

## ارزیابی شاخص کیفیت آب زیرزمینی (GWQI) و پردازش زمین آماری آن در آبخوان دشت لردگان

یاسر استواری<sup>۱\*</sup>

[Yaser.ostovary@gmail.com](mailto:Yaser.ostovary@gmail.com)

حبیب الله بیگی هرچگانی<sup>۲</sup>

علیرضا داودیان<sup>۳</sup>

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۳/۰۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۹/۲۲

### چکیده

**زمینه و هدف:** شاخص کیفیت آب زیرزمینی یکی از شاخص‌های مهم در تعیین کیفیت برای شرب است. لذا هدف از انجام این مطالعه ارزیابی شاخص کیفیت آب زیرزمینی در آبخوان دشت لردگان و پهنه‌بندی آن بود.

**روش بررسی:** برای این منظور از ۳۲ حلقه چاه کشاورزی در ۴ نوبت در سال ۱۳۸۹ نمونه‌برداری و pH، هدایت الکتریکی، کدورت، کل جامدات حل شده و معلق، سختی کل، نیترات، سولفات، کلرید، کلسیم، منیزیم، سدیم و پتاسیم در نمونه‌ها اندازه‌گیری شد. با استفاده از داده‌های کیفی حاصل، شاخص کیفیت آب زیرزمینی برای هر نمونه محاسبه گردید. در این مطالعه از روش زمین آماری کریجینگ معمولی برای پهنه‌بندی شاخص کیفیت آب زیرزمینی در محیط GIS استفاده شد.

**یافته‌ها:** دامنه مقدار شاخص کیفیت آب زیرزمینی از ۴۴ تا ۷۴ متغیر بود که بر اساس آن، آب زیرزمینی لردگان در دو کلاس کیفیت خوب و ضعیف برای آشامیدن طبقه‌بندی شد. مدل واریوگرام گوسی با دامنه تأثیر ۳۳۵۰ متر توزیع مکانی، شاخص کیفیت آب زیرزمینی را توصیف کرد. بر اساس پهنه‌بندی شاخص کیفیت آب زیرزمینی، قسمت اعظم و بخش شمالی آبخوان دارای کیفیت متوسط و آب زیرزمینی جنوب آبخوان دارای کیفیت مناسب بود. کدورت و هدایت الکتریکی بیشترین تأثیر را بر شاخص کیفیت آب زیرزمینی داشتند. همچنین شاخص کیفیت آب زیرزمینی نسبت به این دو مؤلفه حساس تر بود.

**بحث و نتیجه‌گیری:** مطالعات بیشتری لازم است تا تناسب شاخص کیفیت آب زیرزمینی برای آبخوان لردگان تعیین و یا نحوه طبقه‌بندی کیفیت آب بر اساس شاخص کیفیت آب زیرزمینی برای آبخوان‌هایی مانند لردگان واسنجی شود.

**واژه‌های کلیدی:** آلودگی خاک، کادمیوم، توزیع مکانی، زمین آمار.

۱- (مسوول مکاتبات): دانش‌آموخته دکتری خاکشناسی، دانشکده کشاورزی دانشگاه شهرکرد، ایران.

۲- استادیار گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی دانشگاه شهرکرد، ایران.

۳- دانشیار گروه علوم زمین، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین دانشگاه شهرکرد، ایران.

## **Assessment of Groundwater Quality Index (GWQI) and its Geostatistical Analysis in Lordegan Plain Aquifer**

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

[Yaser.ostovary@gmail.com](mailto:Yaser.ostovary@gmail.com)

**Habib Beigi-Harchegani** <sup>2</sup>

**Alireza Davoudian** <sup>3</sup>

### **Abstract**

**Background and Objective:** Groundwater quality index is an important tool for determination of drinking water quality. The objective of this study was to assess and map groundwater quality index in Lordegan aquifer.

**Method:** In this study, 32 agricultural wells were sampled for 4 times in 2010. pH, electrical conductivity, turbidity, total suspended and dissolved solids, total hardness, nitrate, sulfate, chloride, calcium, magnesium, sodium and potassium were measured in each sample. Using the measured values, groundwater quality index was calculated for each sample.

**Findings:** Groundwater quality index varied between 44 and 74, indicating the suitable and moderate quality of water for drinking purpose. Spatial pattern of groundwater quality index was best described by the Gaussian variogram and ordinary kriging was used for mapping the groundwater quality index. Based on the groundwater quality index map, the larger part of the aquifer located in the northern side had a moderate quality and the smaller part located in the southern side had a suitable quality. Turbidity and electrical conductivity had the greatest impact on groundwater quality index. Groundwater quality index was also lightly sensitive to these two parameters.

**Conclusion:** Further studies are needed to determine the suitability of groundwater quality index in Lordegan aquifer and to calibrate groundwater quality index classification in aquifers such as Lordegan.

**Keywords:** Groundwater, WHO, GWQI, Gaussian, Variogram, Ordinary kriging, Sensitivity analysis.

---

1- PhD, Department of Soil Science, Faculty of agriculture, University of Shahrekord, Shahrekord Iran.

\* (Corresponding Author)

2- Assistant professor, Department of soil Science, Faculty of Agriculture, University of Shahrekord, Shahrekord Iran.

3- Associate professor, Department of Natural Resources and Earth Sciences, University of Shahrekord, Shahrekord, Iran.

## مقدمه

یکی از روش‌های ساده و دور از پیچیدگی‌های ریاضی و آماری که می‌تواند شرایط کیفی آب را بازگو نماید، استفاده از شاخص‌های کیفی آب می‌باشد. یکی از شاخص‌های کیفی مهم مورد استفاده، شاخص GWQI (Groundwater Quality Index) است. این شاخص معیاری برای تعیین کیفیت آب‌های زیرزمینی و تعیین تناسب آن برای اهداف شرب و یک ابزار موثر در برقراری ارتباط بین اطلاعات کیفی آب می‌باشد (۱ و ۲). شاخص GWQI، از یک روش ریاضی برای تبدیل کردن تعداد زیاد داده‌های کیفی آب به یک عدد استفاده می‌کند. یکی از محاسن GWQI انعطاف‌پذیری آن در استفاده از مولفه‌های موجود می‌باشد. به عبارت دیگر تعداد مولفه‌های کیفی ورودی برای محاسبه GWQI متغیر است. با استفاده از این عدد و طبقه‌بندی‌های GWQI، تصمیم‌گیری درباره کیفیت آب و قابلیت استفاده آن برای آشامیدن آسان و ساده است (۲ و ۳). در تعیین GWQI معمولاً از استانداردهای (World Health Organization) WHO استفاده می‌شود.

رضا و سینگ در سال ۲۰۱۰ در پژوهشی به ارزیابی کیفیت آب‌های زیرزمینی منطقه اریسا هند اقدام و از غلظت  $\text{NO}_3^-$ ،  $\text{Ca}^{2+}$  و  $\text{Mg}^{2+}$  برای محاسبه GWQI استفاده کردند. بر اساس نتایج، دامنه‌ی GWQI در فصل خشک (تابستان) از ۱۴ تا ۵۷ و در فصل بارندگی (زمستان) از ۱۹ تا ۶۷ تغییر داشت. در این پژوهش نتیجه گرفته شد که افزایش املاح محلول در طول دوره بارندگی موجب کاهش کیفیت آب در مقایسه با فصل تابستان شده است (۲).

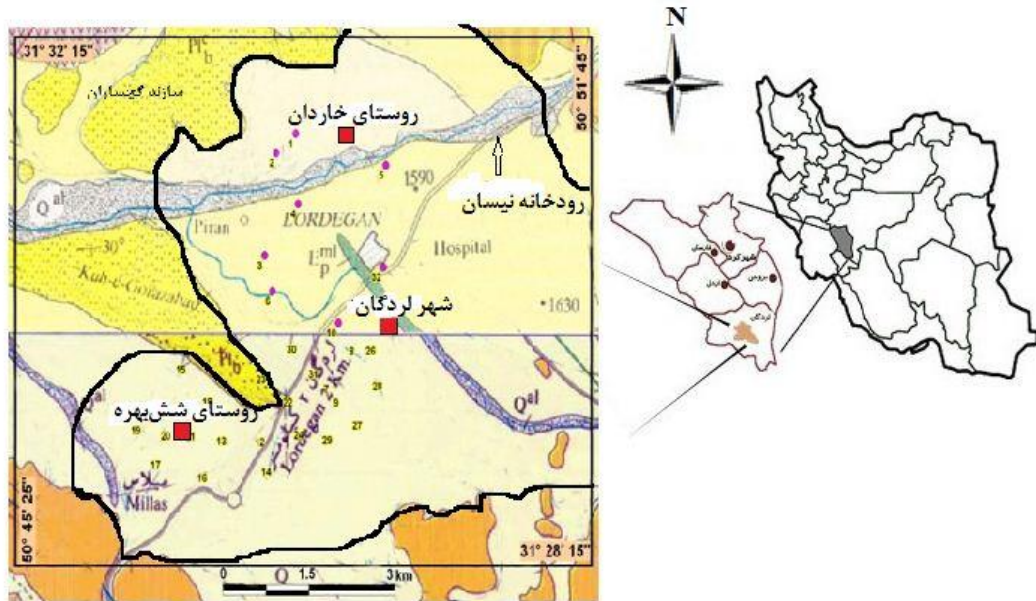
شارما و پاتل در سال ۲۰۱۰ در مطالعه‌ای کیفیت آب زیرزمینی منطقه شهری سارت هند را با استفاده از شاخص کیفی آب زیرزمینی مورد ارزیابی قرار دادند. در نمونه‌های آب زیرزمینی مؤلفه‌های pH، TDS،  $\text{Cl}^-$ ، EC و TH اندازه‌گیری و شاخص GWQI برای هر نمونه تعیین شد. دامنه GWQI در فصل خشک از ۶۷ تا ۱۹۲ و در فصل مرطوب از ۶۲ تا ۱۹۰ متغیر بود. نتایج نشان داد کیفیت آب زیرزمینی این منطقه برای آشامیدن در کلاس متوسط تا ضعیف قرار دارد (۳).

در سال‌های اخیر، چند مطالعه به ارزیابی کیفیت آب‌های زیرزمینی با استفاده شاخص GWQI پرداخته‌اند، ولی به نظر می‌رسد که الگوی تغییرات مکانی GWQI تاکنون بررسی نشده است. هم‌چنین در هیچ مطالعه‌ای به ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی با استفاده از شاخص GWQI در دشت لردگان که از دشت‌های مهم کشاورزی استان چهارمحال و بختیاری به شمار می‌رود، پرداخته نشده است. هدف از این مطالعه [۱] ارزیابی شاخص GWQI، [۲] تعیین الگوی تغییرات مکانی شاخص GWQI، [۳] ارزیابی تأثیر مولفه‌های کیفی بر GWQI و [۴] پهنه‌بندی شاخص کیفی (GWQI) در آب زیرزمینی دشت لردگان با استفاده از روش زمین‌آماری کریجینگ می‌باشد.

## مواد و روش‌ها

## معرفی دشت و سفره‌ی آب لردگان

دشت لردگان با وسعت ۶۵ کیلومترمربع در محدوده‌ی ۴۳۳۲۲۴ تا ۵۱۶۲۴۵ متر طول شرقی و ۳۴۶۴۲۴۵ تا ۳۵۰۹۳۲۰ متر عرض شمالی در استان چهارمحال و بختیاری واقع شده است. شکل (۱۱۱۱۱) ورد مطال. میانگین دمای سالانه این دشت ۱۵/۵ درجه سانتی‌گراد و میانگین بارش سالانه آن ۵۶۰ میلی‌متر است که آن را بر اساس روش آمبرژه در آب و هوای نیمه‌گرمسیری قرار می‌دهد. قسمت عمده آب شرب مورد نیاز ساکنین لردگان از آب‌های زیرزمینی آن تأمین می‌شود. دشت لردگان در زیر زون زاگرس چین خورده واقع شده است. علاوه بر سازند آسماری، بخش‌های کوچکی از تاق‌دیس ریگ از سازند چهارم شامل سنگ‌های آهکی و دولومیتی خاکستری روشن و توده‌ای به سن ائوسن تشکیل شده است. در شرق و شمال شرقی دشت سازند آسماری و در غرب دشت سازند بختیاری شامل کنگلومرا و ماسه‌سنگ به سن پلیوسن می‌باشد. در شمال غرب دشت سازند گچساران شامل مارن‌های خاکستری و قرمز همراه با گچ ملاحظه می‌شوند (۴). جدول (۱) موقعیت جغرافیایی چاه‌های نمونه‌برداری دشت لردگان را نشان می‌دهد.



شکل ۱- منطقه مورد مطالعه

Figure1- Study area

جدول ۱ - موقعیت جغرافیایی چاه‌های نمونه برداری در دشت لردگان

Table 1 - Geographical position of sampling wells in Lordean plain

(UTMx)	شماره چاه	(UTMy)
۴۷۹۹۰۶	۱۷	۳۴۸۷۸۴۷
۴۸۰۰۳۵	۱۸	۳۴۸۷۵۷۷
۴۷۹۱۱۹	۱۹	۳۴۸۶۱۴۰
۴۸۰۰۰۲	۲۰	۳۴۸۶۸۶۰
۴۸۰۰۷۱	۲۱	۳۴۸۷۳۹۹
۴۸۱۷۷۵	۲۲	۳۴۸۵۶۴۵
۴۸۱۹۴۹	۲۳	۳۴۸۴۴۱۴
۴۸۱۹۶۷	۲۴	۳۴۸۴۲۹۴
۴۸۱۹۶۹	۲۵	۳۴۸۴۲۲۲
۴۸۷۹۳۳	۲۶	۳۴۸۵۱۹۶
۴۸۲۷۲۵	۲۷	۳۴۸۴۳۲۲
۴۸۲۷۹۴	۲۸	۳۴۸۳۳۸۷
۴۸۲۰۷۱	۲۹	۳۴۸۳۱۹۸
۴۸۲۱۳۷	۳۰	۳۴۸۳۲۵۹
۴۸۲۲۱۹	۳۱	۳۴۸۳۹۴۹
۴۸۳۳۱۷	۳۲	۳۴۸۳۱۰۸۰

که در آن:  $C_i$  غلظت یا مقدار هر مولفه در هر نمونه آب و  $S_i$  استاندارد شرب WHO برای همان مولفه می‌باشد.

(ج) برای هر مولفه مقدار  $QW$  محاسبه می‌شود

$$QW_i = Q_i \times RW_i \quad (3)$$

(ح) در نهایت شاخص کیفی آب زیرزمینی ( $GWQI$ ) از معادله-ی زیر محاسبه شد:

$$GWQI = \sum QW_i \quad (4)$$

طبقه‌بندی نوع کیفیت آب براساس  $GWQI$  در جدول ۲ ارائه شده است.

### جدول ۲- طبقه‌بندی کیفیت آب شرب براساس

#### GWQI (۳)

Table 2 - Classification of drinking water quality based on GWQI (3)

دامنه GWQI	طبقه بندی کیفی آب
۰ - ۲۵	بسیار مناسب
۲۶ - ۵۰	خوب
۵۱ - ۷۵	متوسط
> ۷۵	ضعیف

#### تحلیل حساسیت

در این مطالعه تحلیل حساسیت مؤلفه‌های به کار رفته در محاسبه  $GWQI$  به این صورت انجام شد: شاخص  $GWQI$  سیزده مرتبه هر بار با حذف یکی از مؤلفه‌ها محاسبه شد (۲) و (۶). سپس شاخص تغییر ( $V_{wi}$  %) از معادله ی زیر برای هر ۱۳ مؤلفه بدست آمد:

$$V_{wi} = (|GWQI - GWQI_{wi}| / GWQI) \times 100 \quad (5)$$

که در آن:  $V_{wi}$  شاخص تغییر (%). بدون مؤلفه‌ی  $W_i$ ،  $GWQI_{wi}$ ، شاخص کیفیت آب بدون مؤلفه‌ی  $W_i$ ، و  $GWQI$  شاخص کیفیت با در نظرگیری تمام ۱۳ مؤلفه است. پس از به دست آمدن شاخص تغییر برای هر مؤلفه خلاصه آماری شامل کمینه، بیشینه، میانگین و انحراف معیار محاسبه شد.

#### برازش مدل نیم‌متغیرنما و انتخاب مدل مناسب

پس از اطمینان از نرمال بودن توزیع داده‌ها، ابتدا نیم‌متغیرنما تجربی  $\gamma^*(h)$  مؤلفه‌ها ترسیم گردید:

$$\gamma^*(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad (6)$$

در سه فصل بهار (خرداد)، تابستان (مرداد و شهریور) و پاییز (آبان) ۱۳۸۹ از ۳۲ حلقه چاه واقع در دشت لردگان به مساحت ۶۰ کیلومتر مربع نمونه‌برداری صورت گرفت. نمونه‌های آب در بطری‌های ۲۵۰ میلی‌لیتری که قبلاً اسیدشویی و با آب مقطر شسته شده بودند، جمع‌آوری گردیدند. در مجموع از داده‌های ۱۶۰ نمونه آب آبخوان دشت لردگان استفاده گردید. در این مطالعه از میانگین داده‌های مربوط به هر چاه استفاده شد. نمونه‌ها پس از اضافه کردن چند قطره تولوئن برای جلوگیری از واکنش‌های زیستی در داخل یخدان در زیر یخ نگهداری و سریعاً به آزمایشگاه منتقل و بر اساس استانداردها تجزیه شدند (۵). هدایت الکتریکی و pH نمونه‌ها با دستگاه ISTEK مدل PDC ۹۱۵ و کل جامدات محلول نمونه‌ها با تبخیر ۱۰۰ mL آب و توزین مانده اندازه‌گیری شدند. کدورت نمونه‌ها با کدورت سنج مدل PC Compact قرائت و با واحد NTU بیان گردید. جامدات معلق، با عبور ۱۰۰ mL آب از صافی  $0.45 \mu m$  و خشک‌اندن صافی در  $105^\circ C$  و توزین با ترازوی آنالیتیک به دست آمد (APHA, 1988). کلسیم، منیزیم و کلرید به روش تیتراسیون، سولفات و نیترات به روش رنگ سنجی و سدیم و پتاسیم به روش شعله سنجی اندازه‌گیری شدند (۵).

#### محاسبه شاخص GWQI

برای ارزیابی شاخص کیفی آب زیرزمینی مراحل زیر انجام شد: الف) تعیین وزن هر مولفه‌ی کیفی آب زیرزمینی. دامنه وزن هر مولفه کیفی بین ۱ تا ۵ تغییر می‌کند: وزن ۱ برای مولفه‌ای است که کمترین اهمیت و وزن ۵ برای مولفه‌ای است که بیشترین اهمیت را در کیفیت آب زیرزمینی دارد (۳ و ۶). وزن نسبی از معادله‌ی زیر محاسبه شد:

$$RW_i = \frac{W_i}{\sum W_i} \quad (1)$$

که در آن:  $RW_i$  وزن نسبی هر مولفه کیفی،  $W_i$  وزن هر مولفه‌ی و  $\sum W_i$  مجموع وزن‌های  $n$  مولفه می‌باشد.

ب) کیفیت نسبی ( $Q_i$ ) برای هر مولفه از معادله‌ی زیر محاسبه شد:

$$Q = \left( \frac{C_i}{S_i} \right) \times 100 \quad (2)$$

زیرزمینی استفاده شد. معادله اساسی کریجینگ به شکل زیر است (۸، ۹ و ۱۰).

$$Z(x_0) = \sum_{i=1}^n w_i Z(x_i) \quad (9)$$

که در این معادله  $Z(X_0)$  مقدار تخمین متغیر  $x$  در نقطه نمونه برداری نشده  $x_0$  مقدار مشاهداتی متغیر  $x$  در نقطه‌های نمونه برداری  $x_i$ ،  $w_i$  وزن تعلق گرفته به هر مشاهده در نقطه  $x_i$  می‌باشد (۱۱ و ۱۲). نرمال بودن توزیع داده‌ها با آزمون کولموگروف-اسمیرنوف و دیگر تجزیه‌های آماری در محیط STATISTICA 8.0 انجام شد (۱۳). پهنه‌بندی و تهیه نقشه‌های توزیع مکانی GWQI در محیط ArcMap 9.3 صورت گرفت (۱۴).

جدول (۳) خلاصه آماری مولفه‌های کیفی اندازه‌گیری شده در آبخوان دشت لردگان را نشان می‌دهد.

#### نتایج

که در آن  $N(h)$ : تعداد جفت مشاهدات و  $Z(x_i)$  و  $Z(x_i+h)$  مقدار مشاهدات متغیرها در نقاط  $x_i$  و  $x_i+h$  است (۷). مشخصه‌های نیم‌تغییرنا مشتمل بر دامنه تأثیر، آستانه و اثر قطعه‌ای می‌باشد. مدل‌های نظری نیم‌تغییرنا نیز در محیط variowin ویرایش ۲،۲۱ به مشاهدات برازش داده شد.

نسبت اثر قطعه‌ای به آستانه شاخصی از قدرت ساختار مکانی متغیرهاست. چنان‌چه این نسبت کمتر از ۰/۲۵ شود نشان‌دهنده وابستگی مکانی قوی و اگر این نسبت بین ۰/۲۵ تا ۰/۷۵ قرار گیرد بیانگر وابستگی مکانی متوسط و در صورتی که این نسبت بزرگ‌تر از ۰/۷۵ گردد، نشان‌دهنده‌ی وابستگی مکانی ضعیف خواهد بود (۸). برای ارزیابی مدل‌های نیم‌تغییرنا انتخاب شده با استفاده از مدول x-valid نرم افزار GeoEas ویرایش ۱،۱،۲ دو معیار زیر محاسبه شد.

#### پهنه‌بندی شاخص کیفی

از روش‌های کریجینگ برای پهنه‌بندی شاخص کیفی آب

جدول ۳ - خلاصه آماری مولفه‌های اندازه‌گیری شده در آبخوان دشت لردگان و استانداردهای WHO برای آب شرب همراه با درصد‌های عدول هر مولفه

Table 3- Statistical analysis of components measured in the Lordean Plain Aquifer and WHO standards for drinking water with percentages of each component

مؤلفه	واحد	میانگین	حداقل	حداکثر	انحراف معیار	ضریب تغییرات	استاندارد WHO (2008)	توافق کامل با استاندارد WHO	نرخ انحراف از استاندارد
pH	—	۷/۵۲	۷/۴۰	۷/۷۰	۰/۰۸	۱	۶/۵ - ۸/۵	□	۰
EC	μS/cm	۶۳۲	۴۱۷	۹۲۵	۱۱۰	۱۷	۶۰۰	×	۴۳
TDS	mg/L	۳۶۰	۲۶۵	۵۲۰	۵۷	۱۶	۶۰۰	□	۰
TSS	mg/L	۲۷	۱۸	۳۵	۵	۱۸	۲۵	×	۵۳
TU	NTU	۶/۸	۳/۸	۹/۰	۱/۲	۱۸	۵	×	۸۱
TH	mg/L	۲۰۹	۱۵۴	۲۶۴	۲۹	۱۴	۵۰۰	□	۰
NO <sub>3</sub>	mg/L	۱۰	۶	۱۶	۲	۲۰	۴۵	□	۰
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	mg/L	۸۵	۲۹	۳۰۷	۵۰	۵۹	۲۵۰	×	۳
Cl <sup>-</sup>	mg/L	۶۹	۴۰	۱۱۵	۲۱	۳۰	۲۵۰	□	۰
Ca <sup>2+</sup>	mg/L	۲۷	۱۵	۴۶	۸	۳۰	۲۰۰	□	۰
Mg <sup>2+</sup>	mg/L	۳۴	۱۹	۴۹	۸	۲۵	۱۰۰	□	۰
K <sup>+</sup>	mg/L	۱/۴	۰/۷	۳/۵	۰/۸	۵۱	۱۲	□	۰
Na <sup>+</sup>	mg/L	۱۲	۸	۱۸	۳	۲۳	۱۵۰	□	۰

میزان انحراف از رابطه:  $(۳۲ \div \text{تعداد چاه خارج از استاندارد}) = \text{میزان انحراف}$  به دست آمده است.

## محاسبه GWQI

آب برای آشامیدن تعیین شده است. بر این اساس به نترات آب بیشترین وزن و به دیگر مولفه‌ها وزن‌های کمتری داده شد (۳).

جدول (۴) مقادیر پیشنهادی وزن برای هر مولفه و نتایج محاسبات مراحل مختلف GWQI در آبخوان دشت لردگان را نشان می‌دهد. وزن هر مولفه بر اساس اهمیت آن در کیفیت

جدول ۴- وزن، وزن نسبی، میانگین کیفیت نسبی هر مولفه در آبخوان دشت لردگان

Table 4 - Weight, relative weight, average relative quality of each component in the Lordegan plain aquifer

مولفه	وزن (W)	وزن نسبی (RW <sub>i</sub> )	میانگین کیفیت نسبی (Q)	QW
pH	۲	۰/۰۴۸	۱۰۷	۵/۲
EC	۳	۰/۰۷۳	۱۲۶	۹/۲
TDS	۴	۰/۰۹۷	۷۷	۷/۵
TSS	۳	۰/۰۷۳	۱۰۶	۷/۸
Tu	۳	۰/۰۷۳	۱۳۴	۹/۸
TH	۴	۰/۰۹۷	۴۲	۴/۰
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	۵	۰/۱۲۱	۲۲	۲/۷
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	۳	۰/۰۷۳	۳۴	۲/۵
Cl <sup>-</sup>	۴	۰/۰۹۷	۲۸	۲/۷
Na <sup>+</sup>	۳	۰/۰۷۳	۶	۰/۴
K <sup>+</sup>	۲	۰/۰۴۸	۱۲	۰/۶
Ca <sup>2+</sup>	۳	۰/۰۴۸	۲۷	۱/۳
Mg <sup>2+</sup>	۲	۰/۰۴۸	۲۲	۱/۱
مجموع	۴۱	۱	-	۵۴/۸

ضریب همبستگی اسپیرمن GWQI با مؤلفه‌های کیفی مورد استفاده در محاسبه‌ی آن در جدول (۵) آمده است.

جدول ۵- ضرایب همبستگی اسپیرمن GWQI با مؤلفه‌های کیفی در آبخوان دشت لردگان با یکدیگر و با GWQI

Table 5: Spearman GWQI correlation coefficients with qualitative components in Lordegan plain aquifer with one another and with GWQI

Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	TH	Tu	TSS	TDS	EC	pH	GWQI
۰/۳۸*	۰/۷۰*	۰/۷۴*	-۰/۱۱	۰/۷۵*	۰/۵۱*	۰/۶۹*	۰/۸۲*	۰/۷۹*	۰/۷۳*	۰/۸۷*	۰/۸۶*	-۰/۲۵	

\* معنی‌داری در سطح ۰/۰۵ را نشان می‌دهد.

## تحلیل حساسیت

است. بنابراین EC و Tu باید با صحت و دقت بیشتری پایش شوند. شاخص GWQI کمترین حساسیت را به سختی و کلسیم نشان داده است (جدول ۶).

در جدول (۶) نتایج تحلیل حساسیت آورده شده است. با توجه به جدول (۵)، در دشت لردگان شاخص GWQI بیشترین حساسیت را به کدورت و هدایت الکتریکی نشان می‌دهد یا به عبارت دیگر شاخص GWQI نسبت به این مؤلفه‌ها حساس‌تر

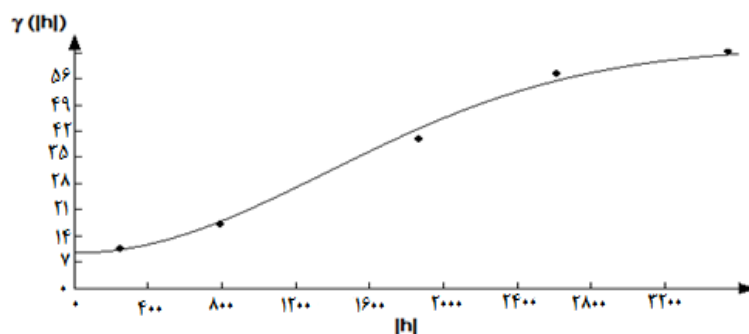
جدول ۶- خلاصه آماری شاخص تغییر (V<sub>wi</sub>) برای حذف هر مؤلفه در محاسبه GWQI آب زیرزمینی لردگان

Table 6- Statistical summary of the V<sub>wi</sub> index for the elimination of each component in the GWQI calculation of Lordegan groundwater

مؤلفه‌ی حذف شده	کمینه	بیشینه	میانگین	انحراف معیار
	٪			
NO <sub>3</sub>	۵/۶	۸/۵	۶/۸	۰/۸
pH	۲/۳	۷/۱	۵/۳	۱/۳
EC	۷/۲	۱۳/۰	۱۰/۴	۱/۶
TDS	۱/۷	۶/۸	۴/۲	۱/۱
TSS	۴/۴	۱۲/۴	۷/۷	۲/۰
Tu	۵/۸	۱۶/۲	۱۱/۲	۲/۳
TH	۱/۲	۳/۷	۲/۴	۰/۷۰
Cl <sup>-</sup>	۳/۲	۷/۷	۵/۶	۱/۲
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	۰/۰	۵/۶	۳/۱	۰/۲۷
Ca <sup>2+</sup>	۰/۵	۳/۵	۲/۴	۰/۸۷
Mg <sup>2+</sup>	۲/۳	۲/۶	۲/۹	۰/۳۸
Na <sup>+</sup>	۶/۲	۶/۸	۶/۵	۰/۱۸
K <sup>+</sup>	۲/۳	۳/۴	۳/۸	۰/۵

شکل ۲ واریوگرام شاخص کیفی آب زیرزمینی (GWQI) را نشان می‌دهد.

تحلیل زمین آماری ساختار تغییرات مکانی GWQI



شکل ۲- واریوگرام گوسی شاخص کیفی آب زیرزمینی (GWQI). فاصله، [h]، بر حسب متر است.

Figure 2 - Gusi Variogram Groundwater Quality Index (GWQI). Distance [h], in meters.

دشت لردگان نشان می‌دهد.

جدول (۷) نتایج تحلیل واریوگرام تجربی GWQI را در آبخوان

جدول ۷- مشخصات متغیرنمای GWQI در آبخوان دشت لردگان

Table 7. Specifications of the GWQI variable in the Lordegan Plain Aquifer

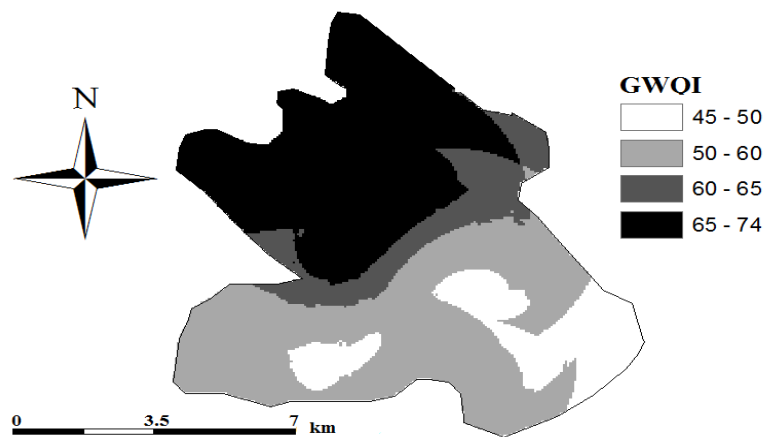
مدل	دامنه تأثیر (m)	آستانه تأثیر (C <sub>0</sub> +C)	اثر قطعه‌ای (C <sub>0</sub> )	$\frac{C_0}{C_0 + C}$	کلاس وابستگی مکانی
گوسی	۳۳۵۰	۶۵	۱۰	۰/۱۵	قوی



## تحلیل زمین آماری پهنه بندی GWQI

لردگان با استفاده از روش کریجینگ معمولی را نشان می دهد.

شکل ۳ نقشه پهنه بندی شاخص GWQI در آبخوان دشت



شکل ۳- نقشه پهنه بندی GWQI در آبخوان دشت لردگان

Figure 3- GWQI mapping in the Lordean plain aquifer

براساس GWQI دشت لردگان به ۲ پهنه تقسیم شد (جدول ۸).

درصد و مساحت مربوط به هر پهنه شاخص کیفیت آب زیرزمینی در دشت لردگان در جدول (۸) ارائه شده است.

جدول ۸- مساحت (ha) مربوط به هر پهنه ی GWQI در آبخوان لردگان

Table 8- Area (ha) for each GWQI zone in the Lordean Aquifer

محدوده ی GWQI	کلاس کیفیت آب	مساحت (%)	مساحت (ha)
۲۵ - ۵۰	مناسب	۶۸	۴۰۸۰
۵۱ - ۷۵	متوسط	۳۲	۱۹۲۰

## بحث و نتیجه گیری

ضریب تغییرات همه مولفه ها به جز سولفات و پتاسیم کمتر از ۳۰٪ است که نشان دهنده ی یکنواختی نسبی آن ها در سطح آبخوان می باشد. به دلیل تأثیر سازندهای زمین شناسی و عوامل خارجی مانند تغذیه آبخوان با آب شور رودخانه نیسان، ضریب تغییرات سولفات بیشتر از ۳۰٪ است (۱۷). میانگین شاخص کیفی آب زیرزمینی (GWQI) در آبخوان دشت لردگان ۵۴/۸، حداقل ۴۴ و حداکثر آن ۷۴ به دست آمد. کدورت با (  $QW=9/8$  )، EC با (  $QW=9/2$  ) بیشترین تأثیر و سدیم با (  $QW=0/4$  ) و پتاسیم با (  $QW=0/6$  ) کمترین تأثیر را بر GWQI دارد (جدول ۴). جالب است که مولفه ی خواهری EC یعنی TDS و مولفه ی خواهری Tu یعنی TSS از نقطه نظر تأثیر بر GWQI در رده سوم و چهارم قرار می گیرند. در دشت لردگان، ظاهراً این چهار مولفه بیشترین

آبخوان منطقه لردگان از نظر میانگین های pH، جامدات حل شده، سختی، نترات، سولفات، کلراید، کلسیم، منیزیم، پتاسیم و سدیم با استاندارد WHO سازگار است (WHO, 2004) (جدول ۳). ولی میانگین های هدایت الکتریکی، جامدات معلق و کدورت اندکی فراتر از حد مجاز WHO است (جدول ۳). در دشت لردگان چاه هایی وجود دارند که مقدار هدایت الکتریکی، جامدات معلق، کدورت و سولفات در آن ها از حد استاندارد WHO برای شرب تجاوز می کند (۱۶). در بیش از ۷۵ درصد از چاه ها مقدار کدورت آب از حد استاندارد بیشتر است (جدول ۳). این چاه ها اکثراً در نیمه ی شمالی دشت واقع شده اند. درصد این چاه ها در جدول تحت ستون میزان انحراف از استاندارد آورده شده است.

در قسمت‌های شمالی آبخوان مقدار GWQI بیشتر و در قسمت‌های جنوبی آبخوان کمتر است (شکل ۳). بنابراین کیفیت آبخوان در قسمت‌های شمالی خوب و در قسمت‌های جنوبی متوسط می‌باشد (جدول ۲). در قسمت شمالی آبخوان دشت لردگان مقدار مولفه‌های مؤثر بر مقدار GWQI نیز از سایر قسمت‌های دشت بیشتر بوده و به این دلیل مقدار GWQI در این قسمت از سایر بخش‌ها بیشتر است.

بیشترین مقدار EC و TDS در قسمت شمال و شمال شرقی دشت و کمترین مقدار EC و TDS در جنوب و جنوب شرقی دشت لردگان مشاهده می‌شود. در شمال و شمال شرقی آبخوان شوری و TDS بالا می‌تواند [۱] به دلیل حلالیت سازند شور و گچی گچساران در این قسمت آبخوان باشد (۴) [۲] تغذیه این بخش از آبخوان با آب رودخانه شور نیسان که از دشت خان‌میرزا سرچشمه می‌گیرد (در مجاورت دشت خان‌میرزا گنبد‌های نمکی وجود دارد)، سبب ورود آب‌های شور به این قسمت دشت شده است. در دیگر قسمت‌های آبخوان EC و TDS کمتر از قسمت شمالی آبخوان بوده و محدودیت کمتری ایجاد می‌کند، به خصوص در قسمت جنوبی آبخوان احتمالاً به دلیل تغذیه سفره آب زیرزمینی ناحیه با آب چشمه برم (که EC آن کمتر از  $420 \mu\text{S}/\text{cm}$  است) میزان EC و TDS از قسمت‌های شمال شرقی آبخوان کمتر است. در قسمت‌های شمالی آبخوان به دلیل کشت محصولات صیفی که نیاز فراوانی به آب دارند، میزان پمپاژ از چاه‌ها زیاد بوده و موجب افزایش بار معلق و کدورت در این قسمت آبخوان شده است. همچنین حلالیت سازند گچی و شور در قسمت‌های شمالی موجب افزایش مواد معلق و کدورت در این قسمت از دشت نسبت به سایر قسمت‌ها شده است.

در قسمت شمالی دشت لردگان غلظت نیترات بین ۸ تا ۲۰ میلی‌گرم در لیتر متغیر است. در این ناحیه از دشت که کشت محصولات صیفی (که نیاز زیاد به آبیاری دارد) رایج است، لذا احتمال آبتویی و نشت زهاب خروجی از زمین‌های کشاورزی به طرف سفره‌های آب زیرزمینی زیاد است (۲۰، ۲۱). در قسمت جنوب و جنوب غربی دشت لردگان غلظت نیترات از ۴ تا ۱۲ میلی‌گرم در لیتر تغییر می‌کند. آب‌های عمیق این قسمت سازندهای آهکی تغذیه می‌شوند و بدین علت دارای کیفیت بهتری هستند. در قسمت مرکزی دشت غلظت نیترات

تأثیر را بر GWQI دارند. از طرف دیگر pH پنجمین مولفه مهم در محاسبه GWQI بوده (جدول ۳) در حالی‌که با GWQI همبستگی ندارد (جدول ۴). مقدار GWQI در ۲۸٪ نمونه‌ها (۹ چاه) کمتر از ۵۰ (آب خوب) و در ۷۲٪ نمونه‌ها (۲۳ چاه) بیشتر از ۵۰ (کلاس کیفیت متوسط) بود.

شاخص GWQI فقط با pH و کلسیم هم بستگی ندارد (جدول ۵). ضرایب همبستگی GWQI بقیه‌ی مؤلفه‌ها همگی مثبت و معنی‌دار ( $p < 0.05$ ) هستند و در دامنه‌ی ۰/۳۸ تا ۰/۸۷ قرار می‌گیرند. قوی‌ترین همبستگی GWQI با EC و TDS و ضعیف‌ترین همبستگی آن با  $\text{Na}^+$  و سپس با  $\text{SO}_4^{2-}$  است (جدول ۵). در آب زیرزمینی شهرکرد نیز بین شاخص GWQI با EC و TDS کمترین همبستگی و با  $\text{Na}^+$  بیشترین همبستگی را دارد (۱۸). می‌توان نتیجه گرفت به دلیل نزدیک بودن موقعیت آبخوان پژوهش حشمتی و بیگی هرچگانی در سال ۱۳۹۱ با پژوهش حاضر دلیل بر این نوع همبستگی بین شاخص GWQI با برخی از پارامترهاست. در آب زیرزمینی شهر سارت هند نیز بین شاخص GWQI با اکثر پارامترهای کیفی از جمله سدیم، شوری و پتاسیم همبستگی دیده شد. در آبخوان دشت لردگان، مدل گوسی بهترین برازش را به GWQI داشت (شکل ۲). تاکنون تغییرات مکانی GWQI مورد بررسی قرار نگرفته است، در صورتی که تغییرات مکانی مؤلفه‌های GWQI (شاخص‌های کیفی آب‌های زیرزمینی)، بررسی شده است (۱۸، ۱۹، ۲۰). در مطالعه‌ی ارزیابی و پهنه‌بندی کیفی آب زیرزمینی دشت لردگان جهت آبیاری قطره‌ای نیر برای کدورت، EC، TSS و TDS (مؤلفه‌های حساس شاخص GWQI، جدول ۶) مدل گوسی واریوگرام بهترین برازش را داشت (۲۰).

مقدار دامنه تأثیر GWQI یعنی ۳۳۵۰ متر، به دامنه تأثیر مؤلفه‌های آن نزدیک است (جدول ۷). نسبت اثر قطعه‌ای به آستانه تأثیر کمتر از ۰/۲۵ شد که کلاس وابستگی قوی مکانی را در دامنه تأثیر نشان می‌دهد (۸). در مطالعه‌ی در مورد کیفیت آب زیرزمینی دشت لردگان نیز برای کدورت دامنه تأثیر ۳۴۹۲ متر و برای EC دامنه تأثیر ۲۶۷۷ متر حاصل شد که نشان‌دهنده تأثیر و ارتباط این دو مؤلفه بر شاخص GWQI است که با نتایج تحلیل حساسیت این شاخص همخوانی دارد (۱۹، ۲۰).

## تشکر و قدردانی

بدین وسیله از دانشگاه شهرکرد جهت تأمین هزینه‌های مالی این پژوهش کمال قدردانی را داریم.

## منابع

- 1- Latha, S., and Rao, N. 2010. Assessment and Spatial Distribution of Quality of Groundwater in Zone II and III, Greater Visakhapatnam, India Using Water Quality Index (WQI) and GIS. *International Journal of Environmental Science*, 1 (2):198-212.
- 2- Reza, R., and Sing, G. 2010. Assessment of groundwater quality status by using water quality index method in Orissa, India. *World Applied Sciences Journal*, 9 (12): 1392-1397.
- 3- Sharma, N., and Patel, J.N. 2010. Evaluation of groundwater quality index of the urban segments of Surat City, India. *International Journal of Geology*, 1(4), 1-4.
- ۴- شرکت سهامی آب منطقه ای چهارمحال و بختیاری، «شرکت سهامی آب منطقه ای چهارمحال و بختیاری (معاونت مطالعات پایه منابع آب)، ۱۳۸۷، گزارش زمین شناسی، طرح مطالعات نیمه تفصیلی منابع آب زیرزمینی محدوده های مطالعاتی کیار، شلمزار و لردگان»، ۸۰ صفحه.
- 5- APHA. 1998. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 20th Edition. American Public Health Association Inc. Washington, USA.
- 6- Ishaku, J. M. 2011. Assessment of groundwater quality index for Jimeta-Yola area, Northeastern Nigeria, *Journal of Geology and Mining Research*, 3(9): 219-231.
- 7- Isaaks, E.H., and R.M. Srivastava. 1989. *An introduction to applied geostatistics*. Oxford Univ. Press, New York.

از ۵/۵ تا ۱۵/۵ میلی گرم در لیتر متغیر است. در این ناحیه از دشت لردگان، نبود سیستم تصفیه فاضلاب خانگی و نشت زهاب کشاورزی می‌تواند از دلایل آلودگی نیتراتی این بخش از آبخوان باشد (۲۱، ۲۲، ۲۳). به دلیل حلالیت کانی گچ و نیز تأثیر سازندهای کربناتی دولومیتی و مارنی مقدار سولفات، منیزیم و پتاسیم ناحیه شمالی آبخوان از سایر قسمت‌ها بیشتر است (۲۲، ۲۳). قسمت‌های مرکزی و جنوبی آبخوان به دلیل تغذیه با آب چشمه برم از کیفیت مناسب‌تری برخوردار بوده و میزان سولفات، منیزیم و کلرید کمتری نسبت به قسمت‌های شمالی آبخوان دارد (۴). بیشترین مساحت که در ناحیه شمال تا جنوب آبخوان واقع است مربوط به پهنه‌ای با کلاس کیفیت آب متوسط است که ۵۲۲۰ هکتار از دشت را پوشش می‌دهد (جدول ۷۶ و شکل ۳). ناحیه جنوب شرقی و جنوب غربی دشت (۱۳٪) مربوط به پهنه‌ای با کلاس کیفیت آب خوب است که ۷۸۰ هکتار از دشت را پوشش می‌دهد (جدول ۷ و شکل ۳). شاخص‌های کیفی آب زیرزمینی کیفیت آب زیرزمینی را در قالب یک عدد خلاصه می‌کنند. شاخص GWQI با همه مولفه‌های به کار رفته (به غیر از pH و کلسیم) هم‌بستگی مثبت و معنی‌دار داشت. ضعیف‌ترین هم‌بستگی آن به مولفه‌ی  $Na^+$  مربوط می‌شد و هم‌بستگی GWQI با بقیه از ۰/۵۰ بیشتر بود. نتایج نشان داد که مدل گوسی با دامنه تأثیر ۳۳۵۰ متر برای GWQI مناسب بود. مؤلفه‌های EC و Tu بیشترین تأثیر را در GWQI داشتند. هم‌چنین شاخص GWQI نسبت به این مؤلفه‌ها حساس‌تر بوده و دامنه GWQI از ۴۴ تا ۷۴ در تغییر بود. بر اساس نقشه GWQI قسمت‌های شمالی و جنوبی آبخوان لردگان کیفیت متوسط و جنوب شرقی و جنوب غربی کیفیت خوبی برای شرب داشتند، در حالی که میانگین هر ۱۳ مؤلفه به کار رفته در محاسبه GWQI به مقادیر استاندارد مؤلفه‌های کیفی ارایه شده WHO برای شرب نزدیک و با آن هم‌خوانی دارد ولی قسمت اعظم آبخوان دارای کیفیت متوسط برای شرب است. در این جا دو سوال مطرح می‌شود: ۱- آیا طبقه‌بندی آب بر اساس امتیاز GWQI به صورت فعلی مناسب است؟ ۲- آیا GWQI شرایط کیفی آب زیرزمینی در همه آبخوان‌ها را به خوبی منعکس می‌کند؟ پاسخ به این سوال مطالعات بیشتری می‌طلبد و پیشنهاد می‌گردد شاخص‌های دیگر کیفیت آب زیرزمینی که از روش‌های دیگر استفاده می‌کنند آزموده شوند.

- Vol. 1: recommendations (3rd ed). WHO, Geneva.
- ۱۷- رضایی. عبدالمجید و میرمحمدمیبدی. علی محمد، ۱۳۸۴، «آمار و احتمالات (کاربرد در کشاورزی)»، انتشارات جهاد دانشگاهی واحد صنعتی اصفهان، چاپ اول، ۵۸۶ صفحه.
- ۱۸- حشمتی. سمیرا و بیگی هرچگانی. حبیب، ۱۳۹۱، «پهنه‌بندی شاخص‌های کیفی آب زیرزمینی شهرکرد به منظور استفاده در طراحی سامانه‌های آبیاری»، مجله پژوهش آب در کشاورزی، ۲۶ (۱): صص ۴۴-۵۹.
- ۱۹- استواری. یاسر و همکاران، ۱۳۹۰، «ارزیابی، تغییرات مکانی و پهنه‌بندی کیفیت آب برای طراحی آبیاری قطره‌ای در دشت لردگان»، نشریه آبیاری و زهکشی، ۲(۵): صص ۲۵-۳۸.
- ۲۰- استواری. یاسر و همکاران، ۱۳۹۱، «بررسی تغییرات مکانی نیترات در آب زیرزمینی دشت لردگان»، ۲ (۱): صص ۵۵-۶۷.
- ۲۱- جعفری ملک‌آبادی. علی و همکاران، ۱۳۸۳، «بررسی غلظت نیترات در آب های زیرزمینی استان اصفهان»، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، ۸(۳): صص ۶۹-۷۳.
- ۲۲- مطیعی. همایون، ۱۳۸۲، «چینه شناسی زاگرس»، انتشارات سازمان زمین شناسی کشور، ۵۳۶ صفحه.
- 23- Ostovari, Y., Beigi-Harchegani, H., and Asgari, K. 2014. A fuzzy logic approach for assessment and mapping of groundwater irrigation quality: a case study of Marvdasht aquifer, Iran. Archives of Agronomy and Soil Science, <http://dx.doi.org/10.1080/03650340.2014.946020>.
- 8- Shi, J., Wang, H., Xu, J., Wu, J., Liu, X., Zhu, H., and Yu, C. 2007. Spatial distribution of heavy metals in soils: a case study of changxing, china. Environmental Geology, 52:1-10.
- 9- Gaus, I., Kinniburgh, J.C., and Webster, R. 2003. Geostatistical analysis of arsenic concentration in groundwater in Bangladesh using disjunctive kriging. Environmental Geology, 44:939-948.
- 10- Scott, H.D. 2000. Soil physics, agricultural and environmental application. Iowa State University Press. 415 pp.
- 11- Kumar, K.S., Kumar, P.S., Babi, M.J., and Rao, H. 2010. Assessment and mapping of ground water quality using geographical information system. International Journal of Engineering Science and Technology, 2(11): 6035-6046.
- 12- Mehrjardi, R., Zareian, M., Mahmodi, S.h., and Heidari, A. 2008. Spatial distribution of groundwater quality with geostatistics (Case study: Yazd-Ardakan plain). World Applied Science Journal. 4(1):9-17.
- 13- StatSoft. 2007. STATISTICA (data analysis software system). Version 8. [www.statsoft.com](http://www.statsoft.com).
- 14- ESRI, Inc. 2008. ArcMap™. Version 9.3. [www.esri.com](http://www.esri.com).
- 15- Sing, C.K., Shahshtri, S., Mukhrjee, S., Kumari, R., Avater, R., Singh, A., and Sing, R. P. 2011. Application of GWQI to assess effect of land use change on groundwater quality in lower Shiwaliks of Punjab: Remote sensing and GIS based approach. Water Resource Manage, 25, 1881-1898.
- 16- World Health Organization. 2004. Guidelines for drinking water quality.