

ارزیابی شاخص‌های کیفی آب زیرزمینی دشت مشهد با استفاده از تکنیک‌های زمین‌آمار و GIS

محمدرضا یزدانی^۱، حمیدرضا کوه بنانی^{۲*}، جمال دشتی امیرآباد^۲، مصطفی عظیمی نژاد^۳

۱- دانشیار، دانشکده کویرشناسی، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران

۲- دانشجوی دکتری بیابان‌زدایی، دانشکده کویرشناسی، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران

۳- دانشجوی کارشناس ارشد آموزش بهداشت، دانشکده بهداشت، دانشگاه سبزوار، سبزوار، ایران

مقاله پژوهشی اصیل

تاریخ دریافت: ۹۶/۵/۱۷

تاریخ پذیرش: ۹۶/۹/۱۸

*نویسنده مسئول: حمیدرضا کوه بنانی،
دانشکده کویرشناسی، دانشگاه سمنان،
سمنان، ایران
تلفن:

پست الکترونیک:
Koohbanan@semnan.ac.ir

چکیده

مقدمه

کیفیت منابع آب شرب رابطه تنگاتنگی با بهداشت و سلامت جامعه دارد. جهت اندازه‌گیری و پهنه‌بندی پارامترهای کیفی منابع آب می‌توان از GIS استفاده نمود تا به سهولت اطلاعات ذی‌قیمتی به فعالان بخش سلامت جامعه ارائه گردد. در مطالعه حاضر برخی شاخص‌های مهم کیفی منابع آب زیرزمینی بخش مرکزی شهرستان مشهد اندازه‌گیری و پهنه‌بندی گردید.

مواد و روش‌ها

در پژوهش حاضر شاخص‌های کیفیت آب شامل TDS، TH، سولفات، کلر، pH و سدیم در پهنه‌ای شامل ۱۵۸۰ چاه آب اندازه‌گیری گردید. سپس داده‌ها وارد محیط GIS شده و با استفاده از روش کریجینگ پهنه‌بندی شد.

یافته‌ها

شاخص کل مواد جامد محلول در ۶۰٪ از منابع آب زیرزمینی منطقه و شاخص سختی آب در ۸۱٪ از سطح کل منطقه از استاندارد ملی ایران فراتر رفته است. در خصوص شاخص سدیم تنها ۳٪ از محدوده و در شاخص کلرید ۶٪ از محدوده که عمدتاً در جنوب شهر مشهد و بخش‌های کوچکی در شمال غرب مشهد واقع‌اند از استاندارد فراترند. شاخص سولفات نیز در بیش از ۹٪ منطقه مورد مطالعه در شرایط نامساعد قرار دارد. وضعیت شاخص pH منطقه مناسب بود.

نتیجه‌گیری

نتایج بدست‌آمده و نقشه‌ها نشان می‌دهد شرایط کیفی منابع آب زیرزمینی مخصوصاً در دو شاخص TDS و TH در بخش‌های جنوبی شهر مشهد نامناسب ارزیابی می‌گردد. این مسئله با تراکم بالای جمعیت در این منطقه و عدم زهکشی مناسب مرتبط است. لازم است استفاده از منابع آب زیرزمینی در نواحی بحرانی محدود شده و منابع آب سالم جایگزین برای مصارف شرب در این مناطق تعریف شود.

کلیدواژه‌ها

آب زیرزمینی، کیفیت آب، دشت مشهد، GIS

مقدمه



منابع آب زیرزمینی در کشور ایران و سایر کشورهای دارای اقلیم مشابه با ایران، مهم‌ترین منبع تأمین آب شرب و آب مورد استفاده در کشاورزی محسوب می‌گردد. در سال ۲۰۰۳ حدود یک میلیارد نفر در جهان دسترسی به منابع آب شرب بهداشتی نداشته‌اند و احتمالاً در نیمه قرن اخیر حدود ۲-۷ میلیارد نفر در کشورهای کم آب جهان زندگی خواهند کرد (۱). گفته می‌شود با توجه به اقلیم خشک و نیمه‌خشک ایران، ۹۰٪ از آب مصرفی کشورمان از منابع آب زیرزمینی استخراج می‌گردد (۲). خطر آلودگی کمتر نسبت به سایر منابع آبی و هزینه پایین استحصال آن باعث شده تا برداشت از این منابع همچنان ادامه داشته باشد. دسترسی به آب سالم و بهداشتی برای سلامتی نوع بشر ضروری و اجتناب‌ناپذیر است. از این‌رو دسترسی به آب‌های شیرین غیر آلوده با کیفیت مناسب یکی از بزرگ‌ترین چالش‌های فراروی بشر در دهه پیش رو خواهد بود. بنابراین ارزیابی کیفی آب‌های زیرزمینی به منظور حفظ بهداشت و سلامت عمومی جامعه از اهمیت بالایی برخوردار است. گزارش‌ها حاکی از آن است که حداقل ۸۰٪ تمامی بیماری‌ها در کشورهای در حال توسعه به نحو مستقیم یا غیرمستقیم مرتبط با آب شرب ناسالم یا ناکافی و فاضلاب غیراصولی و غیربهداشتی است (۳). کمبود آب و روند فزاینده افت کیفیت آب منابع موجود شهری به همراه افزایش املاح محلول آب و همچنین تغییر مشخصات فیزیکی-شیمیایی و میکروبی، از جمله مواردی است که در سطح جوامع نگرانی‌های جدی را در مورد تأمین آب ایجاد کرده است (۴). مطالعات و پژوهش‌های بسیاری در سطح جهانی در خصوص آنالیز کیفی آب انجام‌شده و روش‌های مختلفی جهت طبقه‌بندی منابع آبی در سه حوزه آب شرب و بهداشتی، صنعت و کشاورزی انجام‌شده است. بطوریکه با استفاده از این اطلاعات، می‌توان ضوابط و معیارهایی به

منظور مدیریت صحیح و کارآمد و کاهش مشکلات ناشی از مصارف آب‌های نامطلوب ارائه نمود. دیاگرام شولر، نمودار ویل کوکس، استانداردهای WHO، شاخص NFSWQI، شاخص BCWQI و شاخص Said از جمله روش‌های طبقه‌بندی کیفی منابع آب محسوب می‌شود. همچنین تحقیقات متعدد نشان از ارتباط معنی‌دار بین کیفیت آب زیرزمینی و انواع و اقسام بیماری‌ها و نرخ مرگ‌ومیر دارد (۵-۸).

در رابطه با بررسی کیفیت آب زیرزمینی با استفاده از فناوری GIS^۱ مطالعات گوناگونی صورت گرفته است. به عنوان مثال در یک مطالعه در شهر نیشابور کیفیت منابع آب شرب روستایی این شهرستان در سال ۹۲ مورد بررسی قرار گرفته و نتایج بیانگر این بود که شاخص نسبت جذب سدیم یا SAR^۲ تنها در چهار مورد از ۸۳ حلقه چاه مورداندازه‌گیری دارای وضعیت مناسب است. همچنین غلظت نیتریت، نیترات و TDS^۳ منابع آب شرب مطابق با استانداردهای آب آشامیدنی ارزیابی گردید (۹). در پژوهشی دیگر در دشت مشهد، رابطه کیفیت آب شرب استحصالی از منابع زیرزمینی با بیماری‌های انسانی بررسی گردید. در این تحقیق وضع کیفی آب در بخش‌های جنوبی دشت نامطلوب با روند نزولی ارزیابی شده و نهایتاً بین مرگ‌ومیر ناشی از بیماری‌های قلبی و عروقی با شاخص کلر آب رابطه معنی‌داری بدست آمد (۸). مطالعه دیگر در همین منطقه نشان داد در حد فاصل سال‌های ۱۳۸۰-۱۳۸۸ مقدار pH^۴ کاهش و مقدار EC^۵ افزایش داشته است. در ادامه این تحقیق بیان شده که پایین‌دست حوضه آبخیز مشهد به دلیل تجمع روستانشینان و

^۱Geographic Information System^۲Sodium Adsorption Ratio^۳Total Dissolved Solids^۴potential of Hydrogen^۵Electrical Conductivity



درمانی به‌منظور کاهش عوامل خطرآفرین و پیامدهای آن در سطح جامعه محسوب می‌گردد.

پارامترهای کیفی مورد مطالعه

کل جامدات محلول یا TDS^1 : این شاخص معرف تمامی مواد محلول در آب شامل مواد آلی و غیر آلی از قبیل مواد معدنی، فلزات و مواد شیمیایی آلی است. واحد آن میلی‌گرم بر لیتر بوده و با اصطلاح PPM نیز از آن یاد می‌کنند. حداکثر مطلوب آن طبق استاندارد WHO ۱۰۰۰ است. اما در ایران حداکثر مجاز ۱۵۰۰ ذکر شده است (۱۷). معمولاً آب لب شور دارای TDS بین ۱۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰ mg/l داشته و آب شور نیز بین ۱۰۰۰۰ تا ۳۰۰۰۰ mg/l قرار دارد. میزان TDS از آن جهت حائز اهمیت است که با افزایش آن احتمال وجود مقادیر زیاد از موادی که کاهش کیفی آب را در پی دارند بیشتر می‌گردد. لازم به ذکر است که با افزایش غلظت TDS بیماری اسهال افزایش می‌یابد (۱۸). هنگامی که کل مواد جامد محلول در آب (TDS) کم باشد باعث می‌شود مقدار املاح آب بدن کم شده در نتیجه کلیه انسان سیگنال‌های عصبی یا هورمونی ایجاد می‌کند که باعث افزایش ادرار می‌شود. همچنین اگر کل مواد جامد محلول در آب زیاد باشد باعث افزایش غلظت املاح در بدن شده و فرد دچار حس تشنگی می‌شود. افزایش این شاخص منجر به مشکلات قلبی و عروقی، بیماری‌های کلیوی و کبدی، استخوانی، امراض مخاطی و سرطان، تیروئید و بروز مشکلات ظاهری در فرد می‌شود (۱۹).

سختی کل یا TH^2 : سختی آب مفهومی است که به کمک آن میزان یون‌های کلسیم و منیزیم بیان می‌شود.

کشاورزی با بحران آلودگی آب روبروست (۱۰). نتایج پهنه‌بندی نیترات و آمونیاک در چاه‌های تأمین‌کننده آب شرب بابل نشان از پایین بودن مقادیر آن‌ها از مقادیر توصیه شده توسط سازمان بهداشت جهانی دارد (۱۱). مطالعه دیگر بر روی پارامترهای کیفی آب زیرزمینی گناباد حاکی از نامناسب بودن آب به دلیل بالا بودن هدایت الکتریکی بوده است. همچنین سختی آب این دشت در سال ۹۰ به میزان ۹۰۶ mg/l و pH نیز ۸/۲ برآورد شد که دلالت بر نامناسب بودن آب برای مصارف شرب دارد (۱۲). پژوهش دیگری در کشور غنا نشان داد برخی استانداردهای WHO در خصوص کیفیت آب از جمله pH، آهن، منگنز و کلراید در مناطق روستایی این کشور فراتر از حد مجاز بوده و ضرورت تصفیه آب قبل از استفاده را خاطرنشان می‌سازد (۱۳).

سیستم اطلاعات جغرافیایی یا GIS یک سامانه پیشرفته کامپیوتری به‌منظور جمع‌آوری، ذخیره، تحلیل و نمایش اطلاعات مکانی است. این سامانه دارای قابلیت منحصربه‌فرد تلفیق، سازمان‌دهی و فهم ارتباطات مکانی بین متغیرهای مختلف است. کلیه داده‌ها در این سامانه دارای مشخصه جغرافیایی بوده و قابلیت بصری‌سازی بالایی دارد. یکی از کاربردهای متنوع این سامانه در حوزه سلامت بوده (۱۴)، به‌گونه‌ای که مدیران حوزه سلامت می‌توانند در امر شناسایی مناطق جغرافیایی آسیب‌پذیر به انواع مخاطرات زیست‌محیطی و بهداشتی از قابلیت‌های این سامانه بهره ببرند (۱۵). این ویژگی به دلیل امکان ارتباط داده‌های مکانی با داده‌های حوزه بهداشت محیط و بخش سلامت است (۱۶). شناسایی مناطق جغرافیایی در معرض خطر اولین گام در راستای اقدامات بهداشتی-

¹Total Dissolved Solids

²Total Hardness



سختی مطلوب و مجاز به ترتیب ۲۰۰ و ۵۰۰ بیان می‌شود (۱۷). با افزایش سختی آب بیماری‌های کلیوی و عروقی، افزایش فشارخون سیستولیک و دیاستولیک، سرطان‌های مری، معده (۲۰) و همچنین بیماری‌های آرتریواسکلروزیس، هیپرتنسیون و مرگ‌های ناگهانی (۲۱) و سنگ‌سازی در کلیه و مثانه افزایش می‌یابد (۲۲).

سولفات (SO_4) سولفات جزء یون‌های خورنده فلزات محسوب می‌شود. بعد از بی‌کربنات‌ها یون سولفات فراوان‌ترین آنیون محلول در آب است. سولفات‌های سدیم و پتاسیم باعث بالا بردن سختی دائم آب می‌شوند. سولفات‌های سدیم و پتاسیم به مقدار زیاد در آب وجود دارند. بعضی از باکتری‌های بی‌هوازی در آب سولفات‌ها، سولفات‌ها را تبدیل به سولفور کرده، آن را احیا می‌نمایند که ممکن است بعداً تبدیل به تیوسولفات‌ها گردند. آب‌های دارای اسیدسولفوریک در صورت تهویه و به هم زدن آب، بوی نامطبوع هیدروژن‌سولفور از آن کاملاً محسوس است. فاضلاب‌های صنعتی یکی از منابع مهم سولفات است. از منابع دیگر سولفات باران اسیدی و معادن فلزات است. حضور سولفات در آب باعث بروز اسهال به‌ویژه در کودکان می‌گردد و همچنین بوی ناشی از حضور آن باعث اعتراض مردم می‌گردد (۲۳). سولفات در غلظت‌های بالاتر از ۴۰۰ mg/l در بدن ایجاد سستی می‌کند (۱۸).

سدیم (Na): احتمال بروز بیماری قلبی با افزایش سدیم بالا می‌رود (۲۳). همچنین در خردسالان منجر به صدمه نورگیلیایی شده و حتی می‌تواند به مرگ منجر شود (۱۹). رژیم بالای کلرید سدیم می‌تواند به افزایش فشارخون و نازک شدن دیواره سرخرگ‌های کوچک، صدمه به مغز و چشم منجر شود (۸). افزایش غلظت یون سدیم علاوه بر انسان برای گیاهان نیز ایجاد مسمومیت می‌کند.

pH: این عامل معرف درصد اسیدیته یا قلیایی‌ات آب است که میزان آن برای سلامتی، رشد و نمو بسیار مهم تلقی می‌گردد. pH طبیعی بدن می‌بایستی ۷/۳۶۵ باشد و محیط اسیدی یکی از اساسی‌ترین عوامل برای ایجاد بیماری در بدن انسان است. حال مصرف آب با pH بالا یا آب قلیایی کمک بسیار زیادی در حرکت به سمت سلامتی و کاهش و بهبود بیماری در سطح جامعه می‌نماید. مقدار مناسب آن بین ۸/۵-۶/۵ متغیر است (۲۵).

کلر: در بسیاری از کشورها کلر به دلیل ارزان بودن و تأثیر بالا، به منظور حذف میکروارگانیسم‌هایی که مسئول بیماری‌های منتقل شده از طریق آب هستند، به آب اضافه می‌شود (۲۶). کلر می‌تواند در مدت ۳ دقیقه و غلظت ۰/۲ mg/l اکثر ارگانیسم‌های بیماری‌زا برای انسان را به طور مؤثر غیرفعال کند (۲۷). بنابراین رهاسازی غیراصولی پساب شهری و صنعتی منجر به افزایش این آلاینده در منابع آب زیرزمینی می‌شود. مطابق با استاندارد WHO میزان کلر در حالت مطلوب ۲۵۰ و در حالت مجاز تا ۴۰۰ mg/l است (۱۳). کلر باقیمانده می‌تواند با ترکیب با مواد آلی موجود در آب، تشکیل ترکیباتی به نام تری‌هالومتان‌ها را بدهد. امروزه سرطان‌زایی این ترکیبات به اثبات رسیده است. این آنیون می‌تواند باعث بروز سقط‌جنین، بیماری‌های چشمی و مغز و اعصاب گردد (۱۹).

هدف پژوهش حاضر ارزیابی و آنالیز شاخص‌های کیفی منابع آب زیرزمینی با استفاده از نمونه‌برداری از آب ۱۵۸۰ حلقه چاه در سطح دشت مشهد است. کیفیت آب این دشت بر روی سلامت جمعیت زیادی اثر مستقیم دارد. این دشت سالانه حدوداً ۲۵۰ میلیون مترمکعب کسری مخزن دارد و به همین علت از سال ۱۳۴۸ در زمره دشت‌های بحرانی و ممنوعه قرار گرفته است (۲۸). از جمله عوامل آلودگی این دشت می‌توان به خشکسالی‌های پی‌درپی، دفع سنتی فاضلاب، جمعیت میلیونی زائر، عدم رعایت حریم منابع آب و فرسودگی تأسیسات توزیع آب

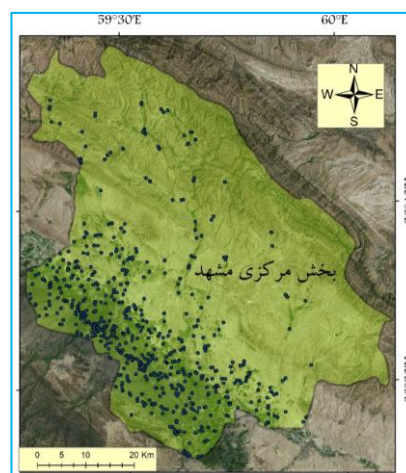


اشاره نمود (۲۹). با توجه به موارد مورد اشاره پهنه‌بندی کیفی منابع آب این دشت جهت اقدامات اصلاحی و مدیریتی الزامی می‌باشد.

مواد و روش‌ها

منابع آب زیرزمینی دشت مشهد علاوه بر تأمین آب مورد نیاز بخش کشاورزی (۱/۵ میلیارد مترمکعب) بخش مهمی از آب شرب شهرهای مشهد، طرqbه، شاندیز و چناران را تأمین می‌کند. گستره جغرافیایی این دشت از ۵۸ درجه و ۲۹ دقیقه تا ۵۹ درجه و ۵۶ دقیقه طول شرقی و ۳۵ درجه و ۵۸ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۳ دقیقه عرض شمالی واقع شده است. شهر مشهد مقدس به‌عنوان دومین کلان شهر بزرگ ایران در این دشت واقع شده است. در پژوهش پیش رو برخی شاخص‌های مهم کیفیت آب شامل جامدات محلول کل، سختی کل، کلر، سدیم، سولفات و pH در چاه‌های بخش مرکزی شهرستان مشهد (شکل ۱) برداشت و اندازه‌گیری گردید. این اطلاعات مربوط به سال‌های ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵ بوده و چاه‌های فاقد اطلاعات یا دارای اطلاعات ناقص از مطالعه حذف شدند.

جهت اندازه‌گیری TDS از روش وزن سنجی نمونه‌ها در آزمایشگاه استفاده گردید. برای اندازه‌گیری هدایت الکتریکی از EC متر و برای اندازه‌گیری pH یا قلیائیات آب، دستگاه pH متر به کار گرفته شد. از روش نیتراسیون برای اندازه‌گیری سختی آب و همچنین اندازه‌گیری سولفات بهره گرفته شد. اندازه‌گیری نمک سدیم نمونه‌ها به روش فلیم فتومتر انجام پذیرفت و نهایتاً با استفاده از روش پتانسیل سنجی اندازه‌گیری کلر صورت پذیرفت. پس از آنالیز نمونه‌ها، آمار و اطلاعات وارد سامانه GIS شده و سپس با استفاده از فنون زمین‌آمار^۱ نسبت به درون یابی و پهنه‌بندی هر یک از شاخص‌ها اقدام گردید. پارامترهای فوق با استفاده از دیاگرام شولر و استاندارد ملی ایران طبقه‌بندی شده (جدول ۱) و نقشه‌های هر کدام از شاخص‌ها در سطح دشت مشهد استخراج گردید (شکل ۲).



شکل ۱ - موقعیت چاه‌های آب نمونه‌برداری شده در منطقه مورد مطالعه

^۱ Geostatistic



جدول ۱- دسته‌بندی کیفی آب (۱۰، ۲۴، ۸)

درجه کیفیت آب شرب	کلاس	TDS (µg/L)	TH (µg/L)	Na (µEq/L)	CL (µEq/L)	So ₄ (µEq/L)	pH
خوب	I	<۲۸۰	<۱۹۰	<۱۰	<۵	<۵	۶/۵ - ۸/۵
قابل قبول	II	۲۸۱-۵۰۰	۱۹۱-۲۵۰	۱۰-۱۵	۵-۱۰	۵-۱۰	۸/۵ - ۹/۵
نامناسب	III	۵۰۱-۱۰۰۰	۲۵۱-۶۰۰	۱۶-۲۰	۱۱-۲۰	۱۱-۱۵	۶/۵ یا >۹/۵
بد	IV	۱۰۰۱-۲۰۰۰	۶۰۱-۱۰۰۰	۲۱-۲۵	۲۱-۲۵	۱۶-۲۰	-
قابل شرب در شرایط اضطراری	V	۳۰۰۱-۳۵۰۰	۱۰۰۱-۱۵۵۰	۲۶-۳۰	۲۶-۳۰	۲۱-۲۵	-
غیر قابل شرب	VI	۳۵۰۱-۴۰۰۰	۱۵۵۱-۲۰۰۰	۳۱-۴۵	۳۱-۳۵	۲۶-۳۵	-

در تحقیق پیشرو از روش‌های زمین‌آمار برای درون‌یابی و بسط اطلاعات نقاط چاه‌ها به سطح دشت مشهد استفاده شد. در آمار کلاسیک نمونه‌های به‌دست‌آمده از جامعه عموماً تصادفی در نظر گرفته شده و مقدار اندازه‌گیری شده یک کمیت خاص از یک نمونه، هیچ گونه اطلاعاتی درباره مقدار همین کمیت در نمونه دیگر و به فاصله معلوم نخواهد داد. در صورتیکه در زمین‌آمار بین مقادیر یک کمیت در جامعه نمونه‌ها می‌توان ارتباط برقرار نمود. وابستگی بین مقادیر نمونه‌ها به فاصله نمونه‌ها بستگی دارد و این مسئله پایه اصلی زمین‌آمار را تشکیل می‌دهد. نخست داده‌ها با استفاده از آزمون کالماگورف-اسمیرانف داده‌های دارای روند به روش تبدیل باکس-کاکس نرمال شدند. به منظور برازش اطلاعات نقطه‌ای به سطح از روش کریجینگ استفاده گردید.

مهم‌ترین تخمین‌گر زمین‌آمار کریجینگ است (۵). کریجینگ یک روش تخمین مبتنی بر میانگین متحرک وزن‌دار بوده و به‌صورت معادله (۲۸) تعریف می‌شود:

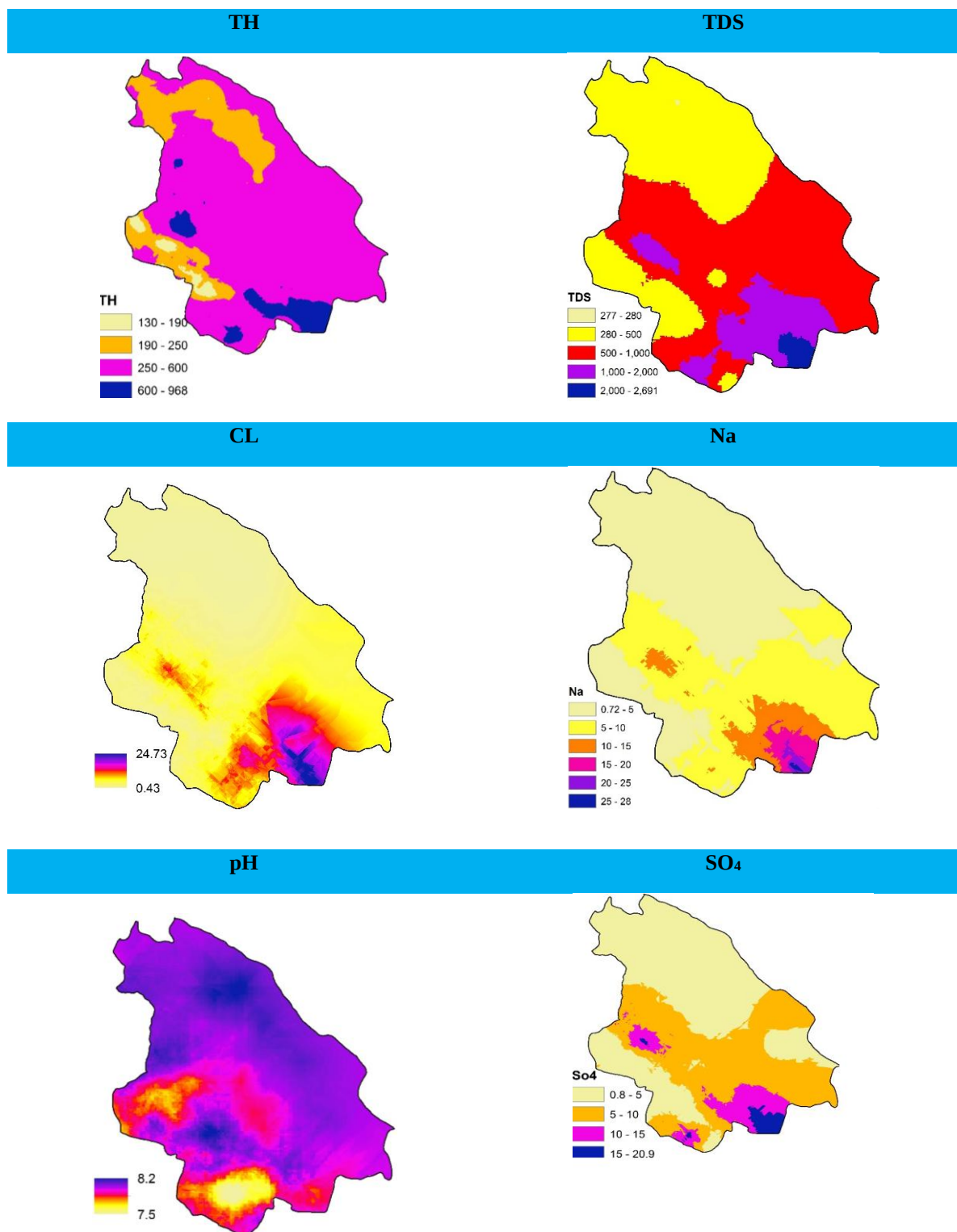
(۱)

$$Z_V^* = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z_{vi} \rightarrow i=1, 2, \dots, n$$

در معادله فوق n تعداد نمونه‌ها، Z_V پارامتر تخمینی، λ_i وزن نمونه i ام و Z_{vi} پارامتر معلوم است (۳۰). کریجینگ

یک تخمین‌گر ناریب با کمترین واریانس تخمین است. شرط ناریبی در دیگر روش‌های تخمین مانند IDW نیز اعمال می‌شود اما در کریجینگ ضرایب به‌گونه‌ای تعیین می‌شود تا در عین ناریبی، واریانس تخمین نیز حداقل باشد (۳۱). از این روش درون‌یابی در علوم زمین‌شناسی، هیدرولوژی و نفت استفاده می‌شود. چنانچه واریانس داده‌ها زیاد باشد، روش کریجینگ دقت بالاتری نسبت به سایر مدل‌ها خواهد داشت. در این مطالعه با توجه به پایین بودن میانگین ریشه مربع خطاها، دو نوع مدل کریجینگ ساده^۱ و کریجینگ جامع^۲ نسبت به سایر مدل‌های کریجینگ انتخاب شدند.

^۱ Simple Kriging^۲ Universal Kriging



شکل ۲- نقشه شاخص‌های کیفی منابع آب در منطقه مورد مطالعه



یافته‌ها

یکی از روش‌های کاربردی طبقه‌بندی کیفیت آب، دیاگرام شولر است. با استفاده از این روش و تلفیق آن با استاندارد ملی ایران دسته‌بندی کیفی آب در منطقه بخش مرکزی مشهد انجام پذیرفت. همان‌طور که اشاره گردید مدل کریجینگ به‌منظور درونیابی و پهنه‌بندی شاخص‌ها به کار گرفته شد. بر اساس معیار پایین بودن مقدار خطای

مدل، یکی از دو مدل کریجینگ ساده و کریجینگ جامع برای هر یک از شاخص‌ها انتخاب گردید (جدول ۲). به عنوان مثال همان‌طور که در جدول ۲ مشاهده می‌شود، در شاخص کلرید مقدار RMSE مدل ساده ۹/۳۵ و مدل جامع ۰/۷۶ برآورد گردید. بنابراین مدل جامع برای پهنه بندی این شاخص دقیق‌تر ارزیابی گردید.

جدول ۲- RMSE مدل کریجینگ ساده (Simple) و جامع (Universal) برای هر شاخص

ساده	جامع	
۱/۳۳	۱/۲۹	TDS
۱/۲۹	۱/۰۳	TH
۰/۹۵	۱/۱۹	Na
۹/۳۵	۰/۷۶	CL
۱/۰۰۴	۰/۸۹۳	So ₄
۱/۰۸	۰/۸۲	pH

بر این اساس نقشه‌های هر کدام از شاخص‌ها تهیه (شکل ۲) و درصد مساحت هر کدام از طبقات کیفی نیز محاسبه گردید (جدول ۳). نقشه مواد جامد محلول یا TDS دشت مشهد نشان می‌دهد روند افزایشی از سمت شمال دشت به سمت جنوب دشت وجود دارد و عمدتاً با تمرکز مراکز جمعیتی ارتباط مستقیم دارد (شکل ۲). تقریباً ۴۰٪ از مساحت منطقه دارای استاندارد قابل قبول می‌باشند که عمدتاً در شمال دشت واقع گردیده است. بخش‌های میانی و جنوبی دشت در طبقه نامناسب و طبقات کیفیت پایین تر قرار دارند. شاخص TDS یک فاکتور کلی بوده و

افزایش آن با افزایش بسیاری از املاح معدنی و غیرمعدنی ارتباط مستقیم دارد. به عنوان مثال شاخص EC یا شوری نیز با افزایش TDS رابطه مستقیم دارد. نتایج تحقیق حاضر نشان می‌دهد سختی کل در ۱۹٪ از منطقه در طبقه خوب و قابل قبول قرار دارد اما شرایط ۸۱٪ دیگر منطقه نامناسب و بد ارزیابی گردید. الگوی تغییرات مکانی فاکتور سختی آب تقریباً مشابه با شاخص TDS بوده و مناطق شمالی دشت و بخش‌های کوچکی از دشت که مرتبط با منطقه طرqbه و شاندیز می‌شوند شرایط بهتری را مشاهده می‌کنیم (شکل ۲).

جدول ۳- درصد طبقات کیفی شاخص‌های مورد مطالعه منابع آب زیرزمینی در سطح بخش مرکزی مشهد

pH	So ₄	CL	Na	TH	TDS	کلاس	درجه کیفیت آب شرب
۱۰۰	۵۱/۲	۷۹/۳۶	۹۰/۳	۱/۷	۰/۰۳	I	خوب
۰	۳۹/۴	۱۴/۵۵	۶/۶۳	۱۷/۴۲	۳۹/۴۸	II	قابل قبول
۰	۷/۴۷	۴/۸۳	۲/۳۸	۷۵/۱۳	۴۶/۱۲	III	نامناسب
۰	۱/۸۵	۱/۱۹	۰/۶	۵/۷۵	۱۲/۸۳	IV	بد
۰	۰/۰۸	۰/۰۷	۰/۰۹	۰	۱/۵۴	V	قابل شرب در شرایط اضطراری
۰	۰	۰	۰	۰	۰	VI	غیر قابل شرب



با توجه به محاسبات انجام گرفته شرایط سدیم در منابع آب زیرزمینی دارای شرایط بهتری بوده و کماکان مناطق جنوبی بخش مرکزی مشهد با تجمع سدیم روبروست که در مجموع ۳٪ از کل منطقه را شامل می‌شود. وضعیت کلر باقیمانده در آب نیز مشابه سدیم بوده و ۶٪ از مساحت بخش دارای شرایط نامناسب و بد بوده و در قسمت‌های جنوبی شهر مشهد واقع است. در خصوص پارامتر سولفات نتایج نشان می‌دهد ۵۱٪ از سطح منطقه وضعیت کیفی خوبی دارد و تقریباً ۳۰٪ هم دارای شرایط قابل قبول مطابق با استاندارد ملی ایران و WHO دارد (جدول ۳). اما بخش‌هایی از شمال شهر مشهد و همچنین قسمت‌های جنوبی شهر شرایط نامساعدی را تجربه می‌کنند (شکل ۲). وضعیت pH منابع آب مطابق با استانداردها بوده اما کماکان در بخش‌های جنوبی و بخش‌های در شمال غرب شهر مشهد اسیدیته نسبت به سایر نقاط دشت بالاتر است (جدول ۳).

بحث

در پژوهش حاضر با استفاده از سامانه GIS پهنه‌بندی برخی فاکتورهای کیفیت آب‌های زیرزمینی انجام پذیرفت. نقشه‌های به‌دست‌آمده در این مطالعه نمای کلی از وضعیت کیفیت منابع آب زیرزمینی بخش مرکزی شهرستان مشهد را ارائه می‌دهند (شکل ۲). با توجه به توپوگرافی عمومی منطقه، شیب عمومی هیدرولیکی آب زیرزمینی دشت مشهد به سمت جنوب است. بنابراین انتظار می‌رود در قسمت‌های جنوبی شهر مشهد شاهد تجمع آلاینده‌ها باشیم. تجمع جمعیت در این ناحیه به همراه دفع غیراصولی پساب شهری و صنعتی باعث وخامت بیشتر اوضاع در این ناحیه گردیده است (۲۹). شهرسازی و فعالیت‌های صنعتی بدون در نظر گرفتن چالش‌های زیست محیطی منطقه می‌تواند از عوامل کاهش کیفی آب در این منطقه در نظر گرفته شود. پیش

از این نیز انتظاری و همکاران به کیفیت پایین منابع آب در جنوب شهر مشهد اشاره کرده‌اند (۸) که با نتایج بدست‌آمده از این تحقیق همخوانی دارد. همچنین مقدم و همکاران در مطالعه خود با بررسی ۱۰ ساله کیفیت آب دشت مشهد با استفاده از ۳ شاخص pH، TDS و EC وضعیت پایین دست حوضه مشهد را نگران‌کننده اعلام کرده و تجمع کشاورزی و روستانشینی، نوسانات آب و هوایی و منابع آلاینده را علت عمده این بحران اعلام نمودند (۱۰).

نتیجه‌گیری

به طور خلاصه می‌توان دو عامل شیب طبیعی زمین و عامل جمعیت را از عوامل افت کیفی آب در این ناحیه از دشت مشهد دانست. البته خشکسالی‌های پی‌درپی در کشورمان را که وابستگی به منابع آب زیرزمینی را تشدید نموده و از طرفی تغذیه منابع آب زیرزمینی را با محدودیت روزافزون مواجه کرده است را می‌بایست از مهم ترین عوامل اقلیمی افت کیفی آب در نظر گرفت. در این مطالعه مجالی برای بررسی سایر پارامترهای مضر منابع آب و آلاینده‌ها وجود نداشت. پایش شاخص‌های کیفی آب در زمان‌های مختلف می‌تواند دید بهتری از وضعیت منابع آب و تغییرات آن ارائه دهد. بنابراین انجام تحقیقات جامع و فراگیر در مقاطع زمانی کوتاه برای بررسی تمامی فاکتورهای کیفی و آلاینده آب در این منطقه مهم کشور لازم و حیاتی ارزیابی می‌شود. ایجاد ایستگاه‌های پایش برخط کیفیت آب ازجمله راهکارها محسوب می‌گردد. کیفیت آب شرب تأثیر مستقیم بر وضعیت سلامت جامعه دارد. کاهش اثرات ناشی از کیفیت پایین آب بر سلامتی مردم مستلزم هماهنگی دستگاه‌های اجرایی مختلف است. پیشنهاد می‌شود در مناطقی که کیفیت آب در شرایط مساعدی قرار ندارد اعمال محدودیت در مصارف آب شرب استحصالی از منابع زیرزمینی وضع شود. همچنین تهیه



نقشه حریم چاه‌های منطقه و رعایت مسایل بهداشتی و اصول زیست‌محیطی در حریم چاه‌های منطقه ضروری به نظر می‌رسد. برنامه‌ریزی و اجرای شبکه‌های جمع‌آوری و تصفیه‌ی فاضلاب شهری، صنعتی و روستایی با رعایت الزامات زیست‌محیطی و بهداشتی از جمله راهکارهای اصولی به منظور بهبود وضعیت منابع آبخوان دشت مشهد

علی‌الخصوص در بخش‌های جنوبی این دشت محسوب می‌شود. اطلاعات به‌دست‌آمده در پژوهش حاضر می‌تواند در شناسایی منابع آلاینده آب و مدیریت آن کمک شایانی نماید. همچنین لازم است ابعاد اقتصادی و اجتماعی کیفیت آب بر سلامت جامعه مورد کنکاش دقیق‌تر قرار گیرد.

References

- Kalantari N, Rahimi MH, Matori F. Chemical and Biological Assessment of Water Resources of Sia – Mansoor area, Dezful. *Journal of Environmental Studies* 2011; 37(59):29-42. [Persian]
- Sobhanardakani S. Assessing of As, Zn, Pb, Cd, Cr, Cu and Mn Contamination in Groundwater Resources of Razan Plain Using Water Quality Pollution Indices. *J Neyshabur Univ Med Sci* 2017; 4(4):33-45. [Persian]
- Pritchard M, Mkandawire T, O'Neil JG. Biological, chemical and pHysical drinking water quality from shallow wells in Malawi: Case study of Blantyre, Chiradzulu and Mulanje. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C* 2007; 32(15-18):1167-77.
- Kleiner SM. water an essential but overlooked nutrient. *J Am Diet Assoc* 1999; 99(2):200-6
- Wang Q, Yang Z. Industrial water pollution, water environment treatment, and health risks in China. *Environ Pollut* 2016; 218:358-65.
- Shygonsky V, Shygonska N. Assessment of drinking water quality as a factor affecting human health in Zhytomyr Region. *Kontakt* 2016; (18)2:e120-e126.
- Ravenscroft P, Mahmud ZH, Islam MS, Hossain AKMZ, Zahid A, Saha GC, *et al.* The public health significance of latrines discharging to groundwater used for drinking. *Water Res* 2017; 124:192-201
- Entezari A, Akbari E, Mayvaneh F. Investigation of Drinking Water Quality Obtained from Groundwater on Human Diseases in Recent Decade in Mashhad Plain. *Scientific Journals Management System* 2014; 13(31):157-72. [Persian]
- Babaei AA, Ahmadi Angali K, Salimi J, Ghaffarizadeh F, Askari B, Maroofi N, *et al.* Assessment of Chemical quality of Drinking Water Supplies in Rural area of Neyshabour City in 2014. *Journal of Torbat Heydariyeh University of Medical Sciences* 2015; 2(4):53-8. [Persian]
- Moghaddam AR, Ghallehban Tekmedash M, Esmaili K. Investigation of temporal and spatial trend of water quality parameters in view of weather fluctuations using GIS; Mashhad Plain. *Journal of Water and Soil Conservation (Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources)* 2013; 20(3):211-25. [Persian]
- Mohammadi AA, Mahvi AH, Rastgar A, Faraji H. Quality zoning of seasonal changes in nitrate and ammonia in drinking water wells of Babol city using GIS system. *J Sabzevar Univ Med Sci* 2014; 21(2):293-301. [Persian]
- Rooki R, Aryafar A, Adelinasab J. Investigating the groundwater quality in aquifer of Gonabad basin, Khorasan Razavi, using multivariate statistical methods and artificial intelligence. *Journal of Mineral Resources Engineering (JMRE)* 2017; (2)1:49-61. [Persian]
- Kulinkina AV, Plummer JD, Chui KKH, Kosinski KC, Adomako-Adjei T, Egorov AI, *et al.* PHysicochemical parameters affecting the perception of boreholewater quality in Ghana. *Int J Hyg Environ Health* 2017; 220(6):990-7.
- Stewart OT, Carlos HA, Lee C, Berke EB, Hurvitaz PM, Li L, *et al.* Secondary GIS built environment data for health research: Guidance for data development. *Journal of Transport & Health* 2016; 3(4):529-39.
- Atashnafas MR, Atashnafas E. GIS & Iran's Holistic Scientific Map on health domain. *Ann Mil Health Sci Res* 2011; 8(4):305-11. [Persian]

16. James P, Jankowska M, Marx C, Hart J, Berrigan D, Kerr J, *et al.* "Spatial Energetics": Integrating Data from GPS, Accelerometry, and GIS to Address Obesity and Inactivity. *Am J Prev Med* 2016; 51(5):792-800.
17. Institute of Standards and Industrial Research of Iran (ISIRI). Drinking water: Physical and chemical specifications. 5th edition. Standard No. 1053; 2009. [Persian]
18. Asghari Moghaddam A, Javanmard Z, Vadiati M, Najib M. Evaluating the quality of Mehraban plain groundwater resources using GQI and FGQI methods. *Hydrogeomorphology* 2018; 1(2):79-98. [Persian]
19. Esmaeili Sari A. [Pollutants, health and environmental standards]. Tehran: Naghsh-e-Mehr; 2003. [Persian]
20. Kooshki A, Yaqubifar MA, Behanm HR. Study of the Relationship between the Hardness of Drinking Water and the Blood Pressure of Rural Residents of 30 – 60 Years of age in Sabzevar. *J Sabzevar Univ Med Sci* 2003; 10(3):23-8. [Persian]
21. WHO. Guidelines for Drinking-Water Quality. Volume2, 1996; Available from: http://www.who.int/water_sanitation_health/publications/gdwq2v1/en/index1.html .
22. Zare M, Aminpour A, Mirzazadeh M, Azar M, Tazakori Z, Mehrabi, *et al.* Comparison of the effects of two types of drinking water with different degrees of hardness on urinary mineral elements in men with and without kidney calcium stones. *Iranian Journal of Nutrition Sciences & Food Technology* 2007; 1(3):1-7. [Persian]
23. Binaie Motlagh P. [Instructions and methods for measuring the toxic physico-chemical chemical in drinking water, Ministry of Health and Medical Education]. 2010; Available from: http://mboh.umsha.ac.ir/uploads/14_116_azmayeshgah%20fizik.pdf . [Persian]
24. Johansen K, Andersen AN, Kampman JP, Hansen JM, Mortensen HB. Excretion of methimazole in human milk. *Eur J Clin Pharmacol* 1982; 23:339-41.
25. WHO. WHO Guidelines for Drinking-water Quality, fourth edition. 2011; Available from: http://www.who.int/water_sanitation_health/publications/2011/dwq_guidelines/en/ .
26. Miranzadeh MB, Hasanzadeh M, Dehqan S, Sabahi-bidgoli M. The relationship between turbidity, residual chlorine concentration and microbial quality of drinking water in rural areas of Kashan during 2008-9. *Feyz* 2011; 15(2):126-31. [Persian]
27. Farooq S, Hashmi I, Qazi IA, Qaiser S, Rasheed S. Monitoring of coliforms and chlorine residual in water distribution network Rawalpindi, Pakistan. *Environ Monit Assess* 2008; 140(1-3):339-47.
28. Akbarzadeh M, Ghahraman B, Davary K. Evaluation of Groundwater Quality in Mashhad Aquifer Using the Indicator Kriging Based on Nitrate Pollution. *Iranian J Irrigation & Drainage* 2016; 10(1):48-62. [Persian]
29. Baghvand A, Vosoogh A, Givehchi S, Daryabeighi zand A, Ground Water Modeling to Estimate Nitrate Dispersion in Critical Aquifers (A Case Study: Mashhad City). *J Env Sci Tech* 2016; 17(4):1-22. [Persian]
30. Theodossiou N, Latinopoulos P. Evaluation and optimization of groundwater observation networks using the kriging methodology. *Environmental Modelling & Software* 2006; 22(7):991-1000.
31. Behmanesh J, Tahroudi MN, Khalili K. Comparison of Geostatistical Methods to Interpolation the Ground Water Table (Case Study: Urmia Lake Basin). *Journal of Irrigation Science and Engineering* 2015; 38(2):113-23. [Persian]