

ارزیابی کیفیت آبهای زیرزمینی با استفاده از شبیه AqQA و تعیین مناسبترین روش پهنه بندی (مطالعه‌ی موردی: شهرستان قروه، استان کردستان)

حسین صالحی^{۱*}، لیلا سلیمانی^۲، شیرکو ابراهیمی محمدی^۳

چکیده

کمیت و کیفیت آب جزء اصول توسعه‌ی پایدار و مدیریت جامع حوضه‌ها به شمار می‌رود، بخصوص آبهای زیرزمینی، که از دیرباز به علت کیفیت مناسب نسبت به آبهای سطحی مورد توجه و بهره‌برداری بیشتر ب وسیله‌ی بشر قرار گرفته‌اند. در این مطالعه، به منظور بررسی کیفیت آب دشت قروه، ۱۸۱۶ داده‌ی کیفیت آب، که توسط شرکت آب منطقه‌ای استان کردستان از ۴۵ چاه منطقه بین سالهای ۱۳۶۳ تا ۱۳۹۱ جمع‌آوری شده بودند، توسط نرم افزار AqQA مورد تجزیه و تحلیل، و به کمک نمودارهای پایپر، شولر، ویلکوکس، گیس، درو و استیف مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفتند، سپس به وسیله‌ی سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS)، مناسبترین روش درون‌یابی جهت پهنه‌بندی کیفیت آب از میان روشهای وزن‌دهی عکس فاصله (IDW) با توانهای ۱، ۲ و ۳، تابع شعاعی (RBF)، تخمین‌گر عام (GPI)، تخمین‌گر موضعی (LPI) و روش کریجینگ انتخاب گردیدند. نتایج تجزیه و تحلیل کیفی آب بر اساس نمودار پایپر نشان دادند که منطقه‌ی مورد مطالعه دارای رخساره‌ی Ca-HCO_3 بوده و در گروه آبهای شیرین قرار می‌گیرد، تفسیر نمودار درو نیز نشان داد که میزان املاح محلول در آب منطقه کمتر از ۵۵۰ میلی‌گرم در لیتر بود، که نشان از کم بودن املاح دارد. همچنین، نتایج نشان دادند که میزان شوری در منطقه‌ی مورد مطالعه در حد مناسب بوده و میزان خطر منیزیم نیز کم است. بر اساس نتایج حاصله از مقایسه‌ی روشهای مختلف درون‌یابی، فراسنجهای کیفیت آب، روش وزن‌دهی عکس فاصله (IDW) با توان یک برای متغیر TH و روش تخمین-گر موضعی (LPI) برای سایر پارامترهای مورد پژوهش به‌عنوان بهترین روش درون‌یابی انتخاب شدند.

کلمات کلیدی: کیفیت آبهای زیرزمینی، سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی، AqQA، شهرستان قروه.

^۱ دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشگاه لرستان، ho.salehi67@gmail.com

^۲ دانش‌آموخته کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشگاه لرستان، L.soleimani@ymail.com

^۳ استادیار گروه مهندسی مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کردستان، shirkoebrahimi@uok.ac.ir

مقدمه

معیارهای هدایت الکتریکی (EC^4) و سدیم با یکی از معیارهای نسبت جذب سدیم (SAR^5) یا درصد سدیم محلول (SSP^6) و یا درصد سدیم قابل تبادل (ESP^7) سنجیده می‌شود. معیارهای از پیش تعیین شده آب شرب در کشورهای مختلف، بسته به شرایط اقتصادی، اقلیمی، غذایی و جغرافیایی متفاوتند. در این راستا، به‌کارگیری سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی (GIS^8)، به‌عنوان ابزاری برای ارائه‌ی تصویری صحیح از وضعیت کیفی منابع آب امری ضروری می‌نماید تا به‌کمک آن بتوان هرگونه تصمیم‌گیری مدیریتی را، که آثار محیط زیستی آن به صورت مستقیم و یا غیرمستقیم متوجه حوضه‌ی آبخیز است با آگاهی بیشتری اتخاذ کرد. سامانه اطلاعات جغرافیایی کاربرد فراوانی در پایش و طبقه‌بندی کیفی آب حوضه‌ها داشته، و توانایی تحلیل و بررسی اطلاعات در حجم زیاد را فراهم می‌نماید. در این سامانه، با تعیین مراکز مهم جمعیتی، صنعتی و کشاورزی و تخمین بار آلودگی و ترکیب آن با سایر اطلاعات، می‌توان طرحهای مدیریتی مفیدتری را ارائه کرد. علاوه بر این، به کمک این ابزار امکان دستیابی به روابط دقیقتر برای ارتباط میان پارامترهای کیفی منابع آب و فراسنجهای مؤثر در حوضه وجود دارد (عسکری مارنانی و همکاران، ۲۰۰۱). استفاده از روش‌های ترسیمی مانند نمودارهای پاپیر و شولر و ویلکوکس برای بررسی وضعیت کیفی آبهای سطحی و زیرزمینی یکی از روشهای کاربردی بوده که در مطالعات مختلف مورد استفاده قرار گرفته اند. به‌طور مثال (ناصری و همکاران، ۱۳۸۹)، در بررسی شیمی آب و زمین و تراز حوضه آبخیز دامنه‌ی سهند با استفاده از ترسیم نمودار پاپیر در کلیه‌ی نواحی منطقه، گونه‌ی آب زیرزمینی را از نوع کلسیم/سدیم بی‌کربناته معرفی کردند. همچنین، کیفیت آب زیرزمینی را از نظر شرب و کشاورزی، خوب اعلام نمودند. (صالحی و همکاران، ۱۳۹۳) با ارزیابی تغییرات کیفیت آب در رود کشکان پل دختر استان لرستان به این نتیجه رسیدند که کیفیت آب رود مورد مطالعه در حد متوسط برای نوشیدن و کشاورزی بوده است. خمر و همکاران (۱۳۹۰)، در بررسی کیفیت منابع

همزمان با پیشرفت تمدنها، استفاده از آب شکل تازه‌ای به خود گرفت، بطوری که در بسیاری از زمینه‌ها، از کشاورزی تا صنعت و از همه مهمتر تولید کارمایه، از آب استفاده شده، و امروزه دسترسی به آب کافی و باکیفیت مناسب در زمان و مکان مناسب اهمیت زیادی داشته و هر گونه کمبود آب را مانعی در جهت توسعه‌ی پایدار می‌دانند. رشد سریع، جمعیت و متناسب با آن نیاز فزاینده به منابع آبی، موجب بهره‌برداری بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی، و در نتیجه بر هم خوردن تعادل طبیعی آن شده و تراز آب در آبخوانهای بسیاری از نقاط دنیا منفی شده است. اعمال نا مدیریت در دشتهای باعث بروز مشکلات ناشی از افت آب و یا اثرات ناشی از استفاده‌های غیر بهینه از این منابع گردیده است. با اعمال روشهای مدیریتی مناسب در استفاده از منابع آب موجود، علاوه بر این که می‌توان مخارج سنگین توسعه و بهره‌برداری از آنها را کاست، میزان استفاده از این منابع را نیز می‌توان بهینه کرد (نخعی، ۱۳۹۱). در مدیریت یکپارچه آب، حفظ کیفیت آب بویژه در مناطقی که با محدودیت نسبی منابع آب مواجهند، به عنوان یکی از ارکان برنامه‌ریزی مطرح است (فرید گیگلو و همکاران، ۱۳۹۲). در بسیاری از موارد، آلودگی آبهای زیرزمینی بعد از آلوده شدن چاههای آب شرب شناسایی می‌شوند. رفع آلودگی آب زیرزمینی بسیار پر هزینه بوده و فرآیند آن طولانی است و اغلب زمانی آلودگی تشخیص داده می‌شود که رفع آلودگی آبخوان تقریباً غیرممکن است (خدایی و همکاران، ۱۳۸۵). آلودگی آب در دهه‌های اخیر به تهدیدی جدی و در حال گسترش برای جامعه انسانی و زیست‌بومهای طبیعی تبدیل شده است، بطوری که برای مثال، هر ساله ۲۵ میلیون نفر در کشورهای فقیر بر اثر آلودگی آب از بین می‌روند (فریادی و همکاران، ۱۳۹۱). این موضوع ضرورت درک بهتر از تغییرات آلودگی سامانه‌های آبی را افزایش می‌دهد (بو و همکاران، ۲۰۱۰؛ مصدق، ۲۰۰۳). مهمترین معیارهای کیفی در طبقه‌بندی آب از نظر کشاورزی، شوری و مقدار سدیم موجود در آن است، زیرا این دو، نه تنها بر رشد گیاه موثرند، بلکه آب را از نظر آبیاری و تأثیر آن بر نفوذپذیری خاک مشخص می‌سازند. شوری با

⁴ electrical conductivity

⁵ Sodium absorption ratio

⁶ soluble sodium percentage

⁷ exchangeable sodium percentage

⁸ geographic information system

در نهایت با کاربرد سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی با استفاده از مناسبترین روش درون‌یابی پهنه‌بندی می‌شود.

مواد و روشها

منطقه‌ی مورد مطالعه

شهرستان قروه در دشت وسیعی در ۹۳ کیلومتری شرق سنندج، و ۷۲ کیلومتری شمال غربی همدان قرار دارد. این شهرستان با مساحت ۴۶۲۸ کیلومترمربع بین ۴۷ درجه و ۴۸ دقیقه طول جغرافیایی و ۳۵ درجه و ۱۰ دقیقه عرض جغرافیایی، واقع شده است (شکل ۱). ارتفاع شهرستان قروه از سطح دریا ۱۹۰۰ متر بوده و همین ارتفاع زیاد، آب و هوای خاصی را در منطقه ایجاد کرده، که دارای زمستان بسیار سرد با برفهای سنگین، و تابستان نسبتاً خنک با وزش باد همیشگی است. به علت گرم و خشک بودن اندازه‌ی رطوبت هوا کم و بارانهای بهاری و پاییزی متوسط است. میانگین دامنه‌ی بارندگی سالانه آن حدود ۲۵۰ تا ۳۵۰ میلی‌متر است.

منابع آب این شهرستان عبارت‌اند از ۳۳۴۳ حلقه چاه، ۱۸۷ رشته قنات، ۵۴۲ چشمه با میزان آبدهی سالانه‌ی ۳۷۹۶۷۴ میلیون مترمکعب و رود قزل‌اوزن که سرشاخه‌های آن با آبدهی ۵۳/۸۵۶ میلیون مترمکعب. در سال ۱۳۸۳، حجم آبهای زیرزمینی در شهرستان قروه، ۹۲۳ میلیون مترمکعب بوده، همچنین کل منابع آبهای سطحی در این شهرستان ۳۴۷ میلیون مترمکعب می‌باشد که حدود ۵۳/۸۵۶ میلیون مترمکعب از آنها در سال ۱۳۸۳ برداشت شده است (شرکت آب منطقه‌ای کردستان).

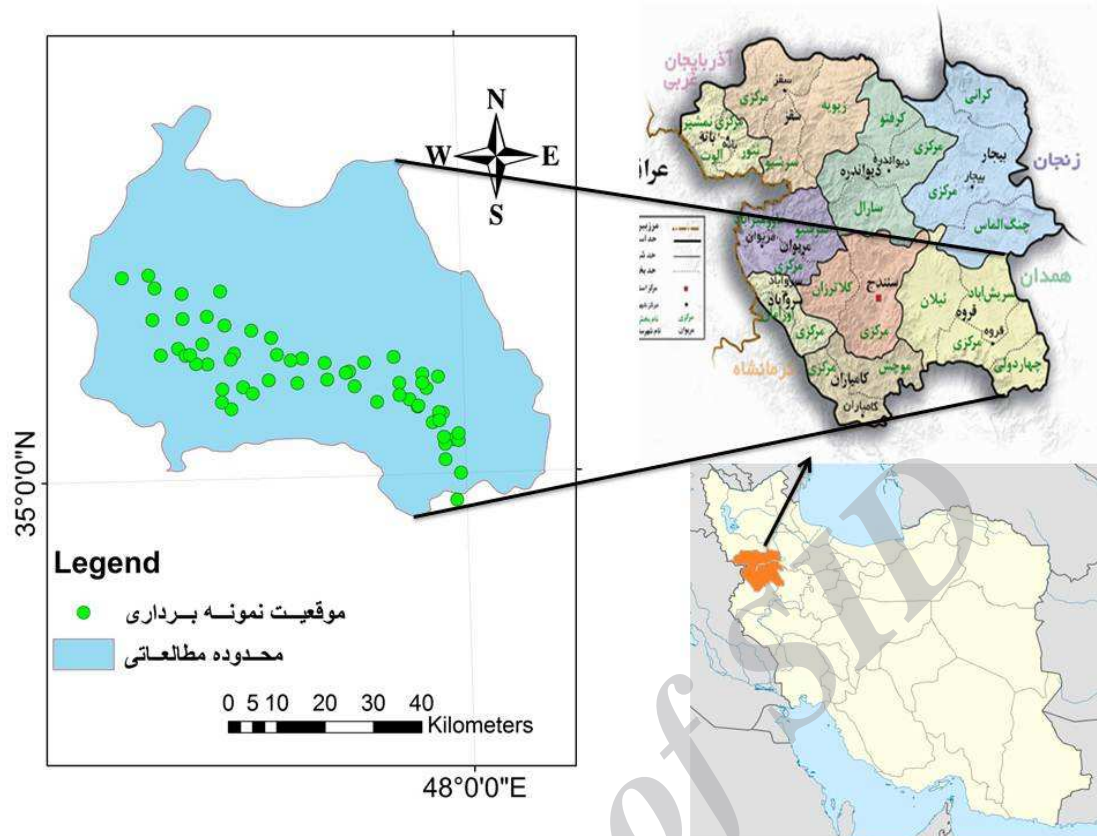
روش کار

در این مطالعه، به منظور بررسی کیفیت آب دشت قروه، ۱۸۱۶ داده مربوط به فراسنجهای شیمیایی کیفیت آب شامل بی‌کربنات (HCO_3)، سولفات (SO_4)، کلر (Cl)، سختی (TH)، کل املاح محلول (TDS)، نسبت جذب سدیم (SAR)، هدایت الکتریکی (EC)، درصد سدیم ($\text{Na}\%$)، پتاسیم (K)، سدیم (Na)، منیزیم (Mg)، کلسیم (Ca) و pH در ۴۵ ایستگاه منطقه (چاه) مورد مطالعه بین سالهای ۱۳۶۳ تا ۱۳۹۱ از شرکت

آب را در منطقه‌ی معدنی کوه زر در غرب تربت‌حیدریه، پس از اندازه‌گیری کاتیونها و آنیونها نمونه‌های آب برداشت‌شده از منابع زیرزمینی، گونه‌ی آب منطقه را بر اساس نمودارهای شولر و ویلکوکس، از نظر شرب و کشاورزی نامناسب معرفی نمودند. (یتیک و همکاران، ۲۰۰۹) شبیهی را در محیط برنامه‌ی MATLAB و بر پایه‌ی GIS جهت بررسی کیفیت آب ارائه کرده‌اند. این شبیه با قابلیت نمایشهای گرافیکی قوی در محیط نرم‌افزار ArcMap با ورود داده‌های کیفیت آب، قادر به پیش‌بینی تغییرات کیفیت آب منطقه است. ماسامبا و مازیمای (۲۰۰۸)، با بررسی کیفیت آب رود تامالاکان در جمهوری بوتسوانا در جنوب آفریقا، دریافتند که نیترژن، pH^9 و اکسیژن محلول آب تحت تأثیر فعالیت‌های مختلف انسانی افزایش داشته است. از طرفی، نرم‌افزار AqQA با قابلیت انجام شش آزمون یکنواختی داده‌ها بر اساس روشهای معیار AWWA 1030-E و ترسیم ۱۱ نوع نگاره، سری‌های زمانی، نمودارهای شولر، تعادل یونی، دررو، پایپر، استیف و همچنین محاسبه‌ی تعادل کربنات، TDS^{10} ، چگالی و قابلیت هدایت الکتریکی، و دارا بودن دویست نوع تحلیل از پیش تعیین‌شده آلی، غیرآلی، زیستی، ایزوتوپ‌ها و پرتوزا ابزار بسیار جدید و مناسبی برای تجزیه و تحلیل و بررسی کیفیت آب است که در مطالعات جدید از آن استفاده شده است. به‌عنوان نمونه، سلطانی و همکاران (۲۰۱۴) با استفاده از این نرم‌افزار کیفیت آب رود قره‌سو را در دو ترسالی و خشکسالی مقایسه نموده و نتیجه گرفتند که کیفیت آب این رود در دوره‌ی خشکسالی نسبت به ترسالی افت می‌نماید. ساپا و همکاران (۲۰۱۴) به بررسی کیفیت آب در جهت آبیاری و نوشیدن را با استفاده از نرم‌افزار AqQA در ایتالیا اقدام نمودند که نتایج حاصل مناسب بودن کیفیت آب را جهت شرب و آبیاری نشان داد. همچنین، پریا (۲۰۱۳) با استفاده از این شبیه کیفیت آب را آبیاری در هند مورد بررسی قرار داد که نتایج مناسب بودن کیفیت آب منطقه مورد مطالعه را تایید کرد. هدف از مطالعه‌ی حاضر، ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی دشت قروه با کاربرد روشهای ترسیمی موجود در نرم‌افزار AqQA است که

⁹ Power of Hydrogen

¹⁰ Total dissolved solids



شکل ۱- موقعیت منطقه ی مورد مطالعه.

نمودار استیف از ۴ محور افقی موازی تشکیل شده که یک محور عمودی با ارزش صفر آنها را قطع می کند. مقادیر هر کدام از آنیونها و کاتیونها اصلی بر حسب میلی اکی والانت بر لیتر بر روی یکی از محورهای افقی نمایش داده می شوند، سطح این نمودارها نیز نماینده ی مقدار کل مواد جامد محلول می باشد (هانسلو، ۱۹۹۵). بدین طریق، این نمودار امکان مقایسه ی کل آنیونها و کاتیونها را نیز فراهم می کند استیف (۱۹۵۱).

نمودار نیمه لگاریتمی شولر:

نمودار نیمه لگاریتمی شولر جهت نمایش یونها اصلی بر حسب میلی اکی والانت بر لیتر، و برای نمایش اختلاف شیمیایی نمونه ها در یک نمودار به کار می رود. در گزارشهای آبشناسی برای طبقه بندی آب از نظر شرب معمولاً از نمودار شولر استفاده می شود. در این مطالعه نیز از این نمودار جهت ارزیابی کیفیت آب از نظر آشامیدن استفاده شده است. شولر (۱۹۶۴). معیارهای کیفیت آب

آب منطقه ای استان کردستان دریافت و با کاربرد نرم افزار AqQA مورد تجزیه و تحلیل تحلیل واقع شدند. نمودارهای پایپر، شولر، ویلکوکس، گیبس، دررو و استیف برای تحلیل کیفی سالهای آماری ترسیم و مورد بررسی قرار گرفتند.

نمودارهای مورد استفاده

نمودار گیبس:

برای تعیین تأثیر تبخیر - تعرق بر کیفیت آب منطقه مورد مطالعه گرفت گیبس (۱۹۷۰).

نمودار دررو:

برای تعیین نوع و منشأ آب زیرزمینی که اساس آن مقادیر کاتیونها و آنیونها عمده آب بر حسب درصد است دررو (۱۹۵۹).

نمودار استیف:

از این نمودار جهت ارزیابی تغییرات کیفی آب در یک مکان و در یک دوره استفاده می شود (آرودسون، ۲۰۰۶)

پنجه، که تقریباً در مرکز منطقه‌ی مورد مطالعه قرار دارد، به عنوان گروه شاهد منظور گردید و از نظر میزان فراسنجهای مربوطه با تک تک دستگاهها مقایسه آماری شد.

آزمونهای مورد استفاده

آزمون تحلیل واریانس (ANOVA):

برای مقایسه‌ی میانگین دو یا چند جامعه (یعنی تاثیر یک متغیر مستقل گروه بندی بر یک متغیر کمی وابسته) از این آزمون استفاده می‌شود. در این آزمون نیز باید متغیر وابسته‌ی کمی و متغیر مستقل گروه بندی (factor) دارای سطوح محدودی باشد (بصیری، ۱۳۹۱).

آزمون مقایسه میانگین (LSD):

یکی از پرکاربردترین آزمونها در مقایسه‌ی میانگینها آزمون LSD می‌باشد. در این روش می‌خواهیم فرض $H_0: \mu_i = \mu_j$ را برای تمام $i \neq j$ آزمون نماییم. چنانچه اختلاف میانگین بین دو گروه (تیمار) بیش از مقدار ثابت LSD باشد، به معنی اختلاف معنی دار بین دو گروه است. برای اجرای این آزمون توجه به دو نکته دارای اهمیت است؛ اول آن که این آزمون بهتر است در زمانی استفاده شود که مقدار آماده‌ی F در جدول تحلیل واریانس معنی دار شده، و دوم تعداد گروهها زیاد نباشد (بصیری، ۱۳۹۱).

در ادامه با کاربرد روشهای مختلف درون‌یابی در محیط GIS، آبهای زیرزمینی منطقه مورد مطالعه بر اساس فراسنجهای مختلف کیفیت آب، توزیع و پهنه‌بندی گردیدند، که جهت مقایسه روشهای مختلف درون‌یابی و انتخاب بهترین روش پهنه‌بندی، معیار جذر میانگین مربعات خطا ($RMSE^{15}$) ملاک عمل قرار گرفت.

آشامیدنی طبق نظر شولر در جدول (۲) قابل مشاهده است

جدول ۲ - معیارهای کیفیت آب آشامیدنی طبق نظر

شولر (میلی گرم بر لیتر).

کیفیت	Na+	Cl-	SO4	TDS	TH
خوب	<115	<175	<145	500<	250
قابل-	115-	175-	145-	1000	500-
متوسط	230-	350-	280-	2000	100
نامناسب	460-	700-	580-	4000	200
کاملاً	920-	1400-	1150-	8000	400
غیر قابل	>184	>280	>2240	8000	400

نمودار ویلکوکس:

از این نمودار نیز برای تعیین کیفیت آب کشاورزی استفاده شد طبقه‌بندی کیفیت آب برای استفاده در آبیاری با کاربرد نمودار ویلکوکس بر مبنای نسبت جذبی سدیم و هدایت الکتریکی صورت می‌گیرد. (ویلکوکس، ۱۹۵۵)، رده‌های مختلف آب و نوع کیفیت بر اساس تقسیم‌بندی ویلکوکس در جدول ۳، نشان داده شده‌اند.

نمودار پایپر:

یکی از روشهای متداول در تعیین گونه‌ی (رخساره آب شیمیایی)، استفاده از نمودار پایپر است پایپر (۱۹۴۴). بر اساس نمودار پایپر ۸ رخساره شیمیایی زیر قابل تشخیص‌اند.

Na-HCO3-Cl	Ca-Mg-HCO3-Cl	Na-HCO3	Ca-Mg-HCO3
Na-Cl	Ca-Mg-Cl	Na-Cl-HCO3	Ca-Mg-Cl-HCO3

این ۸ رخساره می‌توانند در ۳ نوع (گونه) اصلی قرار گیرند آبهای شیرین، آبهای شورمه، آبهای ترکیبی.

تحلیل آماری

مقایسه تیمارها^{۱۱} (میانگین‌های سالانه) با کاربرد روش تجزیه و تحلیل واریانس^{۱۲} ANOVA در محیط نرم‌افزار SPSS^{۱۳} نسخه‌ی ۲۰ انجام پذیرفت و برای نشان دادن مقایسه‌ی میانگین سالانه بین ایستگاهها، آزمون^{۱۴} LSD به‌کار گرفته شد. در این آزمون، ایستگاه احمدآباد

¹¹ treatments

¹² analysis of variance

¹³ statistical package for social science

¹⁴ least significant difference

¹⁵ root mean squared error

جدول ۳- رده‌های مختلف آب و نوع کیفیت بر اساس تقسیم‌بندی ویلکوکس (singhal, 1999).

کیفیت آب	EC میکروزیمنس برسانتی متر	رده	SAR	رده
عالی	250>EC	C1	10>SAR	S1
خوب	750>EC>250	C2	18>SAR>10	S2
متوسط	2250>EC>750	C3	26>SAR>18	S3
نامناسب	2250>EC	C4	26<SAR	S4

از نقطه ی برآوردی کاهش داده، و توانهای کوچکتر وزنها را بطور یکنواختتری بین نقاط هم‌جوار توزیع می‌کند (ایسکاس و سریوستاوا، 1989). البته این روش بدون توجه به موقعیت و آرایش نقاط، فقط فاصله ی آنها را در نظر می‌گیرد، یعنی نقاطی که دارای فاصله ی یکسانی از نقطه برآورد هستند دارای وزن یکسانی می‌باشند. مقدار عامل وزنی با استفاده از رابطه ی زیر محاسبه می‌گردد:

$$Y_i = \frac{D_i - a}{\sum_{i=1}^n D_i - a}$$

که در آن، Y_i : وزن ایستگاه i ام، D_i : فاصله ایستگاه i ام تا ایستگاه مجهول، a : توان وزن دهی است.

روش تخمین گر موضعی (LPI۱۷):

روشی سریع با دقتی کمتر و ایجادکننده ی سطحی صاف است. این روش نسبت به روش کریجینگ بهتر عمل کرده و انعطاف‌پذیری کمی در ایجاد نقشه‌ها دارد. پیشنهاد می‌شود از این روش در مناطق کوچک، که تغییرات و یا نقاط نمونه در آن کم است، استفاده شود فان و گیلِس (۱۹۹۶).

روش تخمین گر عام (GPI۱۸):

یک سطح با روند تغییرات آرام و نظم پایین ایجاد می‌کند که برای بعضی از فرایندهای فیزیکی، مانند آلودگی و جهت حرکت باد، مناسب است. که پیشنهاد می‌شود از روش تخمینگر عام، هنگامی که تغییرات از منطقه‌ای به منطقه‌ی دیگر به آرامی باشد، مانند بررسی آلودگی در یک منطقه ی صنعتی، و یا بررسیهایی در یک

روشهای درون‌یابی مکانی

روش کریجینگ:

امروزه بطور وسیعی از روشهای درون‌یابی مکانی برای پیش‌بینی و تعیین تغییرات مکانی کیفیت منابع آبی استفاده می‌شود. کریجینگ عبارت از یک روش برآورد زمین‌آماری است که بر پایه ی میانگین متحرک وزن‌دار استوار می‌باشد، بطوری که می‌توان گفت بهترین برآوردکننده ی خطی ناریب است. این برآوردکننده به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$Z^*(x) = \sum_{i=1}^n Y_i Z(x_i)$$

که در آن $Z^*(x)$ عیار برآوردی، Y_i : وزن یا اهمیت کمیت وابسته به نمونه i ام و $Z(x_i)$: مقدار متغیر اندازه-گیری شده است. این نوع کریجینگ را کریجینگ خطی می‌نامند زیرا ترکیب خطی از n داده‌است؛ شرط استفاده از این برآورده‌کننده آن است که متغیر Z دارای توزیع بهنجار باشد؛ در غیر این صورت، یا باید از کریجینگ غیرخطی استفاده کرد، و یا این که به نحوی توزیع متغیرها را به بهنجار تبدیل نمود. در این مقاله از روش خطی استفاده شده است.

روش وزن‌دهی عکس فاصله (IDW۱۶):

در روش وزن‌دهی عکس فاصله، برای هر یک از نقاط، وزنی بر اساس فاصله ی بین آن نقطه ی اندازه‌گیری شده تا موقعیت نقطه ی مجهول منظور می‌گردد. نتایج این روش فقط تابع فاصله ی نقاط اندازه‌گیری شده (نمونه) است. وزن دهی‌ها به وسیله ی توان وزن‌دهی سنجیده می‌شوند، به صورتی که توانهای بزرگتر تأثیر نقاط دورتر را

¹⁷local polynomial interpolation

¹⁸global polynomial interpolation

¹⁶inverse distance weighting

تشکیل شده است. ته نشستهای رسی و جوش سنگی که معمولاً در بخش مرکزی و شمالی ناحیه مشاهده می‌شوند به صورت پادگانه‌های آبرفتی دوران چهارم با ضخامتی نه چندان زیاد در دشتهای مرتفع نمایان بوده، و در حال حاضر فعالیتهای آتشفشانی در این ناحیه وجود ندارد؛ اثرات کوهزایی بیشتر به صورت ایجاد چشمه‌های آب در حوالی آتشفشانهای خاموش قروه و بیجار خود را نشان می‌دهند.

جهت بررسی نوع و منشأ آب منطقه مورد مطالعه از نمودار دررو استفاده شد (شکل ۵) که اساس آن درصد مقادیر کاتیونها و آنیونهای عمده ی آب است. همان‌طور که سیر تکاملی نمودار نشان می‌دهد، گونه ی آب در منطقه ی مورد مطالعه از نوع کربناته و بی‌کربناته است. همچنین، مستطیل سمت راست نمودار نمایانگر میزان املاح کم آب منطقه مورد مطالعه می باشد که حد نسبتاً پایین TDS این موضوع را تصدیق می‌کند (کمتر از ۵۵۰ میلی‌گرم در لیتر). آب منطقه مورد مطالعه نیز به سمت قلیایی تمایل دارد (pH=۸/۲-۸/۰). تمرکز نمونه‌ها در نمودار پایپر (شکل ۶) نشان‌دهنده ی این مطلب است که آب منطقه مورد مطالعه در رخساره ی Ca-HCO_3 قرار گرفته که مربوط به آبهای شیرین است.

نمودار استیف، به‌عنوان نمونه برای ایستگاههای آب‌باریک، خلیل‌آباد، زاغه و سلسله، که از نظر پراکنش تمام منطقه را شامل می‌شود، رسم گردید. نمودارهای مزبور نشان داد که گونه ی غالب آب در این منطقه Ca-HCO_3 است (شکل ۷). نتایج خواص شیمیایی آب ایستگاههای منطقه ی مورد مطالعه توسط نرم‌افزار AqQA در جدول شماره ۴ آمده است، نتایج حاصل از مدل نشان داد که میزان شوری در منطقه مورد مطالعه در حد مناسب بوده، و میزان خطر منیزیم نیز کم است (کمتر از ۵۰ میلی‌اکی والان بر لیتر)، همچنین، سختی آب بیشتر از ۳۰۰ میلی-گرم بر لیتر است که در گروه آبهای با سختی بالا قرار می‌گیرد (کمتر از ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر).

منطقه ی وسیع و جهانی، مانند روشهایی که برای بررسیهای سطحی گسترده انجام می‌شود، استفاده گردد (یان، ۲۰۰۹).

روش تابع شعاعی (RBF۱۹):

در اصل نوعی خاص از روش Spline و خود دارای پنج طرز کار است. استفاده از هر کدام از این طرزهای کار بستگی به شکل خارجی زمین در محل انجام طرح داشته و جوابهای متفاوتی را می‌دهند. به منظور ارزیابی و دقت روشهای مختلف میان یابی از معیار ارزیابی ریشه ی دوم میانگین مربعات خطا (RMSE) استفاده شد.

(۳)

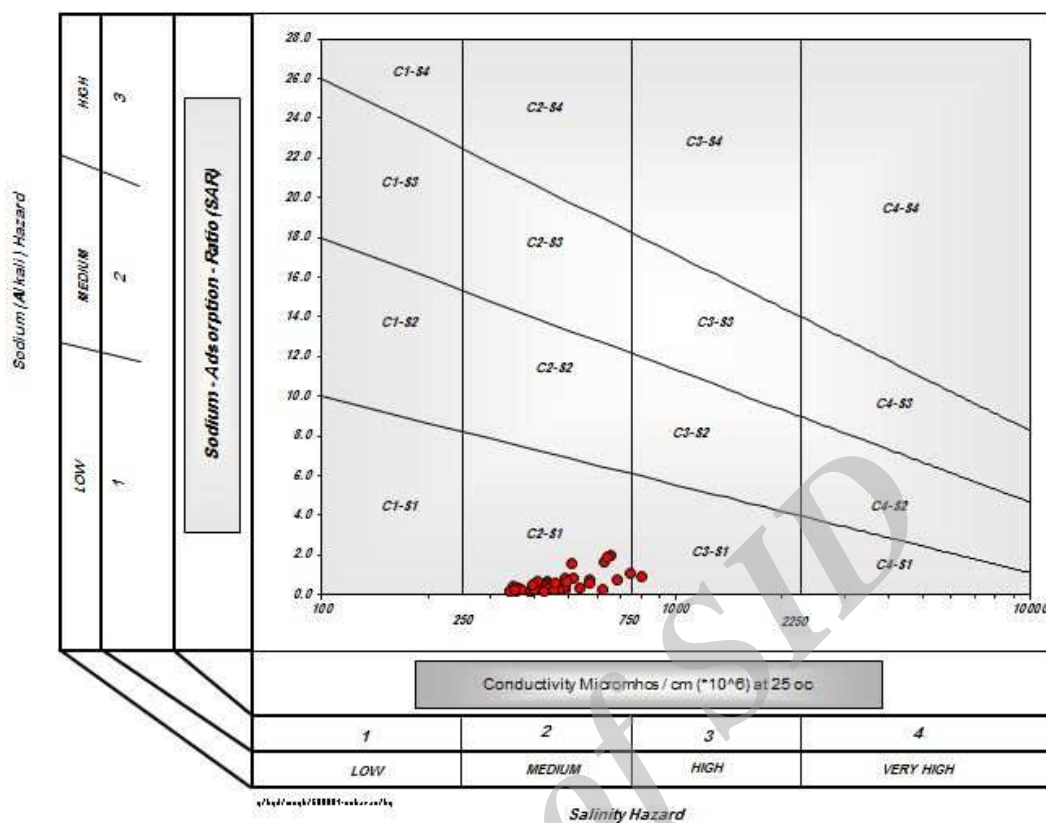
$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n [z^*(xi) - z(xi)]^2}{n}}$$

که در آن n تعداد نمونه ی مشاهداتی، $Z^*(xi)$ مقدار برآوردی برنقطه ی i ام، $Z(xi)$ مقدار مشاهداتی برنقطه ی i ام.

نتایج و بحث

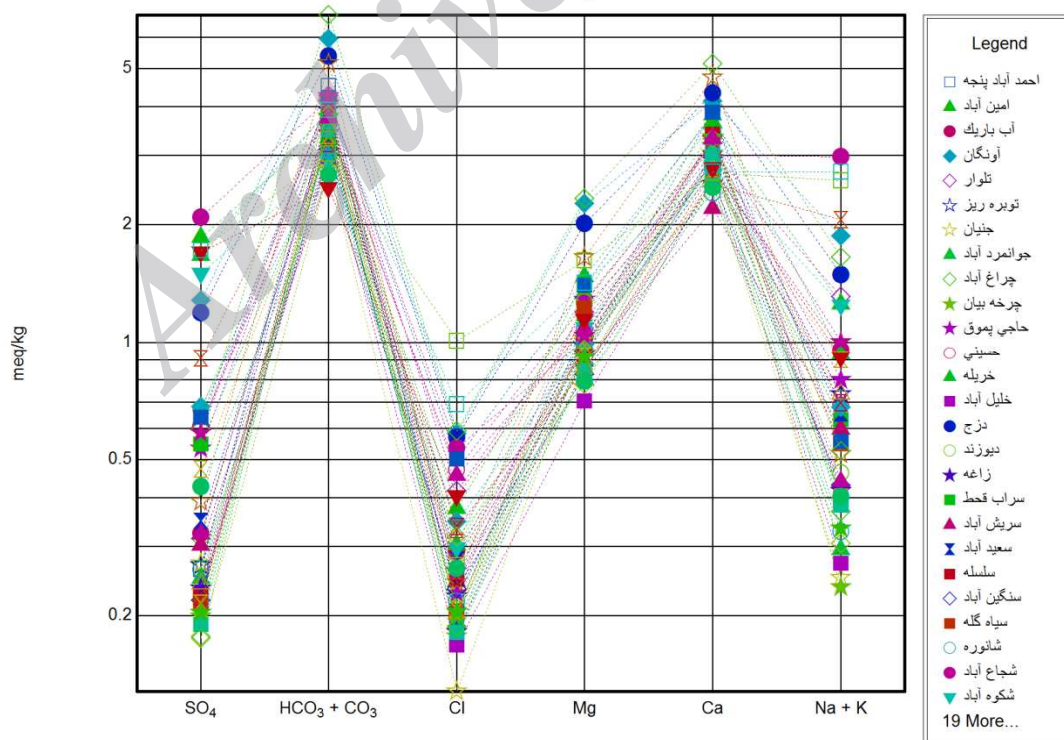
با استفاده از داده‌های به دست آمده از تحلیل کیفی آب (جدول ۱) و بعد از ارزیابی بهنجار بودن داده‌ها، با ترسیم نمودارهای پایپر، شولر، ویلکوکس، گیبس، دررو و استیف، وضعیت کیفی آب منطقه مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. طبق نمودار ویلکوکس، که برای استفاده جهت کشاورزی است، تمام ایستگاهها در ردیف آبهای خوب (C2-S1) و متوسط (C3-S1) قرار دارند (شکل ۲). بر اساس نمودار شولر، تمام نمونه‌های مربوط به آب منطقه ی مورد مطالعه در دسته ی مناسب قرار گرفته‌اند (شکل ۳). با توجه به تجمع نمونه‌ها در نمودار گیبس می‌توان نتیجه گرفت که در طول دوره ی آماری، کیفیت شیمیایی آب منطقه مورد مطالعه متأثر از سنگ بستر بوده (شکل ۴). و تحت تأثیر تبخیر - تعرق قرار ندارد. با نگاهی به زمین‌شناسی منطقه ی مورد مطالعه مشخص می‌شود که قدیمیترین ته نشستها در این ناحیه پرمین است که در بخشهای شمالی منطقه گسترش کمی داشته، و از سنگهای کربناته، دولومیت، آهک و دولومیت‌های آتش‌زنه دار، که همراه با شیست‌های کمی دگرگون شده‌اند،

¹⁹ radial basis functions

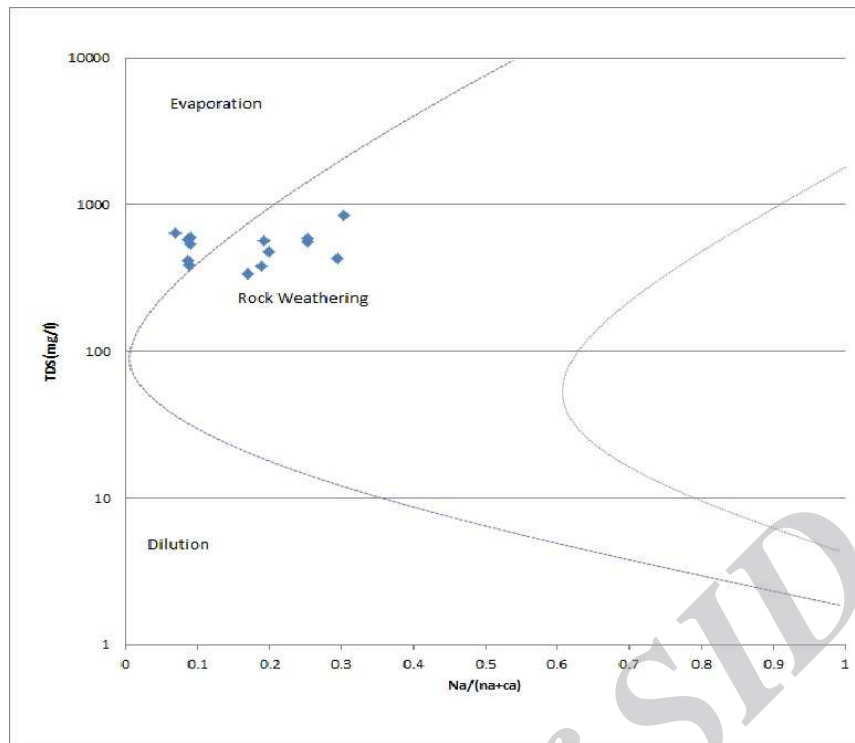


شکل ۲- نمودار ویلکوکس برای ایستگاههای مورد مطالعه.

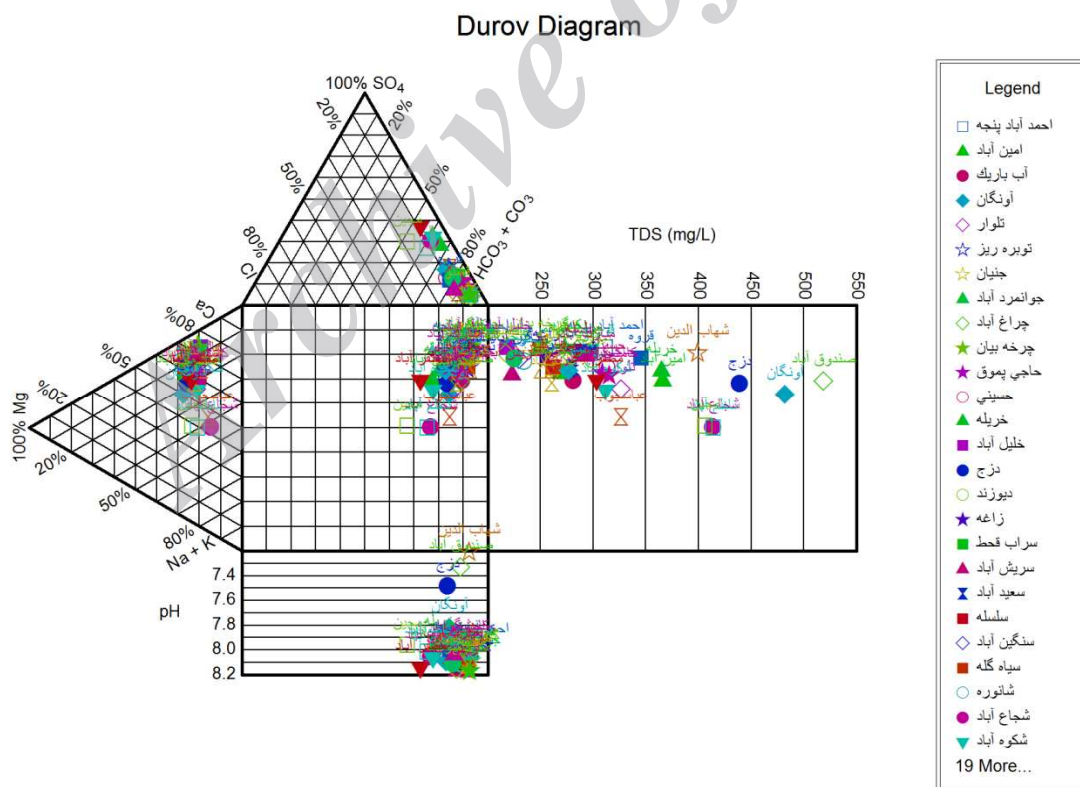
Schoeller Diagram



شکل ۳- نمودار شولر برای ایستگاههای مورد مطالعه.

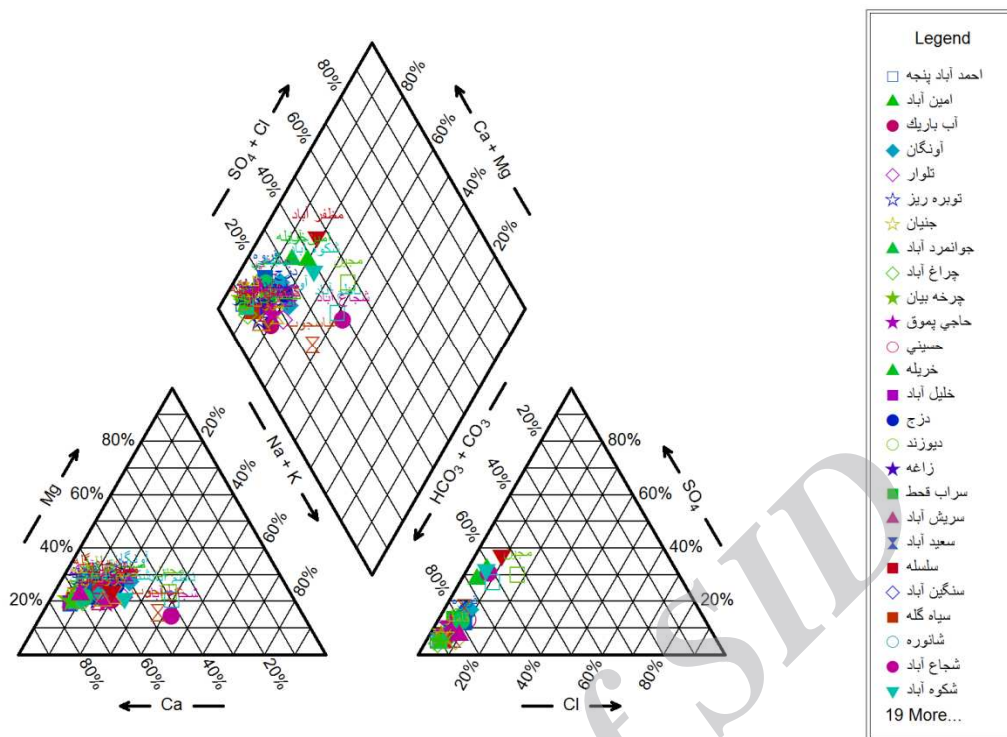


شکل ۴- نمودار گیبس برای ایستگاههای مورد مطالعه.

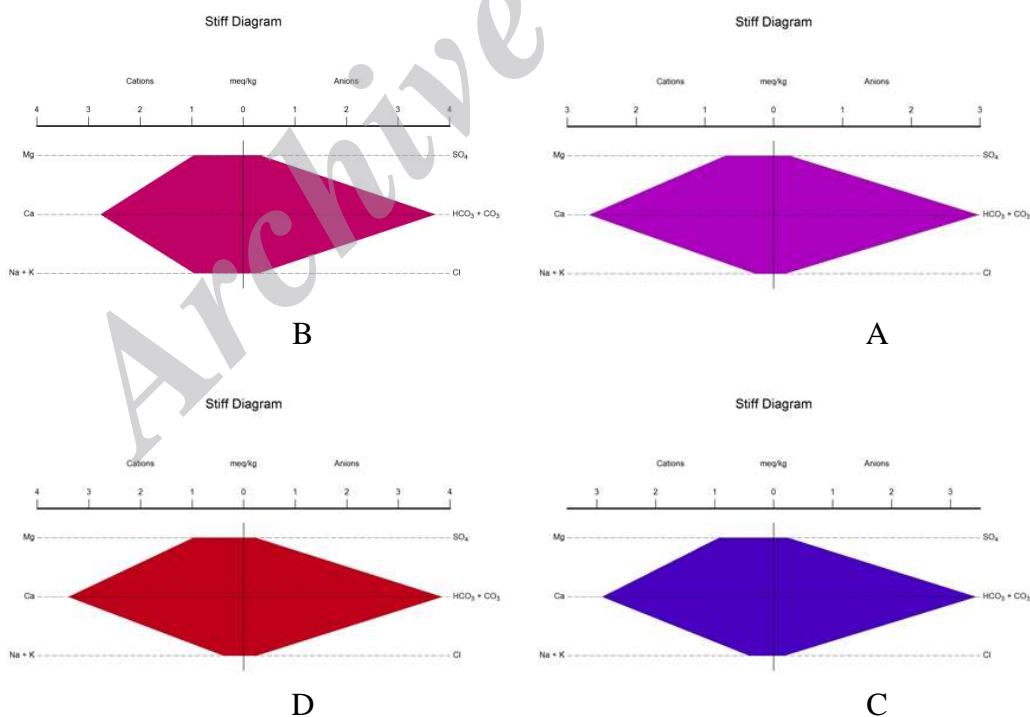


شکل ۵- نمودار دروو برای ایستگاههای مورد مطالعه.

Piper Diagram



شکل ۶- نمودار پایپر برای ایستگاههای مورد مطالعه.



شکل ۷- نمودار استیف برای ایستگاههای آب باریک (A)، خلیل آباد (B)، زاغه (C) و سلسله (D).

جدول ۱- نتایج سنجش‌های شیمیایی (یونها برحسب میلی اکی والان برلیتر ، TDS برحسب میلی‌گرم بر لیتر و EC برحسب میکروزیمنس بر سانتی‌متر).

محل نمونه برداری	SO ₄	Cl	HCO ₃	PH	TDS	TH	SAR	EC	Na%	K	Na	Mg	Ca
احمد آباد پنجه	0.3	0.2	4.6	8.0	311.9	246.0	0.2	487.3	7.1	0.01	0.4	1.0	3.9
امین آباد	1.9	0.4	3.6	8.0	366.5	249.0	0.8	572.8	19.8	0.02	1.2	1.3	3.7
آب باریک	0.3	0.3	3.7	8.1	281.4	181.2	0.7	435.3	22.5	0.02	0.9	1.0	2.8
آونگان	1.3	0.6	6.1	7.8	482.0	312.9	1.1	741.2	23.0	0.07	1.8	2.3	4.1
تلوار	0.6	0.4	4.3	8.0	326.7	213.0	0.9	514.6	22.7	0.03	1.3	1.2	3.1
توبره ریز	0.3	0.2	4.0	8.0	276.5	200.0	0.5	432.0	15.0	0.02	0.7	1.0	3.0
جنیان	0.3	0.1	2.8	8.2	227.0	177.1	0.2	354.6	6.3	0.01	0.2	1.0	2.5
جوانمرد آباد	0.2	0.2	3.4	8.1	248.2	192.3	0.2	387.8	6.8	0.01	0.3	0.9	2.9
چراغ آباد	0.3	0.2	4.1	8.0	285.3	227.9	0.2	452.8	7.2	0.02	0.4	1.0	3.5
چرخه بیان	0.2	0.2	3.6	8.0	250.7	194.1	0.2	391.5	5.4	0.01	0.2	0.9	3.0
حاجی پموق	0.5	0.2	4.1	8.0	308.9	222.3	0.5	482.8	15.3	0.01	0.8	1.3	3.2
حسینی	0.6	0.5	3.6	8.0	313.8	226.0	0.4	489.2	12.5	0.02	0.7	1.3	3.3
خریله	1.7	0.3	4.0	7.9	364.9	263.8	0.6	569.8	14.7	0.02	0.9	1.5	3.8
خلیل آباد	0.2	0.2	3.0	8.2	218.5	165.0	0.2	341.4	7.4	0.02	0.3	0.7	2.7
دزج	1.2	0.6	5.7	7.5	439.2	316.2	0.7	685.8	16.4	0.08	1.4	2.0	4.3
دیوزند	0.7	0.3	3.9	8.0	299.8	225.2	0.3	468.5	9.1	0.02	0.4	1.3	3.2
زاغه	0.2	0.2	3.5	8.1	255.5	191.6	0.3	399.4	9.5	0.01	0.4	0.9	2.9
سراب قحط	0.5	0.2	3.3	8.2	268.9	193.6	0.5	420.2	14.3	0.03	0.6	1.2	2.7
سریش آباد	0.3	0.2	2.7	8.2	223.3	154.2	0.5	347.9	14.9	0.02	0.6	0.9	2.2
سعید آباد	0.3	0.3	3.6	8.1	280.3	192.1	0.5	438.0	14.9	0.01	0.6	1.0	2.9
سلسله	0.2	0.2	3.9	8.0	288.2	218.6	0.3	445.8	8.0	0.01	0.4	1.0	3.4
سنگین آباد	0.2	0.2	3.1	8.1	229.7	170.0	0.3	358.9	10.7	0.02	0.4	0.8	2.6
سیاه گله	0.2	0.2	3.6	8.1	262.1	203.8	0.4	408.9	11.6	0.01	0.5	1.2	2.9
شانوره	0.3	0.2	3.0	8.1	234.4	171.2	0.3	366.1	9.3	0.01	0.3	1.1	2.4
شجاع آباد	2.1	0.5	4.2	8.1	413.9	197.2	2.0	659.3	42.9	0.02	3.0	1.0	3.0
شکوه آباد	1.5	0.3	2.9	8.1	312.1	195.8	0.8	487.7	22.3	0.06	1.2	1.1	2.8

شهاب	0.4	0.2	5.8	7.2	399.5	319.1	0.3	620.8	7.7	0.02	0.5	1.6	4.7
الدین													
شهابیه	0.7	0.3	3.0	8.1	276.8	183.2	0.5	419.7	16.8	0.02	0.7	1.0	2.8
صندوق													
آباد	0.6	0.6	7.5	7.3	518.8	373.1	0.9	801.9	17.1	0.04	1.6	2.3	5.1
عالی آباد	0.2	0.3	3.2	8.1	260.6	178.7	0.5	407.8	16.3	0.01	0.7	0.8	2.7
عباسجوب	0.9	0.3	4.0	8.0	327.0	169.3	1.6	510.9	37.6	0.02	2.0	0.9	2.5
قاسم آباد	0.5	0.3	3.4	8.1	260.9	175.0	0.7	407.6	20.2	0.03	0.9	1.0	2.5
قاملو	0.2	0.3	2.8	8.2	217.5	163.8	0.2	340.9	8.1	0.02	0.3	0.8	2.5
قروه	0.6	0.5	4.3	8.0	345.7	262.8	0.3	539.3	9.6	0.02	0.5	1.4	3.9
قلعه	0.2	0.2	3.5	8.1	257.5	196.5	0.3	399.8	9.0	0.02	0.4	1.0	2.9
قوریچای	0.2	0.2	3.5	8.0	297.8	194.1	0.3	400.2	8.6	0.02	0.4	0.8	3.0
کامشگران	0.6	0.3	4.3	8.0	315.7	216.4	0.7	493.3	18.5	0.02	1.0	1.0	3.3
کیود خانی	0.2	0.2	3.8	8.1	280.3	213.0	0.4	438.1	10.8	0.01	0.5	1.0	3.3
کروندان	0.2	0.2	3.6	8.1	252.9	174.4	0.6	395.1	16.8	0.02	0.7	0.9	2.6
کنگره	0.2	0.2	3.8	8.2	273.5	212.0	0.2	426.9	7.0	0.01	0.3	0.9	3.3
گنجی	0.4	0.3	2.7	8.1	225.1	160.5	0.3	351.8	11.0	0.02	0.4	0.8	2.5
مبارک آباد	0.3	0.5	3.8	8.0	294.0	217.9	0.3	453.3	9.0	0.02	0.4	1.1	3.3
مجین	1.7	1.0	3.1	8.0	406.6	216.0	1.7	626.9	37.9	0.03	2.6	1.6	2.7
مظفر آباد	1.7	0.4	2.5	8.1	303.6	196.3	0.6	458.0	18.4	0.02	0.9	1.1	2.8
ناظم آباد	1.7	0.7	4.0	8.0	414.0	207.1	1.9	643.7	39.6	0.07	2.7	1.4	2.7

جدول ۴- نتایج خواص شیمیایی آب ایستگاههای منطقه ی مورد مطالعه با کاربرد نرم افزار AqQA.

محل	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	TDS	EC	TH	خطر شوری	SAR	ESR	خطر مینیم
احمدآباد	725191	3890069	318	478	246	مناسب	0.244	0.087	20
پنجه									
امین آباد	758718	3900715	366	572	249	مناسب	0.871	0.246	26
آب باریک	723735	3907090	281	435	186	مناسب	0.685	0.245	25
آونگان	744480	3899507	482	741	319	مناسب	1.01	0.282	35
تلوار	722833	3914009	326	514	213	مناسب	0.877	0.3	28
توبره ریز	725720	3901389	276	432	200	مناسب	0.5	0.17	24
جنیان	750647	3894753	227	354	177	مناسب	0.179	0.067	28
جوانمرد									
آباد	720254	3899187	248	387	192	مناسب	0.205	0.074	24
چراغ آباد	710559	3900991	285	452	228	مناسب	0.232	0.077	22
چرخه بیان	702540	3916700	250	391	194	مناسب	0.162	0.058	22
حاجی									
پموق	714863	3913493	308	482	222	مناسب	0.527	0.177	28

حسینی	720101	3908884	313	489	226	مناسب	0.441	0.147	27
خریله	764673	3897272	364	569	263	مناسب	0.559	0.172	27
خلیل آباد	738814	3895375	218	341	169	مناسب	0.194	0.075	20
دزج	771225	3883973	439	685	316	مناسب	0.793	0.223	31
دیوزند	759916	3895452	299	468	225	مناسب	0.296	0.098	28
زاغه	708844	3908186	255	399	191	مناسب	0.291	0.105	24
سراب قحط	732918	3895938	268	420	193	مناسب	0.434	0.156	30
سریش آباد	749545	3897745	223	347	154	مناسب	0.467	0.188	28
سعید آباد	719168	3903272	280	437	196	مناسب	0.457	0.163	25
سلسله	723205	3891438	288	445	218	مناسب	0.258	0.087	22
سنگین آباد	763703	3890612	229	358	170	مناسب	0.313	0.12	24
سیاه گله	771882	3871727	262	408	203	مناسب	0.374	0.131	30
شانوره	745011	3896081	234	366	174	مناسب	0.239	0.09	31
شجاع آباد	733364	3904558	413	659	201	مناسب	2.09	0.736	25
شکوه آباد	763854	3890804	312	487	195	مناسب	0.848	0.3	27
شهاب الدین	772662	3877192	399	620	319	مناسب	0.297	0.078	26
شهبابه	739796	3900375	276	419	187	مناسب	0.482	0.176	26
صندوق آباد	769481	3879897	518	801	373	بالا	0.833	0.216	31
عالی آباد	725033	3900160	260	407	178	مناسب	0.511	0.191	23
عباسجوب	729296	3906052	326	510	169	مناسب	1.56	0.601	25
قاسم آباد	764645	3895504	260	407	175	مناسب	0.659	0.249	28
قاملو	727584	3894541	217	340	163	مناسب	0.227	0.089	23
قروه	748799	3897473	345	539	262	مناسب	0.328	0.101	26
قلعه	755300	3891578	257	399	196	مناسب	0.268	0.096	26
قوریچای	708005	3917249	297	400	194	مناسب	0.262	0.094	22
کامشگران	734594	3901162	315	493	216	مناسب	0.668	0.227	24
کبود خانی	723323	3894106	280	438	213	مناسب	0.351	0.12	22
کروندان	715060	3908414	252	395	174	مناسب	0.542	0.205	24
کنگره	729607	3893266	273	426	212	مناسب	0.219	0.075	21
گنجی	737435	3899995	225	351	163	مناسب	0.299	0.117	24
مبارک آباد	716635	3901101	294	453	219	مناسب	0.286	0.096	25
مجین	767907	3896766	406	626	216	مناسب	1.74	0.592	37
مظفر آباد	752614	3899552	303	457	196	مناسب	0.631	0.225	29
ناظم آباد	768125	3889494	414	643	207	مناسب	1.85	0.642	34

<0.05). نتایج حاصل از مقایسه ی فراسنجهای کیفی ایستگاههای مختلف با ایستگاه مبنای احمدآباد پنجه با

نتایج حاصل از تجزیه ی واریانس فراسنجهای مختلف کیفی آب ایستگاههای مورد مطالعه در جدول شماره ی ۵ نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین این فراسنجهای در سطح ۵ درصد در ایستگاههای مختلف وجود دارد (Sig)

کاربرد روش مقایسه ی میانگین LSD در سطح اعتماد ۵ درصد نشان داد که بیشتر ایستگاهها با ایستگاه مبنا
 اختلاف معنی دار دارند (جدول ۶).
 جدول ۵- آزمون تجزیه ی واریانس فراسنجهای کیفی آب برای ایستگاههای مختلف.

پارامتر	F	Sig.
HCO ₃	21.8	0
pH	25	0
TDS	15	0
TH	15.7	0
SAR	101.6	0
EC	20.2	0
Na درصد	103.9	0
K	10.5	0
Na	45.57	0
SO ₄	24.5	0
Cl	4.368	0
Mg	11.801	0
Ca	18.508	0

جدول ۶- نتیجه ی آزمون LSD با انتخاب ایستگاه احمدآباد پنجه به عنوان شاهد (یونها برحسب میلی اکی والان برلیتر
 TDS برحسب میلی گرم بر لیتر و EC برحسب میکروزیمنس بر سانتی متر).

یون ایستگاه	HC O ₃	TD S	TH	SA R	EC	درصد سدیم	K	Na	SO ₄	Cl	Mg	Ca
احمدآباد پنجه												
امین آباد	0.1 1	0.3 1	0.9 3	0.0 0*	0.25	0.00 *	0.72	0.00 *	0.00 *	0.44	0.35	0.55
آب باریک	0.0 1*	0.3 0	0.0 0*	0.0 0*	0.21	0.00 *	0.63	0.00 *	0.72	0.47	0.75	0.00 *
آونگان	0.0 0*	0.0 0*	0.0 0*	0.0 0*	0.00 *	0.00 *	0.00 *	0.00 *	0.00 *	0.00 *	0.00 *	0.35
تلوار	0.4 3	0.6 1	0.0 9	0.0 0*	0.50	0.00 *	0.18	0.00 *	0.04 *	0.09	0.34	0.00 *
توبره ریز	0.1 1	0.2 9	0.0 4*	0.0 0*	0.24	0.00 *	0.35	0.08	0.98	0.87	0.84	0.00 *
جنیان	0.0 0*	0.0 2*	0.0 0*	0.4 9	0.01 *	0.66	0.80	0.47	0.97	0.64	0.93	0.00 *
جوانمرد آباد	0.0 0*	0.0 3*	0.0 1*	0.6 2	0.02 *	0.85	0.77	0.54	0.93	0.95	0.68	0.00 *
چراغ آباد	0.1 3	0.3 0	0.3 0	0.9 0	0.34	0.96	0.68	0.82	0.73	0.94	0.90	0.06
چرخه بیان	0.0 0*	0.0 4*	0.0 1*	0.2 8	0.02 *	0.25	0.79	0.35	0.71	0.86	0.40	0.00 *
حاجی پموق	0.1 8	0.9 2	0.2 3	0.0 0*	0.91	0.00 *	0.94	0.01 *	0.11	0.83	0.15	0.00 *

حسینی	0.0 1*	0.9 5	0.3 1	0.0 1*	0.96	0.00 *	0.37	0.08	0.04 *	0.03 *	0.19	0.01 *
خریله	0.0 8	0.0 8	0.3 8	0.0 0*	0.05	0.00 *	0.47	0.00 *	0.00 *	0.43	0.02	0.68
خلیل آباد	0.0 0*	0.0 0*	0.0 0*	0.5 6	0.00 *	0.86	0.60	0.43	0.84	0.80	0.09	0.00 *
دزج	0.0 0*	0.0 0*	0.0 0*	0.0 0*	0.00 *	0.00 *	0.00 *	0.00 *	0.00 *	0.00 *	0.00 *	0.03 *
دیوزند	0.0 4*	0.6 9	0.3 0	0.4 6	0.66	0.18	0.60	0.71	0.02 *	0.55	0.19	0.01 *
زاغه	0.0 0*	0.0 8	0.0 1*	0.5 3	0.05	0.12	0.94	0.91	0.88	0.89	0.65	0.00 *
سراب قحط	0.0 0*	0.1 4	0.0 1*	0.0 0*	0.10	0.00 *	0.17	0.17	0.09	0.97	0.37	0.00 *
سریش آباد	0.0 0*	0.0 0*	0.0 0*	0.0 1*	0.00 *	0.00 *	0.77	0.24	0.82	0.74	0.50	0.00 *
سعید آباد	0.0 0*	0.2 9	0.0 1*	0.0 0*	0.23	0.00 *	0.93	0.11	0.62	0.55	0.94	0.00 *
سلسله	0.0 4*	0.4 2	0.1 6	0.8 3	0.31	0.54	0.88	1.00	0.81	0.71	0.83	0.03 *
سنگین آباد	0.0 0*	0.0 0*	0.0 0*	0.2 9	0.00 *	0.01 *	0.39	0.87	0.78	0.78	0.26	0.00 *
سیاه گله	0.0 0*	0.1 1	0.0 4*	0.0 8	0.07	0.00 *	0.89	0.37	0.79	0.98	0.29	0.00 *
شانوره	0.0 0*	0.0 1*	0.0 0*	0.7 6	0.00 *	0.12	0.86	0.67	0.99	0.89	0.72	0.00 *
شجاع آباد	0.3 0	0.0 0*	0.0 1*	0.0 0*	0.00 *	0.00 *	0.49	0.00 *	0.00 *	0.01 *	1.00	0.00 *
شکوه آباد	0.0 0*	0.9 9	0.0 1*	0.0 0*	0.99	0.00 *	0.00 *	0.00 *	0.00 *	0.44	0.71	0.00 *
شهاب الدین	0.0 0*	0.0 0*	0.0 0*	0.5 7	0.00 *	0.70	0.66	0.49	0.47	0.74	0.00 *	0.00 *
شهابیه	0.0 0*	0.2 3	0.0 0*	0.0 0*	0.10	0.00 *	0.51	0.09	0.01 *	0.24	0.86	0.00 *
صندوق آباد	0.0 0*	0.0 0*	0.0 0*	0.0 0*	0.00 *	0.00 *	0.01 *	0.00 *	0.06	0.00 *	0.00 *	0.00 *
عالی آباد	0.0 0*	0.0 8	0.0 0*	0.0 0*	0.05	0.00 *	1.00	0.06	0.81	0.27	0.34	0.00 *
عباسجوب	0.0 6	0.6 1	0.0 0*	0.0 0*	0.56	0.00 *	0.46	0.00 *	0.00 *	0.30	0.37	0.00 *
قاسم آباد	0.0 0*	0.0 5	0.0 0*	0.0 0*	0.03 *	0.00 *	0.11	0.00 *	0.16	0.55	0.80	0.00 *
قاملو	0.0 0*	0.0 0*	0.0 0*	0.8 2	0.00 *	0.51	0.87	0.57	0.61	0.35	0.19	0.00 *
قروه	0.3 8	0.2 6	0.4 1	0.2 2	0.21	0.10	0.47	0.36	0.03 *	0.02 *	0.04 *	0.86

قلعه	0.0 0*	0.0 4*	0.0 1*	0.6 3	0.02 *	0.15	0.27	0.96	0.75	0.95	0.98	0.00 *
قوریچای	0.0 0*	0.6 0	0.0 0*	0.7 6	0.02 *	0.26	0.79	0.91	0.63	0.87	0.31	0.00 *
کامشگران	0.4 5	0.9 0	0.1 4	0.0 0*	0.88	0.00 *	0.61	0.00 *	0.06	0.64	0.91	0.01 *
کبود خانی	0.0 5	0.3 4	0.1 4	0.1 8	0.28	0.02 *	0.98	0.47	0.64	0.93	0.77	0.02 *
کروندان	0.0 0*	0.0 4*	0.0 0*	0.0 0*	0.02 *	0.00 *	0.63	0.04	0.89	0.99	0.36	0.00 *
کنگره	0.0 2*	0.2 1	0.1 0	0.7 6	0.15	0.92	1.00	0.70	0.73	0.98	0.57	0.02 *
گنجی	0.0 0*	0.0 0*	0.0 0*	0.3 6	0.00 *	0.01 *	0.57	1.00	0.32	0.61	0.21	0.00 *
مبارک آباد	0.0 0*	0.4 7	0.0 9	0.4 3	0.32	0.11	0.77	0.76	0.67	0.02 *	0.66	0.00 *
مجین	0.0 0*	0.0 2*	0.2 6	0.0 0*	0.01 *	0.00 *	0.25	0.00 *	0.00 *	0.00 *	0.02 *	0.00 *
مظفر آباد	0.0 0*	0.7 9	0.0 2*	0.0 0*	0.50	0.00 *	0.31	0.00 *	0.00 *	0.12	0.52	0.00 *
ناظم آباد	0.0 3*	0.0 0*	0.0 2*	0.0 0*	0.00 *	0.00 *	0.00 *	0.00 *	0.00 *	0.00 *	0.01 *	0.00 *

* دارای اختلاف معنی دار در سطح ۵ درصد

جدول ۷- روشهای درون یابی و میزان خطای حاصل از آنها (RMSE)، (یونها بر حسب میلی اکی والان بر لیتر، TDS بر حسب میلی گرم بر لیتر و EC بر حسب میکروزیمنس بر سانتی متر).

IDW توان ۳	IDW توان ۲	IDW توان ۱	RBF	LPI	GPI	Kriging	فراسنج
0.515	0.505	0.506	0.461	*0.409	0.479	0.5	SO4
0.204	0.192	0.18	0.175	*0.174	0.189	0.192	Cl
81.84	77.82	74.19	73.69	*72.93	80.95	77.8	TDS
57.93	55.4	*53.46	53.91	56.133	58.74	55.4	Th
0.311	0.325	0.376	0.295	*0.253	0.441	0.325	SAR
125.48	120	115.28	114	*112.9	125.87	120	EC
0.516	0.552	0.568	0.487	*0.144	0.654	0.522	Na

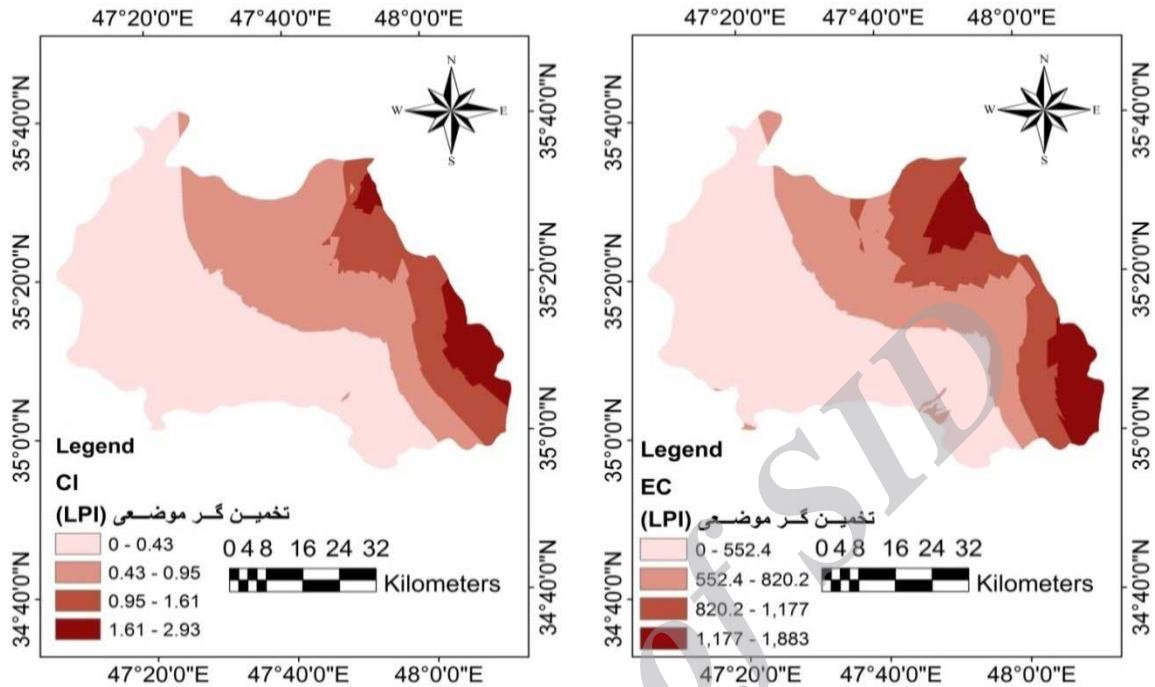
* مناسبترین روش جهت درون یابی

(IDW) با توانهای ۱، ۲ و ۳، تابع شعاعی (RBF)، تخمینگر عام (GP)، و تخمینگر موضعی (LPI)، با کاربرد نرم افزار ArcGIS 10 برای هر کدام از فراسنجهای آب شیمیایی مذکور به صورت مجزا و تلفیقی انجام گرفت، که

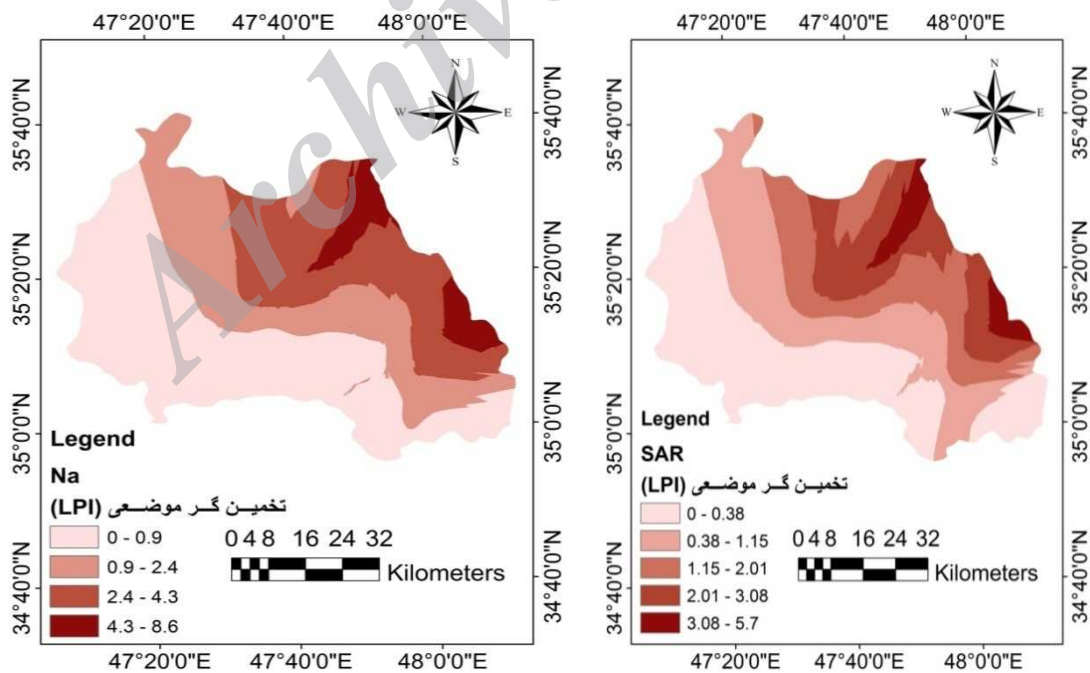
نمودارهای شولر و ویلکوکس به ترتیب کیفیت آب شرب و آبیاری را نشان می دهند که البته در این نمودارها فراسنجهای شیمیایی به صورت منفرد در نظر گرفته شده و نتایج حاصل از آنها قابل تعمیم به کل منطقه نمی باشند، از این رو، برای درک توزیع فضایی مناطق مناسب و نامناسب، روش پهنه بندی مکانی با کاربرد هفت روش زمین آمار کریجینگ (K)، وزندهی عکس فاصله

(IDW)، با توان یک انتخاب گردید (شکلهای ۹ الی ۱۱). اندازه های خطای حاصل از انواع روشهای درون‌یابی به‌کاربرده شده در (جدول ۷) آمده‌اند.

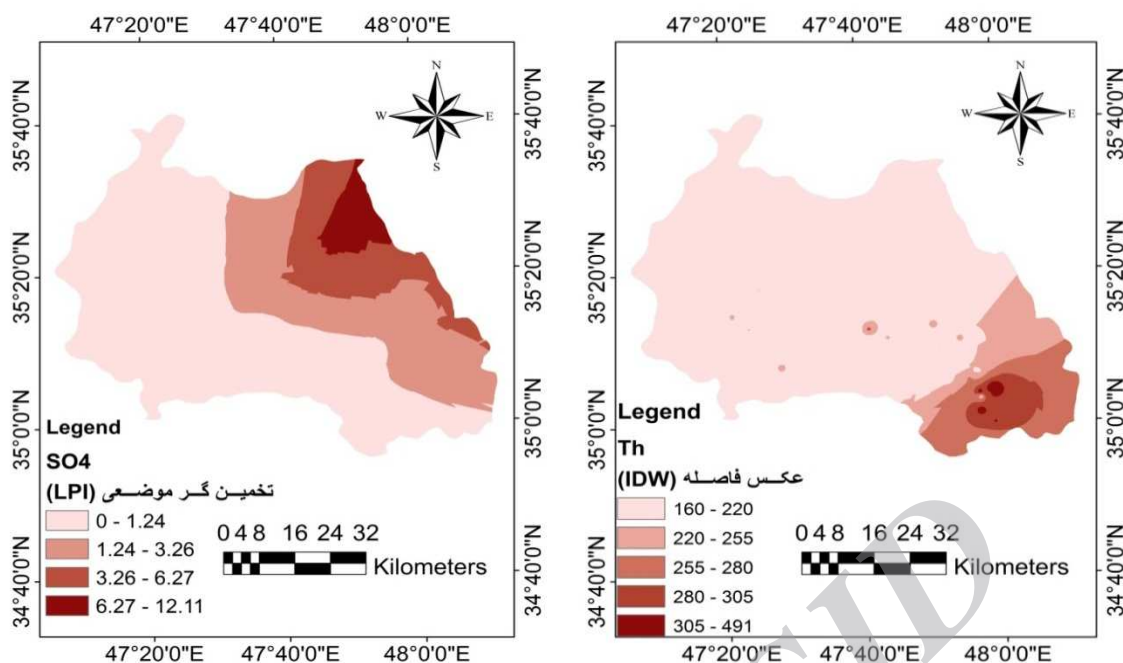
بر اساس مقدار ریشه ی دوم میانگین مربع خطاها (RMSE)، مناسبترین روش برای پهنه‌بندی همه ی فراسنجه‌ها، به‌جز TH، روش تخمینگر موضعی (LPI)، و برای پهنه‌بندی فراسنج TH، روش وزن‌دهی عکس فاصله



شکل ۸- نقشه ی هم فراسنجهای مناسبترین روش برای EC سمت راست و CI سمت چپ.



شکل ۹- نقشه ی هم فراسنجهای مناسبترین روش برای SAR سمت راست و Na سمت چپ.



شکل ۱۰- نقشه ی هم فراسنجهای مناسبترین روش برای TH سمت راست و SO₄ سمت چپ.

برای پهنه‌بندی فراسنج TH روش وزن‌دهی عکس فاصله (IDW)، با توان یک بهترین روشهای درون‌یابی می‌باشند. میزان خطای حاصل از روش شعاعی (RBF)، نیز پس از روشهای مذکور حداقل بوده و به‌عنوان دومین روش مناسب جهت درون‌یابی معرفی می‌گردد. با توجه به نقشه‌های حاصل از پهنه‌بندی تراکم و تغییرات فراسنجهای در قسمت شمال شرقی بیشتر است. با توجه به نمودار گیبس، که مشخص می‌سازد کیفیت آب تحت تأثیر سازندهای زمین‌شناسی است، می‌توان گفت سازند میشان، که شامل سنگ آهک و آهکس بر میزان تغییرات املاح اثر بسزایی دارد. همچنین، هرچه از مرکز شهر دورتر شویم، میزان املاح کمتر می‌شود، که نشان‌دهنده ی اثر ویژگیهای شهری تغییرات فراسنجهای اندازه‌گیری شده است. بررسی مطالعات انجام‌شده نشان می‌دهد که بطورکلی روشهای درون‌یابی بسته به نوع متغیر، و همچنین ویژگیهای منطقه ی مورد مطالعه، تراکم نقاط اندازه‌گیری و نحوه ی آرایش آنها دقت متفاوتی را ارائه نموده و نمی‌توان نتایج یک منطقه را به‌راحتی به منطقه ای دیگر تعمیم داد. لذا، لازم است که برای هر منطقه و هر متغیر، بررسیهای جداگانه ای انجام گیرد تا روشی مناسب برای منطقه ی مورد نظر و فراسنج مورد بررسی حاصل گردد. لذا، با توجه

نتیجه‌گیری

در مدیریت یکپارچه ی آب، حفظ کیفیت آب، بویژه در مناطقی که با محدودیت نسبی منابع آب مواجهند، به‌عنوان یکی از ارکان برنامه‌ریزی مطرح است. از آن‌جا که کمیت و کیفیت آبها از پایه‌های اصلی مدیریت جامع و توسعه ی پایدار به شمار رفته، و بخصوص آبهای زیرزمینی، که از دیرباز به‌علت کیفیت مناسب نسبت به آبهای سطحی مورد توجه و بهره‌برداری بیشتر به وسیله ی بشر قرار گرفته‌اند، در این پژوهش به ارزیابی کیفیت آبهای زیرزمینی در محدوده ی شهرستان قروه پرداخته شد. بررسیهای ترسیمی کیفیت آب زیرزمینی در منطقه نشان دادند که طبق نمودار پایپر منطقه ی مورد مطالعه دارای رخساره ی Ca-HCO₃ است که در گروه آبهای شیرین قرار دارد. نمودار دروو نیز نشان داد که میزان املاح محلول در آب منطقه کمتر از ۵۵۰ میلی‌گرم در لیتر است، که نشان از کم بودن املاح دارد. همچنین، نتایج حاصل از بررسی خواص شیمیایی آبهای زیرزمینی نشان دادند که میزان شوری در منطقه ی مورد مطالعه در حد مناسب بوده و میزان خطر منیزیم نیز کم است. با توجه به نتایج حاصل از مقایسه روشهای مختلف درون‌یابی فراسنجهای کیفیت آب، مشخص شد که برای همه فراسنجهای بجز TH، روش تخمینگر موضعی (LPI)، و

9. Askari Marnani, S., Chitsazan, M., and Mirzayi, Y. 2001. Investigation of Water Quality in Firoozabad Sub-Chachment in View of Domestic and Agricultural Usage using GIS. P 1-8, the 8 th International Congress on River Engineering, Shahid Chamran University, Iran.
10. Bu, H., X. Tan, S. Li and Q. Zhang. 2010. Temporal and spatial variations of water quality in the Jinshui River of the South Qinling Mts., China. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 73: 907-913.
11. Durov, S. A. 1959. *Geometriceskij metod v gidrochimii*. Rostovskoje kniznoje izdatelstvo, Rostov. USSR. (Geometrical methods in hydrochemistry).
12. Fan, j., and Gibels, I. 1996. *Local Polynomial Modelling and Its Applications*, Chapman & Hall. London.
13. Hounslow A. 1995. *Water quality data: analysis and interpretation*, CRC-Press, 397p, 86.
14. Gibbs, R.J. 1970. Mechanisms controlling world water chemistry. *Science* 170: 1090-1088.
15. Isaaks, E.H., and Srivastava, R.M. 1989. *An Introduction to Applied Geostatistics*. New York: Oxford Univ. Press, 561p.
16. Masamba, W.R.L., and Mazvimavi, D. 2008. Impact on water quality of landuses along Thamalakane-Boteti River: An outlet of the Okavango Delta. *Physics and Chemistry of the Earth* 33: 687-694.
17. Mossadegh, A. 2003. *Global destruction of invironment and future of the world Agricultural Sciences Publishing*. 198 p.
18. Priya KL. 2013. A Fuzzy Logic Approach for Irrigation Water Quality Assessment: A Case Study of Karunya Watershed, India. *J. Hydrogeol. Hydrol. Eng.* 2:1.
- به پراکنش نامناسب ایستگاههای منطقه‌ی مطالعاتی، پیشنهاد می‌شود که پراکنش این ایستگاهها در منطقه متعادل گردد تا مطالعات بعدی با دقت بیشتری انجام شود.
- ### منابع
۱. خدایی ک، شهبواری ع، اعتباری ب، ۱۳۸۵. *ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان دشت جوین به روش GODS و DRASTIC*، فصلنامه زمین‌شناسی ایران، ۲(۴): ۷۳-۷۸.
۲. خمر، ز، محمودی قزایی، م. ح، عمرانی، س. و سیاره، ع. ۱۳۹۰. *ارزیابی کیفیت منابع آب در محدوده معدنی کوه زر، غرب تربت‌حیدریه، چهارمین همایش انجمن زمین‌شناسی اقتصادی ایران*.
۳. شرکت آب منطقه‌ای کردستان، www.kdrw.ir.
۴. فریادی، س. شاهدی، ک. و نباتپور، م. ۱۳۹۱. *مطالعه پارامترهای کیفیت آب رودخانه تجن با استفاده از تکنیک‌های آماری چند متغیره، پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز، سال سوم، شماره ۶، پاییز و زمستان ۱۳۹۱*.
۵. فرید گیگلو، ب. نجفی نژاد، ع. مغانی بیله سوار، و غیائی، ا. ۱۳۹۲. *بررسی تغییرات کیفیت آب رودخانه زرین گل استان گلستان، مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، جلد بیستم، شماره اول*.
۶. ناصری، ن.، محمدزاده، ح.، ابراهیم پور، ص. ۱۳۸۹. *بررسی هیدروژئوشیمیایی و بیلان حوضه آبریز دامنه سهند، نخستین کنفرانس ملی پژوهش‌های کاربردی منابع آب ایران، شرکت آب منطقه‌ای کرمانشاه، ۲۳-۲۱ اردیبهشت ۱۳۸۹*.
۷. نخعی م، مقدمه‌ای بر آب‌های زیرزمینی، تهران، آراد کتاب، ۱۳۹۱.
8. Arvidson, J. D. 2006. Relationship of forest thinning and selected water quality parameters in the Santa Fe Municipal Watershed, New Mexico. *Hydro-science Concentration Water Resources Program, University of New Mexico*.

Control of Chemical Processes, July 12-15, Istanbul-Turkey.

19. Piper, A.M. 1944. Agraphic procedure in the geochemical interpretation of water analysis, Trans. Am. Geophys. Union. 25: 914-923.
20. Salehi, H., and Haghizade, A., and Soleimani, L. 2014. Evaluation of water quality variation of Kashkan-Poldokhtar River, Lorestan Province. The 4th International Conference on Environmental Challenges & Dendrochronology, Sari University. p:496.
21. Sappa, G., Ergul, S., Ferranti, F. 2014. Water quality assessment of carbonate aquifers in southern Latium region, Central Italy: a case study for irrigation and drinking purposes. Appl. Water Sci. 4:115-128.
22. Schoeller, H. 1964. La classification geochimique des eaux. LASH Publication no. 64, Gen. Assembly of Berkeley 1963.4:16-24.
23. Singhal, B.B.S., and R.P. Gupta. 1999, Applied Hydrogeology of Fractured Rocks, Kluwer Academic Publ., the Netherland.
24. Soltani, J., Khodabakhshi, F., and Dadashi, M. 2014. Classification of water quality of Gharasoo River for different uses in the wet and dry years. Journal of River Engineering. Volume 2.
25. Stiff, H. A., Jr. 1951. The interpretation of chemical water analysis by means of patterns. J. Petr. Technology 10: 15-17.
26. Wilcox L.V., 1955. Classification and use of irrigation waters. USDA Circ. 969, Washington, DC.
27. Yan, Xin. 2009. Linear regression analysis: theory and computing. Published by world Scientific Publishing Co. Pte. Ltd. 5 Toh Tuck Link, Singapore 59224.
28. Yetik, M.K., Yüceer, M., Berber, R., and Karadurmus, E. 2009. River water quality model verification through a GIS based software. p1-6, ADCHEM 2009 IFAC Symposium on Advanced