

تحلیل عاملی و مدل‌سازی مکانی پارامترهای کیفی آب زیرزمینی دشت ارسنجان استان فارس

- ❖ بهمن کواری؛ دانشجوی دکتری، گروه مهندسی منابع طبیعی، پردیس دانشگاهی قشم، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران.
- ❖ یحیی اسماعیل پور*؛ استادیار گروه مهندسی منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران.
- ❖ علی اکبر موسوی؛ دانشیار بخش علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران.
- ❖ ام‌البین بذرافشان؛ دانشیار گروه مهندسی منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران.
- ❖ ارشک حلی‌ساز؛ استادیار گروه مهندسی منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران.

چکیده

منبع اصلی آب دشت ارسنجان آب زیرزمینی بوده که در گذشته با کاریز و اکنون با چاه‌های پرشمار در حال بهره‌برداری است. برای آگاهی از شرایط کیفی این منابع، روش‌های تحلیل آماری چندمتغیره و میان‌یابی در سه سال با بارندگی متفاوت به کار گرفته شد. تحلیل عاملی شاخص‌های کلیدی کیفیت آب زیرزمینی را تعیین نمود و نقشه‌سازی با روش‌های میان‌یابی انجام شد. نقشه‌های تولید شده با استفاده از روش بهینه‌سازی جنک طبقه‌بندی و مساحت هر طبقه در هر سال محاسبه شد. بر اساس نتایج تحلیل عاملی، هدایت الکتریکی (EC)، سختی کل (TH) و غلظت سدیم به ترتیب با بار عاملی ۰/۸۴۳، ۰/۸۸۹ و ۰/۹۹۱ انتخاب شدند. روش میان‌یابی RBF برای پارامتر سدیم، در هر سه سال مورد مطالعه مناسب بود. برای پارامترهای قابلیت هدایت الکتریکی و سختی کل در سال‌های ۱۳۹۴ و ۹۵ روش RBF-MQ و در سال ۱۳۹۷ روش LIP کمترین خطا را داشتند. نقشه‌سازی تغییرات مکانی سه پارامتر یاد شده نشان داد در سال ۱۳۹۵ که بارندگی کمتر از میانگین بوده، مساحت مناطق با مقادیر کم کاهش یافته است. پارامتر غلظت سدیم بدلیل کمیت و کیفیت تغییرات آن پتانسیل مناسبی برای کاربرد به عنوان نشانگر تغییرات کیفیت آب زیرزمینی در پاسخ به عوامل اقلیمی یا مدیریتی دارد. به طور کلی پیشنهاد می‌شود در تحلیل کیفیت آب زیرزمینی دشت ارسنجان، عامل مجاورت با دریاچه شور بختگان، علاوه بر عوامل مرتبط با اقلیم و حوزه آبخیز باید در نظر گرفته شود.

واژگان کلیدی: سختی کل، غلظت سدیم، هدایت الکتریکی، میان‌یابی، کریجینگ

۱. مقدمه

آب‌های زیرزمینی از مهم‌ترین منابع آب بوده و نقش مهمی در تامین آب مورد نیاز در مناطق خشک و نیمه‌خشک دارند و آگاهی از کیفیت یکی از نیازهای مهم در برنامه‌ریزی، توسعه و حفاظت و کنترل این منابع است [۵، ۱۵]. فشار مضاعف ناشی از برداشت بی‌رویه منابع آب زیرزمینی و افزایش خطر آلودگی بدلیل رشد جمعیت، گسترش شهرها، صنایع و کشاورزی در بیشتر مناطق ایران، اهمیت این موضوع را دوچندان ساخته است [۴۳، ۴۶]. از آنجا که آلودگی آب زیرزمینی با کاهش کیفیت آب آشامیدنی، از دست دادن منابع آب، افزایش هزینه تصفیه و یافتن منابع جایگزین و گسترش مشکلات بهداشتی همراه است، نظارت بر کیفیت این آب‌ها و اطمینان یافتن از پایداری این منابع برای مقاصد مختلف مهم است [۴۱، ۴۵].

پارامترهای شیمیایی گوناگون از جمله غلظت سدیم، پتاسیم، کلسیم، منیزیم، کلر و سولفات نقش مهمی در طبقه‌بندی و ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی دارند [۲۹]. پهنه‌بندی کیفیت آب زیرزمینی، یکی از روش‌های رایج در مطالعه کیفیت آب به منظور شناخت و مدیریت کیفیت این منابع است [۲۳، ۳۸]. این روش‌ها مبتنی بر تکنیک‌های متنوع میان‌یابی هستند که باید بر پایه شرایط منطقه و داده‌های موجود برای دستیابی به کمترین خطا روش متناسب را انتخاب نمود [۸، ۲۴] و در پیوند با سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی ابزار قدرتمندی برای پیش‌بینی و نقشه‌سازی ایجاد کرده‌اند [۲۸، ۳۰] که در پژوهش‌های گوناگون مورد استفاده قرار گرفته است. از جمله اژدری و حسینی (۲۰۱۸) تغییرپذیری ویژگی‌های کیفیت آب‌های زیرزمینی را با استفاده از روش‌های زمین‌آمار ارزیابی و نشان دادند که روش کریجینگ معمولی با کمترین خطا برای تهیه نقشه توزیع مکانی پارامترهای کیفیت آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه مناسب بوده است [۳، ۴۷]. نجف‌پور و همکاران (۲۰۱۸) به مطالعه توزیع مکانی پارامترهای کیفیت آب زیرزمینی و طبقه‌بندی کیفی آب در حوزه آبریز رودخانه شور پرداختند. نتایج

نشان داد روش کریجینگ معمولی برای اکثر پارامترها دقت مناسب داشته است [۳۱، ۴۸]. رودگر ایرانی و همکاران (۲۰۱۹) با مقایسه روش‌های قطعی و زمین‌آمار در تعیین تغییرات مکانی نیترات در دشت قائم‌شهر کوکریجینگ ساده با متغیر کمکی کلسیم را مناسب‌ترین روش دانستند [۳۵]. پیرزاده و اسور (۲۰۲۰) نیز با میان‌یابی ۱۲ پارامتر کیفیت آب نشان دادند روش کریجینگ ساده با مدل نمایی و کروی بهترین روش برای پهنه‌بندی کیفیت آب زیرزمینی بوده است [۳۲]. موسوی و همکاران (۲۰۲۰) با استفاده از روش‌های زمین‌آمار در دشت لردگان استان چهارمحال و بختیاری، تطبیق پارامترهای کیفیت با استانداردهای آشامیدن و کشاورزی را بررسی کردند. نتایج نشان داد پارامترهای TDS، TH، EC، سولفات و کلر روند صعودی و پارامترهای SAR و سدیم روند نزولی داشتند [۲۹]. اسفندیاری و همکاران (۲۰۱۹) در بررسی سختی کل آب زیرزمینی در دشت بروجن با روش‌های IDW، RBF و کریجینگ روش کریجینگ را انتخاب کردند [۱۰، ۳۷]. قندالی و همکاران (۲۰۱۹) برای پهنه‌بندی کیفیت منابع آب برای کاربری کشاورزی و شرب روش کریجینگ معمولی و تابع شعاعی پایه را مناسب‌ترین روش گزارش کردند [۱۲]. در مطالعه ملکیان و همکاران (۲۰۱۶) نیز روش عکس فاصله در میان‌یابی TDS و EC نسبت به روش‌های زمین‌آمار و در برآورد TH روش زمین‌آمار کوکریجینگ با استفاده از پارامتر کمکی یون کلر برتری داشت [۲۶]. صالحی و زینی‌وند (۲۰۱۴) در مطالعه منطقه غرب مریوان از بین روش‌های مختلف میان‌یابی، روش تخمین‌گر موضعی برای پارامترهای سولفات، غلظت مواد محلول و شوری؛ روش تابع شعاعی برای پارامترهای سدیم و نسبت جذب سدیم؛ روش تخمین‌گر عام برای پارامتر کلر؛ و روش کریجینگ ساده برای پارامتر سختی آب مناسب‌ترین دانستند [۳۹]. طباطبایی و غزالی (۲۰۱۱) در بررسی دقت روش‌های میان‌یابی در ترازابی آب‌های زیرزمینی آبخوان‌های فارس‌ان، جونقان و سفیددشت روش‌های کریجینگ و روش توابع شعاعی را با توجه به شاخص

۲. مواد و روش‌ها

۱.۲. منطقه مورد مطالعه

دشت ارسنجان در شمال شرق استان فارس با مساحت اندکی بیش از ۱۰۱ کیلومتر مربع، بین طول‌های شرقی ۵۳ درجه ۱۲ دقیقه ۵۲ ثانیه تا ۵۳ درجه و ۲۳ دقیقه و ۱ ثانیه و عرض‌های شمالی ۲۹ درجه و ۴۶ دقیقه و ۲۳ ثانیه تا ۲۹ درجه و ۵۶ دقیقه و ۱۵ ثانیه قرار دارد. این دشت بخشی از محدوده مطالعاتی ارسنجان از حوزه آبخیز درجه دو مهارلو-بختگان محسوب می‌شود. تغییرات ارتفاع از سطح دریا در این دشت از ۱۵۷۸ تا ۱۹۳۷ با میانگین ۱۶۲۹ محاسبه شد. میانگین تبخیر و تعرق سالانه ۱۰۴۰/۵ میلی‌متر و میانگین دمای سالانه در منطقه مورد مطالعه ۱۴/۵ درجه سلسیوس و میانگین بارش سالیانه حدود ۲۳۶ میلی‌متر و اقلیم منطقه بر اساس شاخص دوما رتن از نوع نیمه‌خشک می‌باشد.

مهم‌ترین واحدهای چینه‌شناسی شامل: سازند سورمه (جنوب غربی دشت، آهک دولومیتی توده‌ای)، سازند داریان-فهلان (آهک ضخیم و توده‌ای همراه با دولومیت بیشتر ارتفاعات را تشکیل داده و نقش موثری در تغذیه آبخوان دشت دارد)، گروه بنگستان (سازند های کژدمی و سروک، آهک همرا با مارن)، رادیوالریت (چرت رادیولاری سبز، قرمز و خاکستری، بعلت عدم تخلل مفید و موثر نقشی در تغذیه آبخوان ندارد)، سازند گورپی (بخش ناچیزی از سطح دشت را پوشانده است) و واحدهای دوره کواترنری (عمدتا آبرفت‌های سطح دشت و برونزدهایی از سازند بختیاری، در کناره دشت به صورت مخروط افکنه و واریزه دامنه‌ای است) [۱۶].

داده‌های کیفیت آب زیرزمینی از ۳۴ حلقه چاه اکتشافی و بهره‌برداری از سال ۱۳۸۲ تا ۱۳۹۷ توسط شرکت آب منطقه‌ای استان فارس و شامل ۱۵ پارامتر کیفی: هدایت الکتریکی (EC)، کل مواد محلول در آب (TDS)، غلظت یون‌های سدیم (Na)، کلسیم (Ca)،

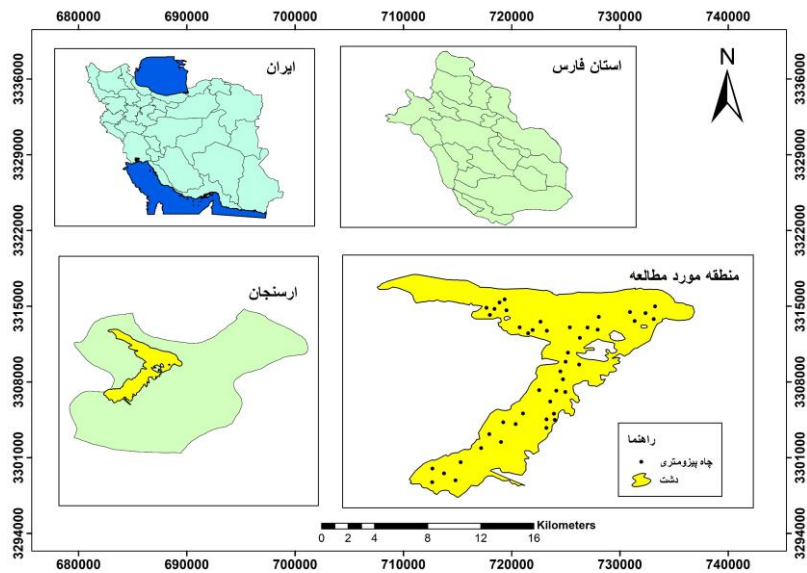
RMSE بهترین روش میان‌یابی برای هر دو دشت تشخیص دادند [۴۵]. معیارهای مورد استفاده در ارزیابی روش‌های میان‌یابی نیز متنوع هستند و از جمله صالحی و همکاران (۲۰۱۷) در مطالعه پارامترهای کیفی آب زیرزمینی در سقز از ریشه دوم میانگین مربعات خطا (RMSE)، میانگین خطای اریب (MBE) و میانگین خطای مطلق (MAE) استفاده کردند [۴۰].

سوابق مطالعاتی بر لزوم بهره‌گیری از روش‌های گوناگون میان‌یابی و انتخاب روش مناسب با توجه به معیارهای خطا تاکید داشتند. در این تحقیق نیز انواع روش‌های ممکن به کار گرفته شد. تعیین پارامترهای کلیدی آب زیرزمینی با بهره‌گیری از تحلیل عاملی در مطالعات مختلف از جمله (B Patil)، (Behera) و (Islam) که با تکیه بر کاربرد روش‌های آماری چندمتغیره و تحلیل عاملی در بررسی شاخص کیفیت آب (WQI) و ارزیابی ژئوشیمیایی کیفیت آب‌های زیرزمینی انجام شده‌اند مورد توجه قرار گرفته است [۲۲]. تحلیل عاملی با کاهش ابعاد و برجسته ساختن مهم‌ترین پارامترها امکان کاربرد بهتر نتایج حاصل از داده‌های میدانی و روش‌های میان‌یابی را توسعه می‌دهند. به عنوان مثال گو^۱ و همکاران (۲۰۱۸) در مطالعه تغییرات زمانی و مکانی کیفیت آب‌های زیرزمینی با استفاده از تحلیل مؤلفه‌های اصلی و تحلیل عاملی، ۴ مؤلفه اصلی (PC) از ۱۶ پارامتر آب زیرزمینی استخراج کردند [۱۴]. در پژوهش ما علاوه بر ارزیابی و مقایسه روش‌های میان‌یابی و تعیین پارامترهای کلیدی، نقشه‌های حاصل در سه سال با بارندگی متفاوت نیز مقایسه خواهد شد. اطلاعات حاصل از این تحقیق با شناخت تغییرات مکانی و زمانی کیفیت آب زیرزمینی و معرفی پارامترهای شاخص که نشان‌دهنده این تغییرات باشند به حفاظت و مدیریت منابع آب زیرزمینی دشت ارسنجان که از جمله دشت‌های بحرانی است کمک شایانی خواهد کرد.

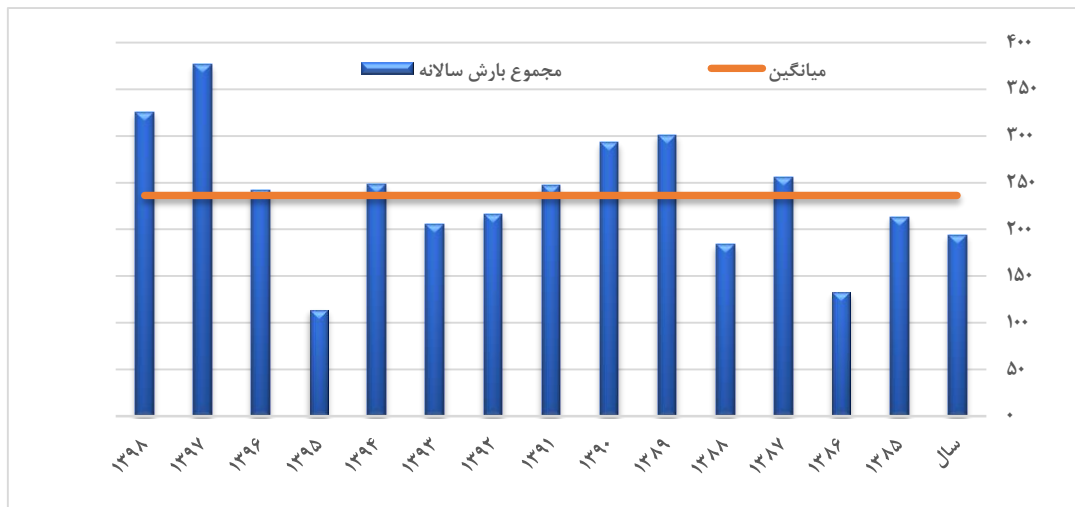
^۱ Guo

منطقه‌ای فارس، تعداد ۶۲۸ حلقه چاه با آبدهی سالانه ۸۸/۲۹ میلیون متر مکعب، ۱۵ دهنه چشمه با آبدهی سالانه ۲/۸۶ میلیون متر مکعب و ۹ رشته قنات با آبدهی ۶/۱ میلیون متر مکعب وجود دارد که در مجموع حجم تخلیه کل از منابع آب زیرزمینی، سالانه ۹۷/۲۵ میلیون متر مکعب است. موقعیت منطقه مورد مطالعه در (شکل ۱) و نمودار تغییرات بارندگی در (شکل ۲) نشان داده شده است.

منیزیم (Mg)، پتاسیم (K) سولفات (SO₄)، کلر (CL)، سختی کل (TH)، pH، نسبت جذب سدیم (SAR)، کاتیون و آنیون کل، بی‌کربنات و درصد سدیم محلول با استفاده از روش‌های استاندارد معمول اندازه‌گیری شده و در دسترس بود. با توجه به تغییرات میانگین بارندگی سالانه در دوره آماری مذکور، سه سال ۱۳۹۴، ۹۵ و ۹۷ که به ترتیب بارندگی برابر، کمتر و بیشتر از میانگین داشته‌اند؛ انتخاب شدند. دشت ارسنجان فاقد جریان‌های دائمی آب سطحی است. بر اساس گزارش‌های شرکت آب



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه و چاه‌های مورد مطالعه در دشت ارسنجان



شکل ۲. نمودار تغییرات بارندگی سالانه بر اساس آمار ایستگاه سینوپتیک ارسنجان

۲.۲. روش

۱.۲.۲. تحلیل مؤلفه‌های اصلی

تحلیل مؤلفه‌های اصلی^۱ یک روش آماری چند متغیره است که در تحلیل جداول و ماتریس ضرایب همبستگی به کار می‌رود و هدف آن خلاصه‌سازی و کاهش ابعاد داده‌های اولیه است [۱۵] و در این پژوهش با استفاده از نرم‌افزار SPSS Statistics 22 انجام شد [۵۱]. برای کنترل مناسب بودن داده‌ها برای تحلیل عاملی از ضریب KMO^2 استفاده شد [۴۳].

۲.۲.۲. میان‌یابی

میان‌یابی^۲ عمدتاً توسط نرم‌افزارهای ArcGIS، GS+، Surfer و دیگر نرم‌افزارهای موجود انجام می‌شود و فرآیندی است که داده‌های گسسته حاصل از نقاط نمونه توزیع شده در سطح یک منطقه را به شبکه رستری پیوسته تبدیل می‌کند [۲۱]. در این بخش از پژوهش حاضر، پس از بررسی و تایید نرمال بودن توزیع داده‌ها [۱۸]، با بهره‌گیری از روش‌های وزن‌دهی فاصله معکوس (IDW)، توابع پایه شعاعی (RBF)، تخمین‌گر عام (GPI) و تخمین‌گر موضعی (LIP) به عنوان روش‌های قطعی و روش‌های کریجینگ شامل کریجینگ ساده، عادی و جهانی به عنوان روش‌های زمین‌آماري میان‌یابی در محیط نرم‌افزار ArcGIS 10.5 صورت گرفت [۱۹]. ارزیابی مقایسه روش‌های میان‌یابی و با استفاده از روش اعتبارسنجی متقابل یا متقاطع^۴ انجام شد [۱]. در ارزیابی تطابق مقادیر مشاهده شده و تخمینی از معیار ریشه میانگین مربع خطا (RMSE) استفاده شد [۱۳]. پس از انتخاب بهترین روش میان‌یابی هر پارامتر، نقشه‌های

پهنه‌بندی مکانی تهیه، طبقه‌بندی و از نظر مساحت طبقات مقایسه شد.

۳. نتایج

۱.۳. آنالیز مؤلفه‌های اصلی^۵

مقادیر محاسباتی آماره‌های KMO^6 که بزرگتر از ۰٫۶ و کروییت بارلت^۷ که در سطح ۹۹ درصد معنی‌دار بوده است نشان داد داده‌ها از شرایط لازم برای تحلیل عاملی برخوردار بوده‌اند. روش تحلیل عاملی بر همبستگی غیرعالی بین متغیرها استوار است و نتایج نشان داد که تغییرات غلظت یون بی‌کربنات با دیگر متغیرهای مورد بررسی همبستگی آماری معنادار نداشته و از تحلیل حذف شد [۲۴] و روند پژوهش با ۱۴ متغیر باقی‌مانده ادامه یافت. محاسبه سهم هر عامل در تبیین واریانس از طریق تحلیل عاملی بدون تغییر تعداد یا بازتوزیع بارهای عاملی، منجر به بیشینه شدن رابطه بین متغیرها و عامل‌ها و در نتیجه درک بهتر ساختار مؤلفه‌ها و تفسیر آسان‌تر هر مؤلفه خواهد شد [۵]. نتایج در (جدول ۱) ارایه شده است.

سه پارامتر اول با مجموع مقادیر ویژه ۱۲٫۱۲۳ و با سهم تبیین واریانس به ترتیب ۵۴/۵۸، ۲۱/۳۳۴ و ۱۰/۶۷۹ (روی هم بیش از ۸۶ درصد) بوده است. در نمودار صخره‌ای^۸ (شکل ۳) مقدار ویژه هر عامل که سهم نسبی عامل از کل واریانس متغیرهای تحقیق را نشان می‌دهد ارایه شده است. بنا به تعریف، عواملی که مقدار ویژه کمتر از یک دارند از نظر آماری تاثیر معنی‌داری نداشته و باید از تحلیل کنار گذاشته شوند. این نمودار از بزرگترین مقدار ویژه شروع می‌شود و همواره یک نمودار نزولی است و

¹ Principal component analysis

² Kaiser Meyer Olkin

³ Interpolation

⁴ Cross Validation

⁵ Principal Component Analysis

⁶ Kaiser-Meyer-Olkin Measure of sampling adequacy

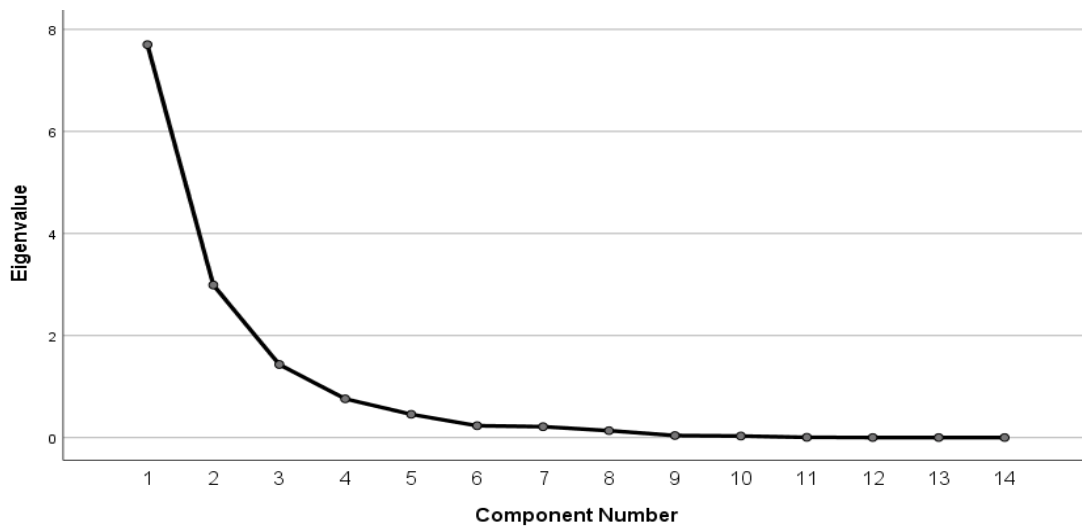
⁷ Bartlett's Test of Sphericity

⁸ Scree Plot

همانطور که در اینجا دیده می‌شود تغییرات مقدار ویژه عامل چهارم به بعد کمتر از یک و قابل صرف نظر است.

جدول ۱. آماره‌های مربوط به مؤلفه‌های استخراج شده از تحلیل عاملی (یافته‌های تحقیق)

عامل	شماره عامل	مقادیر ویژه اولیه			مجموع ضرایب عامل چرخش داده شده		
		مجموع	درصد واریانس	تجمعی	مجموع	درصد واریانس	تجمعی
سدیم (mEq/L) Na	۱	۷,۷۰۱	۵۵,۰۰۸	۵۵,۰۰۸	۷,۶۴۱	۵۴,۵۸۰	۵۴,۵۸۰
هدایت الکتریکی EC ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	۲	۲,۹۸۹	۲۱,۳۵۳	۷۶,۳۶۱	۲,۹۸۷	۲۱,۳۳۴	۷۵,۹۱۴
سختی کل TH (mg/L)	۳	۱,۴۳۳	۱۰,۲۳۲	۸۶,۵۹۳	۱,۴۹۵	۱۰,۶۷۹	۸۶,۵۹۳
کلسیم (mEq/L) Ca	۴	۰,۷۶۰	۵,۴۲۵	۹۲,۰۱۸			
منیزیم (mEq/L) Mg	۵	۰,۴۵۶	۳,۲۵۶	۹۵,۲۷۵			
پتاسیم (mEq/L) K	۶	۰,۲۳۳	۱,۶۶۴	۹۶,۹۳۹			
سولفات (mEq/L) SO ₄	۷	۰,۲۱۴	۱,۵۲۶	۹۸,۴۶۴			
کلراید (mEq/L) CL	۸	۰,۱۳۵	۰,۹۶۷	۹۹,۴۳۱			
کل ماده محلول TDS (mg/L)	۹	۰,۰۴۱	۰,۲۹۰	۹۹,۷۲۱			
اسیدیته pH	۱۰	۰,۰۳۱	۰,۲۱۹	۹۹,۹۴۰			
سدیم محلول SSP (%)	۱۱	۰,۰۰۵	۰,۰۳۸	۹۹,۹۷۸			
نسبت جذب سدیم SAR	۱۲	۰,۰۰۲	۰,۰۱۳	۹۹,۹۹۱			
کاتیون (mEq/L)	۱۳	۰,۰۰۱	۰,۰۰۹	۹۹,۹۹۹			
آنیون کل (mEq/L)	۱۴	۰,۰۰۰۱	۰,۰۰۱	۱۰۰,۰۰۰			



شکل ۳. نمودار صخره‌ای سهم نسبی هر عامل از کل واریانس متغیرهای تحقیق (یافته‌های تحقیق)

بارهای عاملی نسبتاً بالا در نظر گرفته می‌شوند بارهای عاملی کمتر از $0/3$ را می‌توان نادیده گرفت [۴۳]. در (جدول ۲) مقادیر بارهای عاملی قابل قبول (بار عاملی $0/3$ و بیشتر) هر متغیر نمایش داده شده‌اند.

جدول عناصر چرخش یافته، خروجی اصلی در ارتباط بارهای عاملی همبستگی هر یک از متغیرها با عامل‌هاست. چنانچه این همبستگی‌ها بیشتر از $0/6$ باشد به عنوان بارهای عاملی بالا و چنانچه بیشتر از $0/3$ باشد به عنوان

جدول ۲. ماتریس عاملی چرخش یافته به روش واریماکس (یافته‌های تحقیق)

شاخص													
EC	TDS	Ph	Cl	SO4	SSP	SAR	TH	Mg	Na	K	Ca	Anion	Cation
۰,۳۲۱	۰,۴۹۴	۰,۳۷۵	۰,۹۴۸	۰,۳۱۸	۰,۹۳۹	۰,۹۸۵	۰,۳۵۷	۰,۷۷۲	۰,۹۹۱	۰,۶۷۴	۰,۴۵۲-	۰,۹۸۳	۰,۹۸۵
۰,۸۴۳-	۰,۷۵۰-	۰,۷۵۱	--	۰,۷۲۸	--	--	--	--	--	۰,۵۰۶	۰,۴۹۴	--	--
--	--	--	--	--	--	--	۰,۸۸۹	۰,۴۰۲	--	--	۰,۶۴۵	--	--

مقایسه و تطبیق داده‌های کیفیت آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه با استانداردهای ملی ایران در مورد سه شاخص مورد بررسی، نشان می‌دهد دامنه تغییرات هدایت الکتریکی یا (EC) در هر سه سال مطالعه و سختی کل (TH) در سال‌های ۱۳۹۴ و ۹۵ در برخی نمونه‌ها بالاتر از حد استاندارد مجاز بوده است. غلظت یون سدیم در سال‌های مورد مطالعه در محدوده قابل قبول حداکثر مقدار مجاز بوده است.

با توجه به (جدول ۲) در هر عامل، متغیری که بیشترین بار عاملی را داشت به عنوان متغیر کلیدی برای ورود به تحلیل‌های بعدی انتخاب گردید [۲۷]. در نتیجه از عامل‌های اول تا سوم به ترتیب شاخص‌های سدیم، EC و TH با بارهای عاملی ۰/۹۹۱، ۰/۸۴۳ و ۰/۸۸۹ انتخاب و به عنوان متغیرهای کلیدی تعیین شدند.

۲.۳. میان‌یابی

ابتدا آماره‌های توصیفی مربوط به داده‌های مورد استفاده در تحقیق محاسبه شد (جدول ۳).

جدول ۳. خلاصه آماری داده‌های کیفیت آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه

سال	شاخص	کمینه	بیشینه	میانگین	انحراف معیار	چولگی	کشدگی	میان
۱۳۹۴	Na (mEq/L)	۰,۲۱	۴,۰۹	۲,۱۹	۱,۱۳	-۰,۳۹	۲,۹۳	۲,۱۹
	TH (mg/L)	۳۵۰	۳۳۴۷	۸۱۱,۸۴	۹۹۵,۰۹	۲,۰۳	۵,۱۸	۴۳۲,۲۵
	EC (μS/cm)	۷۶۴	۱۱۹۱۵	۲۹۵۸,۷	۳۵۳۱,۲	۱,۹۸	۵,۰۷	۱۷۶۴,۵
۱۳۹۵	Na (mEq/L)	۰,۱۸	۱۵,۵	۷,۲۹	۴,۷۹	۰,۱۱	۱,۷۶	۹,۰۵
	TH (mg/L)	۳۰۰	۴۵۵	۳۶۶,۲۵	۴۹,۸۸	۰,۲۵	۱,۶۷	۳۵۶
	EC (μS/cm)	۷۶۴	۱۱۴۵۷	۲۹۲۷,۴	۳۴۸۴,۳	۱,۹۷	۵,۰۳	۱۸۱۵
۱۳۹۷	Na (mEq/L)	۰,۲۴	۴,۰۹	۲,۰۷	۱,۲۶	-۰,۴۸	۲,۸۹	۲,۱۹
	TH (mg/L)	۳۳۶	۳۳۱۵	۸۰۳,۲۱	۱۰۰۵,۳	۲,۰۳	۵,۱۶	۲۳۸۸
	EC (μS/cm)	۱۰۴	۲۲۶۴	۷۶۰,۹۲	۷۲۹,۴۲	۰,۸۵	۲,۴۳	۶۲۸,۴۶

[۴۹]، از روش متناسب استفاده شد. لازم به توضیح است در سال‌های ۱۳۹۴ و ۹۵ به دلیل برقرار نبودن شرط نرمال بودن داده‌ها به روش‌های قطعی اکتفا شد. در نهایت برای انتخاب بهترین مدل در رابطه با هر پارامتر و در هر سال از

داده‌های هر سه پارامتر سدیم، هدایت الکتریکی و سختی کل در سال‌های مورد بررسی از نظر نرمال بودن و پارامترهای مدل‌های نیم‌تغییرنما^۱ بررسی شدند و متناسب با مفروضات روش‌های میان‌یابی زمین‌آماري و قطعی^۲

^۱ Semivariogram

^۲ Geostatistical and Deterministic Interpolation Methods

۱۳۹۷ در (جدول ۵) ارایه شده است. مدل‌های منتخب با علامت (*) مشخص شده‌اند.

معیار خطای RMSE کمتر استفاده شد که نتایج آن برای داده‌های سال‌های ۱۳۹۴ و ۹۵ در (جدول ۴) و برای سال

جدول ۴. نتایج ارزیابی روش‌های قطعی مختلف در میان‌یابی پارامترهای مورد بررسی در سال‌های ۱۳۹۴ و ۹۵

۱۳۹۵			۱۳۹۴		
RMSE	روش ارزیابی خطا	مدل	RMSE	روش ارزیابی خطا	مدل
۵,۳	--	IDW	۴,۳۱	--	IDW
۶,۶۵	۳	GPI	۶,۳۸	۲	GPI
۴,۶۸	۱	LIP	۴,۷۷	۳	LIP
۴,۰۳	Completely Regularized Spline	RBF*	۲,۵	Completely Regularized Spline	RBF*
۳۴۲,۸۳	--	IDW	۳۳۹,۷۸	--	IDW
۴۷۲,۸۴	۳	GPI	۴۵۱,۶۸	۳	GPI
۳۳۲,۴۵	۱	LIP	۳۱۴,۶	۱	LIP
۲۷۴,۷۷	Multiquadric	RBF*	۲۷۴,۳۳	Multiquadric	RBF*
۱۱۶۰,۰۵	--	IDW	۱۱۱۴,۹۸	--	IDW
۱۶۳۶,۴۲	۳	GPI	۱۴۴۶,۸۲	۳	GPI
۱۱۸۲,۸۳	۱	LIP	۱۰۱۵,۳۹	۱	LIP
۹۶۱,۴۹	Multiquadric	RBF*	۸۷۱,۵۴	Multiquadric	RBF*

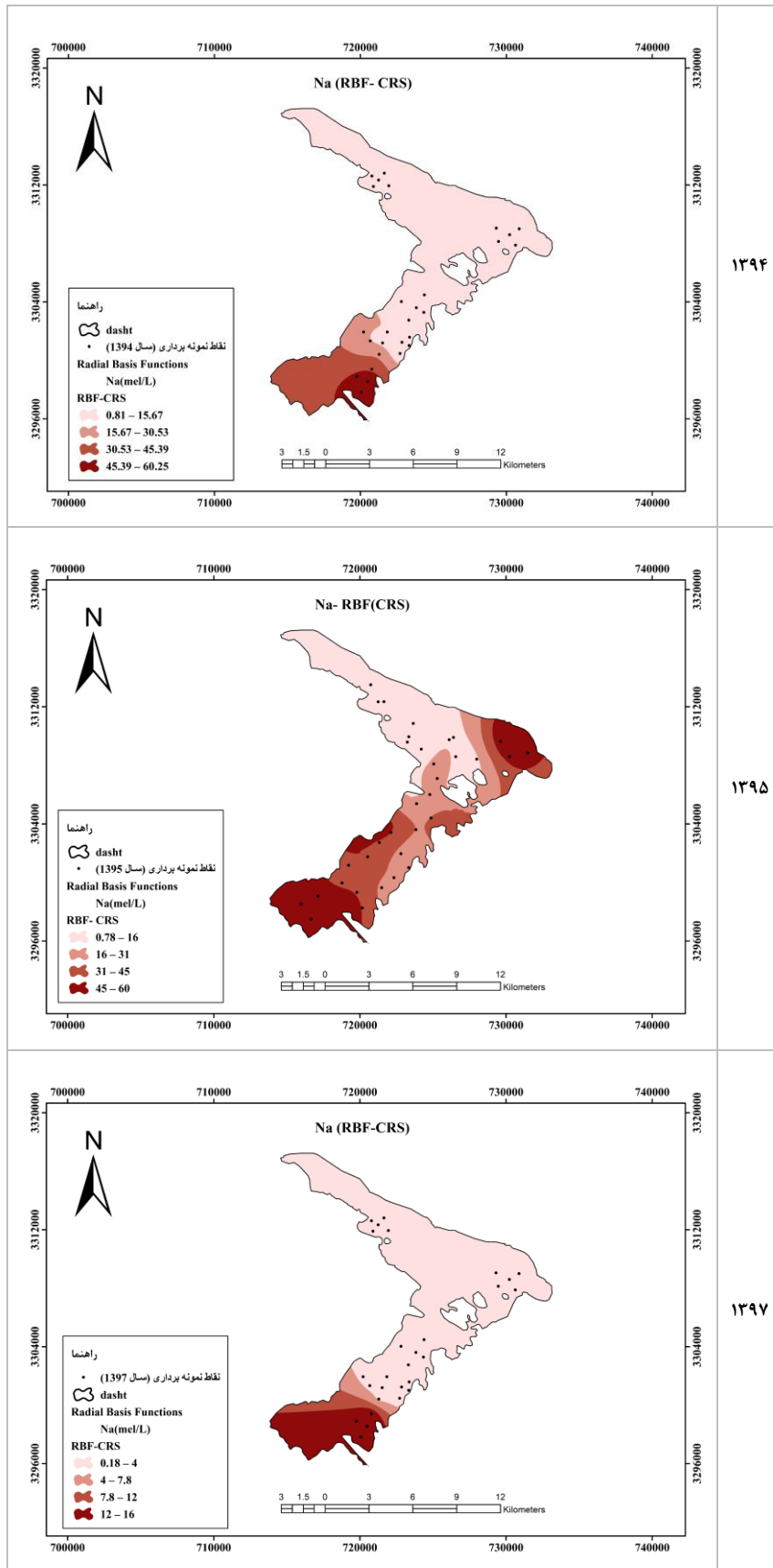
جدول ۵. نتایج ارزیابی روش‌های قطعی و زمین‌آماري مختلف در میان‌یابی پارامترهای مورد بررسی در سال ۱۳۹۷

EC			TH			Na		
RMSE	روش ارزیابی خطا	مدل	RMSE	روش ارزیابی خطا	مدل	RMSE	روش ارزیابی خطا	مدل
۶۷۲,۷		IDW	۱۸,۸۴		IDW	۱,۵۷	--	IDW
۷۲۱,۱	۲	GPI	۲۳,۴۳	۳	GPI	۲,۳۲	۲	GPI
۶۶۷,۹	۱	LIP*	۱۹,۳۲	۱	LIP	۱,۶۹	۱	LIP
۶۸۴,۲	Inverse Multiquadric	RBF	۱۶,۳۱	Inverse Multiquadric	RBF	۱,۲۱	Completely Regularized Spline	RBF*
۷۱۷,۴	Stable	OK	۱۵,۴۴	stable and Gaussian	OK*	۱,۷۴	stable and Gaussian	OK
غ ق ق	--	SK	۱۷,۰۷	stable	SK	۱,۷۲	Gaussian	SK
۸۴۰,۴	K-Bessel	UK	۱۹,۰۷	K-Bessel	UK	۱,۷۵	J-Bessel	UK

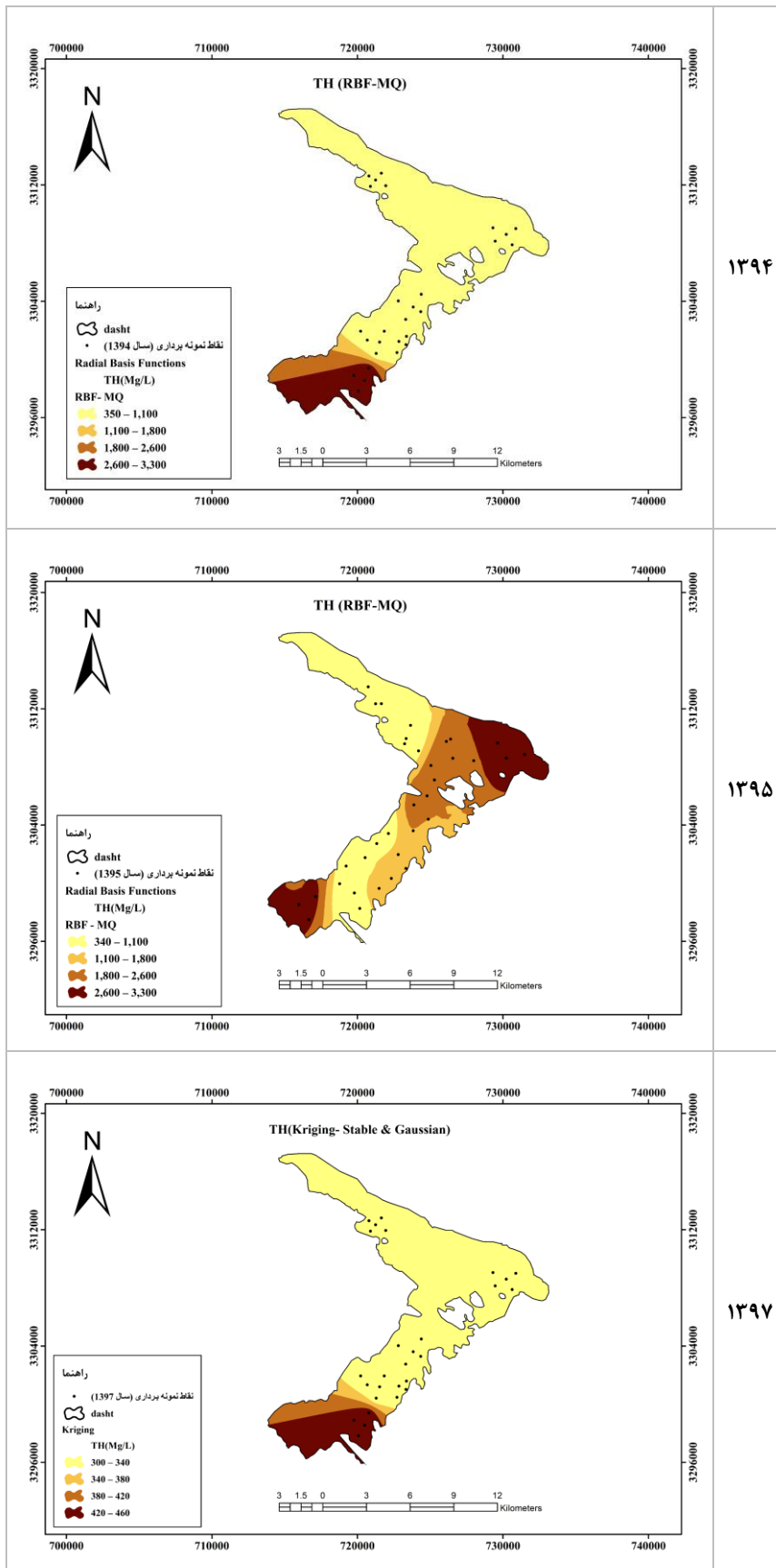
۳.۳. نقشه‌سازی

حد مطلوب و حداکثر مجاز غلظت سدیم در آب‌های آشامیدنی ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر است [۲]. دامنه غلظت سدیم در دشت ارسنجان در سال ۱۳۹۴ بین ۰/۸۱ تا ۶۰/۲۵ در سال ۱۳۹۵ بین ۰/۷ تا ۶۰ و در سال ۱۳۹۷ بین ۰/۱۸ تا ۱۶ میلی‌اکی‌والنت بر لیتر معادل ۴/۱۴ تا ۳۶۸ میلی‌گرم بر لیتر است. بیشترین مقدار غلظت سدیم در سال ۱۳۹۴ و ۱۳۹۷ در قسمت جنوب و جنوب غربی دشت دیده شده

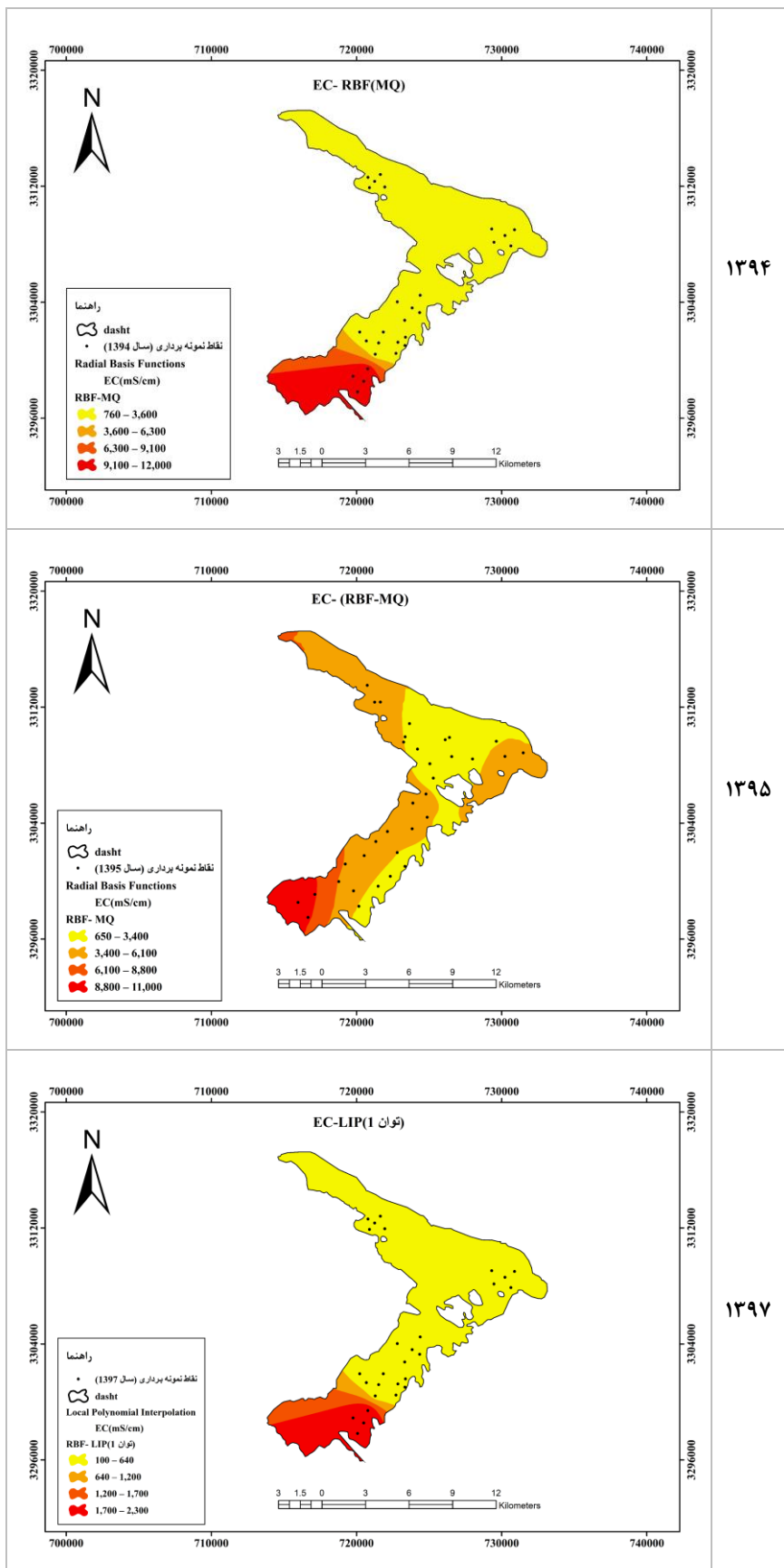
است در حالیکه در سال ۱۳۹۵ مناطق دارای مقدار سدیم بالا تقریباً در کل ضلع جنوبی دشت گسترش یافته‌اند (شکل ۴). در مورد سختی کل (TH) در سال ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵ مقادیر بالایی در بخش جنوب و جنوب غرب دشت مشاهده می‌گردد. در سال ۱۳۹۷ بالاترین مقدار سختی کل در بخش جنوب غربی دشت ارسنجان دیده می‌شود. هر چند بالاترین حد مجاز سختی کل ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر است ولی عملاً آب‌هایی که سختی آن‌ها از ۲۰۰ بیشتر باشد مطلوب نیست [۹].



شکل ۴. نقشه پهنه‌بندی غلظت یون سدیم در منطقه و در سال‌های مورد مطالعه



شکل ۵. نقشه پهنه‌بندی سختی کل در منطقه و در سال‌های مورد مطالعه

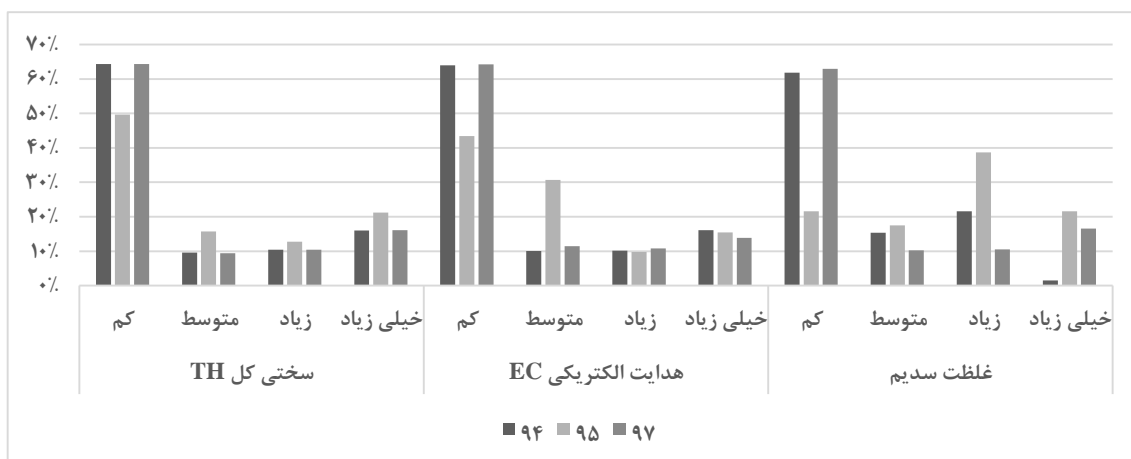


شکل ۶. نقشه پهنه‌بندی هدایت الکتریکی در منطقه و در سال‌های مورد مطالعه

جنوب غربی دشت است که دارای شوری بالا است که مساحت کمی از دشت را به خود اختصاص داده‌اند و دارای محدودیت خیلی کمی برای شرب هستند و در بقیه مناطق مقدار EC کمتر از ۱۵۰۰ میکروموس بر سانتی متر است که به لحاظ شرب محدودیتی ندارد.

پس از نقشه‌سازی تغییرات مکانی مقادیر پارامترهای کیفیت آب دشت ارسنجان در سال‌های مورد مطالعه، نقشه‌های رستری حاصل، با استفاده از روش بهینه‌سازی جنک یا شکست‌های طبیعی^۱ [۷، ۳۶] به چهار کلاس طبقه‌بندی شد و مساحت هر طبقه در هر سال محاسبه شد. درصد مساحت هر طبقه نسبت به مساحت کل دشت در نمودار (شکل ۷) نشان داده شده است.

با این احتساب آب‌های زیرزمینی دشت ارسنجان از نظر سختی برای کشاورزی و شرب در حد مطلوب نیستند. آب‌های زیرزمینی در سطح دشت ارسنجان دارای سختی بیشتر از ۱۸۰ و جز آب‌های خیلی سخت دسته‌بندی می‌شوند و از لحاظ سختی نامطلوب بوده و خصوصا در استفاده به منظور صنعت مناسب نیست [۲۲]. کیفیت آب آشامیدنی از نظر هدایت الکتریکی (EC) ۵۰۰ تا ۱۵۰۰ میکروموس بر سانتی متر است [۱۱]. با توجه به (شکل ۶) مشاهده می‌شود محدوده تغییرات غلظت EC در دشت ارسنجان در سال ۱۳۹۴ بین ۷۶۰ تا ۱۲۰۰۰ در سال ۱۳۹۵ بین ۶۵۰ تا ۱۱۰۰۰ و در سال ۱۳۹۷ بین ۱۰۴ تا ۲۲۶۴ میکروموس بر سانتی متر است که بیشترین مقدار آن در قسمت کوچکی از شمال غرب و



شکل ۷ درصد مساحت طبقات مقادیر پارامترهای مورد بررسی نسبت به مساحت کل دشت ارسنجان در سال‌های ۹۴، ۹۵ و ۹۷

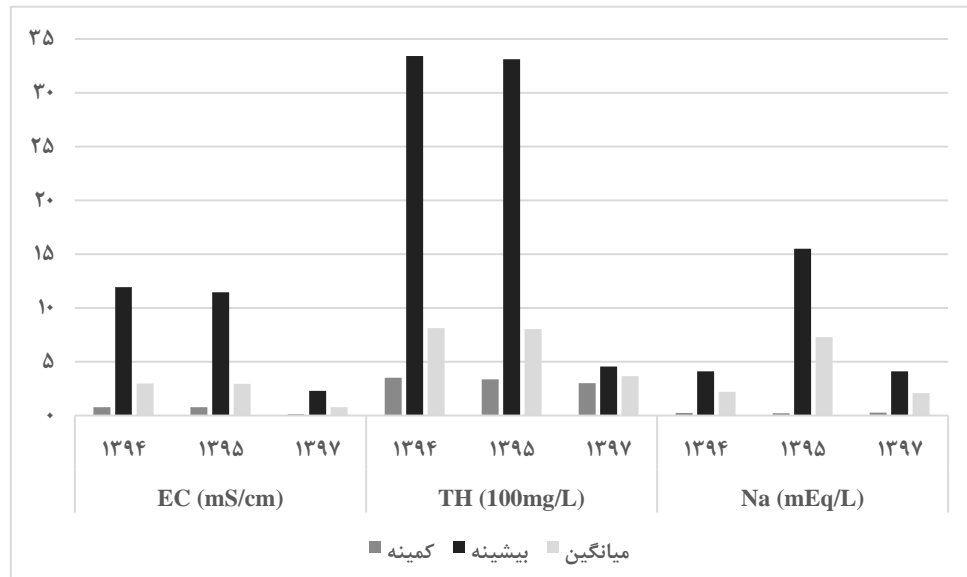
در مورد پارامتر هدایت الکتریکی عمدتاً به افزایش مساحت مناطق با مقادیر متوسط اختصاص یافته است. در حالیکه در مورد پارامتر سختی کل منجر به افزایش جزئی مساحت سه طبقه با مقادیر متوسط، زیاد و خیلی زیاد انجامیده است. تغییرات درصد مساحت پهنه‌های دشت از نظر مقادیر پارامتر غلظت سدیم حساسیت بیشتری به کاهش بارندگی داشته و دشت ارسنجان در سال ۱۳۹۵ با

بر اساس استانداردهای موجود سه پارامتر سختی کل، هدایت الکتریکی و غلظت سدیم اثر منفی بر کیفیت آب زیرزمینی داشته و افزایش آن‌ها باعث کاهش کیفیت آب زیرزمینی می‌شود. به نظر می‌رسد بارندگی کمتر از میانگین در سال ۱۳۹۵ به سرعت بر پارامترهای کیفی آب زیرزمینی اثر گذاشته و منجر به کاهش سهم مساحت مناطق با مقادیر کم هر سه پارامتر شده است. این کاهش

¹ Jenks optimization method

زیرزمینی مواجه شده است.

کاهش مساحت مناطق با مقادیر کم و افزایش قابل توجه مساحت طبقات با مقادیر زیاد و خیلی زیاد سدیم در آب



شکل ۸. مقایسه مقادیر کمینه، بیشینه و میانگین مقادیر سه پارامتر در سه سال مورد بررسی

دارای مشابهت شرایط محیطی [۲۵] می‌توان بیشتر در پیوند با ساختار لیتولوژیک حوزه آبخیز مشرف به دشت دانست. در مورد پارامتر سدیم در سال‌های با بارش نرمال و پربارش مقادیر مشاهداتی اختلاف چندانی ندارند و عمده مناطق دشت با مقادیر کمتر از سه میلی‌اکی‌والان در لیتر از نظر استانداردهای موجود در محدوده بدون مشکل هستند اما در سال کم‌بارش هم مساحت مناطق با مقادیر زیاد و خیلی زیاد به شدت افزایش می‌یابد و هم شدت تغییرات مقادیر مشاهداتی بسیار قابل توجه است که به احتمال زیاد ناشی از مجاورت با دشت با دریاچه شور بختگان می‌باشد.

۴. بحث و نتیجه‌گیری

پارامترهای کیفیت آب زیرزمینی پرشمار هستند و ارتباطات درونی بین آن‌ها برقرار است. کمیت و کیفیت و روند تغییرات و همبستگی بین این پارامترها در مناطق مختلف حالات گوناگونی را نشان می‌دهد. به همین دلیل

مقایسه نمودارهای (شکل ۷) و (شکل ۸) نشان می‌دهد؛ در مورد پارامترهای سختی کل و هدایت الکتریکی مقادیر کمینه، بیشینه و میانگین مقادیر این دو پارامتر در سال نرمال (۱۳۹۴) و کم‌بارش (۱۳۹۵) تطبیق دارد. در سال کم‌بارش سهم مساحت مناطق با مقادیر کم کاهش و در مقابل مناطق با مقادیر متوسط تا حدی افزایش می‌یابد که این تغییر در مورد پارامتر هدایت الکتریکی شدیدتر است. در مورد هر دو پارامتر، بارندگی بیشتر از نرمال مقادیر بیشینه مشاهداتی را به شدت تعدیل می‌کند اما روی میانگین و کمینه با این شدت تاثیر ندارد. در مورد هدایت الکتریکی وقوع حداکثرهای مشاهداتی در مناطق نزدیک به دریاچه شور است که احتمالاً در پی کاهش بارندگی و افت تراز آب زیرزمینی و پیشروی سفره آب شور به محدوده دشت بوده است. به محض وقوع بارش بیش از نرمال و اثر آن بر روی تراز آب زیرزمینی، آب شور عقب‌نشینی نموده و مقادیر هدایت الکتریکی تعدیل می‌شود. نتایج مشاهده شده تغییرات سختی کل را با توجه به تجربیات در حوزه‌های آبخیز

کل و هدایت الکتریکی در دشت آباده بیشتر به عوامل مرتبط با عمق آبرفت و راه‌سازی اشاره شده است [۲۵].

علیرغم وابستگی کشاورزی آبی به آب زیرزمینی در دشت ارسنجان، بر پایه اطلاعات شفاهی کسب شده از کشاورزان و کارشناسان جهاد کشاورزی تعدیلی در سطح زیر کشت و مقدار برداشت از سفره‌های آب زیرزمینی متناسب با کاهش مقدار بارندگی از حد میانگین صورت نمی‌گیرد. در سال‌هایی که بارندگی کاهش یابد، بدلیل ثبات مقدار برداشت، فشار به منابع آب زیرزمینی و کاهش کیفیت آب امری ناگزیر می‌شود. لازم به ذکر است در مناطقی چون دشت‌های آباده و ارسنجان که عمده لیتولوژی منطقه از سنگ‌های آهکی است وجود سختی کل با مقادیر قابل توجه یک شرایط زمینهای با منشاء طبیعی و همواره حاکم است؛ لیکن افزایش شدت آن ناشی از فعالیت‌های انسانی است که در دو منطقه یاد شده از این نظر تفاوت وجود دارد. تغییرات غلظت سدیم در دشت ارسنجان احتمالاً بدلیل مجاورت با دریاچه بختگان و مجاورت آبخوان شیرین دشت با آب‌های شور زیر دریاچه است. از پژوهش‌های انجام شده در شرایط محیطی نسبتاً مشابه در زمینه مجاورت با دریاچه‌های شور می‌توان به مقاله خالقی و مسیب‌زاده (۱۴۰۰) اشاره کرد. در این تحقیق بررسی هیدروشیمی نمونه‌های آب زیرزمینی از ۱۲ حلقه چاه آب در منطقه بناب و ملکان با هدف ارزیابی کیفیت آب برای مصارف شرب، کشاورزی و صنعت انجام شده است. نتیجه‌گیری معطوف به ارزیابی کیفیت بوده است و در مورد دلایل محیطی شرایط مشاهده شده اظهار نظری صورت نگرفته است اما وجود رخساره‌های آبی بی‌کربنات کلسیک و سدیک می‌تواند نشان از همگرایی نتایج با تحقیق حاضر در برخی جنبه‌ها داشته باشد [۲۰].

در پژوهش‌های مبتنی بر میان‌یابی در زمینه‌های گوناگون از قبیل اقلیم، ویژگی‌های خاک و ... تعیین روش میان‌یابی به گونه‌ای که سازگاری تابع مدل با ویژگی‌های منطقه مورد مطالعه و داده‌های میدانی متناسب باشد

روش‌های تحلیل آماری چندمتغیره همچون تحلیل عاملی به منظور کاهش ابعاد و یافتن بهترین پارامترها که بتوانند به عنوان نشانگر و معیار مناسبی جهت آشکارسازی تغییرات کیفی آب زیرزمینی کارای لازم را داشته باشند رواج یافته است [۶]. در این راستا تجزیه و تحلیل‌های چند متغیره از قبیل تحلیل مولفه‌های اصلی برای شناسایی متغیرهای نشانگر کیفیت آب و مقایسه کیفیت در مقاطع زمانی یا مدیریتی متفاوت مفید و مناسب ارزیابی شده‌اند [۱۷]. در دشت ارسنجان سه پارامتر غلظت سدیم، سختی کل و هدایت الکتریکی پس از تحلیل آماری به عنوان متغیرهای کلیدی شناسایی شدند که با نتایج تحقیق روی پارامترهای هیدروشیمیایی آب‌های زیرزمینی حوضه گوانژونگ از نظر اهمیت غلظت سدیم مشابهت دارد [۳۳]. در منابع علمی از هوازنگی موضعی سنگ‌های فلدسپات (دارای پلاژیوکلاز) موجود در سنگ‌های گرانیتی و همچنین بهره‌برداری بیش از حد از آب‌های زیرزمینی به عنوان دلایل تغییرات مکانی غلظت یون سدیم یاد شده است [۲۰] با توجه به عدم وجود سنگ‌های گرانیتی در حوزه آبخیز دشت ارسنجان، پیشروی آب دریاچه شور بدلیل بهره‌برداری بیش از حد از آب‌های زیرزمینی را می‌توان به عنوان علت اصلی تغییرات غلظت سدیم دانست. در منطقه مورد مطالعه کشاورزی کلا آبی و متکی به آب‌های زیرزمینی است و با فرض ثبات تقریبی سطح زیر کشت با توجه به مشاهدات میدانی و فاصله زمانی کم سال‌های مورد بررسی می‌توان با احتمال بالایی تغییرات ترکیب ژئوشیمیایی آب‌های زیرزمینی را به کاهش و افزایش بارندگی نسبت داد. انتخاب پارامترهای سختی کل و هدایت الکتریکی به عنوان متغیرهای مهم در ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی با نتایج تحقیق مقامی و همکاران (۱۳۹۰) در ارزیابی روش‌های مختلف درون‌یابی به منظور پهنه‌بندی کیفیت آب در دشت آباده که از نظر شرایط محیطی تا حدود زیادی با دشت ارسنجان مشابهت دارد همخوانی دارد. البته در تحقیق یاد شده در توجیه چرایی تغییرات سختی

کریجینگ معمولی و روش LPI با توان یک کمترین خطا را داشتند، که با نتایج تحقیقاتی از قبیل [۴] سازگار بوده است. در این زمینه رودریگز^۱ و همکاران با ارزیابی روش‌های قطعی مانند وزن‌دهی فاصله معکوس (IDW)، میان‌یابی چندجمله‌ای محلی (LPI) و توابع پایه شعاعی (RBF) ضمن بهتر دانستن نتایج مدل‌های IDW و RBF از نظر انطباق نقشه‌ها با واقعیت میدانی، روش‌های مورد ارزیابی دیگر را نیز دارای خطاهای نسبی کوچک و در حد قابل پذیرش دانستند [۳۴].

در نتیجه‌گیری کلی از مقایسه نمودارهای (شکل ۷) و (شکل ۸) می‌توان گفت تغییر مقدار بارش سالانه همزمان با عدم تغییر در مقدار برداشت از منابع آب زیرزمینی باعث به هم خوردن تعادل سفره‌های آب شیرین و شور و تغییرات مقادیر پارامترهای هدایت الکتریکی و غلظت سدیم در دشت ارسنجان می‌شود. اهمیت این دو پارامتر در تحقیق ژو^۲ و همکاران (۲۰۲۰) مبنی بر تغییرات شدید سدیم و هدایت الکتریکی در مناطق تحت تأثیر فعالیت‌های صنعتی و کشاورزی شدید و وابسته به آب زیرزمینی تایید شده است [۵۲]. در مورد سختی کل برهم‌کنش تغییرات بارندگی و تامین یون‌های کلسیم و منیزیم موجود در سنگ‌های آهکی و دولومیتی حوزه آبخیز مشرف به دشت منجر به تغییرات پارامتر سختی کل می‌شود. زولکار^۳ و همکاران (۲۰۲۰) در همین زمینه در تحقیقی با عنوان آنالیز هیدروشیمیایی و تحلیل مکانی آبهای زیرزمینی، نقش اصلی را در توجیه چرایی تغییرات سختی آب‌های زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه خود به برداشت آب برای کشاورزی و لیتولوژی منطقه داده‌اند [۵۳].

در مجموع بر اساس نتایج این تحقیق می‌توان پیشنهاد نمود دشت ارسنجان با افزایش تعداد نقاط نمونه‌برداری کیفیت آب زیرزمینی به عنوان یک منطقه مرجع برای دشت‌های مجاور پلایا و دریاچه آب شور مورد بررسی و

مورد تاکید قرار گرفته است. در میان‌یابی پارامترهای کیفیت آب زیرزمینی، تعداد ناکافی و عدم توزیع جغرافیایی مناسب چاه‌های نمونه‌گیری به همراه درهم تنیدگی عوامل طبیعی (اقلیم، ژئومورفولوژی و لیتولوژی) و مدیریتی (فعالیت‌های آبخیزداری، شیوه برداشت آب زیرزمینی و سیستم‌های آبیاری کشاورزی) موثر بر آب‌های زیرزمینی، چالش‌های گوناگونی از قبیل نرمال نبودن توزیع داده‌ها و الگوهای توزیع مکانی خاص را پدید می‌آورد. بر این اساس در این پژوهش برای هر پارامتر و در هر سال تمام روش‌های میان‌یابی که بر اساس توزیع آماری و دیگر مفروضات قابل اجرا بودند با استفاده از معیار RMSE مورد ارزیابی قرار گرفت. در بررسی دقت روش‌های مختلف میان‌یابی پژوهش‌های مختلفی صورت پذیرفته است [۲۸، ۳۸، ۴۲، ۴۹]. از مهم‌ترین عوامل این تنوع روش متناسب با هر منطقه می‌توان به پراکنش نقاط نمونه، ویژگی‌های آماری از جمله چولگی، توزیع آماری داده‌ها، میزان تغییرات مکانی پارامترهای مورد نظر اشاره کرد. نتایج تحقیق حاضر با تحقیق طباطبایی و غزالی (۲۰۱۲) که بهترین روش میان‌یابی را برای تخمین سطح آب‌های زیرزمینی روش کریجینگ و تابع پایه شعاعی گزارش کردند [۴۵] همخوانی دارد. علاوه بر این کاربرد روش‌های قطعی بویژه در سال‌های ۹۴ و ۹۵ الگوهای منطقی و سازگار با مدل‌های سال ۱۳۹۷ پیش‌بینی کردند که نشان از کارایی این روش‌ها در منطقه مورد مطالعه ما داشت. از بین روش‌های قطعی و زمین آماری مورد مطالعه در تحقیق حاضر در سال‌های ۱۳۹۴، ۱۳۹۵ و ۱۳۹۷ روش RBF به عنوان بهترین روش نقشه‌سازی داده‌های غلظت سدیم و برای پارامتر EC و TH در سال ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵ روش RBF-MQ به عنوان بهترین روش میان‌یابی ارزیابی شد. برای داده‌های دو پارامتر سختی کل و هدایت الکتریکی در سال ۱۳۹۷ به ترتیب روش زمین آماری

¹ Rodrigues

² Zhou

³ Zolekar

پارامترهای شیمیایی موثر بر کیفیت آب زیرزمینی در دشت ارسنجان و به طور کلی دشت‌های مجاور دریاچه‌های آب شور علاوه بر عوامل مرتبط با اقلیم و عوامل مرتبط با حوزه آبخیز باید به تعادل بین آبخوان شیرین دشت و شور زیر دریاچه توجه داشت که در تحقیقی مشابه در کشور چین مورد تایید قرار گرفته است [۱۵۰].

پایش قرار گیرد. پارامتر غلظت سدیم بدلیل کمیت و کیفیت تغییرات آن در پاسخ به عوامل محیطی از جمله اقلیم و مدیریت به عنوان شاخص و نشانگر کنترل کیفیت آب زیرزمینی این دشت از پتانسیل مناسبی برخوردار است و می‌تواند در آشکارسازی تغییرات کیفی آب زیرزمینی به کار گرفته شود. در پایان باید تاکید کرد در تحلیل تغییرات

References

- [1] Aguilar, F. J., Agüera, F., Aguilar, M. A., and Carvajal, F. (2005). Effects of terrain morphology, sampling density, and interpolation methods on grid DEM accuracy. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 71(7), 805-816.
- [2] Alizadeh, A. (2014). Principles of applied hydrology. Imam Reza University press.
- [3] Azhdari, Z., and Hosseini, S. (2018). Spatial variations of groundwater quality parameters using geo-statistics (Case study: Segsi Plain, Isfahan). *Journal of Environmental Science and Technology*, 20(3), 63-80. Doi: 10.22034/jest.2018.13256.
- [4] Bagheri Bodaghabadi, M. (2018). Is it necessarily a normally distributed data for kriging? A case study: soil salinity map of Ghahab area, central Iran. *Desert*, 23(2), 284-293.
- [5] Bahrami, H., Waqarfard, H., Malekian, A., Gholami, H., and Tahmasabi, P. (2019). Homogenization of watersheds with an integrated approach GIS and multivariate statistical analysis, case study: Karoon Watershed. *Watershed Engineering and Management*, 11(1), 180-192. Doi: 10.22092/ijwmse.2019.118431.
- [6] Biglari, H., Saeidi, M., Karimyan, K., Narooie, M.R., and Sharafi, H. (2018). Data for factor analysis of hydro-geochemical characteristics of groundwater resources in Iranshahr. *Data in Brief*, 19:548-63. doi: 10.1016/J.DIB.2018.05.039.
- [7] Brewer, C. A., and Pickle, L. (2002). Evaluation of methods for classifying epidemiological data on choropleth maps in series. *Annals of the Association of American Geographers*, 92(4), 662-681.
- [8] Chin, D. A. (2012). *Water-quality engineering in natural systems: fate and transport processes in the water environment*. John Wiley & Sons.
- [9] Elubid, B., Huang, T., Ahmed, E. H., Zhao, J., Elhag, K. M., Abbass, W., and Babiker, M. M. (2019). Geospatial distributions of groundwater quality in Gedaref State using geographic information system (GIS) and drinking water quality index (DWQI). *International journal of environmental research and public health*, 16(5), 731 .
- [10] Esfandiari, F., GhorbaniFilabadi, R., NasiriKhiavi, A., and Mostafazadeh, R. (2019). Assessing the accuracy of algebraic and geostatistical techniques to determine the spatial variations of groundwater quality in Boroojen Plain. *Journal of Natural Environmental Hazards*, 8(20), 115-130. doi: 10.22111/jneh.2018.22500.1335
- [11] Ghamarnia, H. and Roshandel, F., (2019). Assessment of Groundwater Quality in Chardoley Plain Located in Kurdistan Province. *Water Resources Engineering*, 12(41), 145-160.
- [12] Ghandali, M., Shayesteh, K., and SadiMesgari, M. (2019). Groundwater quality zoning for agricultural and drinking usage using water quality index and geostatistics techniques in Semnan watershed. *JWSS-Isfahan University of Technology*, 23(1), 187-198.
- [13] Guo, Q., Li, W., Yu, H., and Alvarez, O. (2010). Effects of topographic variability and lidar sampling density on several DEM interpolation methods. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 76(6), 701-712.

- [14] Guo, X., Zuo, R., Meng, L., Wang, J., Teng, Y., Liu, X., and Chen, M. (2018). Seasonal and spatial variability of anthropogenic and natural factors influencing groundwater quality based on source apportionment. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(2), 279.
- [15] Halabian, A., and Asgari, S. (2017). Flood Hazard Intensity Zoning in Myshkhas Watershed Using Factor- Cluster Analysis. *Hydrogeomorphology*, 4(12), 153-177.
- [16] Hatami, F., and Parvizi, M., (2014). Investigating the impact of groundwater level reduction on land settlement (case study: Arsanjan Plain), the 4th National Conference on New Materials and Structures in Civil Engineering, University of Yasouj.
- [17] Howladar, M. F., Al Numanbakth, M., and Faruque, M. O. (2018). An application of Water Quality Index (WQI) and multivariate statistics to evaluate the water quality around Maddhapara Granite Mining Industrial Area, Dinajpur, Bangladesh. *Environmental Systems Research*, 6(1), 1-18.
- [18] Isaak, E. H., and Serivaster, R. M. (1989). *An Introduction to Applied Geostatistical*, 561p. Oxford: Oxford University Press.
- [19] Johnston, K., VerHoef, J. M., Krivoruchko, K., and Lucas, N. (2001). *Using ArcGIS geostatistical analyst* (Vol. 380). Redlands: Esri.
- [20] Khaleghi, Fazel, and Mosayebzadeh, Naser, (2022). Hydro chemical study of water wells in Bonab and Malekan cities with the aim of evaluating groundwater quality, an environmental geology approach. *Hydrogeology*, 6(2):52-66. doi: 10.22034/HYDRO.2022.12701.
- [21] Kitanidis, P. K. (1997). *Introduction to geo-statistics: applications in hydrogeology*. Cambridge university press.
- [22] Li, D. and Sh. Liu. 2019. *Water Quality Monitoring and Management: Basis, Technology and Case Studies*, Chapter 11-Groundwater Quality Detection. 269-302.
- [23] Li, J., and Heap, A. D. (2014). Spatial interpolation methods applied in the environmental sciences: A review. *Environmental Modelling and Software*, 53, 173-189.
- [24] Lindsay, E. (2004). The Lindsay Leg Club® Model: a model for evidence-based leg ulcer management. *British journal of community nursing*, 9(Sup2), 15-20.
- [25] Maghami, Y., Ghazavi, R., Vali, A. A. and Sharafi, S. (2011). Evaluation of Spatial Interpolation Methods for Water Quality Zoning Using GIS Case Study, Abadeh Township. *Geography and Environmental Planning*, 22(2):171-82.
- [26] Malekian, A., Razandi, Y., Kalighi, S., and Farokhzadeh, B. (2016). Assessment of temporal and spatial changes of groundwater quality using hybrid Boolean, Fuzzy and Geostatistical (Case study: Varamin plain). *Applied Field Crops Research*, 29(1), 126-135.
- [27] Meshram, S. G., and Sharma, S. K. (2017). Prioritization of watershed through morphometric parameters: a PCA-based approach. *Applied Water Science*, 7(3), 1505-1519.
- [28] Mohammadyari, F., Aghdar, H., and Basiri, R. (2017). Zoning groundwater quality for drinking using geo-statistical methods Case Study: Arid Regions in Mehran and Dehloran. *Scientific- Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR)*, 26(101), 199-208. doi: 10.22131/sepehr.2017.25737.
- [29] Mousavi, A., Solaimani, K., Shokrian, F., and Roshan, S. (2020). Investigation of spatio-temporal variation in groundwater resource quality using geo-statistical methods (Case Study: Lordegan Plain, Chaharmahal and Bakhteyari Province). *Irrigation and Water Engineering*, 10(3), 262-275. doi: 10.22125/iwe.2020.107108.
- [30] Nadiri, A., Shakur, S., Asghari Moghadam, A., and Vadiati, M. (2015). Investigation of Groundwater Nitrate Pollution with Different Interpolation Methods (Case Study: East Azarbayjan, Bilverdy Plain). *Hydrogeomorphology*, 1(1), 75-92.
- [31] Najafpour, N., TorabiPudeh, H., and Yonesi, H. A. (2018). Evaluation of GIS and interpolation methods in determination of spatial distribution and classified groundwater quality. *Iran-Water Resources Research*, 14(1), 257-262.
- [32] Pirzadeh, B., and Asvar, T. (2020). Determining Spatial and Temporal Variations of Groundwater Quality Parameters Using GIS and Interpolation Methods (Case Study: Sirjan Plain). *Irrigation and Water Engineering*, 11(2), 266-275. doi: 10.22125/iwe.2020.120736.

- [33] Ren, X., Peiyue, L., Xiaodong, H., Fengmei, S., and Vetrinmurugan, E. (2020). Hydrogeochemical processes affecting groundwater chemistry in the central part of the guanzhong basin, china. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 80:1 80(1):74–91. doi: 10.1007/S00244-020-00772-5.
- [34] Rodrigues, M. S., Alves, D. C., de Souza, V. C., de Melo, A. C., and do Nascimento Lima, A. M. (2018). Spatial interpolation techniques for site-specific irrigation management in a mango orchard. *Comunicata Scientiae*, 9(1), 93-101.
- [35] Roodgar Iraee, R., Gholami Sefidkohi, M. A., and Palangi, J. A. (2019). Comparison of Deterministic and Geomorphic Methods for Determining Spatial Variations of Nitrate in Ghaemshahr-Juybar Plan. *Journal of Watershed Management Research*, 10(20), 158-167.
- [36] Sadeghfam, S., Hassanzadeh, Y., Nadiri, A. A., and Khatibi, R. (2016). Mapping groundwater potential field using catastrophe fuzzy membership functions and Jenks optimization method: a case study of Maragheh-Bonab plain, Iran. *Environmental Earth Sciences*, 75(7), 1-19.
- [37] Salam, M. A., Adlii, A., Eid, M. H., and Abukhadra, M. R. (2021). Effective decontamination of Ca²⁺ and Mg²⁺ hardness from groundwater using innovative muscovite based sodalite in batch and fixed-bed column studies; dynamic and equilibrium studies. *Journal of Contaminant Hydrology*, 241, 103817.
- [38] Sajjadi, S., Delsouz, M., Zolfaghari, G., Mir Mohammadi, M., and Adab, H. (2019). Evaluatin of Deterministic and Geostatistics Methods for Particulate Matter Concentration (PM_{2.5} and PM₁₀) Zoning Using GIS: case study, Sabzevar City. *Journal of Environmental Science and Technology*, 21(10), 1-13. doi: 10.22034/jest.2018.22358.3143.
- [39] Salehi, H., and Zeinivand, H. (2014). Assessing groundwater quality and selection of the most appropriate spatial interpolation method (Case study: West of Marivan city, Iran). *Iranian journal of Ecohydrology*, 1(3), 153-166. doi: 10.22059/ije.2014.54218.
- [40] Salehi, H., Zeinivand, H., and Ahmadi, S. (2017). Groundwater quality assessment and selecting the most appropriate interpolation method using GIS (Case study: Saghez city, Iran). *Journal of wetland ecobiology* 9(32), 5-18.
- [41] Selvam, S., Jesuraja, K., Venkatramanan, S., Chung, S. Y., Roy, P. D., Muthukumar, P., and Kumar, M. (2020). Imprints of pandemic lockdown on subsurface water quality in the coastal industrial city of Tuticorin, South India: A revival perspective. *Science of the Total Environment*, 738, 139848.
- [42] Selvam, S., Manimaran, G., Sivasubramanian, P., Balasubramanian, N., and Seshunarayana, T. (2014). GIS-based Evaluation of Water Quality Index of groundwater resources around Tuticorin coastal city, south India. *Environmental Earth Sciences*, 71(6), 2847–2867. <https://doi.org/10.1007/s12665-013-2662-y>.
- [43] ShewikLou, A.R., (2018). Analyses of sensory evaluation data using Principal Component Analysis (PCA). *FSCT*. 2018; 15 (80) :361-377, URL: <http://fsct.modares.ac.ir/article-7-20344-en.html>
- [44] Tabandeh, S. M., Kholghi, M., and Hosseini, S. A. (2020). Comparison of Interpolation Methods for Groundwater Quality Assessment Based on Hydrogeological Characteristics of Shallow Aquifers (Case Study: Babol-Amol Aquifer). *Iranian Journal of Soil and Water Research*.
- [45] Tabatabaei, S. H., and Ghazali, M. (2011). Accuracy of interpolation methods in estimating the groundwater level (case study: Farsan-Jooneghan and Sefiddasht aquifers). *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*, 15(57 (B)), 11-22.
- [46] Teimouri, M., and Asadi Nalivan, O. (2021). Assessing the impact of land use and geology on groundwater quality using multivariate statistical models and geostatistical analyses (Case Study: Part of the Hable-Rood River Basin). *Hydrogeomorphology*, 7(25), 38-19. doi: 10.22034/hyd.2021.10944.
- [47] Umana, I. M., Neji, P. A., and Agwupuye, J. A. (2022). Assessment of underground water quality in Okobo local government area of Akwa Ibom State, Nigeria. *Applied Water Science*, 12(5), 1-12.
- [48] Vijith, H., and Satheesh, R. (2007). Geographical Information System based assessment of spatiotemporal characteristics of groundwater quality of upland sub-watersheds of Meenachil River, parts of Western Ghats, Kottayam District, Kerala, India. *Environmental Geology*, 53(1), 1-9.

- [49] Wu, J., Li, P., Wang, D., Ren, X., and Wei, M. (2019). Statistical and multivariate statistical techniques to trace the sources and affecting factors of groundwater pollution in a rapidly growing city on the Chinese Loess Plateau. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*.
- [50] Xiang, W., Zhang, R., Liu, G., Wang, X., Mao, W., Zhang, B., Cai, J., Bao, J., and Fu, Y. (2022). Extraction and analysis of saline soil deformation in the Qarhan Salt Lake region (in Qinghai, China) by the sentinel SBAS-InSAR technique. *Geodesy and Geodynamics*, 13(2), 127–137.
- [51] Zare Chahuki, M.A. (2010). *Data analysis in natural resources research using SPSS software*. First edition. Jahad University press. 309 P.
- [52] Zhou, Y., Li, P., Xue, L., Dong, Z., and Li, D. (2020). Solute geochemistry and groundwater quality for drinking and irrigation purposes: a case study in Xinle City, North China. *Geochemistry*, 80(4), 125609.
- [53] Zolekar, R. B., Todmal, R. S., Bhagat, V. S., Bhailume, S. A., Korade, M. S., and Das, S. (2020). Hydro-chemical characterization and geospatial analysis of groundwater for drinking and agricultural usage in Nashik district in Maharashtra, India. *Environment, Development and Sustainability* 2020 23:3, 23(3), 4433–4452.

Factor analysis and zoning of qualitative parameters of groundwater resources in Arsanjan Plain, Fars Province

- ❖ **Bahman Kavari**; Ph.D candidate, Natural Resources Department, Qeshm University Campus, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran.
- ❖ **Yahya Esmaeilpour***; Assistant Professor, Department of Natural Resources Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran.
- ❖ **Ali Akbar Mousavi**; Associate Professor, Soil Science Department, Agricultural College, Shiraz University, Shiraz, Iran.
- ❖ **Omolbanin Bazrafshan**; Associate Professor, Department of Natural Resources Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran.
- ❖ **Arashk Holisaz**; Assistant Professor, Department of Natural Resources Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran.

Abstract

The main source of water in the Arsanjan plain is underground water, which has been exploited in the past with Aqueduct and now with numerous wells. For knowing about the quality conditions of these sources; multivariate statistical analysis and interpolation methods were used in three years with different rainfall. Factor analysis determined the key indicators of underground water quality and mapping was done with interpolation methods. The maps were classified using the Jenks optimization method of classification and the area of each class in each year calculated. Based on the results of factor analysis, EC, TH and Sodium concentration were selected with factor loadings of 0.843, 0.889 and 0.991, respectively. The RBF interpolation method for the sodium parameter was suitable in all three years of the study. For parameters of EC and TH, RBF-MQ method and LIP method had the least error in 2014 and 2015. Mapping spatial changes of the three mentioned parameters showed that in 2015, when the rainfall was lower than the average, the area of the regions with low values decreased. Due to the quantity and quality of its changes, sodium concentration parameter has a good potential to be used as an indicator of changes of the quality of underground water in response to climatic or management factors. In general, it is suggested that in assessment of the groundwater quality of Arsanjan Plain, the proximity factor to Bakhtegan Salt Lake, in addition to factors related to climate and watershed, should be considered.

Keywords: Total Hardness, Sodium Concentration, Electrical Conductivity, Interpolation, Kriging