

Research Paper

Salinity Assessment and Ground Water Quality Mapping Using Principle Component Analysis, Case study: Khafr Plain

Easa Mohammadi¹, Homa Razmkhah^{2*}, Amin Rostami Ravari², Alireza Fararoui²

1. Former M.Sc. Student of Irrigation and Drainage, Water Science and Engineering Department, Marvdasht Branch, Islamic Azad University, Marvdasht, Iran.

2. Associate Prof. of Water Science and Engineering Department, Marvdasht Branch, Islamic Azad University, Marvdasht, Iran.

Received: 2020/12/28

Revised: 2021/01/24

Accepted: 2021/02/03

Use your device to scan and read the
article online



DOI:

10.30495/wej.2021.26939.2287

Keywords:

Interpolation, Ground water quality mapping, Kriging, Principal Component Analysis.

Abstract

Introduction: Assessment of groundwater quality and quantity variation in drought and semi-drought region are of most interest especially in Iran. This research is going to analysis salinity reasons by ground water quality mapping in the Khafr plain.

Methods: To do this the principal components of water quality extracted in spring and autumn seasons. Then Spline, IDW and Kriging interpolation techniques were fitted and evaluated for mapping. Finally, the best model was determined and ground water quality mapped using principle components.

Findings: Kriging recognized as the best model for autumn. The first component with high coefficients on TH, K, Mg, Ca, SO₄, TDS, EC showed maximum values in the center and eastern south of the region. For the second component (SAR, Cl, Na) maximum values observed at the eastern south as well. The third component (PH) increased from center to the north and western north and decreased from center to the south and eastern south, and for the Forth (HCO₃) maximum observed at the north and minimum in the eastern south. Spline method recognized as the best model in spring season. The first component (SAR, Cl, Na) showed maximum values in the eastern south of the region. The second (Th, Mg, Ca) maximum values observed at the center and the third component (PH) maximums in the west. Forth component (HCO₃) maximum valued observed in the center and western north. Finally, the reasons of spatial and temporal variation of the components analyzed.

Citation: Mohammadi E, Razmkhah H, Rostami Ravari A, Fararoui A. Salinity assessment and ground water quality mapping using principle component analysis, Case study: Khafr plain. Water Resources Engineering Journal. 2022; 15(54): 1-18.

***Corresponding author:** Homa Razmkhah

Address: Water Science and Engineering Department, Mmarvdasht Branch, Islamic Azad University, Marvdasht, Iran.

Tell: +989177038490

Email: HomaRazmkhah@gmail.com

Extended Abstract

Introduction

Multivariate statistical analysis is widely used to understand the geochemistry of aquifers. Principal Component Analysis (PCA) helps to classify Groundwater (GW) samples and identify major hydrogeochemical mechanisms influencing GW chemistry. Because of the water demand increasing and GW quality decreasing trend in the Khafr area, increased EC or salinization, multivariate statistical analysis, PCA was used to identify GW type and spatial sources of GW quality variation. In another hand, environmental management requires spatially continuous data to make a confident decision. The data are from point sources, so the value of an attribute at unsampled points needs to be estimated. Spatial interpolation is a tool for estimating the variable at unsampled sites. To our knowledge, no comparison of IDW, Kriging, and splines have been here for spatial mapping of GW quality using PCA, so these methods compared to prepare an exact GW quality spatial map to be used in GW management.

Materials and Methods

The GW samples of the Khafr aquifer in Jahrom (Iran) were collected at 18 sites for the characterization of the physicochemical properties of GW and analyzed for 12 variables in the spring and autumn seasons of four different years to evaluate the effect of natural processes on GW quality. Principal Component Analysis (PCA) of geochemical data was used to identify geochemical processes controlling GW geochemistry in each season. Diagonalization of the correlation matrix transforms the original correlated variables into uncorrelated ones called principal components (PCs), which are weighed as linear combinations of the original variables. Varimax rotation of the principal components decreases the variables with minor importance.

Cattell scree plot was used to determine the number of extracted PCs. Explained variance criterion is used to keep enough components. After extraction of the PCs, the most important variables in each one is retained. To prepare a spatial map of GW

quality, mostly used interpolation techniques such as IDW, Kriging, and splines were compared. The interpolation precision depends on the quality of technique in describing the spatial variation and correlation of the attributes. Cross-validation was used for comparing interpolation. The Mean Absolute Error (MAE) and the RMSE calculated from the measured and interpolated values at each sample site were used to compare the accuracy of predictions.

Findings

The scree plots used to identify the number of VFs in different seasons. Three components retained for the autumn, explaining 97% of the total variance, and four components for spring, explaining 99%. In the autumn, Varifactor₁ (VF₁) with high positive scores on Ca²⁺, K⁺, Cl⁻, Na⁺, TDS, EC, SO₄²⁻, and SAR, explained 55.5% of variance. VF₂, containing 32% of variance, included high positive scores on TH, Mg²⁺, and HCO₃⁻, pointing to the carbonated magnesium sediments erosion. VF₃, explaining 10% of variance had a high negative score on pH. In the spring, VF₁ with high positive scores on SAR, K⁺, Na⁺ and Cl⁻ explained 40% of variance (salinity). VF₂, containing 37% of the variance, included high positive scores on TH, Ca²⁺, Mg²⁺, SO₄²⁻ and EC (hardness). VF₃ and VF₄ origins were the same as autumn 2008. The GW quality mapping of water quality components performed using Arc GIS and IDW, OK, and splines were evaluated and compared. To perform Kriging, fitting a semi-variogram model performed and the performance of the different models (circular, spherical, exponential, Gaussian, and linear) compared based on MAE and RMSE. The results indicated that the IDW is the best method in autumn, but the difference between IDW and Kriging in 2008, was little. In the spring, spline was the best and IDW was the worst. The MAE and RMSE estimated for each VF, showed that the best interpolation technique for each VF was different, as in the autumn the best method for VF₁ was IDW, for the VF₂ was Kriging, and for VF₃, IDW and Kriging were the best. The spatial maps of VF₁ in different seasons show that high scores are generally observed at center

points and the eastern south of the study area. VF₁ values increases from center to eastern south. The maximum loading and spatial variation of VF₁ score in different periods sampling are a little different. The spatial distribution maps of VF₂ in different seasons shows that in most of the seasons, the concentration of Ca²⁺, Mg²⁺ and TH decreases along the GW flow path, as the concentration of Na⁺, SO₄²⁺ and Cl⁻ ions increase. VF₃ displays a different spatial distribution. The highest concentration of VF₁ and VF₂ are generally clustered around the center points, where VF₃ (PH) maximum values could be seen in the west and eastern south of the region in autumn, and western south and east in spring.

Discussion

The high positive scores on Ca²⁺, K⁺, Cl⁻, Na⁺, TDS, EC, SO₄²⁻, and SAR, in the autumn pointed to a common origin for these minerals like dissolution of limestone, marl, and gypsum in water (water-rock interaction). High positive scores on TH, Mg²⁺, and HCO₃⁻, pointing to the carbonated magnesium sediments erosion, and high score on pH could be from both natural and anthropogenic sources. The spatial maps of VF₁ might be from GW flow path to the eastern south of plain, and increasing EC from the solution of sedimentary rocks. Seasonal variation of GW level due to withdrawal of water for agriculture, and recharge difference (dominantly precipitation) in the summer and winter seasons, could also affect the spatial variation of GW quality. Decreasing of Ca²⁺, Mg²⁺ and TH, and increasing Na⁺, SO₄²⁺ and Cl⁻ along GW flow path, could be corresponded to systematic decrease of salinity in the NW-SE direction, explaining hydrochemical processes along the GW path. Decreasing of Ca²⁺, Mg²⁺, and HCO₃⁻ can be explained by carbonate precipitation (e.g. calcite, dolomite, etc.). Additionally, the high SO₄⁺ concentration indicates that the source is mainly gypsum (other sources include fertilizers and wastewater containing sulfate). However, carbonate precipitation or gypsum dissolution reactions alone cannot explain chemical reactions. Considering that the aquifer has high clay

content, there is probably an important contribution from the ion exchange reactions called “natural water softening reaction”. It also describes the increase in Na⁺ concentration and the decrease in Ca²⁺ and Mg²⁺ along flow path.

Conclusion

Principal component analysis of GW data, was used to identify geochemical processes controlling GW quality. PCA found a reduced number of latent variables (PCs). A varimax rotation of these PCs led to a reduced number of varifactors related to a small group of experimental variables with a more explicit hydrochemical meaning generally named salinity and hardness. In each sampling duration, the best interpolation technique was different. The best interpolation technique for each VF was also different. Along the GW flow path generally, the value of hardness decreased, as the value of salinity increased. This is corresponded to the systematic decrease in salinity scores in the NW-SE direction, suggesting that hydrochemical processes are decreasing along the GW path. Most of the regions (samples) can be regarded as recharge area waters due to the dominance of Ca-Mg-HCO₃ water type. The combination of the geostatistics and GIS techniques in this study provided an efficient way for analyzing a high-dimensional hydrochemical data set from Khafr area.

Ethical Considerations compliance with ethical guidelines

The cooperation of the participants in the present study was voluntary and accompanied by their consent.

Funding

No funding.

Authors' contributions

Design and conceptualization, Methodology and final writing: Homa Razmkhah.
Data analysis: Eisa Mohammadi
Supervision: Amin Rostami Ravari, Alireza Fararoei and Homa Razmkhah.

Conflicts of interest

The authors declared no conflict of interest.

مقاله پژوهشی

تحلیل شوری و پهنه بندی کیفیت آبهای زیرزمینی با استفاده از تکنیک تجزیه به مولفه های اصلی، مطالعه موردی: دشت خفر

عیسی محمدی^۱، هما رزمخواه^{۲*}، امین رستمی راوری^۲، علیرضا فرارویی^۲

۱. دانش آموخته کارشناسی ارشد رشته آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی آب، واحد مرودشت، دانشگاه آزاد اسلامی، مرودشت، ایران.

۲. استادیار گروه مهندسی آب، واحد مرودشت، دانشگاه آزاد اسلامی، مرودشت، ایران.

چکیده

مقدمه: توجه به تغییرات کمی و کیفی منابع آب زیرزمینی، به خصوص در مناطق خشک و نیمه خشک ضروری است. این تحقیق با هدف تحلیل علل شوری و پهنه بندی کیفی آب زیرزمینی دشت خفر، تعیین نقاط آلوده و بررسی دلایل آن انجام گرفت.

روش: بدین منظور برای میانگین سالانه داده های فصل های بهار و پاییز مولفه های اصلی آلودگی آب زیرزمینی استخراج شد. سپس مدل های منحنی پوش (Splin)، عکس فاصله (IDW) و کریجینگ (Kriging) جهت ارزیابی درون یابی استفاده و مناسب ترین مدل با استفاده از تکنیک اعتبارسنجی متقاطع و معیارهای ارزیابی میانگین مطلق مربعات خطا و ریشه دوم میانگین مربعات خطا تعیین و نقشه های پهنه بندی کیفیت تهیه شد.

یافته ها: در ارزیابی روشهای درون یابی پاییز مدل کریجینگ رتبه اول دقت درون یابی را به خود اختصاص داد. نقشه پهنه بندی مولفه های اصلی استخراجی پاییز بالاترین مقدار مولفه اول (سختی، پتاسیم، منیزیم، کلسیم، سولفات، TDS و EC) را در جنوب شرقی و مرکز دشت نشان داد. بیشترین مقدار مولفه دوم (سدیم قابل جذب، کلر و سدیم) نیز در جنوب شرقی دشت دیده شد. مولفه سوم (PH) از مرکز دشت به سمت شمال و شمال غربی افزایش، و از مرکز به طرف جنوب و جنوب شرق کاهش داشت. مولفه چهارم (بیکربنات) بیشترین مقدار را در شمال و کمترین میزان را در جنوب شرقی دشت نشان داد. در بین روشهای درون یابی فصل بهار مدل منحنی پوش به عنوان مدل برتر شناخته شد. نقشه پهنه بندی بیشترین مقدار مولفه اول (کلر، سدیم و سدیم قابل جذب) را در جنوب شرقی دشت نشان داد. مولفه دوم (کلسیم و منیزیم و سختی) مقادیر بالایی را عمدتاً در مرکز دشت، مولفه سوم (PH) بیشترین مقادیر را در غرب دشت، و مولفه چهارم (بیکربنات) بیشترین مقادیر را در مرکز و شمال غربی دشت نشان داد.

نتیجه گیری: تغییرات مکانی پهنه بندی آلاینده ها در فصول مختلف می تواند به علت تغییرات فصلی عوامل هیدروکلیماتولوژی نظیر بارندگی و تبخیر، بهره برداری از چاه ها و یا نفوذ پسابهای صنعتی باشد. بررسی نسبت کلر به بی کربنات نمونه ها موید ورود رواناب شور گنبدیهای نمکی خاوران به جنوب شرقی منطقه است.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۰/۰۸

تاریخ داوری: ۱۳۹۹/۱۱/۰۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۳/۲۴

از دستگاه خود برای اسکن و خواندن مقاله به صورت آنلاین استفاده کنید



DOI:

10.30495/wej.2021.26939.2287

واژه های کلیدی:

تجزیه به مولفه های اصلی، درون یابی، پهنه بندی کیفیت آب زیرزمینی، کریجینگ.

* نویسنده مسئول: هما رزمخواه

نشانی: گروه مهندسی آب، واحد مرودشت، دانشگاه آزاد اسلامی، مرودشت، ایران.

تلفن: ۰۹۱۷۷۰۳۸۴۹۰

پست الکترونیکی: HomaRazmkhah@gmail.com

مقدمه

منابع آب از دیرباز آغازگر و تداوم بخش حیات موجودات زنده بوده و هستند. با دستیابی بشر به علم و فن استخراج آب از زیرزمین، این منبع به بزرگترین تأمین کننده آب نیازهای گوناگون انسان بدل شد. خروج آب زیرزمینی از چاه ها نه تنها دخالت مصنوعی در چرخه طبیعی آب بود بلکه عامل آلودگی را نیز به سیستم تحمیل کرد. لذا مهمترین منبع نیاز بشری در مسیر بحران قرار گرفت. با توجه به آمار موجود و مطالعات انجام گرفته آب کمیاب ترین عامل تولید محصول کشاورزی در ایران است (۱). از کل آب مصرفی کشور حدود ۹۰٪ آن در بخش کشاورزی مصرف می شود (۲). در سالیان اخیر حداکثر بهره برداری از منابع آب استان انجام شده و تمامی دشت ها با بیابان منفی مواجه بوده اند. از نظر کیفی نیز در بعضی از دشت ها به دلیل هجوم آب شور، کیفیت منابع آب کاهش یافته، بطوریکه امکان استفاده از آن را غیرممکن می سازد. این در صورتی است که بازده آبیاری حدود ۴۰٪ برآورد شده است (۳). تلفات آبیاری علاوه بر از دست رفتن آب، باعث صدمات جدی از قبیل شور و ماندابی شدن اراضی، فرسایش خاک، کاهش حاصلخیزی خاک، کاهش کمی و کیفی تولید کشاورزی و در نهایت آلودگی آب های سطحی و زیرزمینی می شود. لذا اتخاذ تدابیر لازم جهت بالا بردن بازده آبیاری ضروری است.

تکنیک تجزیه به مولفه های اصلی و ابزارهای زمین آماری در مطالعات کیفیت آبهای زیرزمینی کاربردهای بسیاری پیدا کرده است، که اشاره ای به برخی از آنها خواهیم داشت. در خارج کشور جاگر (۱۹۹۰) از روش های زمین آماری برای درون یابی متغیرهای کیفیت آب زیرزمینی استفاده کرد و نتیجه گرفت که کرجینگ از دیگر روشها برای درون یابی بهتر است (۴). کزیک (۱۹۹۷) روش کرجینگ را قابل اعتمادترین، قویترین و گسترده ترین روش برای درون یابی و تهیه منحنی های تراز آبهای زیرزمینی دانست و عنوان کرد که در این روش واریانس مکانی، موقعیت و توزیع نمونه ها مورد ملاحظه قرار می گیرد (۵). داگوستینو و همکاران (۱۹۹۸) به بررسی تغییرات زمانی و مکانی غلظت نیترات در آبهای زیرزمینی با استفاده از روشهای کوکریجینگ و کریجینگ معمولی پرداخته، نشان دادند که کوکریجینگ باعث کاهش عدم قطعیت (واریانس) تخمین نیترات شده و کاهش هزینه نمونه برداری صحرائی و کارهای آزمایشگاهی را در پی دارد (۶). محمدی و مرون (۱۹۹۹) از ابزارهای زمین آمار برای تهیه نقشه خطر منطقه ای آلودگی اکولوژیک استفاده نمودند (۷). احمد (۲۰۰۲) کریجینگ را در تخمین همبستگی مکانی متغیرهای کیفی TDS آب بکار برده، نشان داد کریجینگ قابلیت بالایی دارد (۸). لوو و باتلر (۲۰۰۳) نشان دادند که استفاده بیش از حد کودهای شیمیایی خطری جدی برای آبهای زیرزمینی و بهره برداران محسوب می شود (۹). کونل و دائل (۲۰۰۳) با تلفیق GIS و نمایه های آسیب پذیری تهیه نقشه های پتانسیل آلودگی را تسهیل و مدیریت منابع آب و کاربری اراضی را بهبود بخشیدند (۱۰). مارنگو و همکاران (۲۰۰۸) مشخصه های فیزیکی و شیمیایی آب ۴۴ چشمه را توسط تکنیک تجزیه به مولفه های اصلی مورد بررسی قرار داده و خصوصیات کیفی آب های زیرزمینی غرب ایتالیا را آنالیز نمودند (۱۱). جلیلی (۲۰۰۷) نشان داد که در مناطقی که

از سیستم انتقال فاضلاب استفاده نمی شود، آلودگی های فاضلاب به آب زیرزمینی منتقل شده و حرکت آب باعث گسترش آلودگی می شود. همچنین افزایش میزان EC، سدیم، کلر، سولفات و نیترات بیشتر در اثر فعالیتهای انسانی مانند عملیات کشاورزی فشرده، کودهای شیمیایی، و مصارف شرب و صنعت می باشد (۱۲). فتوانی و همکاران (۲۰۰۸) تأثیر آبیاری اراضی را بر کیفیت آب زیرزمینی مراکش مورد بررسی قرار داده، نیترات را با تکنیک کریجینگ مدل سازی کردند (۱۳). بارکا و پاسارلا (۲۰۰۸) جهت تهیه نقشه خطر نیترات در دشت مادانای ایتالیا از کریجینگ و روش های شبیه سازی استفاده نموده، نشان دادند کریجینگ روشی مناسب برای این منظور است (۱۴). ماهاپاترا و همکاران (۲۰۱۲) به منظور طبقه بندی نمونه های آب زیرزمینی، جهت کنترل آلاینده ها، از تکنیک تجزیه به مولفه های اصلی استفاده کردند (۱۵). مگش و همکاران (۲۰۱۳) با استفاده از اندیس کیفیت WQI و تکنیک های پهنه بندی GIS به ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی و تعیین تغییرات مکانی غلظت یونها پرداختند. نتایج بیانگر تأثیر فرآیندهای اندرکنش آب-سنگ و زمان ماند آبهای زیرزمینی بر غلظت یونهای اصلی و پارامترهای فیزیکوشیمیایی آب زیرزمینی بود، اگر چه غلظت بالای نیترات ناشی از منابع انسانی بود (۱۶). بالخیری و نارانی (۲۰۱۵) به منظور بررسی تغییرات مکانی کیفیت آب زیرزمینی از تکنیک های آماری چند متغیره تجزیه به مولفه های اصلی، آنالیز خوشه ای، تکنیک های زمین آماری و مدل های ساختاری Structural Equation Modeling (SEM) استفاده کردند. آنالیز مولفه های اصلی نشان داد که دو فاکتور اندرکنش آب-سنگ و منابع انسانی بیانگر حدود ۸۵ درصد از واریانس داده ها می باشد. آنالیز SEM نیز نتایج آنالیزهای چند متغیره را تأیید نمود (۱۷). بویگان و همکاران (۲۰۱۶) به منظور ارزیابی منابع آلودگی و تغییرات مکانی آلودگی آب زیرزمینی از اندیس های کیفی، تحلیل های چند متغیره و مدل های زمین آماری استفاده کردند. نتایج آنالیز تجزیه به مولفه های اصلی نشان داد که کیفیت آب زیرزمینی تحت تأثیر منابع طبیعی زمین زاد Geogenic (هوازدگی و تعویض ژئو شیمیایی سنگها) است که توسط منابع انسانی مانند فاضلابهای دامداری آن را تحت تأثیر قرار می دهند. آنالیز خوشه ای و ماتریس همبستگی نتایج حاصل از مولفه ها را تأیید کردند. در پهنه بندی روش زمین آماری گوسی مناسب ترین مدل برای درون یابی مولفه ها شناخته شد (۱۸). کاوو و کاروپانان (۲۰۱۸) به منظور بررسی مناسب بودن کیفیت آب شرب و آبیاری از اندیس کیفیت آب WQI و پهنه بندی کیفی آب زیرزمینی استفاده کردند. اندرکنش آب-سنگ و تبادل کاتیونی در مسیر حرکت آب (فرآیندهای زمین زاد) و فعالیت های انسانی نظیر پساب های شهری و کودها عامل خصوصیات جاری هیدروژئوشیمیایی شناخته شد (۱۹). راثو و همکاران (۲۰۱۹) به منظور ارزیابی کیفیت آب شرب و صنعت، و شیمی آب زیرزمینی از تکنیک تجزیه به مولفه های اصلی استفاده کردند. آنالیز مذکور بیانگر جاکم بودن فرآیندهای هوازدگی، انحلال املاح معدنی و فعالیت های انسانی بر شیمی آبخوان بود (۲۰). یانگ و همکاران (۲۰۲۰) به منظور بررسی تغییرات زمانی و مکانی کیفیت آب رودخانه از تکنیک های تجزیه به مولفه های اصلی و IDW استفاده کردند. مولفه ها نشان دادند که منابع

شناخته شد (۲۹). صفوی و همکاران (۲۰۱۴) با استفاده از تکنیک مولفه های اصلی به تعیین معیار آلودگی رودخانه زاینده رود پرداختند. سپس توسط روش تحلیل طبقه بندی فازی بازه های رودخانه را طبقه بندی کیفی نمودند (۳۰). عینلو و همکاران (۲۰۱۶) به منظور شناخت وضعیت کیفی آبخوان به ارزیابی روش های عکس فاصله، توابع شعاعی (RBF)، تخمینگر موضعی (GPI) و تخمینگر عام (LPI) و کریجینگ معمولی، توسط روش اعتبارسنجی متقابل (CV) و معیار RMSE پرداختند. نتایج روش عکس فاصله را مناسب ترین روش برای درون یابی EC و PH و تخمینگر شعاعی را بهترین برای TH و TDS نشان داد. دلیل روند کاهش کیفیت آبهای زیرزمینی نیز برداشت بی رویه از منابع، حفر چاه های غیر مجاز و گسترش فعالیت های صنعتی شناخته شد (۳۱). صمدی (۲۰۱۷) به مدلسازی تراز و تغییرات مکانی سطح آبهای زیرزمینی کاشان با استفاده از روشهای درون یابی پرداخت. در این مطالعه توابع چند جمله ای موضعی دارای بالاترین دقت درون یابی شناخته شد. نتایج نشان داد مناطق مسکونی پر جمعیت به دلیل تشدید بالای تغذیه از طریق پاهای دفع فاضلاب خانگی و نواحی جنگلی باعث افزایش سطح آب زیرزمینی، و فعالیت های صنعتی، کشاورزی و استحصال آب سبب کاهش شدید تراز شده است (۳۲). نصرتی و همکاران (۲۰۱۸) به منظور ارزیابی کیفیت آبهای زیرزمینی ملارد از تحلیل های آماری چندمتغیره استفاده کردند. بدین منظور ابتدا بر اساس تحلیل خوشه ای سلسله مراتبی چاه های شرب به سه دسته تقسیم بندی گردید. سپس به منظور شناخت مهم ترین پارامترهای موثر بر تغییرات کیفیت آب، بر داده های هر منطقه همگن آنالیز تجزیه به مولفه های اصلی اجرا شد. نتایج نشان داد که پارامترهای موثر بر تغییرات کیفی به طور عمده با سازندهای تبخیری، کودهای شیمیایی، فاضلابهای خانگی و دفع غیر اصولی فضولات پرورشگاه های دام و طیور مرتبط است (۳۳). قره محمدلو و همکاران (۲۰۱۹) به منظور بررسی کیفیت آبهای زیرزمینی دشت سیدان-فاروق و تعیین عوامل اصلی آلودگی در نقاط مختلف به پهنه بندی کیفی برخی از پارامترهای شیمیایی پرداختند. بر اساس نتایج هیدروژئوشیمی، اندرکنش آب-سنگ و هوازدگی کانی های کربناته عامل اصلی تغییر شیمی آب در منطقه بود. از آنجایی که بیشتر سنگهای تغذیه کننده آبخوان آهکی هستند، غالب بودن یونهای کلسیم و بی کربنات در آب زیرزمینی بدیهی به نظر می رسد. تغذیه آبخوان توسط سنگ های آهکی-دولومیتی و دولومیتی در برخی مناطق سبب افزایش نسبت منیزیم در حدود ۴۰٪ از نمونه ها و افزایش سختی شده است (۳۴). سیفی و ربیاحی مدوار (۲۰۲۰) جهت پهنه بندی و ارزیابی عدم قطعیت آلودگی فلزات سنگین منابع آب سطحی مجاور معدن مس، روشهای شبیه سازی نمایی، کروی، مربعی، کریجینگ معمولی و کریجینگ ساده را ارزیابی و ریسک آلودگی زونهای مورد مطالعه را تعیین نمودند (۳۵).

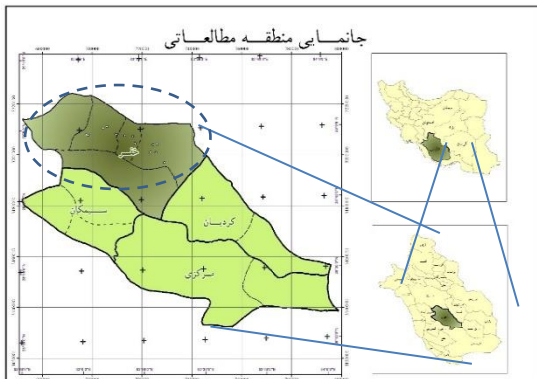
با توجه به شغل کشاورزی اکثر مردم خفر، روند کاهش بارندگی در دهه قبل، و وجود حدود ۷۰٪ از اراضی تحت پوشش مرکبات، گیاهان زراعی، شتوی و صیفی در منطقه، کاهش مشهودی در کمیت و کیفیت آب زیرزمینی مشاهده شده، لذا جزء مناطق ممنوعه برداشت آبهای زیر

کشاورزی، فرسایش، دامداری و صنعت عوامل اصلی موثر بر آلودگی آب منطقه هستند. درون یابی مولفه ها به روش IDW و نقشه های پهنه بندی حاصله در زمانهای مختلف، جهت بررسی تغییرات زمانی و مکانی کیفیت آب به کار رفت و مناطق کلیدی آلوده نیازمند به کنترل رودخانه را تعیین نمود. مطالعه فوق موید کارآمدی ترکیب روش های مذکور در بررسی کیفیت آب برای کاهش فشار تغذیه گرایبی دریاچه تغذیه کننده از رودخانه بود (۲۱).

در ایران میثاقی و محمدی (۲۰۰۵) کیفیت و سطح آب زیرزمینی را با استفاده از روشهای متداول درون یابی و تکنیک های زمین آمار برآورد کرده، روشها را مقایسه نمودند. نتایج کوکریجینگ را بهترین روش برای درون یابی آبخوان تشخیص داد (۲۲). لطیف و همکاران (۲۰۰۵) با نمونه برداری از ۴۰ چاه در حوالی دشت مشهد ۱۳۸۰ مقدار نیترات، PH، EC، TDS، کربنات، بی کربنات را تعیین و با استانداردهای جهانی مقایسه و منشأ آلودگی را نسبت فاضلاب خانگی به آب های زیرزمینی تشخیص دادند (۲۳). طباطبائی و همکاران (۲۰۰۶) برای مطالعه آب های زیرزمینی اصفهان از رودخانه زاینده رود و ۲۱ چاه موجود در دو مرحله نمونه برداری انجام دادند. نتایج آزمایشهای شیمیایی و میکروبی وجود چهار تیپ بیکربنات کلسیم، سولفات کلسیم، کلرور سدیم و سولفات سدیم را در آب زیرزمینی نشان داد و علل این آلودگی ها در هر بخش از سفره تحلیل شد (۲۴). لاله زاری و طباطبائی (۲۰۱۰) خصوصیات شیمیایی آب زیرزمینی دشت شهرکرد را ارزیابی کردند. نتایج نشان داد که غلظت کلسیم، منیزیم، سولفات، بیکربنات کلر و سدیم در جنوب دشت، میزان سختی و باقیمانده خشک در جنوب، و غلظت نیترات در شمال دشت حداکثر است (۲۵). شعبانی (۲۰۰۹) برای انتخاب روش مناسب درون یابی جهت پهنه بندی کیفی دشت ارسنجان از روش ارزیابی متقابل استفاده نمود، نشان داد که برای تهیه نقشه TDS منطقه، روش تابع شعاعی (RBF) از سایر روشها مناسبتر است. از بین روش های کریجینگ نیز، کریجینگ ساده (SK) مناسب تر از سایرین شناخته شد. مقایسه روش های RBF و SK، روش SK را ارجح دانست (۲۶). لاله زاری و همکاران (۲۰۰۹) با هدف بررسی گسترش آلودگی، تغییرات ماهانه نیترات آب زیرزمینی دشت شهرکرد را توسط سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) در کل دشت پهنه بندی و تحلیل کردند. بیشترین غلظت نیترات در تابستان به دلیل برداشت زیاد آب جهت فعالیت های کشاورزی مشاهده شده و در پاییز و زمستان غلظت رو به کاهش رفت (۲۷). رزمخواه و همکاران (۲۰۱۰) تغییرات زمانی و مکانی کیفیت آب رودخانه جاجرود تهران را با استفاده از تکنیکهای تجزیه به مولفه های اصلی و آنالیز خوشه ای مورد ارزیابی قرار داده، درصد منابع طبیعی و انسانی آلاینده را در فصول مختلف تعیین نمودند (۲۸). نادریان فر و همکاران (۲۰۱۲) به منظور شناخت تاثیر شوری بر نفوذپذیری خاک به پهنه بندی مقادیر EC و TDS آب زیرزمینی پرداختند. بدین منظور روشهای درون یابی کریجینگ معمولی، لوگ کریجینگ، کوکریجینگ، نمایی، کروی، عکس فاصله و منحنی پوش مورد ارزیابی و مقایسه قرار گرفت. در این میان روشهای کوکریجینگ، نمایی و کروی مناسب تر از سایرین

¹ Geographic Information System

ممنوعه خفر را تحت تاثیر قرار دهد. در بسیاری از نقاط نیمه جنوبی محدوده به دلیل بیرون زدن سنگ کف آبرفت وجود ندارد و گسیختگی زیادی بین طبقات آبرفت دیده می شود. دشت خفر توسط رودخانه قره آقاج به دو بخش شمالی و جنوبی تقسیم می گردد. بخش جنوبی از آبرفتهای موضعی و نازک تشکیل شده که سفره های سطحی ضعیف و مستقلی در آنها بوجود آمده است. ولی در خفر شمالی آبخوان یکنواخت و مرتبط است (۳۷). تعداد ۱۴ حلقه چاه بهره برداری، ۲ دهنه چشمه و ۲ رشته قنات جهت نمونه برداری کیفی انتخاب و در سال در دو نوبت نمونه آب از آنها تهیه می شود. نمودار کموگراف سفره شمالی نشان داد که کیفیت آب با گذشت زمان در حال نزول است. آمار همچنین بیانگر پایین آمدن کیفیت ۸ حلقه چاه بود، بطوریکه در یک حلقه کیفیت ۷۰٪ کاهش پیدا کرده است. محاسبات بیان آن آبخوان سفره های شمالی و جنوبی نیز بیانگر کاهش سالانه حجم ذخیره ثابت سفره ها بود. جلوگیری از توسعه بهره برداری نخستین گام در راه آینده نگری و نجات منطقه از بحران است (۳۸).



شکل ۱- جانمایی دشت خفر در استان و کشور

مطالعات میدانی و نمونه برداری از آب زیرزمینی

در این تحقیق با مشاوره و بهره گیری از کارشناسان، از ۱۸ ایستگاه شرکت سهامی آب منطقه ای فارس که دارای پراکندگی مناسبی در منطقه است استفاده شد. موقعیت ایستگاه ها در شکل ۴ قابل مشاهده می باشد. ابتدا نقاط با دستگاه GPS برداشت شد. در مرحله بعد موتور پمپ روشن و بعد از حداقل ۳ ساعت از کار موتور پمپ و پمپاژ آب مانده در چاه، از آب جاری چاه که معرف سفره آب زیرزمینی تغذیه کننده چاه است نمونه گیری انجام شد.

مواد محلول در آب حاصل یک سلسله فرآیندهای شیمیایی است که منجر به تعادل های هیدروشیمیایی می شوند. این تعادلها به علل فیزیکی، بیولوژیکی، و عوامل ترمودینامیکی، پایداری خود را از دست می دهند. از این رو EC و PH در محل اصلی بلافاصله با دستگاه قابل حمل دیجیتال اندازه گیری شد. ظروف نمونه برداری آب پلی اتیلن یا شیشه ای بود. بطری های پلی اتیلن قبل از استفاده به مدت یک روز با محلول پتاسیم یداید ۰.۸٪ و بطری های شیشه ای با محلول هیدروفلوئوریک اسید ۰.۵٪ پر شد و سپس مورد استفاده قرار گرفت. نمونه گیری از چاه های فعال پس از چند دقیقه پمپاژ و اطمینان از اینکه آب

زمینی شناخته شده و اجازه خفر هیچ گونه چاهی داده نمی شود. با توجه به عدم انجام تحقیق کیفی آب زیرزمینی در این منطقه، پژوهش حاضر به منظور پهنه بندی کیفیت آب زیرزمینی دشت خفر، تعیین نقاط آلوده و بررسی دلایل شوری انجام گرفت. بدین منظور مولفه های اصلی کیفیت آب استخراج و مناسبترین روش درون یابی جهت پهنه بندی مولفه ها تعیین شد. سپس مناطق آلوده شناسایی و راهکارهایی جهت حفظ و بهبود کیفیت آب ارائه گردید.

مواد و روش ها

ویژگیهای جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

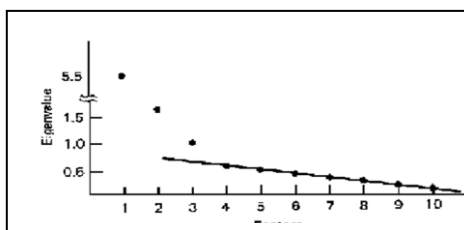
محدوده مطالعاتی خفر در جنوب شرقی شهر شیراز، در فاصله تقریبی ۱۳۰ کیلومتری آن قرار گرفته است. این محدوده به دلیل موقعیت توپوگرافی آن، به صورت دشتی دراز و کم عرض به طول حدود ۴۵ و عرض ۳ تا ۵ کیلومتر و ارتفاع متوسط حدود ۱۳۰۰ متر است و رودخانه «قره آقاج» از میان آن عبور می کند. کوه گر دیواره شمالی و کوه سپیدار دیواره جنوبی این محدوده را ساخته اند. وسعت محدوده مطالعاتی خفر ۱۱۲۱ کیلومتر مربع است، که ۸۸۴ کیلومتر مربع آن را کوهها پوشانده اند، و ۲۳۷ کیلومتر مربع آن را دشت های خفر شمالی و جنوبی تشکیل می دهد. این منطقه یکی از زیرحوزه های حوزه آبریز خلیج فارس، با نام «حوزه آبریز رودخانه مند» است که به دو بخش «مند علیا» و «مند سفلی» تقسیم می شود. «محدوده خفر» به دو بخش «خفر شمالی» و «خفر جنوبی» تقسیم می شود (۳۶). دشت خفر در شمال شهرستان جهرم و جنوب شرقی شیراز واقع شده است. جهت شناخت بیشتر دشت، در شکل ۱ موقعیت دشت خفر در استان و کشور جانمایی شده است.

رودخانه قره آقاج به عنوان مهمترین منبع آب سطحی در امتداد دشت خفر جریان دارد و بخش عمده ای از آب کشاورزی دشت را بصورت مستقیم و غیرمستقیم تامین می کند. بدلیل بهره برداری زیاد و غیرمجاز، و بروز خشکسالی، از اواخر اردیبهشت تا پایان مهر ماه بستر رودخانه در طول تقریبی ۵۰ کیلومتر خشک می گردد. متوسط بارندگی دشت ۳۲۲/۳ میلیمتر برآورد شده، از نظر اقلیمی دارای یک ناحیه کوچک معتدل (حد باختری) است، ولی قسمت عمده آن آب و هوای گرمسیری دارد.

زمین شناسی دشت خفر

دشت خفر در ناودیسسی باریک و کشیده قرار گرفته، و رخنمون هایی از نهشته های سازندهای میشان، آغاچاری و کنگلومرای بختباری در مناطق مختلفی از آن دیده می شود. سنگ کف دشت در بیشتر نقاط سازند آغاچاری و در حوالی جنوب رودخانه بیشتر آغاچاری و رازک است. آبرفت دشت نازک و سطحی بوده و بافت آن دانه درشت است. بیشترین عمق آبرفت حدود ۷۰ متر است. تاقدیس سفیدار در جنوب و تاقدیس گر در شمال دشت، با سنگ آهک آسماری جهرم است. سنگ کف سفره خفر شمالی در نواحی خاوری از جنس آغاچاری با رگه های کنگلومرای حاوی آب شور می باشد. وجود گنبد نمکی خاوران در حد شمال خاوری حوزه سبب شده که سیلابهای شور حوزه خاوری دشت

test score استاندارد شده باشد. راهکار دیگری که توسط کتل در سال ۱۹۶۶ بیان شد تست Scree نامیده می شود. در این روش مقادیر بردارهای ویژه مولفه ها به ترتیب استخراج می شوند. نقطه خم منحنی اتصال نقاط، از تلاقی خطی مستقیم از نقاط انتهایی با منحنی حاصل می شود. تعداد مولفه ها از نقطه ای که در آن منحنی حاصل از اتصال مولفه ها بالای خط مستقیم حاصل از تلاقی بردارهای ویژه کوچکتر واقع می شود بدست می آید. کتل و جاسپرز در سال ۱۹۶۷ پیشنهاد دادند که تعداد فاکتورهای استخراجی برابر شماره نقطه قبل از شروع خط راست می باشد. شکل ۲ نشان دهنده موردی فرضی است که در آن چهار مولفه استخراج می شود (۳۸).



شکل ۲- Scree plot

تهیه نقشه های پهنه بندی مکانی

با توجه به اینکه نمونه برداری از تمام نقاط محدوده مطالعاتی مقدور نیست، از روش های پهنه بندی که ابزاری قدرتمند در تخمین تغییرات مکانی داده هاست، استفاده می شود (۳۲). نقشه های مکانی ابزار بصری کاربردی و قدرتمند را در اختیار تصمیم گیرندگان راهکارهای سازگاری و مدیریت بهتر کیفیت آبهای زیرزمینی قرار می دهند (۱۸). تکنیکهای درون یابی (Interpolation) به دو شیوه انجام می شود. روش اول که به نام روش درون یابی صریح (Deterministical) شناخته شده است، از مدل های آمار کلاسیک استفاده می کند و به مطالعات واریوگرافی وابسته نیست. روش دوم درون یابی زمین آماری (Geostatistical) می باشد و مدل های زمین آمار را به کار می گیرد. این تکنیکها در دو سطح جهانی و محلی اجرا می شوند. درسطوح جهانی از تمام مشاهدات استفاده می شود، به عبارت دیگر، مدل درکل یک لایه اجرا می شود. اما در سطح محلی، ارزش های نقاط همسایه در نظر گرفته می شود. در میان مدل های متداول درون یابی، می توان به مدل های وزن دهی معکوس فاصله (Inverse Distance (IDW) و درون یابی موضعی اسپیلاین و کریجینگ اشاره نمود.

روش وزن دهی معکوس فاصله (IDW)

در این شیوه مقدار یک کمیت در نقاطی با مختصات معلوم، با استفاده از مقدار همان کمیت در نقاط دیگری با مختصات معلوم به دست می آید. به عبارت دیگر در این روش، ارزش یک متغیر بر اساس میانگین همسایه ها در محدوده های معین محاسبه می شود. به طوری که

جاری معرف سفره آب است، انجام و پارامترهای Ca, Mg, Na, TH, K, EC, TDS, PH, HCO3, SAR, Cl, SO4 اندازه گیری گردید.

آنالیز مولفه های اصلی

آنالیز مولفه های اصلی یا PCA^۲ به عنوان ابزاری موثر جهت اجرای استراتژیهای مدیریتی توسعه پایدار شناخته شده است (۲۰). این روش داده های اولیه را به مجموعه کوچکتری از ترکیبات خطی داده ها تبدیل می کند که بیانگر بیشترین میزان واریانس داده های اصلی است. هدف از این روش تعیین فاکتورهای مستقل، جهت بیان قسمت اعظم تغییرات داده ها با کمترین تعداد فاکتور ممکن است (۳۹). مولفه ها به گونه ای استخراج می شوند که اولین مولفه اصلی یا PC^۱ بیانگر بالاترین درصد از کل تغییرات داده ها باشد. این آنالیز عموماً بر متغیرهای اولیه همبسته صورت می گیرد، تا پارامترهایی که تغییرات مشابهی را اندازه گیری می کنند حذف شده، مولفه های کمتری مورد بررسی قرار گیرد. مولفه های اصلی معیارهایی جهت نشان دادن جنبه های متفاوت داده ها می باشند. در این تحقیق برای محاسبه PC ها از روش چرخش عمودی به روش Varimax که معمول ترین روش کاربردی چرخش مولفه هاست، استفاده شد (۲۸).

تعداد مولفه های اصلی استخراجی

آنالیز مولفه های اصلی غالباً به منظور تهیه حجم کوچکتری از متغیرها جهت بیان تغییرات متغیرهای اصلی و قابل کاربرد در آنالیزهای بعدی انجام می گیرد. حال بایستی تعداد مولفه های استخراجی را تعیین نمود. متأسفانه روش جهانی پذیرفته شده ای جهت نیل به این منظور موجود نیست و این مسئله مورد بحث و تحقیق بسیاری از محققان واقع بوده است. روشهای زیادی جهت تعیین تعداد مولفه های استخراجی پیشنهاد شده است. دامنه این قوانین از روش آزمونهای معنی داری تا روشهای غیرفرمالیته نظیر گرافهای اکتشافی متغیر است. از روش های معمول در این زمینه می توان به روش Variance Covariance Input و روش Correlation Input اشاره نمود. روش Correlation Input که کاربرد گسترده ای در تحقیقات دارد در این مطالعه مورد استفاده قرار گرفته که به شرح آن می پردازیم.

روش Correlation Input

پس از تشکیل ماتریس همبستگی، تستهای آماری دیگری بکار نمی روند و معیار توقف واریانس معنی خود را از دست می دهد. به این منظور گرافهای اکتشافی مختلفی پیشنهاد شده است. یکی از معمولترین روشهای استخراجی " معیار قانون ریشه های بزرگتر از یک " است که در سال ۱۹۵۸ توسط کریزر پیشنهاد شده است. طبق این قانون مولفه هایی که مقدار بردار ویژه آنها بزرگتر از یک است انتخاب می شوند. منطقی این معیار بر این پایه است که مقدار واریانس هر مولفه استخراجی بایستی بیش از واریانس متغیرهای منفرد در فضای

³ Principle Component

² Principle Component Analysis

می باشد، و در مورد آن می توان گفت که بهترین تخمینگر خطی نا اریب است. شرط نا اریب بودن در دیگر روشها مانند چند ضلعی، عکس فاصله و عکس مجذور فاصله نیز عمل می شود، ولی ویژگی کریجینگ آن است که ضرایب را به گونه ای تعیین می کند که در عین نا اریبی، واریانس تخمین نیز حداقل باشد. بنابراین کریجینگ به همراه هر تخمین مقدار خطای آن را نیز می دهد. با استفاده از این ویژگی می توان قسمتهایی که در آن خطا بالاست را مشخص و نمونه گیری را در آنجا افزایش داد. از طرفی، قبل از نمونه برداری در هر نقطه می توان میزان کاهش واریانس تخمین را به ازای آن نمونه محاسبه و بهترین نقاط نمونه برداری را تعیین کرد.

شعاع جستجو

با افزایش فاصله ساختار فضایی ضعیف می شود و نهایتاً از بین می رود. نقاطی که در فاصله دورتر از شعاع تاثیر نقطه تخمین قرار دارند، عملاً روی این نقطه تاثیر نداشته و لازم نیست که در فرآیند تخمین آن نقطه وارد شوند. به حداکثر فاصله ای که نقاط واقع در آن در تخمین شرکت داده می شوند شعاع جستجو گفته می شود. این شعاع را معمولاً برابر شعاع تاثیر یا دو سوم آن در نظر گرفته می شود و از روی واریوگرام قابل محاسبه است (۴۲). معادلات کلی کریجینگ به صورت زیر است.

$$Z^*(x) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i) \quad (2)$$

$Z^*(x)$: مقدار تخمین زده شده Z در نقطه X

$Z(x)$: وزن یا اهمیت نسبت داده شده به مقدار Z در نقطه X_1

1λ : مقدار مشاهده شده Z در نقطه X_1

در این تحقیق برای درون یابی و تهیه نقشه های پهنه بندی از نرم افزار ArcGIS استفاده شد. بعد از محاسبه مولفه ها (PC) جداول Excel وارد محیط نرم افزار ArcGIS گشت. سپس با توجه به موقعیت X و Y های چاه ها بر اساس سیستم تصویر جهانی، UTM آنها تبدیل به موقعیتهای مکانی یا لایه نقطه ای شد و در مرحله بعد PC ها برای کل منطقه به روش درون یابی محاسبه گردید.

ارزیابی مدلها

برای ارزیابی دقت مدلها درون یابی روش ویلموت (1984) به کار رفت (۴۳) و از دو شاخص زیر برای ارزیابی استفاده گردید:

- میانگین مطلق مربعات خطا یا MAE^4 : که مقدار آن از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |P_i - O_i|}{N} \quad (3)$$

- ریشه دوم میانگین مربعات خطا یا $RMSE^5$ که مقدار آن از رابطه زیر محاسبه می شود.

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

معکوس فواصل از نقاط مجهول وزن دهی می شود. هر چه فاصله نقاط مجهول از نقاط معلوم کاهش یابد، وزن ارزش آن نقاط افزایش می یابد و نقاطی که ارزش آنها نامعلوم است، با استفاده از نقاط اطراف در یک شعاع مشخص بر اساس معادله (۱) بر آورد می شود.

$$Z(x) = \frac{1}{N} [\sum Z(x_i)] \quad (1)$$

در این معادله X_i ارزش معلوم نقاط با مختصات معلوم و X ، ارزش برآورد شده نقطه مجهول می باشد. چون این مقدار، تابعی از فاصله بین آنها می باشد، لذا فواصل بین آنها به عنوان مدل به کار می رود که معمولاً از توان دوم معکوس فواصل استفاده می شود. (در این مدل معمولاً از توان بالاتر از ۱، مانند ۲ استفاده می شود) و برای افزایش وزن فواصل، مقدار توان افزایش می یابد. توان بهینه (ρ)، با محاسبه حداقل میزان RMSE تعیین می شود که مربع حداقل خطای پیش بینی می باشد و بهترین توان (ρ) در جایی است که حداقل RMSE وجود داشته باشد (۴۰). اساس این روش بر مبنای این فرضیه است که در یک سطح درون یابی، اثر یک پارامتر بر نقاط اطراف یکسان نبوده و نقاط نزدیک، بیشتر و نقاط دورتر، کمتر تحت تاثیر قرار می گیرند. هر چه فاصله از مبدا افزایش می یابد، اثر پارامتر کمتر می شود (۳۸).

روش درون یابی اسپیلاین یا منحنی های پوش

در سالهای گذشته که نرم افزارهای کامپیوتری در درون یابی کاربردی نداشت، نقشه کش ها از خط کشهای انعطاف پذیر برای هموار سازی و تطبیق محلی منحنی ها استفاده می کردند. این خط کش ها اسپیلاین نامیده می شد. منحنی هایی که با این خط کش ها ترسیم می شد، تقریباً منحنی قطعه ای درجه سوم با مشتق های اول و دوم بودند. امروزه اسپیلاین در نرم افزارهای کامپیوتری، تا حدودی شبیه همان خط کش ها عمل می کند. به طوری که توابع درون یابی اسپیلاین، معادلات ریاضی قطعه ای هستند، که بر یک گروه کوچک از نقاط برازش داده می شوند. درحالی که پیوستگی بین منحنی ها نیز حفظ می شود. به عبارت دیگر با اسپیلاین می توان فقط بر بخشی از داده ها عمل هموار سازی را انجام و پیوستگی منحنی ها را حفظ کرد (۴۰).

مدل زمین آماری و تفاوت آنها با آمار کلاسیک

تفاوت آمار کلاسیک با زمین آماری در این است که در آمار کلاسیک داده های حاصل از اندازه گیری نمونه ها مستقل از موقعیت فضایی آنها مورد تحلیل قرار می گیرد. درحالیکه در زمین آماری علاوه بر مقدار یک کمیت معین در یک نمونه موقعیت فضایی نمونه نیز مورد توجه قرار می گیرد (۴۱).

کریجینگ

به طور کلی تخمین زمین آماری فرآیندی است که در آن می توان مقدار یک کمیت در نقاطی با مختصات معلوم را با استفاده از مقدار همان کمیت در نقاط دیگری با مختصات معلوم بدست آورد. این تخمینگر که به افتخار دی جی کریک به نام کریجینگ نامگذاری شد، روشی است تخمینی که بر منطق میانگین متحرک وزن دار استوار

⁵ Root Mean square Error

⁴ Mean Absolute Error

SAR	۰/۲۶۳	۰/۹۵۰	۰/۱۳۲	۰/۰۶۰
K	۰/۸۰۸	۰/۴۱۵	۰/۱۵۹	۰/۲۵۴
Na	۰/۴۱۶	۰/۸۹۰	۰/۱۷۳	۰/۰۳۵
Mg	۰/۹۲۶	۰/۱۵۴	۰/۱۴۵	۰/۲۶۰
Ca	۰/۷۸۴	۰/۴۹۲	۰/۲۴۷	۰/۰۶۷
SO4	۰/۹۲۳	۰/۳۳۷	۰/۱۶۱	۰/۰۷۳
CL	۰/۴۲۶	۰/۸۶۵	۰/۲۴۴	۰/۰۰۸
HCO3	۰/۲۵۶	۰/۰۸۲	۰/۰۶۲	۰/۹۶۰
PH	۰/۲۹۱	۰/۲۸۵	۰/۹۱	۰/۰۷۶
TDS	۰/۷۹۰	۰/۵۵۹	۰/۲۲۶	۰/۱۰۳
EC	۰/۸۲۳	۰/۵۱۶	۰/۱۹۷	۰/۱۱۶

جدول ۱- آنالیز واریانس نمونه های پاییز

مولفه های چرخش یافته		
درصد واریانس	درصد واریانس	تجمعی
۱	۴۷/۱۹	۴۷/۱۹
۲	۳۱/۴۴	۷۸/۶۴
۳	۱۰/۰۲	۸۸/۶۶
۴	۹/۴۱	۹۸/۸۰
۵	۱/۱۲	۹۹/۰۲

ارزیابی روشهای درون یابی فصل پاییز

جهت تهیه نقشه پهنه بندی مولفه ها روش های درون یابی جهت تهیه نقشه پهنه بندی مولفه ها روش های درون یابی با Kriging-exponential و Spline-tention، IDW-variable استفاده از معیارهای ارزیابی میانگین مطلق خطا و ریشه دوم مربعات خطا مورد مقایسه قرار گرفت. مدل Spline رتبه سوم، IDW رتبه دوم و مدل Kriging رتبه اول دقت درون یابی را با کمترین مقدار خطا به خود اختصاص داد (جدول ۳). نقشه های تهیه شده به روش کریجینگ دارای دقت بالایی می باشند و برای داده هایی با روند موضعی تعریف شده، مناسب است. این روش با کمترین واریانس تخمین، درون یابی کرده و اگر مطالعات تشخیص مدل تغییر نما دقیق انجام شود، از دقت بالایی برخوردار می باشد (۴۰).

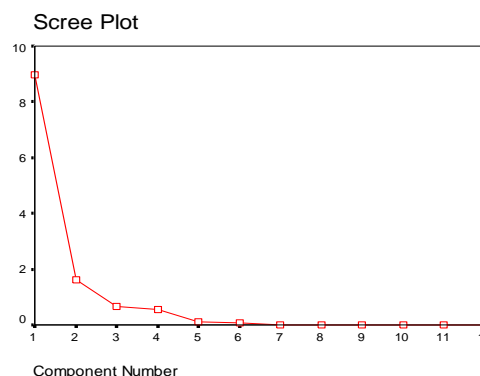
در روابط فوق Oi بیانگر مقدار نمونه های مشاهداتی، Pi مقدار تخمینی نمونه و N تعداد کل نمونه ها می باشد.

نتایج

آنالیز تجزیه به مولفه های اصلی پاییز

نمودار Scree plot پاییز

برای دقت در محاسبه تعداد مولفه ها از نمودار Scree plot استفاده می شود. در نمودار استخراجی، شکل ۳، چهار شیب مشاهده و از پارامتر پنجم به بعد شیب نمودار نزدیک به صفر می شود. بنابراین ۴ مولفه قابل استخراج است.



شکل ۳- نمودار Scree plot پاییز

تحلیل مولفه های اصلی فصل پاییز

آنالیز واریانس ۱۸ نمونه آبهای زیرزمینی دشت خفر در فصل پاییز انجام گرفت. نتایج نشان داد که شوری آبهای زیرزمینی تحت تاثیر چهار مولفه اصلی با بیان ۹۸٪ از واریانس کل بود، جدول ۱. مولفه اصلی اول با بیان ۴۷٪ از واریانس کل، ضرایب وزنی بالایی (۰/۹۲-۰/۷۸) بر سختی، پتاسیم، منیزیم، کلسیم، سولفات، کل املاح محلول و هدایت الکتریکی نشان می دهد، جدول ۲. مولفه دوم با بیان ۳۱٪ از واریانس، ضرایب قوی (۰/۹۵-۰/۸۶) در سدیم قابل جذب، سدیم و کلر نشان می دهد. مولفه سوم با بیان ۱۰٪ از واریانس ضریب قوی در PH، و مولفه چهارم با بیان ۹٪ از واریانس ضریب قوی در بیکربنات نشان می دهد.

جدول ۲- تحلیل مولفه اصلی نمونه های فصل پاییز

مولفه ها			
۱	۲	۳	۴
۰/۹۰۱	۰/۳۳۴	۰/۲۰۴	۰/۱۷۵
TH			

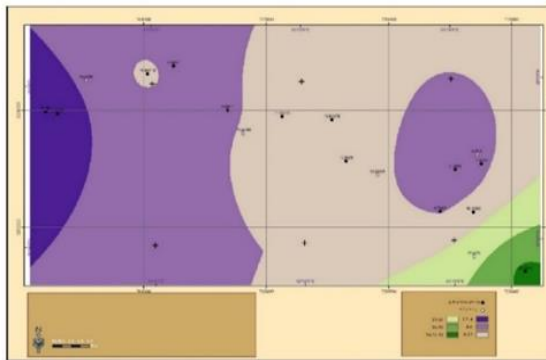
جدول ۳- ارزیابی روشهای درون یابی فصل پاییز

روشهای درون یابی		ارزیابی به روش MAE				ارزیابی به روش RMSE					
		مولفه های اصلی				مولفه های اصلی					
روش اصلی	زیرشاخه	PC1	PC2	PC3	PC4	میانگین	PC1	PC2	PC3	PC4	میانگین
IDW	Variable	۹۸۱/۲	۷/۲	۰/۲	۰/۵	۲۴۷/۳	۱۱۴۰/۲	۹/۸	۰/۳	۰/۶	۲۸۷/۷
Spline	Tension	۱۰۳۷/۶	۶/۶	۰/۲	۰/۹	۲۶۱/۳	۱۲۳۵/۳	۸/۴	۰/۲	۰/۹	۳۱۱/۲

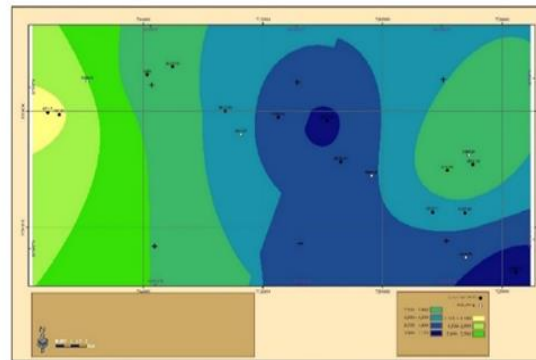
کف کنگلومرایی حاوی آب شور و برداشت بی رویه که منجر به افت سطح آب شیرین و جایگزینی آب شور با منشاء زمین زاد در سفره شده است، و رودخانه شور سرچشمه گرفته از گنبد های نمکی خاوران اشاره کرد. مولفه سوم (PH) از مرکز دشت به سمت شمال و شمال غربی افزایش، و به سمت جنوب و جنوب شرق کاهش نشان می دهد (شکل ۶). PH متأثر از آلودگی های طبیعی (فصلی) و انسانی است. بیشترین مقادیر در چشمه ها در شمال دشت مشاهده شد. با توجه به افزایش عناصر قلیایی در جنوب شرقی، کاهش PH می تواند نشانه ای از ورود و نشست پساب های صنعتی به آبخوان باشد. مولفه چهارم (بیکربنات) بیشترین مقدار را در شمال و کمترین میزان را در جنوب شرقی دشت نشان داد (شکل ۷). می توان گفت عوامل موثر در کاهش PH، بیکربنات آب را نیز خنثی کرده اند.

تفسیر نقشه پهنه بندی مولفه های اصلی فصل پاییز

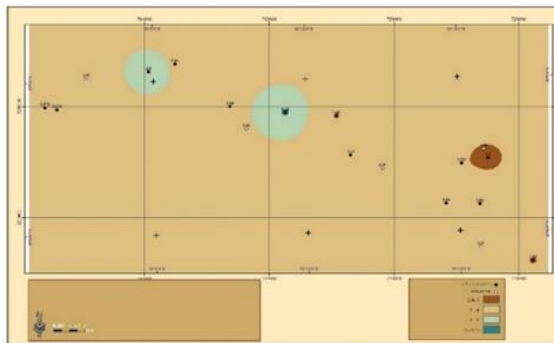
اولین مولفه اصلی پاییز ضرایب بالایی بر سختی، پتاسیم، منیزیم، کلسیم، سولفات، TDS و EC نشان داد که می تواند به دلیل گذراندن یک دوره برداشت در تابستان، افت سطح آب و کاهش کیفیت آب باشد (شکل ۴). بیشترین مقدار آلودگی در جنوب شرق (روستای آسمانچرد) و مرکز دشت (شهر باب انار) دیده می شود. با توجه به تقسیمات منطقه ای آب، فاصله مرکز دشت تا سرچشمه ها و نتایج، مرکز دشت منطقه سولفات است (۴۴). مقادیر بالای سولفات می تواند ناشی از فعالیتهای صنعتی نیز باشد. بیشترین مقدار مولفه دوم (سدیم قابل جذب، کلر و سدیم) در جنوب شرقی دشت دیده می شود (شکل ۵). از دلایل آن می توان به پیوستگی آبخوانها در بخش شمالی، طی مسیر طولانی، سنگ



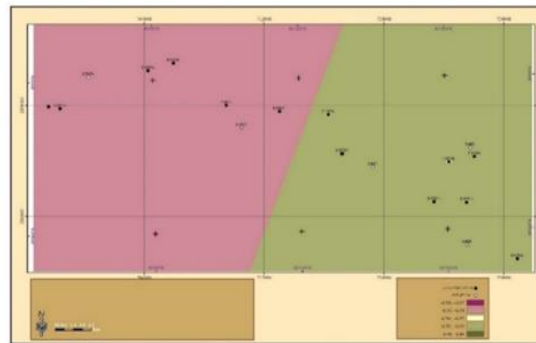
شکل ۵- پهنه بندی مولفه دوم کیفیت دشت خفر در پاییز



شکل ۴- پهنه بندی مولفه اول کیفیت دشت خفر در پاییز



شکل ۷- پهنه بندی مولفه چهارم کیفیت دشت خفر در پاییز



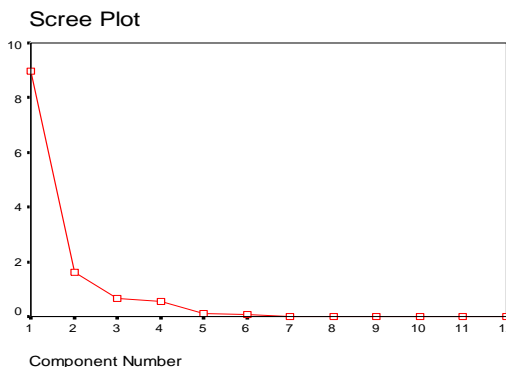
شکل ۶- پهنه بندی مولفه سوم کیفیت دشت خفر در پاییز

آنالیز تجزیه به مولفه های اصلی فصل بهار

نمودار Scree plot بهار

در نمودار استخراجی زیر، شکل ۸، چهار شیب مشاهده می شود و از پارامتر پنجم به بعد شیب نمودار صفر می شود. بنابراین ۴ مولفه اصلی قابل استخراج است.

محلول و هدایت الکتریکی نشان داد، جدول ۵. مولفه دوم با بیان ۳۷٪ از واریانس کل، ضرایب قوی (۰/۶۷-۰/۸۵) در سختی کل، منیزیم، کلسیم و سولفات نشان می دهد. مولفه سوم با بیان ۱۱٪ از واریانس کل ضریب وزنی منفی و قوی در PH نشان می دهد. مولفه چهارم با بیان ۱۰٪ از واریانس کل ضریب وزنی مثبت و قوی در بیکربنات نشان می دهد. از مولفه های پنجم به بعد به دلیل پائینی درصد واریانس بیان شده صرفنظر می شود.



شکل ۸- نمودار Scree plot فصل بهار

جدول ۴- آنالیز واریانس نمونه های فصل بهار

مولفه های اصلی چرخش یافته		
درصد واریانس	درصد واریانس تجمعی	
۴۰/۱۵	۴۰/۱۵	۱
۷۷/۳۱	۳۷/۱۶	۲
۸۸/۳۱	۱۱/۰۰	۳
۹۸/۷۴	۱۰/۴۳	۴

تحلیل مولفه های اصلی فصل بهار

آنالیز واریانس ۱۸ نمونه آبهای زیرزمینی دشت خفر در فصل بهار نشان داد که شوری آب تحت تاثیر چهار مولفه اصلی، با بیان ۹۸/۷٪ واریانس، بود، جدول ۴. مولفه اول با بیان ۴۷٪ از واریانس کل، ضرایب بالایی در سدیم قابل جذب، پتاسیم، سدیم، کلسیم، کلر، کل املاح

جدول ۵- تحلیل مولفه اصلی نمونه های فصل بهار

مولفه ها				
۴	۳	۲	۱	
۰/۳۰۸	۰/۲۷۲	۰/۷۹۳	۰/۴۴۸	TH
-۰/۰۱۷	۰/۰۶۴	۰/۳۱۲	۰/۹۴۶	SAR
۰/۱۹۸	۰/۱۹۴	۰/۶۵۵	۰/۶۸۱	K
۰/۰۱۸	۰/۰۶۹	۰/۳۳۷	۰/۹۳۸	Na
۰/۳۳۶	۰/۲۱۹	۰/۸۳۳	۰/۳۲۹	Mg
۰/۲۶۳	۰/۳۰۳	۰/۷۰۸	۰/۵۲۹	Ca
۰/۱۷۷	۰/۲۳۲	۰/۸۵۰	۰/۴۳۱	SO4
۰/۰۰۳	۰/۰۷۷	۰/۳۰۱	۰/۹۴۹	Cl
۰/۸۶۳	۰/۳۲۰	۰/۳۸۱	-۰/۰۵۱	HCO3
-۰/۲۹۱	-۰/۹۰۰	-۰/۳۰۸	-۰/۱۰۷	PH
۰/۲۱۰	۰/۲۰۹	۰/۶۷۴	۰/۶۷۶	TDS
۰/۱۷۸	۰/۱۹۸	۰/۶۹۹	۰/۶۵۹	EC

ارزیابی میانگین مطلق خطا و ریشه دوم مربعات خطا به خود اختصاص داده است.

ارزیابی روشهای درون یابی فصل بهار

همانطور که جدول ۶ نشان می دهد مدل Splin رتبه اول، Kriging رتبه دوم و IDW رتبه سوم دقت درون یابی را با استفاده از هر دو معیار

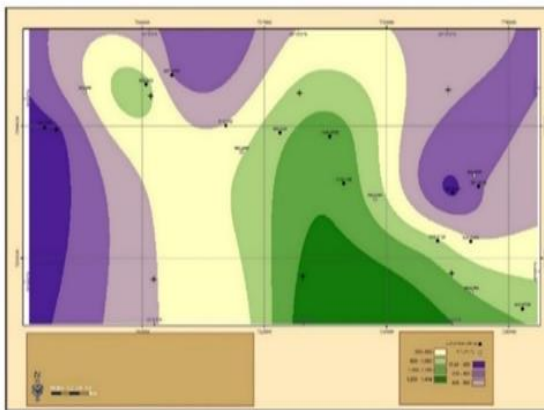
جدول ۶- ارزیابی روشهای مختلف درون یابی فصل بهار

ارزیابی به روش MAE										روشهای مختلف درون یابی	
مولفه های اصلی					مولفه های اصلی					زیرشاخه	روش اصلی
میانگین	PC4	PC3	PC2	PC1	میانگین	PC4	PC3	PC2	PC1		
۵۹/۸	۰/۸	۰/۲	۲۲۱/۷	۱۶/۵	۴۵/۹	۰/۶	۰/۲	۱۷۲/۷	۱۰/۰	Variable	IDW
۲۷/۷	۰/۷	۰/۲	۹۶/۹	۱۳/۱	۱۹/۸	۰/۵	۰/۲	۷۰/۴	۷/۹	Tension	Spline
۴۹/۲	۰/۶	۰/۲	۱۸۰/۴	۱۵/۷	۳۷/۹	۰/۵	۰/۲	۱۴۱/۰	۹/۸	Exponential	Kriging

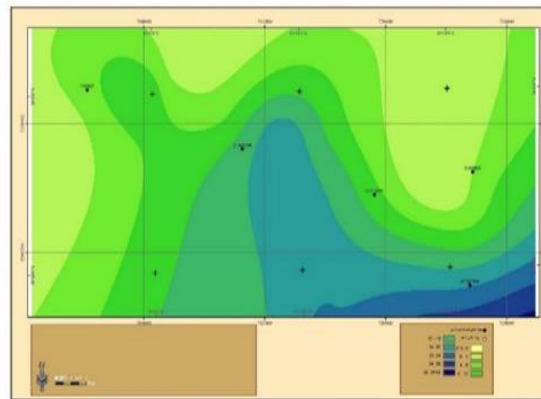
تفسیر نقشه پهنه بندی مولفه های اصلی فصل بهار

مولفه اول استخراجی بهار که بیشترین مقادیر را در جنوب شرقی دشت نشان می دهد (شکل ۹) ضرایب بالایی بر کلر، سدیم و سدیم قابل جذب دارد. حضور این عناصر به علت نفوذ آب شور به آب زیرزمینی است یا می تواند به دلیل افزایش تبخیر از سطح آب، انحلال تشکیلات تبخیری و فعالیت های انسانی نظیر بهره برداری بیش از حد از چاه ها باشد. با توجه به فاصله این محل تا مبدا تغذیه، تیپ آب کلروره می باشد. تفاوت این نقشه با فصل پاییز این است که در مولفه اول ضرایب EC و کل املاح محلول ضعیف تر است. این امر می تواند به دلیل گذراندن یک دوره بارندگی در زمستان و کاهش املاح محلول باشد. حضور مقادیر فراوان کلسیم و منیزیم و سختی در مولفه دوم که مقادیر بالایی را عمدتاً در مرکز دشت نشان می دهد (شکل ۱۰) می تواند

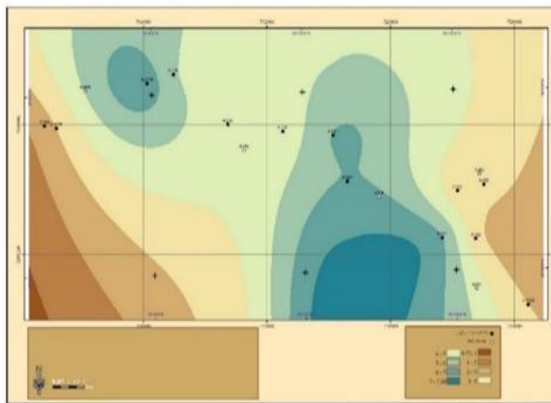
ناشی از انحلال کربنات منیزیم یا رسوبات دولومیت باشد. حضور سولفات می تواند به دلیل انحلال ژپس، فعالیت انسانی مانند پساب صنایع و استفاده از کودهای سولفاته، و فاصله نقاط از مبدا تغذیه باشد. نقش پتاسیم و TDS و EC کمتر است، که می تواند ناشی از یک دوره بارندگی در زمستان و افزایش کیفیت آب باشد. نقاط آلوده از مرکز به طرف جنوب شرق به خوبی نمایان است. مولفه سوم (PH) بیشترین مقادیر را در شرق و غرب دشت نشان می دهد، (شکل ۱۱). عواملی انسانی نظیر آنچه در پاییز گفته شده، می تواند باعث کاهش PH در مناطق مشخص شده در نقشه باشد. مولفه چهارم (بیکربنات)، نیز بیشترین مقادیر را در مرکز و شمال غربی دشت نشان می دهد، (شکل ۱۲). همانطور که گفته شد تیپ آبها در منطقه تغذیه بیکربناته است.



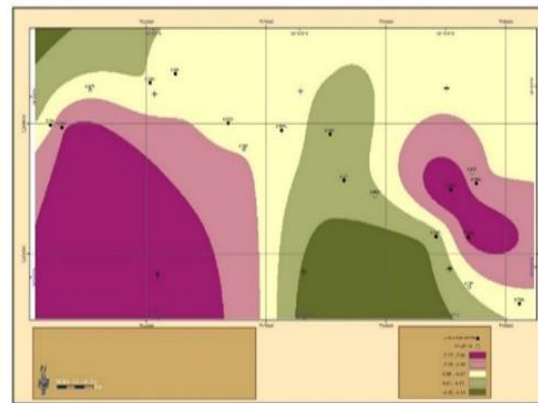
شکل ۱۰- پهنه بندی مولفه دوم کیفیت دشت خفر در بهار



شکل ۹- پهنه بندی مولفه اول کیفیت دشت خفر در بهار



شکل ۱۲- پهنه بندی مولفه چهارم کیفیت دشت خفر در بهار



شکل ۱۱- پهنه بندی مولفه سوم کیفیت دشت خفر در بهار

آبهای شور به جنوب شرقی منطقه است، چرا که رودخانه شوری که از رواناب بارش گنبدهای نمکی خاوران سرچشمه می گیرد، از کنار این دو ایستگاه عبور می نماید.

نسبت کلر به بی کربنات

بالا بودن غلظت کلر می تواند به دلیل نفوذ آب شور، تبخیر و جریان برگشتی کشاورزی باشد (۴۵). نسبت Cl/HCO_3 بالاتر از $2/8$ به دلیل نفوذ آب شور در منطقه است (۳۸). نمودار نسبت Cl/HCO_3 نمونه های آب زیرزمینی دشت خفر بهار، شکل ۱۳، نشان داد که در بیشتر ایستگاه ها این نسبت کمتر از $2/8$ است. تنها در دو ایستگاه ۱۱ و ۱۲ در جنوب شرقی دشت خفر نسبت بیشتر از $2/8$ است که موید ورود

افزایش عناصر قلیایی در جنوب شرق، کاهش PH می تواند ناشی از ورود و نشت پسابهای صنعتی به آبخوان باشد. بیکربنات بیشترین مقدار را در شمال و کمترین میزان را در جنوب شرق نشان داد. می توان گفت عوامل کاهش PH، بیکربنات آب را نیز خنثی کرده اند. با توجه به وجود سرچشمه آب در شمال دشت بالا بودن بیکربنات طبیعی است (۴۴).

در ارزیابی روشهای درون یابی فصل بهار مدل Splin رتبه اول را به خود اختصاص داد. بیشترین مقدار کلر، سدیم و سدیم قابل جذب در جنوب شرقی دشت مشاهده شد، که می تواند به علت نفوذ آب شور به درون آبهای زیرزمینی، افزایش تبخیر، انحلال تشکیلات تبخیری و فعالیت های انسانی نظیر بهره برداری بیش از حد از چاه ها باشد. با توجه به فاصله این محل تا مبدا تغذیه، تیپ آب کلروره می باشد. تفاوت این نقشه با فصل پاییز این است که در مولفه اول ضرایب EC و TDS ضعیفتر است، که می تواند به دلیل بارندگی در زمستان و کاهش املاح محلول باشد. مقادیر بالای کلسیم، منیزیم و سختی در مرکز دشت می تواند ناشی از انحلال کربنات منیزیم یا رسوبات دولومیت باشد. حضور سولفات می تواند به دلیل انحلال ژپس، پساب صنایع، کودهای سولفاته و فاصله نقاط از مبدا تغذیه آب باشد. PH بیشترین مقادیر را در شمال غربی دشت نشان داد. عواملی انسانی، می تواند باعث کاهش PH گردد. بیکربنات بیشترین مقادیر را در مرکز و شمال غربی نشان داد (تیپ بیکربناته در منطقه تغذیه).

تغییرات مکانی پهنه بندی آلاینده ها در فصول مختلف می تواند به علت تغییرات فصلی عوامل هیدروکلیماتولوژی نظیر بارندگی و تبخیر، بهره برداری از چاه ها و یا نفوذ پسابهای صنعتی باشد. بررسی نسبت کلر به بی کربنات نمونه ها موید ورود رواناب شور گنبدیهای نمکی خاوران به جنوب شرقی منطقه است.

پیشنهادها

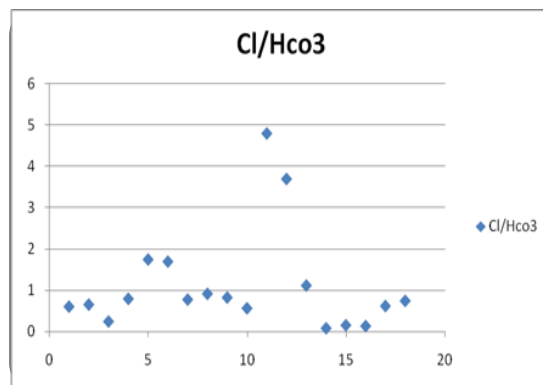
مسدود نمودن چاه های شور برای همیشه یا مدت زمان معین تا کیفیت آب به حد مناسبی برسد، جلوگیری از برداشت بی رویه آبهای زیرزمینی، الگوی کشت مناسب، کاربرد سیستم های آبیاری تحت فشار جهت افزایش راندمان و کاهش مصرف آب، احداث شبکه های آبیاری و زهکشی، جلوگیری از ورود آب رودخانه شور خاوران، احداث گورابهها جهت جمع آوری رواناب های زمستان که باعث افزایش کیفیت آب زیرزمینی خواهد شد و جلوگیری از حفر چاه های غیر مجاز.

ملاحظات اخلاقی پیروی از اصول اخلاق پژوهش

همکاری مشارکت کنندگان در تحقیق حاضر به صورت داوطلبانه و با رضایت آنان بوده است.

حامی مالی

هزینه تحقیق حاضر توسط نویسندگان مقاله تامین شده است. این تحقیق برگرفته از یک پایان نامه کارشناسی ارشد است. بدین وسیله از دانشگاه آزاد اسلامی واحد مرودشت تقدیر می شود.



شکل ۱۳- نسبت Cl/HCO₃ در نمونه آبهای زیرزمینی دشت خفر فصل بهار

تفسیر نتایج آبهای زیرزمینی دشت خفر با استفاده از نظریه ویلکوکس

مقایسه سدیم قابل جذب و هدایت الکتریکی هر یک از ایستگاه ها با دیاگرام ویلکوکس نشان داد که ۴۴/۴٪ نمونه های آب زیرزمینی دشت خفر در گروه آبهای نامناسب، ۳۸/۹٪ آبهای زیرزمینی دشت خفر در گروه آبهای مناسب و ۱۶/۷٪ آبهای زیرزمینی دشت خفر در گروه آبهای خوب قرار دارد.

بحث و نتیجه گیری

مطالعات کیفیت آبهای زیرزمینی اطلاعات تعیین کننده برای مدیریت آب در بخش های مختلف فراهم کرده، از ابزارهای مهم توسعه پایدار در هر منطقه است. با استفاده از نقشه های پهنه بندی کیفیت آبهای زیرزمینی می توان مناطق آلوده را مشخص و منابع آلودگی و نحوه برداشت آب را مدیریت کرد. تحلیل ها نشان داد که عامل آلودگی و محدود کننده آبهای زیرزمینی دشت خفر شوری می باشد. در ارزیابی روشهای درون یابی پاییز مدل Kriging رتبه اول دقت درون یابی را به خود اختصاص داد. بالاترین مقدار شوری و سولفات در جنوب شرق و مرکز دشت دیده شد. مقادیر بالای سولفات می تواند ناشی از فعالیتهای صنعتی نیز باشد. افزایش املاح می تواند به دلیل افت سطح آبهای زیرزمینی بعد از برداشت در تابستان و افزایش املاح محلول باشد. بیشترین مقدار سدیم قابل جذب، کلر و سدیم در جنوب شرق دشت دیده شد. از دلایل آن می توان به پیوسته بودن آبخوان در بخش شمالی و طی کردن مسیر طولانی توسط آب (زمان تماس آب با سنگ و اندرکنش آب با سنگ)، سنگ کف کنگلومرایی حاوی آب شور (منابع زمین زاد) و برداشت بی رویه آب (تأثیرات انسانی) که منجر به افت سطح آب شیرین و جایگزین شدن آبهای شور در سفره شده است، اشاره کرد. در بررسی منطقه ای نیز بیشترین میزان کلر در جنوب شرق دشت مشاهده شد. از دلایل آن رودخانه شوری است که از گنبدیهای نمکی خاوران سرچشمه می گیرد. جلوگیری از ورود آن به آبراهه اصلی بهترین راه کنترل شوری است (۴۴). PH از مرکز دشت به سمت شمال و شمال غربی افزایش، و به طرف جنوب و جنوب شرق کاهش نشان داد. PH تحت تاثیر آلودگی های طبیعی (فصلی) و انسانی است. با توجه به

بنابر اظهار نویسندگان، مقاله حاضر فاقد هرگونه تعارض منافع بوده است.

مشارکت نویسندگان

طراحی و ایده پردازی، روش شناسی و نگارش نهایی: هما رزمخواه؛
تحلیل داده ها: عیسی محمدی؛
نظارت: امین رستمی راوری، علیرضا فرارویی، هما رزمخواه.

تعارض منافع

References

1. Khalilian, S. and Mousavi, S. 2005. Assessment of pressure irrigation systems risk, Case study: Shahrekord. Agricultural Economics and Development, Productivity and efficiency, special issue: 113-119 [In Persian].
2. Abbasi, N. and Abbasi, F. 2020. Perspective of water resources and its consumption in Iran Report. Agricultural engineering research institute, Agricultural research education and extension organization, Ministry of Jihad-e Agriculture. [In Persian].
3. Abbasi, F., Sohrab, F. and Abbasi N. 2016. Irrigation efficiency and Spatio-temporal variation in Iran Report. Engineering and Technology Research center of Iran. [In Persian].
4. Jager, N. 1990, Hydrogeology and groundwater simulation, Lewis Publishers.
5. Kresic N. 1997, Hydrogeology and Groundwater Modeling, Lewis Pub.
6. Dagostino, V., Greene, E.A., Passarella, G. and Vurro, M. 1998. Spatial and temporal study of nitrate concentration in groundwater by means of coregionalization. Environmental geology, 36: 285-295.
7. Mohammadi, G. and Meroone, V. 1999. Using geostatistical tools to prepare hazard zonation maps of ecological pollution, Tarbete Modares University. [In Persian].
8. Ahmed, S. 2002. Groundwater monitoring network design: Application of geostatistics with a few case studies from a granitic aquifer in a semi-arid region, in: Groundwater Hydrology, Sherif, M.M., Singh, V.P. and Al- Rashed, M. (Eds.), Balkema, Tokyo, Japan.
9. Lowe, M., and Butler, M. 2003. Ground water sensitivity and vulnerability to pesticides, Heberand Round Valleys, Wasatch County, Utah. Miscellaneous Publication, Utah Geological Survey.
10. Connell, L.D. and Daele, G.V.D. 2003. Aquantitative approach to aquifer vulnerability mapping. Journal of hydrology, 276 (71): 88-94.
11. Marengo, E., Gennaro, M.C., Robotti, E., Maiocchi, A., Pavese, G., Indaco, A. and Rainero, A. 2008. Statistical analysis of ground water distribution in Alessandria Province (Piedmont—Italy. Microchemical Journal, 88: 167–177.
12. Jalili, M. 2007. Assessment of the chemical components of Farming groundwater, western Iran. Environmental Geochemistry and Health, 29(5): 357-374.
13. Fetouani, S., Sbaa, M., Vanclooster, M. and Bendra, B. 2008. Assessing groundwater quality in the irrigated plain of Triffa (Nnorth-east Morocco). Journal of Agricultural Water Management, 95: 133-142.
14. Barcae, E. and Passarella, G. 2008. Spatial evaluation of the risk of groundwater quality degradation: A comparison between disjunctive kriging and geostatistical simulation. Journal of Environmental Monitoring and Assessment, 133: 261-273.
15. Mahapatra, S.S., Sahu, M., Patel, R.K. and Panda, B.N. 2012. Prediction of water quality using principal component analysis. Water Qual. Expo. Health, 4: 93-104.
16. Magesh, N.S., Krishnakumar, S., Chandrasekar, N. and Soundranayagam, J.P. 2013. Groundwater quality assessment using WQI and GIS techniques, Dindigul district, Tamil Nadu, India. Arab J Geosci, 6: 4179-4189.
17. Belkhiri, L. and Narany, T.SH. 2015. Using multivariate statistical analysis, geostatistical techniques and structural equation modeling to identify spatial

- variability of groundwater quality. *Water Resour. Manage*, 29: 2073-2089.
18. Bhuiyan, M.A.H., Bordud-Doza, Md., Towfiqul Islam, A.R.M., Rakib, M.A., Safiur Rahman, M. and Ramanathan, A.L. 2016. Assessment of groundwater quality of Lakshimpur district and Bangladesh using water quality indices, geostatistical methods, and multivariate analysis. *Environ. Earth Sci.*, 75: 1020.
 19. Kawo, N.S. and Karuppanan, Sh. 2018. Groundwater quality assessment using water quality index and GIS technique in Modjo river basin, central Ethiopia. *J African Earth Sci*, 147: 300-311.
 20. Rao, N.S., Srihari, Ch., Deepthi Spandana B., Sravanthi, M., Kamalesh, T. and Jayadeep, V.A. 2019. Comprehensive understanding of groundwater quality and hydrochemistry for the sustainable development of suburban area of Visakhapatnam, Andhra Pradesh, India. *Human and Ecological Risk Assessment*, 25(1-2): 1-29.
 21. Yang, W., Zhao, Y., Wang, D., Wu, H., Lin, A. and He, L. 2020. Using principal component analysis and IDW interpolation to determine spatial and temporal changes of surface water quality of Xin'anjiang river in Huangshan, China. *Int. J Environmental Research and Public Health*, 17, 2942.
 22. Misaghi, F. and Mohammadi, K. 2005. Groundwater level estimation using usual interpolation methods, comparing with geostatistics. 21st Conference of geology and mine exploration of the country. [In Persian].
 23. Latif, M., Mousavi, S.F. and Velayati, S. 2005. Assessment and source identification of Nitrate in Mashhad plain groundwater. *J Agricultural Sciences and Natural Resources*, 12(2): 21-32. [In Persian].
 24. Tabatabaie, S.H., Tavasoli, M., Eslamian, S.S. and Ahmadzadeh, Gh. 2006. Study and assessment of Isfahan groundwater pollution, with emphasis on the urban water. *Scientific J Agriculture*, 29(2): 79-92. [In Persian].
 25. Lalehzari, R., Tabatabaie, S.H. 2010. Assessment of Shahrekord plain groundwater chemical quality. *J Environmental Studies*, 36(53): 55-62. [In Persian].
 26. Shaebani, M. 2009. Finding the most suitable geostatistic method in the mapping of Arsanjan plain groundwater PH and TDS variation, *Water Resources Engineering*, 1: 47-58. [In Persian].
 27. Lalehzari, R., Tabatabaie, S.H. and Yar Ali, N. 2009. Assessment of Nitrate monthly variation in Shahrekord plain groundwater and mapping using GIS. *Iranian Water Researches J*, 3(4): 9-17. [In Persian].
 28. Razmkhah, H., Abrishamchi, A. and Torkian, A. 2010. Evaluation of spatial and temporal variation in water quality by pattern recognition techniques: A case study on Jajrood River (Tehran, Iran). *Journal of Environmental Management*, 91: 852-860.
 29. Naderianfar, M., Ghahreman, B., Ansari, H. and Salari, M. 2012. Using different geostatistical methods to interpolate EC and SAR values of groundwater, with emphasis on the basin infiltration variation. *J Irrigation Sciences and Engineering*, 35(1): 21-33. [In Persian].
 30. Safavi, H.R., Ahmadi, A. and Rahmatnia M. 2014. River quality mapping using combination method of principal component analysis and fuzzy classification. *Water and Wastewater*, 5: 21-31. [In Persian].
 31. Einlou, F., Maafi Rabary A., Malekian, A., Ghazavi R. and Mohseni Saravy, M. 2016. Assessing groundwater quality of Zanjan plain considering urban standards, using geostatistical method. *Geography and Environment Planning*, 62(2): 1-16. [In Persian].
 32. Samadi, J. 2017. Modelling spatio-temporal variation of Kashan urban and rural groundwater level, using GIS techniques. *J Environment Science and Technology*, 19(1): 63-77. [In Persian].
 33. Nosrati, K., Rajabi Eslami, A. and Sayadi, M. 2018. Analysis and classification of Malard-Tehran urban water using multivariate statistical methods. *Hydrogeomorphology*, 15: 171-190. [In Persian].
 34. Ghareh Mohamoud Lou, M., Heshmat Pour A., Jandaghi, N., Zarea, A. and Mehrabi, H. 2019. Assessment of

- Seyedan-Farough groundwater quality for Irrigation and urban use. Environmental Sciences, 17(3): 89-106. [In Persian].
35. Seify, A. and Riahy Madvar, H. 2020. Uncertainty risk mapping and evaluation of copper mine heavy metals using bayesian and gaussian analysis. Environmental Sciences, 18(1): 165-186. [In Persian].
36. Mirzaee mahmoodabadi, R. 2019. Evaluation of water quality and bed load sediment contamination of Ghareaghaj river to heavy metals, Khafr watershed, Fars province. J Environmental Science Studies, 4(3): 1696-1706. [In Persian].
37. No name, 1986. Ghareh Aghaj-Khafr groundwater basin identification Report, Fars Water Organization. [In Persian].
38. Mohammadi, E. 2012. Groundwater quality mapping of Khafr plain. M.S. Thesis, Water and Science Engineering, Islamic Azad University, Marvdash., Iran. [In Persian].
39. Razmkhah, H. 2003. Pattern Recognition techniques in the evaluation of spatio-temporal variation of river water quality, Case study: Jajroud river. M.S. Thesis, Civil college, Sharif University of Technology. [In Persian].
40. Ghahroudi Tali, M. 2005. Geographic information system in GIS three dimensions environment. Research training center of Teacher Education Publication. [In Persian].
41. Hassani Pak, A.A. 1999. Geostatistics. Tehran University Press. [In Persian].
42. Rangzan, K., Mokhtari, M. and Shaygan M. 2005. Evaluation of IDW and Kriging models in the interpolation of groundwater level of Shoushtar Mian Ab plain, Geomatic Conference. [In Persian].
43. Willmott, C.j. 1984. On the Evaluation of Model Performance in Physical Geography, In: Spatial Statistics and Model, ed. C.J., Willmott, pp. 443-460.
44. Kardovani, P. 2007. The resources and problems of water in Iran, Second Volume, Tehran university publication and press. [In Persian].
45. Lusczynski, N. J. and Swarzenski, W.V. 1966. Salt Water encroachment in Southern Nassu and SE Queen Countries, Long Island, New York, U.S.G.P.O. Publisher.
46. Babiker, I.S., Mohamed, M.A.A., Hiyama, T. and Kato, K. 2005. A GIS based DRASTIC model for assessing aquifer vulnerability in Kakamigahara Heights, Gifu Prefecture, central Japan. Science of the Total Environment, 345(1-3): 127-140.

