



Imam Khomeini International University

Vol. 7, No. 3, Autumn 2022



نشریه مهندسی منابع معدنی

Journal of Mineral Resources Engineering
(JMRE)

Research Paper

Assessment of Groundwaters Quality for Industrial and Agricultural Applications Using Consecutive Gaussian Simulation

Dehshibi R.¹, Agah A.^{2*}

1- M.Sc Student, Dept. of Mining Engineering, Sistan and Baluchestan University, Sistan and Baluchestan, Iran
2- Assistant Professor, Dept. of Mining Engineering, Sistan and Baluchestan University, Sistan and Baluchestan, Iran

Received: 11 Apr. 2021

Accepted: 28 Dec. 2021

Abstract: The geostatistical method is one of the most advanced techniques to assess and survey groundwater quality. Using unsuitable water results in some problems such as soil salinity, reduction of soil permeability, decrease in water absorption by plant roots, diminution of crop productivity, or even menace agricultural production. Accordingly, in this study, the groundwater quality in the study's area for agricultural uses as well as industrial applications by using common diagrams and components related to the classification of water quality was investigated. ISATIS and Surfur software were used to illustrate changes in quality characteristics in the study's area graphically and Consecutive Gaussian simulations to analyze spatial connection among variables and estimate some of the quality indexes such as PH, RSC, Na%, SAR, and Ec. After data normalization, the variogram was calculated, and a sufficient model was selected to fit the experimental variogram based on the lowest SSR Error. Afterward, Consecutive Gaussian simulation in 100 samples in the study's area was examined using the fitted model based on the experimental model, and the maps resulting through simulation in different thresholds were provided. The results showed that the majority of samples have fairly suitable quality in terms of SAR, and in general, they are appropriate for agricultural uses. Percentage risk of Sodium in agricultural water in the study's area was also classified into the appropriate class. Except for four samples whose spatial connection of the forgoing cases have been interpolated and the interpolated probability maps have been provided, the water quality for industrial uses is susceptible to sedimentation in all statutes.

Keywords: Geostatistical, ISATIS, Gaussian simulations, Water quality.

How to cite this article

Dehshibi, R., and Agah, A. (2022). "Assessment of groundwaters quality for industrial and agricultural applications using Consecutive Gaussian simulation". Journal of Mineral Resources Engineering, 7(3): 19-38.

DOI: [10.30479/JMRE.2022.15192.1504](https://doi.org/10.30479/JMRE.2022.15192.1504)

*Corresponding Author Email: agah_eng@eng.usb.ac.ir

COPYRIGHTS



©2022 by the authors. Published by Imam Khomeini International University.

This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

INTRODUCTION

Today geostatistical methods are widely used in the exploration of groundwater sources and reserves. These methods are more popular due to the ability to produce multiple realizations of variables (1000 stimulations) rather than providing only one realization of the variable in the Kriging method and don't generate biased results. The sequential methods, matrix separation, continuous spectrum, and rotating bands can be mentioned as Gaussian simulations. Consecutive Gaussian simulation is a fast and simple way to do geostatistical stimulation since solving only one kriging system is required for any location for Gaussian stimulation. Although it's not able to illustrate spatial connection for different number of classes and the stimulation of large terminal amounts isn't also available in this method. Non-Gaussian simulation algorithms can be used to achieve more accurate results in smaller ranges which allow using large terminal connections [1]. The geostatistical method is widely used in hydrogeological studies and groundwater quality assessments among which Hoimsens et.al [2], March et.al [3], Ving et.al [4] can be referred.

Given that groundwater reserves are the only water source to supply drinking, agricultural, and industrial water in the Birjand's plain, studying water quality for exploration and using it for correct application in different parts is so important. There are many hydrochemical studies done on groundwater and their correct application by using graphical and statistical methods but not many studies focused on modeling this subject by geostatistical with Gaussian simulations and Indicator. Recent studies provide the estimation by using the Kriging and other interpolating methods. Nowadays geostatistical stimulations are widely used in the exploration of water sources and reverses. Due to their ability to produce multiple realizations of the variable (100 stimulations) rather than the kriging's method providing only one realization of the variable, these methods are more popular without creating biased results. Sequential methods, matrix separation, continuous spectrum, and rotating bands can be remarked as some examples of Gaussian simulations. The study aimed to apply geostatistical methods for hydrochemical data modeling in Birjand's plain to evaluate this tool and also provide spatial maps of water quality variables in the aquifer.

METHODS

Consecutive Gaussian simulations

Application of the sequence principle incorporated in a multi-Gaussian model is called random functions Consecutive Gaussian simulations. These algorithms have been introduced to stimulate one feature by using a single amount and obtain subsequent information further, and corporate stimulating of multiple dependent variables. Normalized standard data are required to simulate by using this algorithm. Simulating of Z feature connection at N node in the network is conditioned to $\{(ua), a = 1, \dots, n\}$ data set. Steps of consecutive Gaussian simulations include:

1. The first step is confirming the validity of the multi-Gaussian model, which requires to histogram plots to present primary data and normalize data and convert z-data into y-data by a Normal standard cumulative distribution (CDF) function.

2. If the multi-Gaussian model holds for the y variable, Consecutive Gaussian simulations can be applied to y-data by the implementation of the following steps:

_Diagram's Plotting by using normalized data.

- Selecting a random path to perform simulation so that any network node would be simulated only once.
- Mean and variance parameters are determined for each u' node and then simple kriging is performed by using a normalized data view model to estimate data on the network.

- Calculating the estimated amount of cumulative distribution function and adding it to data sat.

- Passing to the next node along a random path and repeating the previous two steps.

- Repeating all the above steps so that N nude is simulated and the total network is given the appropriate number.

- Consecutive Gaussian simulation is a simple and fast way to geostatistical simulation; because Gaussian simulation in each location requires solving only one kriging system there. Nevertheless, this simulation isn't able to illustrate the spatial connection for different classes and also doesn't allow simulating of large terminal amounts. Non-Gaussian simulation algorithms can be used to achieve more accurate results in smaller ranges, which allow using large terminal connections [1].

FINDINGS AND ARGUMENT

According to the results of analysis of affected parameters on water quality for agricultural uses, the water quality of the study area samples had the highest frequency of electrical conductivity in terms of EC parameter in the 2250-750, respectively. In the respect of the SAR parameter, the highest frequency belonged to the second class of s2 with the value of 10 to 18.

Based on the Wilcox classification diagram, samples were mostly in the irrigation classes C4-S3 (high salinity- unsuitable for agricultural uses) and C4-S4 (high salinity- unsuitable for agricultural uses).

The classification of Sodium risk in agricultural water in the study area with the value of 40-60 percent was also in the suspicious class.

Expects for five samples, all of the samples collected from the study area were in the high class based on RSC parameter classification. In the terms of the water PH classification, most of the measured samples were up to the threshold of 7. According to water quality assessment for industrial applications, all samples were susceptible to sedimentation despite four samples located in Mokhtaran, Boshrouyeh, and Esfanden areas.

CONCLUSIONS

In this study geostatistical method was used incorporated with other techniques and observed that different parameters and various statistical parameter requires distinct algebraic and statistical methods and by using the same parameter for zoning different parameters isn't allowed. However, both methods can be applied sufficiently for the zoning of different elements. Geostatistical methods are reasonable to the analysis of the achieved results of decomposition groundwater samples and can be exerted as an additional tool in decision-making about spatial variations of water quality variables. Similarly, in the geostatistical method, after data normalization, a sufficient model was selected to fit the experimental variogram based on the lowest SSR Error and then, the best interpolation method was selected by using cross-evaluation and SSR. The results of our study showed that the Consecutive Gaussian simulation could simulate and validate preceding parameters for all of water quality indexes better than other techniques.

REFERENCES

- [1] Issaks, E. H., and Srivastava, R. M. (1989). *Applied Geostatistics*. Newyork, Oxford University Press.
- [2] Huysmans, M., and Dassargues, A. (2009). *Application of multiple-point geostatistics on modelling groundwater flow and transport in a cross-bedded aquifer (Belgium)*". Hydrogeology Journal, 17(8): 1901-1911.
- [3] Marache, A., Breyse, D., Piette, C., and Thierry, P. (2009). *Geotechnical modeling at the city scale using statistical and geostatistical tools: the Pessac case (France)*". Engineering Geology, 107(3-4): 67-76.
- [4] Wuing, L., Shin, Ch., Jang, Ch., and Min Liao, Ch. (2004). *Evaluation of arsenic contamination potential using indicator kriging in the Yun-Lin aquifer (Taiwan)*". Science of the Total Environment, 321(1-3): 173-188.



ارزیابی کیفیت آب‌های زیرزمینی برای مصارف صنعتی و کشاورزی با استفاده از شبیه‌سازی گاوسی متوالی

رضا دهشیبی^۱، آزاده آگاه^{۲*}

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان

۲- استادیار، گروه مهندسی معدن، دانشکده مهندسی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان

پذیرش: ۱۴۰۰/۱۰/۰۷

دریافت: ۱۴۰۰/۰۱/۲۲

چکیده

روش‌های زمین‌آمار یکی از پیشرفته‌ترین روش‌ها برای ارزیابی و پایش کیفیت منابع آب زیرزمینی است. با توجه به اینکه استفاده از آب با کیفیت نامناسب سبب مشکلاتی از جمله شور شدن خاک، کاهش نفوذپذیری خاک و کاهش جذب آب به وسیله ریشه گیاه و باعث کاهش بهره‌وری زراعی و یا حتی تهدید محصولات کشاورزی می‌شود. بر همین مبنا در این تحقیق به بررسی کیفیت آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه با استفاده از نمودارها و پارامترهای متداول در رده‌بندی کیفیت آب برای مصارف کشاورزی و همچنین مصارف صنعتی پرداخته شده و از نرم‌افزار اِپساتیس و سورفس برای نمایش گرافیکی تغییرات پارامترهای کیفی در محدوده منطقه مطالعاتی و انجام شبیه‌سازی گاوسی متوالی برای بررسی پیوستگی مکانی بین متغیرها و پیش‌بینی برخی از شاخص‌های کیفی از قبیل pH، RSC، %Na، SAR، EC استفاده شده است. بعد از نرمال‌سازی داده‌ها، واریوگرام محاسبه و مدل مناسب برای برازش به واریوگرام تجربی بر اساس کمترین خطای SSR انتخاب شد، سپس با استفاده از مدل برازش شده بر مدل تجربی شبیه‌سازی گاوسی متوالی در ۱۰۰ تحقق در منطقه بررسی و نقشه‌های حاصل از شبیه‌سازی در آستانه‌های مختلف ارائه شد. نتایج نشان می‌دهد که از نظر پارامتر SAR بیشتر نمونه‌ها کیفیت نسبتاً مطلوب و در مجموع کیفیت خوبی برای کشاورزی دارند. طبقه‌بندی خطر درصد سدیم در آب‌های کشاورزی در منطقه مورد مطالعه نیز در کلاس قابل قبول قرار داشته است. کیفیت آب برای مصارف صنعتی در تمام حالات رسوب‌گذار است غیر از چهار مورد که پیوستگی مکانی موارد یاد شده درون‌یابی و نقشه احتمالات درون‌یابی نیز ارائه شده است.

کلمات کلیدی

زمین‌آمار، اِپساتیس، شبیه‌سازی گاوسی، کیفیت آب.

استناد به این مقاله

دهشیبی، ر.، آگاه، آ.؛ ۱۴۰۱؛ "ارزیابی کیفیت آب‌های زیرزمینی برای مصارف صنعتی و کشاورزی با استفاده از شبیه‌سازی گاوسی متوالی". نشریه مهندسی منابع معدنی، دوره هفتم، شماره ۳، ص ۳۸-۱۹.

DOI: 10.30479/JMRE.2022.15192.1504



۱- مقدمه

امروزه روش‌های شبیه‌سازی زمین‌آماری به طور گسترده در اکتشاف منابع و ذخایر زیرزمینی استفاده می‌شود. این روش‌ها به دلیل برخورداری از قابلیت تولید چندین تحقق از متغیر (۱۰۰ شبیه‌سازی) نسبت به روش کریجینگ که تنها یک تحقق از متغیر را ارائه می‌کند محبوبیت بیشتری یافته و نتایج مغرضانه ایجاد نمی‌کند. از جمله روش‌های شبیه‌سازی گاوسی می‌توان به روش‌های متوالی، تفکیک ماتریس، طیفی پیوسته و باندهای چرخان اشاره کرد. شبیه‌سازی گاوسی متوالی یک راه سریع و ساده برای انجام شبیه‌سازی زمین‌آماری است؛ زیرا برای مدل‌سازی گاوسی در هر مکان نیاز به حل کردن تنها یک سیستم کریجینگ در آن مکان است، اما در عین حال توانایی نشان دادن پیوستگی مکانی برای طبقات مختلف مقادیر را ندارد و همچنین امکان شبیه‌سازی مقادیر انتهایی بزرگ را فراهم نمی‌کند. برای به دست آوردن نتایج دقیق‌تر، در بازه‌های کوچک می‌توان از الگوریتم‌های شبیه‌سازی غیر گاوسی استفاده کرد که امکان استفاده از پیوستگی مقادیر بزرگ انتهایی را می‌دهند [۱]. در مطالعات هیدروژئولوژی و کیفیت منابع آب از زمین‌آمار به طور گسترده‌ای استفاده شده است که می‌توان به هویسمنز و همکاران [۲]، ماراچ و همکاران [۳]، واینگ و همکاران [۴] اشاره کرد.

از لحاظ مفهومی، کیفیت آب به خواصی از منابع آب که بر تناسب آن برای مصارف خاص تاثیرگذار است، اطلاق می‌شود [۵]. آب‌هایی که برای کشاورزی مصرف می‌شوند از نظر کیفی به میزان زیادی تحت تاثیر نوع و میزان املاح و نمک‌های محلول‌اند. حضور املاح در آب‌های کشاورزی نسبتاً کم است، اما به میزان فراوان از انحلال سنگ‌هایی مثل کربنات‌ها و تبخیری‌ها منشا می‌گیرند [۶]. پیه و همکاران در پژوهش تعیین منشا و ارزیابی آلودگی آب زیرزمینی و ارتباط آن با خطر سلامتی در شمال غربی چین، مشاهده کردند که آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه با فرایندهای طبیعی، صنعتی و کشاورزی کاملاً آلوده شده است [۷]. پژوهشی در مورد دینامیک سطح مشترک آب دریا با استفاده از دیاگرام تکامل گونه‌های هیدروشیمیایی توسط گیمز [۸] انجام شده است. در این پژوهش نتایج شبیه‌سازی تئوری انتشار آب دریا و دینامیک آن بررسی شده است. گونه‌های هیدروشیمیایی، چه آبخوان در فاز انتشار آب دریا باشد یا فاز شیرین، شناسایی می‌شوند و به حالت‌هایی از آبخوان در دوره‌هایی از پیشروی

یا پسروی جبهه شوری اشاره می‌کند. در این پژوهش دیاگرام مستطیلی جدیدی که هدف آن تفسیر فرآیندهای مهم از طریق معرفی و تکامل گونه‌های هیدروشیمیایی است، پیشنهاد شده است [۸]. سامانارا و همکاران [۹]، به بررسی آلودگی فلزات سنگین، شیمی یون‌های اصلی و ارزیابی حالت‌های آب زیرزمینی در آبخوان‌های ساحلی، کالپاکان و تامیل نادا در هند پرداختند. در این پژوهش ۲۲۸ نمونه آب زیرزمینی در عمق ۱۰ تا ۳۰ متر زیر سطح ایستایی جمع‌آوری شد. چهار نوع تیپ آب اصلی شامل Ca-Na-HCO_3 ، NaCl ، Ca-HCO_3 و Ca-Mg-Cl در منطقه مشاهده شد. بر مبنای استانداردهای قابل قبول هند، بیشتر نمونه‌های آب از حد قابل قبولشان برای مصارف شرب تجاوز کرده‌اند [۹]. در تحقیقی با عنوان فاکتورهای کنترل‌کننده غلظت تنگستن در آب زیرزمینی دشت کارسون- نوادا که توسط سیلر و همکاران انجام شده است، تعدادی از کودکان مبتلا به سرطان خون به وسیله مرکز کنترل پیشگیری بیماری‌ها بررسی شدند. این مطالعه نشان داد که ساکنان دشت کارسون نوادا در معرض سطوح بالایی از تنگستن قرار دارند. در این تحقیق از تنگستن موجود در آبخوان‌های مورد استفاده به عنوان آب شرب نمونه‌برداری شد. پژوهشگران به این نتیجه رسیدند که عمده منابع تنگستن در آب زیرزمینی طبیعی بودند و از فرسایش کانی‌های دارای تنگستن در حوضه رودخانه کارسون به وجود آمده‌اند [۱۰]. لیو و همکاران، توزیع، منشا و وابستگی عناصر نادر و فلزات سنگین در آب زیرزمینی کم‌عمق محدوده دریاچه پویانگ، شرق چین را مورد پژوهش قرار دادند. در این منطقه ارزیابی منظمی بر روی کیفیت آب زیرزمینی که به مصارف انسانی مربوط باشد، انجام نشده بود. این پژوهش نشان داد غلظت Fe ، Cr ، Se ، Cu ، Zn ، As و Cd در نمونه‌های آب زیرزمینی کم‌عمق منطقه قابل توجه نبودند [۱۱]. افتخاری و همکاران [۱۲] با استفاده از تحلیل زمین‌آماری مبتنی بر GIS و با شاخص کیفیت DGWQI، کیفیت آب زیرزمینی دشت بیرجند برای آشامیدنی را ارزیابی کردند. افتخاری و اکبری [۱۳] با استفاده از شاخص آسیب‌پذیری DRASTIC-LU به ارزیابی آسیب‌پذیری کیفی آبخوان دشت بیرجند پرداختند که نتایج آن نشان داد که با افزایش شاخص آسیب‌پذیری آبخوان شاخص کیفی آب شرب منطقه شرایط مناسبی ندارد. رحیم‌زاده کیوی و همکاران [۱۴] در پژوهشی با عنوان تعیین قابلیت آسیب‌پذیری کیفی آب زیرزمینی دشت بیرجند با

تصادفی را شبیه‌سازی گاوسی متوالی می‌گویند. این الگوریتم برای شبیه‌سازی یک مشخصه واحد با استفاده از مقادیر واحد و سپس به دست آوردن اطلاعات ثانویه و شبیه‌سازی مشترک چندین مشخصه وابسته، معرفی شده است. این الگوریتم برای انجام شبیه‌سازی به داده‌های نرمال استاندارد نیاز دارد. برای شبیه‌سازی پیوستگی مشخصه Z در N گره در شبکه مشروط به مجموعه داده $\{Z(ua), a = 1, \dots, n\}$ است. مراحل شبیه‌سازی گاوسی متوالی به صورت زیر است:

۱. اولین گام بررسی کردن صحت مدل چند گاوسی است که نیاز به رسم هیستوگرام برای داده‌های اولیه و نرمال کردن داده‌ها و تبدیل z -data به y -data با یک تابع توزیع تجمعی (cdf) استاندارد نرمال است.

۲. اگر مدل چند گاوسی برای متغیر y حفظ شد، در این حالت می‌توان شبیه‌سازی گاوسی متوالی را به صورت مراحل زیر برای y -data انجام داد:

- ترسیم تغییرنما با استفاده از داده‌های نرمال شده.
- انتخاب مسیر تصادفی برای انجام شبیه‌سازی به طوری که هر گره شبکه فقط یک‌بار شبیه‌سازی می‌شود.
- در هر گره u پارامترهای میانگین و واریانس تابع توزیع تجمعی گاوسی تعیین شده و سپس با انجام کریجینگ ساده با استفاده از مدل تغییر نمای داده‌های نرمال شده، تخمین داده‌ها بر روی شبکه انجام می‌شود.
- بیرون کشیدن مقدار شبیه‌سازی شده از تابع توزیع تجمعی و اضافه کردن آن به مجموعه داده‌ها.
- رفتن به گره بعدی در طول مسیر تصادفی و تکرار دو مرحله قبلی.
- تکرار کلیه مراحل بالا تا اینکه N گره شبیه‌سازی شوند و کل شبکه عدد داشته باشد.
- شبیه‌سازی گاوسی متوالی یک راه سریع و ساده برای انجام شبیه‌سازی زمین‌آمار است؛ زیرا برای مدل‌سازی گاوسی در هر مکان نیاز به حل کردن تنها یک سیستم کریجینگ در آن مکان است، اما در عین حال توانایی نشان دادن پیوستگی مکانی برای طبقات مختلف مقادیر را ندارد و همچنین امکان شبیه‌سازی مقادیر انتهایی بزرگ را فراهم نمی‌کند. برای به دست آوردن نتایج دقیق‌تر، در بازه‌های کوچک می‌توان از الگوریتم‌های شبیه‌سازی غیر گاوسی استفاده کرد که امکان استفاده از پیوستگی مقادیر بزرگ انتهایی را می‌دهند [۱].

استفاده از مدل DRASTIC، در واسنجی مدل از روش تحلیل سلسله مراتبی استفاده کردند. پژوهشی با عنوان مکان‌یابی چاه‌های تغذیه برای تغذیه مصنوعی و بهبود کیفیت آبخوان دشت بیرجند با استفاده از پساب تصفیه شده فاضلاب توسط حسن پور و خزیمه‌نژاد [۱۵] انجام پذیرفت. در این پژوهش وزن‌دهی پارامترهای مورد بررسی از طریق روش ANP انجام شد که پهنه‌بندی محل‌های حفر چاه جاذب با رویکرد بهبود کیفیت آبخوان دشت بیرجند نشان داد که مناطقی که از نظر اولویت ضعیف تلقی می‌شوند مشابه پژوهش افتخاری و همکاران [۱۲] است. کشاورز و همکاران [۱۶] با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی فازی در آبخوان دشت بیرجند مناطق مناسب استحصال آب شرب را مکان‌یابی کردند.

با توجه به اینکه تنها منبع تامین آب شرب، کشاورزی و صنعت در محدوده دشت بیرجند، منابع آب‌زیرزمینی است، بنابراین مطالعه کیفیت آب، برای بهره‌برداری و استفاده صحیح از آن در بخش‌های مختلف، اهمیت زیادی دارد. تاکنون مطالعات زیادی در خصوص هیدروشیمی آب زیرزمینی با استفاده از روش‌های گرافیکی و آماری انجام شده است ولی زمینه مدل‌سازی این موضوع با استفاده از زمین‌آمار با استفاده از شبیه‌سازی گاوسی و ایندیکاتور مطالعات چندانی صورت نگرفته است. مطالعات انجام شده در سال‌های اخیر در این محدوده استفاده از تخمین با استفاده از روش کریجینگ و روش‌های دیگر درون‌یابی صورت گرفته است. امروزه روش‌های شبیه‌سازی زمین‌آمار به طور گسترده در اکتشاف منابع و ذخایر زیرزمینی استفاده می‌شود. این روش‌ها به دلیل برخورداری از قابلیت تولید چندین تحقق از متغیر (۱۰۰ شبیه‌سازی) نسبت به روش کریجینگ که تنها یک تحقق از متغیر را ارائه می‌کند محبوبیت بیشتری یافته و نتایج مغرضانه ایجاد نمی‌کند. از جمله روش‌های شبیه‌سازی گاوسی می‌توان به روش‌های متوالی، تفکیک ماتریس، طیفی پیوسته و باندهای چرخان اشاره کرد. در این تحقیق هدف بهره‌گیری از زمین‌آمار در مدل‌سازی داده‌های هیدروژئوشیمیایی دشت بیرجند، برای ارزیابی توانایی این ابزار و همچنین تهیه نقشه‌های فضایی متغیرهای کیفی آب در سفره آب زیرزمینی است.

۲- موارد و روش‌ها

۲-۱- شبیه‌سازی گاوسی متوالی

به کارگیری اصل توالی تحت مدل چند گاوسی توابع

۲-۲- منطقه مورد مطالعه

دشت بیرجند با وسعت ۱۰۴۵ کیلومتر مربع بخشی از حوزه آبخیز کویر لوت در شرق ایران واقع شده است. متوسط ارتفاع دشت از سطح دریا ۱۳۸۳ متر و متوسط دمای سالانه در ارتفاعات و دشت به ترتیب ۱۱/۴ و ۱۳/۸ درجه سانتی‌گراد است. متوسط بارندگی سالانه در ارتفاعات و دشت به ترتیب ۲۱۶/۵ و ۱۹۲/۹ میلی‌متر است که حجم بارش ناشی از آن بالغ بر ۷۰۸/۶ میلیون مترمکعب است. از این میزان بارندگی، حدود ۸۰/۷ درصد یعنی ۵۷۱/۶ میلیون مترمکعب به صورت تبخیر و تعرق از دسترس خارج و حدود ۷ درصد آن یعنی ۴۹/۵ میلیون مترمکعب به جریان‌های سطحی تبدیل می‌شود و مابقی یعنی ۸۷/۵ میلیون مترمکعب در ارتفاعات و دشت نفوذ می‌کند [۱۷].

۲-۳- متغیرهای کیفی آب

در این پژوهش ۱۶۸ نمونه که شامل قنات، چاه عمیق و چشمه است، در منطقه مورد مطالعه استفاده شده است که اطلاعات آن در جدول ۱ مشاهده می‌شود. برای بررسی کیفیت آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه برای مصارف کشاورزی و به منظور محاسبه پارامترهای رده‌بندی، از

آمار کیفی ۱۶۸ محل نمونه‌برداری استفاده شده است. این آمار شامل پارامترهای pH، Cl، Ca، Mg، K، CO₃، EC، HCO₃، Na است. در جدول ۲ مقادیر آمار مقدماتی متغیرهای کیفیت شیمیایی آب نمونه‌های منطقه بررسی شده است. جهت رده‌بندی آب‌های زیرزمینی منطقه مورد مطالعه برای مصارف کشاورزی از پارامترهای درصد سدیم محلول (Na)، نسبت جذب سدیم (SAR)، مقدار سدیم کربنات باقی‌مانده (RSC)، خطر شوری (EC)، استفاده شده است و برای طبقه‌بندی آب منطقه مورد مطالعه از نظر شرب از نمودار رده‌بندی Wilcox و نمودار شولر و در آخر میزان سختی آب و خورنده بودن آب منطقه جهت مصارف صنعتی بررسی شده است.

۳- یافته‌ها و بحث

۳-۱- خطر شوری (Salinity Hazard)

محتوای نمک یکی از نگران‌کننده‌ترین مسائلی است که در رابطه با آب‌های کشاورزی وجود دارد. تمرکز بالای نمک‌ها در آب و خاک اثرات منفی بر زمین‌های زراعی داشته و سبب کاهش کیفیت زمین‌های زراعی می‌شود. مقدار کل نمک

جدول ۱: تعداد نقاط نمونه‌برداری شده در محدوده مورد مطالعه

چاهک موسویه	قائنات	قاین	اسفند	بشرویه	فردوس	میغان-ده نو	بیرجند	مختاران	سده	سرایان	محدوده
۶	۳	۸	۳	۶	۴	۲	۱۰	۷	۲	۲	تعداد قنات و چشمه
۱۱	۹	۱۰	۱۰	۵	۶	۸	۱۸	۱۴	۷	۱۸	تعداد چاه عمیق
۱۷	۱۲	۱۸	۱۳	۱۱	۱۰	۱۰	۲۸	۲۱	۹	۲۰	مجموع نقاط نمونه‌برداری

جدول ۲: اطلاعات اکتشافی مکانی داده نمونه‌برداری شده در منطقه

متغیر	تعداد	کمینه	بیشینه	میانگین	انحراف معیار	واریانس	Q25	Q50	Q75	دامنه تغییرات
Ca	۱۶۸	۰/۷	۴۱/۹	۹/۷۲	۸/۵۸	۷۳/۶۶	۳/۶	۶/۴۵	۱۴	۴۱/۲
CL	۱۶۸	۲	۱۵۰	۳۴/۲۱	۲۹/۹۲	۸۹۴/۹۳	۱۰/۱۵	۲۵/۲۵	۴۹/۶	۱۴۸
Hco3	۱۶۸	۰/۶	۱۶/۲	۶/۶۶	۲/۷۸	۷/۷۱	۴/۶۵	۶/۲	۸/۲	۱۵/۶
K	۱۶۸	۰/۰۱	۰/۳	۰/۰۵	۰/۰۴	۰	۰/۰۲	۰/۰۴	۰/۰۶	۰/۲۹
Mg	۱۶۸	۰/۲	۳۹/۵	۱۰/۶۶	۸/۳۲	۶۹/۲	۴/۸۵	۸	۱۵	۳۹/۳
Na	۱۶۸	۱/۲	۱۰۰	۲۸/۰۲	۲۰/۷۵	۴۳۰/۷۷	۱۱/۲۵	۲۳/۳	۳۹/۳۵	۹۸/۸
PH	۱۶۸	۶/۵۷	۸/۹۴	۷/۷۶	۰/۴۲	۰/۱۸	۷/۴۸	۷/۷۴	۸/۰۲	۲/۳۷
SO ₄	۱۶۸	۰/۳	۳۵/۱	۷/۵۷	۶/۰۱	۳۶/۱۶	۳/۳	۶	۱۰/۷	۳۴/۸

احتمال نرمال مقادیر در شکل ۲ ترسیم شده است که با توجه به آن مشاهده می‌شود داده‌ها چولگی به راست داشته و از حالت نرمال و متقارن بودن فاصله گرفته است. در گام بعد با استفاده از روش نرمال‌سازی گاوسی، داده‌ها نرمال شده‌اند. همان‌طور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود، نمودار هیستوگرام مقادیر نرمال شده کاملاً متقارن و نمودار احتمال نرمال کاملاً منطبق بر خط مستقیم است.

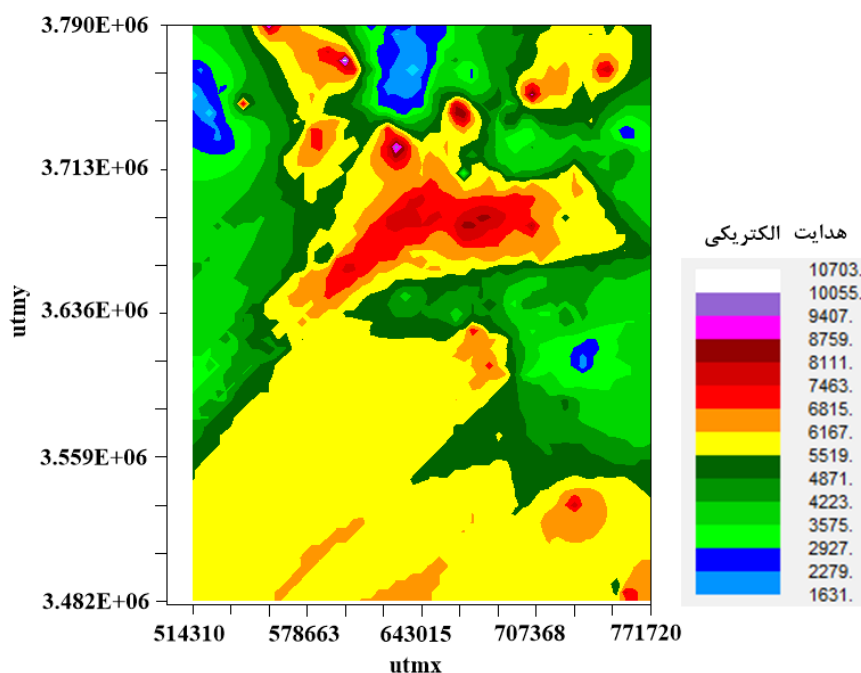
در گام بعد، نیاز به ترسیم واریوگرام و بررسی پیوستگی مکانی متغیر است که نتایج آن و مدل برازش شده بر مدل تجربی برای شبیه‌سازی در جدول ۴ مشاهده می‌شود. نتایج به دست آمده نشان می‌دهند که نسبت اثر قطعه‌ای به سقف متغیر، زیر ۲۵ درصد است و پیوستگی مکانی خوبی دارد. نمودار واریوگرام تجربی و مدل برازش شده بر آن در شکل ۳ مشاهده می‌شود و برای نشان دادن دقیق‌تر پیوستگی مکانی

جدول ۳: نتایج به دست آمده از مقادیر EC در چهار کلاس

EC ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	رده	Quality	نمونه	فراوانی کلاس
۱۰۰-۲۵۰	C1	Excellent	—	
۲۵۰-۷۵۰	C2	Good	c2	۹
۷۵۰-۲۲۵۰	C3	Fair	c3	۳۵
>۲۲۵۰	C4	Poor	c4	۱۲۴

محلول در آب‌های کشاورزی معمولاً با استفاده از تعیین مقادیر $EC(\mu\text{s}/\text{cm})$ یا هدایت الکتریکی مشخص می‌شود. آب‌هایی که در کلاس خطر شوری کم قرار می‌گیرند، برای کشاورزی مناسب‌اند. برای شناخت و داشتن یک دید کلی از تغییرات مکانی هدایت الکتریکی منطقه مورد مطالعه روش درون‌یابی IDW به عنوان یکی از روش‌های میان‌یابی دقیق و قطعی استفاده شده و نقشه پراکندگی آن در شکل ۱ قابل مشاهده است. برای تحلیل پیوستگی مکانی تغییرات متغیر هدایت الکتریکی به رسم واریوگرام و بررسی پیوستگی مکانی داده‌ها نیاز است و سپس با استفاده از روش‌های زمین‌آمار مانند کریجینگ درون‌یابی انجام شده، قابل ذکر است روش قطعی و دقیق عکس فاصله نقشه عدم قطعیت را ترسیم نمی‌کند و هیچ پیش‌فرضی از جمله نرمال بودن داده‌ها که شرط الزامی روش‌های زمین‌آمار است را ندارد. در جدول ۳ نتایج حاصل از مقایسه و کلاس‌بندی ۱۶۸ نمونه اندازه‌گیری شده مشاهده می‌شود که ۹ نمونه در کلاس دوم ۳۵ نمونه در کلاس سوم و ۱۲۴ نمونه در کلاس چهارم تقسیم‌بندی شده‌اند.

در ادامه به انجام آنالیز زمین‌آماري پرداخته می‌شود. در گام اول از مطالعات زمین‌آماري به انجام تست نرمال داده‌ها نیاز است. اگر داده‌ها نرمال نبودند باید آن‌ها را با استفاده از روش‌های نرمال‌سازی نرمال کرد. نمودار هیستوگرام و نمودار



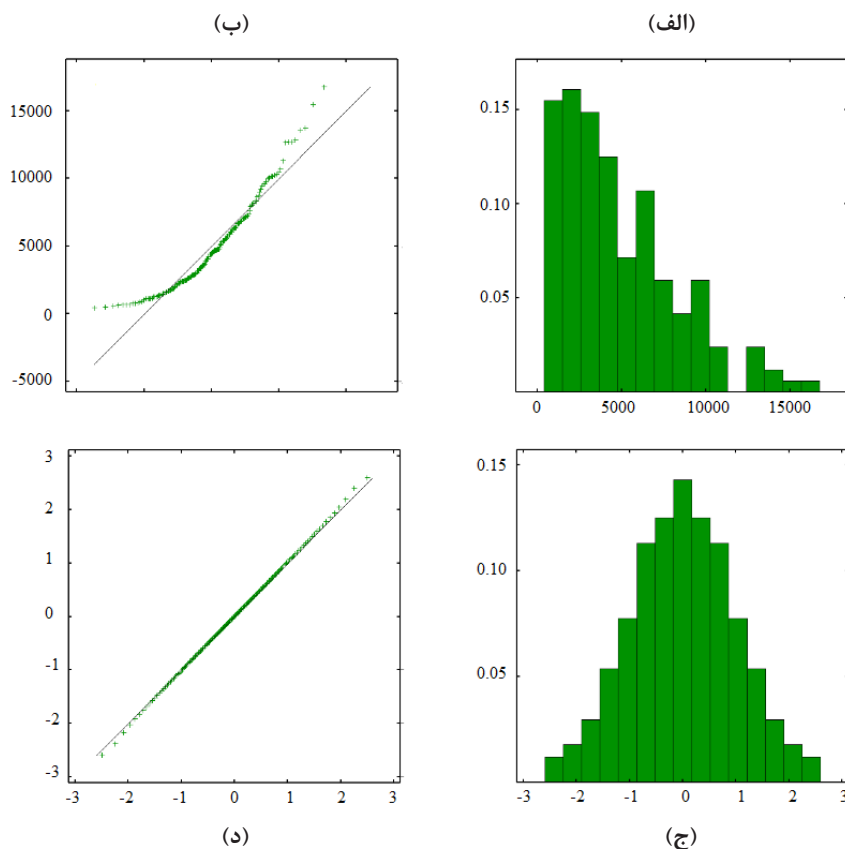
شکل ۱: دید کلی از منطقه با درون‌یابی عکس فاصله

هدایت الکتریکی، با میانگین ۴۸۱۴/۳۹ هیستوگرام ب: نتیجه یکی از حالت‌های تحقق یافته از ۱۰۰ شبیه‌سازی گاوسی است که میانگین آن ۴۸۱۴/۳۲ نزدیک‌ترین میانگین را به مقادیر اصلی دارد، یعنی داده‌های اصلی را باز تولید کرده است.

۳-۲- نسبت جذب سدیم (SAR) Sodium Adsorption Ratio

سدیم مانند دیگر کاتیون‌ها با رس‌های موجود در خاک واکنش داده و جانشین یون‌های کلسیم و منیزیم شده و باعث کاهش نفوذپذیری خاک می‌شود و کیفیت خاک را پایین می‌آورد. نسبت جذب سدیم بهترین معیار برای برآورد خطر سدیم است که میزان جانشینی یون‌های کلسیم و منیزیم به وسیله یون‌های سدیم را بیان می‌کند. مقدار این

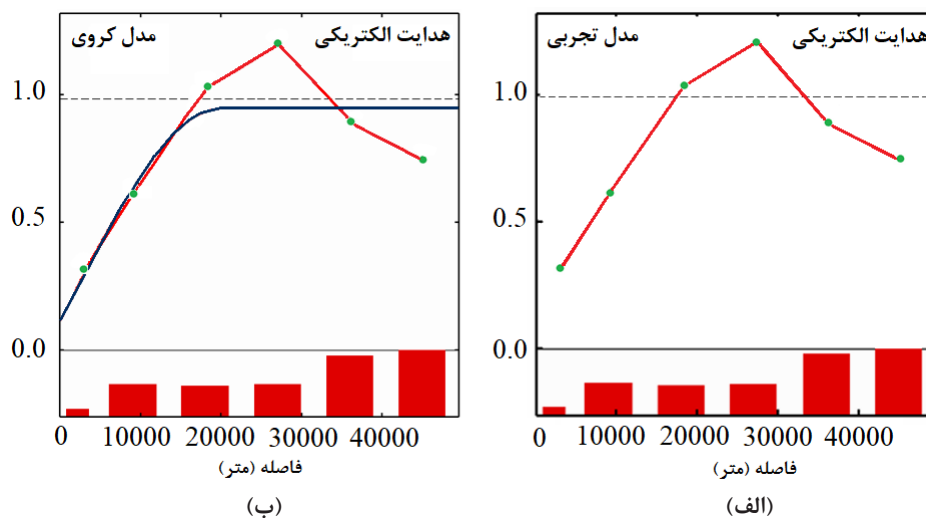
متغیر به تخمین زمین‌آماری و بعد از آن شبیه‌سازی گاوسی متوالی نیاز است که در ادامه بحث به آن‌ها خواهیم پرداخت. در مرحله بعد با شبکه‌بندی منطقه مورد مطالعه شکل ۴-الف شبیه‌سازی گاوسی متوالی در ۱۰۰ تحقق را برای این متغیر انجام داده که در شکل ۴ مشاهده می‌شود (شکل ۴-ب و ۴-ج). در مرحله بعد، نقشه احتمال این متغیر برای مقادیر بزرگتر از ۷۵۰ میکروموس نیز تهیه شده است (شکل ۴-د). همان‌طور که قبلاً ذکر شد زمانی شبیه‌سازی ما درست است که شبیه‌سازی بتواند پارامترهای آماری و زمین‌آماری اولیه را بازتولید کند. برای صحت‌سنجی از شبیه‌سازی، هیستوگرام مربوط به مقادیر اصلی و شبیه‌سازی شده رسم و در شکل ۵ مشاهده می‌شود. هیستوگرام الف: برای مقادیر اصلی متغیر



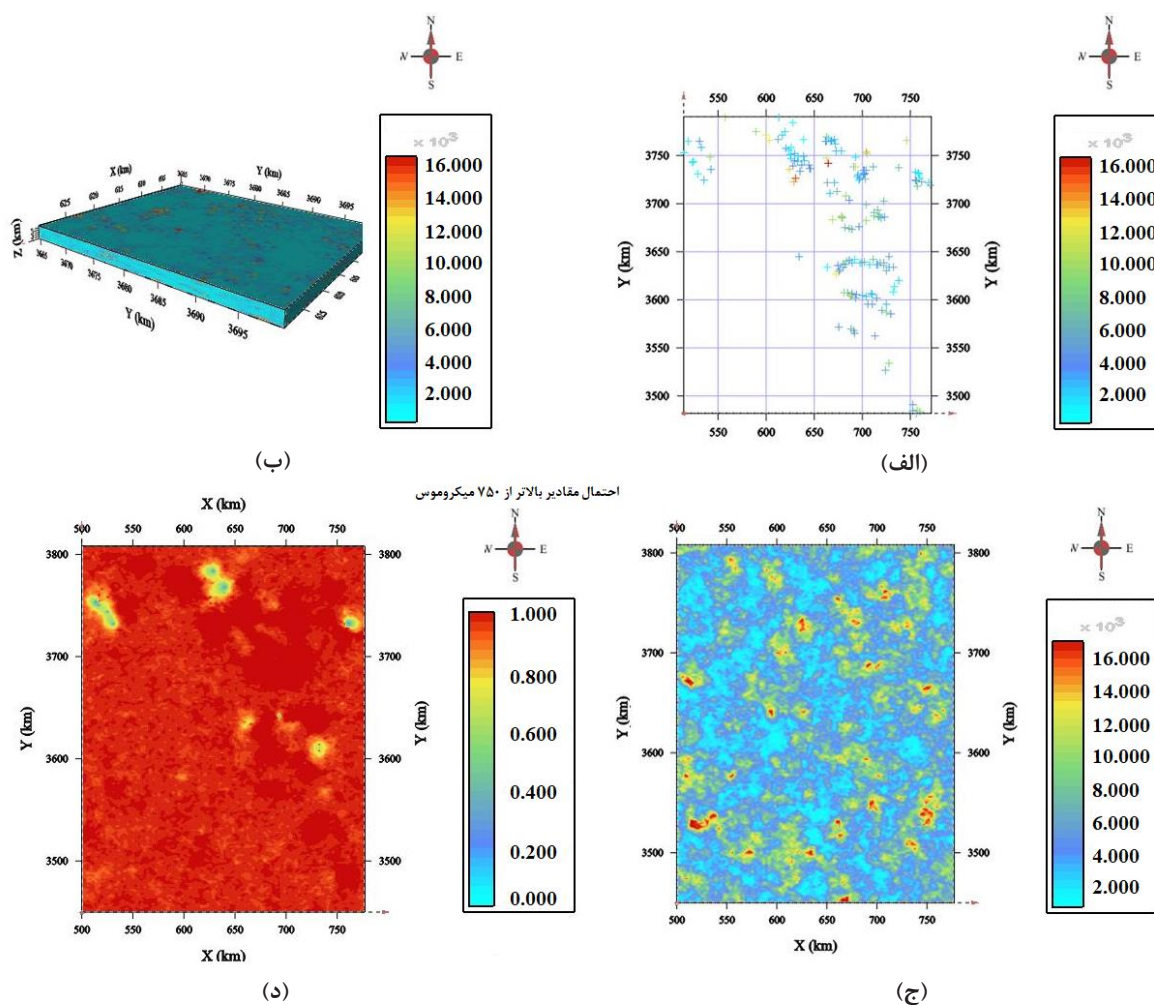
شکل ۲: الف) هیستوگرام هدایت الکتریکی، ب) نقشه احتمال هدایت الکتریکی، ج) هیستوگرام مقادیر نرمال هدایت الکتریکی، د) نقشه احتمال نرمال شده هدایت الکتریکی

جدول ۴: مدل‌های برازش شده در واریوگرام تجربی متغیر

مدل	متغیر	اثر قطعه‌ای	آستانه	اثر قطعه‌ای / اثر قطعه‌ای + آستانه	Sum of squared residuals
Spherical	EC	۰,۱۱	۰,۸	۰,۱۲	۰,۰۰۰۲۲۳



شکل ۳: الف) واریوگرام تجربی به وسیله مقادیر نرمال، ب) واریوگرام برازش شده به وسیله مدل کروی



شکل ۴: الف) شبکه‌بندی و موقعیت نمونه‌ها، ب و ج) بلوک شبیه‌سازی شده و نقشه پلان حاصل از نتایج ۱۰۰ شبیه‌سازی گاوسی، د) نقشه احتمال مقادیر بزرگ تراز ۷۵۰ موس برای هدایت الکتریکی

استفاده از روش تبدیل گاوسی داده‌های واقعی به نرمال تبدیل شده است.

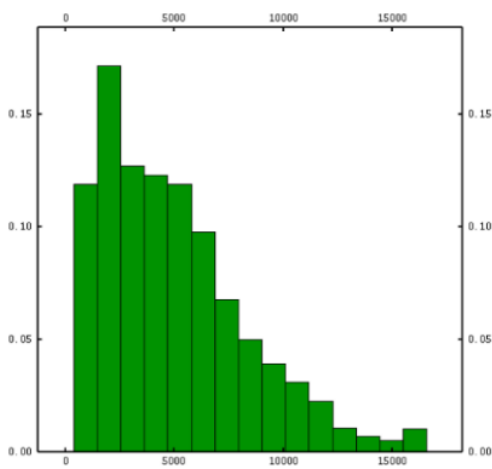
در گام بعد برای بررسی پیوستگی مکانی متغیر نمودار تغییر نما متغیر ترسیم شده و مدل تجربی آن بر مدل‌های مختلف برازش داده شده و مدل کروی با کمترین خطا نسبت به نمودار تجربی مناسب‌ترین مدل برای مدل‌سازی بوده است. در جدول ۶ مشخصات مدل کروی برازش داده شده بر مدل تجربی و نمودار تغییر نمای تجربی و مدل کروی در شکل ۸ مشاهده می‌شود.

جدول ۵: نتایج به دست آمده از مقادیر SAR در چهار کلاس

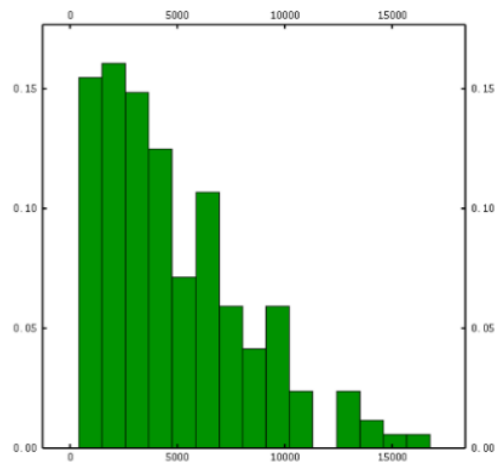
SAR	رده	Quality	نمونه	فراوانی کلاس f_i
۱۰	S1	Excellent	S1	۱۱۳
۱۰-۱۸	S2	Good	S2	۴۸
۱۸-۲۴	S3	Fair	S3	۴
>۲۴	S4	Poor	S4	۳

جدول ۶: مدل برازش شده بر واریوگرام تجربی متغیر نسبت سدیم جذب شده

Na%	<۲۰	۲۰-۴۰	۴۰-۶۰	۶۰-۸۰	بالای ۸۰
کیفیت	خوب	قابل قبول	مشکوک	بد	خیلی بد
فراوانی نمونه‌ها	۱	۱۳	۸۸	۶۴	۲



(ب)



(الف)

شکل ۵: الف) هیستوگرام مقادیر داده‌های واقعی هدایت الکتریکی، ب) هیستوگرام یکی از ۱۰۰ شبیه‌سازی گاوسی (که به واقعیت نزدیک‌تر است).

پارامتر از رابطه ۱ محاسبه می‌شود [۱۸]:

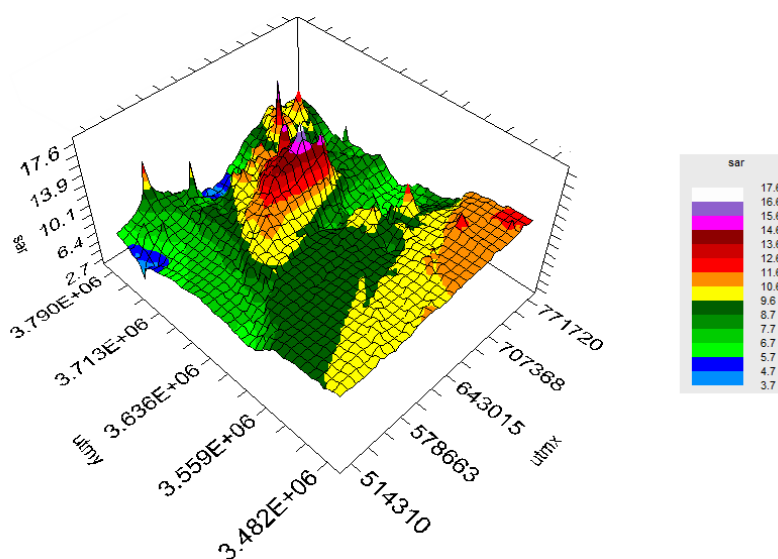
$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{2+} + Mg^{2+}}{2}}} \quad (1)$$

در رابطه بالا واحد یون‌ها میلی‌اکی‌والان بر لیتر است. همان‌طور که در جدول ۵ مشاهده می‌شود، فراوانی گروه S1 از بقیه کلاس‌های دیگر بیشتر است.

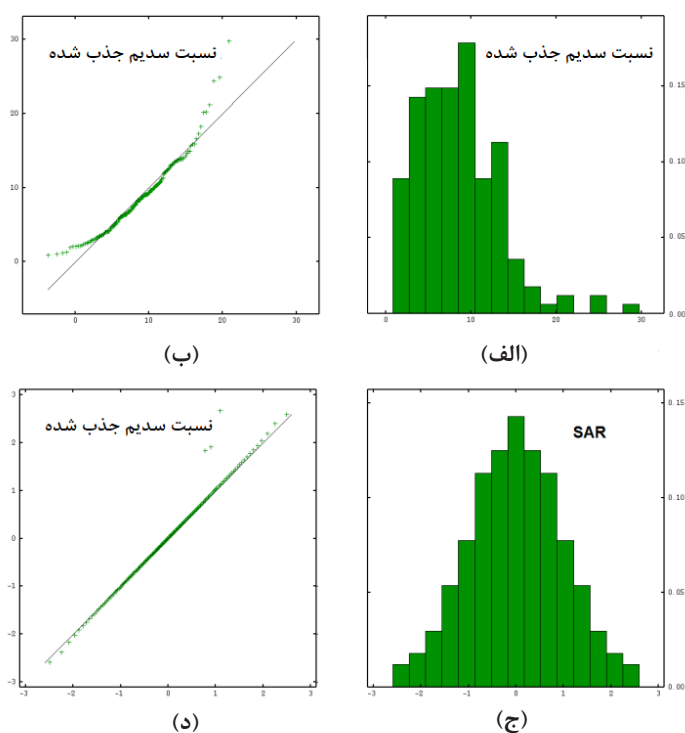
در گام بعد برای شناخت و داشتن یک دید کلی از تغییرات مکانی SAR منطقه مورد مطالعه از روش درون‌یابی IDW به عنوان یکی از روش‌های میان‌یابی دقیق و قطعی استفاده شده است. نقشه پراکندگی آن در شکل ۶ مشاهده می‌شود.

در این روش موقعیت هر نقطه به صورت منفرد در نظر گرفته شده و وزن نقاطی که به فاصله یکسان از نقطه مورد نظر قرار دارد یکسان در نظر گرفته شده و در این روش به نحوه پراکنش داده‌ها حول نقطه مورد تخمین توجهی نمی‌شود. به همین دلیل فقط برای داشتن دید کلی از منطقه از این روش و در ادامه از دیگر روش‌های زمین‌آماري مانند شبیه‌سازی گاوسی برای بررسی دقیق‌تر پیوستگی مکانی متغیر استفاده شده است.

با توجه به رسم نمودار احتمال نرمال و هیستوگرام متغیر نسبت سدیم جذب شده (شکل ۷)، مشاهده می‌شود داده‌ها از توزیع نرمال پیروی نمی‌کنند و برای آنالیزهای زمین‌آماري به نرمال کردن داده‌ها نیاز است. در ادامه در شکل ۷-ج و ۷-د با



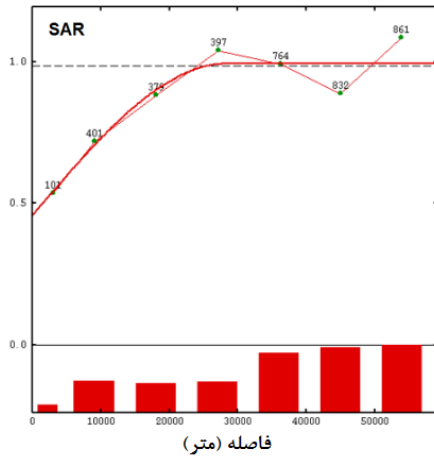
شکل ۶: دید کلی از منطقه با درون‌یابی عکس فاصله



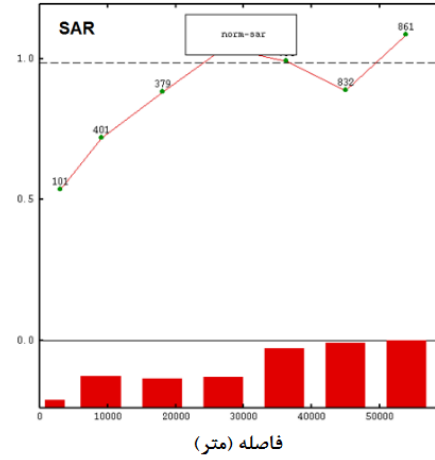
شکل ۷: (الف) هیستوگرام مقادیر واقعی، (ب) نمودار احتمال نرمال مقادیر واقعی، (ج) هیستوگرام مقادیر نرمال شده، (د) نمودار احتمال نرمال مقادیر نرمال شده

همان‌طور که بیان شد در شبکه ایجاد شده در منطقه مورد مطالعه که موقعیت نقاط نمونه‌برداری در آن در شکل ۹-الف مشاهده می‌شود، شبیه‌سازی گاوسی متوالی انجام گرفته است که در شکل ۹-بلوک حاصل از شبیه‌سازی گاوسی و پلان

حاصل از آن در قسمت ج مشاهده می‌شود. در قسمت د نقشه احتمال برای مقادیر حد آستانه پایین‌تر از ۱۸ برای متغیر SAR ترسیم شده است.

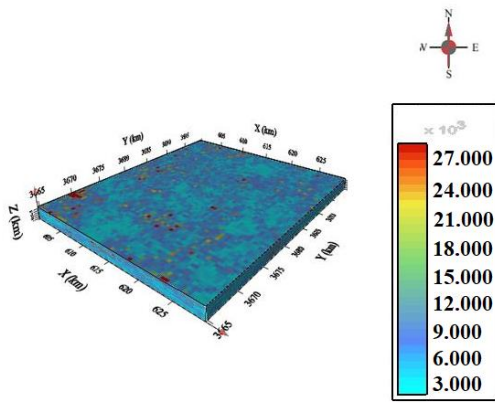


(ب)

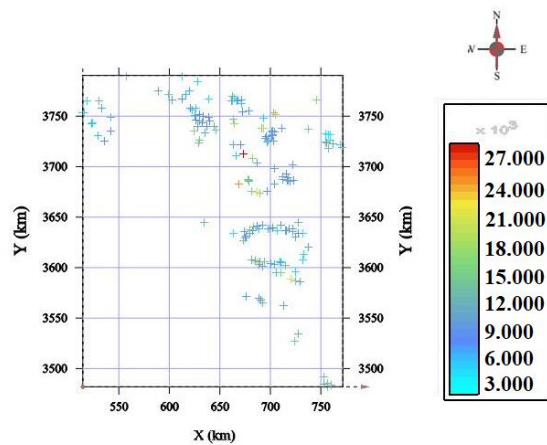


(الف)

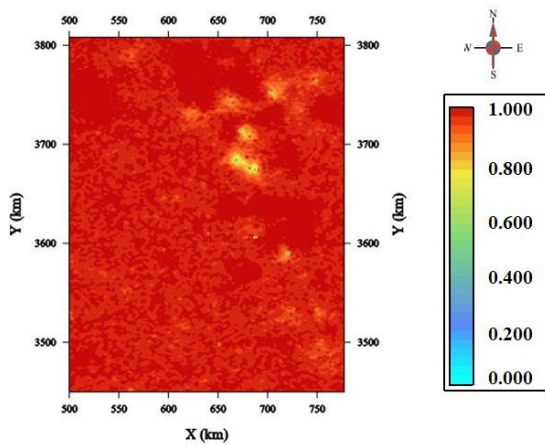
شکل ۸: الف) واریوگرام تجربی به وسیله مقادیر نرمال، ب) واریوگرام برازش شده به وسیله مدل کروی



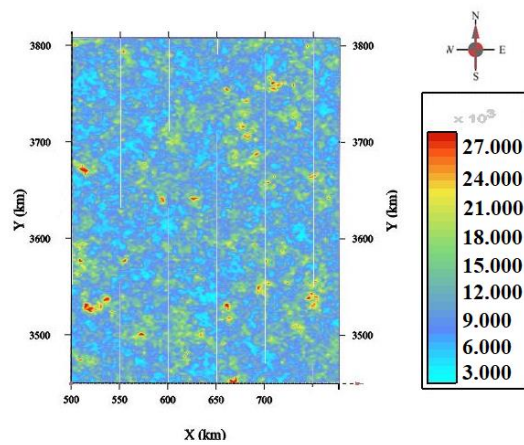
(ب)



(الف)



(د)



(ج)

شکل ۹: الف) شبکه‌بندی و موقعیت نمونه‌ها، ب) بلوک شبیه‌سازی شده، ج) نقشه پلان حاصل از نتایج ۱۰۰ شبیه‌سازی گاوسی، د) نقشه احتمال مقادیر بزرگتر از ۱۸ برای متغیر SAR

در جدول ۷، رده‌بندی نمونه‌های آب منطقه مورد مطالعه درج شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، بیشتر درصد سدیم نمونه‌ها بین ۲۰-۴۰ است که در کلاس دوم گروه‌بندی قرار گرفته است و بیشترین فراوانی را دارد.

برای شناخت و داشتن یک دید کلی از تغییرات مکانی تغییرات درصد سدیم در منطقه مورد مطالعه روش درون‌یابی IDW به عنوان یکی از روش‌های میان‌یابی دقیق و قطعی استفاده شده است و نقشه پراکندگی آن در شکل ۱۱ مشاهده می‌شود. در این روش ارزش‌های تخمینی مشابه ارزش‌های نمونه‌برداری‌اند، به همین جهت در ادامه برای بررسی دقیق‌تر پیوستگی مکانی متغیر از دیگر روش‌های زمین‌آمار و شبیه‌سازی گاوسی استفاده شده است.

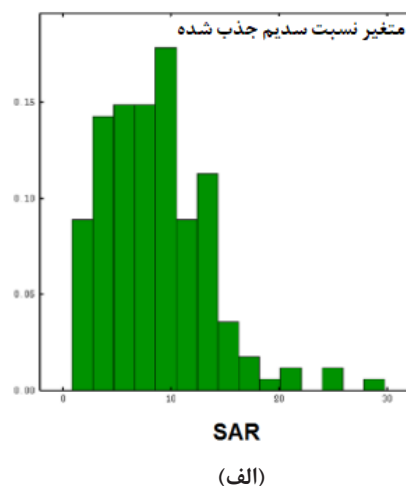
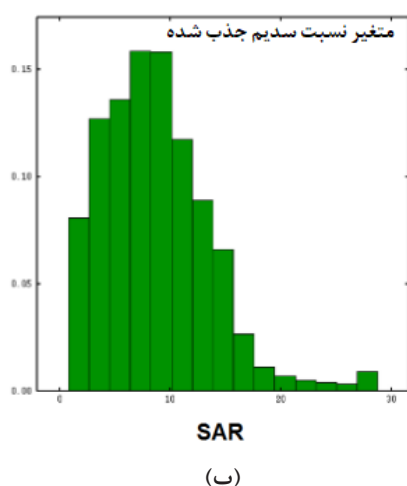
در گام بعد جهت آنالیز زمین‌آمار و بررسی پیوستگی مکانی داده‌ها قبل از هر چیز نیاز به نرمال کردن داده‌ها است. همان‌طور که در شکل ۱۲-الف و ۱۲-ب مشاهده می‌شود، داده‌ها نرمال نبوده و در گام بعد داده‌ها با روش‌های نرمال‌سازی از جمله روش گاوسی به داده‌های نرمال تبدیل شده که نمودار هیستوگرام و نمودار احتمال نرمال در شکل ۱۲-ج و ۱۲-د نشان‌دهنده این موضوع است.

در گام بعد برای صحت‌سنجی از نتایج شبیه‌سازی این متغیر نیز، هیستوگرام برای مقادیر اصلی و شبیه‌سازی شده رسم گردید. هیستوگرام در شکل ۱۰-الف برای مقادیر اصلی متغیر نسبت جذب سدیم، با مقدار میانگین ۸٫۵۶ و هیستوگرام در قسمت ب نتایج یکی از شبیه‌سازی‌های گاوسی با نزدیک‌ترین میانگین به داده‌های اصلی است که برابر ۸٫۵۲ است. نتایج نشان می‌دهد مقادیر واقعی در شبیه‌سازی بازتولید شده است که نشان‌دهنده صحت شبیه‌سازی است.

۳-۳- درصد سدیم^۱

یکی از رده‌بندی‌های خطر سدیم در آب‌های کشاورزی با درصد سدیم و یا درصد سدیم محلول عنوان می‌شود. روش‌های Wilcox و Eaton برای رده‌بندی شیمیایی آب‌ها بر اساس پارامتر Na/Ca استفاده می‌شوند. مقدار این پارامتر به وسیله معادله زیر محاسبه می‌شود [۱۹]:

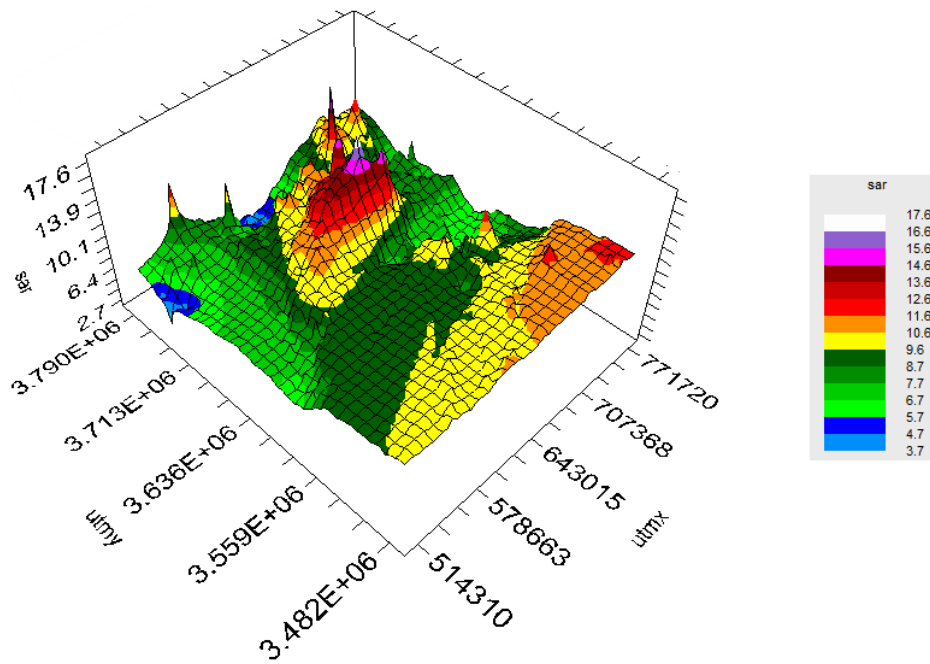
$$\text{Na}\% = \frac{(\text{Na}^+ + \text{K}^+)}{(\text{Na}^+ + \text{K}^+ + \text{Mg}^+ + \text{Ca}^{+2})} \times 100 \quad (2)$$



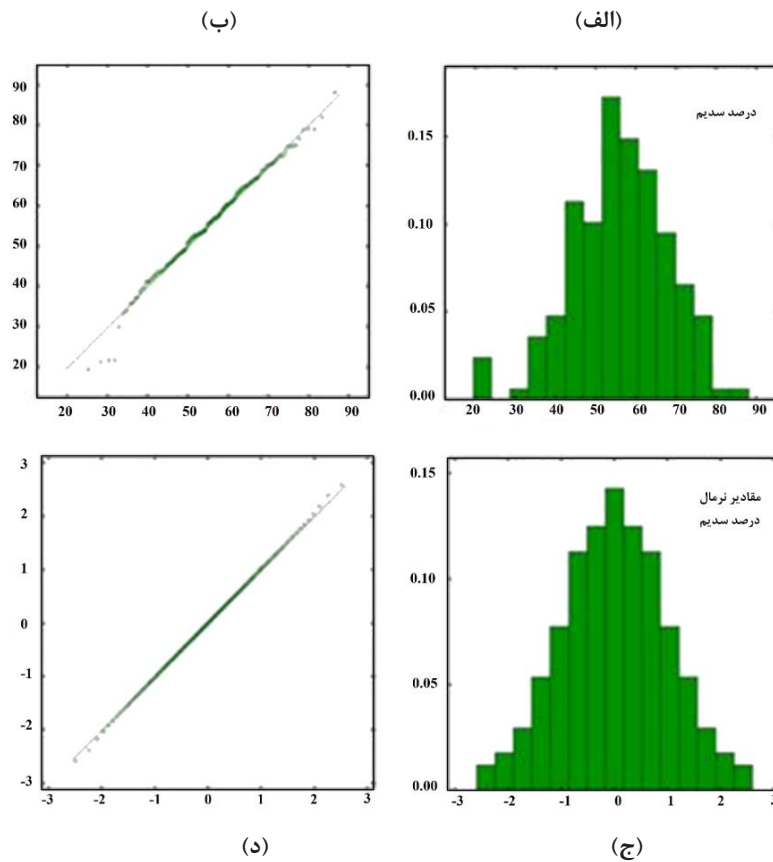
شکل ۱۰: الف) هیستوگرام مقادیر داده‌های واقعی SAR، ب) هیستوگرام یکی از ۱۰۰ شبیه‌سازی گاوسی (که به واقعیت نزدیک‌تر است).

جدول ۷: رده‌بندی مقادیر درصد سدیم در ۵ گروه

مدل	متغیر	اثر قطعه‌ای	آستانه	اثر قطعه‌ای + آستانه	اثر قطعه‌ای / آستانه + آستانه	Sum of squared residuals
Spherical	SAR	۰٫۴۵	۰٫۵۳	۰٫۹۸	۰٫۴۵	۰٫۰۰۰۳۴۳



شکل ۱۱: دید کلی از منطقه با درون‌یابی عکس فاصله



شکل ۱۲: الف) هیستوگرام مقادیر واقعی، ب) نمودار احتمال مقادیر واقعی، ج) هیستوگرام مقادیر نرمال شده، د) نمودار احتمال مقادیر نرمال شده

هیستوگرام شکل ۱۴-ب نتایج به دست آمده حاصل از یکی از ۱۰۰ شبیه‌سازی انجام شده با نزدیک‌ترین میانگین به مقادیر اصلی است که این صحت شبیه‌سازی را بررسی کرده، زیرا مقادیر واقعی و اولیه در شبیه‌سازی بازتولید شده است.

۳-۴- سدیم کربنات باقی‌مانده (RSC)^۲

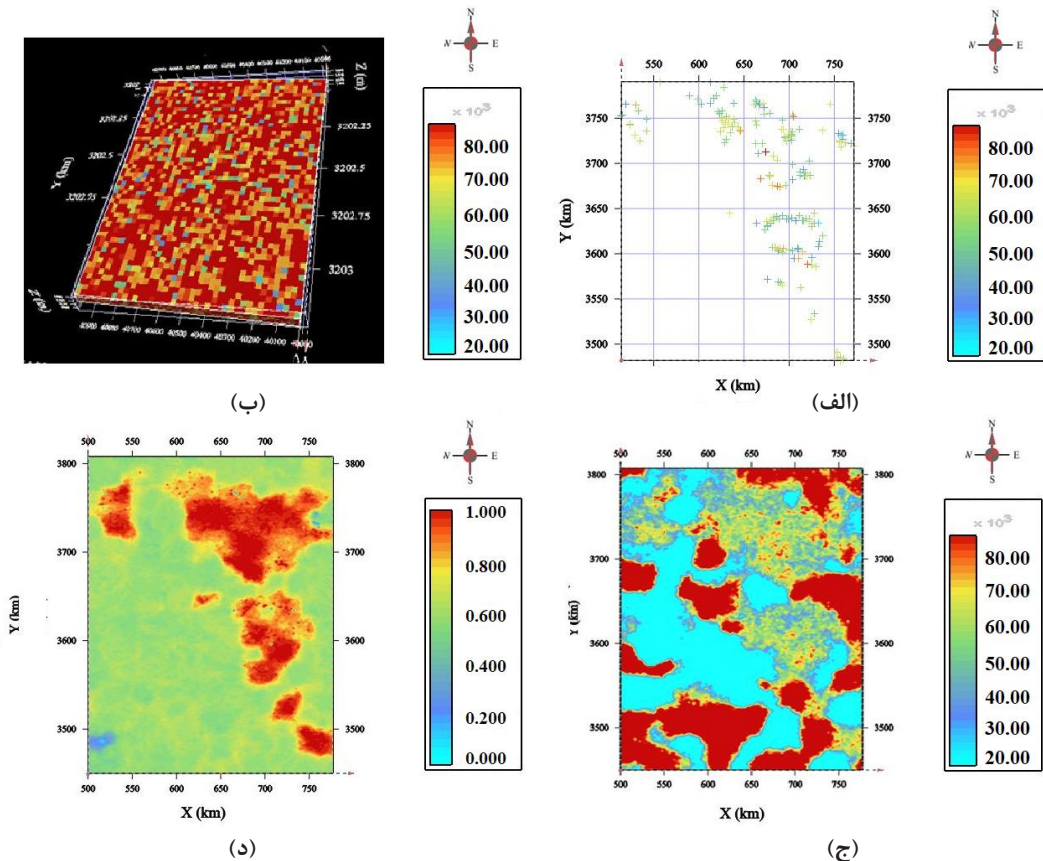
یکی دیگر از پارامترهای موثر بر کیفیت آب کشاورزی خطر مقدار سدیم کربنات باقی‌مانده است. مقادیر بالای یون‌های کربنات و بی‌کربنات سبب افزایش RSC شده و یون‌های Ca^{2+} و Mg^{2+} مقدار این پارامتر را کاهش می‌دهند. یون‌های بی‌کربنات و کربنات با کلسیم و منیزیم ترکیب شده و به

در گام بعد بررسی پیوستگی مکانی متغیر نمودار مدل تجربی واریوگرام بر مدل توانی که کمترین خطا را نسبت به مدل‌های دیگر دارد برازش داده شده و مشخصات آن در جدول ۸ مشاهده شده است. در مرحله بعد منطقه مورد مطالعه شبکه‌بندی شده و شبیه‌سازی گاوسی در ۱۰۰ گام تحقق در منطقه مورد مطالعه انجام شده و نقشه احتمال مقادیر بالاتر از حد آستانه ۴۰ درصد برای مقادیر درصد سدیم در شکل ۱۳-د مشاهده می‌شود.

برای صحت‌سنجی از نتایج شبیه‌سازی متغیر درصد سدیم، هیستوگرام برای مقادیر اصلی و شبیه‌سازی شده رسم شد. شکل ۱۴-الف هیستوگرام برای مقادیر اصلی درصد سدیم و

جدول ۸: مدل‌های برازش شده در واریوگرام تجربی متغیر

مدل	متغیر	اثر قطعه‌ای	آستانه	اثر قطعه‌ای/اثر قطعه‌ای+آستانه	Sum of squared residuals
Exponential	NA%	۰٫۷۳	۰٫۴	۰٫۶۴	۰٫۰۰۰۲۵



شکل ۱۳: الف) شبکه‌بندی و موقعیت نمونه‌ها، ب و ج) بلوک شبیه‌سازی شده و نقشه پلان حاصل از نتایج ۱۰۰ شبیه‌سازی گاوسی، د) نقشه احتمال مقادیر بالای ۴۰ درصد سدیم

است. مهم‌ترین معیارهای کیفی در طبقه‌بندی آب از نظر کشاورزی در این روش، شوری و مقدار سدیم موجود در آن است، زیرا این دو نه تنها بر رشد گیاه موثرند، بلکه درجه تناسب آب از نظر آبیاری و تاثیر آن بر نفوذپذیری خاک را مشخص می‌سازند [۱۹]. بر اساس طبقه‌بندی Wilcox آب‌های خیلی خوب در کلاس C1S1، C2S1، C1S2، C2S2، خوب در کلاس‌های C1S3، C3S2، C3S3، C2S3 و متوسط در کلاس‌های C3S1 قرار گرفته و بقیه آب‌ها نامناسباند (شکل ۱۵). نمودار حاصل از فراوانی کلاس‌های مختلف نمونه‌ها در طبقه‌بندی Wilcox است. در شکل ۱۶ نمودار حاصل از کلاس‌های مختلف آب بر اساس طبقه‌بندی Wilcox ترسیم شده است.

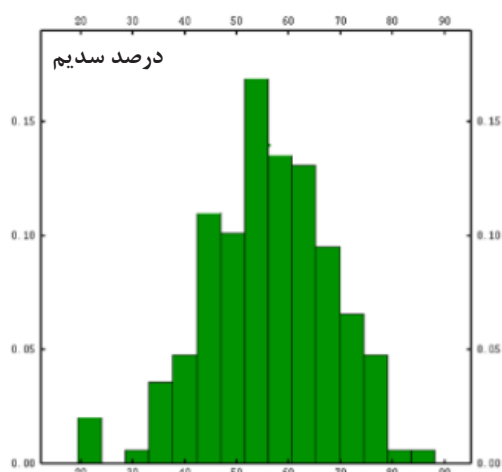
صورت CaCO_3 و MgCO_3 رسوب می‌کنند. طی این واکنش غلظت یون‌های Ca^{2+} و Mg^{2+} نسبت به یون Na^+ کاهش یافته و در نتیجه pH افزایش می‌یابد. به وسیله معادله زیر محاسبه می‌شود [۱۳]:

$$\text{RSC} = (\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-) - (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}) \quad (3)$$

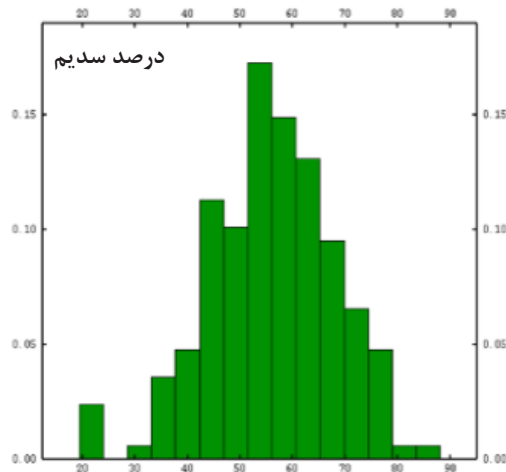
بر اساس این رده‌بندی، تمامی نمونه‌های منطقه مورد مطالعه به جز ۵ نمونه در رده عالی قرار دارند. در جدول ۹ تغییرات پارامتر RSC مشاهده می‌شود.

۳-۵- طبقه‌بندی آب زیرزمینی از نظر مصارف کشاورزی

یکی از متداول‌ترین روش‌های طبقه‌بندی آب برای مصارف کشاورزی، روش Wilcox و استفاده از نمودار آن



(ب)

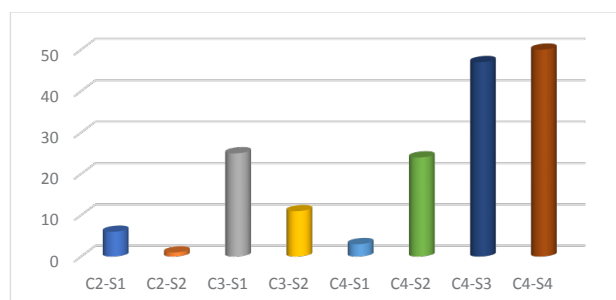


(الف)

شکل ۱۴: الف) هیستوگرام مقادیر داده‌های واقعی درصد سدیم، ب) هیستوگرام یکی از ۱۰۰ شبیه‌سازی گاوسی (که به واقعیت نزدیک‌تر است).

جدول ۹: کلاس‌بندی مقادیر RSC

RSC	Quality	نمونه
<1.25	Excellent	همه نمونه‌ها به جز ۳ مورد
1.25-2.5	Fair	۲ مورد در سرایان یک مورد در قائنات
>2.5	Unsuited	-



شکل ۱۵: نمودار حاصل از فراوانی کلاس‌های مختلف آب بر اساس طبقه‌بندی Wilcox

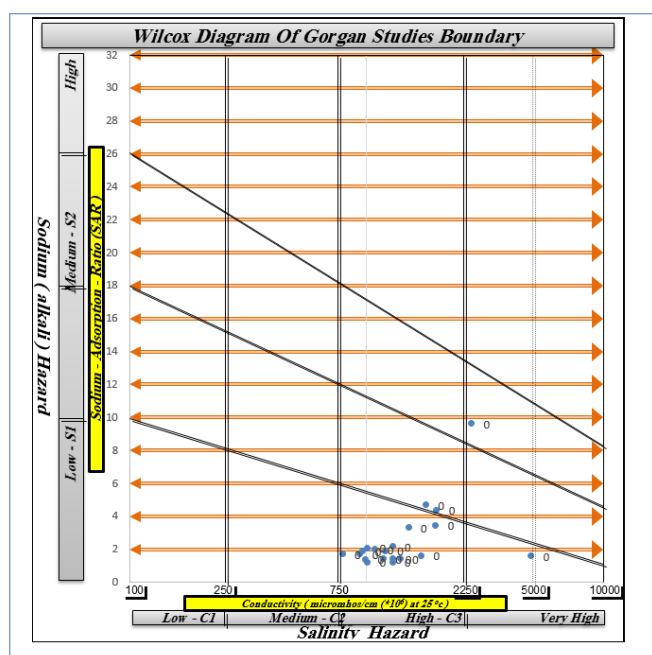
۳-۶- طبقه‌بندی آب از نظر صنعت

بوده و اگر صفر SI باشد آب حالت خنثی دارد [۱۴].

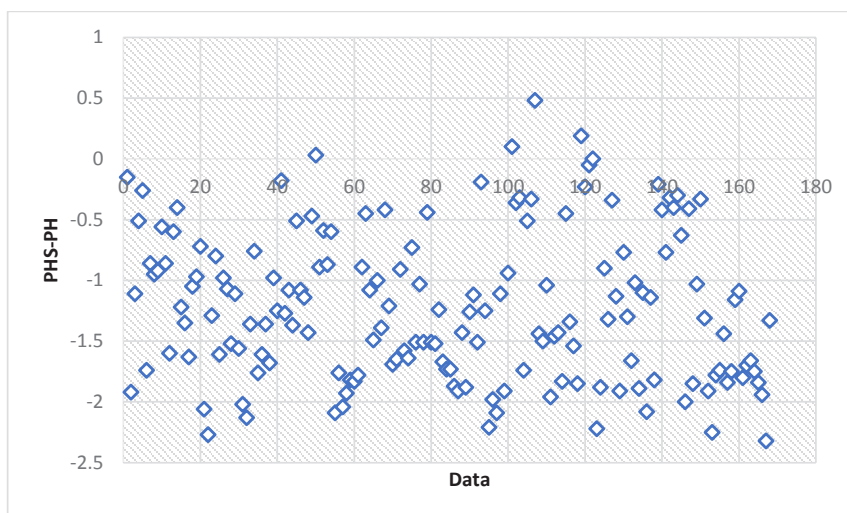
$$SI = pH - pHS \quad (۴)$$

طبق نمودار شکل ۱۷ کیفیت آب برای مصارف صنعتی در تمام حالات رسوب‌گذار است. غیر از چهار مورد که در منطقه مختاران و بشروئیه و اسفدن است.

برای تعیین کیفیت آب برای مصارف صنعتی، ضریب لائزالیه (SI) نمونه آب‌ها بر اساس رابطه زیر محاسبه می‌شود. که در این رابطه pH، اسیدیته واقعی آب و pHS مقدار pH آب در حالت اشباع از کربنات کلسیم است. اگر مثبت SI باشد آب تمایل به پوسته‌گذاری دارد و اگر منفی SI باشد آب خورنده



شکل ۱۶: نمودار حاصل از کلاس‌های مختلف آب بر اساس طبقه‌بندی Wilcox



شکل ۱۷: تعیین کیفیت آب برای مصارف صنعتی، ضریب لائزالیه (SI)

- [2] Huysmans, M., and Dassargues, A. (2009). "Application of multiple-point geostatistics on modelling groundwater flow and transport in a cross-bedded aquifer (Belgium)". *Hydrogeology Journal*, 17(8): 1901-1911.
- [3] Marache, A., Breyse, D., Piette, C., and Thierry, P. (2009). "Geotechnical modeling at the city scale using statistical and geostatistical tools: the Pessac case (France)". *Engineering Geology*, 107(3-4): 67-76.
- [4] Wuing, L., Shin, Ch., Jang, Ch., and Min Liao, Ch. (2004). "Evaluation of arsenic contamination potential using indicator kriging in the Yun-Lin aquifer (Taiwan)". *Science of the Total Environment*, 321(1-3): 173-188.
- [5] Rhoades, J. D., and Merrill, A. S. D. (1976). "Assessing the suitability of water for irrigation: theoretical and empirical approaches. In: *Prognosis of salinity and alkalinity*". *FAO Soils Bull*, 13: 69-109.
- [6] Ravikumar, P., and Somashekar, R. K. (2010). "Multivariate analysis to evaluate geochemistry of groundwater in Varahi River basin of Udupi in Karnataka (India)". *The Ecoscan*, 4(2-3): 153-162.
- [7] Li, P., Wu, J., Qian, H., Lyu, X., and Liu, H. (2004). "Origin and assessment of groundwater pollution and associated health risk: a case study in an industrial park, northwest china". *Environmental Geochemistry and Health*, 36: 693-712.
- [8] Gimenez-Forcada, E. (2010). "Dynamic of sea water interface using hydrochemical facies evolution diagram". *Groundwater*, 48(2): 212-216.
- [9] Samantara, M. K., Padhi, R. K., Sowmya, M., and Satpathy, K. K. (2017). "Heavy metal contamination, major ion chemistry and appraisal of the groundwater status in coastal aquifer, Kalpakkam, Tamil Nadu, India". *Groundwater for Sustainable Development*, 5: 49-58.
- [10] Seiler, R. L., Stollenwerk, K. G., and Garbarino, J. R. (2005). "Factors controlling tungsten concentrations in groundwater, Carson Desert, Nevada". *Applied geochemistry*, 20(2): 423-441.
- [11] Liao, F., Wang, G., Shi, Z., Huang, X., Xu, F., Xu, Q., and Guo, L. (2017). "Distributions, sources, and species of heavy metals/trace elements in shallow groundwater around the Poyang Lake, East China". *Exposure and Health*, 10(10): 1-17.

[۱۲] افتخاری، م.، اسلامی نژاد، س.ا.، حاجی الیاسی، ع.، اکبری، م.؛ ۱۴۰۰؛ "ارزیابی زمین آماری با شاخص کیفیت آب زیرزمینی به منظور آسامیدن (DGWQI) در آبخوان دشت بیرجند". محیط زیست و مهندسی آب، دوره ۷، شماره ۲، ص ۲۶۷-۲۷۸.

[۱۳] افتخاری، م.، اکبری، م.؛ ۱۳۹۹؛ "توسعه روش DRASTIC با در

۴- نتیجه گیری

بر مبنای نتایج به دست آمده از آنالیز پارامترهای تاثیرگذار بر کیفیت آب برای مصارف کشاورزی، کیفیت آب نمونه های منطقه مورد مطالعه از نظر پارامتر EC بیشترین فراوانی مقادیر هدایت الکتریکی آن به ترتیب در بازه ۲۲۵۰-۷۵۰ است. از نظر پارامتر SAR بیشترین فراوانی در کلاس دوم s2 با مقدار از ۱۰ تا ۱۸ قرار داشته است

بر مبنای نمودار رده بندی Wilcox، بیشتر در کلاس های آبیار C4-S3 (خیلی شور- برای کشاورزی نامناسب) و C4-S4 (خیلی شور- برای کشاورزی نامناسب) قرار گرفته اند.

طبقه بندی خطر درصد سدیم در آب های کشاورزی در منطقه مورد مطالعه نیز در کلاس طبقه بندی (مشکوک) و مقدار ۶۰-۴۰ درصد قرار داشته است.

تمامی نمونه های منطقه مورد مطالعه به جز ۵ نمونه در رده بندی پارامتر RSC در کلاس عالی قرار دارند. در تقسیم بندی pH آب بیشتر مقادیر اندازه گیری شده بالای حد آستانه ۷ است. طبق نمودار کیفیت آب برای مصارف صنعتی در تمام حالات رسوب گذار است. غیر از چهار مورد که در منطقه مختاران و بشروئیه و اسفدن است.

در این تحقیق روش زمین آماری در کنار روش های دیگر بررسی و مشاهده شد که پارامترهای متفاوت و داده های آماری مختلف نیازمند روش های مختلف جبری و زمین آماری اند و نمی توان برای پهنه بندی پارامترهای متفاوت از یک روش استفاده کرد. ضمن اینکه هر دو روش کارآیی سودمندی در پهنه بندی عناصر مختلف دارند. روش های زمین آماری برای تحلیل نتایج حاصل از تجزیه نمونه های آب زیرزمینی مناسب اند و به عنوان ابزاری کمکی در تغییرات مکانی متغیره ای کیفیت آب در تصمیم گیری به کار گرفته می شوند. همچنین در روش زمین آماری، بعد از نرمال سازی داده ها، مدل مناسب برای برازش به واریوگرام تجربی بر اساس کمترین SSR و سپس با استفاده از ارزیابی متقابل و SSR بهترین روش درون یابی انتخاب می شود. نتایج این پژوهش نشان داد برای تمام شاخص های کیفی آب زیرزمینی روش گاوسی متوالی بهتر از سایر روش ها، شاخص های یاد شده را شبیه سازی و صحت سنجی می کند.

۵- مراجع

- [1] Issaks, E. H., and Srivastava, R. M. (1989). "Applied Geostatistics". Newyork, Oxford University Press.

۳، ص ۱۳۵-۱۴۲.

[۱۷] اداره آب منطقه ای خراسان جنوبی؛ ۱۳۸۶؛ "شناسایی منابع آب و برنامه‌ریزی برای استفاده بهینه از منابع آب در استان خراسان

جنوبی".

[18] Todd, D. K., and Mays, L. W. (2005). "Groundwater hydrology". Welly Inte.

[19] Wilcox, L. (1955). "Classification and use of irrigation waters". Washington, D.C.: U.S. Dept. of Agriculture.

نظر گرفتن کاربری اراضی به منظور تحلیل پتانسیل آلودگی آبخوان مناطق نیمه خشک". محیط‌زیست و مهندسی آب، دوره ۶، شماره ۴، ص ۳۴۵-۳۵۹.

[۱۴] رحیم‌زاده کیوی، م.، حمزه، س.، کاردان مقدم، ح.؛ ۱۳۹۴؛ "تعیین قابلیت آسیب‌پذیری کیفی آب‌زیرزمینی دشت بیرجند با استفاده از مدل دراستیک و واسنجی آن به روش تحلیل سلسله مراتبی". پژوهش‌های جغرافیایی طبیعی، دوره ۴۷، شماره ۳، ص ۴۸۱-۴۹۸.

[۱۵] حسن‌پور، م.، خزیمه‌نژاد، ح.؛ ۱۳۹۷؛ "مکان‌یابی چاه‌های تغذیه جهت تغذیه مصنوعی و بهبود کیفیت آبخوان دشت بیرجند با استفاده از پساب تصفیه شده فاضلاب". دوره ۴، شماره ۳، ص ۲۱۶-۲۲۶.

[۱۶] کشاورز، ا.، خاشعی سیوکی، ع.، نجفی، م. ح.؛ ۱۳۹۳؛ "مکان‌یابی مناسب استحصال آب شرب با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی فازی (مطالعه موردی: آبخوان بیرجند)". دوره ۳، شماره

¹ Percent sodium

² Residual Sodium Carbonate