یازدهمین کنگره ملّی مهندسی عمران
۱۱ و ۱۲ اردیبهشت ۱۳۹۸
دانشگاه شیراز، شیراز، ایران

پهنه بندی کیفی آب زیرزمینی با استفاده از نرم افزار ArcGIS (مطالعه موردی: آبخوان دشت ایرانشهر)

پوریا انوری[۱*]، مسعود انتظاری[۲]، ناصر باشی ازغدی[۳]

۱*- کارشناس منابع آب شرکت مهندسی مشاور طوس آب

۲- کارشناس و مدیر بخش منابع آب شرکت مهندسی مشاور طوس آب

۳- دانش آموخته دکتری مهندسی عمران- آب، دانشگاه علم و صنعت ایران

(anvpooria@gmail.com)

خلاصه

اطلاع از میزان و تغییرات غلظت عناصر و خواص شیمیایی آب‌های زیرزمینی و تهیهٔ نقشه‌های پهنه‌بندی آنها، نقش اساسی در مدیریت کیفی منابع آب زیرزمینی را ایفا کرده و بر این اساس، اتخاذ راهکارهای مناسب جهت جلوگیری از آلودگی بیش از حد در آبخوان یک منطقه را ضروری می‌نمایاند. روش‌های مختلفی جهت مطالعه، پایش و پیش‌بینی پراکنش غلظت خواص شیمیایی آب‌های زیرزمینی وجود دارد که انتخاب روش مناسب، بستگی به هدف، شرایط منطقه و وجود آمار و اطلاعات دارد. در پژوهش حاضر در دشت ایرانشهر که واقع در قسمتی از حوضهٔ آبریز هامون جازموریان در استان سیستان و بلوچستان است، نمونه‌برداری کیفی از پارامترهای شیمیایی به انجام رسید و سپس میزان کلر، هدایت الکتریکی، TDS و SAR در ۱۷ حلقه چاه مختلف موجود در منطقه، اندازه‌گیری گردید. در آخر هم نقشه‌های کیفی پارامترهای مورد نظر در محیط ArcGIS با استفاده از روش‌های درونیابی نظیر Kriging و Spline بدست آمد و کیفیت آب زیرزمینی از نظر شرب و کشاورزی براساس طبقه‌بندی شولر و ویلکوکس مورد بررسی قرار گرفت.

کلمات کلیدی: پهنه‌بندی کیفی، ایرانشهر، GIS، درونیابی

۱. مقدمه

در سال‌های اخیر منابع آب‌های زیرزمینی کشور مورد تهدید انواع آلودگی‌ها قرار گرفته‌اند. جهت پیشگیری و کنترل آلودگی‌ها و حفظ کیفیت طبیعی آب ها، مدیریت آن ها همواره ضروری به نظر می‌رسد. مدیریت منابع آب در هر زمینه‌ای به معنی استفاده صحیح و بهینه از آن است، حفظ کیفیت آب های طبیعی مستلزم شناخت دقیق خصوصیات آن و شناخت منابعی است که باعث آلودگی آب می‌شوند. [۱] مسائل متعددی که منابع آب های زیرزمینی را با مشکلات جدی آلودگی مواجه ساخته‌اند را عموماً می توان متأثر از تخلیه فاضلاب‌های شهری و روستایی به رودخانه‌ها، تخلیه زه آب ها و پساب های کشاورزی به رودخانه ها، استقرار برخی از صنایع مصرف‌کننده آب در اماکن نامناسب در حاشیه رودخانه ها و انواع عملکردهای مطالعه نشده ساختمانی در حریم رودخانه ها دانست. [۲]

روش‌های مختلفی برای تخمین متغیرهای مکانی یک منطقه وجود دارد که در یک تقسیم بندی کلی می توان آنها را به روش‌های زمین آماری و روش‌های کلاسیک تقسیم کرد .روش‌های کلاسیک، روش‌هایی هستند که از آمار کلاسیک برای تخمین استفاده می‌کنند .در صورتیکه در روش های زمین آماری، تخمین بر اساس ساختار فضایی موجود در محیط مورد نظر صورت می‌گیرد. زمین آمار به عنوان شاخه‌ای از آمار کاربردی شامل مجموعه مطالعاتی است که به بررسی تغییرات یک پدیده در زمان و مکان می‌پردازد و قادر به مدل سازی آن پدیده به صورت قطعی

[۱*] کارشناس منابع آب، شرکت مهندسی مشاور طوس آب

[۲] کارشناس و مدیر بخش منابع آب، شرکت مهندسی مشاور طوس آب

[۳] دانش آموخته دکتری مهندسی عمران- آب، دانشگاه علم و صنعت ایران

یا غیرقطعی زمانی و مکانی است. از جمله ویژگی‌های این علم استفاده از متغیرهای منطقه‌ای اعم از تصادفی یا قطعی است. متغیرهای منطقه‌ای متغیرهایی هستند که دارای پیوستگی مکانی بوده و پدیده های دارای توزیع جغرافیایی را نشان می‌دهند، بنابراین امکان نمونه برداری از همه نقاط در محدوده مورد مطالعه وجود ندارد و مقادیر مجهول با استفاده از اطلاعات مربوط به مناطق مشخص و نمونه برداری شده تخمین زده می‌شود. [۳] به کارگیری سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) به علت ارایه تصویری صحیح از وضعیت کیفی منابع آب امری ضروری می‌نماید تا به کمک آن بتوان هر گونه تصمیم گیری مدیریتی که آثار زیست محیطی آن به صورت مستقیم و یا غیرمستقیم متوجه حوضه آب ریز باشد را با آگاهی بیشتری اتخاذ کرد. GIS کاربرد فراوانی در پایش و طبقه بندی کیفی آب حوضه ها داشته و توانایی تحلیل و بررسی اطلاعات درحجم زیاد را فراهم می‌نماید .در این سیستم، با تعیین مراکز مهم جمعیتی، صنعتی و کشاورزی و تخمین بار آلودگی و ترکیب آن با سایر اطلاعات، می توان طرح های مدیریتی مفیدتری را ارایه نمود. [۴] علاوه بر این، به کمک این ابزار امکان دست یابی به روابط دقیق‌تر برای ارتباط میان پارامترهای کیفی منابع آب و پارامترهای مؤثر در حوضه وجود دارد. [۵] بررسی منابع بیانگر رویکرد فزاینده در زمینه پهنه‌بندی کیفی و تحلیل آن در حوضه رودخانه‌ها است. [۶]

۲. مواد و روش ها

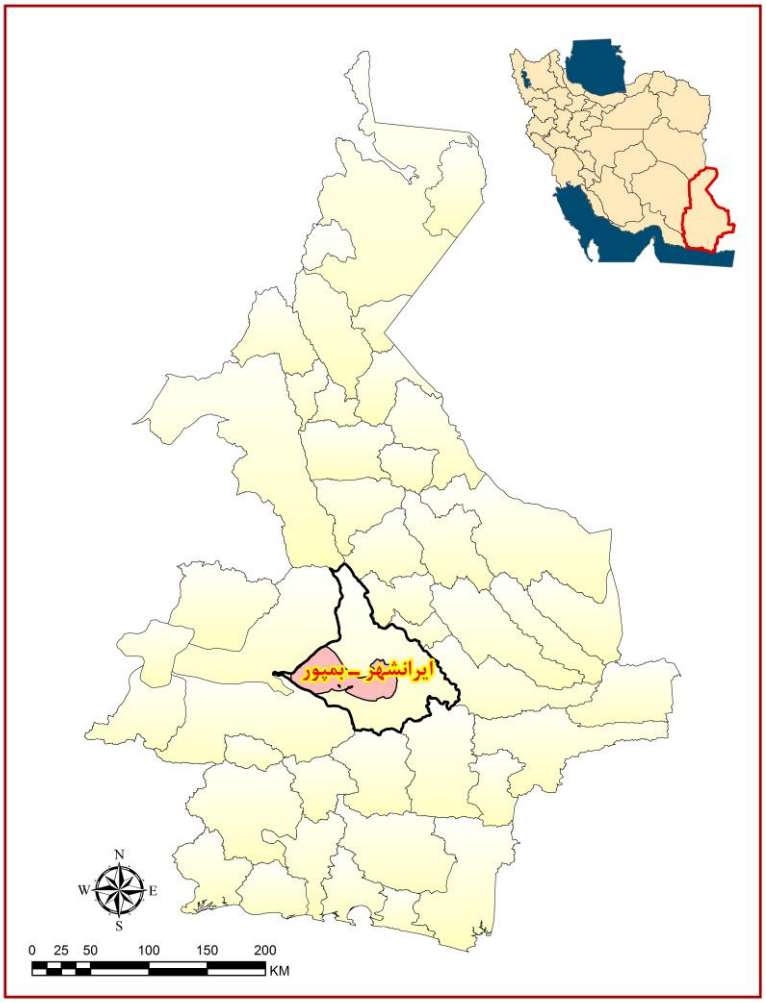
معرفی محدوده مطالعاتی ایرانشهر

حوضه‌ی آبریز ایرانشهر در بخش شرقی حوضه‌ی آبریز هامون- جازموریان شرقی در استان سیستان و بلوچستان در جنوب شرق ایران قرار دارد. این محدوده در بین طول‌های جغرافیایی ´۲۵ °۶۰ تا ´۲۵ °۶۱ شرقی و عرض‌های جغرافیایی ´۴۹ °۲۶ تا ´۴۸ °۲۷ شمالی احاطه شده است. وسعت این حوضه حدود ۸۰۱۸ کیلومترمربع بوده که از این مقدارحدود ۶۸۸۲ کیلومترمربع توسط ارتفاعات و مابقی توسط مناطق آبرفتی دشت پوشیده شده است . دشت ایرانشهر به عنوان جزیی از حوضه آبریز ایرانشهر محسوب شده و آبخوان ایرانشهر در آن قرار دارد. این آبخوان از نظر بیلان آب های زیرزمینی، یکی از آبخوان های تقریبا متعادل این استان بوده و وجود رودخانه‌ی دائمی بمپور که زهکش سفره آب زیرزمینی دشت ایرانشهر است، مؤید این مطلب خواهد بود. در سال های اخیر به دلیل خشکسالی و افزایش برداشت از آبخوان ایرانشهر، رودخانه‌ی بمپور با روند نزولی دبی مواجه شده است. از آنجا که آب این رودخانه توسط روستاهای زیادی مورد استفاده قرار می‌گیرد لازم است که اثرات برداشت آب از این آبخوان بر روی دبی پایه‌ی رودخانه‌ی بمپور با ارایه‌ی مدل کمی آبخوان مورد بررسی قرارگیرد . با این روش می‌توان با اعمال راهکارهای مختلف بر روی این آبخوان از جمله کنترل برداشت و یا تغذیه ی مصنوعی، دبی پایه‌ی رودخانه‌ی بمپور را در حد مطلوب حفظ نمود. [۷]

متوسط ارتفاع دشت ایرانشهر حدود ۶۰۰ متر از سطح دریا و شیب توپوگرافی از شمال، شرق و جنوب منطقه به طرف مرکز دشت است. این منطقه با توجه به عرض کم جغرافیایی جزء مناطق خشک محسوب شده و دارای تابستان های گرم و زمستان های معتدل است. ریزش های جوی دراین حوضه کم و بسیار نامنظم است. به طور متوسط حدود ۷۰ درصد بارندگی سالیانه در زمستان و اوایل بهار روی می‌دهد، ضمن اینکه در ماه‌های تیر و مرداد متأثر از جبهه‌های اقیانوس هند نیز بارندگی‌هایی به صورت رگبارهای پراکنده مشاهده می‌شود. میانگین سالانه‌ی بارندگی دشت ایرانشهر با توجه به آمار ایستگاه های موجود ۹۷ میلیمتر و میزان تبخیر سالانه زیاد و حدود ۳۳۴۳ میلیمتر گزارش شده است. [۸]

از لحاظ زمین‌شناسی قدیمی‌ترین سازه‌هایی که در ارتفاعات حاشیه دشت رخنمون دارند متعلق به دوران دوم هستند. جنس سازندها از سنگ های رسوبی و سنگ های آذرین درونی و بیرونی بازیک است. حداکثر گسترش تشکیلات رسوبی در نواحی شمالی منطقه و تشکیلات آذرین بیرونی در نواحی شرقی و جنوبی دشت قابل رویت است. این ناحیه تحت تأثیر یکسری حرکات کوه زایی آلپ قرار گرفته به طوری که حداکثر مظاهر این فعالیت ها را می توان در قسمت های شمالی ایرانشهر مشاهده نمود. [۷]

شکل ۱ موقعیت کلی منطقه را نشان می‌دهند.



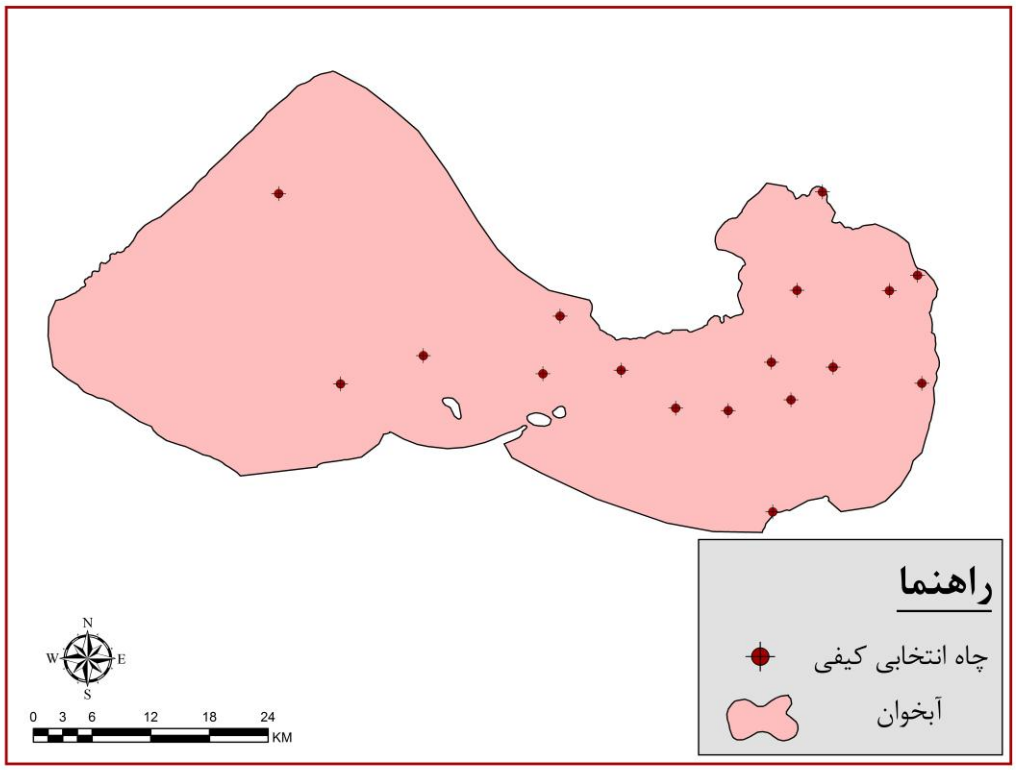
شکل ۱- موقعیت کلی منطقه

۳. روش کار

در این پژوهش جهت پیش‌بینی پراکنش مکانی چهار ویژگی کیفی آب زیرزمینی شامل: کل املاح محلول (TDS)، هدایت الکتریکی (EC)، کلرید (Cl) و نسبت جذب سدیم (SAR) و ارزیابی تغییرات کیفیت آب زیرزمینی منطقه پارامترهای نمونه برداری شده مذکور، مورد استفاده قرار گرفته است. نمونه برداری این پارامترها در سال ۱۳۹۴ از ۱۷ حلقه چاه (جدول ۱) مورد نظر در منطقه مطالعاتی صورت گرفت که با توجه به آن میتوان تغییرات ایجاد شده در کیفیت آب زیرزمینی دشت را مشاهده کرد و تغییرات ایجاد شده را مورد بررسی قرار داد. برای تهیه نقشه ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی منطقه، محدوده مطالعاتی در محیط نرم افزار GIS رسم شد و موقعیت ۱۷ حلقه چاه که نمونه برداری از آن صورت گرفته بود روی نقشه مشخص شده (شکل۳) و نتایج حاصل از تحلیل پارامترهای این چاه ها در محیط GIS هر چاه نسبت داده شده است.

جدول ۱- اطلاعات چاه‌های انتخابی کیفی

شماره چاه	TDS (mg/l)	Cl (ppm)	EC (mho)	SAR
۱	۱۴۵۶	۳۶۳	۲۲۴۰	۱۰
۲	۳۴۱۹	۱۲۸۸	۵۲۶۰	۱۶
۳	۲۵۴۲	۷۶۶	۳۹۱۰	۱۴
۴	۱۵۳۴	۳۹۹	۲۳۶۰	۱۴
۵	۱۶۱۹	۴۲۳	۲۴۹۰	۷
۶	۱۴۶۳	۴۰۳	۲۲۵۰	۱۱
۷	۱۵۶۰	۴۳۱	۲۴۰۰	۱۶
۸	۱۱۷۹	۲۴۹	۱۸۱۴	۶
۹	۶۶۵	۱۲۲	۱۰۲۳	۵
۱۰	۴۲۹	۶۷	۶۶۰	۵
۱۱	۵۹۵	۱۰۳	۹۱۶	۶
۱۲	۶۰۱	۱۴۲	۹۲۵	۹
۱۳	۶۹۷	۱۱۸	۱۰۷۲	۵
۱۴	۴۷۲	۱۳۸	۷۲۶	۵
۱۵	۹۸۴	۲۶۹	۱۵۱۴	۱۱
۱۶	۱۹۸۳	۵۶۵	۳۰۵۰	۱۴
۱۷	۴۷۱۹	۱۹۳۹	۷۲۶۰	۱۸



شکل۳- موقعیت چاه‌های انتخابی کیفی در آبخوان دشت ایرانشهر

کل جامدات محلول (TDS): مواد محلول آب‌های طبیعی بعد از تبخیر آب به صورت ماده جامدی در ظرف تبخیر باقی می‌مانند، که باقیمانده تبخیر خوانده می‌شوند و عبارتند از مجموعه مواد معدنی و آلی حل شده در آب که احتمالاً جز مواد کلوئیدی موجود در آب نیز به آن اضافه شده است. [۹]

کلرید (Cl): در کلیه آب‌های طبیعی به غلظت‌های مختلف وجود دارد که تغییرات آن بستگی زیادی به شرایط شیمیایی زمین دارد. به‌ویژه، غلظت نمک در آب های اطراف معادن نمک زیاد است . مقادیر زیادی از کلرید از طریق نفوذ مدفوع وارد فاضلاب می‌شود. به همین دلیل، هرگاه کلرید همراه با سایر پارامترها ملاحظه شود، مشروط بر اینکه منشأ زمین شناختی طبیعی را به حساب نیاورد، میتوان کلرید را به عنوان شاخص آلودگی تلقی کرد .حتی برخی از آب هایی که غلظت نمک در آنها معادل ۲۵۰ میلی گرم در لیتر می‌باشد، مزه شور دارند، در حالی که در مورد سایر آب های حاوی مقادیر بیشتر یون های کلسیم و منیزیم ، غلظت تقریبی ۱۰۰ میلی گرم در لیتر لازم است .غلظت های اضافی کلرید سرعت خورندگی فلزات در سیستم توزیع را بسته به قلیائیت آب افزایش می‌دهد و این می‌تواند به غلظت‌های زیاد فلزات در آب منجر شود .در هر صورت غلظت‌های کلرید متجاوز از ۲۵۰ میلی‌گرم در لیتر می‌تواند منجر به پیدایش طعم قابل تشخیص در آب شود، و مزه نامطلوب در آن تولید کند. [۹]

هدایت الکتریکی (EC): هدایت الکتریکی آب نشان‌دهنده میزان املاح هادی موجود در آب است. واحد هدایت الکتریکی که آن را با EC نیز نمایش می‌دهند ohm^{-1} یا mho بوده و واحد هدایت الکتریکی ویژه آب میکرو موس بر سانتی متر است. معمولاً وقتی از واژه "هدایت الکتریکی آب" استفاده می‌شود منظور همان "هدایت الکتریکی ویژه آب" است. با توجه به این که هدایت الکتریکی رابطه مستقیمی با TDS و نمک‌های محلول در آب دارد، لذا اندازه‌گیری آن به منظور کنترل کیفیت آب از اهمیت زیادی برخوردار است. [۹]

نسبت جذب سدیم (SAR): یکی از پارامترهای سنجش کیفیت آب کشاورزی است که در بررسی و مدیریت خاک‌های تحت تأثیر سدیم از آن استفاده می‌شود. نسبت جذب سدیم شاخصی برای تعیین مطلوبیت آب جهت استفاده در آبیاری و کشاورزی است و کاتیون‌های قلیایی موجود در آب را اندازه‌گیری می‌کند .این شاخص به عنوان استانداردی جهت هشدار سدیمی‌شدن خاک نیز به‌شمار می‌رود. رابطه ۱ نحوه محاسبه آن را نشان می‌دهد.

$$\mathrm{SAR} = \frac{Na^{+}}{\sqrt{\frac{1}{2}(Ca^{2+} + Mg^{2+})}} \qquad (۱)$$

که در آن غلظت سدیم، کلسیم و منیزیم بر حسب اکی‌والان بر لیتر محاسبه می‌شود.

روشهای درون یابی

روش کریجینگ: کریجینگ عبارت است از یک روش برآورد زمین آماری که بر منطق میانگین متحرک وزن دار استوار بوده و درمورد آن می‌توان گفت که بهترین تخمین‌گر خطی نااریب است .از مهمترین ویژگی‌های کریجینگ آن است که به ازای هر تخمینی خطای مرتبط با آن را می‌توان محاسبه کرد .بنابراین برای هر مقدار تخمین زده شده می‌توان دامنه اطمینان آن تخمین را محاسبه کرد .این تخمینگر به صورت رابطه ۲ تعریف می‌شود: [۱۰]

$$Z^{*}(xi) = \sum_{i=1}^{n} \lambda_i Z(x_i) \qquad (۲)$$

که در آن $Z^{*}(xi)$ مقدار متغیر مکانی برآورد شده، λi وزن آماری که به نمونه xi نسبت داده می‌شود و بیانگر اهمیت نقطه i ام در برآورد است و $Z(xi)$ مقدار متغیر مکانی مشاهده شده در نقطه xi است. شرط استفاده از این تخمین‌گر این است که متغیر Z دارای توزیع نرمال باشد .در غیر این صورت یا باید از کریجینگ غیرخطی استفاده کرد و یا این که با تبدیل‌های مناسب، توزیع متغیر را به نرمال تبدیل کرد. کریجینگ بهترین تخمین‌گر خطی نااریب و عاری از خطای سیستماتیک است.

۴. نتایج و بحث ها

به منظور ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی منطقه از لحاظ کشاورزی و شرب، براساس طبقه‌بندی ویلکوکس و شولر نقشه پهنه‌بندی کشاورزی و شرب بدست آمد .در طبقه‌بندی شولر، آب‌ها از نظر مصرف آشامیدنی به ۶ گروه تقسیم می‌شوند که در جدول ۲ آمده است. همچنین در طبقه‌بندی ویلکوکس مصرف آب کشاورزی به ۴ گروه تقسیم می‌شود که در جدول ۳ آمده است.

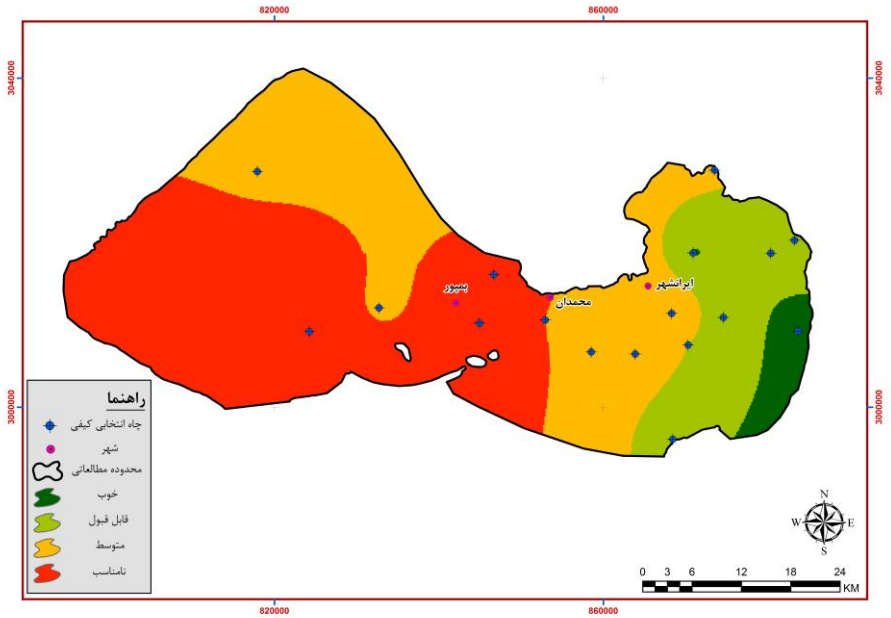
جدول۲- معیارهای کیفیت آب شرب شولر

ردیف	کیفیت	Na^+	Cl^-	SO_4	TDS	TH
۱	خوب	<۱۱۵	<۱۷۵	<۱٤٥	<٥۰۰	<۲٥۰
۲	قابل قبول	۱۱٥–۲۳۰	۱۷٥–۳٥۰	۱٤٥–۲۸۰	٥۰۰–۱۰۰۰	۲٥۰–٥۰۰
۳	متوسط	۲۳۰–٤٦۰	۳٥۰–۷۰۰	۲۸۰–٥۸۰	۱۰۰۰–۲۰۰۰	٥۰۰–۱۰۰۰
٤	نامناسب	٤٦۰–۹۲۰	۷۰۰–۱٤۰۰	٥۸۰–۱۱٥۰	۲۰۰۰–٤۰۰۰	۱۰۰۰–۲۰۰۰
٥	کاملاً نامطلوب	۹۲۰–۱۸٤۰	۱٤۰۰–۲۸۰۰	۱۱٥۰–۲۲٤۰	٤۰۰۰–۸۰۰۰	۲۰۰۰–٤۰۰۰
٦	غیرقابل شرب	>۱۸٤۰	>۲۸۰۰	>۲۲٤۰	>۸۰۰۰	>٤۰۰۰

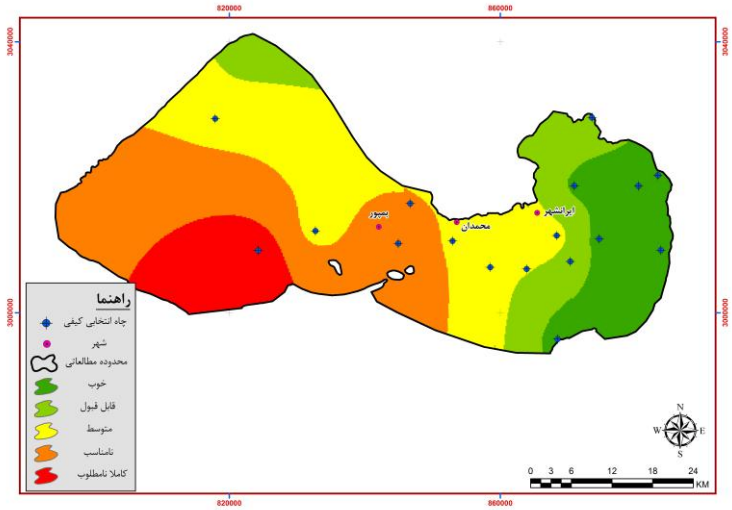
جدول۳- معیارهای کیفیت آب کشاورزی ویلکوکس

	EC (دسی‌زیمنس بر متر)	SAR
عالی	۲٥۰>	۱۰>
خوب	۲٥۰–۷٥۰	۱۰–۱۸
متوسط	۷٥۰–۲۲٥۰	۱۸–۲٦
نامناسب	۲۲٥۰<	۲٦<

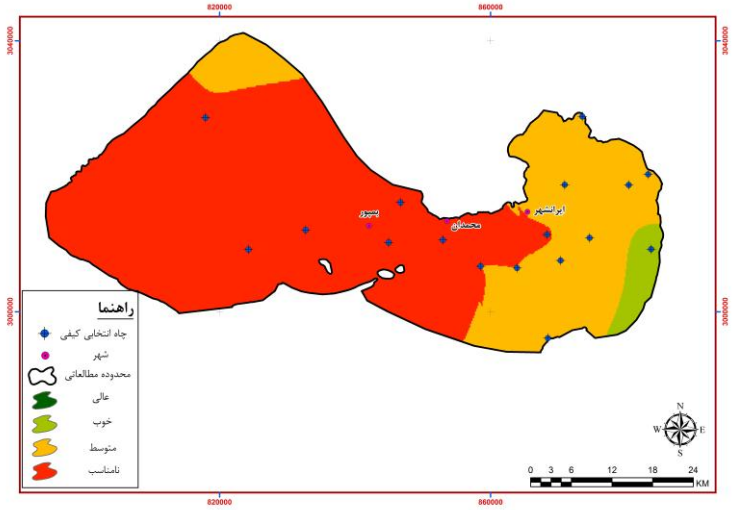
برای تولید نقشه‌های پهنه‌بندی از نرم‌افزار ArcGIS 10.1 استفاده شد. برای این منظور با استفاده از روش‌های درون‌یابی یاد شده در بخش قبل، روش کریجینگ باتوجه به خطای کم و دقت بالا انتخاب شد. شکل‌های ۴ تا ۷ نقشه پهنه‌بندی پارامترهای کیفی مورد نظر را نشان می‌دهند.



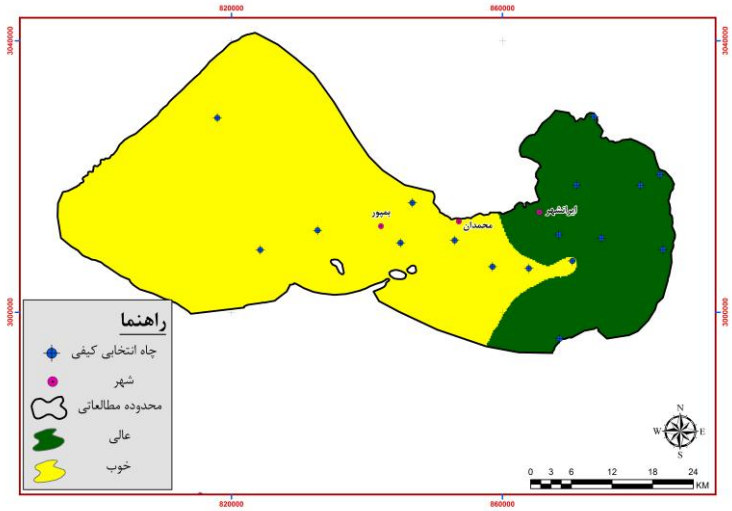
شکل٤- نقشه پهنه‌بندی TDS براساس طبقه‌بندی شولر



شکل۵- نقشه پهنه‌بندی Cl براساس طبقه‌بندی شولر



شکل٦- نقشه پهنه‌بندی EC براساس طبقه‌بندی ویلکوکس



شکل۷- نقشه پهنه‌بندی SAR براساس طبقه‌بندی ویلکوکس

به طور کلی با توجه به نقشه‌های پهنه‌بندی بدست آمده نتیجه شد، میزان کیفیت آب در بخش غربی آبخوان کمتر از شرق آن است. همچنین شهر ایرانشهر، بزرگترین شهرستان این محدوده دارای آب با کیفیت متوسط است.

۵. نتیجه گیری

به طور کلی هدف از این تحقیق براوردی نسبی از وضعیت کیفی آب زیرزمینی آبخوان دشت ایرانشهر است که ۴ پارامتر کل مواد جامد محلول TDS، هدایت الکتریکی EC، کلر Cl و نسبت جذب سدیم SAR در آن مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به نقشه های کیفی نتیجه شد به طور نسبی بیش از نیمی از آبخوان این دشت (به‌ویژه مناطق غربی آبخوان) در وضعیت متوسط و نامناسب قرار دارد در حالی که بخش دیگر آن (مناطق شرقی) دارای وضع بهتری است. از این رو انتظار می‌رود با همکاری سازمان‌ها و ارگان‌های مربوطه و همچنین مردمی که در این محدوده زندگی می کنند، از پیشرفت وضعیت نامطلوب کیفیت آب جلوگیری کرده و به مرور باعث کاهش آن شوند که این امر نیازمند همت جدی این دو گروه است.

۱۲. مراجع

۱. صراف، امیرپویا (۱۳۹۴)، "ارزیابی روش‌های زمین آماری در تهیه نقشه‌های کیفی آب های زیرزمینی و پهنه‌بندی آنها (آبخوان حوضه آبریز هراز، دشت پلور)"، فصلنامه علمی- پژوهشی فضای جغرافیایی.

2. Homonick, S., MacDonald, A., Heal, K., Dochartaigh, B., Ngwenya, B. (2010), "Manganese concentrations in Scottish groundwater", Science of the Total Environment.

۳. حسنی پاک، علی؛ (۱۳۸۶)، "زمین آمار (ژئواستاتیستیک)"، انتشارات دانشگاه تهران.

۴. مقدم، علیرضا؛ قلعه بان تکمه داش، میلاد؛ اسماعیلی، کاظم؛ (۱۳۹۲)،" بررسی روند تغییرات زمانی و مکانی پارامترهای کیفی آب دشت مشهد با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی"، مجله حفاظت آب و خاک.

5. 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", the 8th International Congress on River Engineering.

6. Chang, H. (2008), "Spatial analysis of water quality trends in the Han River basin", South Korea, Water Resources.

۷. لشکری پور، غلامرضا؛ زارع، محمد؛ شهابی فرد، فاطمه (۱۳۸۳)، "اثرات برداشت آب از آبخوان ایرانشهر بر روی دبی پایه رودخانه بمپور"، نشریه جغرافیا و توسعه.

۸. شهابی فرد، فاطمه (۱۳۸۳)، "اثرات برداشت آب از آبخوان ایرانشهر روی دبی پایه ی رودخانه بمپور"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه سیستان و بلوچستان.

۹. علیزاده، امین؛ (۱۳۹۲)، "رابطه آب و خاک و گیاه"، انتشارات دانشگاه امام رضا.

۱۰. کاراموز، محمد؛ کراچیان، رضا؛ (۱۳۹۶)، "برنامه ریزی و مدیریت کیفی سیستم های منابع آب"، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر.