

## Research Paper

# Use Geostatistical Method in Estimating Hydraulic Conductivity and HardpanDepth and Investigating its Effect on Drains Distance in Uniform and Non-Uniform Condition

Yaser Hoseini<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Professor of Moghan College of Agriculture and Natural resources - University of Mohaghegh Ardabili - Ardabil - Iran, y\_hoseini@uma.ac.ir (Corresponding Author)



10.22125/IWE.2024.436493.1783

Received:  
**January 18, 2024**  
Accepted:  
**April 8, 2024**  
Available online:  
**June 29, 2024**

**Keywords:**  
**Drainage,project,Hardpan  
depth, Kriging, Variogram,  
Optimization**

## Abstract

Design of irrigation and drainage networks requires accurate estimation of relevant parameters, which can be made possible by using new estimation methods the new methods of interpolation based on geostatistics, consider the spatial changes of the variables, have reduced the inaccuracy of the classical methods. Therefore, in this research, the parameters of hardpan depth and hydraulic conductivity were estimated by geostatistical methods and compared with Thiessen's polygonal method in estimating the drainage spacing, which is a common method in drainage designs. The results showed that in determining the depth of impervious layer and hydraulic conductivity respectively, simple kriging and universal kriging methods with coefficient of determination 0.83 and 0.89 root mean square error 0.26 and 2.67 (m) have the best results. Also, the best fitted variogram respectively were calculated as an exponential variogram with zero nugget effect and 1.37 sill and a spherical variogram with a sill of 0.027 and 0.003 nugget effect. which showed the strength of the spatial structure of the area and the full impact of the structured component on the variogram model of the parameters. Also, the results showed that the distance of drains is uniform and non-uniform condition at different depths of the installation of drains, in kriging method were calculated less than thiessen method.

\* **Corresponding Author:** Yaser Hoseini  
**Address:** Moghan College of Agriculture and  
Natural resources, University of Mohaghegh  
Ardabili , Iran,

**Email:** y\_hoseini@ymail.com  
**Tel:** 09163069199

## 1. Introduction

Classical estimation methods, including Thiessen's method, in estimating the values of variables and their expansion, the spatial location of the data and its direction are not considered in estimating the values of variables, and the coefficient of the data for estimation is not dependent on the direction and location of those data (Tuik, 2018). But in geostatistics and related estimates, these two factors are taken into consideration (Kirimi et al., 2018). Another advantage of geostatistics is that it calculates the amount of estimation error and is also able to calculate the amount of sampling and data preparation error and thus determine an index to estimate the strength of the spatial structure and the spatial relationship of the data (Hosseini and Kamrani, 2018). Kriging is an unbiased estimator that obtains the least variance of the estimate (Hasaniepak, 2017). The condition of being unbiased is also applied in other estimation methods such as the polygonal method, inverse distance method, but the characteristic of kriging is that in the same unbiasedness, the variance of the estimate is also minimal (Castellini et al., 2019). The purpose of this study is to estimate the areas of hydraulic conductivity and hardpan in the region using geostatistical methods and its effect on determining the distance of drains.

## 2. Materials and Methods

Drainage studies in the lands of the region, including stratification studies and determination of the hydraulic conductivity coefficient of the soils of Khuzestan Province's Jihad Agricultural Organization, have been carried out in 30 points in the study area. Stratification studies have been carried out mainly in order to know the status of different layers and to determine the soil texture of the region, and the measurement of the soil drainage coefficient below the stagnation level has been done by the well method and above the stagnation level by the pumping method into the surface well.

## 3. Results

Results show that the proportion of areas with medium hydraulic conductivity and hydraulic conductivity of more than one meter per day has increased in the calculation using the Kriging method compared to the Thiessen method. In addition, in these areas, the depth of the impervious layer estimated by the Thiessen method is lower than the actual values, and due to the positive effect of the depth of the impervious layer on the distance of the drains, in these areas, which include units  $L_{12}$ ,  $L_{11}$  and  $L_{13}$ , in calculating the distances between the drains by the Thiessen method, it will lead to a decrease in the estimate of the distance of the drains and will result in an increase in the implementation cost. This case is seen in a different way in the areas with the depth of the impervious layer between 3-3.5 (m), in these areas due to the overestimation of the area of these lands in the Thiessen method compared to the Kriging method, the distance of the drains is overestimated. and this issue will be observed in the land unit  $O_{12(2)}$  and  $O_{12}$ . This causes the problem of drainage and waterlogging of lands to occur in these places due to the increase in the distance of the drains from each other.

## 4. Discussion and Conclusion

Kriging is an unbiased estimator (Hosseini, 2023). As the evaluation results and statistics showed, the geostatistical method provides more reliable results than the Thiessen method in the accurate estimation of hydraulic conductivity parameters and the depth of the impervious layer. The results of this research showed that the depth of the impervious layer and hydraulic conductivity as spatial data and input of the model have a high spatial correlation and the semivariable obtained has a very high strength. Also, the results of this research showed that geostatistical estimates in estimating the distance of drains, especially in lands with high hydraulic conductivity, have a significant difference with the results of old methods, and in such areas for estimating the distance of drains as well as drainage parameters such as hydraulic conductivity and layer depth impenetrable, it is better to use methods based on geostatistics.

## 5. Six important references

- 1) . Castellini, M., Stellacci, A.M., Tomaiuolo, M. Barca, E. 2019. Spatial Variability of Soil Physical and Hydraulic Properties in a Durum Wheat Field: An Assessment by the BEST-Procedure. *Water*, 11: 14-34.

- 2). Hasaniepak, A. A. 1377. Geostatistics. Tehran University Press. (in Persian).
- 3). Hoseini, Y., Kamrani, M. 2018. Using a fuzzy logic decision system to optimize the land suitability evaluation for a sprinkler irrigation method. *Outlook on Agriculture*, 47(4): 298–307.
- 4). Hoseini, Y. (2023). Optimization of saturated hydraulic conductivity estimation using kriging in drainage networks. *Appl Water Sci* 13, 94-106.
- 5). Karimi, F., Sultana, S., Shirzadi Babakan, A., Royall, D. 2018. Land Suitability evaluation for organic agriculture of wheat using GIS and multi criteria analysis. *Applied Geography*, 4 (3): 326–342.
- 6). Tuik, Turkish Statistical Institute, 2018. Agricultural Statistics Summary. <https://biruni.tuik.gov.tr/bolgeselistatistik/anaSayfa.do?dil=en>

### **Conflict of Interest**

Authors declared no conflict of interest.

## استفاده از روش‌های زمین‌آماری در برآورد هدایت هیدرولیکی و عمق لایه غیرقابل نفوذ و تاثیر آن بر فاصله زهکش‌ها در حالت همگام و ناهمگام

یاسر حسینی<sup>۱</sup>

تاریخ ارسال: ۱۴۰۲/۱۰/۲۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۱/۲۰

مقاله پژوهشی

چکیده

طراحی درست شبکه‌های آبیاری و زهکشی نیاز به برآورد دقیق پارامترهای مربوطه دارد که با استفاده از روش‌های جدید تخمین این امر امکان پذیر می‌گردد، از آنجا که روش‌های جدید درون‌یابی بر پایه زمین‌آمار، با در نظر گرفتن تغییرات مکانی متغیرها نواقص روش‌های کلاسیک را کاهش داده‌اند. لذا در این تحقیق پارامتر عمق لایه غیر قابل نفوذ و هدایت هیدرولیکی به روش‌های زمین‌آماری برآورد گردیده و با روش پولیگون بندی تیسن در تعیین فاصله زهکش‌ها، که روش معمول در طرح‌های زهکشی می‌باشد مقایسه گردید. نتایج نشان داد که در تعیین عمق لایه غیرقابل نفوذ و هدایت هیدرولیکی به ترتیب، روش کریجینگ ساده و کریجینگ عمومی با ضریب تعیین ۰/۸۳ و ۰/۸۹ ریشه میانگین مربعات خطا ۰/۲۶ و ۲/۶۷ (متر) دارای بهترین نتایج می‌باشند. همچنین بهترین نیم‌تغیرنما برازش داده شده به ترتیب نیم‌تغیرنما نمایی با اثر قطعه‌ای صفر و سقف ۱/۳۷ و نیم‌تغیرنما کروی با سقف ۰/۰۲۷ و اثر قطعه‌ای ۰/۰۰۳ محاسبه گردید که نشان دهنده استحکام ساختار فضایی منطقه و تأثیر کامل مؤلفه ساختاردار بر مدل نیم‌تغیرنما منطقه بود. همچنین برآورد فاصله زهکش‌ها، در حالت همگام و ناهمگام در روش کریجینگ در اعماق مختلف نصب زهکش‌ها، کمتر از روش تیسن برآورد گردید و با افزایش هدایت هیدرولیکی نواحی، اختلاف دو روش در برآورد فاصله زهکش‌ها به ۱۱ درصد افزایش یافت.

واژه‌های کلیدی: بهینه‌سازی، طرح‌های زهکشی، عمق لایه غیر قابل نفوذ، کریجینگ، نیم‌تغیرنما.



## مقدمه

روش‌های تخمین کلاسیک از جمله روش تیسن در برآورد مقادیر متغیر تصادفی و بسط و گسترش آن موقعیت مکانی داده‌ها و جهت آن، در برآورد مقادیر متغیر تصادفی در سطح منطقه مد نظر نبوده و ضریب داده‌ها جهت تخمین به جهت و مکان آن داده‌ها وابسته نمی‌باشد (Tuik, 2018). لیکن در زمین‌آمار و تخمین‌های مربوط به آن این دو فاکتور مورد توجه قرار می‌گیرد (کریمی و همکاران، ۲۰۱۸). از دیگر خصوصیات زمین‌آمار آن است که مقدار خطای تخمین را محاسبه نموده و همچنین قادر است مقدار خطای نمونه برداری و آماده‌سازی داده‌ها را محاسبه کرده و به این ترتیب شاخصی جهت برآورد استحکام ساختار فضایی و ارتباط مکانی داده‌ها را تعیین نماید (حسینی و کامرانی، ۲۰۱۸). کریجینگ یک تخمینگر نارایب است که کمترین واریانس تخمین را بدست می‌دهد (حسینی پاک، ۱۳۷۷). نارایب بودن کریجینگ بسیار مهم است زیرا در چنین سیستمی، خطاهای سیستماتیک حذف می‌شوند شرط نارایب بودن در دیگر روش‌ها تخمین مانند روش چند ضلعی، عکس فاصله و عکس مجذوب فاصله نیز اعمال می‌شود ولی ویژگی کریجینگ در آن است که در عین نارایب بودن، واریانس تخمین نیز حداقل می‌باشد (Castellini et al., 2019). مهدیان و همکاران (۱۳۷۹) نیز در مورد تحلیل منطقه‌ای کم آبیاری و عملکرد محصول سیب زمین در ایالت کبک کانادا روش‌های عکس فاصله (با درجات یک، دو و سه)، مثلث بندی، کریجینگ معمولی با درجات دو و سه با در نظر گرفتن متغیر کمکی را مورد بررسی و مقایسه قرار دادند. آن‌ها نشان دادند که روش کریجینگ معمولی با متغیر کمکی ارتفاع در برآورد و میانبایی کمبود آبیاری، بیشترین دقت را دارا می‌باشد. Asadzadeh et al (2012)، در پژوهشی به مطالعه و مقایسه برخی از روش‌های زمین‌آمار در تهیه نقشه‌های ظرفیت تبادل کاتیونی خاک در مناطق شمال ایران پرداختند و برای ارزیابی تغییرات مکانی ظرفیت تبادل کاتیونی خاک از روش‌های مختلف زمین‌آمار استفاده کرده‌اند. نتایج نشان داد که روش کریجینگ فازی و رگرسیونی کریجینگ

در مقایسه با سایر روش‌ها باعث کاهش محسوس خطای تخمین شده است. محمدی (۱۳۷۵) تغییرات مکانی شوری خاک را در منطقه رامهرمز خوزستان در سه عمق مختلف با روش کریجینگ بررسی کرد، نیم تغییر نماهای رسم شده در هر سه عمق دارای فاصله تاثیر تقریباً یکسان بودند که حاکی از همبستگی مکانی بالای شوری در این خاک بود. (Mobarak Abadi et al (2015)، تغییرات رطوبتی خاک را در منطقه فراهان با استفاده از روش‌های زمین‌آمار برآورد نمودند. نتایج نشان داد، کریجینگ معمولی با استفاده از نیم‌تغیر نما مدل کروی، به خوبی توانست با ضریب تبیین نزدیک به یک، رطوبت موجود در خاک را در کل منطقه برآورد نماید. (Hoseini (2015) به بهینه‌سازی تخمین هدایت‌هی‌درولیکی با استفاده از روش کریجینگ پرداخت. نتایج نشان داد که مساحت مناطق با هدایت هی‌درولیکی کم و متوسط در روش کریجینگ نسبت به روش تیسن افزایش داشته است. همچنین Hoseini (2023) در تحقیق دیگری میزان ضریب رگرسیونی برای تعیین دقت روش کریجینگ در تعیین هدایت هی‌درولیکی خاک را برابر ۰/۸۲ محاسبه نمودند، نتایج نشان داد که کریجینگ ساده نسبت به سایر روش‌های تخمین کریجینگ از دقت بالاتری برخوردار می‌باشد. در مطالعه دیگری، بیگی هرچگانی و حشمتی (۱۳۹۱) با استفاده از زمین‌آمار کیفیت آب زیرزمینی شهرکرد را برای استفاده در سامانه‌های آبیاری بررسی کردند و از روش کریجینگ معمولی برای پهنه‌بندی متغیرها استفاده نمودند. نتایج به دست آمده نشان‌دهنده هم‌خوانی و همبستگی مشاهدات بود که حاکی از دقت خوب مدل‌های نیم‌تغیر نما و تخمین‌گر کریجینگ معمولی در میان‌بایی و پهنه‌بندی شاخص‌های کیفی آب زیرزمینی شهرکرد بود. (Gokalp et al (2010)، تجزیه و تحلیل مکانی برخی از خصوصیات فیزیکی خاک در خاک‌های شور و قلیایی مرتع کیساری ترکیه را مد نظر قرار دادند. پارامترهای فیزیکی مورد استفاده در این تحقیق شامل هدایت الکتریکی (EC)، مقدار pH خاک، درصد رس، شن، سیلت خاک، رطوبت نقطه پژمردگی، مقدار ماده آلی خاک و ظرفیت زراعی خاک بود. نتایج نشان داد، بهترین مدل

### مواد و روش ها

#### ویژگی های محل اجرای پژوهش

شبکه آبیاری و زهکشی ویس به وسعت تقریبی ۳۲۰۰ هکتار در جنوب شرقی استان خوزستان قرار دارد. ساحل راست طرح در مختصات جغرافیایی ۳۲ درجه و ۱۸ دقیقه تا ۴۹ درجه و ۲۷ دقیقه طول شرقی و ۳۱ تا ۴۱ درجه عرض شمالی و ساحل چپ در موقعیت ۱۵ درجه تا ۳۳ درجه طول شرقی و ۴۰ تا ۴۹ درجه و ۱۸ دقیقه عرض شمالی قرار دارد. شکل (۱) نمای شبکه آبیاری و زهکشی ویس را نشان می دهد. مطالعات زهکشی در اراضی منطقه شامل مطالعات لایه بندی و تعیین ضریب هدایت هیدرولیکی خاکها سازمان جهاد کشاورزی استان خوزستان در ۳۰ نقطه در محدوده مورد مطالعه انجام شده است.

برازش شده نیم تغییرنما، مدل نمایی است. Motaghian and Mohammadi (2011) با بررسی تغییرات مکانی هدایت هیدرولیکی، وجود وابستگی مکانی را در این زمینه گزارش داده اند. در تحقیق ایشان، بدون در نظر گرفتن متغیر کمکی بافت خاک، هدایت هیدرولیکی از استحکام فضایی کمی برخوردار بود، ولی پس از استفاده از متغیر کمکی بافت خاک، نیم تغییرنما متغیر ناحیه ای از استحکام بیشتری برخوردار گردید. لذا، با توجه به مطالب گفته شده، و دقت روش های مبتنی بر زمین آمار، هدف از این مطالعه، برآورد نواحی هدایت هیدرولیکی و لایه غیرقابل نفوذ در منطقه با استفاده از روش های زمین آماری بوده و تاثیر آن در تعیین فاصله زهکش ها، در روش های همگام و غیرهمگام بررسی شده و با روش پلیگون بندی تیسن مقایسه می گردد.



شکل (۱): شمای شبکه آبیاری و زهکشی ویس

و به این ترتیب شاخصی برای برآورد استحکام ساختار فضایی و ارتباط مکانی داده ها در اختیار دهد. مهم ترین مفاهیم زمین آمار شامل متغیر ناحیه ای<sup>۱</sup>، نیم تغییر نما<sup>۲</sup>، واریانس تخمین<sup>۳</sup> و روش تخمین می باشد. در واقع متغیر ناحیه ای به آن دسته از متغیرهای تصادفی گفته می شود که مقدار آن در هر مکان مستقل از مختصات آن نقطه بوده و تفاضل مقدار متغیر تصادفی در دو نقطه مختلف بستگی به فاصله آن دو نقطه دارد. مقدار متغیر ناحیه ای  $Z(x)$  در هر نقطه را می توان به دو مؤلفه جزمی و تصادفی تجزیه کرد بنابراین می توان نوشت:

$$Z(x) = m(x) + y(x) \quad (1)$$

#### تئوری زمین آمار

در روش های تخمین کلاسیک از جمله روش تیسن در برآورد مقادیر متغیر تصادفی و بسط و گسترش آن موقعیت مکانی داده ها و جهت آن، در برآورد مقادیر متغیر تصادفی در سطح منطقه مد نظر نبوده و ضریب داده ها برای تخمین به جهت و مکان آن داده ها وابسته نمی باشد ولی در زمین آمار این دو فاکتور مورد توجه قرار می گیرد. از دیگر خصوصیات زمین آمار آنست که مقدار خطای تخمین را محاسبه نموده و همچنین قادر است مقدار خطای نمونه برداری و آماده سازی داده ها را محاسبه کرده

- 1-Regionalized variable
- 2-Semivariogram
- 3-Estimation variance

استفاده می‌گردد. بهترین پیش‌بینی‌ها زمانی رخ می‌دهد که آماره‌های  $ME$ ،  $RMSE$ ،  $\varepsilon$  و  $MAE$  به صفر و  $EF$  و  $R^2$  به یک میل نمایند. روابط (۴) الی (۸) معادلات آماره‌های مذکور را نشان می‌دهند.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Q_i - P_i)^2} \quad (4)$$

$$\varepsilon = \frac{100\%}{N} \sum_{i=1}^N \left| \frac{Q_i - P_i}{Q_i} \right| \quad (5)$$

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |Q_i - P_i| \quad (6)$$

$$R^2 = \frac{\left[ \sum_{i=1}^N (P_i - \bar{P})(Q_i - \bar{Q}) \right]^2}{\sum_{i=1}^N (P_i - \bar{P})^2 \sum_{i=1}^N (Q_i - \bar{Q})^2} \quad (7)$$

$$EF = \frac{\sum_{i=1}^N (Q_i - \bar{Q})^2 - \sum_{i=1}^N (P_i - Q_i)^2}{\sum_{i=1}^N (Q_i - \bar{Q})^2} \quad (8)$$

در روابط فوق،  $N$ : تعداد نمونه،  $P_i$ : مقادیر پیش‌بینی شده توسط مدل،  $Q_i$ : مقادیر واقعی،  $\bar{P}$ : میانگین مقادیر پیش‌بینی شده توسط مدل،  $\bar{Q}$ : میانگین مقادیر واقعی می‌باشد.

### تعیین فاصله زهکش‌ها

روابط مختلفی برای تعیین فاصله زهکش‌ها وجود دارد که این روابط را عمدتاً می‌توان به دو دسته تقسیم کرد. دسته اول روابط مربوط به حالت پایدار (همگام) و دسته دوم مربوط به حالت ناپایدار (غیرهمگام) می‌باشد در عمل سوابق استفاده از روابط مربوط به حالت پایدار طولانی‌تر است ولی معادلات و روابط مربوط به حالت ناپایدار بصورت دقیق‌تر و واقعی‌تر، چگونگی نوسانات سطح آب زیرزمینی را بیان می‌کند. بهمین دلیل استفاده از این معادلات در مناطق خشک و اراضی تحت آبیاری رو به افزایش بوده و کاربرد بیش‌تری دارد. یکی از این روابط که بیش از دیگر روابط در حالت همگام مورد استفاده قرار می‌گیرد رابطه هوخهات است که بصورت زیر می‌باشد (Hooghoudt 1940):

$$L^2 = \frac{4K(H^2 - D^2)}{q} \quad (9)$$

در رابطه فوق،  $Z(x)$ : مقدار متغیر ناحیه‌ای در نقطه‌ای با مختصات  $(x)$ ،  $m(x)$ : مؤلفه جزمی متغیر ناحیه‌ای و  $Y(x)$ : مؤلفه تصادفی متغیر ناحیه‌ای می‌باشد. نیم تغییر نما همبستگی مکانی بین نقاط اندازه‌گیری شده را با توجه به فاصله و جهت آن‌ها نشان می‌دهد. مقدار نیم تغییر نما به شرح زیر محاسبه می‌شود:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2n(h)} \sum_{i=1}^{n(h)} [Z(x+h) - Z(x)]^2 \quad (2)$$

در رابطه فوق،  $n(h)$ : تعداد جفت نمونه‌های به‌کار رفته در محاسبات به ازای هر فاصله  $h$  است، بنابراین تعداد جفت‌ها تابع  $h$  است که معمولاً با افزایش  $h$  تعداد جفت‌ها کم می‌شود و  $Z(x)$  و  $Z(x+h)$  مقدار متغیر در دو نقطه به مختصات  $(x)$  و  $(x+h)$  است که به فاصله  $h$  از هم قرار دارند.

واریانس تخمین که با نماد  $\sigma^2 E$  نشان داده می‌شود، نشانگر واریانس خطای بین مقدار حقیقی و مقدار تخمینی یک متغیر است. توانایی محاسبه واریانس تخمین، یکی از مهم‌ترین نقاط قوت زمین‌آمار است. با داشتن میانگین و واریانس خطای تخمین می‌توان حدود اطمینان یک تخمین را محاسبه کرد.

کریجینگ بر منطق میانگین متحرک وزن‌دار استوار می‌باشد و می‌توان گفت که بهترین تخمینگر خطی نااریب است. رابطه کلی تخمین کریجینگ بصورت زیر می‌باشد:

$$Z^*(X) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x) \quad (3)$$

در رابطه فوق،  $Z(x_1)$ : مقدار مشاهده شده  $Z$  در نقطه  $x_1$ ،  $\lambda_i$ : وزن یا اهمیت نسبت داده شده به مقدار  $Z$  در نقطه  $x$  و  $Z^*(x)$ : مقدار تخمین زده شده  $Z$  در نقطه  $x$  می‌باشد.

### معیارهای ارزیابی مدل

برای ارزیابی مدل از آماره‌های ریشه‌ی میانگین مربعات خطا ( $RMSE$ )، درصد خطای نسبی ( $\varepsilon$ )، میانگین خطای مطلق ( $MAE$ )، ضریب تبیین ( $R^2$ )، و بهره‌وری مدل ( $EF$ )

دوره زهکشی است.  $S$ : آبدهی ویژه و یا تخلخل قابل زهکشی خاک.  $T$ : فاصله بین دو آبیاری (روز) و  $D$ : متوسط فاصله سطح ایستابی از عمق لایه غیر قابل نفوذ بوده و از رابطه زیر بدست می‌آید.

$$D = y_0 / 2 + d \quad (11)$$

در این رابطه،  $D$ : فاصله زهکش‌ها تا لایه غیر قابل نفوذ (متر) می‌باشد.

### نتایج و بحث

#### الف- منطقه بندی عمق لایه غیر قابل نفوذ و هدایت

##### هیدرولیکی با استفاده از روش تیسن

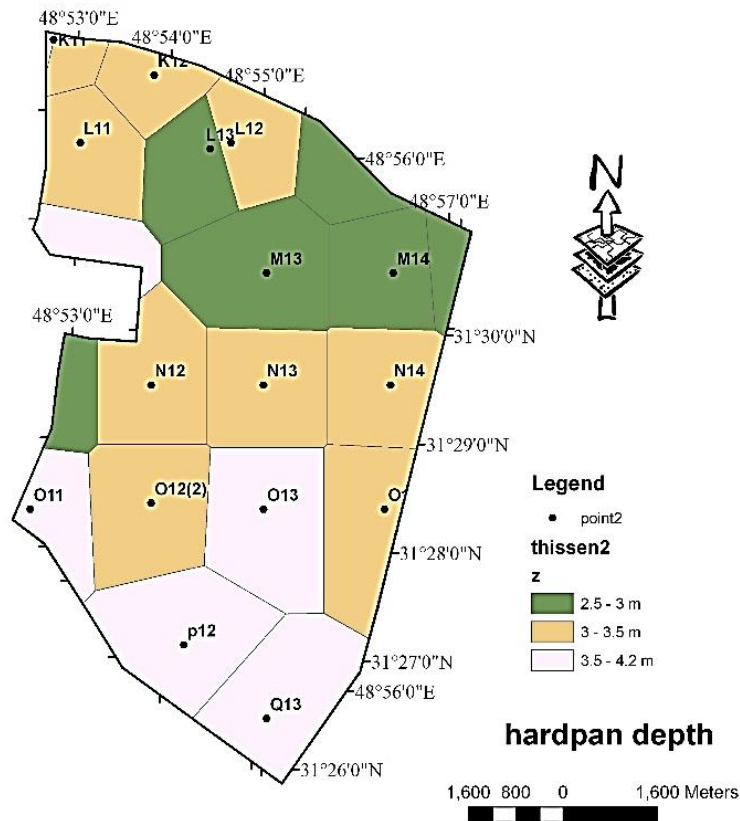
همانطور که در شکل (۲) و (۳) نشان داده شده است، در وحله اول، با استفاده از روش تیسن، منطقه به سه ناحیه جدا از نظر عمق لایه غیر قابل نفوذ و هدایت هیدرولیکی تقسیم شد و مساحت مربوط به هریک از این نواحی و متوسط وزنی آن‌ها محاسبه گردید که به ترتیب در جداول (۱) و (۲) بیان شده است.

که در این رابطه:  $L$ : فاصله بین دو زهکش (متر)،  $K$ : هدایت هیدرولیکی خاک (متر در روز)،  $Q$ : شدت تخلیه یا ضریب زهکشی (میلی‌متر در روز)،  $H$ : فاصله سطح آب‌زیرزمینی تا لایه غیر قابل نفوذ (متر)،  $D$ : فاصله زهکش تا لایه غیر قابل نفوذ (متر)

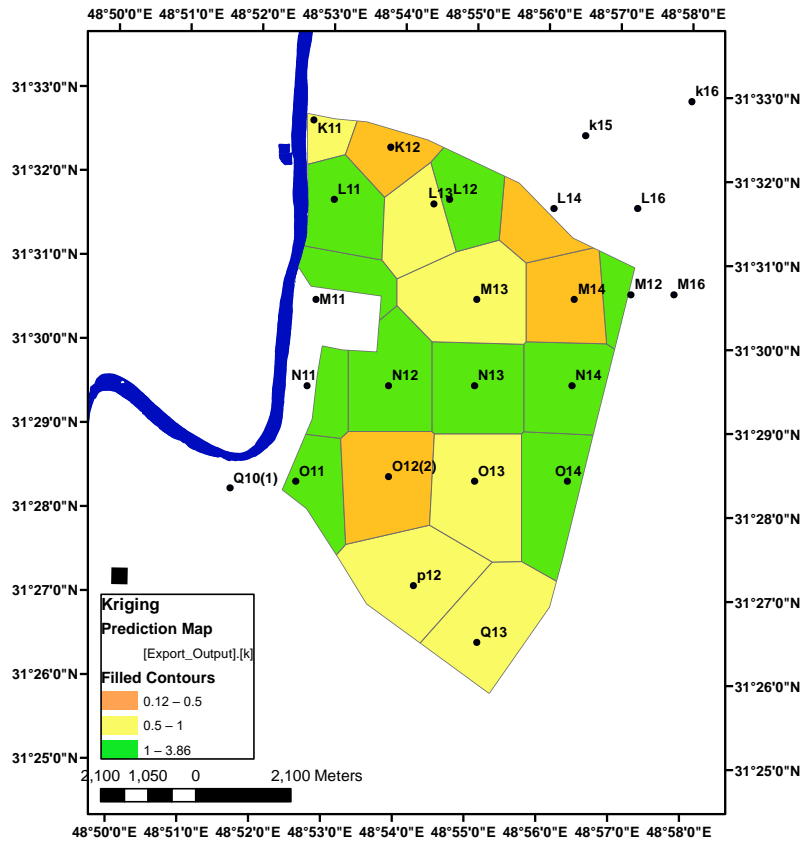
همچنین برای حالت ناهمگام فرمول‌های مختلفی برای محاسبه فاصله زهکش‌ها پیشنهاد شده است که متداول‌ترین آن‌ها، معادله گلاور- دام<sup>۱</sup> است که در مقایسه با روابط حالت پایدار، معادله گلاور- دام بجای مقادیر عمق سطح آب‌زیرزمینی و میزان تخلیه، افت سطح آب در زمان  $Y_0$  و  $Y_t$  و تخلخل قابل زهکشی را در نظر می‌گیرد و مطابق رابطه زیر می‌باشد (Dumm, 1954).

$$L^2 = \frac{\pi^2 KD_t}{S} / \ln\left(1/16 \frac{Y_0}{Y_t}\right) \quad (10)$$

در این رابطه،  $Y_0$ : عمق سطح آب‌زیرزمینی بر حسب متر در فاصله بین دو زهکش تا عمق نصب زهکش‌های زیرزمینی،  $Y_t$ : عمق سطح آب‌زیرزمینی بر حسب متر در فاصله بین دو زهکش تا عمق نصب زهکش‌ها در پایان هر



شکل (۲): ناحیه بندی عمق لایه غیر قابل نفوذ در سطح منطقه



شکل (۳): ناحیه بندی هدایت هیدرولیکی در سطح منطقه

جدول (۱): مقادیر متوسط وزنی عمق لایه غیر قابل نفوذ مناطق به روش تیسن

عمق (متر)	مساحت (هکتار)	درصد از کل
۲/۵-۳	۷۴۰	۲۳
۳-۳/۵	۱۵۶۰	۴۸
۳/۵-۴/۲	۹۰۰	۲۹
مجموع	۳۲۰۰	۱۰۰

جدول (۲): مقادیر متوسط وزنی هدایت هیدرولیکی مناطق به روش تیسن

K (m/day)	مساحت (هکتار)	درصد از کل
$0/5 >$	۱۹۰	۵/۹
$1-0/5$	۱۲۶۰	۳۹/۳
$>1$	۱۷۵۰	۵۴/۶
مجموع	۳۲۰۰	۱۰۰

برآورد از مطالعات انجام شده توسط Agyare et al (2007) با مجذور میانگین مربعات خطا برابر  $0/4$  و ضریب تبیین برابر  $0/6$  و همچنین Merdun et al (2006) با ضریب تبیین  $0/95$  و مقدار مجذور میانگین مربعات خطا  $0/44$  بیش تر است. با مقایسه جداول (۱) و (۳) مشخص است که نسبت مناطق با عمق لایه غیر قابل نفوذ کمتر از ۳ (متر) در محاسبه به روش کیریجینگ افزایش داشته است. ولیکن نسبت سطح منطقه با عمق لایه غیر قابل نفوذ متوسط در روش کیریجینگ نسبت به روش تیسن کاهش دیده می شود. برای برآورد هدایت هیدرولیکی نیز پس از نرمال سازی و حذف روند داده ها، نیم تغییرنا منطقه تعیین گردید نیم تغییرنا هدایت هیدرولیکی در منطقه با ساختار فضایی کروی با سقف  $0/27$  و اثر قطعه ای  $0/03$  محاسبه گردید.

برای هدایت هیدرولیکی نیز نسبت سقف به اثر قطعه ای نیم تغییرنا کمتر از  $0/5$  برآورد گردید که نشان دهنده استحکام فضایی بالای نیم تغییرنا بود. Hoseini et al (2017) تغییرپذیری فضایی در هدایت هیدرولیکی را در منطقه ای در استان اردبیل، مورد مطالعه قرار دادند و وجود وابستگی مکانی را در منطقه مورد مطالعه مشاهده نمودند، نتایج نشان داد که همبستگی فضایی بین مقادیر هدایت هیدرولیکی و نیم تغییرنا به دست آمده به متغیرهای کمکی وابسته است و با استفاده از متغیر کمکی برای تعیین هدایت هیدرولیکی می توان به نتایج دقیق تری دست یافت. پس از بررسی انواع مختلف کیریجینگ برای محاسبه هدایت هیدرولیکی، نتایج نشان داد که روش کیریجینگ عمومی برای تخمین هدایت هیدرولیکی قابل قبول تر بوده و نتایج آن برای هر دامنه هدایت هیدرولیکی در جدول (۵) نشان داده شده است.

مقایسه جداول (۲) و (۵) نشان می دهد که نسبت مناطق با هدایت هیدرولیکی متوسط و همچنین هدایت هیدرولیکی بیش از یک متر در روز در محاسبه به روش کیریجینگ نسبت به روش تیسن افزایش یافته است. علاوه بر این، در این مناطق، عمق لایه غیر قابل نفوذ برآورد شده به روش تیسن، کمتر از مقادیر واقعی بوده و با توجه به

## ب- منطقه بندی عمق لایه غیر قابل نفوذ و هدایت هیدرولیکی با استفاده از روش زمین آماری

برای عمق لایه غیر قابل نفوذ، از آنجا که جهت برآورد به روش کیریجینگ نیاز به داده های با توزیع نرمال می باشد، نخست منحنی فراوانی داده های عمق لایه غیر قابل نفوذ، در سطح منطقه محاسبه شد، سپس با دادن مختصات UTM نقاط به نرم افزار GIS، وجود یا عدم وجود روند در داده ها بررسی گردید که وجود روند در داده ها در جهات X و Y مشاهده گردید، لذا از آنجا که در تخمین به روش کیریجینگ می بایست روند را از داده ها حذف نمود، لذا در مرحله بعد روند داده ها حذف گردید. سپس بهترین نیم تغییرنا برای پارامتر عمق لایه غیر قابل نفوذ که دارای کمترین اثر قطعه ای باشد انتخاب گردید، که بهترین نیم تغییرنا، از ساختار فضایی مدل نمایی<sup>۱</sup> برخوردار بود که در آن میزان اثر قطعه ای<sup>۲</sup> (۰) و سقف<sup>۳</sup> ( $1/37$ ) برآورد شد. لذا، با توجه آنکه نسبت اثر قطعه ای به سقف نیم تغییرنا کوچک تر از  $0/5$  محاسبه شد، می توان نتیجه گرفت که نقش مؤلفه ساختار دار واریوگرام بیش از نقش مؤلفه بی ساختار آن بوده و این نشان دهنده استحکام ساختار فضایی منطقه می باشد (Santra et al, 2008). در نهایت تحلیل داده ها به روش های مختلف کیریجینگ ساده<sup>۴</sup>، کیریجینگ معمولی<sup>۵</sup> و کیریجینگ عمومی<sup>۶</sup> صورت گرفت و با توجه به نتایج دقیق تر کیریجینگ ساده، این مدل برای تخمین استفاده شد، در جدول (۳) طبقه بندی مساحت این اراضی از نظر عمق لایه غیر قابل نفوذ نشان داده شده است. همچنین در جدول (۴) شاخص های کمی ارزیابی مدل براساس آماره های ریشه ی میانگین مربعات خطا (RMSE)، درصد خطای نسبی (E)، میانگین خطای مطلق (MAE)، ضریب تبیین ( $R^2$ )، و بهره وری مدل (EF) نشان داده شده است. همان طور که در جدول (۴) مشخص است، روش های مبتنی بر زمین آمار و مدل کیریجینگ ساده که از نیم تغییرنا مدل نمایی در برآوردها استفاده نموده است، با مقدار ضریب تبیین  $0/83$  و مجذور میانگین مربعات خطا برابر  $0/26$  دارای برازش و برآورد دقیقی از متغیر تصادفی عمق لایه غیر قابل نفوذ می باشد. این دقت

4- Simple kriging  
5-Ordinary kriging  
6- Universal kriging

1- Exponential  
2- Nugget  
3-Sill

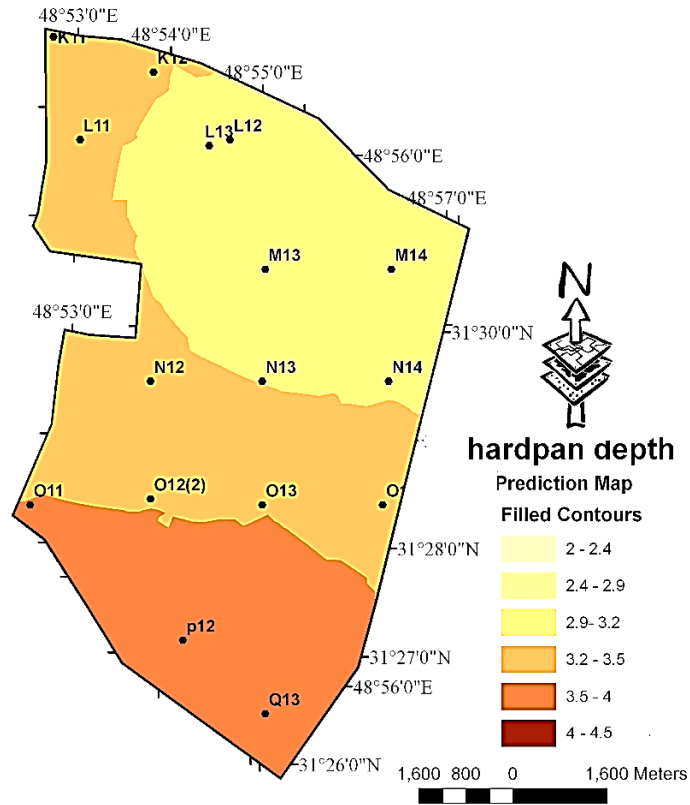


را بیش از مقدار برآورد شده به روش کیریجینگ نشان می دهد و در واقع بخشی از دشت را که در نواحی جنوبی آن قرار دارد و از عمق لایه غیر قابل نفوذ بیش از ۳/۵ (متر) برخوردار است را نیز جزو این مناطق طبقه بندی نموده است. قرارگیری مناطق با عمق لایه غیر قابل نفوذ زیاد در کنار مناطق با عمق لایه غیر قابل نفوذ متوسط با توجه به تغییرات تدریجی لایه غیر قابل نفوذ در سطح منطقه، منطقی به نظر می رسد. لذا همانطور که در شکل (۲) نشان داده شده است، وجود منطقه ای با لایه غیر قابل نفوذ کم، در قسمت غربی منطقه و در میان مناطق با عمق لایه غیر قابل نفوذ متوسط با ارزیابی به روش تیسسن، منطقی به نظر نمی رسد. همانطور که در شکل (۴) نشان داده شده است، این واحد، در ارزیابی به روش کیریجینگ، جزو واحدهای با عمق لایه غیر قابل نفوذ متوسط طبقه بندی شده است.

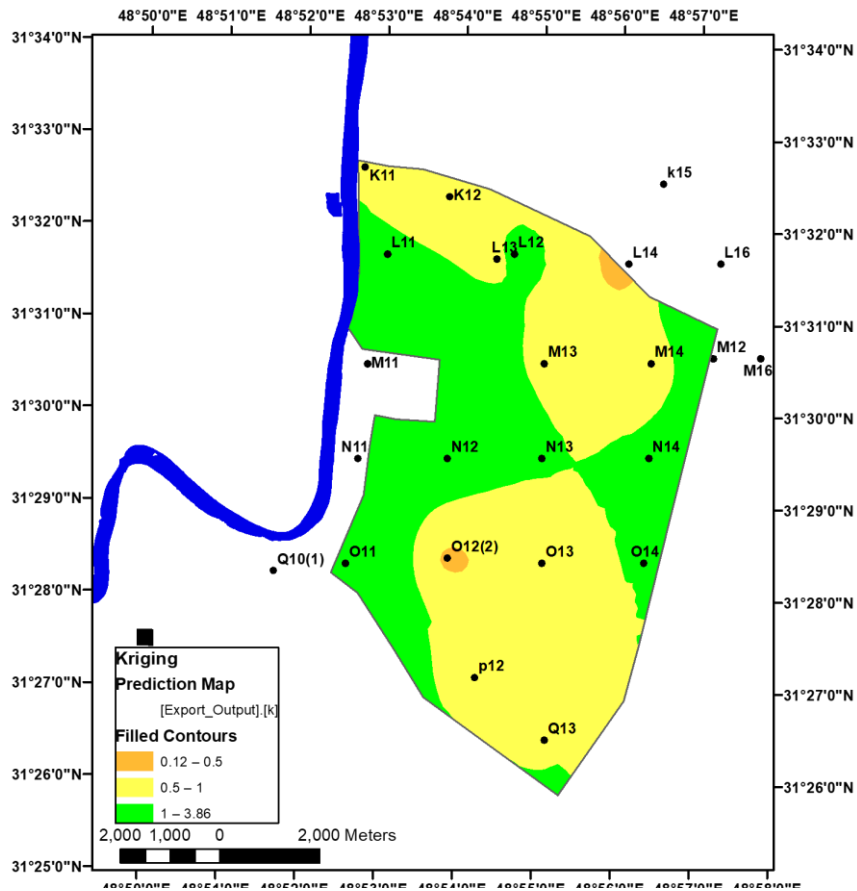
در جدول (۶)، شاخص های ارزیابی کمی پارامترهای کیریجینگ بر اساس آماره های مختلف نشان داده شده است. بررسی آماره نشان می دهد که مدل کیریجینگ عمومی از قابلیت خوب و دقت بالایی در پیش بینی هدایت هیدرولیکی اشباع خاک برخوردار است، به طوری که روش کیریجینگ در مقایسه با روش تیسسن بسیار نزدیک به داده های واقعی است که با نتایج حسینی (۱۳۹۴) مطابقت دارد، ایشان در مطالعه ای به بررسی تغییرپذیری مکانی هدایت هیدرولیکی خاک پرداخت و با محاسبه نسبت اثر قطعه ای به آستانه بیش از ۶۰ درصد نشان داد که در منطقه مورد مطالعه، هدایت هیدرولیکی خاک همبستگی مکانی متوسطی دارد.

تاثیر مثبت عمق لایه غیر قابل نفوذ بر فاصله زهکش ها، در این مناطق، که شامل واحدهای  $L_{12}$ ،  $L_{11}$  و  $L_{13}$  می شود در محاسبه فواصل بین زهکش ها به روش تیسسن، منجر به کاهش برآورد فاصله زهکش ها شده و افزایش هزینه اجرا را در پی خواهد داشت. این مورد در مناطق با عمق لایه غیر قابل نفوذ بین ۳-۳/۵ (متر) به شکل دیگری دیده می شود، در این مناطق با توجه به بیش برآورد مساحت این اراضی در روش تیسسن نسبت به روش کیریجینگ، فاصله زهکش ها با بیش برآوردی مواجه خواهد شد و این موضوع در واحد اراضی  $O_{12(2)}$  و  $O_{12}$  مشاهده خواهد شد. این امر باعث می شود که در این نقاط به دلیل افزایش فاصله زهکش ها از هم، مشکل زهکشی و زهدار شدن اراضی ایجاد گردد.

بطور کلی می توان گفت ارزیابی به روش کیریجینگ نشان می دهد عمق لایه غیر قابل نفوذ در سطح منطقه عموماً در سطح متوسط بوده و در طراحی فاصله زهکش ها باید این موضوع مورد توجه طراحان قرار گیرد. در رابطه با تخمین عمق لایه غیر قابل نفوذ برای مناطق با عمق لایه غیر قابل نفوذ بیش از ۳/۵ (متر)، مشاهده می شود که روش تیسسن، این مناطق را کمی بیش از روش کیریجینگ برآورد نموده است و در این مناطق نیز، در صورتیکه معیار ارزیابی، روش تیسسن در نظر گرفته شود، مجدداً فاصله زهکش ها با بیش برآوردی مواجه خواهد شد که باز هم مسائل و مشکلات عدم تخلیه مناسب زه آب مشاهده خواهد شد. به طور کلی می توان گفت که روش تیسسن برای مکان هایی که از عمق لایه غیر قابل نفوذ متوسط برخوردارند، که تقریباً، بیش از نیمی از مساحت منطقه را به خود اختصاص می دهند. مقدار عمق لایه غیر قابل نفوذ



شکل (۴): پراکنش تخمین کیریجینگ در سطح منطقه برای عمق لایه غیر قابل نفوذ



شکل (۵): پراکنش تخمین کیریجینگ در سطح منطقه برای هدایت هیدرولیکی

جدول (۳): مقادیر عمق لایه غیر قابل نفوذ مناطق به روش کیریجینگ

عمق (متر)	مساحت (هکتار)	درصد از کل
۲/۵-۳	۱۱۰۰	۳۴
۳-۳/۵	۱۳۵۰	۴۲
۳/۵-۴/۲	۷۵۰	۲۴
مجموع	۳۲۰۰	۱۰۰

جدول (۴): شاخص‌های عملکردی مدل برای لایه غیر قابل نفوذ

$R^2$	$\epsilon$ %	MAE /	RMSE /	EF
۰/۸۳	۷/۰۷	۰/۲۳	۰/۲۶	۰/۸۲

جدول (۵): مقادیر هدایت هیدرولیکی مناطق به روش کیریجینگ

K (m/day)	مساحت (هکتار)	درصد از کل
$0.5 >$	۶	۰/۱۸
$1 - 0.5$	۱۴۱۹	۴۴/۴۲
$> 1$	۱۷۷۵	۵۵/۴
مجموع	۳۲۰۰	۱۰۰

جدول (۶): شاخص‌های عملکردی مدل برای هدایت هیدرولیکی

$R^2$	$\varepsilon$ %	MAE (%)	RMSE (%)	EF
۰/۸۹	۰/۷۹	۱/۵۴	۲/۶۷	۰/۹۱



برآوردی به روش هوخهات و گلاور- دام در جداول (۷) تا (۱۰) نشان داده شده است. همانطور که این جداول نشان می‌دهند، در روش هوخهات تفاوت‌ها در برآورد به روش‌های تیسسن و کیریجینگ در ناحیه با هدایت هیدرولیکی بیش از یک متر در روز، اختلاف بیش‌تری نسبت به نواحی با هدایت هیدرولیکی کم و متوسط دارد. به‌طوریکه، در این نواحی، فاصله زهکش‌های برآورد شده با استفاده از زمین‌آمار در روش گلاور- دام ۱۱ درصد و در روش هوخهات ۱۰ درصد کم‌تر برآورد شده است. همچنین در مناطق با هدایت هیدرولیکی متوسط این مقادیر ۶/۷ و ۶/۹ درصد و در نواحی با هدایت هیدرولیکی کم، میزان کاهش فاصله زهکش‌ها در روش زمین‌آمار برای روش گلاور- دام و هوخهات به‌ترتیب ۲/۲ و ۲ درصد می‌باشد. در مقایسه فاصله زهکش‌ها در دو روش به‌طور کلی می‌توان گفت: در دو روش هوخهات و گلاور- دام میزان فاصله زهکش‌ها در روش کیریجینگ کمی کمتر از روش تیسسن است و علاوه بر این فاصله زهکش‌های برآورد شده در نواحی با هدایت هیدرولیکی بیش‌تر به روش کیریجینگ، کاهش بیش‌تری را نشان می‌دهد.

### ج- برآورد فاصله زهکش‌ها به روش‌های همگام و غیرهمگام براساس برآوردها، به روش‌های تیسسن و زمین‌آمار

برای این منظور، نخست جهت تعیین آب مورد نیاز الگوی کشت، پس از جمع‌آوری اطلاعات مربوط به هواشناسی منطقه و مختصات جغرافیایی طرح، با استفاده از نرم افزار کراپوات<sup>۱</sup> اقدام به تعیین میزان نیاز آبی گندم گردید که الگوی کشت منطقه می‌باشد. سپس تقویم آبیاری و میزان آب آبیاری در هر نوبت محاسبه شد. پس از آن اقدام به محاسبه میزان تلفات نفوذ عمقی ناشی از آبیاری و تعیین ضریب زهکشی گیاه الگوی کشت گردید که مقدار آن برابر ۲/۸ (میلی‌متر در روز) برآورد شد. سپس میزان فاصله زهکش‌ها در هر ناحیه از نظر هدایت هیدرولیکی، به دو روش همگام و ناهمگام در چهار عمق فرضی نصب زهکش‌ها (۱۶۰، ۱۸۰، ۲۰۰، ۲۲۰ سانتی‌متر)، و با در نظر گرفتن مقادیر برآورد شده برای عمق لایه غیر قابل نفوذ و هدایت هیدرولیکی در هر ناحیه به روش‌های تیسسن و کیریجینگ محاسبه شد. فاصله زهکش

جدول (۷): برآورد فاصله زهکش‌ها به روش هوخهات با استفاده از روش تیسسن

عمق متفاوت نصب زهکش‌ها (cm)	عمق متفاوت نصب زهکش‌ها (cm)			تخلخل (%)	هدایت هیدرولیکی (m/day)	عمق لایه غیر قابل نفوذ (cm)
	۲۲۰	۲۰۰	۱۸۰			
فاصله لترال‌ها (m)	۲۶	۲۴	۲۱	۵/۶	۰/۳۲	۲۶۰
	۵۸	۵۲	۴۴	۸/۷	۰/۷۶	۳۶۰
	۸۵	۷۷	۶۶	۱۴/۸	۲/۲۲	۳۱۰

جدول (۸): برآورد فاصله زهکش‌ها به روش گلاور- دام با استفاده از روش تیسسن

عمق متفاوت نصب زهکش‌ها (cm)	عمق متفاوت نصب زهکش‌ها (cm)			تخلخل (%)	هدایت هیدرولیکی (m/day)	عمق لایه غیر قابل نفوذ (cm)
	۲۲۰	۲۰۰	۱۸۰			
فاصله لترال‌ها (m)	۲۸	۲۸	۲۶	۵/۶	۰/۳۲	۲۶۰
	۵۶	۵۴	۵۱	۸/۷	۰/۷۶	۳۶۰
	۷۴	۷۳	۷۱	۱۴/۸	۲/۱۲	۳۱۰



جدول (۹): برآورد فاصله زهکش‌ها به روش هوخهات با استفاده از روش کیریجینگ

عمق متفاوت نصب زهکش‌ها (cm)				تخلخل (%)	هدایت هیدرولیکی (m/day)	عمق لایه غیر قابل نفوذ (cm)
۲۲۰	۲۰۰	۱۸۰	۱۶۰			
فاصله لترال‌ها (m)						
۲۷	۲۵	۲۱	۱۶	۵	۰/۲۵	۳۰۰
۵۳	۴۸	۴۱	۳۲	۹/۳	۰/۸۸	۳۰۵
۷۵	۶۸	۵۹	۴۶	۱۳/۳	۱/۷۹	۳۰۰

جدول (۱۰): برآورد فاصله زهکش‌ها به روش گلاور-دام با استفاده از روش کیریجینگ

عمق متفاوت نصب زهکش‌ها (cm)				تخلخل (%)	هدایت هیدرولیکی (m/day)	عمق لایه غیر قابل نفوذ (cm)
۲۲۰	۲۰۰	۱۸۰	۱۶۰			
فاصله لترال‌ها (m)						
۳۰	۲۹	۲۶	۲۲	۵	۰/۲۵	۳۰۰
۵۱	۵۰	۴۸	۴۳	۹/۳	۰/۸۸	۳۰۵
۶۷	۶۶	۶۴	۵۹	۱۳/۳	۱/۷۹	۳۰۰

### نتیجه‌گیری:

و هدایت هیدرولیکی به عنوان داده مکانی و ورودی مدل، دارای ارتباط فضایی بالایی بوده و نیم‌تغیرنما به‌دست آمده از استحکام بسیار بالایی برخوردار است. همچنین نتایج این تحقیق نشان داد که برآوردهای زمین آماری در برآورد فاصله زهکشها، مخصوصاً در زمین‌هایی که هدایت هیدرولیکی بالایی دارند دارای اختلاف معنی‌داری با نتایج روش‌های قدیمی داشته و در اینگونه مناطق برای برآورد فاصله زهکش‌ها و همچنین پارامترهای زهکشی از جمله هدایت هیدرولیکی و عمق لایه غیرقابل نفوذ، بهتر است از روش‌های مبتنی بر زمین‌آمار استفاده نمود.

### سپاسگزاری

این مقاله با حمایت معاونت محترم پژوهشی دانشگاه محقق اردبیلی تهیه شده است و از ایشان تشکر و قدردانی می‌گردد.

کیریجینگ یک تخمینگر نااریب است این شرط در روش‌های دیگر از جمله روش عکس مجذور فاصله نیز وجود دارد ولی خصوصیت کیریجینگ آن است که ضرایب معادلات تخمین را به گونه‌ای تعیین می‌کند که در عین نااریب بودن واریانس تخمین نیز حداقل باشد. بنابراین کیریجینگ همراه هر تخمین مقدار خطای آن را هم می‌دهد و به این ترتیب نه فقط می‌توان مقدار متوسط خطا را محاسبه کرد بلکه می‌توان توزیع خطاها را در کل محدوده طرح محاسبه نمود. همان‌طور که نتایج و آماره‌های ارزیابی نشان داد، روش زمین‌آمار در برآورد دقیق پارامترهای هدایت هیدرولیکی و عمق لایه غیر قابل نفوذ نتایج قابل اعتمادتری نسبت به روش تیسسن ارائه می‌دهد. نتایج این تحقیق نشان داد که عمق لایه غیر قابل نفوذ

### منابع

- حسینی پاک، ع. ا. ۱۳۷۷. زمین‌آمار (ژئو استاتیسیتیک). انتشارات دانشگاه تهران  
حشمتی، س. ۱۳۹۱. الگوهای تغییرات مکانی و پهنه بندی شاخص‌های کیفی آب زیرزمینی شهرکرد به منظور کاربرد در طراحی سامانه‌های آبیاری قطره‌ای، پنجمین همایش تخصصی مهندسی محیط زیست، تهران.

محمدی، ج. ۱۳۷۵. مطالعه تغییرات مکانی شوری خاک در منطقه رامهرمز با استفاده از نظریه ژئو استاتستیک- کریجینگ، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، شماره ۲، دوره ۴، ص ۶۴-۶۹.  
مهدیان، م. ح.، حسینی، ا. و موسوی نژاد، م. ۱۳۷۹. ارزیابی روشهای میان یابی برای برآورد بارندگی در حوزه مرکز ایران. پژوهش و سازندگی، شماره ۴۸، ص ۷۵-۷۰.

Agyare, W. A., Park, S. J. and P. L. G. Vlek. 2007. Artificial neural network estimation of saturated hydraulic conductivity. *Vadose Zone Journal*, 6( 2):423-431.

Asadzadeh, F. 2012. Study and comparison of some geostatistical method for mapping cation exchange capacity in soils of northern Iran, *ANNALS OF FACULTY ENGINEERING HUNEDOARA – International Journal of Engineering*-pp:55-69

Castellini, M., Stellacci, A.M., Tomaiuolo, M. and Barca, E. 2019. Spatial Variability of Soil Physical and Hydraulic Properties in a Durum Wheat Field: An Assessment by the BEST-Procedure. *Water*, 11:1434-1440.

Dumm, L.D. 1954. Drain spacing formula. *Agric. Eng.* 35: 726-730.

Gokalp, Z, Basaran, M., Uzun, O. and Serin, Y. 2010. Spatial analysis of some physical soil properties in a saline and alkaline grassland soil of Kayseri, Turkey. *Afr J Agric Res*, 5: 1127 – 1137.

Hooghoudt, S.B. 1940. General consideration of the problem of field drainage by parallel drains, ditches, watercourses, and channels. Publ. No.7 in the series Contribution to the knowledge of some physical parameters of the soil (titles translated from Dutch). *Bodemkundig Instituut, Groningen, The Netherlands*.

Hoseini, Y. 2015. Evaluation of kriging and co-kriging methods in estimating soil saturated hydraulic conductivity by using soil texture (Case Study: Fath Ali Irrigation & Drainage Network, Ardabil, Iran)-*journal of Ecology, Environment and Conservation*, 21(2):1095-1100.

Hoseini, Y. and Kamrani, M. 2018. Using a fuzzy logic decision system to optimize the land suitability evaluation for a sprinkler irrigation method. *Outlook on Agriculture*, 47(4), 298-307.

Hoseini, Y. 2023. Optimization of saturated hydraulic conductivity estimation using kriging in drainage networks. *Appl Water Sci* 13: 94-105.

Merdun, H., Ozer, C., Meral, R. and M. Apan. 2006. Comparison of Artificial Neural Network and regression pedotransfer functions for prediction of soil water retention and saturated hydraulic conductivity. *Soil and Tillage Research*, 90: 108-116.

Mobarak Abadi, K., Jafarinia, R. and J. Varvani. 2015. Analyzing kriging and cokriging Methods by using ArcGIS Software in Preparing SP map of Farahan plain soil. *Biological Forum – An International Journal*, 7(1): 836-846.

Motaghian, H.R. and J. Mohammadi. 2011. Spatial estimation of saturated hydraulic conductivity from terrain attributes using regression, kriging, and artificial neural networks. *Pedosphere*, 21(2): 170- 177.

Karimi, F., Sultana, S., Shirzadi Babakan, A., Royall, D. 2018. Land Suitability evaluation for organic agriculture of wheat using GIS and multi criteria analysis. *Applied Geography*, 4 (3), 326-342.

Tuik, Turkish Statistical Institute, 2018. *Agricultural Statistics Summary*. <https://biruni.tuik.gov.tr/bolgeselistatistik/anaSayfa.do?dil=en>

Santra, P., Chopra, U. K. and D. Chakraborty. 2008. Spatial variability of soil properties and its application in pre dicting surface map of hydraulic parameters in an agricultural farm. *current science*, 95(7): 937-945