دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز

"مقاله پژوهشی"

# بررسی اثر جداسازی آب شرب و بهداشتی بر کیفیت آب آشامیدنی و تهیه‌ی نقشه کیفیت منابع آب زیرزمینی (مطالعه موردی: حوزه‌ی آبخیز بجستان)

**فاطمه محمدزاده[۱]، محمدرضا اختصاصی[۲]، سید زین العابدین حسینی[۳]، عبدالرسول نگارش[۴]، حسین هاشمی[۵] و محمد علایی[۶]**

۱، ۲ و ۵- دانشجوی دکتری، استاد و دانشیار، دانشگاه یزد
۳- استادیار دانشگاه یزد، (نویسنده مسوول: zhosseini@yazd.ac.ir)
۴- دانشجوی دکتری عمران آب، دانشگاه آزاد، واحد تهران جنوب
۶- کارشناس ارشد علوم زمین، مدیرعامل شرکت آب منطقه ای خراسان رضوی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۳/۱۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۶/۱۳
صفحه: ۲۱۵ تا ۲۲۹

**چکیده مبسوط**

**مقدمه و هدف:** تامین آب آشامیدنی برای ساکنین مناطق خشک، همواره با چالش‌های متعددی روبروست. منبع اصلی تامین آب شیرین در این مناطق، آب‌های زیرزمینی است اما در سال‌های اخیر افزایش برداشت‌ها و افت سفره، منجر به افزایش شوری این منابع آبی شده است. حوزه آبخیز دشت بجستان نیز از این موضوع مستثنی نیست و منبع اصلی تامین آب شرب و بهداشتی آن، منابع آب زیرزمینی حواشی پلایاست که کیفیتی بسیار پایین دارد. کاهش کیفیت منابع آب زیرزمینی، منجر به ایجاد طرح جداسازی آب شرب و بهداشت با ایجاد جایگاه‌های برداشت دولتی آب شرب از سال ۱۳۹۳ شده است. این تحقیق با هدف بررسی میزان محقق شدن تامین آب آشامیدنی با کیفیت از زمان اجرای این طرح، با کمک مقایسه‌ی نمونه‌های آب برداشتی از شبکه و چاه‌های شرب، با استانداردهای ملی و بین‌المللی، و تهیه نقشه کیفیت منابع آب زیرزمینی است.

**مواد و روش‌ها:** در این پژوهش، ابتدا نمونه‌های آب برداشت شده از چاه‌های شرب و نمونه‌های شبکه‌ی توزیع در بازه‌ی زمانی یکسان (۱۳۹۸-۱۳۹۳)، جمع‌آوری و با استانداردهای ملی و بین‌المللی، مقایسه شد. این استانداردها شامل استاندارد سازمان تحقیقات صنعتی ایران (۱۰۵۳)، WHO، آژانس حفاظت محیط زیست ایالات متحده آمریکا (EPA)، اتحادیه اروپا (EU) و دیاگرام شولر بود. سپس پهنه‌بندی پارامترهای کیفی منابع آب زیرزمینی دشت با کمک دو استاندارد شولر و ۱۰۵۳ (دو استاندارد رایج کیفی آب شرب در ایران) با انتخاب بهترین روش درون‌یابی در زمین‌آمار و برمبنای کمترین مقدار RMSE، انجام شد.

**یافته‌ها:** نتایج نشان داد که تمامی پارامترهای کیفی آب در شبکه توزیع، در حد استاندارد و وضعیت مطلوب بودند، مقادیر تمامی پارامترهای کیفی آب در نمونه‌های بدست آمده، برابر و یا حتی از مقدار استاندارد شاخص‌ها پایین‌تر بودند، بنابراین وضعیت مطلوبی از نظر پارامترهای کیفی آب شرب در شبکه توزیع آب بدست آمد. در حالیکه پارامترهای کیفی آب در چاه‌های تامین آب آشامیدنی، دارای کیفیتی نامطلوب با توجه به مقادیر استانداردهای مورد استفاده در تحقیق بودند؛ بطوریکه مقادیر EC، TH، TDS، Na، CL در نمونه‌های آب بدست آمده از چاه‌های حاشیه پلایا ۴ تا ۶ برابر و در سایر چاه‌های سطح دشت نیز ۱/۵ تا ۲ برابر مقادیر موجود در شاخص‌های استاندارد بود. نتایج حاصل از پهنه‌بندی پارامترهای کیفی آب زیرزمینی دشت نیز نشان داد که روش Co-Kriging دارای کمترین میزان خطای پهنه‌بندی در پارامترهای اصلی تعیین کیفیت آب از جمله EC، TDS و TH می‌باشد که این امر نشان از همبستگی بالای پارامترهای کیفی آب زیرزمینی دشت با یکدیگر داشت.

**نتیجه‌گیری:** نتایج حاصل از مقایسه‌ی نمونه‌ها در دو بخش چاهها و شبکه توزیع آب شرب نشان داد که طرح کنونی مطلوبیت کافی از نظر تامین آب آشامیدنی با کیفیت را داراست. همچنین با استناد به نقشه‌ی کیفیت منابع آب زیرزمینی دشت، محدوده‌ی پلایا دارای کمترین کیفیت منابع آبی و چاه‌های واقع در محدوده‌ی دشتی دارای کیفیت مطلوب‌تری می‌باشند.

**واژه‌های کلیدی:** آب آشامیدنی، ارزیابی کیفی، جداسازی آب شرب و بهداشتی، نقشه‌ی کیفیت آب

## مقدمه

سفره‌ها یا آبخوان‌های آبرفتی، یکی از منابع عمده و قابل‌توجه آب جهت مصارف کشاورزی، شرب و صنعت به حساب می‌آیند. در اغلب مناطق کشور اقدام به حفر چاه‌های عمیق و نیمه‌عمیق شده و در نتیجه فشار بر سفره‌های آب زیرزمینی زیاد شده است (۱۷). منبع اصلی تامین آب شرب در مناطق خشک، منابع آب زیرزمینی است. آلودگی آبخوان‌ها ممکن است متاثر از شرایط زمین‌شناسی و اقلیمی آن منطقه باشد (۲۰). پایداری آبهای زیرزمینی یعنی توجه به بهره‌برداری و استفاده از آن برای نیازهای فعلی و حفظ آن برای نسل آینده، بدون عواقب زیست‌محیطی، اقتصادی یا اجتماعی است (۱۸). بسیاری از مناطق ساحلی در جهان نیز به منابع آب زیرزمینی محلی وابسته هستند. با افزایش شهرنشینی، نفوذ آب شور، بعنوان رایج‌ترین آلاینده در سفره‌های آبهای ساحلی مورد توجه قرار گرفت و به تدریج دولت‌ها را وادار به نمک‌زدایی آب شور نمود (۲۵). اهمیت آب برای توسعه سلامت و بهداشت و همچنین رشد و توسعه جوامع برای کسی پوشیده نیست و این آب می بایست دارای استانداردهای لازم جهت حفظ سلامت جوامع بشری باشد (۲۸،۹). یک مشکل عمده که در توسعه و مدیریت سیستم منابع آب مورد توجه است، کیفیت آب است. با افزایش تقاضای آب و تشدید استفاده از آب، مشکل کیفیت به یک عامل محدودکننده در توسعه تبدیل می‌شود (۱۹). در دهه‌های گذشته کیفیت آب آشامیدنی، مقررات سختگیرانه‌تری یافته است اما کاهش منابع آب زیرزمینی و نیز ظرفیت آبدهی چاهها اعم از شرب و غیرشرب، مشکل تأمین آب را دوچندان خواهد کرد (۱۰). از سوی دیگر دسترسی به آب آشامیدنی سالم می‌تواند از شیوع بیماری‌ها جلوگیری کند اما تقریباً ۷۶۸ میلیون نفر در سراسر جهان به آب آشامیدنی سالم دسترسی ندارند (۲۶) و تا به امروز، هیچ الگوی منطقه‌ای یکنواختی در مناطق خشک مشخص نشده است. بنابراین کیفیت منابع تامین آب، بخصوص آب شرب از ضرورت‌های اصلی در مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌باشد، برای مثال بررسی اصلی‌ترین پارامترهای کیفی آب شرب همانند TDS, TH, EC, CL اگر بیش از حد

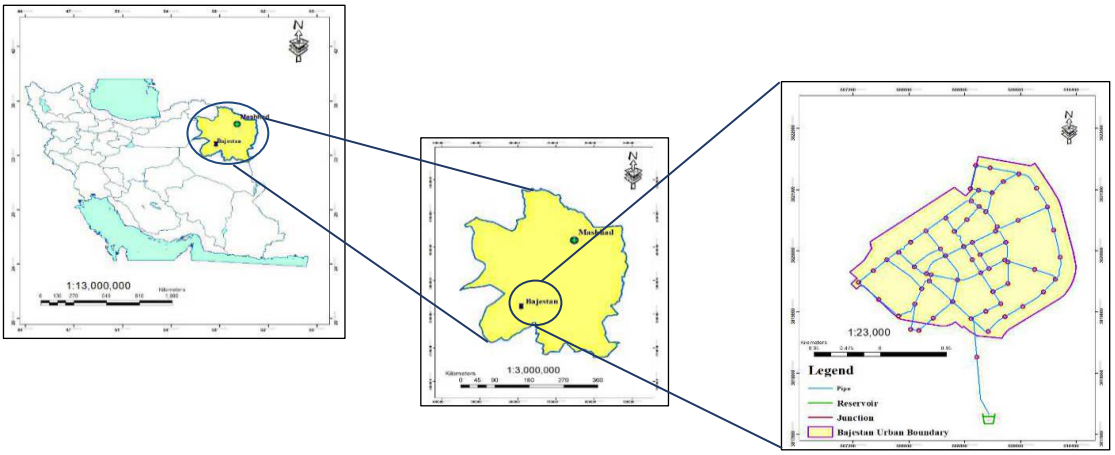
[ Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-07-04 ]
[ DOR: 20.1001.1.22516174.1401.13.26.30.8 ]
[ DOI: 10.52547/jwmr.13.26.215 ]

مجاز باشد، طبیعتا شبکه‌ی توزیع را نیز تهدید می‌کند، بایستی نسبت به حذف برخی چاه‌ها که در تامین منابع آبی موثرند، اقدام نمود؛ چرا که پارامترهای گفته شده از مهم‌ترین عوامل محدودکننده‌ی کیفیت آب‌زیرزمینی در مناطق خشک می‌باشد (۴،۱۲). آب سالم آبی است که ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی، بیولوژیکی و رادیواکتیو آن در حدی باشد که مصرف آن جهت آشامیدن، عارضه سوئی در کوتاه‌مدت یا درازمدت، برای سلامت انسان، ایجاد نکند (۲۱). اجرای طرح جداسازی آب شرب از آب بهداشتی در هر جای دنیا جهت مقابله با خشکسالی بویژه در شرایط آینده ناشی از تغییرات اقلیمی می‌تواند مورد توجه و بررسی قرار گیرد و همچنین برای صرفه‌جویی در مصرف انرژی و کاهش هزینه‌های تصفیه آب بسیار موثر باشد (۱۱). با توجه به حاکمیت شرایط خشک و نیمه‌خشک در کشور ایران نیز این‌گونه روش جداسازی طراحی شده و هنوز مورد استفاده است؛ شهرهایی همچون کاشان، قم، بجستان، ساوه، بهرمان، طبس و حسن آباد که عمده دلیل اجرای این پروژه‌ها کمبود منابع آب شیرین و افزایش شوری منابع آب زیرزمینی در حال برداشت می‌باشد (۷). پژوهش‌هایی که در ایران انجام شده حاکی از آن است که روش‌های مختلفی برای توزیع آب شیرین وجود دارد از جمله استفاده از آب‌شیرین‌کن‌ها، آب معدنی، جایگاههای برداشت آب و شبکه دوگانه (۲۳)؛ اما کارشناسان معتقدند که باید برای حل مشکل آب شرب با توجه به پتانسیل‌های آب هر منطقه تصمیم‌گیری شود (۶). تصمیم جداسازی آب شرب و آب بهداشتی ناشی از جلوگیری از تحمیل هزینه‌های بسیار سنگین به اقتصاد کشور ضروری است. در مورد طرح تفکیک آب شرب و غیرشرب نظراتی بیان شده است ازجمله فروش آب شرب بسته‌بندی، استفاده از دستگاه‌های تصفیه خانگی، شبکه دوگانه، توزیع آب شرب در بطری (۵). سیستم‌های توزیع آب دوگانه (DWDS) بتازگی و با هدف سرویس‌دهی به نیازهای متفاوت تامین آب شهروندان و از دو منبع متفاوت آبی تشکیل شده است. این سیستم از یک لوله‌ی انحصاری آب آشامیدنی (قابل شرب) و شبکه دیگر آب غیرقابل‌شرب می‌باشد (۱۳). این سیستم در بسیاری از جوامع در ایالات متحده و بخش‌هایی دیگر در جهان که کمبود منابع آب شیرین دارند، مورد استفاده قرار گرفته است (۱۶). برای پی بردن به ارزش آب سالم و بهداشتی باید برای آب شرب مصرفی هزینه شود و تنها با این شیوه می‌توان به بهره‌وری آب و حفظ منابع زیرزمینی آب کمک کرد. بنابراین بهتر است آب دریافتی مردم به دو کلاس شرب و بهداشتی تقسیم شود تا هزینه‌های بسیار سنگین تصفیه، انتقال و تحویل آب به مردم تحمیل نشود و در مقابل مردم نیز برای تامین آب سالم و قابل‌شرب هزینه کنند (۱۵). بخش اصلی مصرف آب زیرزمینی دشت بجستان (بیش از ۹۶٪) در بخش کشاورزی است، ۳ درصد در بخش شرب و بهداشت و یک درصد در بخش صنعت استفاده می‌شود (۲۷). هدف از این تحقیق بررسی پارامترهای اصلی کیفی آب شرب منابع تامین آب (محل چاه‌ها) و مقایسه‌ی آن با نمونه‌های برداشتی شبکه توزیع آب شرب شهر بجستان با استانداردهای ملی و بین المللی در بازه‌ی زمانی یکسان می‌باشد. در این تحقیق علاوه بر استاندارد[۱] ۱۰۵۳، WHO(۲۸)[۲]، EPA (۸)[۳]، EU[۴] و دیاگرام شولر مورد مطالعه قرار گرفتند. دوره‌ی آماری مدنظر از سال ۱۳۹۳ تا ۱۳۹۸ می‌باشد، یعنی از سال شروع پروژه‌ی کنونی جداسازی آب شرب و بهداشت تا آخرین سال آماری در دسترس می‌باشد. سپس پهنه‌بندی پارامترها با کاربردی‌ترین روش‌های ارزیابی کیفیت منبع آب شرب (شولر و استاندارد ۱۰۵۳) انجام می‌شود تا وضعیت کلی کیفیت منابع آب زیرزمینی دشت مشخص‌شود.

## مواد و روش‌ها

### موقعیت منطقه‌ی موردمطالعه

حوضه‌ی آبخیز شهری بجستان از مناطق خشک استان خراسان رضوی است و در جنوب آن واقع‌شده و از زیرحوضه‌های حوضه کویر نمک می‌باشد. این حوضه تقریباً در جنوب استان خراسان رضوی و شمال غرب شهرستان گناباد و همچنین در شمال غرب شهرستان فردوس قراردارد. وسعت این حوضه ۳۵۰ هکتار می‌باشد (شکل ۱). حوضه آبخیز شهری بجستان در محدوده جغرافیایی ´ ۵۵ °۵۷ تا´۱۵ °۵۸ طول شرقی و´۱۶ °۳۴ تا ´۴۳ °۳۴ عرض شمالی واقع‌شده است.




شکل ۱- موقعیت منطقه‌ی مورد مطالعه در کشور و استان خراسان رضوی
Figure 1. Location of the study area in the country and Khorasan Razavi province

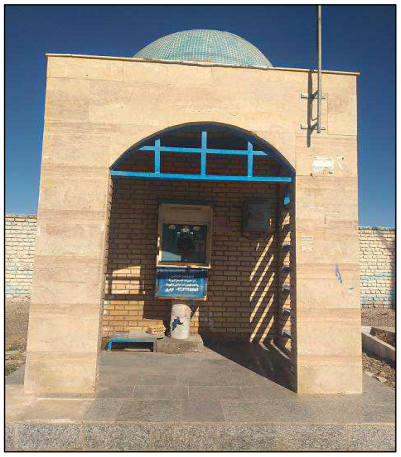
۱- استاندارد سازمان تحقیقات صنعتی ایران
2- World Health Organization 3- United States Environmental Protection 4- European United

[ Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-07-04 ]
[ DOR: 20.1001.1.22516174.1401.13.26.30.8 ]
[ DOI: 10.52547/jwmr.13.26.215 ]

حوضه‌ی آبخیز مطالعاتی بجستان همانند سایر دشت‌های ایران مرکزی با مشکل تامین آب با کیفیت در بخش شرب و بهداشتی روبه‌رو است. منبع اصلی تامین آب شرب این منطقه، منابع آب زیرزمینی شور با تکیه بر تکنیک شیرین‌سازی است. محدودیت منابع آب زیرزمینی منطقه از نظر کمیت و کیفیت، منجر به ایجاد طرح توزیع آب شرب از طریق ایستگاه‌های برداشت آب شده است. طرح ایجاد ایستگاه‌های برداشت آب شرب با سیستم کارتی هوشمند، از سال ۱۳۹۳ در سطح شهر بجستان آغاز شده است. چاه‌های واقع در حاشیه پلایای بجستان، منبع اصلی تامین آب شرب و بهداشتی از نظر کمی می‌باشند (شکل ۲). در سطح شهر بجستان به مساحت حدودی ۳۵۰ هکتار، ۱۴ کیلومتر شبکه لوله‌کشی آب شرب انجام شده و تعداد ایستگاه‌ها در کل سطح شهر ۱۸ عدد است، برداشت آب از این جایگاه‌ها توسط مردم با گالن و کارت هوشمند صورت می‌گیرد (۳).

**محل قرار دادن کارت هوشمند**

**شیر برداشت آب**



**نمای کلی جایگاه برداشت آب**

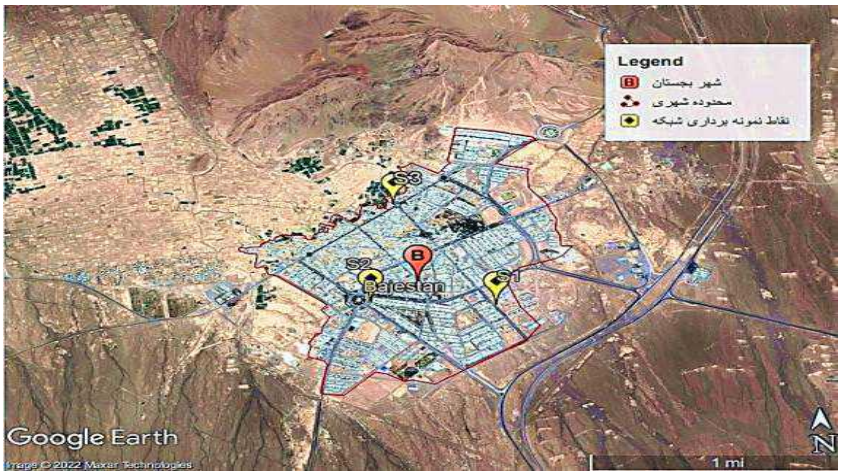
شکل ۲- طرح توزیع آب شرب
Figure 2. Drinking water distribution project

## بررسی پارامترهای کیفی چاه‌های شرب و نمونه‌های شبکه توزیع

پایش تغییرات کیفی آب شرب در منبع تامین آب شرب، شبکه‌های توزیع و مخازن، به منظور اطمینان از تطابق پارامترهای فیزیکی و شیمیایی آب شرب با استانداردهای تعیین شده ضروری می‌باشد؛ این امر بویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک، که منبع اصلی تامین آب شرب آن‌ها آب‌های زیرزمینی می‌باشد، اهمیت ویژه‌ای دارد. عمدتا مناطقی همانند بجستان که به تصفیه‌ی پساب‌های شور برای تامین منابع آب خود وابسته‌اند، عامل EC از مهم‌ترین فاکتورهای محدودکننده‌ی کیفیت آب می‌باشد. در این پژوهش ابتدا به مقایسه‌ی مقادیر میانگین پارامترهای کیفی اصلی تعیین‌کننده‌ی کیفیت آب شرب در چاه‌های شرب (چاه‌های شرب درحال بهره‌برداری) و سپس مقادیر آن در شبکه‌ی توزیع در بازه‌ی زمانی ۱۳۹۸-۱۳۹۳ پرداخته شد؛ سپس ارزیابی مقادیر میانگین نمونه‌های برداشتی با شاخص‌های مختلف استاندارد ۱۰۵۳، WHO، EPA، EU و دیاگرام شولر صورت گرفت. شکل ۳ موقعیت چاههای بهره‌برداری (۵ چاه) بخش شرب و شکل ۴ موقعیت نمونه‌برداری‌ها (۳ نمونه) در طول شبکه توزیع را نشان می‌دهد.

شکل ۳- موقعیت نمونه‌های شبکه توزیع
Figure 3. Location of distribution network samples

[ Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-07-04 ]
[ DOR: 20.1001.1.22516174.1401.13.26.30.8 ]
[ DOI: 10.52547/jwmr.13.26.215 ]




شکل ۴- موقعیت چاه‌های شرب در محدوده‌ی مطالعاتی
Figure 4. Location of drinking wells in the study area

مقادیر استانداردهای ملی و بین‌المللی مورد بررسی در این مطالعه به شرح جدول ۱ می‌باشد:

جدول ۱- مقادیر استانداردهای ملی و بین‌المللی کیفی آب شرب
Table1.Values of National & International drinking water quality standards

| پارامترها (Mg/Lit) | | | $SO_4$ | | Na | Cl | TDS | TH |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| خوب | | | ۱۴۴/۹۶> | | ۱۱۵> | ۱۷۴/۶۶> | ۵۰۰> | ۲۵۰> |
| قابل‌قبول | | | ۱۴۴/۹۶-۲۷۹/۸۴ | | ۱۱۵-۲۳۰ | -۳۴۹/۶۸<br>۱۷۴/۶۶ | -۱۰۰۰<br>۵۰۰ | -۵۰۰<br>۲۵۰ |
| متوسط | ۲۷۹/۸۴-۵۷۹/۸۴ | ۲۳۰-۴۶۰ | ۳۴۹/۶۸-۶۶۹/۷۱ | ۱۰۰۰-۲۰۰۰ | | ۵۰۰-۱۰۰۰ | | |
| نامناسب | ۵۷۹/۸۴-۱۱۴۹/۶ | ۴۶۰-۹۲۰ | ۶۶۹/۷۱-۱۳۹۹/۷۷ | ۲۰۰۰-۴۰۰۰ | | ۱۰۰۰-۲۰۰۰ | | |
| کاملانامطبوع | ۱۱۴۹/۶-۲۲۳۹/۶۸ | ۹۲۰-۱۸۴۰ | ۱۳۹۹/۷۷-۲۷۹۹/۸۹ | ۴۰۰۰-۸۰۰۰ | | ۲۰۰۰-۴۰۰۰ | | |
| غیرقابل‌شرب | ۲۲۳۹/۶۸< | ۱۸۴۰< | ۲۷۹۹/۸۹< | ۸۰۰۰< | | ۴۰۰۰< | | |

همچنین مقادیر پارامترهای اصلی تعیین کننده‌ی کیفیت آب شرب در دیاگرام شولر(۲) در ۶ کلاس و به شرح جدول ۲ استخراج شد:

جدول ۲- طبقات کیفی آب شرب بر اساس استاندارد شولر
Figure 2. Quality classes of drinking water by Schuler standard

| پارامتر | استاندارد ایران(۱۰۵۳) | استاندارد EPA | اتحادیه اروپا | WHO(2011) | واحد |
|---|---|---|---|---|---|
| PH | حداکثر مطلوب:۸/۵-۶/۵<br>حداکثر مجاز: ۹-۶/۵ | ۸,۵ | - | حداکثر مطلوب:۸/۵-۶/۵<br>حداکثر مجاز: ۸-۸/۵ | - |
| Turbidity | حداکثر مطلوب: ۱NTU<br>حداکثر مجاز:NTU ۵ | کمتر از NTU ۵ | - | حداکثر مطلوب: ۰/۵NTU<br>حداکثر مجاز: NTU ۵ | NTU |
| Total Hardness | حداکثر مطلوب:۲۰۰<br>حداکثر مجاز: ۵۰۰ | ۷۵ | ۲۰۰ | حداکثر مطلوب:۱۰۰-۲۰۰<br>حداکثر مجاز: ۳۰۰ | mg/L |
| EC | ۱۵۰۰ | - | ۲۵۰۰ | - | µS/cm |
| TDS | حداکثر مطلوب:۱۰۰۰<br>حداکثر مجاز: ۱۵۰۰ | ۵۰۰ | - | حداکثر مطلوب:۶۰۰<br>حداکثر مجاز: ۱۰۰۰ | mg/L |
| F | ۱/۷ | ۴ | ۱,۵ | ۱/۵ | mg/L |
| Cl | ۲۰۰ | - | ۲۵۰ | ۲۰۰ | mg/L |
| SO4 | حد مطلوب:۲۵۰<br>حداکثر مجاز: ۴۰۰ | ۲۵۰ | - | حداکثر مطلوب:۲۵۰<br>حداکثر مجاز: ۵۰۰ | mg/L |
| CO3 | - | - | - | ۵۰ | mg/L |
| HCO3 | - | - | - | - | mg/L |
| NO3 | ۵۰ | ۱۰ | ۵۰ | ۵۰ | mg/L |
| NO2 | ۳ | ۱ | ۰,۵ | ۳ | mg/L |
| Ca | ۳۰۰ | ۲۰۰ | - | ۲۰۰ | mg/L |
| Mg | ۵۰ | - | - | - | mg/L |
| Na | ۲۰۰ | ۲۰ | ۲۰۰ | ۲۰۰ | mg/L |
| K | -محدودیت ندارد | -محدودیت ندارد | -محدودیت ندارد | -محدودیت ندارد | mg/L |

[ Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-07-04 ]
[ DOR: 20.1001.1.22516174.1401.13.26.30.8 ]
[ DOI: 10.52547/jwmr.13.26.215 ]

### تهیه‌ی نقشه‌ی کیفیت منابع آب با پهنه‌بندی پارامترهای کیفی آب شرب

در این پژوهش از ابزار GIS بمنظور تحلیل مکانی کیفیت آب‌های زیرزمینی و از امکانات نرم‌افزاری زمین آمار (GeoStatistic) در ArcGIS استفاده شد که در اصطلاح "پهنه‌بندی" نام دارد. مفهوم پهنه‌بندی، در واقع نمایش مناطق و نواحی دارای خصوصیات معین می‌باشد (۱). در این روش، تخمین بر اساس ساختار فضایی موجود در محیط موردنظر صورت می‌گیرد (۲۲). در این تحقیق برای پهنه‌بندی پارامترهای مختلف آب زیرزمینی دشت بجستان از پارامترهای کیفی برداشت شده از چاه‌های بهره‌برداری بخش کشاورزی و نیز چاه‌های شرب بجستان استفاده شد. در این قسمت از داده‌های کیفی چاه‌های مورد بهره‌برداری در سطح آبخوان از سال۱۳۹۳ تا سال۱۳۹۸ به‌صورت میانگین استفاده و در آن مهم‌ترین پارامترهای موثر موجود در استاندارد شولر و ۱۰۵۳ مورد پهنه‌بندی قرار گرفت. روش‌های زمین‌آماری مورد استفاده شامل روش‌های کریجینگ، کوکریجینگ و IDW می‌باشد. قبل از شروع به پهنه‌بندی لازم است تا داده‌ها مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گیرند؛ بنابراین ابتدا داده‌ها وارد نرم‌افزار SPSS شدند و میزان همبستگی آن‌ها با یکدیگر بررسی شد. پس از پهنه‌بندی در نرم‌افزار ArcGIS 10.8، اقدام به کلاس‌بندی نقشه‌ها براساس روش‌های سازمان استاندارد تحقیقات صنعتی ایران (۱۰۵۳) و استاندارد شولر شد و نقشه‌ی کیفیت نهایی آب زیرزمینی تهیه گردید (۲۹).

## نتایج و بحث

### سنجش کیفیت آب با استانداردهای ملی و جهانی

روند افزایش جمعیت و نیز اهمیت تامین آب شرب با کیفیت مطلوب، لزوم ارزیابی پارامترهای کیفی منابع آب را ضروری می‌سازد. در این بخش هدف سنجش کیفی آب شرب و مقایسه‌ی آن با استانداردهای ملی و جهانی از محل منبع تا توزیع آب در شبکه شرب است و با هدف ارزیابی میزان ارتقا کیفیت آب شرب از زمان جداسازی شبکه‌ی آب شرب و بهداشتی صورت می‌گیرد. این سنجش در دو بخش انجام شد که در ادامه نتایج حاصل از آن تشریح می‌گردد.

### نمونه‌های چاه‌های تامین منابع آب شرب

در حال حاضر تعداد ۶ چاه با دبی‌های متفاوت در حال بهره‌برداری توسط شرکت آب و فاضلاب می‌باشد، چاه‌های منصوری (شماره ۶ و ۵) با بیشترین دبی (۳۰ لیتر در ثانیه)، اصلی‌ترین منابع تامین‌کننده آب از نظر کمی می‌باشند اما از نظر کیفی، ضعیف بوده و شوری بالایی (بیش از ۴۰۰۰ میکروموس بر سانتیمتر) دارند و از پلایا انتقال می‌یابند. در ادامه میانگین مقادیر کیفی نمونه‌های بدست آمده در دوره‌ی آماری با استانداردهای ملی و بین‌المللی و سپس با استاندارد شولر مقایسه شد:

جدول ۳- مقایسه مقادیر میانگین پارامترهای کیفی چاه‌های شرب با استانداردهای ملی و بین‌المللی

Table 3. Comparison of Average values of quality parameters of drinking wells with national and international standards

| شماره چاه آب آشامیدنی | | | | | | | | | | | استاندارد | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| پارامتر | ۱ | ۲ | ۳ | ۴ | ۵ | ۶ | ۱۰۵۳ | EPA | EU | WHO | واحد |
| PH | ۷/۸۸ | ۷/۴۴ | ۷/۸۱ | ۸/۰۱ | ۷/۴۵ | ۷/۴۸ | حداکثر مطلوب: ۶/۵–۸/۵ حداکثر مجاز: ۶/۵–۹ | ۸،۵ | – | حداکثر مطلوب: ۶/۵–۸/۵ حداکثر مجاز: ۸–۸/۵ | – |
| Turbidity | ۰/۳۵ | ۰/۸۵ | ۰/۲۶ | ۰/۳۸ | ۰/۲۵ | ۰/۴۲ | حداکثر مطلوب: 1NTU حداکثر مجاز:۵ NTU | کمتر از ۵ NTU | – | حداکثر مطلوب: NTU۰/۵ حداکثر مجاز:۵ NTU | NTU |
| Total Hardness | ۴۷۱/۰۴ | ۸۰۱/۹۶ | ۱۸۰/۲۶ | ۱۶۱/۴۵ | ۶۴۶/۲۱ | ۱۱۲۸/۲۳ | حداکثر مطلوب:۲۰۰ حداکثر مجاز: ۵۰۰ | ۷۵ | ۲۰۰ | حداکثر مطلوب:۱۰۰–۲۰۰ حداکثر مجاز: ۳۰۰ | mg/L |
| EC | ۱۸۶۹/۱۰ | ۴۶۴۷/۷۵ | ۱۹۵۲/۸۲ | ۱۹۰۱/۰۹ | ۵۳۰۱/۸۲ | ۸۷۹۷/۵۵ | ۱۵۰۰ | – | ۲۵۰۰ | – | µS/cm |
| TDS | ۱۲۵۲/۲۸ | ۳۱۱۳/۹۵ | ۱۳۰۸/۴۱ | ۱۲۷۳/۷۰ | ۳۵۵۲/۲۰ | ۵۸۹۴/۴۰ | حداکثر مطلوب:۱۰۰۰ حداکثر مجاز: ۱۵۰۰ | ۵۰۰ | – | حداکثر مطلوب:۶۰۰ حداکثر مجاز: ۱۰۰۰ | mg/L |
| F | ۰/۳۱ | ۰/۵۶ | ۰/۶۷ | ۰/۵۵ | ۰/۷ | ۰/۴۴ | ۱/۷ | ۴ | ۱/۵ | ۱/۵ | mg/L |
| CL | ۲۹۵/۵۷ | ۱۱۹۳/۳۰ | ۲۵۷/۳۲ | ۲۸۳/۵۰ | ۱۵۹۸/۱۳ | ۳۲۸۱/۹۳ | ۲۰۰ | – | ۲۵۰ | ۲۰۰ | mg/L |
| SO4 | ۴۰۳/۶۸ | ۵۸۸/۸۲ | ۳۶۸/۷۵ | ۳۴۱/۴۵ | ۲۸۹/۳۲ | ۲۸۰/۹۷ | حداکثر مطلوب:۲۵۰ حداکثر مجاز: ۴۰۰ | ۲۵۰ | – | حداکثر مطلوب:۲۵۰ حداکثر مجاز: ۵۰۰ | mg/L |
| CO3 | – | – | – | – | – | – | – | – | – | ۵۰ | mg/L |
| HCO3 | ۲۰۴/۰۷ | ۲۸۰/۰۲ | ۲۶۹/۱۹ | ۲۵۶/۴۴ | ۲۰۹/۷۳ | ۱۹۵/۵۸ | – | – | – | – | mg/L |
| NO3 | ۲۱/۹۴ | ۵۷/۳۳ | ۳۵/۰۳ | ۳۰/۴۸ | ۷۷/۸۷ | ۴۳/۷۴ | ۵۰ | ۱۰ | ۵۰ | ۵۰ | mg/L |
| NO2 | – | – | – | – | – | – | ۳ | ۱ | ۰/۵ | ۳ | mg/L |
| Ca | ۱۲۶/۴۹ | ۲۱۰/۲۱ | ۵۹/۹۲ | ۴۱/۴۱ | ۱۶۴/۸۹ | ۲۸۸ | ۳۰۰ | ۲۰۰ | – | ۲۰۰ | mg/L |
| Mg | ۳۷/۵۰ | ۵۸/۱۹ | ۱۱/۶۳ | ۱۴/۰۴ | ۵۶/۷۱ | ۹۸/۹۵ | ۵۰ | – | – | – | mg/L |
| Na | ۲۶۴/۰۵ | ۸۳۴/۲۴ | ۳۹۳/۶۴ | ۳۹۰/۰۷ | ۹۴۲/۶۶ | ۱۷۳۴/۹۶ | ۲۰۰ | ۲۰ | ۲۰۰ | ۲۰۰ | mg/L |
| K | ۲/۴۶ | ۳/۱۵ | ۱/۲۳ | ۱۱،۴۳/۴۳ | ۲/۶۰ | ۳/۹۴ | – محدودیت ندارد | –محدودیت ندارد | –محدودیت ندارد | – محدودیت ندارد | mg/L |

[ Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-07-04 ]
[ DOR: 20.1001.1.22516174.1401.13.26.30.8 ]
[ DOI: 10.52547/jwmr.13.26.215 ]

جدول ۴- مقایسه‌ی میانگین پارامترها با استاندارد شولر

Table 4. Comparison of Average values with Schuler standard

| کلاس شرب | پارامترها (Mg/Lit) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | $SO_4$ | Na | Cl | TDS | TH |
| نمونه ۱ | ۴۰۳/۶۸ | ۲۶۴/۰۵ | ۲۹۵/۵۷ | ۱۲۵۲/۲۸ | ۴۷۱/۰۴ |
| | متوسط | متوسط | قابل‌قبول | متوسط | متوسط |
| نمونه ۲ | ۵۸۸/۸۲ | ۸۳۴/۲۴ | ۱۱۹۳/۳۰ | ۳۱۱۳/۹۵ | ۸۰۱/۹۶ |
| | نامناسب | نامناسب | نامناسب | نامناسب | متوسط |
| نمونه ۳ | ۳۶۸/۷۵ | ۳۹۳/۶۴ | ۲۷۵/۳۲ | ۱۳۰۸/۴۱ | ۱۸۰/۲۶ |
| | متوسط | متوسط | قابل‌قبول | متوسط | خوب |
| نمونه ۴ | ۳۴۱/۴۵ | ۳۹۰/۰۷ | ۲۸۳/۵۰ | ۱۲۷۳/۷۰ | ۱۶۱/۴۵ |
| | متوسط | متوسط | قابل‌قبول | متوسط | خوب |
| نمونه ۵ | ۲۸۹/۳۲ | ۹۴۲/۶۶ | ۱۵۹۸/۱۳ | ۳۵۵۲/۲۰ | ۶۴۶/۲۱ |
| | متوسط | کاملانامطبوع | کاملانامطبوع | نامناسب | متوسط |
| نمونه ۶ | ۲۸۰/۹۷ | ۱۷۳۴/۹۶ | ۳۲۸۱/۹۳ | ۵۸۹۴/۴۰ | ۱۱۲۸/۲۳ |
| | متوسط | کاملانامطبوع | غیرقابل‌شرب | کاملانامطبوع | نامناسب |

نتایج حاصل از مقایسه با استاندارد شولر نیز نشان می‌دهد که کیفیت آب چاه‌ها در نمونه‌های مختلف دارای کیفیت مناسبی نیستند اما پس از تصفیه و شیرین‌سازی، دارای کیفیتی مناسب شده و وارد شبکه توزیع آب شرب می‌شود؛ بنابراین ترجیح شبکه‌ی شرب جداگانه را در مناطق با کیفیت پایین آب، جهت کاهش هزینه‌ها را ضروری می‌سازد.

**نمونه‌های شبکه توزیع**

به‌منظور بررسی و مقایسه‌ی پارامترهای کیفی آب در شبکه‌ی جایگاه‌های برداشت عمومی برداشت آب در سطح شهر بجستان، به نمونه‌برداری از شبکه توزیع آب شرب در سال‌های ۹۸-۹۳ اقدام شد؛ سپس نمونه‌ها به آزمایشگاه منتقل شده و پارامترهای کیفی آن مورد آزمایش قرار گرفتند و مقادیر میانگین محاسبه شد. بطورمعمول در تعیین کیفیت آب آشامیدنی از آنالیز ترکیبات آب شامل : EC, SO4, CO3, HCO3, NO3, NO2, Ca, Mg, Na TDS,K F, Cl, PH, Turbidity, TH, استفاده می‌شود. سپس مقادیر میانگین هریک از پارامترها به‌منظور مقایسه‌ی آن با حداکثر مجاز و مطلوب موجود در استانداردها، به شرح شکل ۵ ترسیم شد. همانند چاه‌های بهره‌برداری، مقادیر میانگین بدست آمده از نمونه‌های شبکه توزیع در سال‌های هدف با استاندارد شولر در جدول زیر مقایسه شد.

جدول ۵- مقایسه‌ی میانگین مقادیر بدست آمده از نمونه شبکه توزیع آب شرب بااستاندارد شولر

Table 5. Comparison of the Average values obtained from the sample of drinking water distribution network with Schuler standard

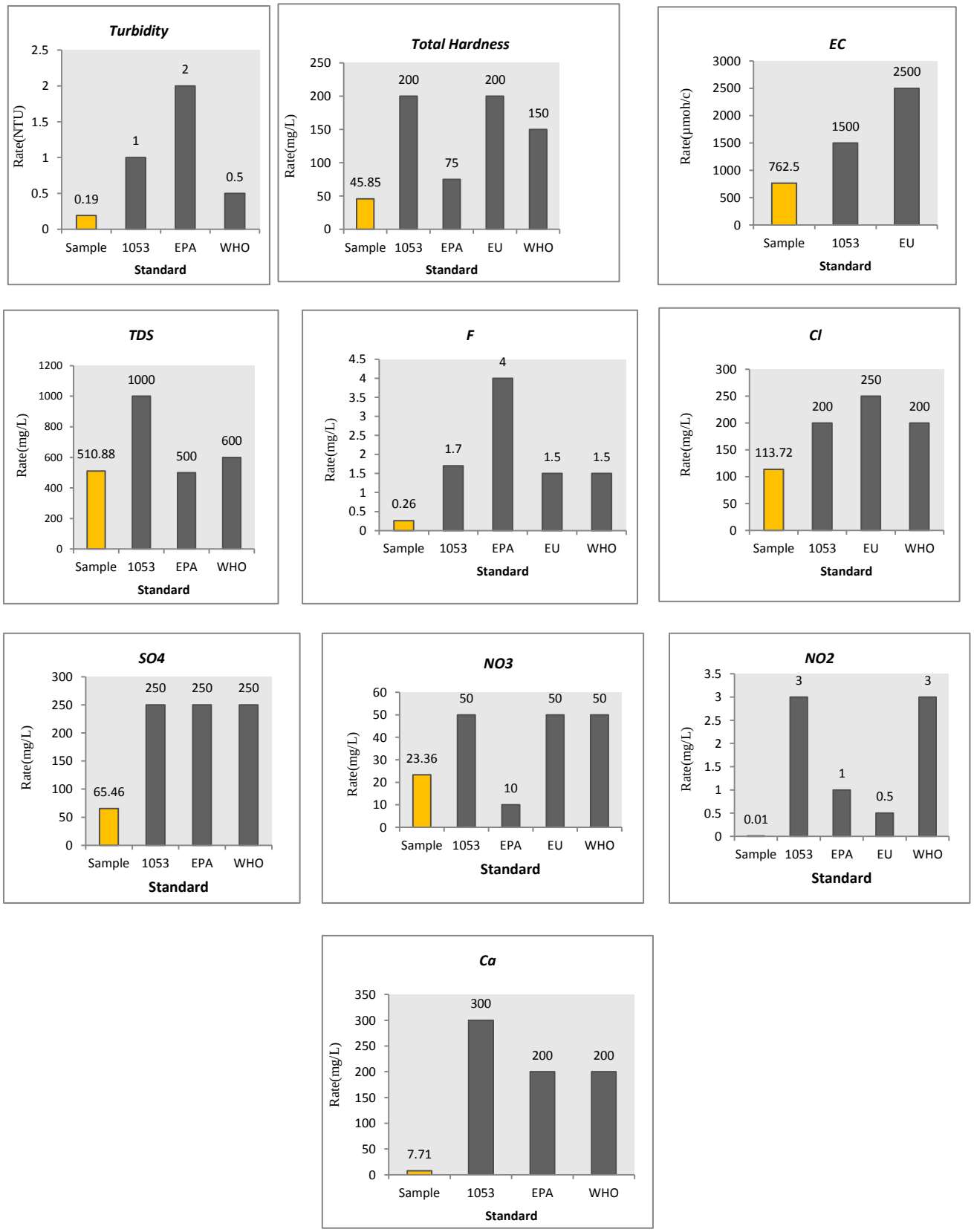
| پارامترها (Mg/Lit) | $SO_4$ | Na | Cl | TDS | TH |
|---|---|---|---|---|---|
| مقادیر نمونه | ۶۵/۴۶ | ۱۲۴/۵۹ | ۱۱۳/۷۲ | ۵۱۰/۸۸ | ۴۵/۸۵ |
| کلاس شرب | خوب | قابل قبول | خوب | قابل قبول | خوب |

نتایج حاصل از این بخش نشان داد که نمونه‌ها در شبکه‌ی توزیع در محدوده‌ی استانداردهای موجود واقع می‌شود و مشکلی از نظر کیفیت ندارند.

**پهنه‌بندی پارامترهای کیفی آب شرب با کمک روش‌های زمین‌آماری**

اطلاع از وضعیت کیفی آبهای زیرزمینی این امکان را فراهم می‌سازد تا ضمن استفاده از آن در موارد مختلف شیوه‌هایی اتخاذ شود تا کمترین آسیب به این منابع وارد شود. تکنیک‌های مختلفی برای سنجش کیفیت آبهای زیرزمینی در سطح دنیا مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته است که از آن میان شاخص‌های کیفی آب یکی از روش‌های پرکاربرد و ساده می‌باشد؛ در واقع با پهنه‌بندی و ارائه تصویر صحیح از وضعیت کیفی آبهای زیرزمینی، ابزاری مفید در اختیار قرار داده می‌شود تا هرگونه تصمیم‌گیری مدیریتی که اثرات زیست‌محیطی آن به صورت مستقیم یا غیرمستقیم متوجه آب‌های زیرزمینی کشور باشد، با آگاهی بیشتری اتخاذ شود و ضرورت اعمال شیوه‌های مدیریتی منابع آب در هر نقطه مشخص می‌گردد (۲۴).

[ Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-07-04 ]
[ DOR: 20.1001.1.22516174.1401.13.26.30.8 ]
[ DOI: 10.52547/jwmr.13.26.215 ]




شکل ۵- مقایسه‌ی مقادیر پارامترهای مختلف کیفی در استانداردهای مختلف با نمونه‌ی شبکه توزیع

Figure 5. Comparison of values of different quality parameters by different standards with samples of distribution network

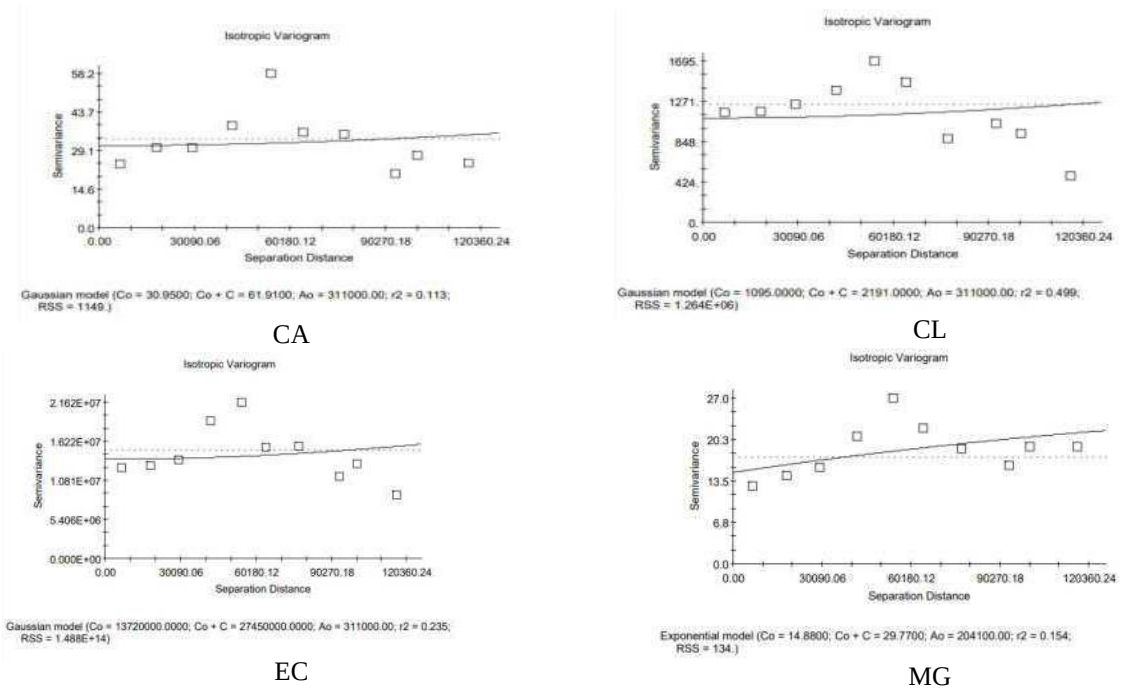
[ Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-07-04 ]
[ DOR: 20.1001.1.22516174.1401.13.26.30.8 ]
[ DOI: 10.52547/jwmr.13.26.215 ]

اولین گام در استفاده از روش‌های زمین‌آماری داده‌ها، تجزیه و تحلیل آماری است؛ بنابراین ابتدا داده‌ها وارد نرم‌افزار SPSS شدند و میزان همبستگی آن‌ها نسبت به یکدیگر با ضریب همبستگی پیرسون بررسی شد. پارامتر با بیش‌ترین میزان همبستگی به عنوان پارامتر کمکی در پهنه‌بندی با روش کوکریجینگ استفاده شد (۱۴) (جدول ۶).

جدول۶- مقایسه میزان همبستگی پارامترهای کیفی آب زیرزمینی با ضریب همبستگی پیرسون
Table 6. Comparison of groundwater quality parameters with Pearson correlation coefficient

| پارامتر (Mg/Lit) | TH | TDS | SO4 | SAR | PH | NA | MG | EC | CL | CA |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| CA | ۰/۳۲۶* | ۰/۴۰۹** | ۰/۵۶۴** | ۰/۰۱۴ | -۰/۲۲۲ | ۰/۵۹۷** | ۰/۲۲۳ | ۰/۶۱۷** | ۰/۳۳۳* | ۱ |
| CL | ۰/۲۶۵ | ۰/۲۲۷ | ۰/۳۰۵* | ۰/۱۷۹ | -۰/۰۷۳ | ۰/۲۵۹ | ۰/۰۹۱ | ۰/۲۹۴* | ۱ | ۰/۳۳۳* |
| EC | ۰/۵۳۲** | ۰/۳۵۰* | ۰/۷۲۱** | ۰/۱۲۷ | -۰/۴۲۰** | ۰/۹۹۲** | ۰/۴۹۰** | ۱ | ۰/۲۹۴* | ۰/۶۱۷** |
| MG | ۰/۳۵۰* | ۰/۷۲۱** | ۰/۱۲۷ | -۰/۴۲۰** | ۰/۹۹۲** | ۰/۴۹۰** | ۱ | ۰/۴۹۰** | ۰/۰۹۱ | ۰/۲۲۳ |
| NA | ۰/۴۸۲** | ۰/۳۳۱* | ۰/۷۰۸** | ۰/۱۲۳ | -۰/۳۸۷** | ۱ | ۰/۴۵۷** | ۰/۴۹۰** | ۰/۰۹۱ | ۰/۲۲۳ |
| PH | -۰/۲۹۲* | -۰/۲۷۰ | -۰/۳۲۷* | ۰/۰۱۲ | ۱ | -۰/۳۸۷** | -۰/۴۲۹** | -۰/۴۲** | -۰/۷۳ | -۰/۲۲۲ |
| SAR | ۰/۰۸۹ | ۰/۱۳۲ | ۰/۳۳۰* | ۱ | ۰/۰۱۲ | ۰/۱۲۳ | ۰/۱۸۳ | ۰/۱۲۷ | ۰/۱۷۹ | ۰/۰۱۴ |
| SO4 | ۰/۵۸۴** | ۰/۵۳۱** | ۱ | ۰/۳۳۰* | -۰/۳۲۷* | ۰/۷۰۸** | ۰/۵۷۸** | ۰/۷۲۱** | ۰/۳۰۵* | ۰/۵۶۴** |
| TDS | ۰/۷۰۵** | ۱ | ۰/۵۳۱** | ۰/۱۳۲ | -۰/۲۷۰ | ۰/۳۳۱* | ۰/۲۱۲ | ۰/۳۵۰* | ۰/۲۲۷ | ۰/۴۰۹** |
| TH | ۱ | ۰/۷۰۵** | ۰/۵۴۸** | ۰/۰۸۹ | -۰/۲۹۲* | ۰/۴۸۲** | ۰/۴۸۳** | ۰/۵۳۲** | ۰/۲۶۵ | ۰/۳۲۶* |

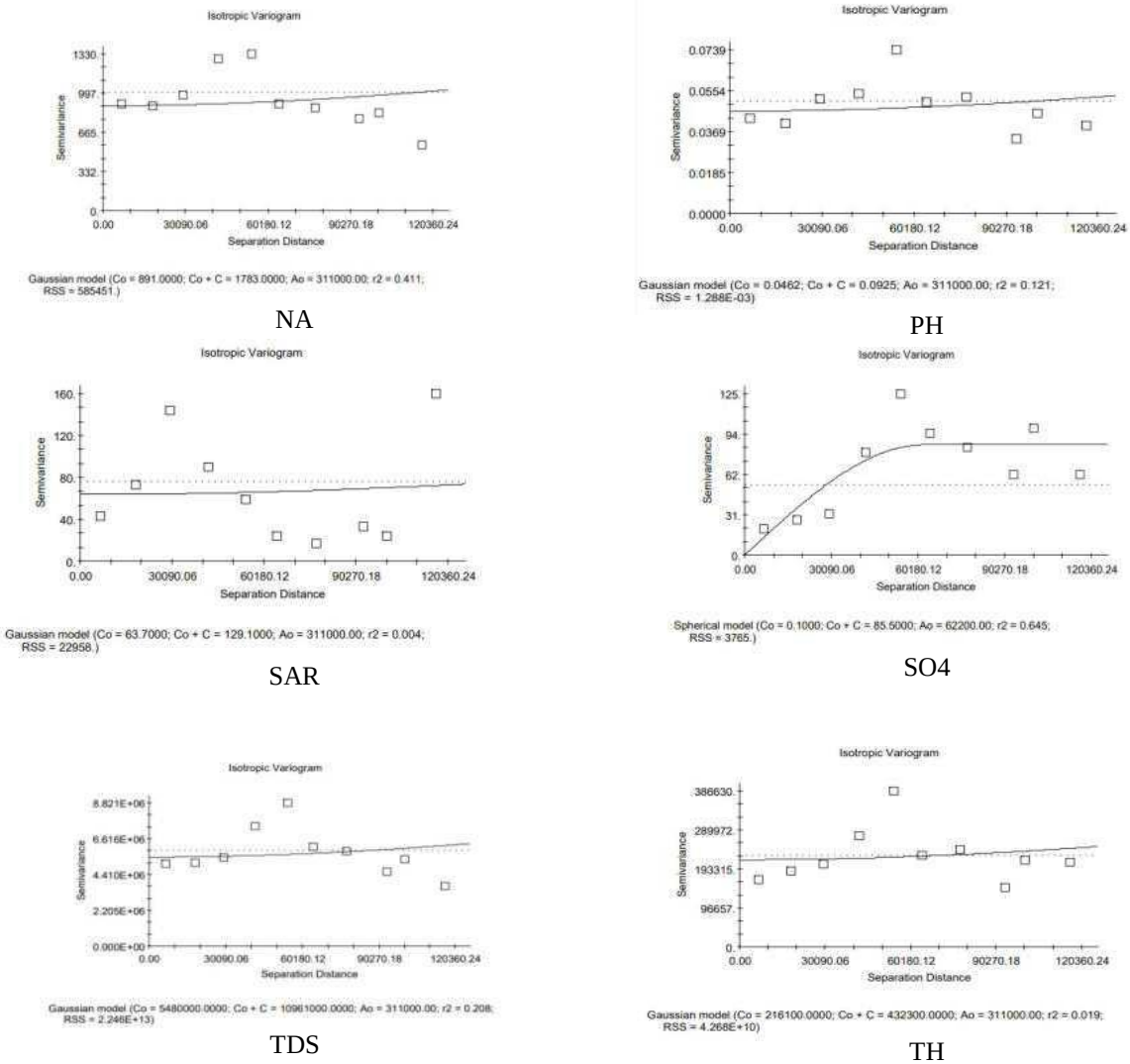
در ادامه به‌منظور بررسی وجود ساختار مکانی بین داده‌ها، آنالیز واریوگرام انجام شد و واریوگرام‌ها به‌منظور تشریح پیوستگی مکانی یک متغیر، ترسیم شدند. بدین‌منظور واریوگرام‌های پارامترهای کیفی مورد نظر در نرم‌افزار $GS^+$ تهیه شد؛ این نرم‌افزار توابع دایره‌ای، کروی، نمایی، گوسین و خطی را برای مدل‌سازی سمی‌واریوگرام (۰/۵× واریوگرام) مشاهداتی فراهم آورده است. با داده‌های موجود و با استفاده از نرم‌افزار $GS^+$ می‌توان واریوگرام مربوط به هر پارامتر را به دست آمد و مناسب‌ترین آن را برای هر پارامتر استخراج نمود. واریوگرام‌های استخراج شده برای پارامترهای کیفی به شرح شکل (۶) است.




شکل۶- واریوگرام‌های پارامترهای کیفی آب‌های زیرزمینی
Figure 6. Variograms of groundwater quality parameters

[ Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-07-04 ]
[ DOR: 20.1001.1.22516174.1401.13.26.30.8 ]
[ DOI: 10.52547/jwmr.13.26.215 ]

[ Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-07-04 ]
[ DOR: 20.1001.1.22516174.1401.13.26.30.8 ]
[ DOI: 10.52547/jwmr.13.26.215 ]




ادامه شکل۶- واریوگرام‌های پارامترهای کیفی آب‌های زیرزمینی
Continued Figure 6. Variograms of groundwater quality parameters

جدول ۷- مشخصات بهترین واریوگرام‌های برازش داده شده

Table 7. Specifications of the best fitted variograms

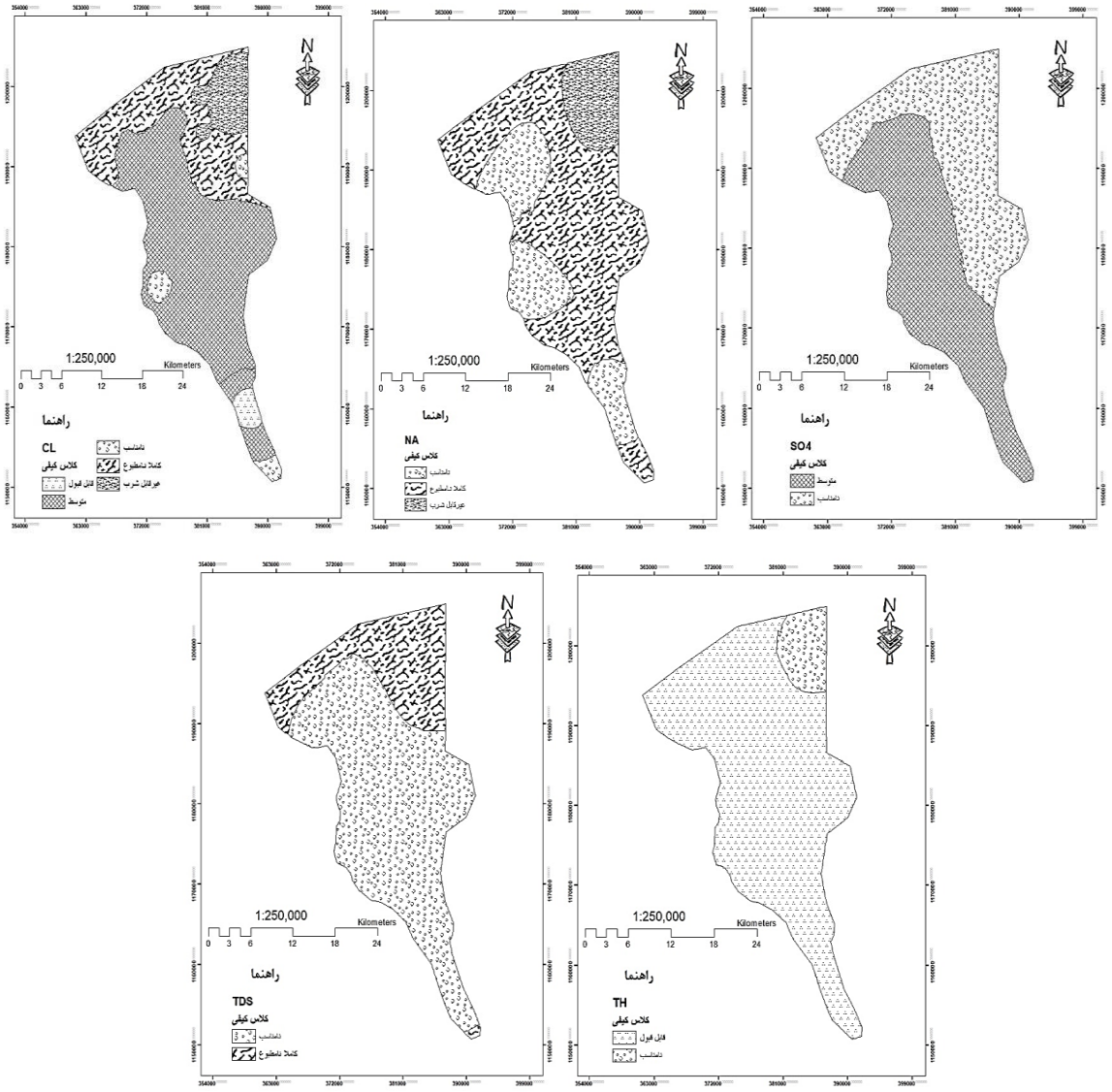
| Model | RSS | $R^2$ | Ao | Co+C | Co | پارامتر |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Spherical | ۳۷۶۵ | ۰/۶۴۵ | ۶۲۲۰۰ | ۸۵/۵ | ۰/۱ | $SO_4$ |
| Gaussian | ۵۸۵۴۵۱ | ۰/۴۱۱ | ۳۱۱۰۰۰ | ۱۷۸۳ | ۸۹۱ | Na |
| Gaussian | ۱/۲۶۴E+۰۶ | ۰/۴۹۹ | ۳۱۱۰۰۰ | ۲۱۹۱ | ۱۰۹۵ | Cl |
| Gaussian | ۲/۲۴۶E+۱۳ | ۰/۲۰۸ | ۳۱۱۰۰۰ | ۱۰۹۶۱۰۰۰ | ۵۴۸۰۰۰۰ | TDS |
| Gaussian | ۴/۲۶۸E+۱۰ | ۰/۰۱۹ | ۳۱۱۰۰۰ | ۴۳۲۳۰۰ | ۲۱۶۱۰۰ | TH |
| Gaussian | ۱/۴۸۸E+۱۴ | ۰/۲۳۵ | ۳۱۱۰۰۰ | ۲۷۴۵۰۰۰۰ | ۱۳۷۲۰۰۰۰ | EC |
| Gaussian | ۲۲۹۵۸ | ۰/۰۰۴ | ۳۱۱۰۰۰ | ۱۲۹/۱ | ۶۳/۷ | SAR |
| Exponential | ۱۳۴ | ۰/۱۵۴ | ۲۰۴۱۰۰ | ۲۹/۷۷ | ۱۴/۸۸ | Mg |
| Gaussian | ۱۱۴۹ | ۰/۱۱۳ | ۳۱۱۰۰۰ | ۶۱/۹۱ | ۳۰/۹۵ | Ca |
| Gaussian | ۱/۲۸۸E-۰۳ | ۰/۱۲۱ | ۳۱۱۰۰۰ | ۰/۰۹۲۵ | ۰/۰۴۶۲ | PH |

سپس در نرم‌افزار GIS به بررسی روش‌های زمین‌آماری در مورد پارامترهای کیفی آب زیرزمینی با استفاده از روش‌های زمین‌آماری و روش‌های معین پرداخته شد. روش‌های زمین آماری شامل روش کریجینگ (Kriging) و کوکریجینگ (Co-Kriging) و روش معین مورد استفاده نیز شامل روش وزن‌دهی عکس فاصله (IDW) بودند. سپس از روش اعتبار سنجی متقاطع (Cross Validation) بهترین روش درون‌یابی انتخاب شد (جدول ۸).

جدول ۸- انتخاب بهترین روش درون‌یابی براساس اعتبارسنجی متقاطع
Table 8. Select the best interpolation method based on cross-validation

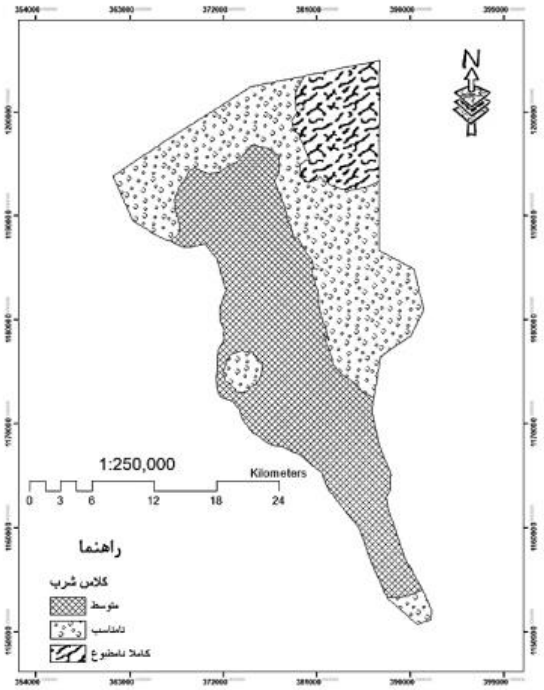
| پارامتر | روش | پارامتر کمکی | RMSE |
|---|---|---|---|
| CA | Co-Kriging | EC | ۰/۹۷۹ |
| CL | Kriging | - | ۰/۸۵۹ |
| EC | Co-Kriging | NA | ۰/۶۴۳ |
| MG | Kriging | - | ۰/۸۵۵ |
| NA | Co-Kriging | EC | ۰/۶۲ |
| PH | IDW | - | ۰/۲۶۷ |
| SAR | Co-Kriging | K | ۰/۹۴۶ |
| SO4 | Co-Kriging | EC | ۰/۸۴۱ |
| TDS | Co-Kriging | TH | ۰/۷۳۰۸ |
| TH | Co-Kriging | TDS | ۰/۷۵۷ |

در ادامه پهنه‌بندی پارامترهای کیفی براساس استاندارد شولر (شکل ۷) و کلاس نهایی شرب منطقه براساس استاندارد شولر (شکل ۸) تهیه شد:



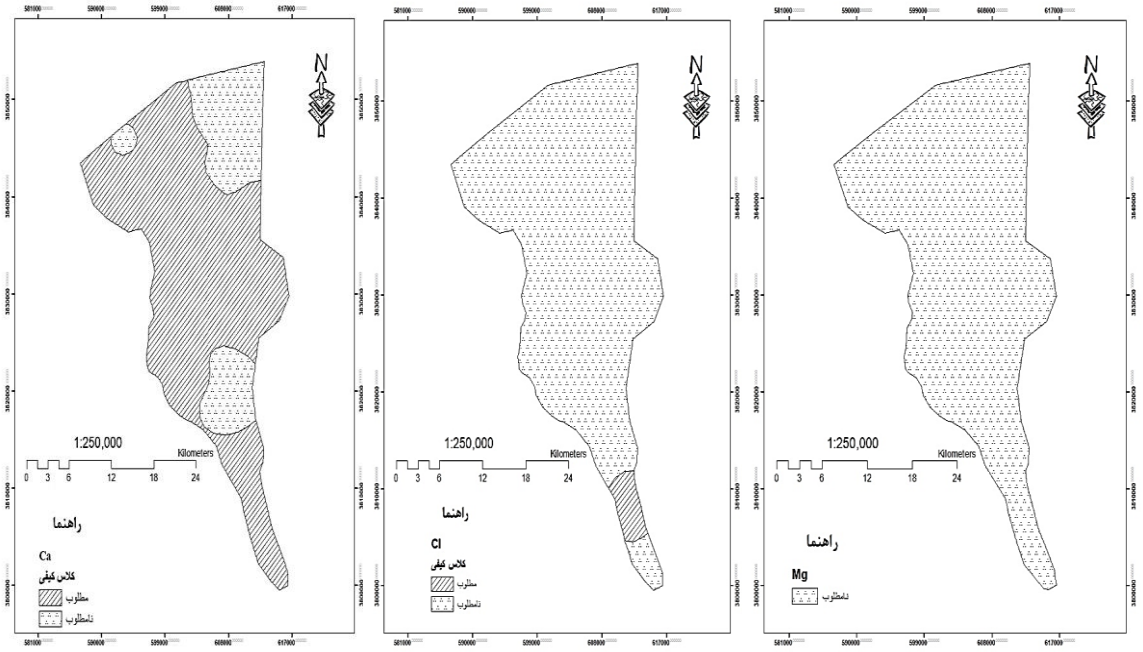

شکل ۷- پهنه‌بندی پارامترهای کیفی آب زیرزمینی بر اساس استاندارد شولر
Figure 7. Zoning of groundwater quality parameters according to Schuler standard

[ Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-07-04 ]
[ DOR: 20.1001.1.22516174.1401.13.26.30.8 ]
[ DOI: 10.52547/jwmr.13.26.215 ]



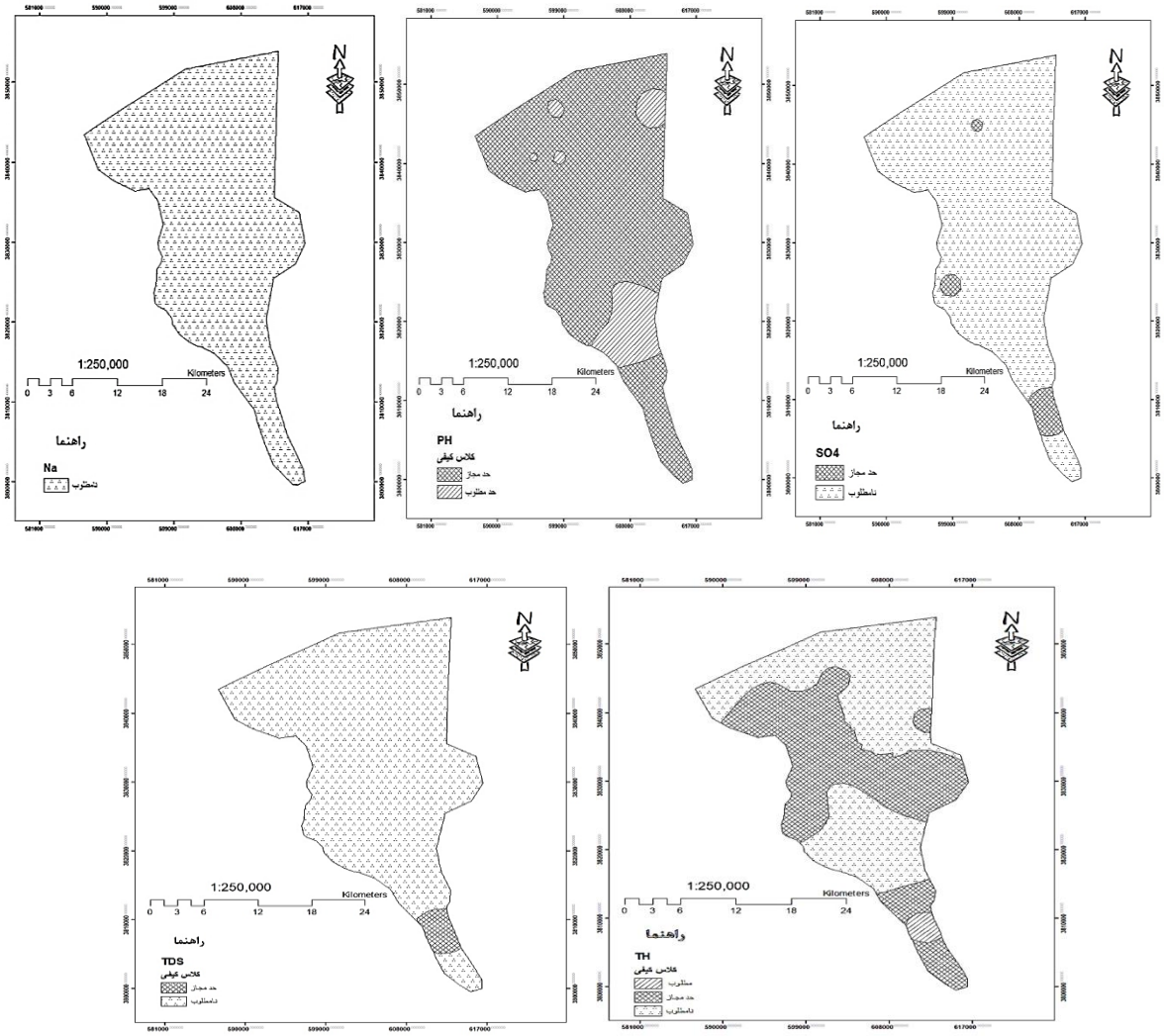

شکل ۸- کلاس نهایی شرب منطقه
Figure 8. Final class drinking area

سپس پهنه‌بندی براساس استاندارد ۱۰۵۳ (شکل ۹) و با استناد به فاکتورهای اندازه‌گیری شده در نمونه‌های شرکت آب و فاضلاب ترسیم شد و کلاس شرب در هر طبقه‌بندی بدست آمد.




شکل ۹- پهنه‌بندی پارامترهای کیفی آب زیرزمینی براساس استاندارد ۱۰۵۳
Figure 9. Zoning of groundwater quality parameters based on 1053 standard

[ Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-07-04 ]
[ DOR: 20.1001.1.22516174.1401.13.26.30.8 ]
[ DOI: 10.52547/jwmr.13.26.215 ]




ادامه شکل ۹- پهنه‌بندی پارامترهای کیفی آب زیرزمینی براساس استاندارد ۱۰۵۳
Continued Figure 9. Zoning of groundwater quality parameters based on 1053 standard

نتایج حاصل از این پهنه‌بندی‌ها نشان از بهتر بودن کیفیت آب زیرزمینی در محدوده‌ی دشت و کاهش کیفیت آن در محدوده پلایا دارد؛ عمده تجمع چاه‌ها در پلایا و در حاشیه‌ی مرطوب می‌باشد و دو چاه اصلی تامین‌کننده‌ی منابع آب شرب از نظر کمی، در این محدوده واقع شده است و شوری بالایی دارد که در حین انتقال، تاسیسات را دچار تخریب و فرسودگی می‌کند (شکل۱۰).

شکل۱۰- رسوبات موجود در آب انتقالی از پلایا به دشت
Figure 10. Sediments in the transfer water from the playa to the plain

[ Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-07-04 ]
[ DOR: 20.1001.1.22516174.1401.13.26.30.8 ]
[ DOI: 10.52547/jwmr.13.26.215 ]

## نتیجه‌گیری کلی

نتایج حاصل از این پژوهش نشان می‌دهد که اجرای طرح تفکیک آب شرب از بهداشتی در شهر بجستان از طریق جایگاه‌های هوشمند برداشت آب دولتی، منجر به افزایش کیفیت آب شرب شده است. از آنجا که منبع اصلی تامین آب، چاه‌های حاشیه پلایاست و کیفیت بسیار پایینی دارد، تصفیه و شیرین‌سازی حجم محدودی از این منبع آب، برای تامین آب با کیفیت بالا در بخش شرب، منجر به کاهش هزینه‌ها خواهد شد. همچنین نتایج بدست آمده از پهنه‌بندی پارامترهای کیفی آب زیرزمینی نشان از کاهش کیفیت آب در محدوده‌ی پلایا به دلیل ساختار زمین‌شناسی خاص آن و نیز کیفیت مطلوب‌تر منابع آب در محدوده‌ی دشت بجستان را می‌دهد و از آنجا که هزینه‌های انتقال آب از پلایا بسیار بالا می‌باشد، خریداری چاه‌های کشاورزی از کشاورزان در محدوده‌ی دشت بجستان، به مراتب هزینه‌های کمتری از نظر انتقال و شیرین‌سازی به همراه خواهد داشت.

## منابع

1. Adhikari, R., K. Mohanasundaram and S. Shrestha. 2020. Impacts of land-use changes on the groundwater recharge in the Ho Chi Minh City, Vietnam. Environmental research, 185: 109440.
2. Alizadeh, A. 2007. Applied Hydrology, Astan Qods Razavi Publications, Iran, (In Persian).
3. Archive of water and Sewage Company. 2022. Annual report of urban water and sewage affairs of Bajestan city, 50 pp (In Persian).
4. Crittenden, J.C., R.R. Trussell, D.W. Hand, K.J. Howe and G. Tchobanoglous. 2012. MWH's water treatment: principles and design, John Wiley & Sons.
5. Doria, M.F. 2006. Bottled water versus tap water: understanding consumers' preferences. Journal of water and health, 4(2): 271-276.
6. Economic News Magazine. 2014. 91 Magazine, Fear of the fall of Iranian News, Iran, 2 pp (In Persian).
7. Emami, A. and A. Shakeri. 2015. Supply of drinking water by separation from sanitation with a participatory contractual approach, Proceedings of the Sixth Conference on Water, Wastewater and Waste (In Persian).
8. EPA. 2012. Edition of the drinking water standards and health advisors, United States Environmental Protection Agency, EPA 822-S-12-00.
9. Essaid, H.I. 1990. A multilayered sharp interface model of coupled freshwater and saltwater flow in coastal systems: Model development and application. Water Resources Research, 26(7): 1431-1454.
10. European Commission, the Drinking Water Directive (DWD). 1998. Council Directive98/83/EC. Available: http://ec.europa.eu/environment/water/waterdrink/ index_en.html (accessed 15.12.02).
11. Fotouhi Firooz Abad, F., M.R. Ekhtesasi, M. Sefid and A. Morrovati Sharif Abadi. 2018. Zoning and comparison of characteristics affecting the quality of drinking water wells in Yazd city using geostatistical. Journal of Rangeland and Watershed Management, Iranian Journal of Natural Resources, Iran, 71(1) (In Persian).
12. Fotouhi Firooz Abad, F., M.R. Ekhtesasi, A.R. Negaresh and Z. Vatan Khah Tafti. 2018. Feasibility study of drinking water separation scenarios from sanitary water using EPANET in Yazd, the second congress of Iran Water and Wastewater Science and Engineering and the second national conference on supply and demand of drinking and sanitary water, Isfahan, Iran (In Persian).
13. Frijns, J., C. Büscher, A. Segrave and M. Zouwen. 2013. Dealing with future challenges: a social learning alliance in the Dutch water sector. Water Policy, 15(2): 212-222.
14. Habibi, A. 2012. SPSS application training, Second edition, 30 pp (In Persian).
15. Haney, P.D. and C.L. Hamann. 1965. Dual water systems. Journal-American Water Works Association, 57(9): 1073-1098.
16. Kang, D. and K. Lansey. 2012. Dual water distribution network design under triple-bottom-line objectives. Journal of Water Resources Planning and Management, 138(2): 162-175.
17. Kardavani, P. 1996. Analysis of groundwater quality trends and its impact on desertification. Master Thesis, University of Tehran, Iran, 150 pp (In Persian).
18. Kundzewicz, Z.W. and D. Koutsoyiannis. 2007. Editorial-Quantifying the impact of hydrological studies. Hydrological Sciences, 52(2): 3-17.
19. McDonald, M.G. and A.W. Harbaugh. 1988. A modular three-dimensional finite-difference ground-water flow model. US Geological Survey.
20. Mohammadzadeh, F., M.R. Ekhtesasi and S.Z. Hossieni. 2015. Comparative quantitative and qualitative study of groundwater resources and their relationship with geological formations and land use (Case study: Bajestan plain watershed), Master Thesis, 20 pp (In Persian).
21. National Committee Food and Agriculture Standards. 2011. Physical and chemical properties of drinking water, standard 1053-A, Iran Institute of Standards and Industrial Research, Tehran, Iran (In Persian).
22. Ostavari, Y. 2011. Evaluation of water quality of Lordegan regional aquifers and the effect of geological formations on the quality of these aquifers, Master Thesis, Soil Science, Shahrekord University, Iran, 110 pp (In Persian).

[ Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-07-04 ]
[ DOR: 20.1001.1.22516174.1401.13.26.30.8 ]
[ DOI: 10.52547/jwmr.13.26.215 ]

23. Rasoulkhani, K., A. Mostafavi, J. Cole and S. Sharvelle. 2019. Resilience-based infrastructure planning and asset management: Study of dual and singular water distribution infrastructure performance using a simulation approach. Sustainable Cities and Society, 48(2): 101-577.
24. Razaz, M. 2006. Investigation of river water quality using water quality indicators: A case study of Maroon River. Seventh International Seminar on River Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran, 75-81 pp (In Persian).
25. Sindhu, G., M. Ashith, P.G. Jairaj and R. Raghunath. 2012. Modelling of coastal aquifers of Trivandrum. Procedia engineering, 38: 3434-3448.
26. UNICEF, World Health Organization. 2013. Progress on Sanitation and Drinking-Water, WHO Library, Geneva, Switzerland.
27. Update studies of water resources balance Study areas of Kavir Markazi. 2019. Evaluation of water resources, Water resources balance report of Bajestan-Younesi study area (4721), 21(5): 22 pp (In Persian).
28. WHO. 2011. Guidelines for drinking-water quality, 4th Edition, World Health Organization, ISBN 978 92 4 154815, Malta, http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/ es304955g.
29. Yousefi Kebriya, A., M. Nadi and M. Jamei. 2021. Investigation of Statistical and Geostatistical Methods in Preparing the Rainfall Map of Mazandaran Province. 12(23): 212-223.

[ Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-07-04 ]
[ DOR: 20.1001.1.22516174.1401.13.26.30.8 ]
[ DOI: 10.52547/jwmr.13.26.215 ]

# Investigating the Effect of Drinking and Sanitary Water Separation on the Quality of Drinking Water and Preparing a Groundwater Quality Map (Case study: Bajestan Watershed)

**Fatemeh Mohammadzadeh[1], Mohammad Reza Ekhtesasi[2], Seyed Zeynolabedin Hosseini[3], Abdoalrasoul Negaresh[4], Hossein Hashem[5] and Mohammad Allaee[6]**

1, 2 and 5- PhD Students, Professor and Associate Professor, Yazd University
3- Assistant Professor, Yazd University, (Corresponding author: zhosseini@yazd.ac.ir)
4- PhD Students, Islamic Azad University South Tehran Branch
6- Managing Director & chief of the Board Khorasan Razavi Water Authority Managing Director

Received: 8 June, 2022 Accepted: 4 September, 2022

**Extended Abstract**

**Introduction and Objective:** In order to supply the drinking water for inhabitants of arid areas always have several challenges. The main source of fresh water supply in these areas is groundwater, but in recent years, increasing harvests and declining aquifers have increased salinity. Bajestan watershed is no exception of this issue and the main source of drinking water and sanitation is groundwater sources from the Playa, which is of very low-quality water. By decreasing the quality of groundwater resources has created the project to separate drinking water and sanitation by creating "The Government Drinking Water Stations", since 2014. The purpose of this study is to investigate the rate of realization of this project implementation in order to quality drinking water supply. For this purpose, some of water samples was taken from the network and drinking wells, then the samples were compared with National and International standards and prepared the groundwater resources quality map.

**Material and Methods:** In this study, at the first stage, the water samples taken from drinking wells and distribution network in the same period (2014-2019) were collected and compared with National and International standards. These standards included the standard of the Industrial Research Organization of Iran (1053 Report), WHO, the United States Environmental Protection Agency (EPA), the European Union (EU) and Schuler diagram. Then, Prepared the maps based on 1053 and Schuler diagram (The most common drinking water quality standards in Iran) which were selected by choosing the best interpolation method in the field of Geostatistical by choosing the lowest value of RMSE.

**Results:** The results of this research showed that all of the quality parameters of distribution network's water samples were within the standard condition, the values of all the quality parameters were equal or even lower than the standard value of the indicators, So the conditions are optimal. While the water quality parameters in drinking water supply wells were of unfavorable quality according to the values of the standards used in the research; These are EC, TH, TDS, Na, CL in the water samples obtained from the wells on the Playa were 4 to 6 times and in other wells on the plain were 1.5 to 2 times the values found in the standard indices. The results of the interpolation of the quality parameters of the plain's groundwater showed that the Co-Kriging method has the lowest Error in the main parameters of water quality determination, including EC, TDS and TH, which shows the high correlation of the parameters, there was a high correlation of groundwater in the plain with each other.

**Conclusion:** Comparison of the samples in the two parts of the wells and the drinking water distribution network showed that the current plan has sufficient usefulness to providing the quality the drinking water. Also, based on the map of the quality of the groundwater resources of the plain, the playa has the lowest quality of water resources and the wells located in the plain area have better quality.

**Keywords:** Drinking Water, Separation of Drinking & Sanitary Water, Quality Assessment, Water Quality Map

[ Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-07-04 ]
[ DOR: 20.1001.1.22516174.1401.13.26.30.8 ]
[ DOI: 10.52547/jwmr.13.26.215 ]