعد، عملیات واریوگرافی برای مقادیر هدایت هیدرولیکی اشباع 33 نقطه انتخابی اولیه با روش کوکریجینگ نوع ساده، با تابع نیم‌تغییرنما Hole Effect و متغیر کمکی نفوذ تهیه شد. بر اساس برآورد زمین‌آمار مربوطه، نقشه خطای استاندارد برآورد هدایت هیدرولیکی، که یکی از نقشه‌های پایه و مهم مورد استفاده در این تحقیق است، بدست آمد (شکل 3).

زمین‌آمار با استفاده از تکنیک ارزیابی متقابل، از شاخص‌های، ریشه متوسط مجذور خطا<sup>1</sup> (RMSE)، مجذور میانگین خطای استاندارد شده<sup>2</sup> (RMSSE)، خطای استاندارد متوسط<sup>3</sup> (ASE) و میانگین قدر مطلق خطا<sup>4</sup> (MAE)، استفاده شد (روابط 2-5).

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\hat{Z}(s_i) - Z(s_i))^2}{n}} \quad (2)$$

$$RMSSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \left[ \frac{\hat{Z}(s_i) - Z(s_i)}{\hat{\delta}(s_i)} \right]^2}{n}} \quad (3)$$

$$ASE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \hat{\delta}^2(s_i)}{n}} \quad (4)$$

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \hat{Z}(s_i) - Z(s_i) \right| \quad (5)$$

که در روابط فوق،  $\hat{Z}(s_i)$  مقادیر پیش‌بینی شده هدایت هیدرولیکی،  $Z(s_i)$  مقادیر واقعی هدایت هیدرولیکی،  $\hat{\delta}(s_i)$  انحراف معیار مقادیر پیش‌بینی شده و  $n$  تعداد نقاط اندازه‌گیری می‌باشد.

## نتایج و بحث

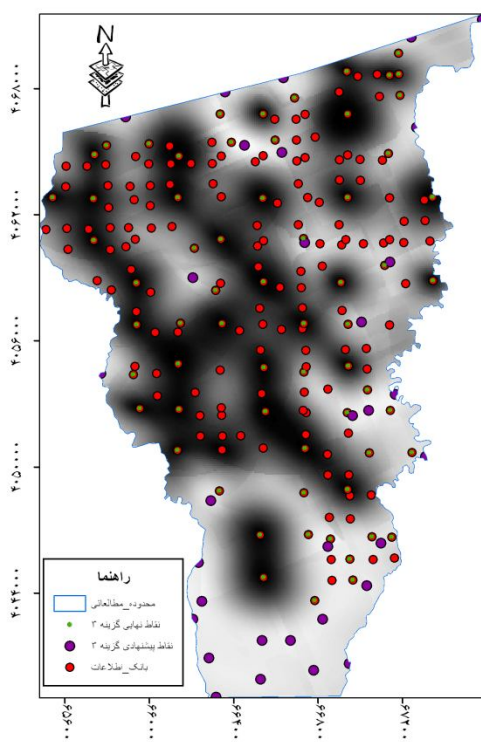
روش متداول در طراحی شبکه اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی روش تک مرحله‌ای موسوم به روش سیستماتیک است. در این روش برای اراضی با مساحتی برابر وسعت محدوده مورد مطالعه اندازه‌گیری در شبکه‌ای با فواصل 2 کیلومتر انجام شد. برای این کار مطابق سناریو اول، از 66 نقطه از داده‌های سری دوم استفاده شد (شکل 1).

مطابق جدول 1 بر اساس آزمون کلموگروف-اسمیرنوف با توجه به این که سطح معنی‌داری (3/3 درصد) کم‌تر از 5 درصد است بنابراین داده‌های سناریو اول از توزیع غیرنرمال برخوردار هستند، بنابراین با استفاده از روش تبدیل box-cox و پارامتر لاندن 1/5، داده‌ها به توزیع نرمال تبدیل شدند (Box and Cox., 1964).

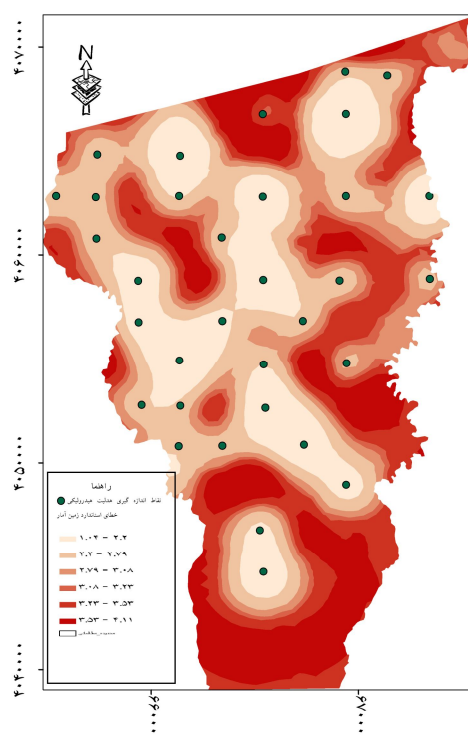
شکل 2 نیم‌تغییرنمای تجربی و مدل برازش شده مربوط به سناریو اول را نشان می‌دهد. تجزیه و تحلیل نیم‌تغییرنما نشان داد که کریجینگ معمولی با تابع J-Bessel بهترین مدل نیم‌تغییرنما می‌باشد (جدول 2). نتایج نشان دهنده عدم وجود روند ناهمسان‌گردی بود.

طبق طبقه‌بندی ارایه شده اگر نسبت اثر قطعه‌ای به حد آستانه کم‌تر از 25 درصد باشد وابستگی مکانی قوی، اگر از 25 تا 75 درصد

- 1 - Root Mean Squared Error (RMSE)
- 2- Root Mean Square Standardized Error(RMSSE)
- 3 - Average Standard Error(ASE)
- 4 - Mean Absolute Error(MAE)



شکل 4- نقشه رستری نرمال شده نهایی مورد استفاده سناریوهای S3 و S4



شکل 3- نقشه خطای استاندارد کریجینگ هدایت هیدرولیکی اشباع حاصل از 33 نقطه انتخابی اولیه

مقایسه شکل های 3 و 4 نیز نشان می‌دهد که هر دو شکل تقریباً از الگوی یکسان تبعیت می‌کنند. به طوری که مناطقی که در شکل 3 روشن تر هستند و در واقع عدم قطعیت بیشتری را در پیش‌بینی مقدار هدایت هیدرولیکی نشان دهند، در شکل 4 نیز تیره‌تر مشاهده می‌شوند و همان مفهوم را می‌رسانند. این موضوع در مناطق جنوبی و اراضی شرق محدود مشهودتر است.

بر اساس شکل های 3 و 4، همچنین مطابق سناریوهای پیشنهادی، 33 نقطه انتخابی مرحله دوم، جهت اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی از بین بانک اطلاعات حاصل از داده‌های سری اول و دوم (132 نقطه سری اول و 33 نقطه سری دوم) انتخاب شدند. جهت تعیین این نقاط، نزدیک‌ترین نقاط از بانک اطلاعات به نقاط پیشنهادی هر سناریو، انتخاب گردیدند. با توجه به این که اختلاف مکانی بین نقاط معرفی شده از هر سناریو و نقاط انتخاب شده از بانک اطلاعات، بین 190 تا 1700 متر می‌رسید و همین‌طور اهمیت فاصله نقاط نمونه‌برداری در دقت نقشه‌های میان‌یابی شده، در صورتی بکارگیری نقاط واقعی با انجام آزمایشات میدانی در نقاط پیشنهادی هر سناریو، خطای بدست آمده از نتایج این تحقیق نیز کم‌تر شد. در نهایت عملیات واریوگرافی برای 66 نقطه نهایی بدست آمده از هر سناریو انجام شد و بهترین مدل نیم‌تغییرنا انتخاب گردید. نتایج در جدول 2 درج شده است.

مقدار خطای استاندارد برآورد در شکل 3 بین  $1/04$  تا  $4/11$  متر در روز متغیر می‌باشد. ملاحظه می‌شود که در مرز محدوده، به‌ویژه نواحی جنوبی و در مناطقی که نقطه اندازه‌گیری وجود ندارد، میزان خطای استاندارد، بیش‌تر می‌باشد که نشان دهنده عدم قطعیت بیش‌تر در پیش‌بینی مقادیر هدایت هیدرولیکی و در نتیجه لزوم انتخاب نقاط جدید اندازه‌گیری در این مناطق می‌باشد.

نقشه خطای استاندارد برآورد هدایت هیدرولیک اشباع (شکل 3) و نقشه خطای استاندارد برآورد نفوذ خاک، ابتدا به لایه رستری تبدیل شدند و سپس بر اساس رابطه 1 نرمال شده و در هم ضرب شدند. نقشه رستری بدست آمده نیز مجدداً بر اساس رابطه 1 بین 0 تا 1، نرمال گردید. این محاسبات با استفاده از دستور Raster Calculator در محیط نرم افزار ArcGIS انجام گردید. نقشه رستری نرمال شده در شکل 4 نمایش داده شد.

در این شکل نقاطی که مقادیر آن‌ها به رنگ سیاه است دارای کم‌ترین مقدار خطای نرمال شده (صفر) و نقاطی که مقادیر آن‌ها به رنگ سفید نزدیک است دارای بیش‌ترین مقدار خطای استاندارد (یک)، یا در واقع نقاط دارای عدم قطعیت بیش‌تر می‌باشند.

جدول 2- نتایج نیم‌تغییرنمای هدایت هیدرولیکی برای سناریوهای مختلف

نسبت اثر قطعه‌ای (%)	دامنه تاثیر (متر)	حد آستانه (m/day) <sup>2</sup>	قطعه‌ای اثر (m/day) <sup>2</sup>	مدل نیم‌تغییرنما	روش کریجینگ	سناریو
72/8	5678	1/4	1/02	J-Bessel	Ordinary	S1
15/7	3066	19/66	3/1	Hole Effect	Simple	S2
42/3	18844	2/6	1/1	Hole Effect	Simple	S3
66	4122	3/6	2/4	Stable	Ordinary	S4

خطای RMSSE به میزان 0/41 از بیش‌ترین مقدار خطا برخوردار است. همان‌طور که مشاهده می‌شود سناریو S2 با مقادیر 3/86، 3/79 و 2/84 متر در روز به ترتیب برای مقدار خطای RMSE، ASE و MAE نسبت به سایر سناریوها دارای کم‌ترین خطا می‌باشد. بنابراین مشابه نتایج (Bhat et al., 2015) خطای استاندارد برآورد شاخص مناسبی جهت بهینه‌سازی شبکه پایش و طراحی مرحله‌ای می‌باشد. همچنین همه سناریوهایی که بر اساس منطق نمونه‌برداری مرحله‌ای هستند (سناریوهای S2، S3 و S4) از مقادیر خطای کم‌تر، ساختار فضایی بهتر و دقت بیش‌تری برای تعیین تغییرات مکانی هدایت هیدرولیکی نسبت به سناریوی روش متداول (تک مرحله‌ای)، S1 برخوردارند.

میزان خطای RMSE، MAE و ASE در سناریو S2 نسبت به سناریو S1 39/6، 31/8 و 77/7 درصد کاهش یافته است. در سناریوهای S2، S3 و S4، مقدار شاخص RMSSE نیز مناسب‌تر می‌باشد. بعلاوه مقادیر کوچک‌تر از یک شاخص اخیر برای کلیه سناریوها، نشان می‌دهد که مقادیر پیش‌بینی شده بیشتر از مقادیر واقعی برآورد شده است.

نقاط انتخاب شده برای سناریو S4 بر اساس طراحی مکانی متوازن شده، به‌گونه‌ای می‌باشد که با MAE، RMSE و ASE برابر 4/88، 5/12 و 3/96 متر در روز، نسبت به سناریو S1 از دقیق‌تر بوده ولی در مقایسه با سناریو S2 و S3 از دقت کمتر و استحکام مکانی ضعیف‌تر برخوردار می‌باشد. علت این امر اینست که در روش مورد استفاده در سناریو S4 (طراحی مکانی متوازن شده) انتخاب نقاط جدید نمونه‌برداری بصورت تصادفی می‌باشد درحالی‌که که در سناریو S2 و S3 مکان‌های جدید نمونه‌برداری در نقاطی انتخاب می‌شوند که دارای بیش‌ترین عدم قطعیت هستند.

همان‌گونه که در شکل 2 نیز مشاهده می‌شود فاصله زیاد اثر قطعه‌ای از مبدا مختصات و مقادیر اثر قطعه‌ای و حد آستانه نزدیک بهم موید آن است که بیش‌تر تغییرات مقادیر هیدرولیکی تصادفی می‌باشد. در جدول 2 نیز مقدار اثر قطعه‌ای 1/02 در برابر حد آستانه به مقدار 1/4 در سناریو اول حاکی از این است که فقط 27/2 درصد از تغییرات مکانی هدایت هیدرولیکی اشباع دارای ساختار مکانی بوده و 72/8 درصد آن بدون ساختار و تصادفی می‌باشد. بر اساس جدول 2 نتایج تجزیه و تحلیل نیم‌تغییرنما برای 66 نقطه نهایی چهار سناریو نشان می‌دهد که سناریو دوم با نسبت اثر قطعه‌ای 15/7 درصد (کم‌تر از 25 درصد) از بهترین ساختار مکانی برخوردار است. این نسبت در سناریو S3 و S4 نیز با مقادیر 42/3 و 66 درصد کم‌تر از سناریو اول با 72/8 درصد می‌باشد. مقدار درصد اثر قطعه‌ای در مطالعه (Moustafa., 2000) برای هدایت هیدرولیکی، 56 درصد بدست آمد. بنابراین استفاده از روش طراحی مرحله‌ای (دو مرحله) منجر به انتخاب نقاطی برای اندازه‌گیری شده که استحکام فضایی قوی‌تری بین مقادیر هدایت هیدرولیکی وجود دارند. به عبارت دیگر انتخاب مکان‌های اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی اشباع در سناریو دوم بهتر از سه سناریوی دیگر می‌باشد. مقدار دامنه تاثیر بین مقادیر هدایت هیدرولیکی نیز در سناریو S2، کم‌ترین مقدار یعنی 3066 متر می‌باشد. بررسی انتخاب مدل‌های نیم‌تغییرنما نشان داد که میزان دقت مدل‌ها به نوع مدل حساسیت کمی دارند و روش کریجینگ ساده و معمولی از کارایی بالاتری برخوردار می‌باشند.

به منظور تعیین بهترین سناریو، شاخص‌های ارزیابی خطا برای بهترین مدل نیم‌تغییرنما از هر سناریو در جدول 3 محاسبه گردید. در تعیین نقاط اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی سناریو اول با میزان خطای RMSE، MAE و ASE به ترتیب 5/56، 4/7 و 17/3 متر در روز و

جدول 3- مقادیر خطای محاسبه شده در سناریوهای مختلف

سناریو	RMSE (متر در روز)	RMSSE	ASE (متر در روز)	MAE (متر در روز)
S1	5/56	0/41	17/3	4/70
S2	3/79	0/92	3/86	2/84
S3	3/88	0/92	4/26	3/14
S4	4/88	0/99	5/12	3/96

## منابع

- بی‌نام. 1392. مطالعات مرحله اول زهکشی اراضی شالیزاری محدوده تالار تا سیاه‌رود استان مازندران، گزارش مطالعات پایه. مهندسی مشاور آب و خاک پارس، 185 ص.
- بی‌نام. 1388. پروژه بانک جهانی سد البرز، مطالعات پایه. مهندسی مشاور مهتاب قدس، 126 ص.
- حسین مرشدی، ا و معماریان، ح. 1389. طراحی مرحله‌ای شبکه نمونه- برداری، بر اساس پارامترهای ژئوتکنیکی و خصوصیات کیفی ساختگاه سد سمیلان، با استفاده از کریجینگ و شبکه عصبی. نشریه علمی و پژوهشی مهندسی معدن. 5. 10: 1-20.
- دلبری، م و افراسیاب، پ. 1394. شبیه‌سازی تصادفی زمین‌آماری هدایت هیدرولیکی اشباع خاک. تحقیقات آب و خاک ایران. 46. 2: 244-231
- علیزاده، ا. 1387. زهکشی جدید (برنامه‌ریزی، طراحی و مدیریت سیستم‌های زهکشی). چاپ سوم. انتشارات دانشگاه امام رضا(ع).
- Bhat, S., Motz, L., Pathak, C and Kuebler, L. 2015. Geostatistics-based groundwater-level monitoring network design and its application to the Upper Floridan aquifer, USA. Environmental monitoring and assessment. 187:4183.
- Barca, E., Calzolari, M.C., Passarella, G and Ungaro, F. 2013. Predicting shallow water table depth at regional scale: optimizing monitoring network in space and time. Water Resources Management. 27: 5171-5190.
- Brus, D.J. 2010. Design-based and model-based sampling strategies for soil monitoring. 19th World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World, 1- 6 August 2010, Brisbane, Australia. Published on DVD.
- Brus, D.J and Heuvelink, G.B.M. 2007. Optimization of sample patterns for universal kriging of environmental variables. Geoderma. 138: 86-95.
- Brus, D.J., Gruijter, J and Van Groenigen, J.W. 2006. Designing spatial coverage samples using the k-means clustering algorithm. Box, G.E.P. and Cox, D.R. 1964. An analysis of transformations. Journal of the Royal Statistical Society. Series B (Methodological). 2: 211-252.
- Delmelle, E.M and Goovaerts, P. 2009. Second-phase sampling designs for non-stationary spatial variables. Geoderma 153:205-216.
- ESRI. 2015. An introduction to sampling monitoring networks- Help. ArcGIS Desktop. ESRI Incorporated.

بر خلاف آن چه انتظار می‌رفت، اضافه کردن لایه رستری نرمال شده در سناریو S3 نسبت به S2، نتایج بهتری حاصل نشد و بنابراین در محدوده مورد مطالعه، پارامتر نفوذ خاک، مبین تغییرات هدایت هیدرولیکی نمی‌باشد. به همین دلیل نقشه‌های خطای استاندارد مربوطه، عدم قطعیت نقاط اندازه‌گیری را به خوبی نشان نداده است. با توجه به این که برنج کشت غالب در محدوده مورد مطالعه می‌باشد، به نظر می‌رسد وجود یک لایه سخت<sup>1</sup> رسی در عمق حدود 20 تا 30 سانتی‌متری از سطح خاک در شالیزارها، علت عمده عدم کاربرد نفوذ خاک برای تعیین تغییرات مکانی هیدرولیکی اشباع می‌باشد.

## نتیجه‌گیری

در این تحقیق نقاط اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی اشباع با استفاده از تکنیک طراحی مرحله‌ای و زمین‌آمار با روش متداول طراحی یک مرحله‌ای در نقاط شبکه‌بندی شده در محدوده رودخانه تالار تا سیاه‌رود استان مازندران مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج این پژوهش حاکی از آن است که سناریوهای مبتنی بر منطق نمونه‌برداری مرحله‌ای بر اساس شاخص خطای استاندارد کریجینگ نسبت به روش متداول، منجر به ساختار مکانی قوی‌تر بین مقادیر هدایت هیدرولیک و خطای کم‌تری در تعیین تغییرات مکانی آن گردید و دقت نقشه‌های میان‌یابی شده را افزایش داده است. بطوری که تغییرات مکانی مقادیر هدایت هیدرولیکی بر اساس خطای RMSE، MAE و ASE به ترتیب 39/6، 31/8 و 77/7 درصد کاهش یافت. بنابراین در طراحی مرحله‌ای نمونه‌برداری شاخص خطای استاندارد برآورد از کارایی مناسب برخوردار است. نقشه درون‌یابی داده‌های هدایت هیدرولیکی حاصل از این روش در تعیین دقیق مناطق مستعد زه‌دار شدن، تعیین فاصله زه‌کش‌ها، به عنوان ورودی در مدل‌های شبیه‌سازی حرکت آب و آلاینده‌ها در خاک و مدیریت کارآمد آب و خاک به کار می‌رود. همچنین، نتایج نشان می‌دهد که در محدوده مورد مطالعه نفوذ خاک در افزایش دقت تعیین نقاط اندازه‌گیری تأثیری نداشته و تغییرات این پارامتر نشان دهنده تغییرات هدایت هیدرولیکی اشباع نمی‌باشد. استفاده و کاربرد روش طراحی مکانی متوازن شده در سناریو چهارم، از دقت کم‌تری نسبت به روش خطای استاندارد برآورد برخوردار است. بنابراین در صورتی که در منطقه مورد مطالعه از قبل اطلاعاتی که نشان دهنده تغییرات هدایت هیدرولیکی، نظیر بافت خاک، وجود داشته باشد، از این روش می‌توان برای تعیین نقاط اندازه‌گیری نمونه‌برداری در مرحله اول، استفاده نمود و در مرحله دوم، با روش خطای استاندارد، آن را تکمیل نمود.



- Triki, I., Zairi, M and Dhia, H.B. 2013. A geostatistical approach for groundwater head monitoring network optimisation: case of the Sfax superficial aquifer (Tunisia). *Water and Environment Journal*, 27: 362-372.
- Theobald, D.M., Stevens, D.L., White, D., Urquhart, N.S., Olsen, A.R and Norman, J.B. 2007. Using GIS to Generate Spatially Balanced Random Survey Designs for Natural Resource Applications. *Environmental Management*, 40: 134-146.
- Van Groenigen, J.W., Siderius, W and Stein, A. 1999. Constrained optimisation of soil sampling for minimisation of the kriging variance. *Geoderma* 87: 239-259.
- Verstraete, S and Van Meirvenne, M. 2008. A multi-stage sampling strategy for the delineation of soil pollution in a contaminated brownfield. *Environmental Pollution*. 154: 184-191.
- Yangsha, G., Wang, J.F and Yin, X.L. 2011. Optimizing the groundwater monitoring network using MSN theory. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 21: 240-245.
- Zahid, E., Hussain, I., Spöck, G., Faisal, M., Shabbir, J.M., AbdEl-Salam, N and Hussain, T. 2016. Spatial Prediction and Optimized Sampling Design for Sodium Concentration in Groundwater.
- Geoff, B. 2005. *Introduction to Geostatistics and Variogram Analysis*.
- Hassler, S.K., Lark, R.M., Zimmermann, B and Elsenbeer, H. 2014. Which sampling design to monitor saturated hydraulic conductivity? *European Journal of Soil Science*. 65.6: 792-802.
- Knotters, M and Brus, D.J. 2010. Model-based vs. design-based sampling strategies for monitoring, with a case study on testing surface water quality against standards. M3 Workshop, June 16-17, Luxembourg.
- Mohanty, B.P., Kanwar, R.S and Everts, C. J. 1994. Comparison of saturated hydraulic conductivity measurement methods for a glacial-till soil. *Soil Science Society of America Journal*. 58: 672-677.
- Moustafa, M.M. 2000. A geostatistical approach to optimize the determination of saturated hydraulic conductivity for large-scale subsurface drainage design in Egypt. *Agricultural Water Management*. 42: 291-312.
- Pereira, G.T., De Souza, Z.M., Teixeira, D.D.B., Montanari, R and Junior, J.M. 2013. Optimization of the sampling scheme for maps of physical and chemical properties estimated by kriging. *Revista Brasileira de Cincia do Solo*. 37:1128-1135.
- Szatmari, G., Barta, K and Pásztor, L. 2016. Multivariate Sampling Design Optimization for Digital Soil Mapping. *Digital Soil Mapping Across Paradigms, Scales and Boundaries*, Springer Environmental Science and Engineering: 77-87

## Using Stage Sampling Technique to Determine Saturated Hydraulic Conductivity Measurement Points on the Farm

J. Abas palangi<sup>1</sup> and M.A. Gholami Sefidkahi<sup>\*2</sup>

Received: Jul.23, 2016

Accepted: Jan.18, 2017

### Abstract

Saturated hydraulic conductivity is important physical parameters of water movement in the soil, especially in determining the distance between the drain lines in the drainage projects. High cost and Time-consuming the field measurement and high variability of this parameter, a correct understanding of the changes in the amounts of saturated hydraulic conductivity is difficult in projects. So selecting the location and number of measuring is the first step to determining the spatial variability of Hydraulic conductivity which is corresponds to reality. Therefore, it is necessary to examine the impact of the new sampling methods on the accuracy of geostatistics estimates. Optimal sampling design, is the stage sampling. In this method, sampling of a parameter will done in two or more stages and data from each step, will form the basis of the next step designation. This study is done in 40 thousand hectares, within Siah Rud to Talar River of Mazandaran province to compare the stage sampling method based on the standard error of geostatistical methods, with conventional sampling methods (single-stage) on improving the estimation of spatial variability of saturated hydraulic conductivity. In this study, four different proposed scenarios were examined. One scenario based on common sampling method and three scenarios based on the stage sampling. The results indicate that the use of all scenarios, including stage sampling, resulting in fewer errors, better estimation and stronger Spatial structure in determination the saturated hydraulic conductivity values. Among the stage methods, the spatially balanced design approach was less accurate relative to the standard error of prediction index. The RMSE, MAE and ASE values in the scenario designed by kriging standard error of prediction than conventional sampling methods reduced respectively from 5.56, 4.7 and 17.3 to 3.79, 2.84 and 3.86  $m.d^{-1}$  and so improving 39.6, 31.8 and 77.7 percent these three indicators error.

**Key words:** Sampling, kriging method, Spatially balanced design, Standard error of prediction

1 - Ph.D. Candidate, of Irrigation & Drainage, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University

2 - Associate Professor, Department of Water Engineering Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University  
(\*-Corresponding Author Email: ma.gholami@sanru.ac.ir)