

## ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی شهرستان شوش برای شرب

عادل سلطانی<sup>۱\*</sup>، میلاد سلطانی<sup>۲</sup>، کریم سلیمانی<sup>۳</sup>

۱. مربی، عضو هیئت علمی گروه مهندسی و فناوری کشاورزی، دانشگاه پیام‌نور

۲. دانشجوی دکتری علوم مهندسی آب‌خیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

۳. استاد گروه مهندسی آب‌خیزداری، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

(تاریخ دریافت ۱۳۹۷/۰۱/۳۱؛ تاریخ تصویب ۱۳۹۷/۰۴/۲۵)

## چکیده

کیفیت آب یکی از عوامل مهمی است که باید هنگام ارزیابی توسعه مناسب یک منطقه، بررسی شود. آب‌های زیرزمینی در جایگاه کنونی شهرستان شوش و نیز در تداوم بقای این شهرستان در آینده کارکرد مهمی دارند. با توجه به اینکه تا کنون به پهنه‌بندی کیفیت منابع زیرزمینی آب شهرستان شوش پرداخته نشده است، در مطالعه حاضر به ارزیابی کیفی منابع آب زیرزمینی این شهرستان پرداخته شد. در مطالعه حاضر پارامترهای سدیم، کلراید، سولفات، کل جامدات محلول، اسیدیته، منیزیم و کلسیم به عنوان پارامترهای شاخص کیفیت منابع مندرج در کتاب *رهنمودهای سازمان بهداشت جهانی* بررسی شدند. به این منظور، پس از نرمال‌کردن داده‌های استفاده‌شده و رسم واریوگرام مربوط به داده‌ها، با استفاده از دو روش کریجینگ و معکوس فاصله وزنی (IDW) نقشه تغییرات مکانی این پارامترها تهیه شد و نتایج دو روش با هم مقایسه شدند. نتایج نشان داد در همه پارامترها صحت روش کریجینگ در برآورد مقادیر بیشتر است. پس از تهیه نقشه تغییرات مکانی این پارامترها، نقشه‌ها با هم تلفیق شدند و نقشه کیفیت آب زیرزمینی براساس استانداردهای کیفیت آب آشامیدنی تهیه شد. نتایج نشان داد ۲۳/۶۷ درصد از آب‌های زیرزمینی منطقه مطالعه‌شده در حد مطلوب و ۱۵/۲۹ درصد دارای کیفیت حد مجاز برای آشامیدن است.

**کلیدواژگان:** آب زیرزمینی، زمین‌آمار، سامانه اطلاعات جغرافیایی، شوش، معکوس فاصله وزنی.

## مقدمه

آب منبع اصلی توسعه اقتصادی، امنیت اجتماعی و کاهش فقر است. ارزش این منبع از یک سو و محدودیت آن از سوی دیگر سبب افزایش تدابیر مدیریتی برای حفظ کمیت و کیفیت آب توسط جوامع مختلف شده است. تغییرات محیطی و فعالیت‌های انسانی بر کمیت و کیفیت آب تأثیرگذارند [۱]. افزایش روزافزون آلاینده‌های شیمیایی شهری و صنعتی تهدیدی جدی برای محیط زیست به حساب می‌آیند. کیفیت آب یکی از عوامل مهمی است که باید هنگام ارزیابی توسعه مناسب یک منطقه، بررسی شود [۲]. اگرچه به نظر می‌رسد تأثیرپذیری آب‌های زیرزمینی از محیط اطراف کمتر از منابع آب‌های سطحی باشد؛ پژوهش‌ها نشان داده‌اند همگام با منابع سطحی، کمیت و کیفیت آب‌های زیرزمینی نیز از عوامل محیطی تأثیر می‌پذیرند [۳ و ۴] و حتی در پاره‌ای موارد این تأثیرات شدیدتر و ماندگارتر است [۵]. ترکیب شیمیایی آب زیرزمینی، مقیاسی از تناسب آن به عنوان منبع آبی برای مصارف انسانی، آبیاری و برای اهداف صنعتی را شامل می‌شود. بنابراین، هدف تعریف کیفیت آب نیست، بلکه استفاده مطلوب از آب در جامعه مد نظر متخصصان است. بر اساس استانداردهای مختلف موجود، برای هر متغیر مقادیر قابل پذیرش و غیر قابل پذیرشی تعریف شده است که اگر آب از این استاندارد تجاوز کند، قبل از استفاده باید تصفیه شود [۶]. بنابراین، تعیین مناطقی که در آن کیفیت آب از حد مجاز عبور می‌کند و به طور کلی تهیه نقشه پهنه‌بندی کیفیت آب اهمیت زیادی دارد.

به رغم اهمیت این موضوع، تا کنون به تغییرات مکانی کیفیت منابع آب‌های زیرزمینی کشور توجه لازم نشده است. یکی از دلایل مهم این کاستی، ناتوانی روش‌های سنتی استفاده‌شده در آمار کلاسیک برای ارائه اطلاعات مورد نیاز درباره موقعیت مکانی و تغییرات موضعی آن در سطح است [۷]. اما پیشرفت‌های اخیر در معرفی و بسط روش‌های غیر کلاسیک سبب افزایش تمایل برای استفاده از آمار مکانی یا زمین‌آمار به منظور بررسی و شناخت بیشتر این تغییرات شده است. مبنای نظری زمین‌آمار این است که به خلاف روش‌های آماری قطعی، داده‌ها و مشاهدات تصادفی نیستند بلکه همبستگی مکانی دارند [۵]. منظور از داده‌های مکانی، مجموعه داده‌هایی است که در آن علاوه بر مقادیر کمی

متغیرها، موقعیت جغرافیایی و مکانی داده‌ها نیز برداشت می‌شود. پدیده‌ها و فرایندهایی که در فضای چندبعدی رخ می‌دهند، در قلمروی آمار مکانی تحلیل می‌شوند یا به‌طور خلاصه می‌توان گفت که تحلیل زمین‌آمار به بررسی پدیده‌های متغیر در زمان و مکان می‌پردازد. در این روش با داشتن مقادیر یک کمیت در یک نقطه می‌توان مقدار همان کمیت را در نقطه‌ای دیگر با مختصات معلوم برآورد کرد، به شرط اینکه مختصات آن نقطه در دامنه‌ای قرار گیرد که ساختار مکانی حاکم است [۸]. از روش‌های استفاده‌شده در آمار مکانی می‌توان به کریجینگ و وزن دادن عکس فاصله اشاره کرد [۹].

تا کنون در مطالعاتی به ارزیابی تغییرات کیفیت آب‌های زیرزمینی پرداخته شده است. به طور مثال، اسپینار و همکارانش [۱۰] در مطالعه‌ای در اسپانیا به پهنه‌بندی فلزات سنگین و مواد آلی موجود در آب زیرزمینی پرداختند. در مطالعه دیگری ابوالنعیم و همکارانش [۱۱] در غزه فلسطین کیفیت آب زیرزمینی را با استفاده از زمین‌آمار بررسی کردند. نتایج مطالعات آنها نشان داد بسیاری از پارامترهای آبخوان‌ها ساختار مکانی دارند و می‌توان با استفاده از زمین‌آمار کیفیت آب زیرزمینی را بررسی کرد. پاوار و همکارانش [۱۲] با استفاده از روش‌های زمین‌آمار، تغییرات زمانی و مکانی کیفیت آب زیرزمینی را ارزیابی کردند. نتایج مطالعات آنها نشان داد ۷۴ درصد از نمونه‌های برداشت‌شده در طبقه نامناسب قرار دارند؛ زیرا این منطقه در یک ناحیه صنعتی قرار گرفته است و فعالیت‌های انسانی سبب آلودگی آب‌های آنجا شده است. هوشمند و همکارانش [۱۳] در شهرستان بوکان برای تخمین پارامترهای کیفی SAR و Cl در آب زیرزمینی از روش درون‌یابی کریجینگ استفاده کردند. نتایج پژوهش آنها نشان‌دهنده دقت زیاد روش کریجینگ بود. شهرستان شوش در استان خوزستان با وجود اراضی مستعد کشاورزی و فعالیت‌های گسترده انسانی، اهمیت و جایگاهی زیادی در اقتصاد استان و کشور دارد. آب‌های زیرزمینی در جایگاه کنونی این شهرستان و نیز در تداوم بقای این شهرستان در آینده کارکرد مهمی دارند. با توجه به آنکه تا کنون به پهنه‌بندی کیفیت منابع زیرزمینی آب این شهرستان پرداخته نشده است و نیز با توجه به اهمیت موضوع هدف از مطالعه حاضر، تهیه نقشه تغییرات مکانی فراسنج‌های کیفی مختلف آب مانند میزان املاح موجود در آب، منیزیم، کلرور، سولفات،

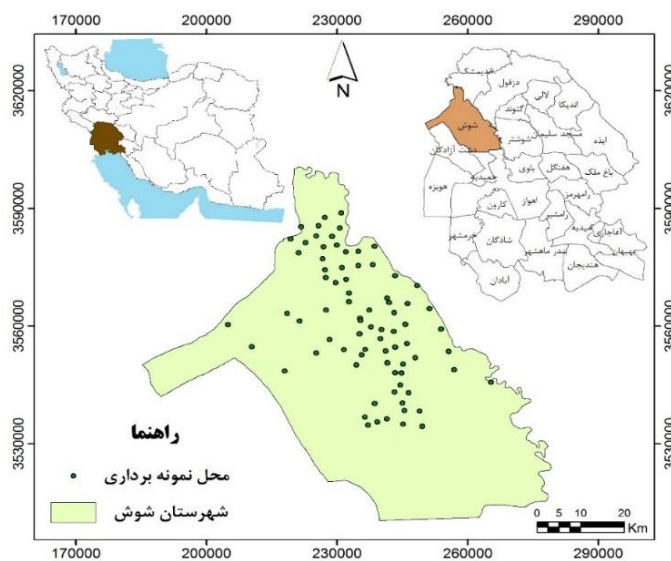
طول شرقی و "۴۲'۲۷" تا "۳۱° ۲۹'۵۱" عرض شمالی قرار گرفته است (شکل ۱). مساحت این شهرستان حدود ۳۶۳۰/۲۹ کیلومترمربع و جمعیت آن بیش از ۲۰۰ هزار نفر است. مرکز این شهرستان شهر شوش است که ارتفاع آن از سطح دریا ۱۱۲ متر بوده و جمعیت آن حدود ۷۵ هزار نفر است. میانگین حداقل دمای روزانه در زمستان ۴/۲ درجه سانتی‌گراد و در تابستان ۴۵/۹ درجه بوده و میزان بارندگی سالانه به طور متوسط از ۲۴۰ تا ۵۵۸ میلی‌متر متغیر است [۱۴].

سدیم و اسیدیت با استفاده از روش‌های درون‌یابی و زمین‌آمار و در نهایت تهیه نقشه نهایی کیفیت منابع آب زیرزمینی منطقه مطالعه‌شده با تلفیق نقشه پارامترهای مختلف با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) است.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مطالعه‌شده

منطقه مطالعه‌شده شهرستان شوش در استان خوزستان است که در مختصات بین "۳۹° ۰۰" تا "۴۸° ۴۰'۹"



شکل ۱. موقعیت منطقه مطالعه‌شده و چاه‌های محل نمونه‌برداری

و معکوس فاصله وزن دار محاسبه شد. این دو روش در ادامه شرح داده شده‌اند.

در مطالعه حاضر ابتدا واریوگرام و ساختار مکانی نمونه‌ها بررسی شد. سعی واریوگرام یا به‌اختصار واریوگرام یک ابزار اساسی در زمین‌آمار است که برای بررسی همبستگی مکانی نمونه‌ها نسبت به هم به کار می‌رود. هدف از برقرار کردن این تابع، شناسایی ساختار تغییرپذیری متغیر نسبت به فاصله مکانی است. آمار کلاسیک چنین قابلیت‌هایی ندارد. در ارتباط بین مقادیر متغیر نسبت به فاصله برای ترسیم واریوگرام، از برازش مدل‌های مختلفی مانند خطی، کروی، گوسی و غیره استفاده می‌شود. تابع واریوگرام مطابق رابطه ۱ محاسبه می‌شود [۱۸]:

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

## روش مطالعه

به منظور بررسی کیفیت آب زیرزمینی شهرستان شوش از آمار و اطلاعات ۸۰ چاه استفاده شد که در اواخر اردیبهشت و اوایل خرداد ۱۳۹۵ توسط سازمان آب منطقه‌ای استان خوزستان برداشت و آنالیزهای کیفی روی آن انجام شده بود. در مطالعه حاضر پارامترهای سدیم، کلراید، سولفات، کل جامدات محلول، اسیدیت، منیزیم و کلسیم به عنوان پارامترهای شاخص کیفیت منابع مندرج در کتاب *رهنمودهای سازمان بهداشت جهانی بررسی شدند*، این پارامترها مزه، طعم، ظاهر و یا به طور کلی مقبولیت آب را تحت تأثیر قرار می‌دهند [۱۵-۱۷]. در نخستین گام ابتدا با استفاده از آزمون کلموگروف-اسمیرنوف چگونگی پراکنش داده بررسی شد و داده‌ها نرمال شدند. پس از نرمال کردن داده‌ها، نقشه تغییرات مکانی هر یک از پارامترها با استفاده از دو روش کریجینگ

اعتبارسنجی متقابل (Cross Validation) استفاده شد. در این روش، در هر مرحله یک نمونه مشاهده‌ای حذف شده و سپس با استفاده از سایر نمونه‌ها مقدار آن برآورد می‌شود. این کار برای همه نمونه‌ها تکرار می‌شود و در نهایت با مقایسه بین مقادیر برآورد و مشاهده‌شده و استفاده از معیارهایی مانند ضریب تبیین ( $R^2$ )، درصد ریشه میانگین مربع خطا (RMSE) و درصد میانگین خطا (ME) کیفیت برآورد روش‌های مختلف مورد مقایسه قرار می‌گیرد [۲۲] و با توجه به رابطه ۲ محاسبه می‌شود.

$$\%ME = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [\hat{Z}(X_i) - Z(X_i)]}{Z(X_i)} * 100 \quad (2)$$

$$\%RMSE = \frac{\frac{1}{n} \sqrt{\sum_{i=1}^n [\hat{Z}(X_i) - Z(X_i)]^2}}{Z(X_i)} * 100$$

$n$  تعداد مشاهدات،  $Z(X_i)$  مقدار مشاهده‌شده در نقطه  $i$  و  $\hat{Z}(X_i)$  مقدار برآوردشده در نقطه  $i$  است. نقشه مربوط به پارامترهای مختلف بررسی شده تهیه شد. در نهایت، پس از تهیه نقشه مربوط به پارامترهای مختلف با توجه به حد مطلوب و حد مجاز برای هر پارامتر در آب آشامیدنی که در جدول ۱ به آن اشاره شده است [۱۵-۱۷]، این نقشه‌ها طبقه‌بندی شدند و سپس با استفاده از منطق روی هم‌گذاری بولین و عملگر And نقشه‌ها روی هم‌گذاری شده و در نهایت نقشه تغییرات مکانی کیفیت آب زیرزمینی برای شرب به دست آمد. عملگر And عملگری بدبینانه است که اگر فقط مقدار یک پارامتر بیش از حد مجاز باشد، بدون توجه به مناسب بودن سایر پارامترها، آن منطقه را به عنوان نامناسب معرفی می‌کند؛ بنابراین نتایج این عملگر می‌تواند بسیار دقیق و مطمئن باشد.

$y(h)$  نیم‌تغییرنمای تجربی،  $N(h)$  تعداد جفت نقاطی است که در فاصله  $h$  از یکدیگر قرار دارند،  $Z(X_i)$  و  $Z(X_{i+h})$  به ترتیب مقادیر مشاهده‌شده متغیر  $Z$  در نقاط  $X_i$  و  $X_{i+h}$  است. در معادله یادشده مقدار تغییرنما به فاصله بین مقادیر یک متغیر ناحیه‌ای در دو نقطه وابسته است. واریوگرام سه مشخصه اصلی دارد که شامل آستانه  $(C_0)$ ، دامنه تأثیر  $(R)$  و اثر قطعه‌ای  $(C_0)$  می‌شود. دامنه تأثیر حداکثر فاصله‌ای است که پس از آن دیگر ساختار مکانی وجود ندارد و یا به بیان دیگر، پس از عبور از دامنه تأثیر دیگر همبستگی مکانی بین نمونه‌ها وجود ندارد. مدل برازش‌شده در واریوگرام باید از نقطه صفر محور  $y$  بگذرد؛ اما در شرایط طبیعی بر اثر عوامل مختلف این مقدار معمولاً از نقطه صفر عبور نمی‌کند. محل تلاقی مدل برازشی با محور  $y$  اثر قطعه‌ای است. وقتی واریوگرام به مقدار ثابت خود می‌رسد، ارتفاع واریوگرام برابر حد آستانه است که برابر مجموع واریانس تصادفی است [۱۹]. علاوه بر سه مشخصه اصلی واریوگرام، می‌توان با محاسبه نسبت اثر قطعه‌ای به آستانه، ساختار مکانی داده‌ها را بهتر ارزیابی کرد. چنانچه این نسبت کمتر از  $0.25$  باشد، ساختار مکانی قوی؛ بین  $0.25$  و  $0.75$ ، ساختار متوسط و چنانچه بیشتر از  $0.75$  باشد، ساختار مکانی ضعیف است [۲۰]. در روش معکوس فاصله وزن دار (IDW) که روشی معین است، رابطه اصلی تخمین همان رابطه کریجینگ است، با این تفاوت که در این روش وزن‌ها فقط با توجه به فاصله هر نقطه معلوم نسبت به نقطه مجهول و بدون توجه به چگونگی پراکندگی نقاط حول نقطه تخمین زده‌شده، تعیین می‌شوند. به نقاط نزدیک‌تر وزن بیشتر و به نقاط دورتر وزن کمتری اختصاص داده می‌شود [۲۱]. برای ارزیابی صحت روش‌های مختلف درون‌یابی از روش

جدول ۱. حداکثر مجاز و مطلوب مواد شیمیایی معدنی غیر سمی موجود در آب آشامیدنی (واحد بر حسب میلی‌گرم بر لیتر) [۱۵-۱۷]

پارامتر	علامت اختصاری	حداکثر مطلوب	حداکثر مجاز
کل مواد جامد محلول	TDS	۱۰۰۰	۱۵۰۰
کلور	CL	۲۵۰	۴۰۰
سولفات	SO4	۲۵۰	۴۰۰
کلسیم	Ca	۳۰۰	-
منیزیم	Mg	۳۰	-
سدیم	Na	۲۰۰	۲۵۰
اسیدیته	pH	۸/۵-۶/۵	۵

## نتایج

در جدول ۲ نتایج به دست آمده از بررسی آمار توصیفی داده‌های بررسی شده نشان داده شده است. براساس نتایج به دست آمده، بیشتر پارامترها چولگی دارند. نتایج آزمون کولموگروف-اسمیرنوف نشان داد داده‌های مربوط به همه پارامترهای بررسی شده در مطالعه حاضر (جز اسیدیتته) توزیع غیر نرمال دارند؛ بنابراین با استفاده از تابع لگاریتم داده‌ها نرمال شدند.

به منظور بررسی ساختار مکانی نمونه‌ها، واریوگرام نمونه‌های برداشت شده برای هر متغیر ترسیم و بهترین مدل برای هر یک از متغیرها که کمترین مقادیر خطای باقی مانده و میانگین خطا را داشت، انتخاب شد (شکل‌های ۲ تا ۸). سپس، خصوصیات واریوگرام هر یک از پارامترها بررسی شد که این خصوصیات در جدول ۳ نشان داده شده است.

براساس نتایج به دست آمده (جدول ۳) ساختار مکانی کل مواد جامد محلول برابر با حدود ۹۸ درصد است که نشان می‌دهد ساختار مکانی ضعیفی بین نمونه‌های مربوط به مواد جامد موجود در آب وجود دارد. همچنین، دو پارامتر منیزیم و اسیدیتته ساختار مکانی بسیار قوی‌ای داشتند. در سایر پارامترها نیز ساختار مکانی نسبتاً خوبی

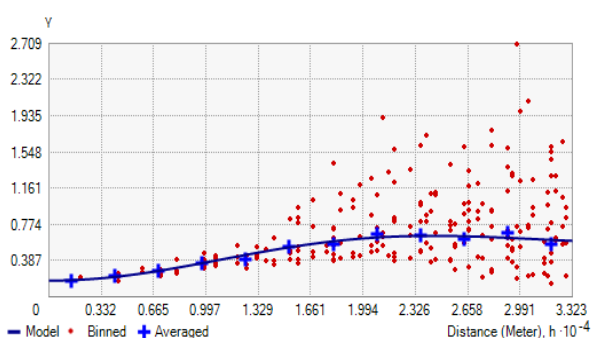
بین نمونه‌های مربوط به پارامترها مشاهده شد؛ بنابراین با توجه به این نتایج به نظر می‌رسد که داده‌ها مناسب ارزیابی‌های زمین‌آماري باشند.

نتایج مطالعه حاضر نشان داد برآورد و تخمین در دو روش کریجینگ و معکوس فاصله وزنی با دقت نزدیک به هم صورت گرفته است و تفاوت بسیاری بین این دو روش از نظر میزان صحت و دقت برآورد وجود ندارد. با این حال، روش کریجینگ با صحت و دقت بیشتری نسبت به روش معکوس فاصله وزنی، توانسته است هفت متغیر بررسی شده را تخمین بزند و برآورد کند (جدول ۴).

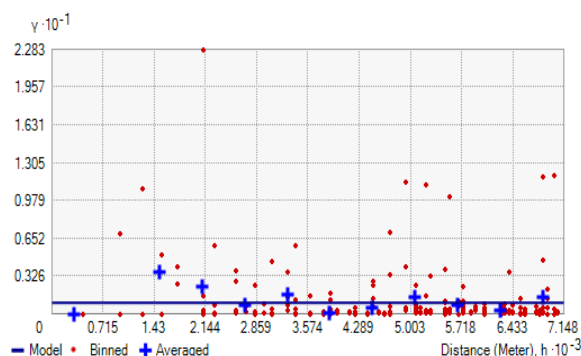
با توجه به اینکه در همه پارامترها صحت روش کریجینگ نسبت به روش IDW بیشتر بود، نقشه تغییرات مکانی هر یک از این پارامترها با استفاده از برآوردهای به دست آمده از روش کریجینگ تهیه شد (شکل‌های ۹ تا ۱۵). در شکل‌های یاد شده حد مطلوب هر عنصر در منطقه مطالعه شده براساس استاندارد آب شرب سازمان بهداشت جهانی [۱۵-۱۷] با رنگ سبز، حد مجاز با رنگ نارنجی و در نهایت نامناسب، با رنگ قرمز نشان داده شده است. واحد نقشه‌های زیر (به استثنای اسیدیتته) برحسب میلی‌گرم بر لیتر است.

جدول ۲. ویژگی‌های آماری مربوط به پارامترهای مختلف بررسی شده

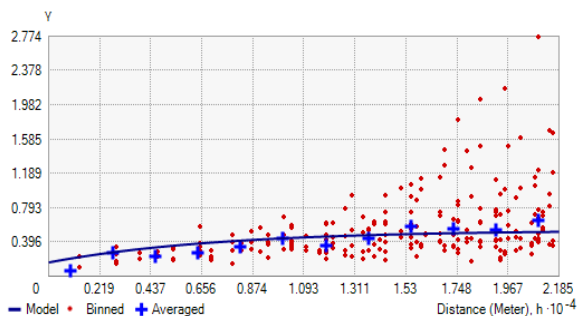
متغیر	کمینه	میانگین	بیشینه	انحراف معیار	چولگی	کشیدگی
کل مواد جامد محلول	۴/۳	۱۴۸۹/۷	۶۳۳۶/۰	۱۲۷۳/۱	۱/۷۴	۶/۴۱
کلرور	۰/۹۶	۵/۹۸	۲۵/۰۸	۵/۰۵	۱/۹۴	۶/۷۰
سولفات	۰/۴۹	۱۴/۰۶	۷۲/۷۵	۱۴/۵۴	۱/۶۸	۶/۰۱
کلسیم	۱/۲۸	۹/۳۶	۳۰/۹۳	۷/۵۰	۱/۴۶	۴/۲۲
منیزیم	۰/۹۵	۵/۵۶	۲۶/۶۵	۴/۹۹	۲/۵۰	۱۰/۷۳
سدیم	۰/۶۸	۸/۴۳	۳۹/۰۵	۸/۰۹	۱/۹۷	۶/۸۵
اسیدیتته	۷/۰۰	۷/۴۵	۸/۰۰	۰/۲۳	۰/۳۱	۲/۶۸



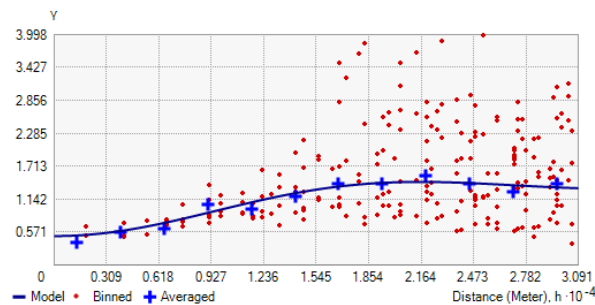
شکل ۳. واریوگرام میزان کلرور موجود در آب



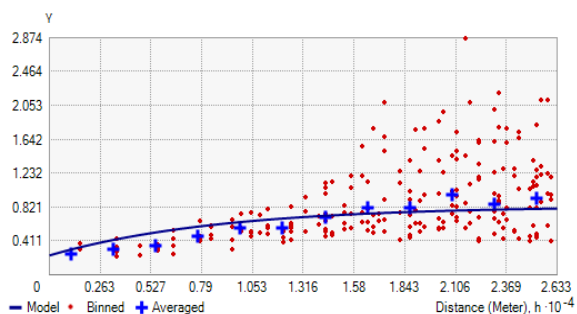
شکل ۲. واریوگرام پارامتر کل مواد جامد محلول در آب



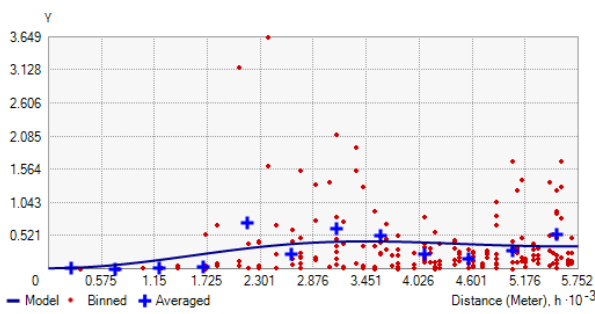
شکل ۵. واریوگرام میزان کلسیم موجود در آب



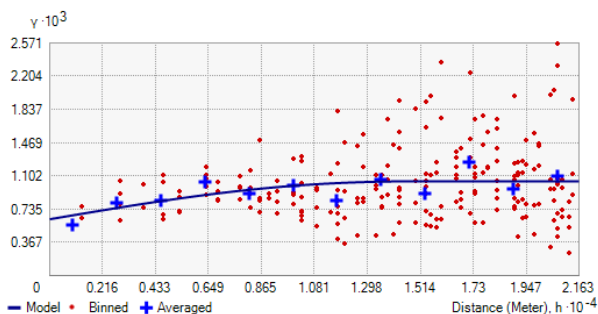
شکل ۴. واریوگرام میزان سولفات موجود در آب



شکل ۷. واریوگرام میزان سدیم موجود در آب



شکل ۶. واریوگرام میزان منیزیم موجود در آب



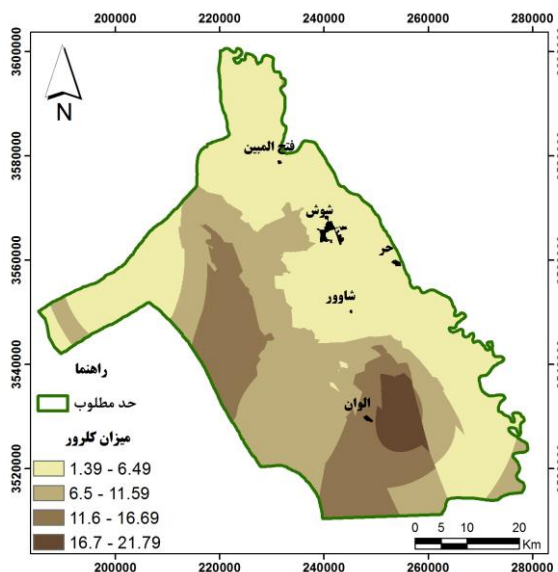
شکل ۸. واریوگرام میزان اسیدیت آب

جدول ۳. ویژگی‌های مختلف واریوگرام مربوط به متغیرهای مختلف

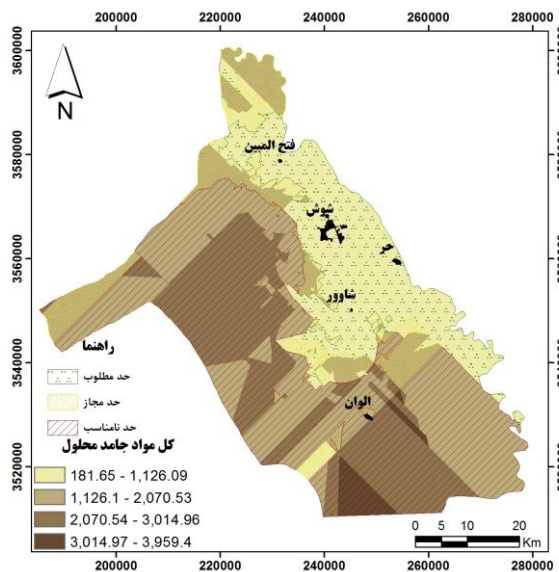
متغیر	مدل	دامنه تأثیر	آستانه (C+C0)	اثر قطعه‌ای (C0)	ساختار مکانی (به درصد)
کل مواد جامد محلول	خطی	۷۱۴۷	۰/۹۸	۰/۹۶	۹۷/۹
کلرور	J-Bessel	۳۳۲۲۹	۰/۵۹۹	۰/۱۷۴	۲۹/۰۴
سولفات	J-Bessel	۲۹۱۸۹	۱/۳۵۳	۰/۵۰۳	۳۷/۱۷
کلسیم	نمایی	۲۱۸۵۳	۰/۵۳۲	۰/۱۶۱	۳۰/۲۶
منیزیم	J-Bessel	۴۷۲۶	۰/۳۹۲	۰/۰۰۸	۲/۰۴
سدیم	نمایی	۲۶۳۲۷	۰/۸۳۲	۰/۲۳۵	۲۸/۲۴
اسیدیت	کروی	۱۵۴۹۰	۰/۰۰۴	۰/۰۰۰۱	۲/۵

جدول ۴. مقایسه بین روش کریجینگ و IDW در برآورد متغیرهای بررسی شده

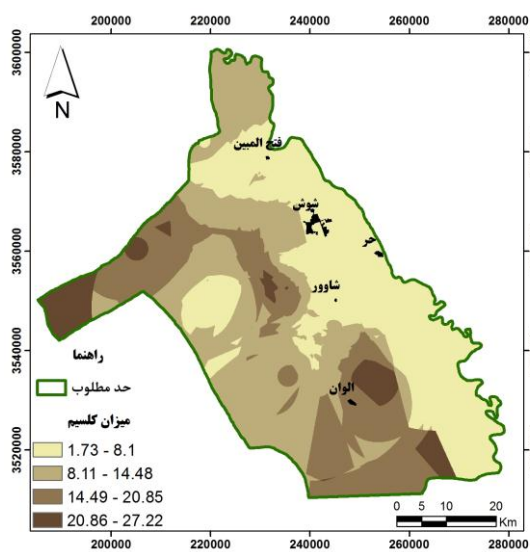
متغیر	روش کریجینگ			روش IDW		
	R <sup>2</sup>	%RMSE	%ME	R <sup>2</sup>	%RMSE	%ME
کل مواد جامد محلول	۰/۷۴	۳۰/۴۵	۰/۶۱۸	۰/۶۹	۳۳/۷	۰/۷۰۱
کلرور	۰/۸۷	۱۶/۲۲	۰/۰۶۹	۰/۸۴	۱۷/۲۰	۰/۰۹
سولفات	۰/۸۲	۱۸/۵۶	۰/۰۷۳	۰/۸۰	۱۸/۸۷	۰/۰۷۸
کلسیم	۰/۸۴	۱۹/۰۵	۰/۱۲۴	۰/۸۳	۱۹/۲۶	۰/۲۱۳
منیزیم	۰/۷۶	۲۲/۶۲	۰/۳۰۴	۰/۷۰	۲۴/۵۴	۰/۴۰۴
سدیم	۰/۷۵	۲۶/۸۱	۰/۴۵	۰/۷۳	۲۹/۰۱	۰/۶۵۲
اسیدیته	۰/۶۲	۳۲/۹۵۱	۰/۷۷۶	۰/۵۹	۳۴/۴۱۱	۰/۸۱۴



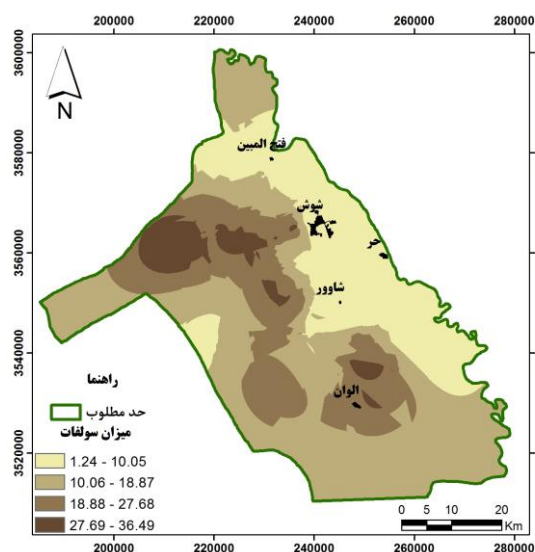
شکل ۱۰. تغییرات مکانی میزان کلرور موجود در آب



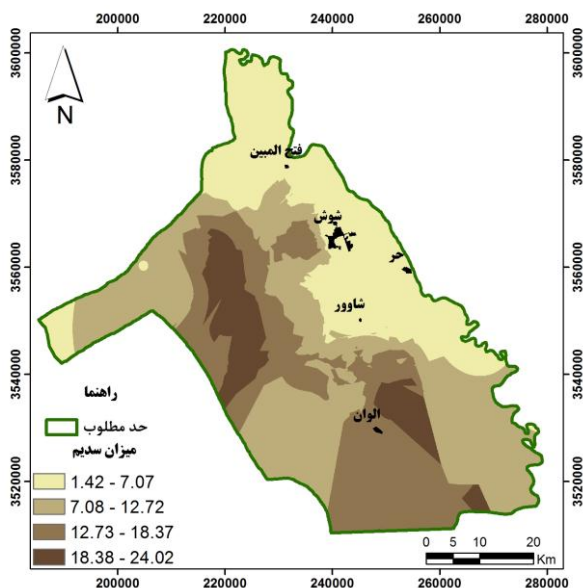
شکل ۹. تغییرات مکانی پارامتر کل مواد محلول در آب



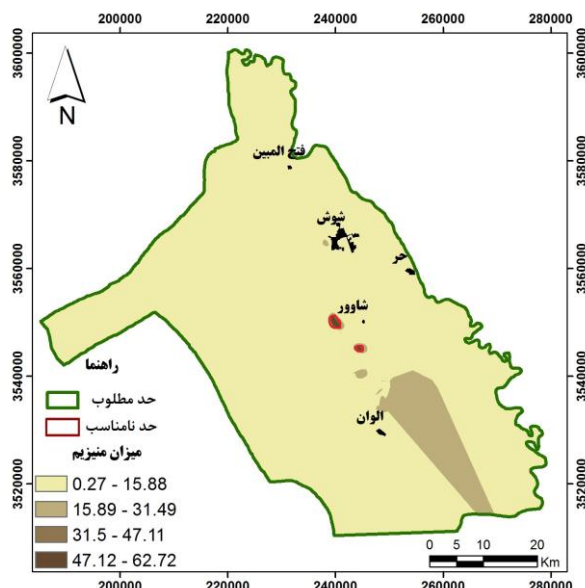
شکل ۱۲. تغییرات مکانی میزان کلسیم موجود در آب



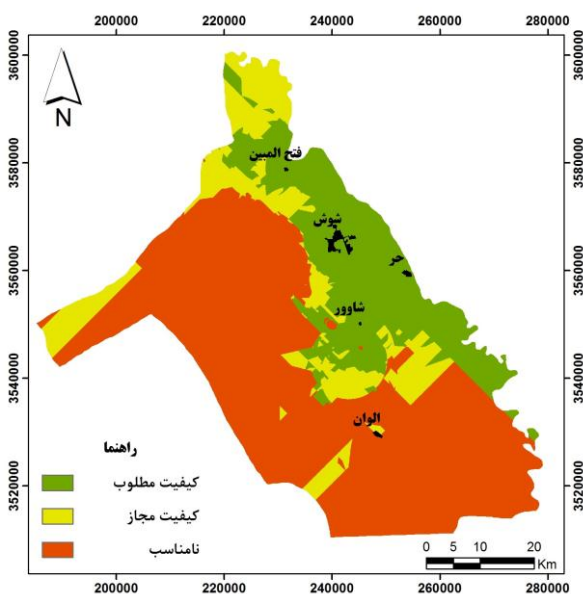
شکل ۱۱. تغییرات مکانی میزان سولفات موجود در آب



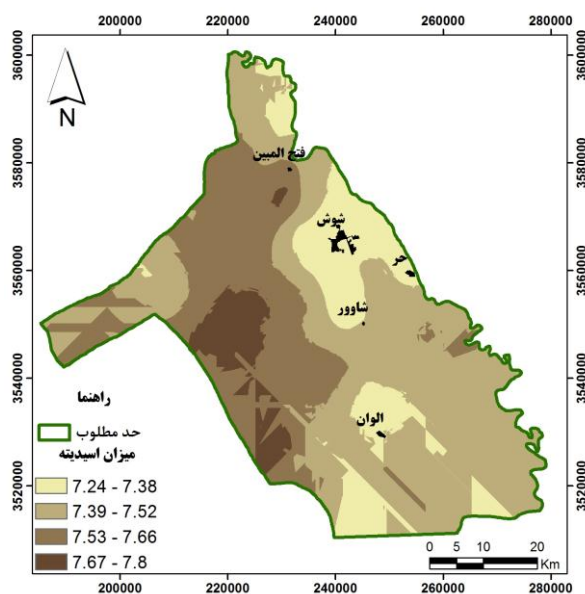
شکل ۱۴. تغییرات مکانی میزان سدییم موجود در آب



شکل ۱۳. تغییرات مکانی میزان منیزیم موجود در آب



شکل ۱۶. نقشه تغییرات کیفی آب زیرزمینی برای شرب



شکل ۱۵. تغییرات مکانی میزان اسیدیته آب

۲۲۱۵/۸۹ کیلومترمربع از سطح شهرستان که برابر با ۶۱/۰۴ درصد از سطح منطقه مطالعه شده است، برای شرب استانداردهای لازم را ندارد.

### نتیجه گیری

به نظر می رسد که روش مناسب برای تخمین یک متغیر، به نوع متغیر و عوامل منطقه ای مؤثر بر آن بستگی دارد و نمی توان روش مناسب به منظور تخمین یک متغیر در یک

براساس نتایج فقط دو پارامتر کل مواد جامد محلول و منیزیم مقدار موجود در آب از حد مجاز بیشتر است و سایر پارامترها در حد مطلوب قرار دارند. براساس نقشه نهایی کیفیت منابع آب زیرزمینی (شکل ۱۶) حدود ۸۵۹/۲۶ کیلومترمربع که معادل ۲۳/۶۷ درصد از سطح منطقه مطالعه شده است، کیفیت مطلوب دارد و حدود ۵۵۵/۱۴ کیلومترمربع که معادل ۱۵/۲۹ درصد از سطح منطقه است، کیفیت مجاز دارد. بر این اساس، حدود



منطقه را به سایر متغیرها و مناطق با شرایط متفاوت تعمیم داد. با توجه به نتایج در مطالعه حاضر روش کریجینگ نسبت به IDW صحت بیشتری در برآورد متغیرهای بررسی شده دارد. زاهدی‌فر و همکارانش [۲۳] نیز در پهنه‌بندی ویژگی‌های شیمیایی کیفیت آب‌های زیرزمینی دشت فسا، روش کریجینگ نقطه‌ای را به عنوان بهترین روش انتخاب کردند. همچنان، ایدانا [۲۴] با مطالعه تغییرات مکانی خصوصیات کیفی آب زیرزمینی، روش کریجینگ را مطلوب دانست. این در حالی است که تقی‌زاده و همکارانش [۲۵] برای سولفات و هدایت الکتریکی، کل املاح محلول، سختی آب و نسبت جذب سدیم، IDW را بهترین روش معرفی کردند. در نهایت، نتایج پژوهش حاضر با نتایج پژوهش‌های احمد [۲۶]، زهتابیان و همکارانش [۲۷] و زایمینگ و همکارانش [۲۸] مطابقت داشت که همه آن‌ها نیاز به نمونه‌برداری کمتر و به طبع کاهش هزینه نمونه‌برداری با استفاده از روش‌های زمین‌آماري اشاره کرده‌اند.

در دهه گذشته کریجینگ به عنوان یک تکنیک قدرتمند درون‌یابی معرفی شده است که در رشته‌های مختلف علوم زمین مانند هیدرولوژی، علوم خاک و معدن شناخته شده و به کار رفته است. به رغم تمامی محسنات این روش، نرم‌کردن تغییرات هنگام تخمین سبب می‌شود که واریانس نمونه‌های تخمین زده‌شده نسبت به نقاط واقعی تغییرات کمتری داشته باشد. به این معنا که مقدار تغییرات در پیش‌بینی مدل، کمتر از واقعیت است [۲۹-۳۰]. در مجموع، موفقیت این روش در درون‌یابی متغیرها کاملاً به دقت در انتخاب مدل تجربی نیم‌تغییرنما وابسته است. اگر در انتخاب مدل دقت کافی نشود، نتیجه درون‌یابی مناسب نخواهد بود [۳۱]. در روش معکوس فاصله وزن‌دار فرض بر این است که هر مشاهده یک اثر نقطه‌ای دارد که با فاصله گرفتن از آن محو می‌شود [۳۲]. اگر چه این روش به دلیل سرعت زیاد تجزیه و قابل قبول بودن دقت در تجزیه و تحلیل مسائل آب‌های زیرزمینی از کریجینگ کاربردی‌تر است [۳۳]، توانایی ارائه واریانس خطا و دیگر مزایای آماری کریجینگ را ندارد. یکی دیگر از مشکلات عمده روش یادشده این است که پارامتر توان را در کل سطح پهنه‌بندی شده بدون توجه به پراکنش و توزیع نقاط مشاهداتی ثابت در نظر می‌گیرد [۷].

از میان مدل‌های مختلف کریجینگ استفاده‌شده در

تحقیق حاضر، روش کریجینگ با سمی واریوگرام‌های نمایی و J-Bessel مناسب‌ترین روش‌ها برای پهنه‌بندی کیفیت آب شناخته شدند. نتایج به‌دست‌آمده از مطالعه حاضر با نتایج به‌دست‌آمده از تحقیق سایر محققان از جمله Huchinson و Weber England [۳۴-۳۵] همخوانی دارد. نتایج مطالعه حاضر نشان داد در همه متغیرها دامنه تأثیر بیش از مسافت یک هزار متر است؛ بنابراین می‌توان نتیجه‌گیری کرد که به طور کلی منطقه مطالعه‌شده از نظر خصوصیات مورد مطالعه وضعیت همگنی دارد و متغیرها به تدریج دچار تغییر شده‌اند. دلیل این امر می‌تواند به همگنی بیشتر در منطقه مطالعه‌شده در مقایسه با مطالعات یادشده باشد. مقدار اثر قطعه‌ای رابطه مستقیمی با ساختار مکانی نمونه‌ها دارد. در مطالعه حاضر به طور کلی در زمینه همه متغیرهای بررسی شده اثر قطعه‌ای کوچک بود. اثر قطعه‌ای اگر کوچک باشد، بیان‌کننده واریانس تصادفی کم در منطقه مطالعه شده است. به این معنا که نمونه‌های نزدیک به هم بسیار مشابه و نمونه‌های دور از هم، مقادیر دورتری از هم داشته‌اند [۳۶]؛ بنابراین، با توجه به موارد یادشده کم‌بودن اثر قطعه‌ای در منطقه مطالعه‌شده نشان می‌دهد تغییرات متغیرهای بررسی شده در منطقه مورد مطالعه تدریجی است.

نتایج مطالعه حاضر نشان داد در متغیرهای سولفات، کلرور، سدیم، کلسیم و میزان اسیدیته آب میزان‌های اندازه‌گیری‌شده و برآوردشده در مقایسه با استاندارد سازمان بهداشت جهانی [۱۵] در محدوده مطلوب است؛ که نشان‌دهنده کیفیت مناسب آب زیرزمینی در این شهرستان است؛ اما میزان منیزیم در مناطقی هر چند کوچک از حد مطلوب توصیه‌شده تجاوز کرده است که این امر احتمالاً ناشی از تشکیلات ژئولوژیکی منطقه مطالعه‌شده است [۳۷]. نتایج مطالعه حاضر نشان داد میزان مواد محلول در آب در مناطق جنوبی بیشتر از حد مطلوب است. این مسئله به علت سنگ بستر آهکی منطقه است که در تماس با آب، کربنات غیر محلول به حالت محلول در می‌آید و سبب افزایش املاح محلول در آب‌های زیرزمینی می‌شود. به نظر می‌رسد که مسیر حرکت آب‌های زیرزمینی از شمال شرق به سمت جنوب غرب باشد که این عامل و نیز ادامه تجزیه سنگ‌های آهکی در جنوب شرقی منطقه سبب افزایش بیش از حد مجاز املاح

می‌شود پس از مشخص کردن مناطقی که کیفیت آب به شدت کاهش پیدا کرده و اولویت بندی محدوده‌هایی که نیاز به اقدامات حفاظتی دارند، بهینه‌سازی در مصرف آب از طریق استفاده از سامانه‌های نوین آبیاری در بخش کشاورزی انجام شود. همچنین، با توجه به فراوانی وقوع باران‌های سیلابی در چند سال اخیر، اجرای پروژه‌های پخش سیلاب می‌تواند گزینه مناسبی برای احیای منابع آب زیرزمینی منطقه باشد.

#### منابع

- [1]. Chang H. Water quality impacts of climate and land use changes in shoutheastern Pennsylvania, the kddds Geographer. 2004; 56 (2): 240-257.
- [2]. Cordoba E, Martinez A, and Ferrer E. Water quality indicators: comparison of a probabilistic index and a general quality index, the case of the confederacion hidrografica del jucar (spain). Ecological Indicators. 2010; 10: 1049-1054.
- [3]. Azizi Gh. Relationship between recent drought and groundwater resources in Qazvin pain. Geographic research. 2003; 35 (46): 131-143. [In Persian]
- [4]. DuNing X, LI X.Y, Song D, and Yang G. Temporal and spatial dynamical simulation of groundwater characteristics in Minqin Oasis. Sci China Ser D-Earth Sci. 2007; 50 (2): 261-273.
- [5]. Chandrasekharana, H., Sarangia, A., Nagarajanb, M., Singha, V.P., Raoa D.U.M., Stalinc, P., Natarajanc, K., Chandrasekaranc, B. and Anbazhagan, S. Variability of soil-water quality due to Tsunami-2004 in the coastal belt of Nagapattinam district, Tamilnadu. Journal of Environmental Management. 2009; 89: 63-72.
- [6]. Dashti Barmaki M, Rezaei M, and Saberi Nasr A. Evaluation of groundwater quality Index (GQI) in Lenjanat aquifer using geographic information system. Engineering Geology Journal. 2014; 8 (2): 2121-2138. [In Persian]
- [7]. Rezaei M, Davatgar N, Tajdari Kh, and Abulpoor B. Investigation of spatial variations of some quality indices of groundwater in Guilan province using geostatistics. Water and Soil Journal. 2010; 24 (5): 932-941. [In Persian]
- [8]. Hassani-pak A.A. Geostatistics. Tehran University Press, Second Edition, 314 p. [In Persian]
- [9]. Marinoni, O. 2003. Improving geological models using a combined ordinary indicator kriging approach. Engineering Geology. 2007; 69: 37-45.

محللول در آب شود. این نتایج در مطالعه ناس و همکارانش [۳۸] در ترکیه نیز گزارش شده است. نتایج مطالعه حاضر نشان داد میزان کل املاح جامد موجود در آب چاه‌ها در مناطق جنوبی و غربی بیش از ۱۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر است که از دیدگاه استاندارد شرب، غیر قابل شرب به حساب می‌آید. این مقدار تجاوز از حد مجاز این پارامتر، گوارانبودن آب در مناطقی با این خصوصیت را نشان می‌دهد. با این حال، افزایش میزان مواد محللول در آب با وجود ناگواراکردن آب، مشکلات بهداشتی خاصی را ایجاد نمی‌کند. نتایج مطالعه حاضر نشان داد براساس شکل ۱۶ بیش از ۶۰ درصد از سطح منطقه مطالعه شده فاقد استانداردهای لازم برای آب شرب است؛ اما باید توجه کرد که این کیفیت نامناسب آب فقط به دلیل میزان مواد محللول در آب است و سایر پارامترها وضعیت مطلوبی در آب‌های زیرزمینی منطقه مطالعه شده دارند. بنابراین، می‌توان نتیجه‌گیری کرد که پارامترهای شیمیایی منابع آب شهرستان شوش از دیدگاه بهداشتی مشکل‌آفرین نیست، ولی به دلیل کمتر بودن کیفیت آب استحصالی از منابع زیرزمینی در صورت نیاز به مصرف کردن، آن را با سایر آب‌ها نظیر آب‌های سطحی موجود تا حد فراهم کردن گستره مطلوب استانداردها، اختلاط و سپس استفاده کرد [۳۹]. نتایج مطالعه حاضر (شکل ۱۶) نشان داد مناطق شهری عمده یعنی شهرهای شوش، فتح‌المبین، حر و شاور در محدوده حد مطلوب استاندارد آب [۱۵-۱۷] قرار گرفته‌اند. بنابراین، می‌توان در صورت لزوم از آب‌های زیرزمینی برای شرب اهالی این مناطق و حتی به منظور نیازهای کشاورزی بهره‌برداری و استحصال کرد. این عامل با توجه به کمبود آب‌های سطحی و خشکسالی‌های اخیر و تنش کمبود آب می‌تواند یک ذخیره مناسب برای تضمین وجود آب برای شرب ساکنان در آینده باشد. با این حال، شهر الوان در محدوده استاندارد مجاز آب‌های زیرزمینی و حتی در محدوده نامناسب برای شرب قرار گرفته است. بنابراین، در صورت استفاده از آب‌های زیرزمینی در این منطقه باید تدابیر لازم را به کار گرفت.

پهنه بندی صورت گرفته می‌تواند به عنوان راهنمایی برای تعیین نواحی مناسب بهره برداری کشاورزی و شرب، همراه با در نظر گرفتن سایر پارامترهای کیفی آب در محدوده مطالعاتی، استفاده شود و در پایان پیشنهاد

- [10]. Pawar S, Panaskard B, and Wagh V.M. Characterization of groundwater using water quality index of solapur industrial (case study: Maharashtra, India). *International journal of Research in Engineering & Technology*. 2014; 2 (4): 31-36.
- [11]. Abu-alnaeem M.F, Yusoff I, Ng T.F, Alias Y, and Raksmei M. Assessment of groundwater salinity and quality in Gaza coastal aquifer, Gaza Strip, Palestine: An integrated statistical, geostatistical and hydrogeochemical approaches study. *Science of the Total Environment*. 2018; 615: 972-989.
- [12]. Luque-Espinar J.A, Pardo-Igúzquiza E, Grima-Olmedo J, and Grima-Olmedo C. Multiscale analysis of the spatial variability of heavy metals and organic matter in soils and groundwater across Spain. *Journal of Hydrology*. 2018; 561: 348-371.
- [13]. Hooshmand A, Delghandiz M, Izadi A, and Ahmad A.K. Application of kriging and cokriging in spatial estimation of groundwater quality parameters. *African Journal of Agricultural Research*. 2011; 6 (14): 3402- 3408.
- [14]. Anonymous. Governor's office of Shush country. Quoting the website of "https://shoush.ostan-khz.ir/Default.aspx?tabid=723 ". 2018; Available in 13th June 2018. [In Persian]
- [15]. Sepehrnia B, Nabizadeh R, Mahvi A.H, and Nasserri Q. Quality analysis of drinking water in Ray country distribution networks using IWQIS software. *Journal of Health and Environment*. 2016; 9 (1): 103-114. [In Persian]
- [16]. Badiie Nejad A, Farzad Kia M, Gholami M, and Jonnidi Jafari A. Evaluation of chemical properties of groundwater drinking water resources in Shiraz plain using geographic information system (GIS). *Journal of South Medicine*. 2014; 17 (3): 358-367. [In Persian]
- [17]. WHO. The Guidelines: A Framework for Safe Drinking-Water. In: WHO. Editor. 3<sup>rd</sup> ed. *Guidelines for Drinking Water Quality*. Geneva WHO Press. 2006; 6-8.
- [18]. Vannini A, Natili G, Anselmi N, Montaghiand A, and Vettrai A.M. Distribution and gradient analysis of Ink disease in chestnut forests. *Forest Pathology*. 2010; 40: 73-86.
- [19]. Cocco A, Cossu A.Q, Erre P, Nieddu G, and Luciano P. Spatial analysis of gypsy moth populations in Sardinia using geostatistical and climate models. *Agricultural and Forest Entomology*. 2012; 12: 417-426.
- [20]. Robinson T.P and Metternicht G. Testing the performance of spatial interpolation techniques for mapping soil properties. *Computer and Electronics in Agriculture*. 2006; 50: 97-108.
- [21]. Jahanshahi A, Rouhi-Moghaddam E, and Dehvari A. Investigating groundwater quality parameters using GIS and geostatistics (case study: Shahr-Babak plain aquifer). *Journal of Water and Soil Science*. 2014; 24 (2): 183-197. [In Persian]
- [22]. Machiwal D, and Jha M.K. Identifying sources of groundwater contamination in a hard-rock aquifer system using multivariate statistical analyses and GIS-based geostatistical modeling techniques. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, Article in Press: 2015; 31 p.
- [23]. Zahedifar M, Mousavi S.A, and Rajabi M. The zoning of chemical properties of groundwater quality in Fasa plain using geomagnetic methods. *Journal of Water and Soil (Agriculture Sciences and Technology)*. 2013; 27 (4): 812-822. [In Persian]
- [24]. Yidana S, Yakubo B, and Akabzaa M. Analysis of groundwater quality using multivariate and spatial analysis in the Keta basin, Ghana. *J. African East Sci*. 2009; 58: 220-234.
- [25]. Taghizadeh Mehrjardi R, Zareian Jahromi M, Mahmodi Sh, and Heidari A. Spatial distribution of groundwater quality with geostatistics, case study: Yazd-Ardakan plain. *World Applied Sci. J*. 2008; 4(1): 9-17. [In Persian]
- [26]. Ahmed S. Groundwater monitoring network design: Application of geostatistic with a few case studies from a granitic aquifer in a semi-arid region. *Groundwater Hydrology Journal*. 2002; 2: 37-57.
- [27]. Zehtabian Gh.R, Janfaza A, Mohammad Asgari H, and Nematollahi, M.J. Modeling the distribution of some characteristics of groundwater (A case study in Garmsar watershed). *Journal of Range and Desert* 2010; 17 (1): 61-73. [In Persian]
- [28]. Zaiming Z, Guanghui Z, Mingjiang Y, and Jinzhe W. Spatial variability of the shallow groundwater level and its chemistry characteristics in the low plain around the Bohai Sea, North China. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2012; 184(6):3697-3710.
- [29]. Ghahroudy-Tali M. Interpolation Evaluation by using Kriging method. *Geographical Research*. 2002; 43: 95-108. [In Persian]
- [30]. Xu C, Gong L, Jiang T, Chen D, and Singh V.P. Analysis of spatial distribution and

- temporal trend of reference evapotranspiration and pan evaporation in Changjiang (Yangtze River) catchment. *Journal of Hydrology*. 2006; 327: 81–93.
- [31]. Sen Z, and Sahin A.D. Spatial interpolation and estimation of solar irradiation by cumulative semivariograms. *Journal of Solar Energy*. 2001; 71 (1): 11–21.
- [32]. Panagopoulos T, Jesus J, Antunes M.D.C, and Beltrao J. Analysis of spatial interpolation for optimizing management of a salinized field cultivated with lettuce. *European Journal of Agronomy*. 2006; 24 (1): 1–10.
- [33]. Wu J, Chunmiao Z, and Calvin C.C. Cost-effective sampling network design for contaminant plume monitoring under general hydrogeological conditions. *Journal of Contaminant Hydrology*. 2005; 77: 41–65.
- [34]. Weber D, England E. Evaluation and Comparison of spatial Interpolations. *Mathematical Geology*. 1992; 24: 381-391.
- [35]. Huchinson M.F. Continent Wide Data Assimilation Using Thin Plate Smoothing Splines. In: J. D. Jasper(Ed), *Data Assimilation system*. BMRC Research Report No. 27, Melbourne Bureau of Meteorology. 1991; 104-113.
- [36]. Habashi H, Hosseini S.M, Mohammadi J, and Rahmani R. Application of geostatistics technique in forest soil studies. *Journal of Agricultural Science and Natural Resources*. 2007; 14 (1): 18-27. [In Persian]
- [37]. Rahmani Z, Gholami M, Khoshnevis-zadeh A, and Rezaei Kalantari R. Evaluation of quality of drinking water sources in Boeizehra country using GWQI method. *Journal of Alborz University of Medical Sciences*. 2013; 2 (3): 147-155. [In Persian]
- [38]. Nas B, and Berkday A. Groundwater Quality Mapping In Urban Groundwater Using GIS. *Environ Monit Assess*. 2010; 160: 215-227.
- [39]. Bazrafshan A, Biglari H, Souri M.M, Onagh K, and Motedaïen A. Management of groundwater resources in Zahedan country with emphasis on determination of chemical quality in 2008-2009. *Proceedings of the Fourth International Congress of Geographers of the Islamic World (ICIWG 2010)*. April 2010; Zahedan, Iran, 12 p. [In Persian]