

علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره بیست و شش، شماره پنج، مردادماه ۱۴۰۳ (۳۳-۱۹)

## بررسی تغییرات مکانی کیفیت آبهای زیرزمینی مناطق خشک و نیمه خشک با

### استفاده از شاخص IRWQI (مطالعه موردی: دشت مهران، ایلام)

فاطمه منصوری نصار<sup>۱</sup>

احسان یارمحمدی<sup>۱</sup>

جعفر اسد کاظمی<sup>۱</sup>

حسن فتحی زاد<sup>۲</sup>

محسن توکلی<sup>۳\*</sup>

[m.tavakoli@ilam.ac.ir](mailto:m.tavakoli@ilam.ac.ir)

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۲/۱۵

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۵/۱۸

#### چکیده

**زمینه و هدف:** کیفیت منابع آب زیرزمینی را می‌توان از طریق مقایسه مقادیر پارامترهای اندازه‌گیری شده با مقادیر استاندارد آنها ارزیابی کرد، اما این روش قدیمی و ساده بوده و تصویری جامع و قابل فهم برای عموم از وضعیت کیفیت آب را به‌خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک نشان نمی‌دهد. در تحقیق حاضر پس از محاسبه کیفیت آب زیرزمینی دشت مهران با استفاده از شاخص IRWQI به بررسی و مقایسه انواع روش‌های زمین آماری جهت پهنه‌بندی کیفیت پرداخته شده است.

**روش بررسی:** با توجه به اهمیت منابع زیرزمینی در دشت خشک مهران، در این مطالعه داده‌های کیفیت آب تعداد ۱۷ حلقه چاه در دشت مهران انتخاب و نمونه‌برداری از چاه‌های انتخابی به منظور آنالیز و محاسبه مقدار پارامترهای فوق در اواخر بهمن و اوایل اسفند ۹۸ انجام شد. جهت محاسبه شاخص، به هریک از پارامترها بر اساس نقشی که در آلودگی آب‌های زیرزمینی دارند، وزنی خاص تعلق گرفت. برای ارزیابی همبستگی بین داده‌ها و شاخص IRWQI از ضریب همبستگی پیرسون استفاده شد. به منظور تهیه نقشه پهنه‌بندی کیفیت آب، از روش‌های زمین آماری عکس فاصله، چند جمله‌ای جهانی، تابع شعاعی، روش موضعی، کریجینگ معمولی، ساده و عام استفاده گردید.

۱- کارشناس ارشد، شرکت آب منطقه ای استان ایلام، ایلام، ایران.

۲- دکترای بیابان‌زدایی، دانشگاه یزد، یزد، ایران.

۳- دانشیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران. \* (مسئول مکاتبات)

**یافته‌ها:** نتایج نشان‌دهنده همبستگی معنی‌دار شاخص کیفیت آب با پارامترهای EC و SAR در سطح ۱ و ۵ درصد می‌باشد. نتایج بررسی شاخص IRWQI نشان‌دهنده وضعیت خیلی خوب کیفیت آب منطقه با میانگین شاخص عددی ۱۰۰ است. همبستگی بین پارامترهای آب زیرزمینی با شاخص IRWQI نشان داد که پارامترهای EC و SAR دارای همبستگی معنی‌داری هستند. همچنین روش عکس فاصله (IDW) با MAE، RMSE و  $R^2$  برابر ۱۰/۱۰، ۱۲/۶۵ و ۰/۷۷ کمترین خطا را بین سایر روش‌های زمین‌آماري داشت که به‌عنوان بهترین روش برای پهنه‌بندی شاخص کیفیت آب در دشت مهران معرفی گردید.

**بحث و نتیجه‌گیری:** بر اساس مساحت‌های کلاس‌های نقشه پهنه‌بندی شاخص کیفیت آب مشخص شد که کلاس خیلی خوب با مساحت ۱۲۴۲۹ هکتار (۶۹ درصد) بیشترین سطح منطقه را در بر گرفته که نشان‌دهنده کیفیت خیلی خوب آبهای زیرزمینی در دشت مهران می‌باشد.

**واژه‌های کلیدی:** آب زیرزمینی، شاخص کیفیت آب زیرزمینی، پهنه‌بندی، زمین‌آمار، دشت مهران.

# **Investigation the Spatial Variability of Groundwater Quality in Arid and Semiarid Areas Using the IRWQI Index**

## **(Case Study: Mehran Plain, Ilam)**

**Fatemeh Mansorinasar<sup>1</sup>**

**Ehsan Yarmohamadi<sup>1</sup>**

**Jafar Asadkazemi<sup>1</sup>**

**Hasan Fathizad<sup>2</sup>**

**Mohsen Tavakoli<sup>3\*</sup>**

[m.tavakoli@ilam.ac.ir](mailto:m.tavakoli@ilam.ac.ir)

Admission Date: March 6, 2022

Date Received: August 9, 2021

### **Abstract**

**Background and Objective:** Groundwater quality can be evaluate by comparing measured quality parameters to prepared standards. This method although looks simple, but it doesn't show a comprehensive view of water quality condition in arid and semiarid areas. In current research after calculations of groundwater quality of Mehran plain using IRWQI, the ability of different geostatistical methods have been investigated for quality zoning.

**Material and Methodology:** Based on the importance of groundwater resources in Mehran plain, 17 piezometer wells were selected. Afterward, sampling and analysis have been done during February 2020. For calculating IRWQI index, all measured quality parameters were weighted based on the roles in groundwater pollution. Pearson correlation coefficient was used to evaluate the correlation between data and IRWQI index. Then, for zoning groundwater quality different geostatistic methods including Inverse Distance Weighting, Global polynomial interpolation, Radial Basis Function, Local Polynomial Interpolation, Ordinary Kriging, Simple Kriging and Universal Kriging have been used.

**Findings:** The results show a significant correlation between water quality index and EC and SAR parameters at the level of 1 and 5%. Results show that, based on IRWQI, the quality of groundwater in the plain is very good by mean index of 100. In another hand, the relationship between groundwater quality parameters and IRWQI showed that EC and SAR have significant correlations. Also, based on the results, IDW has the minimum error by 10.10, 12.65 and 0.77 for MAE, RMSE and R<sup>2</sup>, respectively, comparing to other geostatistical methods and it has been selected as the best method for Mehran plain groundwater quality zoning.

---

1- M.Sc. Regional Water Company of Ilam, Ilam, Iran

2- PhD in Combating Desertification, Faculty of Natural Resources, University of Yazd, Yazd, Iran

3- Associate Professor, Department of Range and Watershed Management, Ilam University, Ilam, Iran.

\*(Corresponding Author)

**Discussion and Conclusion:** Groundwater zoning map also indicated that the very good class with the area of 12429 hectare (%69) covered the maximum area of the plain and shows a very good quality of groundwater in whole plain.

**Keywords:** Ground water, Groundwater quality index, Zoning, Geostatistics, Mehran plain.

#### مقدمه

آب برای استفاده شهروندان و سیاست‌گذاران فراهم می‌کند در نظر گرفته شده است (۱۰) و در ارزیابی کیفیت آبهای سطحی و زیرزمینی در سراسر جهان مورد استفاده قرار گرفته شده است (۱۱-۱۴).

به منظور محاسبه شاخص کیفیت منابع آب ایران (IRWQI) پارامترهایی پیشنهاد شده که به هریک از آنها بر اساس نقشی که در آلودگی آب‌های زیرزمینی دارند، وزنی تعلق گرفته می‌گیرد که البته تعداد پارامترها می‌تواند تغییر کند (۱۵). با توجه به پارامترهای کیفی موجود برای هر منبع، مقدار شاخص از طریق نمودارهای مربوط به هر پارامتر در نشریه راهنمای محاسبه شاخص کیفیت آب مشخص و سپس وزن کل بر اساس تعداد پارامترهایی که در تعیین شاخص کل مؤثر بوده‌اند، محاسبه می‌گردد (۱۶). تحقیقات مختلفی در رابطه با ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی با استفاده از شاخص‌های مختلف انجام شده است (۱۰، ۱۷-۲۱). بهترین شرایط برای استفاده از روشهای زمین‌آمار، استفاده از آمارهای متنوع در ادوار مختلف است که به‌صورت میانگین شاخص، مورد استفاده قرار گیرد که در این تحقیق عدم وجود آمار همگن درازمدت، به‌عنوان محدودیت در تحقیق مطرح بوده است.

آب‌های زیرزمینی منابع اصلی تأمین آب برای مصارف شرب و کشاورزی در مناطق خشک و نیمه خشک محسوب می‌شود. در سال‌های اخیر برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی منطقه خشک مهران در استان ایلام، علاوه بر کمبودهای کمی، مسائل کیفی را به وجود آورده است که حل آنها در این منطقه دارای اهمیت بالایی می‌باشد. لذا هدف از انجام تحقیق حاضر، بررسی و تغییرات کیفیت منابع آب زیرزمینی منطقه مهران با استفاده از شاخص IRWQI و تحلیل‌های زمین‌آمار می‌باشد.

آب سالم یکی از نیازهای اساسی موجودات زنده به ویژه انسان است و کیفیت آن یکی از مهمترین عواملی است که باید هنگام ارزیابی پیشرفت مناسب یک منطقه مورد توجه قرار گیرد (۱)، (۲). منابع آب سطحی بیشتر از منابع آب زیرزمینی در معرض آلودگی قرار دارند، اما با توجه به وضعیت کشور ایران که با کمبود منابع آب شیرین و بارندگی روبرو است، سفره‌های زیرزمینی مهمترین منابع تأمین آب آشامیدنی محسوب می‌شوند و کیفیت این منابع بسیار مهم می‌باشد (۳، ۴). برای تصمیم‌گیری و سیاست‌های مربوط به حفاظت، مدیریت و استفاده پایدار از منابع آب باید اطلاعات دقیق در مورد کیفیت آب، در دسترس باشد (۵). بنابراین، تفسیر مداوم و مستمر از شرایط بسیار مهم است.

تاکنون تعداد زیادی شاخص کیفیت آب مانند WAWQI، NSFQI، CCMEWQI<sup>۳</sup>، OWQI<sup>۴</sup> و غیره توسط سازمانهای ملی و بین‌المللی تدوین شده (۶) و یک روش آماری ساده برای ارزیابی کیفیت آب، استفاده از WQI است (۷). WQI برای ارزیابی تناسب آبهای سطحی و زیرزمینی برای مصارف شرب و کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرد (۸). این شاخص برای اولین بار توسط براون و همکاران ارائه شد (۱) و توسط بنیاد بهداشتی آمریکا در سال ۲۰۰۰ مورد استفاده قرار گرفته است (۹). WQI بر اساس مواد جامد محلول (TDS)، سختی کل (TH)، هدایت الکتریکی (EC)، بیکربنات ( $\text{HCO}_3^-$ )، کلر ( $\text{Cl}^-$ )، سولفات ( $\text{SO}_4^{2-}$ )، نیترات ( $\text{NO}_3^-$ )، کلسیم ( $\text{Ca}^{2+}$ ) و منیزیم ( $\text{Mg}^{2+}$ ) تعیین شده (۹) و طی چند دهه گذشته به عنوان ابزاری مؤثر که اطلاعاتی در مورد کیفیت

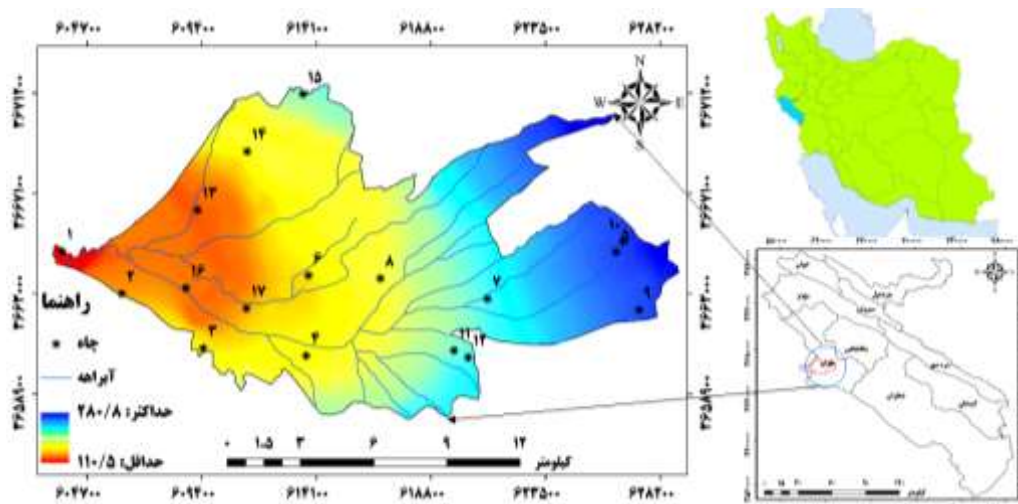
- 1- Weight Arithmetic Water Quality Index
- 2- National Sanitation Foundation Water Quality Index
- 3- Canadian Council of Ministers of the Environment Water Quality Index
- 4- Oregon Water Quality Index

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

دشت مهران، در جنوب غربی استان ایلام و در امتداد شمال غربی، غرب و جنوب مهران به مرز عراق منتهی و از طرف شرق به دهلران محدود می‌گردد. مساحت این منطقه ۱۸۰۱۰ هکتار می‌باشد که از لحاظ موقعیت جغرافیایی، بین ۳۳° ۰۵' ۱۹" تا

۳۳° ۱۷' ۰۷" طول شمالی و ۴۶° ۱۰' ۶۰" تا ۴۶° ۳۸' ۳۰" عرض شرقی واقع شده است. متوسط دمای سالانه دشت مهران ۲۱/۵ درجه سانتی‌گراد، متوسط بارندگی آن ۲۱۵ میلی‌متر در سال و متوسط میزان تبخیر و تعرق پتانسیل آن ۳۶۲۶ میلی-متر در سال می‌باشد. این منطقه از لحاظ شرایط اقلیمی، جزو مناطق نیمه خشک معتدل طبقه‌بندی می‌گردد (شکل ۱).



شکل ۱- موقعیت جغرافیای دشت مهران و چاه‌های مورد مطالعه

Figure 1. Geographical location of Mehran plain and studied wells

## روش پژوهش

در این مطالعه داده‌های کیفیت آب تعداد ۱۷ حلقه چاه (بر اساس موقعیت و امکان اندازه‌گیری کیفیت آب) در دشت مهران انتخاب گردیدند. نمونه‌برداری از چاه‌های انتخابی به منظور آنالیز و محاسبه مقدار پارامترهای فوق در اواخر بهمن و اوایل اسفندماه سال ۱۳۹۸ توسط کارشناسان شرکت آب منطقه‌ای استان ایلام انجام شده است که با توجه به گرمسیری بودن منطقه، در زمان اندازه‌گیری پارامترها، دمای محیط حدود ۱۸ درجه سانتی‌گراد بوده که در رنج استاندارد قابل قبول اندازه‌گیری پارامترهای کیفی (۲۵-۱۵ سانتی‌گراد) قرار داشته است. این چاه‌های انتخابی شامل چاه‌های با کاربری آب شرب، کشاورزی، فضای سبز و صنعت بوده و در آزمایشگاه فاکتورهای فیزیکی و شیمیایی آب شامل کلیفرم مدفوعی (MPN/100ml)، BOD (mg/L)، نیترات (mg/L)، COD (mg/L)، فسفات (mg/L)، کدورت (NTU)، سختی کل (mg/L) و پارامترهای EC و pH بوده است.

### ضریب همبستگی<sup>۱</sup>

ابزاری آماری برای تعیین نوع و درجه‌ی رابطه‌ی یک متغیر کمی با متغیر کمی دیگر است. ضریب همبستگی، یکی از معیارهای مورد استفاده در تعیین همبستگی دو متغیر است. ضریب همبستگی شدت رابطه و همچنین نوع رابطه (مستقیم یا معکوس) را نشان می‌دهد. این ضریب بین ۱ تا -۱ است و در صورت فقدان رابطه بین دو متغیر، برابر صفر است.

### شاخص کیفیت منابع آب ایران (IRWQI)<sup>۲</sup>

شاخص IRWQI تلفیقی از شاخص‌های NSFQI و BCEQI است که بر اساس نظریات کارشناسی حفاظت محیط زیست ایران طراحی شده که نشان‌دهنده وضعیت کیفیت آب به صورت کمی می‌باشد و یک شاخص عمومی و

1- Correlation coefficient

2- Iran Water Quality Index for Surface Water

زیرزمینی به ۷ دسته مطابق با جدول (۱) تقسیم می شود (۱۶).

$$\gamma = \sum_{i=1}^n W_i \quad (1)$$

$$IRWQI_{GC} = \left[ \prod_{i=1}^n I_i^{W_i} \right]^{\frac{1}{\gamma}}$$

در این رابطه  $W_i$ : وزن پارامتر  $i$  ام،  $n$ : تعداد پارامترها و  $I_i$ : مقدار شاخص برای پارامتر  $i$  ام می باشد.

کاربردی در بیان کیفیت آب رودخانه است. به منظور محاسبه شاخص کیفیت آب زیرزمینی پارامترهایی در منابع مختلف پیشنهاد شده که در این مدل به هر کدام از آنها بر اساس نقشی که در آلودگی آب های زیرزمینی دارند وزنی تعلق گرفته است که البته تعداد پارامترها می تواند تغییر کند (۱۵).

با توجه به پارامترهای کیفی موجود برای هر منبع، مقدار شاخص از طریق نمودارهای مربوط به هر پارامتر در نشریه راهنمای محاسبه شاخص کیفیت آب مشخص خواهند شد و سپس وزن کل بر اساس تعداد پارامترهایی که در تعیین شاخص کل مؤثر بوده اند و با استفاده از رابطه (۱) شاخص کل کیفیت آب محاسبه می شود و طبق این شاخص، کیفیت آب

### جدول ۱- معادل توصیفی شاخص کیفیت آب

Table 1. Descriptive equivalent of water quality index

مقدار شاخص	کمتر از ۱۵	۲۹-۱۵/۹	۴۴-۳۰/۹	۵۵-۴۵	۵۵/۷۰-۱	۷۰/۸۵-۱	بیشتر از ۸۵
معادل توصیفی	خیلی بد	بد	نسبتاً بد	متوسط	نسبتاً خوب	خوب	بسیار خوب

### نقشه پهنه بندی

به منظور تهیه نقشه پهنه بندی کیفیت آب از روش های زمین- آماری عکس فاصله (IDW)، چند جمله ای جهانی (GPI)، تابع شعاعی (RBF)، روش موضعی (LPI)، کریجینگ معمولی (OK)، کریجینگ ساده (SK)، کریجینگ عام (UK) و موقعیت چاه های نمونه برداری در دشت استفاده و جهت نشان دادن پیوستگی مکانی پارامترهای مورد بررسی، واریوگرام ترسیم گردید (۲۲). همچنین برای تعیین میزان همبستگی مکانی یک متغیر در فواصل نمونه برداری شده و استخراج پارامترهای لازم در مراحل درونیابی از واریوگرام (رابطه ۲) استفاده شده است. (۲۳).

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

که در آن:

- 1- Inverse Distance Weighting
- 2- Global polynomial interpolation
- 3- Radial Basis Function
- 4- Local Polynomial Interpolation
- 5- Ordinary Kriging
- 6- Simple Kriging
- 7- Universal Kriging

$\gamma(h)$  مقدار نیم تغییرنا برای جفت نقاطی که به فاصله  $h$  از هم قرار دارند.

$n$ : تعداد زوج نقاطی است که به فاصله  $h$  از یکدیگر قرار دارند.

$z(x_i)$ : مقدار مشاهده شده متغیر در نقطه  $x$ .

$z(x_{i+h})$ : مقدار مشاهده شده متغیری که به فاصله  $h$  از  $x$  قرار دارد.

واریوگرام برای برازش داده های هر کدام از پارامترها استفاده شده است که همبستگی مکانی بین داده ها را به صورت مطلوب تری نسبت به سایر واریوگرام ها نشان دهد. برای این امر از ضریب تبیین یا  $R^2$  استفاده گردید. ضریب تبیین نشان دهنده این است که چه مقدار از تغییرات متغیر وابسته تحت تأثیر متغیر مستقل مربوطه بوده و بقیه تغییرات متغیر وابسته مربوط به سایر عوامل می باشد. به همین دلیل از این نسبت برای انتخاب بهترین واریوگرام استفاده شد. در تحقیق حاضر از

$X_i$ : مقادیر اندازه‌گیری شده،  $Y_i$ : مقادیر برآورد شده می‌باشد. در ارزیابی دقت و اعتبار روش‌های درونیابی از روش اعتبارسنجی متقابل یا حذفی استفاده شد. این روش بر این اساس است که هر بار یک نقطه مشاهده‌ای حذف شده و برای آن از روی نقاط مجاور مقداری برآورد شود، سپس مقدار واقعی به محل قبلی برگردانده و برای کلیه نقاط شبکه این عمل صورت گرفت.

### نتایج

#### خصوصیات آماری پارامترهای اندازه‌گیری شده

در جدول (۲) خصوصیات آماری پارامترهای اندازه‌گیری شده آمده است. از میان پارامترهای آب زیرزمینی، پارامتر کلیفرم مدفوعی بالاترین انحراف معیار برابر با ۳/۹۳ را دارد. همچنین pH و DO به ترتیب با ۰/۰۳ و ۰/۰۹ دارای کمترین انحراف معیار هستند.

وایروگرام‌های خطی، نمایی، گوسی<sup>۲</sup> و کروی<sup>۴</sup> استفاده گردید (۲۴). برای انتخاب بهترین روش درونیابی به منظور تهیه نقشه عناصر سنگین خاک از پارامترهای ارزیابی دقت  $RMSE^5$ ،  $MAE^6$  و  $R^2$  استفاده شد که با استفاده از روابط (۳ تا ۵) محاسبه شده‌اند.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - Y_i)^2} \quad (3)$$

$$MAPE = \frac{\sum_{i=1}^n \left| \frac{X_i - Y_i}{Y_i} \right|^2}{n} \quad (4)$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |X_i - Y_i|^2}{n} \quad (5)$$

- 
- 1- Linear Model
  - 2- Exponential Model
  - 3- Gaussian Model
  - 4- Spherical Model
  - 5- Root Mean Square Error
  - 6- Mean Absolute Error

## جدول ۲- خصوصیات آماری پارامترهای اندازه گیری شده در نمونه چاه‌های مطالعاتی

Table 1. Statistical characteristics of the measured parameters in the sample of studied wells

پارامتر	کلیفرم مدفوعی (MPN/100ml)	BOD (mg/L)	نیترات (ppm)	EC ( $\mu$ s)	COD (mg/L)	فسفات (ppm)	SAR	سختی کل	pH	DO (mg/L)
میانگین	۶۷/۶۵	۰/۲۹	۳۲/۲۰	۱۲۷۶/۱۸	۱/۰۶	۰/۰۲	۱/۷۵	۰/۰۰	۷/۳۵	۸/۱۲
میانه	۰/۰۰	۰/۰۰	۲۸/۵۰	۱۱۷۳/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۱	۰/۹۶	۰/۰۰	۷/۳۹	۸/۰۰
انحراف استاندارد	۲۶۶/۰۹	۰/۴۷	۱۶/۰۶	۹۰۵/۲۴	۳/۰۱	۰/۰۱	۲/۲۶	۰/۰۰	۰/۳۵	۰/۷۳
دامنه	۱۱۰۰/۰۰	۱/۰۰	۶۳/۳۰	۲۵۴۵/۰۰	۱۰/۰۰	۰/۰۴	۶/۶۹	۰/۰۰	۰/۹۳	۲/۴۴
حداقل	۰/۰۰	۰/۰۰	۱۵/۳۰	۲۹۵/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۰	۶/۹۰	۷/۰۲
حداکثر	۱۱۰۰ >	۱/۰۰	۷۸/۶۰	۲۸۴۰/۰۰	۱۰/۰۰	۰/۰۵	۶/۷۰	۰/۰۰	۷/۸۳	۹/۴۶
انحراف معیار	۳/۹۳	۱/۶۰	۰/۵۰	۰/۷۱	۲/۸۴	۰/۶۸	۱/۲۹	۰/۰۰	۰/۰۳	۰/۰۹

## همبستگی بین داده‌ها

به منظور بررسی همبستگی بین داده‌ها و شاخص IRWQI از دهنده همبستگی معنی‌دار شاخص کیفیت آب با پارامترهای ضریب همبستگی پیرسون استفاده شد (جدول ۳). نتایج نشان می‌دهد که EC و SAR در سطح ۱ و ۵ درصد می‌باشد.

## جدول ۳- نتایج همبستگی بین پارامترهای کیفی آب و شاخص IRWQI

Table 3. Correlation results between water quality parameters and IRWQI index

پارامتر کیفی	کلیفرم مدفوعی (MPN/100ml)	BOD (mg/L)	نیترات (ppm)	EC ( $\mu$ s)	COD (mg/L)	فسفات (ppm)	SAR	pH	DO (mg/L)	IRWQIGC
کلیفرم مدفوعی (MPN/100ml)	۱									
BOD (mg/L)	۰/۳۹۴	۱								
نیترات (ppm)	-۰/۰۶۳	-۰/۰۴۱	۱							
EC ( $\mu$ s)	۰/۲۷۲	-۰/۳۰۳	-۰/۲۰۸	۱						
COD (mg/L)	-۰/۰۹۵	۰/۲۰۸	-۰/۱۲۹	-۰/۱۶۶	۱					
فسفات (ppm)	۰/۳۹۱	۰/۱۹۴	-۰/۳۲۱	۰/۰۵۳	-۰/۰۳۰	۱				
SAR	-۰/۰۶۹	-۰/۲۷۷	-۰/۴۰۶	**۰/۸۵۸	-۰/۱۲۹	-۰/۱۴۳	۱			
pH	۰/۰۵۷	۰/۴۷۴	-۰/۰۲۴	-۰/۴۳۴	-۰/۱۸۶	۰/۲۰۳	-۰/۳۴۹	۱		
DO (mg/L)	۰/۴۷۱	۰/۱۴۰	۰/۰۸۲	۰/۲۶۷	-۰/۱۸۱	۰/۲۲۶	۰/۱۱۳	۰/۲۰۶	۱	
IRWQIGC	-۰/۴۴۳	۰/۰۵۱	-۰/۰۸۳	**۰/۸۴۹	-۰/۲۰۱	-۰/۳۲۶	*-۰/۵۸۰	۰/۲۹۷	۰/۳۷۳	۱

\*\* . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

\* . Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).



## نقشه پهنه‌بندی شاخص IRWQI

برای نشان دادن همبستگی مکانی بین داده‌های شاخص کیفیت آب، از ترسیم واریوگرام استفاده شد (جدول ۴). واریوگرامی برای برازش داده‌های هر کدام از پارامترها استفاده شد که همبستگی مکانی بین داده‌ها را به صورت مطلوب‌تری از سایر واریوگرام‌ها نشان دهد. برای این امر از نسبت میان اثر قطعه‌ای<sup>۱</sup> و سقف واریوگرام استفاده گردید. اگر نسبت اثر قطعه‌ای بر سقف واریوگرام کمتر از ۰/۲۵ باشد، بین داده‌ها همبستگی مکانی قوی وجود دارد. اگر این نسبت بین ۰/۲۵ تا ۰/۷۵ باشد میزان همبستگی مکانی متوسط بوده و اگر بیش از ۰/۷۵ درصد باشد همبستگی مکانی بین داده‌ها کم بوده یا همبستگی وجود نداشته (۲۵، ۲۶) و به همین دلیل از این پارامترها برای انتخاب بهترین واریوگرام استفاده گردید. با توجه به پارامترهای به دست آمده، برای واریوگرام‌های برازش شده شاخص IRWQI، واریوگرام گوسین با کمترین میزان نسبت اثر قطعه‌ای بر سقف واریوگرام ( $Co/Co+C=0.97$ ) و میزان  $R^2=0.95$  بهترین همبستگی بین داده‌ها برقرار کرده است و برای درونیابی مدل کریجینگ استفاده شد. واریوگرام‌های بکار رفته شده برای برازش داده‌ها در این تحقیق در شکل (۲) آمده است.

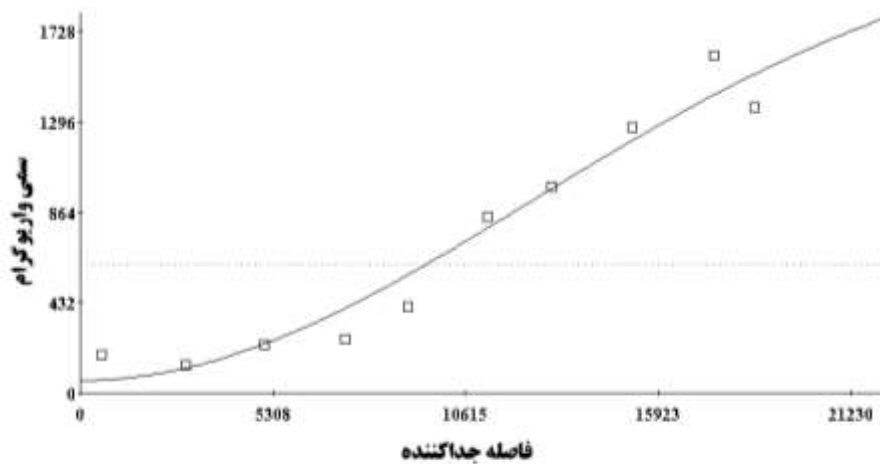
## نتایج حاصل از ارزیابی انواع مدل‌های درونیابی

برای انتخاب بهترین روش درونیابی از معیارهای ارزیابی شامل میانگین خطای مطلق (MAE)، جذر میانگین مربع خطا (RMSE) و ضریب تبیین ( $R^2$ ) استفاده شده است. نتایج حاصل از ارزیابی انواع مدل‌های درونیابی برای تهیه پهنه‌بندی شاخص کیفیت آب در جدول (۵) آمده است. نتایج بررسی روش‌های مختلف نشان می‌دهد که مدل IDW در بین همه روش‌ها دارای کمترین خطای برآورد بوده و به نظر می‌رسد که این روش مناسب‌تر از بقیه باشد. نمودار مقادیر برآوردی و مشاهده‌ای شاخص کیفیت آب براساس مدل IDW در شکل ۳ آمده است.

جدول ۴- مقادیر تأثیر قطعه‌ای و سقف واریوگرام محاسباتی برای واریوگرام‌های برازش شده

Table 4. Nugget effect values and computational variogram ceilings for on the roof of the concerned variograms

R <sup>2</sup>	Ao عامل فاصله (km)	C/Co+C	Co+C اثر آستانه (mm <sup>2</sup> )	Co اثر قطعه (mm <sup>2</sup> )	نوع مدل	پارامتر
۰/۹۰	۲۷۷۹۰	۱	۲۱۱۲	۱	خطی	IRWQI
۰/۸۴	۲۰۷۹۰	۱	۲۱۱۲	۱	نمایی	
۰/۹۵	۱۷۵۵۰	۰/۹۷	۲۲۳۰	۶	گوسین	
۰/۸۹	۴۰۰۳۰	۱	۲۱۱۲	۱	کروی	



Gaussian model (Co = 60.0000; Co + C = 2230.0000; Ao = 17550.00; r2 = 0.955;  
RSS = 124927.)

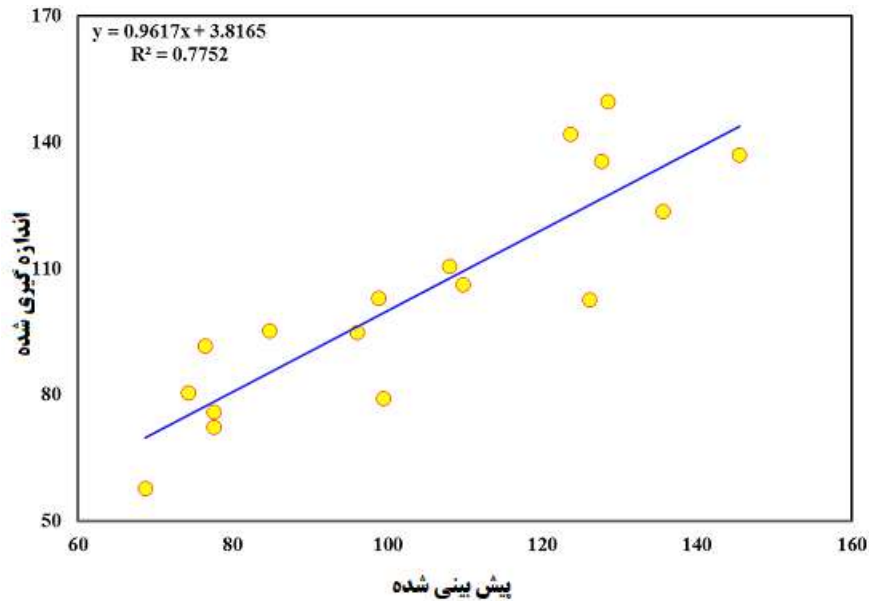
شکل ۲- واریوگرام برازش داده شده به داده‌های شاخص کیفیت آب با استفاده از واریوگرام گوسین

Figure 2. Fitted variogram for water quality index data using Gaussian variogram

جدول ۵- نتایج پارامترهای آماری شاخص کیفیت آب بر اساس روش‌های مختلف آماری

Table 5. Results of statistical parameters of water quality index based on different statistical methods

MAE	RMSE	R-squared	مدل
۹/۸۱	۱۳/۳۹	۰/۶۶	GPI
۱۰/۱۰	۱۲/۶۵	۰/۷۷	IDW
۱۰/۸۹	۱۳/۷۳	۰/۷۳	LPI
۸/۷۶	۱۱/۸۸	۰/۶۶	RBF
۱۰/۵۲	۱۳/۶۵	۰/۶۴	OK
۱۴/۱۸	۱۷/۴۹	۰/۵۴	SK
۶/۷۲	۹/۲۹	۰/۶۸	UK



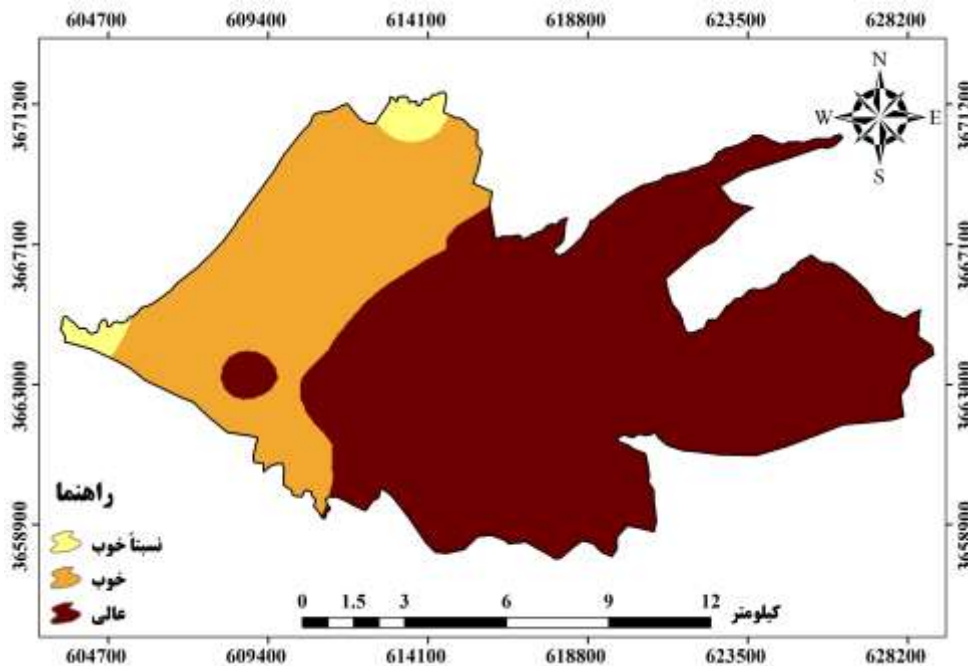
شکل ۳- نمودار مقادیر برآوردی و مشاهده‌ای شاخص کیفیت آب براساس مدل IDW

Figure 3. Diagram of estimated values and observations of water quality index based on IDW model

#### نقشه پهنه‌بندی شاخص کیفیت آب

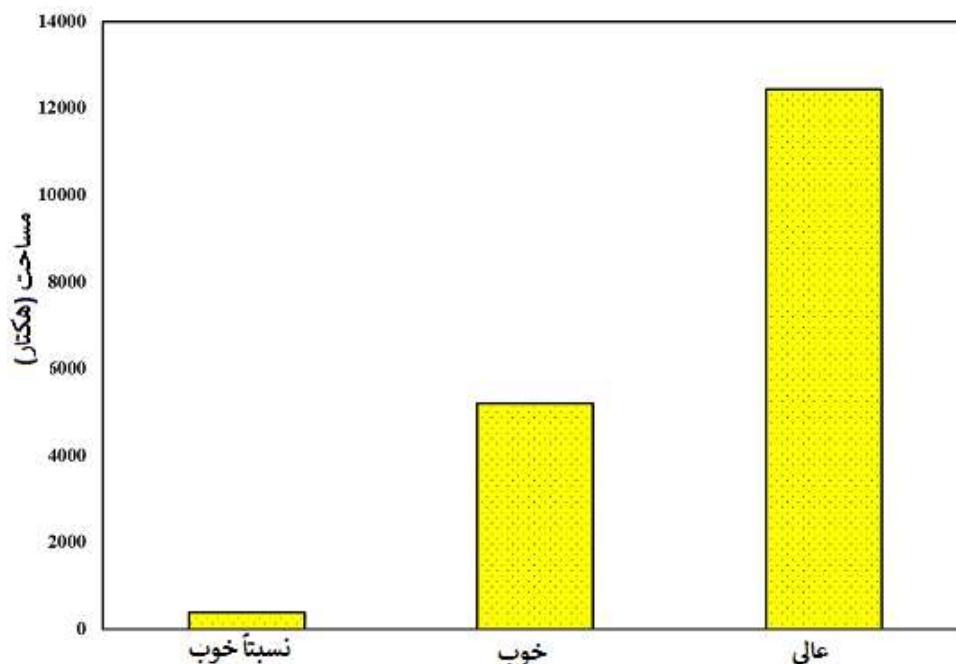
همچنین در شکل (۵) مقدار مساحت انواع کلاس‌های شاخص کیفیت آب به روش IDW که بالاترین دقت را نسبت به سایر روش‌های آماری دارد، آورده شده است.

بر اساس جدول (۵)، روش IDW دارای بالاترین دقت در بین سایر روش‌های زمین آماری می‌باشد ( $R^2=0.77$ ). شکل (۴)، نقشه پهنه‌بندی شاخص کیفیت آب به روش IDW که بر اساس جدول (۲) کلاس‌بندی شده است را نشان می‌دهد.



شکل ۴- نقشه پهنه‌بندی شاخص کیفیت آب منطقه مورد مطالعه با استفاده از روش آماری IDW

Figure 4. Zoning map of water quality index of the study area using IDW geostatistical method



شکل ۵- هیستوگرام مساحت انواع کلاس‌های شاخص کیفیت آب دشت مهران با استفاده از روش زمین آماری IDW

Figure 5. Histogram of the area of various classes of Mehran plain water quality index using IDW geostatistical method

#### بحث

در نتیجه حرکت آب‌های شور به سمت آب‌های با شوری پایین می‌باشد (۲۷).

در این تحقیق فرض بر این است که از روش‌های زمین آمار می‌توان برای برآورد این شاخص در تمام مناطق مختلف استفاده نمود و یکی از این روشها را میتوان به عنوان روش برتر با توجه به شرایط منطقه مورد مطالعه معرفی نمود. نتایج نشان داد که انواع روش‌های زمین‌آماری با در نظر گرفتن خود همبستگی مکانی داده‌ها قابلیت تلفیق با سیستم اطلاعات جغرافیایی را دارند. واریوگرام‌گوسین مورد استفاده در این تحقیق به خوبی نشان داد که ترسیم آنها علاوه بر اثبات همبستگی مکانی بین داده‌های شاخص کیفیت آب، قابلیت مدل تغییرات همبستگی مکانی در جهت‌های مختلف را نیز دارند. همچنین نتایج نشان داد که روش عکس فاصله (IDW) با مقادیر MAE، RMSE و  $R^2$  به ترتیب ۱۰/۱۰، ۱۲/۶۵ و ۰/۷۷ کمترین خطا را داشته و بعنوان بهترین روش برای پهنه-بندی شاخص کیفیت آب در دشت مهران معرفی گردید که با نتایج امیری و همکاران (۲۹) و عباس نیا و همکاران (۳۰) که

جهت بررسی روند تغییرات و پهنه‌بندی با استفاده از سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی، از روش‌های زمین آمار استفاده می‌شود. GIS، ابزاری کارآمد برای تخمین کیفیت آب در هر حوزه مکانی و زمانی استفاده می‌شود (۲۸). مزیت زمین آمار آن است که می‌توان با استفاده از داده‌های یک کمیت در مختصات معلوم، مقدار همان کمیت را در نقطه‌ای با مختصات معلوم دیگر، واقع در درون دامنه‌هایی که ساختار فضایی حاکم است، تخمین زد. لذا تحقیق حاضر با هدف بررسی شاخص کیفیت آب و تهیه نقشه پهنه‌بندی آن با استفاده از انواع مدل‌های زمین آماری انجام شد. نتایج بررسی شاخص IRWQI نشان دهنده وضعیت خیلی خوب کیفیت آب منطقه مورد مطالعه با میانگین شاخص عددی ۱۰۰ می‌باشد.

نتایج همبستگی بین پارامترهای آب زیرزمینی با شاخص IRWQI نشان داد که پارامترهای EC و SAR با شاخص مورد مطالعه دارای همبستگی معنی‌داری هستند. از علل بسیار مهم در افزایش میزان شوری آب‌های زیرزمینی، برداشت بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی و معکوس شدن شیب هیدرولیکی و

based on irrigation water quality index and its zoning with GIS in the villages of Chabahar, Sistan and Baluchistan, Iran. Data in brief, 19, pp.623-631.

2. Adimalla, N., 2019. Controlling factors and mechanism of groundwater quality variation in semiarid region of South India: an approach of water quality index (WQI) and health risk assessment (HRA). *Environmental Geochemistry and Health*, 42: 1725-1752.
3. Alastal, K. M., Alagha, J. S., Abuhabib, A. A., and Ababou, R., 2016. Groundwater quality assessment using water quality index (WQI) approach: Gaza coastal aquifer case study. *Journal of Engineering Research and Technology*, 2(1): 80-86.
4. Amiri, F., Tabatabaei, T., Valipour, S., 2018. Assessment and analysis of groundwater quality in landfills using IRWQIGC. *Journal of Soil and Water Sciences*. 22 (1): 211-226. (persian).
5. Baalousha, H., 2010. Assessment of a groundwater quality monitoring network using vulnerability mapping and geostatistics: A case study from Heretaunga Plains, New Zealand. *Agricultural water management*, 97(2): 240-246.
6. Bora, M., and Goswami, D. C., 2017. Water quality assessment in terms of water quality index (WQI): case study of the Kolong River, Assam, India. *Applied Water Science*, 7(6): 3125-3135.
7. Dashti Barmaki, M., Rezaei, M. and Saberi Nasr, A., 2014. Assessment of groundwater quality index (GQI) for Lenjanat aquifer using GIS. *Journal of*

روش کریجینگ را روش مناسب برای پهنه‌بندی پارامترهای آب زیرزمینی دانستند، مغایرت دارد.

بر اساس مساحت‌های کلاس‌های نقشه پهنه‌بندی شاخص کیفیت آب مشخص شد که کلاس خیلی خوب با مساحت ۱۲۴۲۹ هکتار (۶۹ درصد) بیشترین سطح منطقه را در بر گرفته است و کلاس‌های خوب و نسبتاً خوب به ترتیب ۵۲۰۳ و ۳۷۸ هکتار (۲۸/۸۸ و ۲/۱۰ درصد) از منطقه را شامل شده‌اند. لذا میتوان نتیجه گرفت که وضعیت کیفیت آب زیرزمینی دشت مهران خیلی خوب می‌باشد. نتایج تحقیق با مطالعه‌ای که توسط Al-hadithi و همکاران بر روی ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی منطقه Haridwar در کشور هند با استفاده از شاخص کیفیت آب انجام گرفت مطابقت دارد. آنها نتیجه رفتند که ۴۸ درصد از منابع در محدوده بسیار خوب و ۴۸ درصد در محدوده خوب و ۴ درصد در محدوده بسیار ضعیف قرار داشته است (۳۱).

#### نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج حاصل از این تحقیق پیشنهاد می‌شود که جهت جلوگیری از پایین آمدن کیفیت آب دشت مهران، اجرای اصول صحیح مدیریت منابع آب و جلوگیری از برداشت بی‌رویه بیش از پیش مورد توجه قرار گیرد. همچنین یکی از راه‌های مناسب برای جلوگیری از آلودگی آبهای زیرزمینی، شناسایی مناطق آسیب‌پذیر آبخوان به آلودگی و بررسی تغییرات مکانی کیفیت آبهای زیرزمینی می‌باشد که می‌توان از روش DRASTIC جهت پهنه‌بندس آسیب‌پذیری آبخوان استفاده کرد.

#### تشکر و قدردانی

این مقاله در راستای اهداف هسته پژوهشی مدیریت حوزه آبخیز معاونت پژوهشی دانشگاه ایلام تهیه شده است.

#### References

1. Abbasnia, A., Radfard, M., Mahvi, A.H., Nabizadeh, R., Yousefi, M., Soleimani, H. and Alimohammadi, M., 2018. Groundwater quality assessment for irrigation purposes

- purposes in Hantebet watershed, Tigray, Northern Ethiopia. *ISABB Journal of Food and Agricultural Sciences*, 1(1), pp.22-30.
14. Houben, G., Tünnermeier, T., Eqrar, N., and Himmelsbach, T., 2009. Hydrogeology of the Kabul Basin (Afghanistan), part II: groundwater geochemistry. *Hydrogeology journal*, 17(4): 935-948.
  15. Kaviarasan, M., Geetha, P. and Soman, K.P., 2016. GIS-based ground water quality monitoring in Thiruvannamalai District, Tamil Nadu, India. In *Proceedings of the international conference on soft computing systems* (pp. 685-700). Springer, New Delhi.
  16. Kaviarasan, M., Geetha, P., and Soman, K. P., 2016. GIS-based ground water quality monitoring in Thiruvannamalai District, Tamil Nadu, India. *Proceedings of the international conference on soft computing systems* (685-700). Springer, New Delhi.
  17. Logeshkumaran, A., Magesh, N. S., Godson, P. S., and Chandrasekar, N., 2015. Hydro-geochemistry and application of water quality index (WQI) for groundwater quality assessment, Anna Nagar, part of Chennai City, Tamil Nadu, India. *Applied Water Science*, 5(4): 335-343.
  18. 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. *Arabian Journal of Geosciences*, 6(11): 4179-4189.
  - Engineering Geology, 8(2): 2121-2138.
  8. Datta, P. S., and Tyagi, S. K., 1996. Major ion chemistry of groundwater in Delhi area: chemical weathering processes and groundwater flow regime. *Journal-Geological Society of India*, 47: 179-188.
  9. Eslami, H., Almodaresi, S. A., Khosravi, R., Fallahzadeh, R. A., Peirovi, R. and Taghavi, M., 2018. Assessment of groundwater quality in Yazd-Ardakan plain for agricultural purposes using Geographic Information System (GIS). *Journal of Health*, 8(5): 575-86.
  10. Eslami, H., Sedighi Khavidak, S., Salehi, F., Khosravi, R., and Peirovi, R., 2017. Biodegradation of methylene blue from aqueous solution by bacteria isolated from contaminated soil. *Journal of Advances in Environmental Health Research*, 5(1): 10-15.
  11. Fallahzadeh, R. A., Almodaresi, S. A., Dashti, M. M., Fattahi, A., Sadeghnia, M., Eslami, H., Khosravi, R., Minaee, R. P. and Taghavi, M., 2016. Zoning of nitrite and nitrate concentration in groundwater using Geografic information system (GIS), case study: drinking water wells in Yazd City. *Journal of Geoscience and Environment Protection*, 4(3): 91-96.
  12. Fathizad, H., Mobin, M. H., Gholamnia, A., and Sodaiezhadeh, H., 2017. Modeling and mapping of solar radiation using geostatistical analysis methods in Iran. *Arabian Journal of Geosciences*, 10(17): 1-13.
  13. Gebrehiwot, A.B., Tadesse, N. and Jigar, E., 2011. Application of water quality index to assess suitability of groundwater quality for drinking

- Water and Soil Science, 24 (2) :27-40. (In Persian)
26. Torabipoudeh, H., Yonesi, H., Haghizadeh, A., and Arshia, A., 2019. Assessment of Groundwater Quality Changes and Evaluation of IRWQIGC in Lenjanat-Najafabad Aquifers Area. Desert Ecosystem Engineering Journal, 8 (25): 553-66. (In Persian)
  27. Tuominen, S., Fish, S., and Poso, S., 2003. Combining remote sensing, data from earlier inventories and geostatistical interpolation in multi-source forest inventory. Canadian Journal of Forest Research, 33: 624-634.
  28. Tyagi, S., Sharma, B., Singh, P., and Dobhal, R., 2013. Water quality assessment in terms of water quality index. American Journal of water resources, 1(3): 34-38.
  29. Webster, R., and Oliver, M. A., 2007. Geostatistics for environmental scientists. John Wiley & Sons, 330 pp.
  30. Yisa, J., Jimoh, T. O., and Oyibo, O. M., 2012. Underground water assessment using water quality index. Leonardo Journal of Sciences, 21: 33-42.
  31. Zahedi Amiri, Gh., 1998. Relation between ground vegetation and soil characteristic in a mixedhardwood stand. Ph.D. thesis, university of Gent, Belgium, 319 pp.
  19. Paz-Gonzalez, A., Vieira, S. R., and Castro, M. T. T., 2000. The effect of cultivation on the spatial variability of selected properties of an umbric horizon. Geoderma, 97(3-4): 273-292.
  20. Puri, P. J., Yenkie, M. K. N., Sangal, S. P., Gandhare, N. V., Sarote, G. B., and Dhanorkar, D. B., 2011. Surface water (lakes) quality assessment in Nagpur city (India) based on water quality index (WQI). Rasayan journal of chemistry, 4(1): 43-48.
  21. Rabeiy, R. E., 2018. Assessment and modeling of groundwater quality using WQI and GIS in Upper Egypt area. Environmental Science and Pollution Research, 25(31): 30808-30817.
  22. Samadi, J., 2016. Survey of Spatiotemporal Impact of Land Use on Water Quality in Chaghakhor Wetland Using IRWQI Index and Statistical Methods. Iran-Water Resources Research, 11(3):159-171. (In Persian)
  23. Samantray, P., Mishra, B. K., Panda, C. R., and Rout, S. P., 2009. Assessment of water quality index in Mahanadi and Atharabanki Rivers and Taldanda Canal in Paradip area, India. Journal of Human Ecology, 26(3): 153-161.
  24. Samarghandi, M., Weysi, K., Aboee Mehrizi, E., Kaseb, P., and Danai, E., 2013. Evaluation of water quality in Ekbatan reservoir of Hamadan by NSFQI index. Journal of North Khorasan University of Medical Sciences, 5 (1) :63-69. (In Persian)
  25. Torabipoudeh, H., Yonesi, H., and Arshia, A., 2020. Evaluation of Quality Changes in the Groundwater Resources and IRWQIGC Upstream of Zayandehrood Dam. Journal of