

تحلیل فضایی کیفیت منابع آب زیرزمینی جهت مصارف شرب، کشاورزی و صنعتی (مطالعه موردی: دشت آباده طشک-جهان آباد)

کمال امیدوار

استاد گروه جغرافیای طبیعی (آب و هواشناسی) دانشگاه یزد، یزد، ایران

حسین بهزادی کریمی*

دانشجوی دکتری آب و هواشناسی، دانشگاه یزد، یزد، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۲/۲۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۹/۱۲

چکیده

هدف از این مطالعه، تحلیل مکانی کیفیت آب زیرزمینی دشت آباده طشک-جهان آباد واقع در شرق استان فارس برای مصارف شرب، کشاورزی و صنعتی براساس دیاکرام‌های شولر، ویلکوکس و شاخص اشباع‌شدگی لانزلیه است. ابتدا داده‌های ۸ پارامتر کیفی مؤثر در مصارف فوق، شامل TDS، TH، Na^+ ، Cl^- ، SO_4^{2-} ، PH، EC و SAR مربوط به ۲۹ حلقه چاه منطقه جمع‌آوری و از نرمال بودن توزیع داده‌ها اطمینان حاصل گردید. به کمک تحلیل‌گر زمین‌آماري در سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS)، مدل‌های مختلف روش کوکریجینگ برای هر پارامتر بررسی و نتایج حاصل از مدل‌های مذکور براساس فن اعتبارسنجی متقابل با معیار آماری ریشه دوم میانگین مربعات خطا (RMSE) مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که برای پارامترهای TDS، TH، Cl^- و PH، مدل رشنال کوادریک و برای متغیرهای Na^+ ، SO_4^{2-} ، EC و SAR، مدل نمایی از بیشترین دقت و کمترین خطا نسبت به سایر مدل‌های واریوگرام برخوردار می‌باشند. براساس نمودار شولر، ۳۸٪ چاه‌های دشت در گروه خوب و قابل قبول قرار داشته و مانعی از نظر شرب ندارند. نمودار ویلکوکس نشان می‌دهد که اکثر چاه‌ها (۶۲٪) در کلاس خیلی شور قرار داشته و برای کشاورزی مناسب نمی‌باشند. با توجه به ضریب اشباع‌شدگی لانزلیه، ۷۶٪ آب زیرزمینی دشت در رده رسوب‌گذار و ۲۴٪ باقی‌مانده در رده خورنده از نظر صنعتی قرار دارند. نقشه‌های طبقه‌بندی کیفی آب زیرزمینی دشت از لحاظ شرب، کشاورزی و صنعتی نشان داد که کیفیت آب از مناطق مرتفع شمال به سمت نواحی پست جنوب (به‌استثنای ناحیه ۱۰ زیر ۲)، به-خصوص در اراضی فاقد کشاورزی یعنی محدوده دریاچه بختگان که کلاس کیفیت آب غیرقابل استفاده غالب است؛ کاهش می‌یابد.

واژگان کلیدی: کیفیت آب زیرزمینی، تحلیل مکانی، روش کوکریجینگ، طبقه‌بندی کیفی آب، دشت آباده طشک-جهان آباد.

مقدمه

امروزه بیشتر نیاز آبی مناطق خشک و نیمه‌خشک کشور به دلیل عدم وجود آب‌های سطحی مستمر و مناسب، از منابع آب زیرزمینی و از طریق چاه‌های حفر شده تأمین می‌گردد (ولایتی، ۱۳۷۸: ۱۰۸). وقوع خشک‌سالی‌های شدید و برداشت بیش از حد در سال‌های اخیر نه تنها بر کمیت و میزان منابع آب زیرزمینی تأثیر گذاشته، بلکه بر کیفیت پارامترهای شیمیایی آن نیز مؤثر بوده است که بدون شک برای منابع طبیعی کشور یک فاجعه محسوب می‌شود. تخلیه فاضلاب‌های شهری، رواناب، دامداری‌های بزرگ، فاضلاب کارخانه‌ها و مکان دفع فاضلاب به‌عنوان عواملی هستند که بر کیفیت آب زیرزمینی تأثیرات بسیار منفی می‌گذارند (دورقام^۱ و همکاران، ۲۰۰۴: ۲۵).

کیفیت آب یکی از جنبه‌های هیدروژئوشیمی است که درباره توصیف شیمیایی آب، توزیع مکانی انواع متشکله‌های شیمیایی و قابلیت مصرف آب برای اهداف صنعتی، کشاورزی و مصارف خانگی و شهری بحث می‌کند. معمولاً جهت تعیین مناسب بودن کیفیت آب زیرزمینی برای مصارف مختلف، پس از نمونه‌گیری، آزمایش‌های تجزیه شیمیایی روی نمونه‌ها انجام شده و با مقایسه نتایج آن‌ها با مقادیر استاندارد، کیفیت آب جهت هر نوع مصرف مشخص می‌گردد (طباطبائی، ۱۳۷۹: ۳۵). استانداردهای متفاوتی برای بررسی کیفیت آب آشامیدنی وجود دارد. یکی از این استانداردها، نمودار نیمه لگاریتمی شولر است (شولر^۲، ۱۹۶۷: ۴۵). برای تعیین کیفیت آب کشاورزی از طبقه‌بندی ویلکوکس که یکی از مهم‌ترین طبقه‌بندی‌ها در این زمینه می‌باشد؛ استفاده می‌شود (ویلکوکس^۳، ۱۹۴۸: ۱۹). همچنین برای طبقه‌بندی آب برای مصارف صنعتی از ضریب اشباع‌شدگی لانژلیه استفاده می‌شود که از تفاوت مقدار اسیدپتیه آب و میزان اسیدپتیه اشباع حاصل می‌شود (آقازاده^۴، ۲۰۰۸: ۳۵). از این‌رو مطالعه دقیق آب‌های زیرزمینی از لحاظ مصارف مختلف به‌منظور ارائه راهکارهایی در جهت حفاظت، مدیریت و بهره‌برداری بهینه از منابع آب زیرزمینی، امری ضروری به نظر می‌رسد.

مطالعات بسیاری در ارتباط با به‌کارگیری ابزارها و روش‌های مدرن جهت بررسی و ارزیابی منابع آب مورد استفاده بشر صورت گرفته است. در این مطالعات سعی شده تا بررسی کیفی منابع آب به‌طور دقیق‌تر، با صرف هزینه و زمان کمتر انجام گیرد. سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) یکی از شایع‌ترین این ابزارهاست و تکنیک‌های زمین‌آماری یکی از مهم‌ترین قابلیت‌های این سامانه است. زمین‌آمار با استفاده از روش‌های میان‌یابی، سطوحی از داده‌ها ارائه می‌نماید که دارای همبستگی مکانی هستند. نقشه‌های حاصل از تکنیک‌های زمین‌آمار به‌عنوان ابزارهای گزینش اولیه برای اعمال سامانه‌های تصمیم‌گیری در استراتژی‌های مدیریت آب زیرزمینی در مقیاس محلی و منطقه‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد (سامسون و کومر^۵، ۲۰۱۰: ۵۹).

-
- 1- Dorgham
 - 2- Schoeller
 - 3- Wilcox
 - 4- Aghazadeh
 - 5- Samson and Kumar

در رابطه با بررسی کیفیت آب‌های زیرزمینی در خارج از کشور مطالعات ارزشمندی صورت گرفته است. برای مثال، کرسیک^۶ (۱۹۹۷) روش کریجینگ را از میان دیگر روش‌های زمین‌آماری، به‌عنوان بهترین و قوی‌ترین ابزار برای میان‌یابی داده‌ها و تهیه نقشه‌های آب زیرزمینی معرفی کرد. سامسون و کومر (۲۰۱۰) به‌منظور بررسی کیفیت آب‌های زیرزمینی شهر تیروچیراپالی هندوستان جهت مصارف شرب، ۱۲ پارامتر فیزیکی و شیمیایی در ۷۹ حلقه چاه پراکنده در سطح شهر را مورد بررسی قراردادند. ایشان نقشه تغییرات کیفیت آب زیرزمینی را با استفاده از روش‌های میان‌یابی در محیط نرم‌افزار GIS تهیه کردند. الحدیدی^۷ (۲۰۱۲) با استفاده از شاخص WQI به بررسی کیفیت آب حوضه راتئو پاتری راتئو در کشور هندوستان پرداخت و نتایج نشان داد که ۴۸ درصد از نمونه‌های آب زیرزمینی در رده عالی، ۴۸ درصد در رده خوب و ۴ درصد در رده خیلی بد از نظر آشامیدن قرار دارند. گیروهیوت و همکاران^۸ (۲۰۱۴) به مطالعه کیفیت آب زیرزمینی آبخوان هانتی بیت برای مصارف شرب پرداختند و از ۱۰ پارامتر شیمیایی استفاده نمودند و این نتایج به دست آمد که تمام نمونه‌های آب زیرزمینی در رده خوب قرار گرفته و برای اهداف شرب مناسب می‌باشند. در خصوص بررسی تغییرات مکانی کیفیت آب از نظر مصارف شرب، کشاورزی و صنعتی با استفاده از تلفیق نقشه‌های کلاس‌بندی شده شاخص‌های کیفی آب، مطالعات مختلفی در کشور انجام گرفته است. محمدی و همکاران (۱۳۹۰) به‌منظور طبقه‌بندی کیفی آب زیرزمینی دشت قزوین جهت مصارف شرب از روش استاندارد سازمان بهداشت جهانی و جهت مصارف کشاورزی از روش ویلکوکس استفاده نمودند و با روی هم‌گذاری نقشه‌های مصارف شرب و کشاورزی در نرم‌افزار زمین‌آمار ArcGIS به این نتایج دست یافتند که ۱۰٪ از کل آب‌های زیرزمینی دشت قزوین برای مصارف شرب و کشاورزی مطلوب، ۶٪ از آن برای این مصارف نامطلوب است و ۸۴ درصد از کیفیت متوسط برخوردار است. پیری و همکاران (۱۳۹۲) پارامترهای کیفی Ca، pH، HCO₃، EC، TDS، Cl، SO₄، SAR، Na و Mg مربوط به ۶۱ حلقه چاه آبخوان دشت بجستان را انتخاب و به بررسی تغییرات مکانی کیفیت آب زیرزمینی منطقه جهت مصارف شرب و کشاورزی اقدام نمودند. نتایج نشان داد که شوری و نسبت جذبی سدیم در اکثر چاه‌ها بالا بوده و مصرف آب این چاه‌ها در درازمدت باعث شور شدن و کاهش نفوذپذیری خاک می‌شود و از نظر شرب نیز باعث رسوب‌گذاری و خوردگی در لوله‌ها می‌شوند. جعفری و بخشنده مهر (۱۳۹۳) به بررسی تغییرات مکانی شوری و قلیائیت آب‌های زیرزمینی استان اصفهان با استفاده از زمین‌آمار پرداختند. مطابق نتایج این محققین کیفیت آب زیرزمینی استان اصفهان از لحاظ کشاورزی از جنوب به شمال و همچنین از غرب به شرق کاهش می‌یابد. رجبی و همکاران (۱۳۹۴) به بررسی هیدروژئوشیمیایی آب‌های زیرزمینی منطقه هستیجان و تعیین کیفیت آن‌ها برای مصارف مختلف پرداختند و به این نتایج دست یافتند که بر اساس دیاگرام ویلکوکس، کیفیت غالب آب‌های زیرزمینی منطقه برای کشاورزی مناسب و یا قابل استفاده است و بر اساس نمودار شولر، برای مصارف شرب خوب، قابل قبول و متوسط‌اند و از نقطه نظر مصارف صنعتی

6- Kresic

7- Al-hadithi

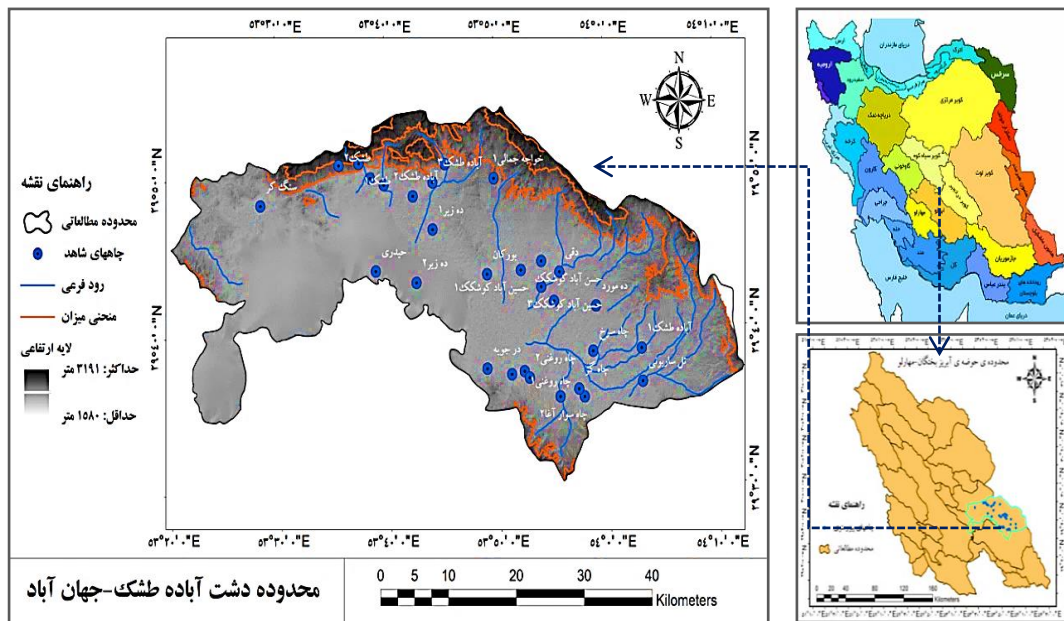
8- Gebrehiwot

بیشتر نمونه‌ها خاصیت خوردگی دارند. خاندوزی و همکاران (۱۳۹۴) در بررسی کیفیت هیدروشیمیایی آب زیرزمینی شهرستان رامیان استان گلستان نتیجه گرفتند که براساس شاخص کیفی ویلکوکس و شولر، آب‌های زیرزمینی برای مصارف کشاورزی در حد متوسط و از نظر شرب مناسب می‌باشند و از نظر کشاورزی ۷۷ درصد نمونه‌ها در رده C3-S1 قرار دارند. محمدیاری و همکاران (۱۳۹۴) به پهنه‌بندی کیفیت آب زیرزمینی مناطق خشک مهران و دهلران از نظر شرب با استفاده از منطق فازی و طبقه‌بندی شولر اقدام نمودند. سدیم، کلر، سولفات، TDS و TH متغیرهای مورد ارزیابی بودند. آنان به این نتایج دست یافتند که ۳۷ درصد از منطقه برای شرب مناسب، ۱۳ درصد نسبتاً مناسب و ۵۰ درصد نامناسب می‌باشد. رفیع شریف‌آباد و همکاران (۱۳۹۶) به بررسی روند زمانی و مکانی تغییرات کیفیت آب زیرزمینی دشت یزد-اردکان جهت مصارف شرب و کشاورزی با استفاده از دیاگرام‌های شولر و ویلکوکس پرداختند و به این نتایج رسیدند که پارامترهای pH SAR، Ca، Na و SO4 در سال ۱۳۹۳ نسبت به سال ۱۳۷۵ افزایش یافته و به‌جز قسمت‌های شمال شرقی، بقیه دشت جهت مصارف شرب از کیفیت آب خوب و قابل قبولی برخوردار است.

بنابراین اهداف پژوهش حاضر عبارت‌اند از: ۱- تحلیل مکانی پارامترهای کیفی منابع آب زیرزمینی دشت آباده طشک-جهان‌آباد استان فارس با استفاده از مناسب‌ترین مدل زمین‌آماری کوکریجینگ؛ ۲- طبقه‌بندی کیفیت هیدروشیمیایی آب زیرزمینی جهت مصارف شرب، کشاورزی و صنعتی بر اساس دیاگرام‌های شولر، ویلکوکس و شاخص اشباع لانتزلیه؛ ۳- پهنه‌بندی کیفیت منابع آب زیرزمینی دشت با هدف مصارف شرب، کشاورزی و صنعتی.

محدوده مورد مطالعه

دشت آباده طشک-جهان‌آباد با مساحت ۱۹۳۷ کیلومترمربع در جنوب شرقی حوضه آبریز بختگان-مهارلو و در شهرستان نیریز استان فارس قرار دارد و بین عرض‌های ۲۹ درجه و ۳۰ دقیقه شمالی تا ۲۹ درجه و ۵۴ دقیقه شمالی و طول ۵۳ درجه و ۲۰ دقیقه شرقی تا ۵۴ درجه و ۱۲ دقیقه شرقی واقع شده است. حداقل ارتفاع این دشت از سطح دریا ۱۵۸۰ متر و حداکثر ارتفاع آن ۳۱۹۱ متر است. میانگین بارش سالانه آن در حدود ۲۲۵ میلی‌متر و متوسط درجه حرارت ۱۷/۹ درجه سانتی‌گراد است. میانگین رطوبت نسبی منطقه مورد مطالعه تقریباً ۳۸٪ و میزان تبخیر ۲۹۳۳ میلی‌متر می‌باشد. از نظر زمین‌شناسی، بخش اعظم شمال دشت از آهک‌های کرتاسه (بنگستان) متخلل مطبق به رنگ خاکستری است که منشأ اصلی منابع آب زیرزمینی منطقه می‌باشند. به‌طور کلی رسوبات آبرفتی در منطقه مورد مطالعه دارای نفوذپذیری و تخلخل زیاد نبوده و به همین علت منابع آب زیرزمینی تشکیل دهنده در آن‌ها چندان غنی نمی‌باشند. تعداد چاه‌های نمونه‌برداری در داخل محدوده مورد مطالعه ۲۹ حلقه چاه می‌باشد. شکل ۱ موقعیت منطقه و پراکنش چاه‌های نمونه‌برداری واقع در دشت را نشان می‌دهد.



شکل ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه و پراکنش چاه‌های نمونه برداری واقع در دشت آباده تاشک-جهان آباد

داده‌ها و روش‌ها

در این پژوهش، از داده‌های اندازه‌گیری شده ۸ پارامتر کیفی مؤثر در مصارف شرب، کشاورزی و صنعتی با نمونه‌گیری از ۲۹ حلقه چاه شاهد دشت آباده تاشک-جهان آباد که به وسیله سازمان آب منطقه‌ای فارس تهیه شده بود، استفاده گردید. این ویژگی‌های شیمیایی شامل سختی کل آب (TH)، نسبت جذبی سدیم (SAR)، سدیم (Na^+)، سولفات (SO_4^{2-})، کلر (Cl^-)، اسیدیته (PH)، مواد جامد محلول در آب (TDS) و قابلیت هدایت الکتریکی (EC) است. ابتدا نرمال بودن توزیع داده‌ها با آزمون کولموگوروف-اسمیرنوف^۹ از بسته نرم‌افزاری SPSS.20 بررسی شد. پس از کنترل کیفی داده‌ها، به منظور تشریح پیوستگی مکانی متغیرها، نیم تغییر نمای داده‌ها رسم گردید. مؤلفه‌های نیم تغییر نمای مدل‌های مختلف (سمی واریوگرام‌های دایره‌ای، کره‌ای، درجه پنج، نمایی، رشنال کوادریک و جی بسل) مبتنی بر روش زمین‌آماري کوکریجینگ با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) به دست آمد. سپس با کمک فن اعتبارسنجی متقابل^{۱۰} و بر اساس معیار آماری ریشه دوم میانگین مربعات خطا^{۱۱} (RMSe) که میزان دقت را نشان می‌دهد، مناسب‌ترین مدل واریوگرام تعیین و انتخاب شد. پس از انجام این مراحل و بر اساس بهترین مدل انتخابی، نقشه‌های هم ارزش پارامترهای کیفی آب‌های زیرزمینی منطقه در محیط نرم‌افزار ArcGIS10.3 تهیه و ترسیم شد.

- 9- Kolmogorov-Smirnov
- 10- CrossValidation
- 11- Root Mean Square
- 12- Variogram
- 13- Nugget Effect
- 14- Sill
- 15- Range of Influence

نرم افزارهای متعددی برای بررسی کیفیت آب وجود دارد که در این مطالعه، از نرم افزار Chemistry جهت کلاس بندی کیفیت آب زیرزمینی محدوده مورد مطالعه برای مصارف شرب، کشاورزی و صنعتی به ترتیب بر اساس دیاگرام های شور، ویلکوکس و شاخص اشباع شدگی لانزلیه استفاده شد. در نهایت نیز نقشه های طبقه بندی کیفیت آب از جنبه شرب، کشاورزی و صنعتی از همپوشانی نقشه های کلاس بندی شده شاخص های مذکور به دست آمد.

نیم تغییر نما

به منظور تشریح پیوستگی مکانی پارامترهای کیفی آب های زیرزمینی منطقه، اقدام به ترسیم نیم تغییر نمای^{۱۲} عناصر شیمیایی در محیط نرم افزاری ArcGIS شد. هر نیم تغییر نما دارای سه مشخصه اصلی است: اثر قطعه ای^{۱۳}، آستانه^{۱۴} و شعاع تأثیر^{۱۵}. از نسبت اثر قطعه ای به آستانه تأثیر (Co/C+Co) به عنوان شاخصی از چگونگی قدرت ساختار مکانی در متغیرها استفاده می شود. وقتی این نسبت کمتر از ۰/۲۵ باشد؛ متغیر مورد نظر دارای ساختار مکانی قوی است. بین ۰/۷۵ تا ۰/۲۵ ساختار مکانی متوسط بوده و هنگامی که بزرگ تر از ۰/۷۵ باشد؛ ساختار مکانی ضعیف است (شای جی^{۱۶}، ۲۰۰۷: ۱).

در زمین آمار، برای بررسی ساختار تغییرپذیری متغیر مورد مطالعه نسبت به فاصله (مکانی یا زمانی) لازم است تابع نیم تغییر نمای مناسب برقرار شود. نیم تغییر نما یا واریوگرام، واریانس وابسته به فاصله است که با نماد γ نشان داده می شود. اگر جمعاً تعداد $n(h)$ زوج نمونه، $Z(x)$ متغیر مشاهده شده و $Z(x+h)$ متغیر مشاهده شده که با فاصله h از $Z(x)$ واقع شده اند در دست باشد؛ نیم تغییر نمای تجربی $\gamma(h)$ مطابق رابطه ۱ قابل محاسبه است.

$$\gamma(h) = \frac{1}{2n(h)} \sum_{i=1}^{n(h)} [Z(x+h) - Z(x)]^2 \quad \text{رابطه (۱)}$$

روش زمین آماری کوکریجینگ

تخمین گر کوکریجینگ^{۱۷} (COK) همان کوریجینگ توسعه یافته است که در آن متغیرهای ثانویه نیز لحاظ شده اند. با بهره گیری از مقادیر متغیر ثانویه یا کمکی و با در اختیار داشتن اطلاعات مربوط به همبستگی دوجانبه بین متغیرها می توان تخمین مناسب و دقیق تری از متغیر اصلی به دست آورد. تخمین گر کوکریجینگ مطابق معادله زیر محاسبه می شود:

$$Z_v^*(u_0) = \sum_{i=1}^N [a_i Z_v(u_i) + \beta_i Z_w(u_i)] \quad \text{رابطه (۲)}$$

16- Shi j

17- COKriging

که در آن $Z_p^*(u_0)$: مقدار تخمین زده شده متغیر اصلی Z_p در موقعیت u_0 است. α_1 : وزن نسبت داده شده به مقدار مشاهده ای متغیر اصلی Z_p در موقعیت u_1 است. β_1 : وزن نسبت داده شده به مقدار مشاهده شده متغیر کمکی Z_w در موقعیت u_1 و N : تعداد مشاهدات در اطراف نقطه مورد تخمین می باشد.

در این پژوهش، برای تبدیل داده های نقطه ای به نقشه سطح و تولید نقشه تغییرات مکانی هر یک از پارامترهای کیفی آب های زیرزمینی منطقه مورد مطالعه از روش کوکریجینگ ساده با ۶ مدل مختلف به نام های دایره ای^{۱۸}، کره ای^{۱۹}، درجه پنج^{۲۰}، نمایی^{۲۱}، رشنال کوادریک^{۲۲} و جی بسل^{۲۳} جهت میان یابی استفاده گردید.

معیار ارزیابی و صحت سنجی روش ها

معیارهای متعددی برای ارزیابی کارایی روش های میان یابی وجود دارد؛ که در این پژوهش با کمک تکنیک اعتبارسنجی متقابل و بر اساس ریشه دوم میانگین مربعات خطا (RMSE)، مناسب ترین روش برای ترسیم پهنه های مورد نظر انتخاب گردید. نحوه محاسبه آن به صورت زیر است:

$$RMSE = \sqrt{\left[\sum_{i=1}^n (\widehat{Z}(x_i) - Z(x_i))^2 / n \right]} \quad \text{رابطه (۳)}$$

که در آن $\widehat{Z}(x_i)$: مقدار برآورد شده در نقطه x_i و $Z(x_i)$: مقدار اندازه گیری شده در نقطه x_i و n تعداد داده ها است. هر اندازه مقدار RMSE کوچک تر باشد؛ پیش بینی روش درون یابی از صحت بیشتری برخوردار است.

طبقه بندی کیفی آب از نظر شرب، کشاورزی و صنعتی

استانداردهای متفاوتی برای بررسی کیفیت آب از لحاظ مصارف شرب، کشاورزی و صنعتی وجود دارد. در این مطالعه برای طبقه بندی کیفیت هیدروشیمیایی آب برای مصرف شرب از نمودار شولر استفاده شد (جدول ۱).

-
- 18- Circular
 - 19- Spherical
 - 20- Pentaspherical
 - 21- Exponential
 - 22- Rational Quadratic
 - 23- J-Bessel

جدول ۱: طبقه‌بندی کیفیت آب از نظر مصارف شرب به روش دیاگرام شولر

طبقه‌بندی کیفی آب	TDS میلی گرم بر لیتر	TH میلی گرم بر لیتر	Na ⁺ میلی اکی والان بر لیتر	Cl ⁻ میلی اکی والان بر لیتر	SO ₄ ²⁻ میلی اکی والان بر لیتر	کلاس آب
خوب	> ۵۰۰	> ۲۵۰	> ۵	> ۴/۹۲	> ۳/۰۲	۱
قابل قبول	۵۰۰-۱۰۰۰	۲۵۰-۵۰۰	۵-۱۰	۴/۹۲-۹/۸۵	۳/۰۲-۵/۸۳	۲
متوسط	۱۰۰۰-۲۰۰۰	۵۰۰-۱۰۰۰	۱۰-۲۰	۹/۸۵-۱۹/۷۱	۵/۸۳-۱۲/۰۸	۳
نامناسب	۲۰۰۰-۴۰۰۰	۱۰۰۰-۲۰۰۰	۲۰-۴۰	۱۹/۷۱-۳۹/۴۳	۱۲/۰۸-۲۳/۹۵	۴
کاملاً نامطبوع	۴۰۰۰-۸۰۰۰	۲۰۰۰-۴۰۰۰	۴۰-۸۰	۳۹/۴۳-۷۸/۸۷	۲۳/۹۵-۴۶/۶۶	۵
غیر قابل شرب	> ۸۰۰۰	> ۴۰۰۰	> ۸۰	> ۷۸/۸۷	> ۴۶/۶۶	۶

مأخذ: سازمان بهداشت جهانی، ۱۹۷۰

به منظور طبقه‌بندی کیفیت آب از نظر کشاورزی از نمودار ویلکوکس استفاده شده است؛ که اساس آن میزان هدایت الکتریکی (EC) و نسبت جذبی سدیم (SAR) است. غلظت زیاد نمک در آب سبب شوری خاک و مقدار زیاد سدیم منجر به تولید خاک‌های قلیائی همراه با کمبود کلسیم خاک و در نهایت نفوذناپذیر شدن خاک و کاهش محصولات می‌شود. خطر سدیم و شوری دو معیار مهم در طبقه‌بندی آب‌ها برای مصارف کشاورزی اند (صداقت، ۱۳۸۲: ۳۰۰). طبقه‌بندی کیفیت آب از نظر مصارف کشاورزی و بر اساس نمودار ویلکوکس در جدول ۲ مشخص شده است.

جدول ۲: طبقه‌بندی کیفیت آب از نظر مصارف کشاورزی به روش دیاگرام ویلکوکس

طبقه‌بندی کیفی آب	میکرو زمینس بر سانتی متر	کلاس آب	طبقه‌بندی کیفی آب	SAR	کلاس آب
عالی	> ۲۵۰	C1	عالی	> ۱۰	S1
خوب	۲۵۰-۷۵۰	C2	خوب	۱۰-۱۸	S2
متوسط	۷۵۰-۲۲۵۰	C3	متوسط	۱۸-۲۶	S3
نامناسب	> ۲۲۵۰	C4	نامناسب	> ۲۶	S4

مأخذ: دپارتمان کشاورزی آمریکا، ۱۹۴۸

آب استفاده شده در صنعت بسته به نوع صنعت، باید استانداردهای خاصی داشته باشد. یکی از معیارهای طبقه‌بندی آب برای مصارف صنعت محاسبه ضریب اشباع‌شدگی لانژلیه (LSI) است؛ که از رابطه زیر محاسبه می‌شود (آقازاده، ۲۰۰۸: ۳۵).

$$\text{LSI} = \text{pH} - \text{pHs} \quad \text{رابطه (۴)}$$

در این رابطه pH مقدار اندازه‌گیری شده اسیدیته آب در محل و pHs میزان pH در حالت اشباع است که به عنوان شاخص اشباع) و از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$\text{pHs} = C + \text{Pca} + \text{palk} \quad \text{رابطه (۵)}$$

در این رابطه C تابع دما، Pca لگاریتم منفی غلظت یون‌های کلسیم و palk لگاریتم منفی آلکالینیتی آب است؛ بنابراین هرگاه ضریب لانژلیه منفی باشد؛ آب تمایل به پوسته گذاری دارد و رسوب می‌کند. مقدار صفر معرف آب متعادل

است و اگر مثبت باشد؛ آب تمایل به خوردگی دارد. جدول ۳ کلاس بندی کیفیت آب از نظر صنعتی به روش ضریب لانتزیه را نشان می دهد.

جدول ۳: طبقه بندی کیفیت آب از نظر مصارف صنعتی به روش ضریب لانتزیه

کلاس آب	ضریب لانتزیه (LSI)	طبقه بندی آب
۱	>۰ مقادیر منفی	رسوب گذار
۲	۰ صفر	متعادل
۳	<۰ مقادیر مثبت	خورنده

نتایج و بحث

جدول ۴، آماره های مؤلفه های شیمیایی دشت آباد طشک-جهان آباد را نمایش می دهد. مقادیر مربوط به چولگی و فاصله نزدیک بین مقادیر میانگین و میانه داده ها نشان می دهد که داده های مربوط به پارامترهای کیفی تقریباً از توزیع نرمال تبعیت می کنند.

جدول ۴: آماره های مؤلفه های شیمیایی مورد مطالعه در دشت آباد طشک-جهان آباد

SAR	TH	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	Na ⁺	PH	T.D.S	EC	پارامتر آماری
۷/۶۱	۱۴۸۱/۹	۱۱/۱۴	۴۷/۵۱	۳۱/۹۸	۷/۵۸	۳۷۳۴/۶۹	۵۵۵۰/۱۷	میانگین حسابی
۹/۴۳	۱۳۱۶/۶	۱۳/۶۶	۵۲/۱۶	۴۱/۱۳	۰/۴۱	۳۵۷۰/۲	۵۱۱۳/۹۳	انحراف معیار
۱۲۳/۹۲	۸۸/۸۵	۱۲۲/۶۲	۱۰۹/۷۹	۱۲۸/۶۱	۵/۴۱	۹۵/۶	۹۲/۱۴	ضریب تغییرات (درصد)
۳۷/۷۸	۵۰۰۰	۵۳/۱۵	۱۷۵	۱۷۷	۸/۷	۱۳۲۲۴	۱۸۰۶۶	حداکثر
۰/۰۶	۱۷۵	۰/۲۹	۰/۴۵	۰/۱۱	۶/۷۵	۳۱۲	۴۶۱	حداقل
۳۷/۷۲	۴۸۲۵	۵۲/۸۶	۱۷۴/۵۵	۱۷۶/۸۹	۱/۹۵	۱۲۹۱۲	۱۷۶۰۵	دامنه تغییرات
۲/۳۳	۰/۹۴	۲/۰۸	۱/۰۸	۲/۰۴	۰/۲۱	۱/۰۸	۰/۸۹	چولگی
۵/۴۸	۰/۳۹۷	۴/۴۹	۰/۱۷۲	۴/۶۷	۰/۸۹۷	۰/۵۰۲	۰/۰۶۲	کشیدگی
۸۸/۸۶	۱۷۳۳۵۶۷	۱۸۶/۵۱	۲۷۲۰/۳	۱۶۹۱/۵	۰/۱۷	۱۲۷۴۶۳۳۱	۲۶۱۵۲۳۲۸	واریانس
۵/۳۹	۱۱۲۵	۷/۶۹	۴۰	۲۰/۲۳	۷/۶۲	۳۴۱۰	۵۰۹۳	میانه

مأخذ: نگارندگان

نتایج حاصل از نرمال بودن داده ها با استفاده از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف در جدول ۵ نشان داده شده است. با توجه به مقادیر سطح معنی داری داده ها (sig)، می توان از نرمال بودن داده ها اطمینان حاصل نمود. بیشترین مقدار سطح معنی داری (sig) مربوط به پارامتر PH و کمترین مقدار sig مربوط به متغیر شیمیایی SAR به ترتیب با مقادیر ۰/۹۱ و ۰/۱۰ است.

جدول ۵: مقادیر سطح معنی‌داری (sig) حاصل از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف برای بررسی نرمال بودن داده‌ها

ردیف	متغیر کیفی	مقدار sig	ردیف	متغیر کیفی	مقدار sig
۱	TH	۰/۲۷۸	۵	SO ₄ ²⁻	۰/۱۴۲
۲	SAR	۰/۱۰	۶	Cl ⁻	۰/۲۸۳
۳	Na ⁺	۰/۱۱۲	۷	EC	۰/۴۴۹
۴	PH	۰/۹۱۴	۸	T.D.S	۰/۳۸۰

مأخذ: نگارندگان

در روش زمین‌آماري کورجینگ، پس از تشکیل ماتریس همبستگی، برای برآورد پارامترهای کیفی از متغیری به‌عنوان متغیر کمکی یا ثانویه استفاده شد که دارای بیشترین ضریب همبستگی با پارامتر موردنظر است (جدول ۶). مطابق نتایج، پارامترهای کیفی در سطح اطمینان ۹۹ درصد دارای رابطه معنی‌دار باهم می‌باشند؛ بنابراین برای برآورد غلظت هدایت الکتریکی از پارامتر T.D.S (R=۰/۹۹۸)، برای تخمین مواد جامد محلول در آب از فرا سنج کیفی EC (R=۰/۹۹۸)، برای برآورد غلظت اسیدیته از متغیر TH (R=-۰/۷۰۵)، برای تخمین متغیر سدیم از مؤلفه SAR (R=۰/۹۲۸)، برای برآورد پارامتر شیمیایی کلر از متغیر T.D.S (R=۰/۹۸۵)، برای تخمین غلظت سولفات از پارامتر Na⁺ (R=۰/۷۹۳)، برای برآورد سختی کل آب از پارامتر Cl⁻ (R=۰/۸۴۳) و برای تخمین غلظت نسبت جذبی سدیم از متغیر Na⁺ (R=۰/۹۲۸) استفاده شد.

جدول ۶: نتایج حاصل از ضرایب همبستگی پیرسون بین پارامترهای کیفی مورد مطالعه در دشت آبه طشک-جهان آباد

پارامتر کیفی آب	EC	T.D.S	PH	Na ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	TH	SAR
EC	۱							
T.D.S	۰/۹۹۸**	۱						
PH	-۰/۵۳۸**	-۰/۵۳۳**	۱					
Na ⁺	۰/۹۱۲**	۰/۹۲۵**	-۰/۳۱۰	۱				
Cl ⁻	۰/۹۷۹**	۰/۹۸۵**	-۰/۵۲۱**	-۰/۸۸۹**	۱			
SO ₄ ²⁻	۰/۷۴۷**	۰/۷۴۴**	-۰/۳۸۸*	۰/۷۹۳**	۰/۶۱۹**	۱		
TH	۰/۸۳۹**	۰/۸۲۵**	-۰/۷۰۵**	-۰/۵۵۰**	۰/۸۴۳**	-۰/۴۶۶*	۱	
SAR	۰/۷۶۲**	۰/۷۶۸**	-۰/۰۲۸	-۰/۹۲۸**	۰/۷۲۱**	۰/۷۱۹**	۰/۳۱۳	۱

* همبستگی در سطح ۰/۰۵ معنی‌دار است. ** همبستگی در سطح ۰/۰۱ معنی‌دار است.

مأخذ: نگارندگان

در این مطالعه، به‌منظور تشریح پیوستگی مکانی داده‌ها و انتخاب مدل مناسب برای برازش بر روی نیم تغییر نمای تجربی از روش تعیین اعتبار با معیار آماری ریشه دوم میانگین مربعات خطا (RMSE) کمتر و استحکام ساختار فضایی قوی‌تر استفاده شد (جدول ۷). بنابراین از مجموع ۴۸ مدل واریوگرام تخمینی (شامل ۸ پارامتر شیمیایی و ۶ مدل تخمینی)، ۲۲ مورد از کلاس وابستگی مکانی قوی، ۱۹ مورد همبستگی مکانی متوسط و ۷ مورد از همبستگی مکانی ضعیف برخوردار هستند. نتایج مربوط به مقدار RMSE نشان داد که برای پارامترهای TDS، TH، Cl⁻ و PH مدل رشنال کوادریک به ترتیب با مقادیر خطای ۳۳۷/۴، ۴۲۵/۷، ۲۱/۱ و ۰/۴۴ و برای متغیرهای Na⁺، SO₄²⁻، EC و SAR

مدل نمایی به ترتیب با مقدار خطای ۴۵/۳، ۱۲/۸، ۳۸۰/۷ و ۴/۷ از بیشترین دقت و کمترین خطا نسبت به سایر مدل‌ها برخوردار می‌باشند.

جدول ۷: نتایج حاصل از برآزش مؤلفه‌های نیم تغییر نمای مدل‌های تخمینی و ارزیابی مدل‌ها با استفاده از معیار آماری RMSe

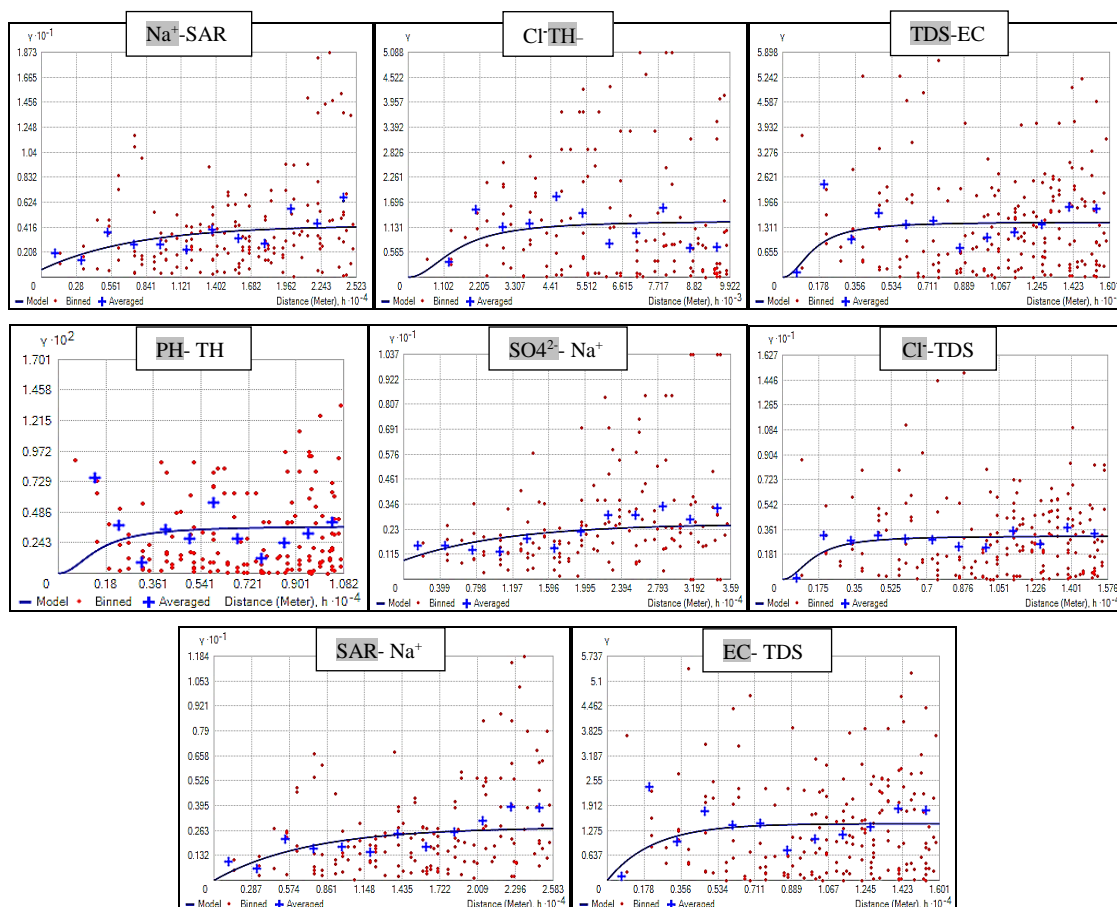
پارامترهای کیفی آب زیرزمینی	مدل‌های وار یوگرام تخمینی	اثر قطعه‌ای Co	آستانه تأثیر C+Co	شعاع تأثیر	درصد اثر قطعه‌ای/آستانه Co/ C+Co	کلاس وابستگی مکانی	RMSe
TDS	دایره‌ای	۱/۱۶۴	-/۵۰۹	۱۶۰۰۸	۲۲۸/۶	ضعیف	۳۱۰۳/۶۸
	کره‌ای	۰/۵۱۳	۱/۰۵۰	۶۵۹۷	۴۸	متوسط	۱۲۳۴/۶۰
	درجه ۵	۰	۱/۴۴۱	۶۵۹۷	۰	قوی	۴۲۲/۶۸
	نمایی	۰	۱/۴۵۵	۶۵۹۷	۰	قوی	۴۳۱/۰۴
	رشنال کوادریک	۰/۰۰۱۴	۱/۴۵۱	۶۵۹۷	۰/۰۰۹	قوی	۳۳۷/۴۳
	جی بسل	۰/۱۲۲	۱/۲۲۷	۷۲۶۹	۹/۹	قوی	۷۱۴/۵۱
TH	دایره‌ای	۰/۵۳۱	-/۸۸۰	۶۵۹۷	۶۰/۳	متوسط	۸۳۳/۴۹
	کره‌ای	۰/۴۶۲	۰/۹۴۰	۶۵۹۷	۴۹/۱	متوسط	۷۶۲/۹۰
	درجه ۵	۰/۳۳۵	۱/۰۵۱	۶۵۹۷	۳۱/۸	متوسط	۶۷۶/۹۷
	نمایی	۰	۱/۳۰۲	۶۵۹۷	۰	قوی	۴۴۳/۷۲
	رشنال کوادریک	۰/۰۰۱۲	۱/۲۷۷	۶۵۹۷	۰/۰۰۹	قوی	۴۲۵/۷۳
	جی بسل	۰/۳۰۸	۱/۰۸۰	۷۱۲۲	۲۸/۵	متوسط	۹۴۱/۸۴
Na ⁺	دایره‌ای	۱/۵۶۶	۳/۰۶۳	۲۵۲۲۸	۵۱/۱	متوسط	۶۴/۴۸
	کره‌ای	۱/۴۷۳	۲/۹۴۷	۲۵۲۲۸	۴۹/۹	متوسط	۶۱/۸۳
	درجه ۵	۱/۳۲۱	۲/۸۷۴	۲۵۲۲۸	۴۵/۹	متوسط	۵۶/۶۱
	نمایی	۰/۶۳۶	۳/۶۷۶	۲۲۴۸۲	۱۷/۳	قوی	۴۵/۳۱
	رشنال کوادریک	۱/۲۱۵	۳/۰۰۰۶	۲۵۲۲۸	۴۰/۴	متوسط	۶۱/۶۲
	جی بسل	۰	۳/۶۷۸	۷۷۲۰	۰	قوی	۶۳/۴۱
Cl ⁻	دایره‌ای	۱/۰۰۷	۲/۳۳۶	۶۵۹۷	۴۳/۱	متوسط	۲۹/۳۴
	کره‌ای	۰/۷۷۴	۲/۵۴۱	۶۵۹۷	۳۰/۴	متوسط	۲۵/۹۶
	درجه ۵	۰	۳/۱۲۰	۶۵۹۷	۰	قوی	۲۱/۸۷
	نمایی	۰	۳/۱۵۵	۶۵۹۷	۰	قوی	۲۱/۸۶
	رشنال کوادریک	۰/۰۰۳۱	۳/۱۴۷	۶۵۹۷	۰/۰۰۹	قوی	۲۱/۱۷
	جی بسل	۰/۱۰۹	۲/۸۴۷	۷۲۰۷	۳/۸	قوی	۲۸/۹۹
SO ₄ ²⁻	دایره‌ای	۱/۰۰۶	۱/۶۳۳	۲۸۴۸۳	۶۱/۶	متوسط	۱۴/۱۰
	کره‌ای	۱/۰۰۱	۱/۶۲۲	۳۱۷۷۴	۶۱/۷	متوسط	۱۳/۹۹
	درجه ۵	۰/۹۹۷	۱/۵۶۸	۳۵۹۰۴	۶۳/۵	متوسط	۱۳/۷۳
	نمایی	۰/۸۷۳	۱/۶۸۷	۳۳۶۶۸	۵۱/۷	متوسط	۱۲/۸۹
	رشنال کوادریک	۱/۱۴۰	۱/۳۲۹	۳۵۹۰۴	۸۵/۷	ضعیف	۱۴/۳۶
	جی بسل	۱/۱۸۳	۱/۷۵۳	۳۴۱۰۴	۶۷/۴	متوسط	۱۵/۱۷
PH	دایره‌ای	۰/۰۰۰۰۳۲	-/۰۰۰۰۰۳۹	۹۶۳۲	۸۲/۰۵	ضعیف	۰/۵۲۶
	کره‌ای	۰/۰۰۰۰۳۳	-/۰۰۰۰۰۳۳	۱۰۰۰۸۹	۱۰۰	ضعیف	۰/۵۲۰
	درجه ۵	۰/۰۰۰۰۳۴	۰/۰۰۰۰۰۲۸	۱۰۰۸۱۶	۱۲۱/۴	ضعیف	۰/۵۱۴
	نمایی	۰	۰/۰۰۰۳۴	۶۵۹۷	۰	قوی	۰/۴۴۳
	رشنال کوادریک	۰/۰۰۰۰۰۳۷	۰/۰۰۰۳۷	۶۵۹۷	۰/۱	قوی	۰/۴۴۲
	جی بسل	۰/۰۰۰۰۰۷۸	۰/۰۰۰۰۰۱۲	۱۰۰۸۱۶	۶۵۰	ضعیف	۰/۵۸۸
EC	دایره‌ای	۱/۱۷۱	-/۵۰۱	۱۶۰۰۸	۲۳۳/۷	ضعیف	۴۴۱۹/۸۹
	کره‌ای	۰/۴۷۶	۱/۰۸۳	۶۵۹۷	۴۳/۹	متوسط	۱۵۲۸/۹۶

۴۱۷/۷۴	قوی	۰	۶۵۹۷	۱/۴۳۵	۰	درجه ۵		
۳۸۰/۷۲	قوی	۰	۶۵۹۷	۱/۴۵۱	۰	نمایی		
۴۲۲/۰۱	قوی	۰/۰۹	۶۵۹۷	۱/۴۴۶	۰/۰۰۱۴	رشتهال کوادریک		
۱۳۰۵/۴	قوی	۶/۰۷	۷۲۶۹	۱/۲۶۷	۰/۰۷۷	جی بسل		
۸/۷۲	متوسط	۲۷/۴	۲۵۱۴۹	۲/۴۵۵	۰/۶۷۵	دایره‌ای		SAR
۸/۳۰	قوی	۲۴/۹	۲۵۱۲۹	۲/۴۰۵	۰/۶۰۱	کره‌ای		
۷/۴۰	قوی	۲۰/۴	۲۵۱۲۹	۲/۳۳۷	۰/۴۷۸	درجه ۵		
۴/۷۰	قوی	۰	۳۱۳۱۸	۲/۸۰۷	۰	نمایی		
۵/۶۹	قوی	۱۰/۸	۱۹۰۶۰	۲/۳۳۵	۰/۲۵۴	رشتهال کوادریک		
۱۰/۴۶	متوسط	۵۵/۳	۲۵۱۲۹	۱/۷۱۴	۰/۹۴۸	جی بسل		

مأخذ: نگارندگان

شکل ۲، واریوگرام‌های متقابل پارامترهای کیفی منابع آب زیرزمینی دشت آباد طشک-جهان آباد را نشان می‌دهد.

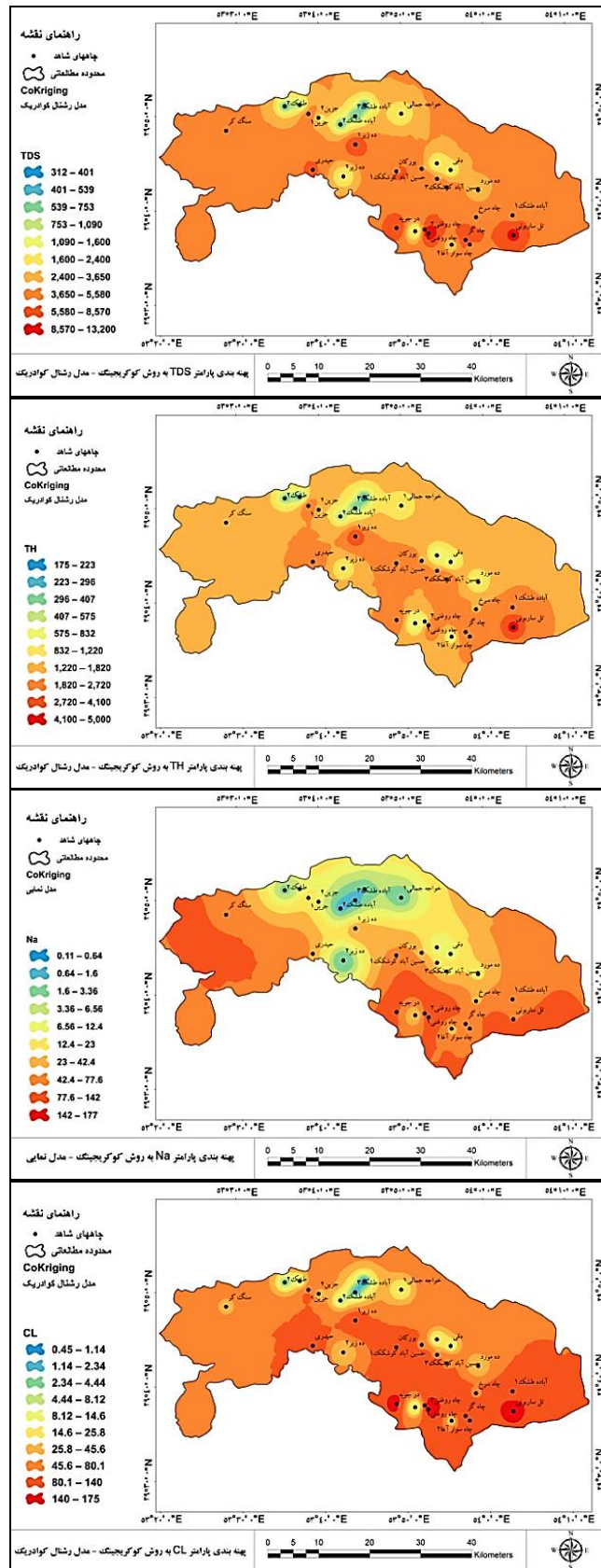
هر واریوگرام ساختار فضایی داده‌ها را نمایش می‌دهد.

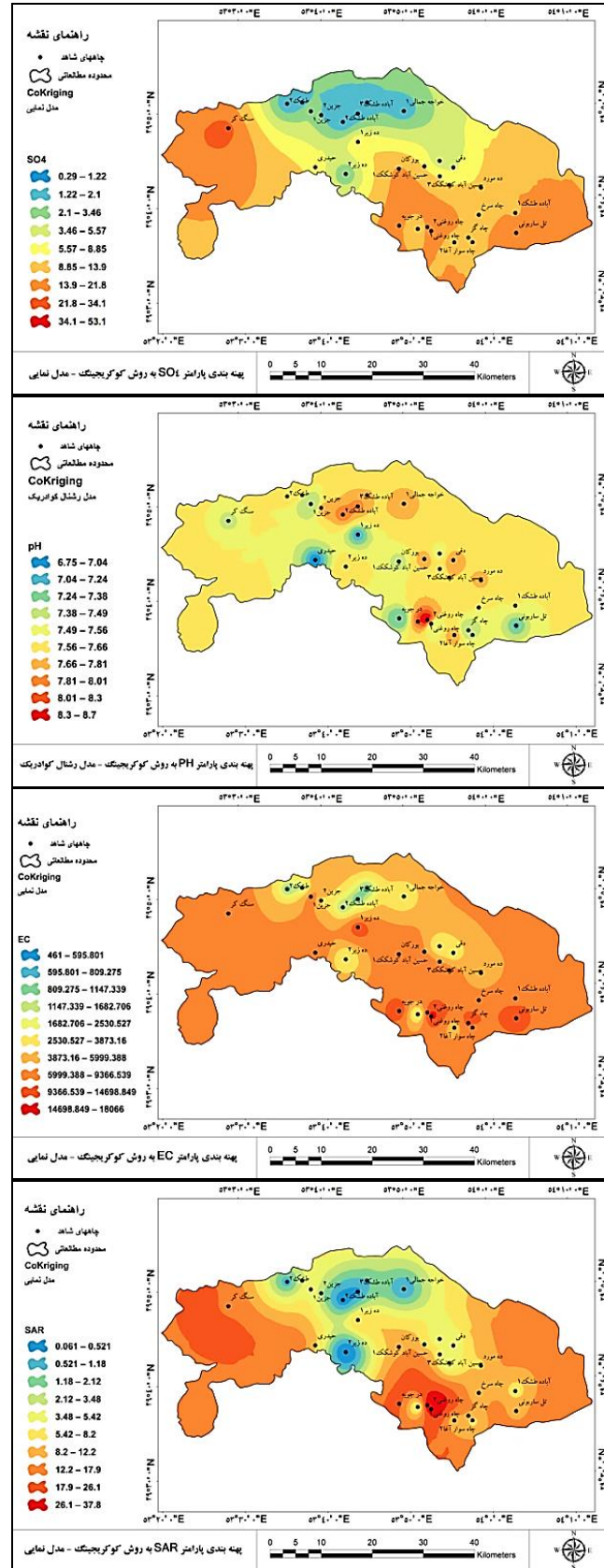


مأخذ: نگارندگان

شکل ۲: واریوگرام‌های متقابل مربوط به پارامترهای کیفی منابع آب زیرزمینی دشت آباد طشک-جهان آباد

شکل ۳، نقشه‌های توزیع مکانی پارامترهای کیفی آب زیرزمینی محدوده مورد مطالعه بر اساس مدل بهینه را نشان می‌دهند. همان‌طور که مشاهده می‌شود؛ پارامترهای TDS، TH، Cl⁻ و PH با مدل واریوگرام رشنال کوادریک و متغیرهای Na⁺، SO₄²⁻، EC و SAR با مدل نمایی پهنه‌بندی شده‌اند. کمترین مقدار فراسنج کیفی TDS در شمال آبخوان به‌ویژه محدوده چاه‌های خواجه جمالی ۲، آباد طشک ۲، آباد طشک ۳ و طشک ۲ و بیشترین غلظت آن در جنوب و در محدوده چاه روغنی ۲ و تل ساربونی مشاهده می‌شود. کمترین مقدار TH مربوط به چاه خواجه جمالی ۲ واقع در شمال دشت و به مقدار ۱۷۵ میلی‌گرم در لیتر و بیشترین غلظت این پارامتر به مقدار ۵۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر در محدوده تل ساربونی اندازه‌گیری شده است. از نظر غلظت Na⁺، محدوده پیرامونی چاه‌های خواجه جمالی ۱ و ۲، آباد طشک ۲ و ۳، طشک ۲ و ده زیر ۲ با مقدار ۰/۱۱ تا ۱/۶ میلی‌اکی‌والان بر لیتر، کمترین و محدوده چاه‌های درجویه و چاه روغنی ۱ و ۲ با میزان ۱۰۳/۴ تا ۱۷۷ میلی‌اکی‌والان بر لیتر، بیشترین غلظت سدیم موجود در آب زیرزمینی دشت را به خود اختصاص داده‌اند. کمترین و بیشترین مقدار پارامتر شیمیایی Cl⁻ به ترتیب مربوط به خواجه جمالی ۲ واقع در شمال دشت (۰/۴۵ میلی‌اکی‌والان بر لیتر) و چاه روغنی ۲ واقع در جنوب (۱۷۵ میلی‌اکی‌والان بر لیتر) دیده می‌شود. پهنه‌بندی پارامتر SO₄²⁻ نشان می‌دهد که چاه‌های واقع در شمال آبخوان دارای کمترین غلظت سولفات و محدوده پیرامونی بعضی از چاه‌های واقع در جنوب (چاه روغنی ۲، درجویه و بورکان) و غرب دشت (سنگ کر) دارای بیشترین غلظت سولفات می‌باشند. مقادیر PH در دشت آباد طشک-جهان آباد از مقدار ۶/۷۵ تا ۸/۷ میلی‌اکی‌والان بر لیتر متغیر است که کمترین میزان اسیدیته در محدوده چاه حیدری و بیشترین مقدار آن در محدوده چاه روغنی ۱ مشاهده می‌شود. تحلیل مکانی پارامتر EC بیانگر آن است که چاه‌های خواجه جمالی ۲، آباد طشک ۲ و ۳ و طشک ۲ با مقدار ۴۶۱-۵۹۵/۸ میکروزیمنس بر سانتی‌متر از حداقل و محدوده پیرامونی چاه‌هایی مانند ده زیر ۱، درجویه، چاه روغنی ۱ و ۲ و تل ساربونی با مقادیر ۱۸۰۶۶-۹۳۶۶/۵ میکروزیمنس بر سانتی‌متر از حداکثر میزان هدایت الکتریکی برخوردار هستند. از لحاظ فراسنج کیفی SAR نیز باید گفت که چاه‌های واقع در شمال دشت به‌اضافه محدوده ده زیر ۲ واقع در جنوب از ۰/۰۶ تا ۱/۱۸ دارای حداقل نسبت جذبی سدیم و چاه‌هایی مانند چاه روغنی ۱ و ۲ با مقدار ۲۶/۱ تا ۳۷/۷ دارای حداکثر غلظت SAR می‌باشند. در مجموع نقشه‌ها نشان می‌دهند که مقادیر پارامترهای کیفی TDS، TH، Na⁺، Cl⁻، EC، SO₄²⁻ و SAR و به‌طور کلی آب‌های زیرزمینی در نیمه جنوبی دشت نسبت به نیمه شمالی از ویژگی‌های کیفی نامطلوب‌تری برخوردارند؛ که از دلایل اصلی آن وجود آهک‌های کرتاسه (سازند بنگستان) و به‌ویژه گنبد‌های نمکی در نواحی جنوبی‌تر و در محدوده دریاچه خشک بختگان می‌باشد؛ که علاوه بر ایجاد فرایندها و لندفرم‌های هیدروژئومورفیک منطقه، در کیفیت آب‌های سطحی و زیرزمینی نیز نقش داشته‌اند. همچنین می‌توان به عوامل دیگری چون زیاده‌تر بودن دما و در نتیجه بیشتر بودن میزان تبخیر و تعرق، کاهش بارندگی و تشدید خشک‌سالی‌ها طی سال‌های اخیر، برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی و نوع و تراکم کاربری اراضی اشاره کرد که باعث کاهش کیفیت آب در این منطقه نسبت به نواحی شمالی دشت شده است.



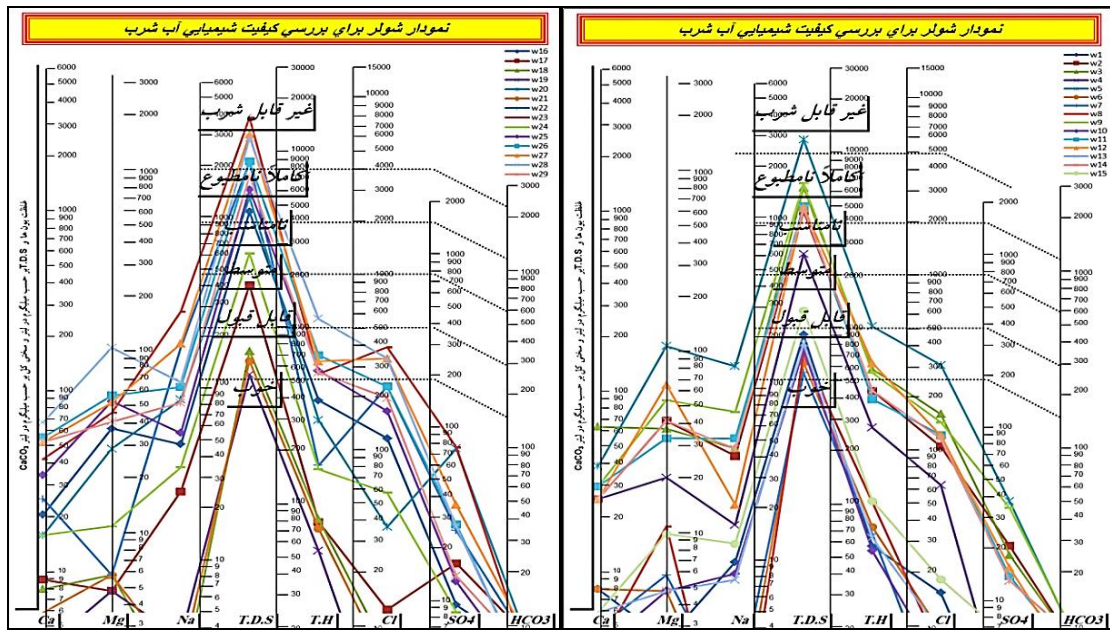


مأخذ: نگارندگان

شکل ۳: نقشه‌های توزیع مکانی پارامترهای کیفی منابع آب زیرزمینی دشت آباده طشک-جهان آباد

تعیین کیفیت آب برای مصارف شرب

شکل ۴، نمودار نیمه لگاریتمی شولر برای بررسی کیفیت شیمیایی منابع آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. در جدول ۸، طبقه‌بندی کیفیت آب و کلاس هر یک از چاه‌های واقع در دشت آبداه طشک-جهان آباد برای مصارف شرب و بر اساس نمودار شولر مشخص شده است.



مأخذ: نگارندگان

شکل ۴: نمودار شولر برای تعیین کیفیت شیمیایی آب شرب دشت آبداه طشک-جهان آباد

جدول ۸: طبقه‌بندی کیفیت شیمیایی چاه‌های واقع در آبخوان دشت آبداه طشک-جهان آباد برای مصارف شرب مأخذ: نگارندگان

علامت اختصاری	نام محل نمونه برداری	طبقه‌بندی کیفیت آب	کلاس آب	علامت اختصاری	نام محل نمونه برداری	طبقه‌بندی کیفیت آب	کلاس آب
W1	طشک ۱	خوب	۱	W16	چاه سرخ	نامناسب	۴
W2	آبداه طشک ۱	نامناسب	۴	W17	ده مورد	قابل قبول	۲
W3	جزین ۱	نامناسب	۴	W18	خواجه جمالی ۱	خوب	۱
W4	جزین ۲	متوسط	۳	W19	خواجه جمالی ۲	خوب	۱
W5	ده زیر ۱	کاملاً نامطبوع	۵	W20	سنگ کر	نامناسب	۴
W6	آبداه طشک ۲	خوب	۱	W21	طشک ۲	خوب	۱
W7	آبداه طشک ۳	خوب	۱	W22	چاه روغنی ۱	کاملاً نامطبوع	۵
W8	ده زیر ۲	خوب	۱	W23	چاه روغنی ۲	غیر قابل شرب	۶
W9	بورکان	نامناسب	۴	W24	چاه سوار آغا ۱	متوسط	۳
W10	سنگ سفید جهان آباد	خوب	۱	W25	چاه سوار آغا ۲	نامناسب	۴
W11	حسین آباد کوشک ۱	نامناسب	۴	W26	چاه گز	کاملاً نامطبوع	۵
W12	حسین آباد کوشک ۲	نامناسب	۴	W27	درجویه	کاملاً نامطبوع	۵
W13	حسن آباد کوشک	خوب	۱	W28	تل ساربونی	کاملاً نامطبوع	۵
W14	حسین آباد کوشک ۳	نامناسب	۴	W29	حیدری	نامناسب	۴
W15	دقی	قابل قبول	۲				

جدول ۹ نشان می‌دهد؛ که از لحاظ کیفیت آب برای شرب ۳۴ درصد از چاه‌های واقع در منطقه مورد مطالعه در گروه نامناسب و ۳۱ درصد در گروه خوب قرار دارند. همچنین ۱۷ درصد از چاه‌ها در طبقه کاملاً نامطبوع و ۳ درصد در طبقه غیرقابل شرب قرار دارند. به‌طور کلی می‌توان گفت که تعداد ۱۱ حلقه چاه (۳۸ درصد) از چاه‌های دشت در گروه خوب و قابل قبول از نظر شرب قرار داشته و مانعی از نظر شرب ندارند.

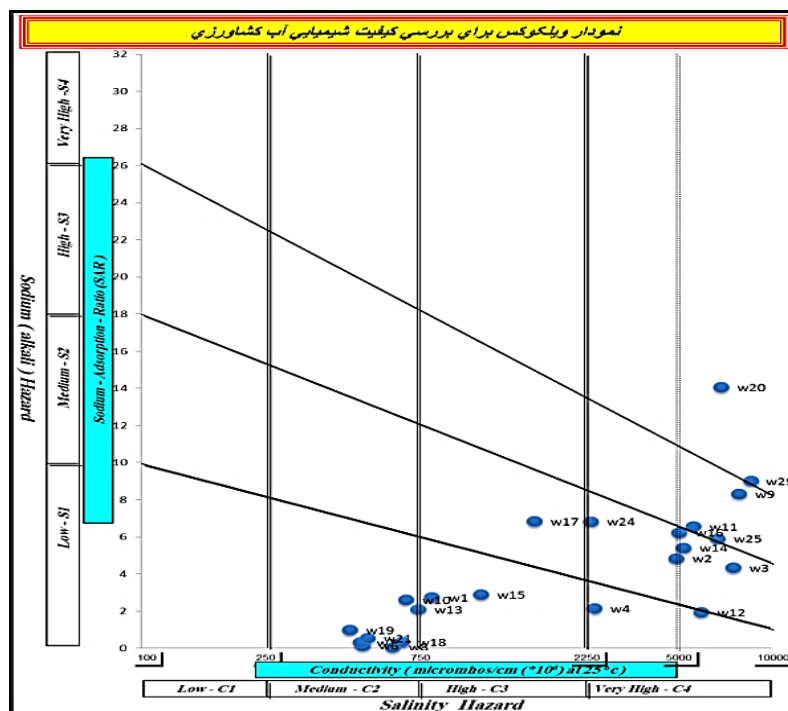
جدول ۹: تعداد، درصد و شماره چاه‌های نمونه‌برداری شده بر اساس معیار طبقه‌بندی کیفیت آب از نظر مصارف شرب

شماره چاه‌های نمونه‌برداری شده	درصد چاه	تعداد چاه	کلاس آب	طبقه‌بندی آب
W21-W19-W18-W13-W10-W8-W7-W6-W1	۳۱	۹	۱	خوب
W17-W15	۶/۹	۲	۲	قابل قبول
W24-W4	۶/۹	۲	۳	متوسط
W29-W25-W20-W16-W14-W12-W11-W9-W3-W2	۳۴/۵	۱۰	۴	نامناسب
W28-W27-W26-W22-W5	۱۷/۲	۵	۵	کاملاً نامطبوع
W23	۳/۴	۱	۶	غیرقابل شرب

مأخذ: نگارندگان

تعیین کیفیت آب برای مصارف کشاورزی

بر اساس نمودار ویلکوکس، کیفیت آب‌های زیرزمینی محدوده مورد مطالعه از نظر مصارف کشاورزی مورد بررسی قرار گرفت (شکل ۵). در جدول ۱۰، کیفیت شیمیایی و رتبه هر یک از چاه‌های واقع در آبخوان دشت آباده طشک-جهان آباد برای مصارف کشاورزی و بر اساس نمودار ویلکوکس مشخص شده است.



مأخذ: نگارندگان

شکل ۵: نمودار ویلکوکس برای تعیین کیفیت شیمیایی آب کشاورزی دشت آباده طشک-جهان آباد

جدول ۱۰: طبقه‌بندی کیفیت شیمیایی چاه‌های واقع در آبخوان دشت آباد طشک-جهان آباد برای مصارف کشاورزی

علامت اختصاری	نام محل نمونه‌برداری	کلاس آب	کیفیت آب برای کشاورزی	رتبه	علامت اختصاری	نام محل نمونه‌برداری	کلاس آب	کیفیت آب برای کشاورزی	رتبه
W1	طشک ۱	C3-S1	شور	۳	W16	چاه سرخ	C4-S2	خیلی شور	۴
W2	آباد طشک ۱	C4-S2	خیلی شور	۴	W17	ده مورد	C3-S2	شور	۳
W3	جزین ۱	C4-S2	خیلی شور	۴	W18	خواجه جمالی ۱	C2-S1	کمی شور	۲
W4	جزین ۲	C4-S1	خیلی شور	۴	W19	خواجه جمالی ۲	C2-S1	کمی شور	۲
W5	ده زیر ۱	C4-S4	خیلی شور	۴	W20	سنگ کر	C4-S4	خیلی شور	۴
W6	آباد طشک ۲	C2-S1	کمی شور	۲	W21	طشک ۲	C2-S1	کمی شور	۲
W7	آباد طشک ۳	C2-S1	کمی شور	۲	W22	چاه روغنی ۱	C4-S4	خیلی شور	۴
W8	ده زیر ۲	C2-S1	کمی شور	۲	W23	چاه روغنی ۲	C4-S4	خیلی شور	۴
W9	بورکان	C4-S3	خیلی شور	۴	W24	چاه سوار آغا ۱	C4-S2	خیلی شور	۴
W10	سنگ سفید جهان آباد	C2-S1	کمی شور	۲	W25	چاه سوار آغا ۲	C4-S3	خیلی شور	۴
W11	حسین آباد کوشک ۱	C4-S3	خیلی شور	۴	W26	چاه گز	C4-S4	خیلی شور	۴
W12	حسین آباد کوشک ۲	C4-S1	خیلی شور	۴	W27	درجویه	C4-S4	خیلی شور	۴
W13	حسن آباد کوشک	C3-S1	شور	۳	W28	تل ساربونی	C4-S4	خیلی شور	۴
W14	حسین آباد کوشک ۳	C4-S2	خیلی شور	۴	W29	حیدری	C4-S4	خیلی شور	۴
W15	دقی	C3-S1	شور	۳	***	***	***	***	***

مأخذ: نگارندگان

مطابق جدول ۱۱ هیچ‌یک از چاه‌های واقع در دشت آباد طشک-جهان آباد در کلاس کیفی عالی قرار نمی‌گیرند. ۲۴ درصد از چاه‌های دشت در طبقه خوب و مناسب برای کشاورزی و ۱۴ درصد در گروه متوسط و قابل‌استفاده برای کشاورزی (کشت محصولات مقاوم به شوری) قرار دارند. این در حالی است که غالب چاه‌های منطقه یعنی ۶۲ درصد در طبقه نامناسب برای کشاورزی قرار می‌گیرند.

جدول ۱۱: تعداد، درصد و شماره چاه‌های نمونه‌برداری شده بر اساس معیار طبقه‌بندی کیفیت آب از نظر مصارف کشاورزی

طبقه‌بندی آب	عالی (شیرین)				خوب (کمی شور)				متوسط (شور)				نامناسب (خیلی شور)			
	کاملاً مناسب برای کشاورزی				مناسب برای کشاورزی				قابل‌استفاده برای کشاورزی				نامناسب برای کشاورزی			
کلاس آب	C1				C2				C3				C4			
	S4	S3	S2	S1	S4	S3	S2	S1	S4	S3	S2	S1	S4	S3	S2	S1
تعداد چاه‌ها	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۷	۰	۰	۰	۳	۰	۰	۱	۳
درصد چاه‌ها	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۲۴/۱	۰	۰	۰	۱۰/۳	۰	۰	۳/۵	۱۰/۳
شماره چاه‌ها	***				W21-W19-W18 W10-W8-W7- W6				W17-W15-W13-W1				W12-W11-W9-W5-W4-W3-W23-W22-W20-W16-W14-W28-W27-W26-W25-W24-W29- W2			

مأخذ: نگارندگان

تعیین کیفیت آب برای مصارف صنعتی

ضریب اشباع‌شدگی لانژلیه (LSI) یعنی PHs-PH به‌عنوان معیار طبقه‌بندی کیفیت آب برای مصارف صنعتی به کار می‌رود. مقادیر منفی ضریب لانژلیه نشان‌دهنده تمایل آب به رسوب‌گذاری و مقادیر مثبت، نشان‌دهنده تمایل آب برای خوردگی است (جدول ۱۲).

جدول ۱۲: طبقه‌بندی کیفیت شیمیایی چاه‌های واقع در آبخوان دشت آباد طشک-جهان آباد برای مصارف صنعتی

علامت اختصاری	نام محل نمونه‌برداری	قلیائیت برحسب CaO	Ca (mg/l)	ضریب C	مقدار PHs	مقدار PH	LSI PHs-PH	کیفیت آب صنعتی	کلاس آب
W1	طشک ۱	۹۶/۴۸	۷۰	۱۱/۳	۷/۵	۷/۶۲	-۰/۱۲	رسوب‌گذار	۱
W2	آباد طشک ۱	۴۷۵/۸۲	۲۵۰	۱۱/۳۴	۶/۳	۷/۵۶	-۱/۲۶	رسوب‌گذار	۱
W3	جزین ۱	۵۴۰/۳۴	۷۰۰	۱۱/۳۵	۵/۸	۶/۹۰	-۱/۱	رسوب‌گذار	۱
W4	جزین ۲	۱۷۰/۶	۲۵۰	۱۱/۳۲	۶/۷	۷/۷۴	-۱/۰۴	رسوب‌گذار	۱
W5	ده زیر ۱	۱۸۳۷/۰۵	۴۰۰	۱۱/۳۶	۵/۵	۷/۰۳	-۱/۵۳	رسوب‌گذار	۱
W6	آباد طشک ۲	۶/۶۹	۷۰	۱۱/۲۹	۸/۶	۸/۰۳	۰/۵۷	خورنده	۳
W7	آباد طشک ۳	۱۱/۷۵	۴۰	۱۱/۲۸	۸/۶	۷/۹۳	۰/۶۷	خورنده	۳
W8	ده زیر ۲	۴/۰۹	۳۰	۱۱/۲۹	۹/۲	۷/۸۷	۱/۳۳	خورنده	۳
W9	بورکان	۹۲۲/۴۲	۳۰۰	۱۱/۳۵	۵/۹	۷/۳۶	-۱/۴۶	رسوب‌گذار	۱
W10	سنگ سفید جهان‌آباد	۸۰/۵۲	۳۰	۱۱/۲۹	۷/۹	۸/۱۰	-۰/۲	رسوب‌گذار	۱
W11	حسین‌آباد کوشک ۱	۶۱۷/۸۹	۳۰۰	۱۱/۳۴	۶/۱	۷/۷۹	-۱/۶۹	رسوب‌گذار	۱
W12	حسین‌آباد کوشک ۲	۲۳۳/۳۱	۲۵۰	۱۱/۳۴	۶/۶	۷/۶۶	-۱/۰۶	رسوب‌گذار	۱
W13	حسن‌آباد کوشک	۷۳/۷۸	۵۰	۱۱/۲۹	۷/۷	۷/۴۳	۰/۲۷	خورنده	۳
W14	حسین‌آباد کوشک ۳	۵۲۰/۹	۲۵۰	۱۱/۳۴	۶/۲	۷/۶۰	-۱/۴	رسوب‌گذار	۱
W15	دقی	۱۲۷/۱۶	۵۰	۱۱/۳	۷/۵	۷/۸۳	-۰/۳۳	رسوب‌گذار	۱
W16	چاه سرخ	۵۶۴/۶۷	۲۰۰	۱۱/۳۴	۶/۳	۷/۵۶	-۱/۲۶	رسوب‌گذار	۱
W17	ده مورد	۲۷۵/۶۷	۸۰	۱۱/۳۱	۷	۷/۷۴	-۰/۷۴	رسوب‌گذار	۱
W18	خواجه جمالی ۱	۱۴/۵۱	۷۰	۱۱/۲۹	۸/۳	۷/۹۸	۰/۳۲	خورنده	۳
W19	خواجه جمالی ۲	۳۰/۶۸	۳۰	۱۱/۲۸	۸/۳	۷/۷۰	۰/۶	خورنده	۳
W20	سنگ کر	۱۰۹۷/۵۷	۱۵۰	۱۱/۳۴	۶/۱	۷/۳۶	-۱/۲۶	رسوب‌گذار	۱
W21	طشک ۲	۲۰/۷۲	۵۰	۱۱/۲۹	۸/۳	۷/۶۳	۰/۶۷	خورنده	۳
W22	چاه روغنی ۱	۲۴۱۶/۶۳	۲۵۰	۱۱/۳۶	۵/۶	۸/۷۰	-۳/۱	رسوب‌گذار	۱
W23	چاه روغنی ۲	۴۱۲۹/۵	۴۴۰	۱۱/۳۷	۵/۱	۷/۳۲	-۲/۲۲	رسوب‌گذار	۱
W24	چاه سوارآغا ۱	۳۹۸/۷۸	۱۵۰	۱۱/۳۲	۶/۵	۷/۸۵	-۱/۳۵	رسوب‌گذار	۱
W25	چاه سوار آغا ۲	۶۷۲/۴۱	۳۵۰	۱۱/۳۵	۶	۷/۴۰	-۱/۴	رسوب‌گذار	۱
W26	چاه گز	۱۳۴۸/۴۴	۶۰۰	۱۱/۳۶	۵/۵	۷/۲۱	-۱/۷۱	رسوب‌گذار	۱
W27	درجویه	۲۵۵۷/۲۵	۵۶۰	۱۱/۳۶	۵/۲	۶/۹۵	-۱/۷۵	رسوب‌گذار	۱
W28	تل ساریونی	۱۴۴۴/۵۱	۷۴۰	۱۱/۳۶	۵/۳	۷/۱۵	-۱/۸۵	رسوب‌گذار	۱
W29	حیدری	۱۰۵۳/۵۶	۵۶۰	۱۱/۳۵	۵/۶	۶/۷۵	-۱/۱۵	رسوب‌گذار	۱

منبع: نگارندگان

بر اساس نتایج جدول ۱۳، می‌توان به این نتایج دست‌یافت که، ۷۶ درصد چاه‌های محدوده مطالعاتی سبب رسوب‌گذاری و آسیب به لوله‌ها و تأسیسات آب‌رسانی و کاهش کارایی گرم‌کننده‌های آب و دیگ بخار می‌شود. همچنین

۲۴ درصد چاه‌های منطقه نیز دارای اثر خوردگی می‌باشند که موجب کاهش طول عمر و شکستگی غیرمنتظره لوله‌ها و ایجاد آلودگی ثانویه در شبکه‌های توزیع آب می‌شوند.

جدول ۱۳: تعداد، درصد و شماره چاه‌های نمونه‌برداری شده بر اساس معیار طبقه‌بندی کیفیت آب از نظر مصارف صنعتی

شماره چاه‌های نمونه‌برداری شده	درصد چاه	تعداد چاه	کلاس آب	طبقه‌بندی کیفیت آب
W16-W15-W14-W12-W11-W10-W9-W5-W4-W۳-W۲-W۱ W29-W28-W27-W26-W25-W24-W23-W22-W20-W17	۷۶	۲۲	۱	رسوب‌گذار
*****	۰	۰	۲	متعادل
W21-W19-W18-W13-W8-W7-W6	۲۴	۷	۳	خورنده

مأخذ: نگارندگان

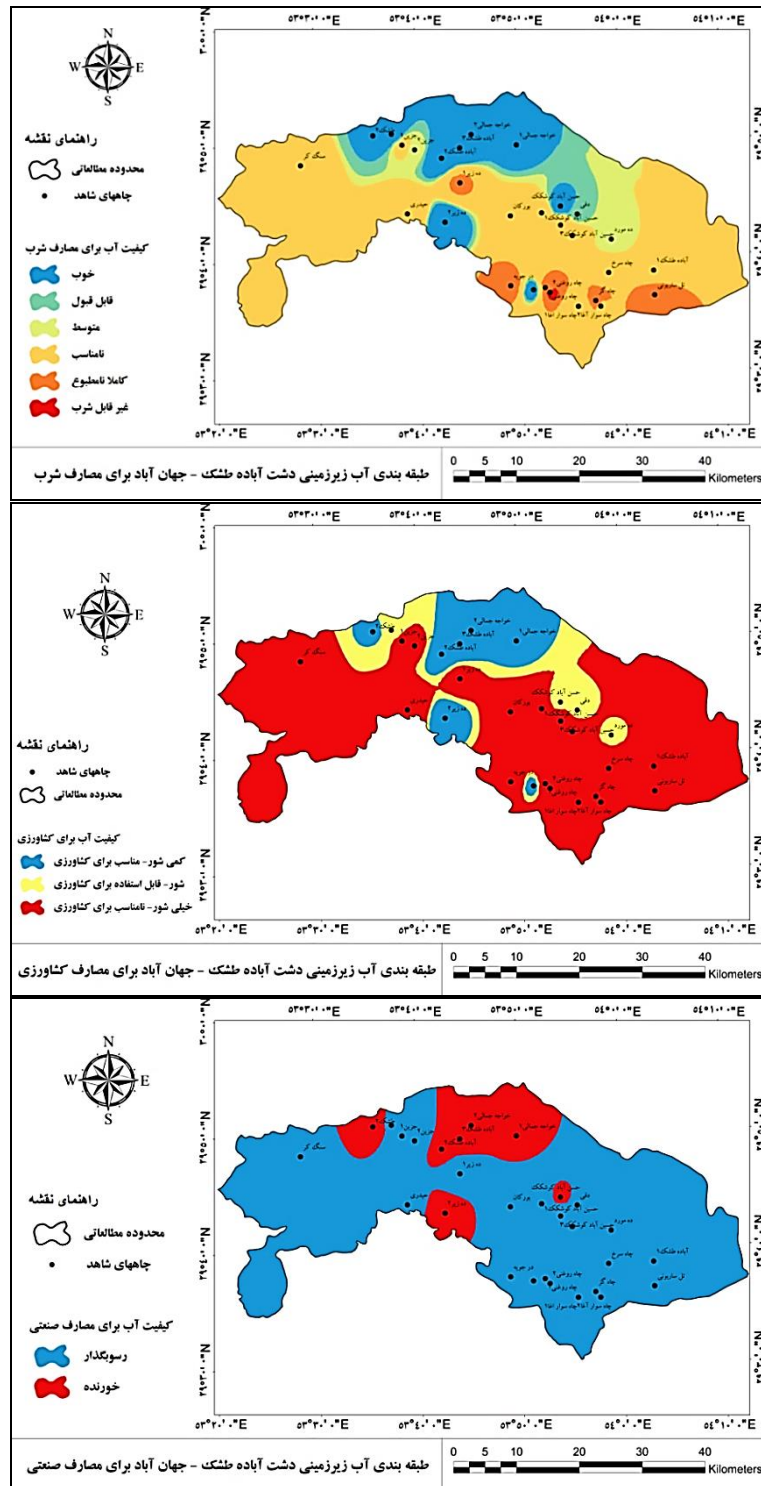
پهنه‌بندی کیفیت آب زیرزمینی برای مصارف شرب، کشاورزی و صنعتی

در شکل ۶ نقشه‌های پهنه‌بندی مکانی کیفیت منابع آب زیرزمینی دشت آباد طشک-جهان آباد به منظور مصارف شرب، کشاورزی و صنعتی ترسیم گردیده است. نقشه طبقه‌بندی کیفیت آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه جهت مصارف شرب، با تلفیق لایه‌های TDS، TH، Na^+ ، Cl^- ، SO_4^{2-} بر اساس طبقه‌بندی شولر تهیه شد. نقشه مذکور نشان می‌دهد که مناطق شمالی دشت و محدوده چاه‌های ده زیر ۲ و سنگ سفید جهان آباد در گروه خوب واقع شده‌اند. بیشتر محدوده دشت به‌ویژه از مرکز دشت به سمت مناطق پست جنوبی در گروه نامناسب برای شرب قرار دارند. می‌توان دلیل بالا بودن مقادیر پارامترهای مؤثر در کیفیت آب شرب در نواحی خشک جنوبی و به‌ویژه محدوده دریاچه بختگان را وجود گنبد‌های نمکی، وقوع خشک‌سالی‌های اخیر و سوء افزایش برداشت از سفره‌های آب زیرزمینی توسط ساکنان منطقه دانست که باعث گردیده تا منبع تغذیه آب کاهش یابد و با افت شدید سطح ایستایی، سفره آب شور و شیرین مختلط گشته و از کیفیت آب کاسته شود.

نقشه پهنه‌بندی کیفیت آب کشاورزی بر اساس طبقه‌بندی ویلکوکس و از همپوشانی دو نقشه هم ارزش EC و SAR به دست آمد. نقشه مذکور بیانگر آن است که شمال منطقه یعنی محدوده پیرامونی چاه‌های خواجه جمالی ۱ و ۲، آباد طشک ۲ و ۳، طشک ۲، حسن آباد کوشک و محدوده چاه‌های ۱۰ زیر ۲ و سنگ سفید جهان آباد در جنوب دشت در طبقه کمی شور قرار دارند و برای کشاورزی مناسب می‌باشند. محدوده پیرامونی چاه‌های طشک ۱، دق، حسن آباد کوشک و ده مورد از لحاظ آب کشاورزی در گروه شور قرار داشته که با اجرای برخی تمهیدات لازم و یا کشت محصول‌های مقاوم به شوری، قابل استفاده برای کشاورزی می‌باشند. بیشتر مساحت دشت، به‌خصوص در اراضی فاقد کشاورزی و محدوده دریاچه خشک‌شده بختگان، کیفیت شیمیایی آب بسیار پایین بوده و برای کشت محصولات کشاورزی نامناسب است. مقادیر بالای نسبت جذبی سدیم و هدایت الکتریکی دو فاکتور مهم در بررسی کیفیت آب کشاورزی در این منطقه، متأثر از رخساره‌های ژئومورفولوژی موجود در دشت و وقوع خشک‌سالی‌های شدید طی

سال‌های اخیر است؛ که به دلیل کاهش آبدهی رودخانه کر به‌عنوان ورودی اصلی جریان سطحی به دریاچه بختگان و عدم امکان برداشت از منابع آب سطحی، میزان بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی توسط روستائیان منطقه برای کشت محصول‌های کشاورزی افزایش یافته است. این عوامل موجب شور شدن بیش از حد خاک، کاهش سطح آب و در نتیجه کاهش کیفیت آب زیرزمینی آبخوان دشت شده است.

نقشه پهنه‌بندی کیفیت شیمیایی آب برای مصارف صنعتی بر اساس مقادیر شاخص اشباع‌شدگی لانزلیه (LSI) تهیه شد. کل محدوده مورد مطالعه به دوطبقه رسوب‌گذار و خورنده تقسیم می‌شود که کیفیت آب در محدوده کوچکی از مناطق شمالی و ناحیه ده زیر ۲ در جنوب دارای خاصیت خورندگی و دیگر مناطق دشت، خاصیت رسوب‌گذاری دارند. بنابراین می‌توان گفت که وجود سازندهای زمین‌شناسی و مقادیر بالای سختی و شوری، عامل افزایش پتانسیل رسوب‌گذاری در قسمت‌های مرکزی و جنوبی آبخوان نسبت به مناطق شمالی آن است.



مأخذ: نگارندگان

شکل ۶: پهنه‌بندی کیفیت منابع آب زیرزمینی دشت آباده طشک-جهان آباد جهت مصارف شرب، کشاورزی و صنعتی

نتیجه گیری

در این پژوهش، تغییرات مکانی پارامترهای کیفی مؤثر در مصارف شرب، کشاورزی و صنعتی دشت آباده طشک-جهان آباد با استفاده از مناسبترین مدل زمین آماری کوکریجینگ توسط سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) برآورد شد. همچنین کیفیت هیدرو شیمیایی آبهای زیرزمینی جهت مصارف فوق با استفاده از استانداردهای کیفی آب یعنی دیگرامهای شولر، ویلکوکس و شاخص اشباع شدگی لانژلیه بررسی و پهنه بندی گردید. نتایج حاصل از برازش مؤلفه های نیم تغییر نمای مدل های تخمینی مبتنی بر روش زمین آماری کوکریجینگ و ارزیابی مدل ها برای تعیین مدل وارویوگرام بهینه با استفاده از معیار آماری RMSe در محیط نرم افزاری ArcGIS10.3 نشان داد که برای پارامترهای TH، TDS، PH و مدل رشال کوادریک و برای متغیرهای Na^+ ، SO_4^{2-} ، EC و SAR مدل نمایی از بیشترین دقت و کمترین خطا نسبت به سایر مدل ها برخوردار می باشند. نقشه های مربوط به تغییرات مکانی پارامترهای TH، TDS، Na^+ ، Cl^- ، EC و SAR نشان می دهد که کمترین مقدار متغیرهای شیمیایی فوق در قسمت شمالی آبخوان و بیشترین غلظت آن در مناطق جنوبی مشاهده می شود؛ اما غلظت PH در چاه های نمونه برداری شده متغیر بوده؛ بطوریکه کمترین مقدار اسیدیته در محدوده چاه حیدری و بیشترین غلظت آن در محدوده چاه روغنی ۱ مشاهده می شود.

بر اساس نمودار شولر، تعداد ۱۱ حلقه چاه منطقه (۳۷٪) در گروه خوب و قابل قبول از نظر شرب قرار داشته و مانعی از نظر شرب ندارند. فقط ۲ حلقه چاه (۷٪) در گروه متوسط و تعداد ۱۶ حلقه چاه باقی مانده (۵۵٪) در گروه های نامناسب، کاملاً نامطبوع و غیرقابل شرب قرار دارند. نمودار ویلکوکس نشان داد که ۲۴ درصد از چاه های دشت در طبقه خوب و مناسب برای کشاورزی و ۱۴ درصد در گروه متوسط و قابل استفاده برای کشاورزی (کشت محصولات مقاوم به شوری) قرار دارند. این در حالی است که غالب چاه های منطقه یعنی ۶۲٪ در طبقه نامناسب برای کشاورزی قرار می گیرند. بر اساس ضریب اشباع شدگی لانژلیه، تعداد ۷۶٪ چاه های واقع در آبخوان دشت در رده رسوب گذار و ۲۴٪ چاه های باقی مانده در رده خورنده از نظر صنعتی قرار دارند. به طور کلی نقشه های پهنه بندی کیفیت شیمیایی منابع آب زیرزمینی دشت آباده طشک-جهان آباد جهت مصارف شرب، کشاورزی و صنعتی بیانگر آن است که از مناطق مرتفع شمال به سمت مناطق پست جنوب (به استثنای محدوده کوچکی به نام ده زیر ۲)، بخصوص در اراضی فاقد کشاورزی یعنی محدوده دریاچه خشک شده بختگان که کلاس کیفیت آب غیرقابل استفاده غالب است؛ کاهش می یابد. بنابراین می توان عامل اصلی کاهش کیفیت آب های زیرزمینی در این نواحی را وجود گنبد های نمکی دانست که در کاهش کیفیت آب های سطحی و زیرزمینی نقش داشته اند. همچنین عوامل دیگری مانند زیادتر بودن دما و در نتیجه بیشتر بودن میزان تبخیر و تعرق، تشدید خشک سالی ها طی سال های اخیر، برداشت بی رویه از منابع آب زیرزمینی و نوع و تراکم کاربری اراضی اشاره نمود که موجب کاهش کیفیت آب در این منطقه نسبت به نواحی شمالی آبخوان دشت گردیده است.

در باره بررسی تغییرات مکانی کیفیت آب های زیرزمینی از نظر مصارف شرب، کشاورزی و صنعتی بر اساس دیگرام های شولر، ویلکوکس و شاخص اشباع شدگی لانژلیه، مطالعات مختلفی در کشور انجام گرفته است. نتایج این

پژوهش با مطالعات محمدی و همکاران (۱۳۹۰) در دشت قزوین، پیری و همکاران (۱۳۹۲) در دشت بجنستان، جعفری و بخشنده مهر (۱۳۹۲) در استان اصفهان، رستم زاده و همکاران (۱۳۹۴) در دشت اردبیل، رجبی و همکاران (۱۳۹۴) در دشت هستیجان، محمدیاری و همکاران (۱۳۹۴) در مناطق خشک مهران و دهلران، رفیع شریف آباد و همکاران (۱۳۹۶) در دشت یزد-اردکان مطابقت دارد. بنابراین با توجه به پایین بودن کیفیت آب زیرزمینی به‌ویژه چاه‌های پیرامونی دریاچه خشک‌شده بختگان، پیشنهاد می‌شود که علاوه بر ممنوعیت حفر چاه‌های جدید، میزان برداشت از سفره‌های آب زیرزمینی نیز مدیریت شود و با توجه به کاهش ورودی آب‌های سطحی به منطقه طی سال‌های اخیر و افزایش فشار بر آبخوان دشت، نوع کشت طبق مطالعات دقیق عوض‌شده و محصولات مقاوم به شوری که نیاز کمتری به آب دارند؛ توسعه یابد. همچنین لازم است که به‌منظور مدیریت منابع آب هرچند سال یک‌بار نقشه‌های کیفی و کمی آب منطقه با استفاده از روش‌های نوین و دقیق زمین‌آماری تهیه و تفسیر شود.

منابع

- ۱- پیری، حلیمه؛ انصاری، حسین و بامری، ابوالفضل (۱۳۹۲): بررسی تغییرات مکانی کیفیت آب زیرزمینی دشت بجنستان جهت مصارف شرب و کشاورزی با استفاده از روش‌های زمین‌آماری، مجله علوم و مهندسی آبیاری. جلد ۳۷. شماره ۳. صفحات ۱۰۷-۱۲۲.
- ۲- جعفری، رضا و بخشنده مهر، لیلا (۱۳۹۳): بررسی تغییرات مکانی شوری و قلیائیت آب‌های زیرزمینی استان اصفهان، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب‌و‌خاک. سال هجدهم. شماره ۶۸ صفحات ۱۹۴-۱۸۳.
- ۳- خاندوزی، فهیمه؛ پری زنگنه، عبدالحسین؛ زمانی، عباسعلی و دادبان شهامت، یوسف (۱۳۹۴): بررسی کیفیت هیدرو شیمیایی و بهداشتی آب زیرزمینی شهرستان رامیان استان گلستان، مجله تحقیقات سلامت در جامعه. شماره ۱. صفحات ۵۲-۴۱.
- ۴- رجبی، علی‌محمد؛ مختاری، کیوان و علی‌آبادی، محمدعلی (۱۳۹۴): بررسی هیدروژئوشیمیایی آب‌های زیرزمینی منطقه هستیجان و تعیین کیفیت آن‌ها برای مصارف مختلف، نشریه محیط‌زیست طبیعی ایران. شماره ۳. صفحات ۳۹۹-۳۸۷.
- ۵- رستم زاده، هاشم؛ نیک جو، محمدرضا؛ اسدی، اسماعیل و جعفر زاده، جعفر (۱۳۹۴): توان سنجش تغییرات کیفیت آب زیرزمینی قابل شرب در پهنه‌های جمعیتی دشت اردبیل با استفاده از ترکیب مدل‌های زمین‌آماری و تصمیم‌گیری چندمعیاری در محیط GIS، فصل‌نامه ژئوهیدرومورفولوژی. شماره ۳. صفحات ۶۰-۴۳.
- ۶- رفیع شریف‌آباد، جواد؛ نوحه‌گر، احمد؛ زهتابیان، غلامرضا و غلامی، حمید (۱۳۹۶): بررسی تغییرات زمانی و مکانی کیفیت آب زیرزمینی جهت شرب و کشاورزی در دشت یزد-اردکان، نشریه مدیریت بیابان. شماره ۹. صفحات ۱۱۹-۱۰۷.
- ۷- زاهدی فر مریم؛ موسوی، علی‌اکبر و رجبی، مریم (۱۳۹۲): پهنه‌بندی ویژگی‌های شیمیایی کیفیت آب‌های زیرزمینی دشت فسا با استفاده از روش‌های زمین‌آماری، نشریه آب‌و‌خاک. شماره ۴. صفحات ۸۲۲-۸۱۲.
- ۸- شعبانی، محمد (۱۳۹۰): ارزیابی روش‌های زمین‌آماری در تهیه نقشه‌های کیفی آب‌های زیرزمینی و پهنه‌بندی آن‌ها (مطالعه موردی دشت نیریز استان فارس)، فصلنامه جغرافیای طبیعی لار، شماره ۱۳. صفحات ۹۶-۸۳.
- ۹- طباطبائی، سید حسن (۱۳۷۹): رفع آلودگی فلزات سنگین فاضلاب‌های شهری با استفاده از ژئولیت‌های طبیعی ایران، درس گروهی دکتری آبیاری و زهکشی. دانشگاه تهران. صفحه ۳۵.
- ۱۰- علیزاده، امین (۱۳۸۹)، اصول هیدرولوژی کاربردی. مشهد. انتشارات دانشگاه امام رضا (ع).

- ۱۱- غفوری، وحید؛ ملک پور، نصرت‌الله و مردانی، امین (۱۳۹۰): ارزیابی زمین‌آماری کیفیت آب زیرزمینی دشت داراب استان فارس، مجله حفاظت منابع آب‌وخاک. شماره ۲. صفحات ۸۱-۹۲.
- ۱۲- قاسمی، سمیرا؛ گنجی خرم‌دل، ناصر؛ مردیان، مهدی (۱۳۹۴): تحلیل احتمال تجاوز از آستانه EC و Ph آب زیرزمینی با استفاده از روش‌های زمین‌آمار در دشت اردکان-فراهان، نشریه پژوهش‌های کاربردی علوم آب. شماره ۱. صفحات ۷۱-۸۲.
- ۱۳- محمدی، مسعود؛ محمدی قلعه نی، مهدی و ابراهیمی، کیومرث (۱۳۹۰): تغییرات زمانی و مکانی کیفیت آب زیرزمینی دشت قزوین، مجله پژوهش آب ایران. سال پنجم. شماره هشتم. صفحات ۴۱-۵۲.
- ۱۴- محمد یاری، فاطمه؛ اقدر، حسین و بصیری، رضا (۱۳۹۴): پهنه‌بندی کیفیت آب زیرزمینی از لحاظ شرب با استفاده از روش‌های زمین‌آمار (مطالعه موردی: مناطق خشک مهران و دهلران)، فصلنامه علمی-پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سپهر). دوره ۲۶. شماره ۱. صفحات ۱۹۹-۲۰۸.
- ۱۵- ولایتی، سعد الله (۱۳۷۸): پیامدهایی ناشی از اضافه برداشت آبخوان‌های زیرزمینی، مجله دانشکده ادبیات و علوم انسانی دانشگاه فردوسی مشهد. شماره اول و دوم. صفحات ۱۲۴-۱۰۷.

- 16- Aghazadeh, N. Mohaddam, A. and Kymiaee, A. (2008): Assessment of Hydrochemical Properties of Underground Water in Salmas and Its Suitability for Various Uses. Journal of Esfahan University, 34:5.
- 17- Al-hadithi, M. (2012): Application of Water Quality Index to Assess Suitability of Groundwater Quality for Drinking Purposes in Ratmao- Pathri Rao Watershed, Haridwar District India, Journal of Scientific and Industrial Research, Pp. 395-402.
- 18- Al-Kouri, O. (2010): Geostatistical Analysis of Karst Landscapes. Geology Department, Faculty of Sciences, University of Malaya. Vol. 15. 913-916.
- 19- Baalousha H. (2010): Assessment of a Groundwater Quality Monitoring Network Using Vulnerability Mapping and Geostatistics: A Case Study From Heretaunga Plains. New Zealand Agricultural Water Management, 97: 240-246.
- 20- Bucene, L.C. Zimback, C.R.L. (2003): Comparison of Methods of Interpolation and Spatial Analysis of PH Data in Botucatu, SP, IRRIGA. 8(1): 21-28.
- 21- Davis, A. J.H. Kempton, & A. Nicholson (1994): Groundwater Transport of Arsenic and Chromium at a Historical Tannery, Applied Geochemistry, Vol. 9, Pp. 569-582.
- 22- Dick, J.B. Gerard. B.M. (2007): Optimization of Sample Patterns For Universal kriging of Environmental Variables, Geoderma. 138: 86-95.
- 23- Dorgham, M.M. et al. (2004): Eutrophication Problems in The Western Harbour of Alexandria. Egypt. Oceanologia, 46(1): 25-44.
- 24- Kresic, N. (1997): Hydrogeology Groundwater Modeling, Lewis Publishers, Science Journal. 4(1): 9-17.
- 25- Gebrehiwot, A. B. Tadesse, N. Jigar, E. (2011): Application of Water Quality Index to Assess Suitability of Groundwater Quality for Drinking Purposes in Hantebet watershed, Tigray, Northern Ethiopia, Journal of Food and Agriculture Science Vol. 1(1), Pp. 22-30.
- 26- Love, D. et al. (2004): Factor Analysis As A Tool in Groundwater Quality Management: Two Southern African Case Studies. Phys. Chem. Earth, 29, 1135-1143.
- 27- Samson, M. G. Swaminathan and N. Venkat Kumar. (2010): Assessing Groundwater Quality for Potability Using A Fuzzy Logic and GIS- A Case study for Tiruchirappalli City-India. Comp. Model. and New Technols. 14(2):58-68.
- 28- Schoeller, H. (1967): Qualitative Evaluation of Groundwater Resources. In: Methods and Techniques of Groundwater Investigation and Development. Water Research. Series-33, UNESCO, pp 44-2.
- 29- Sedaghat, M. (2003): Ground and Water Resource (Underground Water), Payam Noor Univ. Press, 300p.
- 30- 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 Changing, China. Environ Geol, 52: 1-10.

- 31- Sun Y. Shaozhong K. Li F. and Zhang L. (2009): Comparison of Interpolation Methods For Depth to Groundwater and Its Temporal and Spatial Variations in The Minqin Oasis of Northwest China. *Environmental Modelling & Software*. 24: 1163–1170.
- 32- Wilcox, DL. V. (1948): The Quality of Water Irrigation Use, U. S. Department of Agriculture, Bull. 962. Washington D. C 19P.