

ارزیابی کیفیت آب حوضه آبریز سد شهریار جهت مصارف خانگی و آبیاری با استفاده از شاخص‌های شیمیایی و نقشه برداری GIS در ناحیه میانه، جنوب شرقی استان آذربایجان شرقی

حسین حسینخانی

گروه زمین شناسی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران

مرتضی نجیب

کارشناس ارشد زمین شناسی، آبشناسی، سازمان آب منطقه ای تبریز

تاریخ پذیرش: ۹۳/۸/۱۳

تاریخ دریافت: ۹۳/۸/۲۲

h_hoseinkhany@yahoo.com

چکیده

در این پژوهش، تعداد ۱۳ نمونه از آب رودخانه‌های موجود در حوضه آبریز سد شهریار میانه جهت ارزیابی قابلیت آن برای اهداف شرب و آبیاری مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور، برای اولین بار جهت تعیین توزیع مکانی پارامترهای کیفی آب و شناسایی مکانهای با بهترین کیفیت برای شرب و استفاده کشاورزی در ناحیه مطالعاتی، بر اساس: (۱) تجزیه و تحلیل یکپارچه از پارامترهای فیزیکی-شیمیایی، (۲) استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و (۳) محاسبه شاخص کیفیت آب اقدام شده است. نتایج فیزیکی-شیمیایی با مقادیر استانداردهای توصیه شده توسط سازمان بهداشت جهانی (WHO)، موسسات استاندارد ایران (ISI)، ترکیه (TSE) و هند (ISI) به منظور بررسی کیفیت فعلی آب منطقه برای شرب و بهداشت عمومی مقایسه شدند. سپس با استفاده از روش‌های منحنی تراز GIS، نقشه‌های توزیع مکانی کیفیت آب برای اهداف شرب و آبیاری به ترتیب مطابق نظر شولر و ویلکاکس ایجاد شده است. جهت بدست آوردن پراکندگی مکانی پارامترهای کیفی آب، تکنیک درون‌یابی وزن‌دهی فاصله معکوس (IDW)، مورد استفاده قرار گرفت. تجزیه و تحلیل مکانی الگوهای کیفیت آب منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد که آب قسمت جنوبی ناحیه مطالعاتی به دلیل عبور از سازه‌های تبخیری، جهت استفاده‌های گوناگون (شرب، صنعت و آبیاری) دارای محدودیت زیاد است. اما بخش‌های مرکزی و بخصوص ناحیه شمالی حاوی آب با کیفیت قابل قبول و مناسب می‌باشند که می‌تواند با اندک رسیدگی مورد استفاده قرار گیرد.

کلمات کلیدی: GIS، آنالیز مکانی، شاخص کیفیت آب، حوضه آبریز سد شهریار، میانه

مقدمه

آب عنصر اساسی از زیرساخت‌های اجتماعی و اقتصادی است و برای توسعه جامعه سالم و توسعه پایدار ضروری است. به علت افزایش سریع جمعیت، تقاضای استفاده از آب روز به روز در حال افزایش است. در نتیجه سطح آب در حال کاهش است. آلودگی و تقاضای فزاینده، آب با کیفیت خوب را کمیاب و گران‌تر ساخته است. بر این اساس ارزیابی وضعیت کیفیت آب برای رشد و توسعه اجتماعی-اقتصادی حائز اهمیت است (Ishaku, 2011). ارزیابی وضعیت کیفیت آب جهت مصرف انسان، آبیاری و فعالیتهای صنعتی به خصوص در کشورهای در حال توسعه مانند ایران مورد توجه قرار نگرفته است. ترکیب شیمیایی آب فاکتور مهمی است که قبل از استفاده خانگی یا هدف آبیاری، بایستی مورد توجه قرار بگیرد (Suresh et al., 1991).

ترکیب شیمیایی آب ممکن است جهت مصرف انسان نامناسب ارائه شده باشد و به این ترتیب ممکن است منجر به مشکلات سلامتی گردد، به همین خاطر اهمیت کیفیت آب در سلامت انسان اخیراً توجه خیلی‌ها را جلب کرده است (Balakrishnan et al., 2011). در جهان در حال توسعه، ۸۰ درصد از کل بیماری‌ها مستقیماً به شرایط غیر بهداشتی و آب نوشیدنی مربوط است (UNESCO, 2006). از طرف دیگر، در ترکیب آب ممکن است نمک‌ها به حدی باشد که عملکرد محصولات را تحت تاثیر قرار دهد (Bernstein, 1975). وضعیت کیفی آب می‌تواند با محاسبه فاکتورهای محیطی و شاخص‌ها، که شامل طیف وسیعی از پارامترها می‌شود، بدست آید (Tziritis et al., 2008). چنین فاکتورها ممکن است یک ابزار مفید جهت ارزیابی شرایط محیطی یک منطقه گردد (Ishaku, 2011). از آنجا که منابع آب در طبیعت پویا هستند و توسط فاکتورهای مانند گسترش فعالیت‌های آبیاری،

صنعتی‌سازی و شهرسازی تحت تاثیر قرار می‌گیرند، به همین خاطر نظارت و حفظ این منبع، مهم و ضروری است. کیفیت آب برحسب پارامترهای فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی‌شان تعریف می‌شود.

حصول اطمینان از کیفیت آب قبل از مصرف آن برای اهداف گوناگون مانند شرب، آبیاری، تفریحی و استفاده صنعتی ضروری است (Sargaonkar and Deshpande, 2003; Khan et al., 2003).

آنالیز کیفیت آب یکی از مهمترین موضوعات در مطالعه آب‌ها می‌باشد (Sunitha et al., 2012). نظارت و ارزیابی آن جهت اقدامات پیشگیرانه آن در برابر خطرات بهداشتی ضروری است (Dhimau, 2005). تغییر کیفیت آب در یک منطقه تابعی از پارامترهای فیزیکی و شیمیایی است که عمدتاً توسط سازندهای زمین‌شناسی و فعالیت‌های انسانی تحت تاثیر قرار می‌گیرد (Subramani et al., 2005). امکان آلودگی آب‌ها به علت مخلوطی از مواد شیمیایی سمی، کودها، سایت‌های تخلیه زباله، سایت‌های صنعتی و سازه‌های زمین‌شناسی می‌باشد. از این رو نظارت بر کیفیت آب‌ها ضروری است (Subramani et al., 2012). در این تحقیق، تجزیه و تحلیل کیفیت آب رودخانه‌های حوضه آبریز سد شهریار میانه انجام شده است. مطالعات بسیار زیادی تاکنون در بررسی کیفیت آب رودخانه‌ها انجام گرفته است که از مهمترین آن‌ها می‌توان به (Huh et al., 1998; Han and Liu, 2003; Lang et al., 2006; Li and Zhang, 2008; Han et al., 2009) اشاره کرد. در این مطالعه از Arc View GIS برای نمایش، بررسی و تحلیل نقشه‌ها استفاده شد. (Ahn and Chon, 1999) آلودگی آب و ارتباط مکانی میان کیفیت آب، توپوگرافی، زمین‌شناسی، کاربری اراضی و منابع آلودگی را با استفاده از GIS در سنول، بررسی کردند. (Ducci, 1999) خطر آلودگی آب

توصیف ناحیه مورد مطالعه

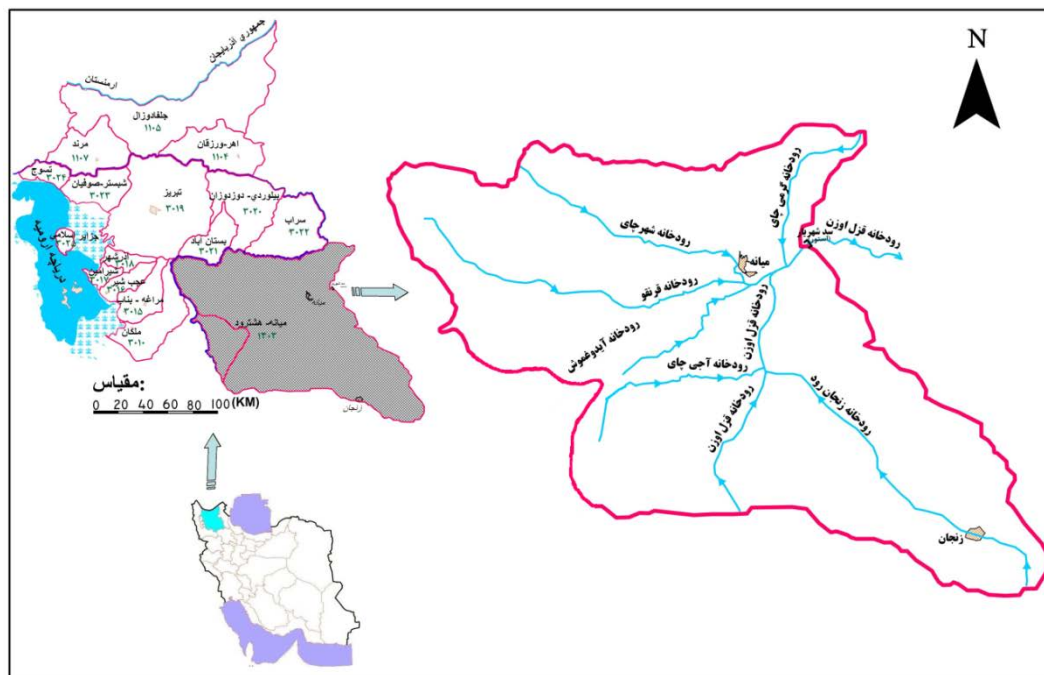
حوضه آبریز سد شهریار در منطقه میانه، از هفت زیرحوضه، به نام‌های زیرحوضه رودخانه قزل‌اوزن، زنجان‌رود، آجی‌چای، گرمی‌چای، شهرچای، قرقو و آیدوغموش تشکیل شده است. وسعت این حوضه در این تحقیق بالغ بر ۱۴۰۰۰ کیلومتر مربع می‌باشد که در جنوب شرقی استان آذربایجان شرقی و در بین رشته کوه‌های البرز و زاگرس بین طول‌های جغرافیایی ۲۴° و ۴۶° تا ۱۲' و ۴۸° شرقی و عرض‌های جغرافیایی ۴۸° و ۳۶° تا ۴۸° شمالی واقع شده است (شکل ۱). ناحیه مورد نظر از نظر ساختار زمین‌شناسی، جزئی از زون البرز-آذربایجان محسوب می‌شود. واحدهای سنگی تشکیل دهنده حوضه مذکور مربوط به پالئوزوئیک تا سنوزوئیک و عهد حاضر بوده و از جمله سازندهای مربوط به پالئوزوئیک می‌توان به سازندهای سلطانیه، باروت، لالون، میلا و آهک روته اشاره کرد که در دوره مذکور عمدتاً واحدهای آهکی-دولومیتی و شیلی-مارنی می‌باشند. در زمان مزوزوئیک عمدتاً رسوبات تخریبی و آهکی در محدوده مطالعاتی ته‌نشست شده‌اند. از جمله سازندهای مربوط به این دوره می‌توان سازندهای شمشک، دلیچای و واحد آهکی-کنگلومرایی کرتاسه بالایی را نام برد. در اوایل سنوزوئیک عمدتاً رسوبات آذرآواری بجا گذاشته شده‌اند که به سمت کواترنری به رسوبات تخریبی-تبخیری تبدیل می‌گردند. همان‌طور که از نقشه معلوم است قسمت عمده ناحیه جنوبی از سازندهای با لیتولوژی سست مانند شیل، مارن، نمک و گچ پوشیده شده است. در (شکل ۲) نقشه زمین‌شناسی منطقه آورده شده است. براساس برآورد حسینیانی (۱۳۹۰)، حوضه مذکور از نظر اقلیم شناسی طبق اقلیم نمای آمبرژه جزء مناطق نیمه خشک سرد محسوب می‌گردد، متوسط درجه حرارت سالانه ۱۳ درجه سلسیوس با بالاترین دما در مرداد ماه و پائین ترین دما در دی ماه و میانگین بارندگی سالانه ۳۵۱/۹ میلی‌متر می‌باشد. ضمناً طیف ارتفاعی ناحیه تحت مطالعه از ۹۹۹ متر تا ۳۷۰۷ متر متغیر است و عمده محصولات کشاورزی آن شامل گندم، جو، حبوبات و ذرت است.

و نقشه‌های کیفیت را با استفاده از GIS در ایتالیا تهیه کرد. GIS می‌تواند به عنوان یک ابزار قدرتمند جهت حل مسائل منابع آبی، ارزیابی کیفیت آب، تعیین دسترسی آب، جلوگیری از سیلاب، درک محیط طبیعی و مدیریت منابع آب در مقیاس محلی و ناحیه‌ای مورد استفاده قرار گیرد (Ferry et al., 2003; Burrough and McDonnell, 1998).

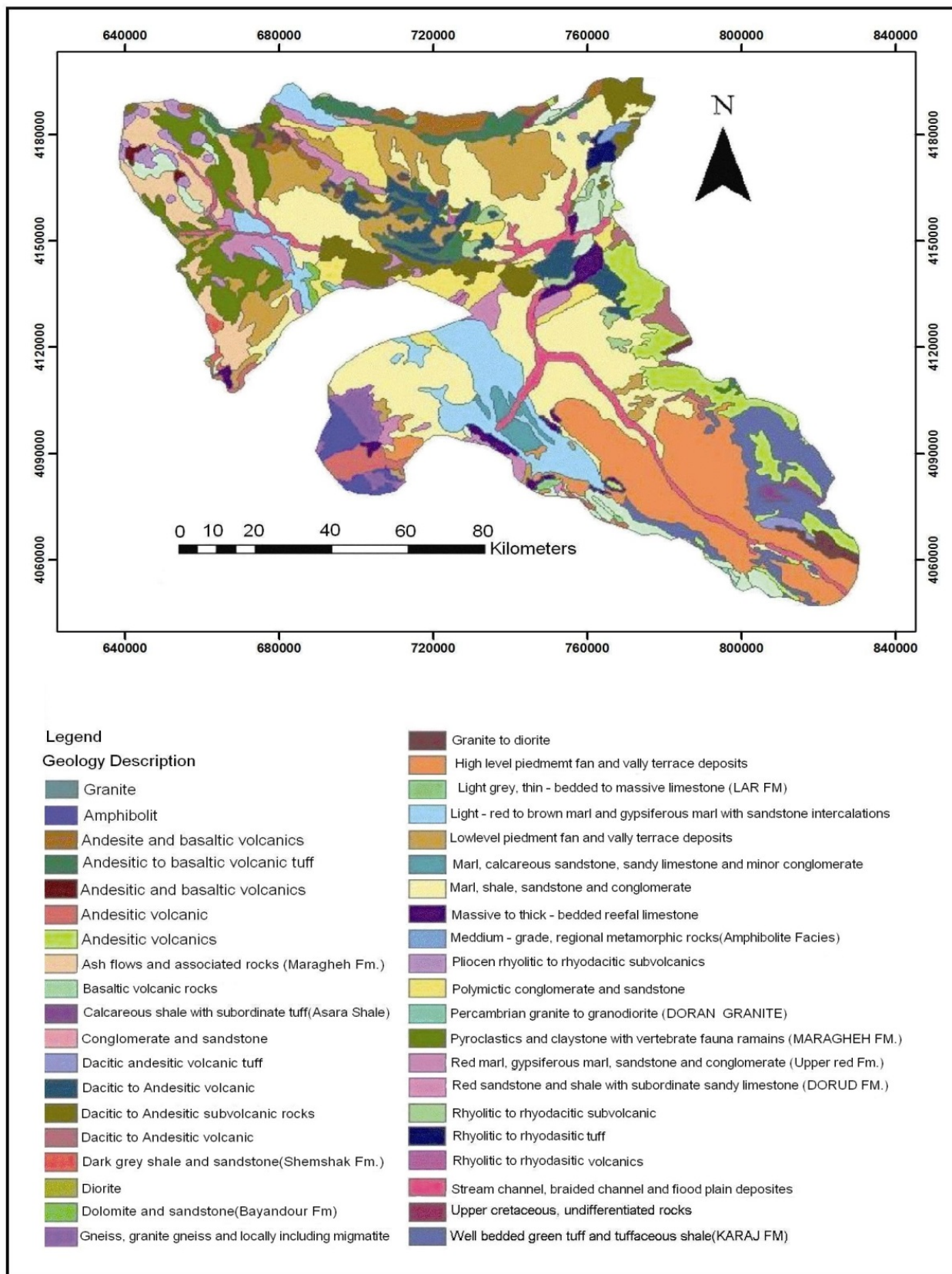
در مجموعه از نظر مدیریتی مهمترین انگیزه برای انجام مطالعات کیفیت آب، نیازهای کیفی آب و اثرات متقابل آن بر مصارف مختلف می‌باشد. (نخعی و ودیعی، ۱۳۹۱). بنابراین هدف اصلی مطالعه حاضر ارزیابی وضعیت کیفیت آب رودخانه‌های حوضه آبریز سد شهریار میانه جهت اهداف شرب و آبیاری از طریق محاسبه برخی شاخص‌ها و ارائه آن‌ها بصورت تغییرات موضوعی با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) می‌باشد.

ضرورت انجام تحقیق

براساس مشاهدات صحرایی و بررسی نقشه‌های زمین‌شناسی مربوطه، قسمت عمده ناحیه جنوبی منطقه مورد مطالعه از سازندهای با لیتولوژی سست مانند شیل، مارن، ماسه، رس و گچ تشکیل شده است. از آنجاکه سد شهریار بر روی رودخانه قزل‌اوزن ساخته شده است و این درحالی است که این رودخانه از سازندهای مذکور عبور می‌کند، لذا املاح این رودخانه حین گذر از سازندهای مذکور چندین برابر می‌شود طوری که حتی با چشم غیر مسلح می‌توان آثار آن را مشاهده کرد. از طرف دیگر، این روزها کمبود آب به علت کاهش منابع آب زیرزمینی بسرعت افزایش می‌یابد. همچنین به علت فعالیت‌های انسانی آب‌ها آلوده می‌شوند (Subramani et al., 2011). بدین دلیل، لزوم توجه به آب‌های سطحی بیش از پیش احساس می‌شود. طبیعی است که آبی که دارای املاح زیاد است اثرات نامطلوب مختلفی روی انسان، حیوانات و گیاهان خواهد داشت. لذا این وضعیت هشدار دهنده ارزیابی کیفیت آب برای برنامه ریزی مدیریت مناسب آب در ناحیه مورد مطالعه را ضروری می‌سازد.



شکل ۱. موقعیت حوضه آبریز مطالعاتی نسبت به کشور ایران و استان آذربایجان شرقی (حسینیانی، ۱۳۹۰)



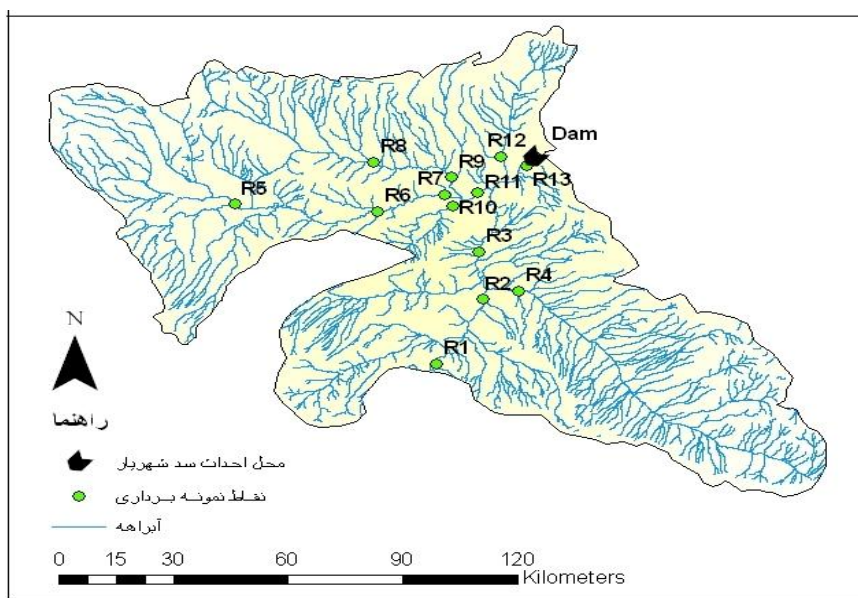
شکل ۲. نقشه زمین شناسی ناحیه مطالعاتی (حسینخانی، ۱۳۹۰)

مواد و روش مطالعه

جهت بررسی کیفیت آب حوزه آبریز سد شهریار، از کلیه رودخانه‌های منتهی به این حوزه که دارای جریان آب دائمی و فصلی می‌باشند تعداد ۱۳ نمونه آب از رودخانه‌های قزل‌اوزن- ایستگاه ماهنشان (R1)، قزل‌اوزن- شکرچی (R2)، قزل‌اوزن- قره‌گونی (R3)، زنجان‌رود- سرچم (R4)، قرنقو- چپینی (R5)، قرنقو- تونل شماره ۷ (R6)، خروجی قرنقو- میانه (R7)، شهرچای- کوهسالار میانه (R8)، شهرچای- میانه (R9)، خروجی آیدوغموش- میانه (R10)، بعد از تلاقی سه رودخانه (شهرچای، آیدوغموش و قرنقو) (R11)، گرمی‌چای- چتاب (R12) و محل احداث سد شهریار (R13) برداشت و به روش‌های مختلف مورد تجزیه شیمیایی قرار گرفت. در شکل ۳ موقعیت و تعداد نمونه‌های برداشت شده نشان داده شده است. در تجزیه شیمیایی، یون‌های سدیم و پتاسیم با دستگاه فلیم فتومتر (Flame Photometer Corning 410)، سولفات توسط دستگاه اسپکتروفوتومتر (Spectrophotometer Hack DR 2000) بقیه کاتیون‌ها و آنیون‌ها و همچنین مواد جامد محلول (Total Dissolved Solid)، سختی کل (Total Hardness)، شوری کل و نسبت جذب سدیم (SAR)، به وسیله تیتراسیون، شبیه به آنچه که بعضی از نویسندگان مانند (Borgarello et al., 1986) انجام داده‌اند، در آزمایشگاه سازمان آب منطقه‌ای استان آذربایجان شرقی تعیین گردیده‌اند.

پایگاه داده زمین جغرافیایی (GIS Geo-data base)

نقشه مربوط به نقاط نمونه برداری اسکن و وارد Arc GIS شد و زمین‌مرجع و رقمی گردید. موقعیت‌های مختلف نمونه‌برداری وارد نرم افزار GIS شدند. به هر نقطه‌ای از نمونه، یک کد واحد اختصاص داده شد و در جدول مربوطه ذخیره شد. داده‌ها برای پارامترهای انتخاب شده، با استفاده از ایجاد پایگاه داده جغرافیایی توسط نرم افزار GIS به نقاط نمونه‌برداری پیاده شدند. این پایگاه داده جغرافیایی جهت تولید نقشه‌های پراکندگی مکانی شاخص‌های شیمیایی استفاده شد. در مطالعه حاضر از روش وزن‌دهی فاصله معکوس (IDW) برای درونیایی مکانی شاخص‌های شیمیایی استفاده شده است. در درونیایی با روش IDW، یک وزن به نقطه اندازه‌گیری شده نسبت داده می‌شود. مقدار این وزن به فاصله آن نقطه نسبت به نقطه نامعلوم دیگر بستگی دارد. این وزن‌ها براساس توان ده کنترل می‌شود. بدین معنی که با افزایش توان ده، اثر نقاطی که دورتر قرار دارند کاهش می‌یابد (Balarishnan et al., 2011). در این روش به نقاط با فاصله برابر وزن‌های یکسان داده می‌شود (Burreugh and McDonnell, 1998). نقطه ضعف IDW این است که چنانچه پراکندگی نقاط نمونه‌برداری یکنواخت نباشد، کیفیت نتایج درونیایی می‌تواند کاهش یابد (Ishaku et al., 2011).



شکل ۳. شبکه هیدرولوژی و نقاط نمونه برداری نمونه‌های آب حوزه آبریز سد شهریار (حسینی‌خانی، ۱۳۹۰)

محاسبه شاخص کیفیت آب (WQI)

در سال‌های اخیر، شاخص کیفیت آب جهت تعیین قابلیت آن برای اهداف شرب بسیار استفاده شده است (Avvannavar and Shrihari, 2008; Sahu and Sikdar, 2008). امروزه این شاخص باتوجه به قابلیت بالای آن در بیان و توصیف کامل اطلاعات کیفی آب و همچنین بکارگیری پارامترهای مهم و تاثیرگذار در ارزیابی و مدیریت کیفیت آب در بسیاری از نقاط جهان مورد توجه و استفاده قرار می‌گیرد (وهاب امیری و همکاران، ۱۳۹۲). نتایج آنالیز شیمیایی و پارامترهای آماری مربوط به نمونه‌های آب رودخانه‌های حوزه آبریز سد شهریار در (جدول ۱) ارائه شده است. پارامترهای آماری شامل ماکزیمم، منیمم، میانگین و انحراف می‌باشند.

استانداردهای بهداشت عمومی و شرب برای محاسبه شاخص کیفیت آب بر اساس توصیه سازمان بهداشت جهانی (۲۰۰۴)، موسسه استاندارد و تحقیقات ایران (۱۳۷۶)، موسسه استاندارد ترکیه (۱۹۹۷) و موسسه استاندارد هند (۱۹۹۱) در نظر گرفته شده است. در (جدول ۲) نتایج تحلیلی پارامترهای شیمیایی نمونه‌های آب گرفته شده از ناحیه مطالعاتی با استانداردهای مذکور مقایسه شده است. در این استانداردها حد مطلوب و حداکثر مجاز برای وجود عناصر مختلف در آب ارائه شده است.

جدول ۱. نتایج آنالیز فیزیکی و شیمیایی و پارامترهای آماری مربوط به نمونه‌های آب رودخانه‌های حوضه آبریز سد شهریار

NO	TH mg l ⁻¹	EC μS cm ⁻¹	T.D.S mg l ⁻¹	PH	mg l ⁻¹							
					Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻
R ₁	۴۷۲/۳	۳۰۶۷/۰	۱۹۳۸/۰	۷/۸	۱۱۲/۰	۴۶/۸	۴۸۳/۰	۶/۲	۲۵۸/۰	۰	۷۵۲/۶	۲۱۶/۰
R ₂	۹۱۵/۳	۶۱۸۰/۰	۳۶۷۴/۰	۷/۸	۲۴۰/۰	۷۶/۸	۹۸۹/۰	۱۰/۵	۲۲۲/۷	۰	۱۸۶۳/۸	۲۶۸/۸
R ₃	۹۰۵/۴	۵۹۵۰/۰	۳۵۴۴/۰	۷/۲	۲۴۰/۰	۷۴/۴	۹۴۳/۰	۱۰/۵	۲۲۲/۷	۰	۱۷۷۵/۰	۲۷۸/۴
R ₄	۳۲۸/۳	۱۰۰۲/۰	۶۳۳/۰	۷/۷	۸۴/۰	۲۸/۸	۸۴/۹	۲/۷	۲۳۴/۲	۰	۸۷/۷	۱۸۸/۶
R ₅	۲۰۲/۰	۱۰۲۹/۰	۶۶۱/۰	۷/۹	۵۳/۲	۱۶/۸	۱۴۳/۳	۵/۵	۱۹۳/۴	۰	۲۰۴/۱	۵۸/۶
R ₆	۳۰۵/۳	۱۷۲۴/۰	۱۰۸۰/۰	۷/۸	۷۶/۸	۲۷/۶	۲۴۸/۶	۷/۰	۲۱۵/۳	۰	۳۵۵/۰	۱۷۰/۹
R ₇	۴۲۷/۵	۲۲۴۰/۰	۱۳۶۳/۰	۶/۹	۱۰۰/۰	۴۳/۲	۳۱۲/۸	۵/۹	۲۲۲/۷	۰	۶۲۱/۳	۵۷/۶
R ₈	۲۱۷/۸	۷۰۹/۰	۴۵۷/۰	۷/۵	۵۳/۴	۲۰/۵	۶۳/۹	۱/۱	۲۵۸/۶	۰	۶۳/۲	۵۵/۲
R ₉	۲۰۴/۴	۵۹۱/۰	۳۷۵/۰	۷/۷	۵۰/۰	۱۹/۳	۴۷/۴	۳/۵	۲۴۱/۶	۰	۴۶/۲	۵۰/۹
R ₁₀	۴۸۷/۸	۱۹۱۸/۰	۱۲۰۳/۰	۸/۱	۱۴۰/۰	۳۳/۶	۲۱۱/۶	۵/۱	۱۷۳/۹	۰	۴۰۸/۳	۲۳۰/۴
R ₁₁	۵۱۶/۹	۲۰۵۰/۰	۱۲۷۹/۰	۸/۲	۱۲۰/۰	۵۲/۸	۲۲۷/۷	۵/۵	۱۹۲/۲	۰	۴۲۶/۰	۲۵۴/۴
R ₁₂	۱۶۸/۰	۴۴۶/۰	۲۸۵/۰	۷/۹	۳۹/۰	۱۷/۲	۲۵/۱	۰	۱۵۹/۲	۰	۱۸/۸	۵۹/۰
R ₁₃	۵۷۶/۷	۲۵۰۰/۰	۱۵۱۸/۰	۸/۰	۱۴۰/۰	۵۵/۲	۲۹۹/۰	۵/۵	۲۳۷/۹	۰	۶۶۷/۴	۱۱۰/۴
Max	۹۱۵/۳	۶۱۸۰/۰	۳۶۷۴/۰	۸/۲	۲۴۰/۰	۷۶/۸	۹۸۹/۰	۱۰/۵	۲۵۸/۶	۰	۱۸۶۳/۸	۲۷۸/۴
Min	۱۶۸/۰	۴۴۶/۰	۲۸۵/۰	۶/۹	۳۹/۰	۱۶/۸	۲۵/۱	۰	۱۵۹/۲	۰	۱۸/۸	۵۰/۹
Mean	۴۴۰/۶	۲۲۶۲/۰	۱۳۸۵/۴	۷/۷	۱۱۱/۴	۳۹/۵	۳۱۳/۸	۵/۳	۲۱۷/۹	۰	۵۶۰/۷	۱۵۳/۸
S.D	۲۴۷/۸	۱۸۶۴/۶	۱۱۰۰/۹	۰/۴	۶۶/۲	۲۰/۸	۳۱۶/۴	۳/۱	۳۰/۶	۰	۶۱۰/۰	۹۱/۱

جدول ۲. مقایسه پارامترهای کیفیت آب رودخانه‌های ناحیه مطالعاتی جهت شرب با استانداردهای سازمان بهداشت جهانی (۲۰۰۴)، موسسات استاندارد ایران (۱۳۷۶)، ترکیه (۱۹۹۷) و هند (۱۹۹۱)

Parameters	WHO (2004) MCL	ISI (Iranian,1376) MCL	ISI (Iranian,1376) recommend	ISI (India,1991) MCL	TSE (1997) MCL	TSE (1997) recommend	Max	Min	Mean
PH	۶/۵-۸/۵	۶/۵-۹/۲	۷-۸/۵	۶/۵-۸/۵	۶/۵-۹/۲	۶/۵-۸/۵	۸/۲	۶/۹	۷/۷
EC	-	-	-	-	۲۰۰۰	۴۰۰	۶۱۸۰	۴۴۶	۲۲۶۲
Cl ⁻ mg l ⁻¹	۲۵۰	۶۰۰	۲۰۰	۲۵۰	۶۰۰	۲۵	۱۸۶۴	۱۸/۸	۵۶۰/۷
SO ₄ ⁻ mg l ⁻¹	۲۵۰	۴۰۰	۲۰۰	-	۲۵۰	۲۵	۲۷۸	۵۰/۹	۱۵۴
TH mg l ⁻¹	۵۰۰	۵۰۰	۱۵۰	۶۰۰	-	-	۹۱۵	۱۶۸	۴۴۰/۶
TDS mg l ⁻¹	۶۰۰	۱۵۰۰	۵۰۰	۵۰۰	-	-	۳۶۷۴	۲۸۵	۱۳۸۵
Ca ⁺ mg l ⁻¹	۳۰۰	۲۰۰	۷۵	-	-	-	۲۴۰	۳۹	۱۱۱/۴
Mg ⁺ mg l ⁻¹	۳۰۰	۱۵۰	۵۰	-	-	-	۷۶/۸	۱۶/۸	۳۹/۵
Na ⁺ mg l ⁻¹	۲۰۰	۲۰۰	-	-	-	-	۹۸۹	۲۵/۱	۳۱۳/۸

ایجاد نقشه کیفیت نمونه‌های آب ناحیه مطالعاتی جهت اهداف

شرب و آبیاری

نقشه نهایی کیفیت آب جهت استفاده شرب، توسط ۸ پارامتر شیمیایی نظیر کلسیم، منیزیم، سدیم، کلر، سولفات، بی‌کربنات، سختی کل (TH) و کل مواد جامد محلول در آب (TDS) مطابق نظر شولر (۱۹۶۵) با روش همپوشانی و درونیایی وزن‌دهی فاصله معکوس (IDW) توسط نرم افزار Arc GIS ایجاد گردید. سپس به ۴ ناحیه شامل خوب، قابل قبول، متوسط و دارای مزه و نامناسب بر اساس کیفیت آب برای اهداف شرب پهنه بندی شد. همچنین جهت ترسیم نقشه آبیاری از دو شاخص نسبت جذب سدیم (SAR) و هدایت الکتریکی (EC) مطابق نظر ویلکوکس (۱۹۹۵) استفاده شده است.

بحث و نتایج

ارزیابی آلودگی هوا

پارامترهای فیزیکوشیمیایی نمونه‌های آب ناحیه مطالعاتی جهت ارزیابی شاخص آلودگی، با استانداردهای سازمان بهداشت جهانی (WHO, 2004)، ایران (ISI, 1376)، ترکیه (TSE, 1997) و هند (ISI, 1991) مقایسه شده‌اند (جدول ۲).

اسیدیته (ph)

بر اساس (جدول ۱) مقادیر ph نمونه‌های آب از ۶/۹ تا ۸/۲ با میانگین ۷/۷ متغیر است. این نشان می‌دهد که آب رودخانه‌ها تقریباً حالت آلوکالین دارند. معمولاً ph اثر مستقیم روی مصرف کنندگان ندارد اما ph بزرگتر از ۸/۵ ممکن است به پوسته‌گذاری در لوله‌ها و سیستم‌های تامین آب خانه کمک نماید (Zhang et al., 2013). ماکزیم سطح آلودگی (MCL) برای ph بر اساس توصیه سازمان بهداشت جهانی (۲۰۰۴) و موسسه استاندارد هند (۱۹۹۱) ۸/۵ است اما ۹/۲ توسط موسسه استاندارد ایران (۱۳۷۶) و ترکیه (۱۹۹۷) ارائه شده است. بنابراین هیچ رودخانه‌ای وجود ندارد که میزان ph آن حداکثر حد مجاز را عبور کرده باشد (جدول ۲).

هدایت الکتریکی (EC)

هدایت الکتریکی آب در دمای ۲۵ درجه بخاطر وجود نمک‌های محلول مختلف در آب است (Gueddari and Buhlila, 2011). هدایت الکتریکی نمونه‌های آب بطور گسترده در محدوده بین ۴۴۶ تا ۶۱۸۰ با میانگین ۲۲۶۲ میکروزیمنس متغیر است (جدول ۱). با دانستن اینکه حد مطلوب و ماکزیم سطح آلودگی EC در آب شرب به ترتیب ۴۰۰ و ۲۰۰۰ میکروزیمنس توسط موسسه استاندارد ترکیه تعریف شده است (جدول ۲)، کیفیت آب توضیح شده از نظر EC نشان می‌دهد که ۱۰۰ درصد آب ناحیه مطالعاتی در طیف بد برای مقاصد آب آشامیدنی قرار می‌گیرد.

کل مواد جامد محلول (TDS)

کل مواد جامد محلول در آب توسط وزن مواد باقیمانده وقتی که نمونه آب جهت خشکاندن تبخیر شده است، ارائه می‌شود (Bahar and Reza, 2010). TDS از نمک‌های غیر آلی (اساساً کلسیم، منیزیم، سدیم، پتاسیم، بی‌کربنات، کلراید و سولفات) و مقدار کمی از مواد آلی که در آب محلول است، تشکیل یافته است. غلظت TDS در آب در مناطق مختلف زمین‌شناسی به علت تفاوت در حلالیت مواد معدنی بطور قابل توجهی متفاوت است (WHO, 2004). غلظت مواد جامد محلول در آب طبیعی معمولاً کمتر از ۵۰۰ mg/l است، درحالی‌که آب با بیش از ۵۰۰ mg/l TDS برای شرب و بسیاری از استفاده‌های صنعتی نامطلوب است. آب با مواد جامد محلول کمتر از ۳۰۰ mg/l برای رنگرزی پوشاک، تولید پلاستیک، خمیر کاغذ و غیره مطلوب است (Durfer and Baker, 1964). آب با مقدار مواد محلول جامد بالا معمولاً نسبت به

نوری‌های چاه و سایر بخش‌های از ساختار چاه خورنده است. آب با بیش از ۱۰۰۰ mg/l TDS معمولاً طعم نامطلوبی به آب می‌دهد (Balakrishnan et al., 2011). ضمناً نمک‌های کلسیم، منیزیم، سدیم و پتاسیم موجود در آب آبیاری ممکن است به گیاهان آسیب ایجاد نمایند (Obiefuna and Sheriff, 2011). بر اساس اظهارات (Jain et al., 2003) مقدار TDS ۵۰۰ میلی گرم در لیتر حد مطلوب است و حداکثر حد مجاز ۲۰۰۰ mg/l است و آب حاوی بیش از ۵۰۰ mg/l TDS سبب نارسایی کلیوی می‌شود. این درحالی است که حداکثر حد مجاز TDS برای آب شرب بر اساس سازمان بهداشت جهانی (۲۰۰۴)، موسسه استاندارد ایران (۱۳۷۶) و موسسه استاندارد هند (۱۹۹۱) به ترتیب ۶۰۰، ۱۵۰۰ و ۵۰۰ میلی گرم در لیتر می‌باشد (جدول ۲). ضمن آنکه حد مطلوب TDS بر اساس موسسه استاندارد ایران ۵۰۰ mg/l است (جدول ۲). علاوه بر این، حد مطلوب TDS در کانادا کمتر یا مساوی ۵۰۰ mg/l است (Health Canada, 1991). باتوجه به داده‌های جدول ۱ میزان TDS موجود در نمونه‌های آب ناحیه مطالعاتی بین ۲۸۵ تا ۳۶۷۴ با متوسط ۱۳۸۵ میلی گرم در لیتر تغییر می‌کند. بر این اساس تنها ۲۳ درصد نمونه‌ها (R_9 , R_{12} و R_{10}) زیر ۵۰۰ mg/l TDS دارند که می‌تواند بدون ریسک مورد استفاده انسان قرار گیرند. ولی اگر مطابق استاندارد ایران، حداکثر حد مجاز TDS را ۱۵۰۰ mg/l در نظر گرفته شود (جدول ۲)، آنگاه ۶۹/۲۳ درصد نمونه‌ها قابلیت شرب پیدا خواهند کرد.

سختی کل (TH)

سختی آب در درجه اول ناشی از وجود کاتیون‌های مانند کلسیم و منیزیم؛ و آنیون‌های مانند کربنات، بی‌کربنات، کلراید و سولفات در آب است (Ravikumar et al., 2011). سختی آب، استفاده از آن برای فعالیت‌های خانگی، صنعتی و کشاورزی را محدود می‌کند (WHO, 2008). آب با سختی بالای ۲۰۰ mg/l باعث پوسته‌گذاری در سیستم‌های توزیع می‌گردد. سختی بالای ۱۵۰ تا ۳۰۰ میلی گرم در لیتر ممکن است باعث بیماری‌های قلبی و نارسایی‌های کلیوی شود (Ramesh and Elango, 2006). سطح بهینه سختی معمولاً بین ۸۰ تا ۱۰۰ میلی گرم در لیتر جهت تعادل پوسته‌گذاری و خوردگی است (Health Canada, 1979). آب سخت برای سلامتی خطر مستقیم ندارد اما برای مصرف کنندگان مزاحمت ایجاد می‌کند. به‌عنوان مثال می‌تواند باعث پوسته‌گذاری در تجهیزات لوله کشی و لوازم خانگی و افزایش مصرف صابون گردد (Zhang et al., 2013). ماکزیم حد مجاز TH بر اساس استانداردهای بهداشت جهانی، موسسه استاندارد ایران و هند به ترتیب ۵۰۰، ۵۰۰ و ۶۰۰ میلی گرم در لیتر است. همچنین حد مطلوب TH براساس استاندارد ایران ۱۵۰ mg/l گزارش شده است. این درحالی است که هیچ محدودیتی برای TH توسط استاندارد ترکیه ارائه نشده است (جدول ۲). در مطالعه ما، سختی کل (TH) نمونه‌ها در گستره‌ای از ۱۶۸ تا ۹۱۵ با میانگین ۴۴۰/۶ میلی گرم در لیتر قرار دارند (جدول ۱). لذا مطابق استانداردهای سازمان بهداشت جهانی و ایران حدود ۶۹/۲ درصد نمونه‌ها در گروه آب با سختی کل قابل قبول در نظر گرفته می‌شوند. اما چنانچه بر اساس موسسه استاندارد هند، ماکزیم حد مجاز سختی را ۶۰۰ mg/l در نظر بگیریم، در این صورت، درصد مذکور به ۸۴/۶ درصد افزایش پیدا خواهد کرد. این درحالی است که حد مطلوب TH طبق استاندارد ایران ۱۵۰ mg/l است (جدول ۲)، که با این نگاه، هیچ نمونه آب با سختی مطلوب وجود ندارد.

فراوانی آنیون‌های اصلی در نمونه‌های آب ناحیه مطالعاتی به ترتیب زیر است: $SO_4^{2-} > HCO_3^- > Cl^-$. بر این اساس آنیون غالب در حوضه آبریز مورد مطالعه یون کلر است. کلریدها در تمام آب‌های طبیعی با غلظت‌های مختلف بطور گسترده‌ای وجود دارند. محتوی کلر به‌طور معمول با افزایش محتوی مواد

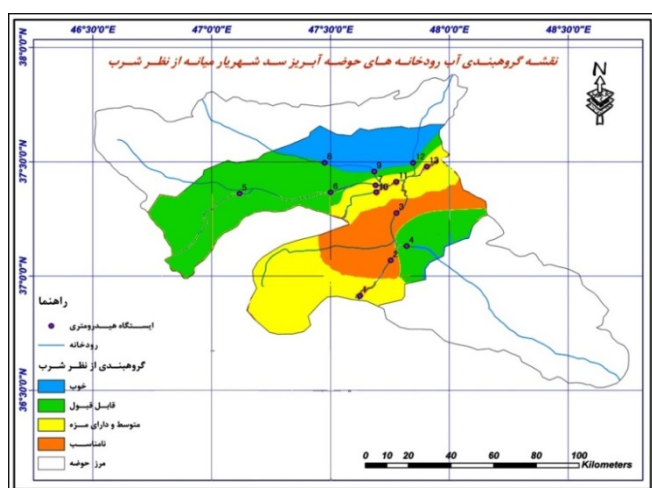
ماکزیم سطح آلودگی برای سدیم مطابق استاندارد سازمان بهداشت جهانی و ایران 200 mg/l است، این درحالی است که هیچ محدودیتی برای سدیم توسط موسسه‌های استاندارد ترکیه و هند ارائه نشده است (جدول ۲). در ناحیه مطالعاتی، تنها ۵ نمونه ($38/46$ درصد) کمتر از 200 mg/l سدیم دارد (جدول ۱). دومین کاتیون غالب کلسیم است؛ و غلظت آن بین ۳۹ تا 240 با میانگین $111/4$ میلی گرم در لیتر است (جدول ۱). حداکثر حد مجاز (MCL) کلسیم در آب شرب به ترتیب 300 و 200 میلی گرم در لیتر توسط استاندارد سازمان بهداشت جهانی و ایران ارائه شده است، و حد مطلوب آن توسط موسسه تحقیقات ایران 75 mg/l گزارش شده است (جدول ۲). لذا براساس MCL سازمان بهداشت جهانی (300 mg/l) هیچ نمونه‌ای این مقدار را عبور نکرده است، اما تنها دو نمونه (R_2 و R_3) (حدود $15/4$) حداکثر استاندارد ایران (200 mg/l) را عبور کرده است و این درحالی است که تعداد ۴ نمونه ($30/76$ درصد) کمتر از حد مطلوب (75 mg/l) میزان کلسیم دارا می‌باشد (جدول ۱).

در (شکل ۴) نقشه کیفیت آب ناحیه مطالعاتی جهت شرب از نقطه نظر شولر (۱۹۶۲) ترسیم شده است. بر پایه نقشه ارائه شده (شکل ۴)، نمونه‌های آب مربوط به رودخانه‌های گرمی‌چای و شهرچای دارای کیفیت خوب و برای آشامیدنی کاملاً مناسب هستند. نمونه‌های آب رودخانه‌های قرقو-تونل، قرقو-چینی و زنجان‌رود-سرچم از جهت آشامیدنی دارای طعم خوب تا قابل قبول هستند. نمونه‌های مربوط به دهانه‌های خروجی قرقو، آیدوغموش، بعد از تلاقی سه رودخانه (شهرچای، آیدوغموش و قرقو)، محل احداث سد و قزل‌اوزن-ماهنشان دارای مزه قابل قبول تا متوسط می‌باشند، لذا قابلیت آشامیدن را دارند. درحالی‌که نمونه‌های قزل‌اوزن-شکرچی و قزل‌اوزن - قره‌گونی به دلیل عبور رودخانه قزل‌اوزن از سازندهای رسی-مارنی میوسن که محتوی گچ و نمک بوده، دارای کیفیت نامطبوع و برای آشامیدن نامناسب هستند.

درمجموع می‌توان آب‌های حوضه را به جز در نواحی جنوبی در ایستگاه‌های شکرچی و قره‌گونی، جهت شرب مناسب دانست. ولی استفاده آب‌های ایستگاه‌های شکرچی و قره‌گونی به دلیل وجود واحدهای مارنی، رسی و تبخیری مربوط به میوسن و در نتیجه افزایش میزان املاح و شوری، دارای محدودیت است.

معدنی افزایش می‌یابد (Sawyer and Maccarty, 1978). غلظت کلر در آب طبیعی معمولاً کمتر از 100 mg/l است، مگر اینکه آب، لب شور یا شور باشد (Fetter, 1999). غلظت بالایی از کلرید، به آب و نوشیدنی‌ها طعم شور می‌دهد و ممکن است باعث آسیب‌های فیزیولوژیکی شود (Balakrishnan et al., 2011). کلر در آب آشامیدنی از منابع طبیعی، فاضلاب و پساب‌های صنعتی، رواناب شهری حاوی یخ‌زدایی شور و نفوذ نمک سرچشمه می‌گیرد (WHO, 2004). ماکزیم سطح آلودگی (MCL) برای کلر در آب آشامیدنی بر اساس استاندارد ایران و ترکیه 600 mg/l اما بر اساس سازمان بهداشت جهانی و استاندارد هند 250 در نظر گرفته شده است. این درحالی است که حد مطلوب کلر در آب شرب توسط استاندارد ایران و ترکیه به ترتیب 250 و 25 میلی گرم در لیتر گزارش شده است. غلظت یون کلر در نمونه‌های مطالعه حاضر از $18/8$ تا $1863/8$ با مقدار متوسط $560/7$ میلی گرم در لیتر متغیر است (جدول ۱). اگر ماکزیم سطح آلودگی (MCL) کلر را مطابق استاندارد ایران و ترکیه 600 mg/l مد نظر قرار دهیم در این صورت حدود $61/53$ درصد آب مربوط به ناحیه مطالعاتی قابلیت استفاده توسط انسان را خواهد داشت. اما براساس استاندارد سازمان بهداشت جهانی و هند که حداکثر مجاز یون کلر در آب آشامیدنی را 250 mg/l گزارش داده‌اند، تنها $38/46$ درصد آب مربوط به ناحیه مطالعاتی قابل استفاده برای اهداف شرب است. این درحالی است که حد مطلوب یون کلر توسط استاندارد ایران و ترکیه به ترتیب 250 و 25 میلی گرم در لیتر ارائه شده است که بر این اساس حدود $30/7$ درصد براساس استاندارد ایران و تنها $7/7$ درصد (یک نمونه) مطابق استاندارد ترکیه، آب منطقه مورد مطالعه، قابلیت استفاده برای مقاصد شرب را دارد. آنیون دیگری که مهم است سولفات است. سولفات‌ها از طریق پساب‌های صنعتی و رسوب اتمسفری وارد آب‌ها می‌شوند، با این حال، بالاترین میزان آن در آب‌های زیرزمینی وجود دارد و از منابع طبیعی تامین می‌شود. آب موجود در سنگ‌های آذرین و دگرگونی عموماً حاوی کمتر از 100 mg/l سولفات است، اما سنگ‌های رسوبی می‌تواند حاوی بیش از این مقدار باشند (Fytianos and Christophoridis, 2004). اگرچه سولفات ماده مضر نیست، وجود میزان بسیار بالای از سولفات در آب آشامیدنی ممکن است باعث اثر ضد بیوست در مصرف کنندگان غیر عادی شود (Nas and Berktaay, 2010). ماکزیم سطح آلودگی (MCL) برای سولفات براساس استاندارد سازمان بهداشت جهانی و ترکیه 250 mg/l ارائه شده است، اما 400 mg/l توسط استاندارد ایران در نظر گرفته شده است. این درحالی است که حد مطلوب برای میزان سولفات در آب شرب به ترتیب 200 و 25 میلی گرم در لیتر توسط استاندارد ایران و ترکیه گزارش شده است (جدول ۲). مطابق داده‌های (جدول ۱)، میزان سولفات در نمونه‌های مورد مطالعه از $50/9$ تا $278/4$ با میانگین $153/8$ میلی گرم در لیتر در نوسان است. باتوجه به مطالب فوق، تنها سه نمونه (R_1 ، R_2 و R_3)، ماکزیم سطح آلودگی (250 mg/l) را عبور کرده است، اما بر اساس ماکزیم سطح آلودگی ایران (400 mg/l)، هیچ نمونه‌ای وجود ندارد که این میزان را عبور کرده باشد، بنابراین قابلیت استفاده را دارند. این درحالی است که حد مطلوب (25 mg/l) در هیچ نمونه‌ای دیده نشده است، اما حد مطلوب (200 mg/l) در ۸ نمونه (حدود $61/5$ درصد) یافت شده است.

روند کاتیون‌های غالب در نمونه‌های آب مربوط به حوضه آبریز سد شهریار به صورت $\text{Na} > \text{Ca} > \text{Mg} > \text{k}$ است. سدیم کاتیون غالب است. غلظت آن بین $25/1$ تا 989 با متوسط $313/8$ میلی گرم در لیتر متغیر است (جدول ۱).



شکل ۴. نقشه کیفیت حوضه آبریز سد شهریار از نظر شرب

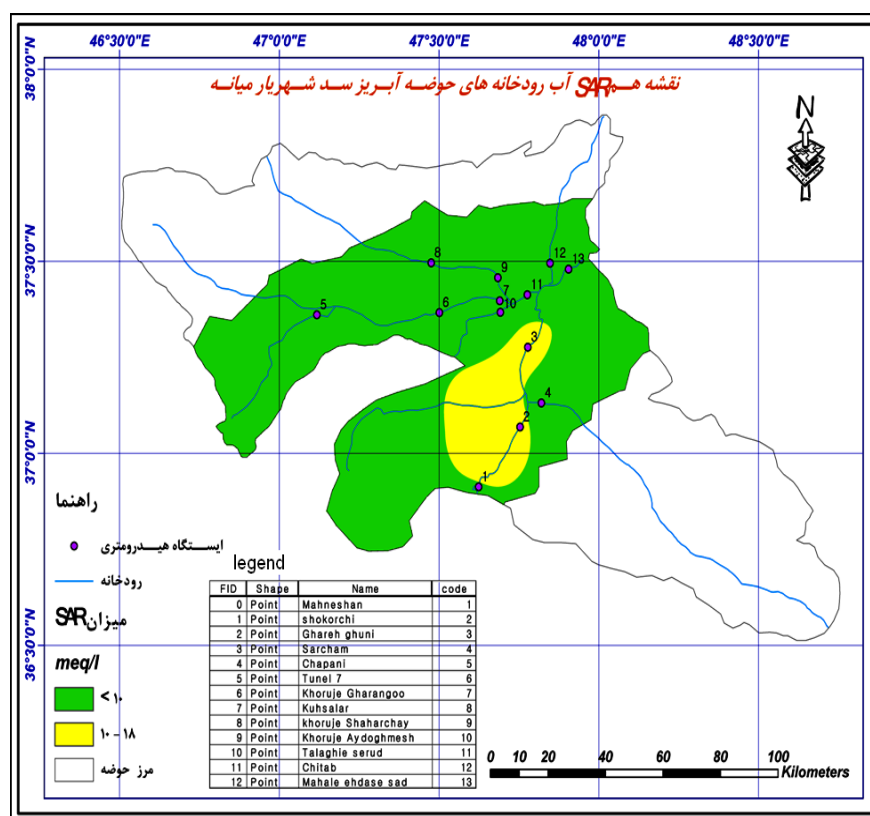
ارزیابی کیفیت برای آبیاری

نسبت جذب سدیم (SAR) سدیم موجود در آب باعث کاهش نفوذپذیری و سفت شدن خاک می‌شود. شوری بیش از اندازه فعالیت اسمزی گیاهان را کاهش می‌دهد (Subramani et al., 2005).

نسبت جذب سدیم با فرمول زیر محاسبه می‌شود (Richards, 1954) در رابطه فوق، غلظت یون‌ها برحسب میلی اکسی والان در لیتر (meq/l) منظور

$$SAR = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca + Mg}{2}}}$$

کیفیت آب برای شیوه‌های آبیاری تحت موارد زیر در نظر گرفته می‌شود: می‌شود. یک رابطه نزدیک بین مقادیر SAR در آب آبیاری و میزان سدیم که جذب می‌شود وجود دارد (Subra Rao, 2006). نقشه پراکندگی مکانی نسبت جذب سدیم در (شکل ۵) ارائه شده است که در آن دو مرکز پرتراکم نسبت جذب سدیم در ایستگاه‌های شکرچی و قره‌گونی واقع در قسمت جنوبی حوضه مشاهده می‌شود. قابل ذکر است که محدوده SAR کمتر از ۱۰ برای همه انواع خاک مناسب است در حالی که گستره ۱۰ تا ۱۸ ترجیحاً برای خاک‌های درشت بافت قابل استفاده است (Mandel and Shiftan, 1981).



شکل ۵. پراکندگی مکانی SAR در ناحیه مطالعاتی

اینصورت تمایل دارد توسط ذرات رس جذب شده و باعث پراکندگی یون‌های کلسیم و منیزیم‌گردد. این فرایند تبادل سدیم موجود در آب با کلسیم و منیزیم خاک، نفوذپذیری را کاهش می‌دهد و نهایتاً منجر به خاک با زهکشی داخلی ضعیف می‌گردد (Tiri and Boudoukha, 2010). سدیم جهت طبقه‌بندی آب آبیاری یون مهمی است چراکه واکنش آن با خاک، نفوذپذیری آن را کاهش می‌دهد (Vasanthavigar et al., 2010). درصد سدیم توسط رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$Na\% = \frac{Na^+ + K^+}{Ca^{2+} + Mg^{2+} + Na^+ + K^+} \times 100$$

که در آن، همه غلظت‌های یونی برحسب میلی اکسی والان در لیتر (meq/l) بیان می‌شوند. در (جدول ۳) نتایج کیفیت آب بر اساس درصد سدیم مطابق نظر ویلکوکس (۱۹۹۵) جهت آبیاری ارائه شده است (شکل ۶).

کربنات سدیم باقیمانده (RSC)

RSC به منظور بررسی اثر خطرناک کربنات و بی‌کربنات بر روی کیفیت آب برای کشاورزی محاسبه شده است (Aghazadeh and Mogaddam, 2010) و از معادله زیر محاسبه می‌شود:

$$RSC = (HCO_3^- + CO_3^{2-}) - (Ca^{2+} + Mg^{2+})$$

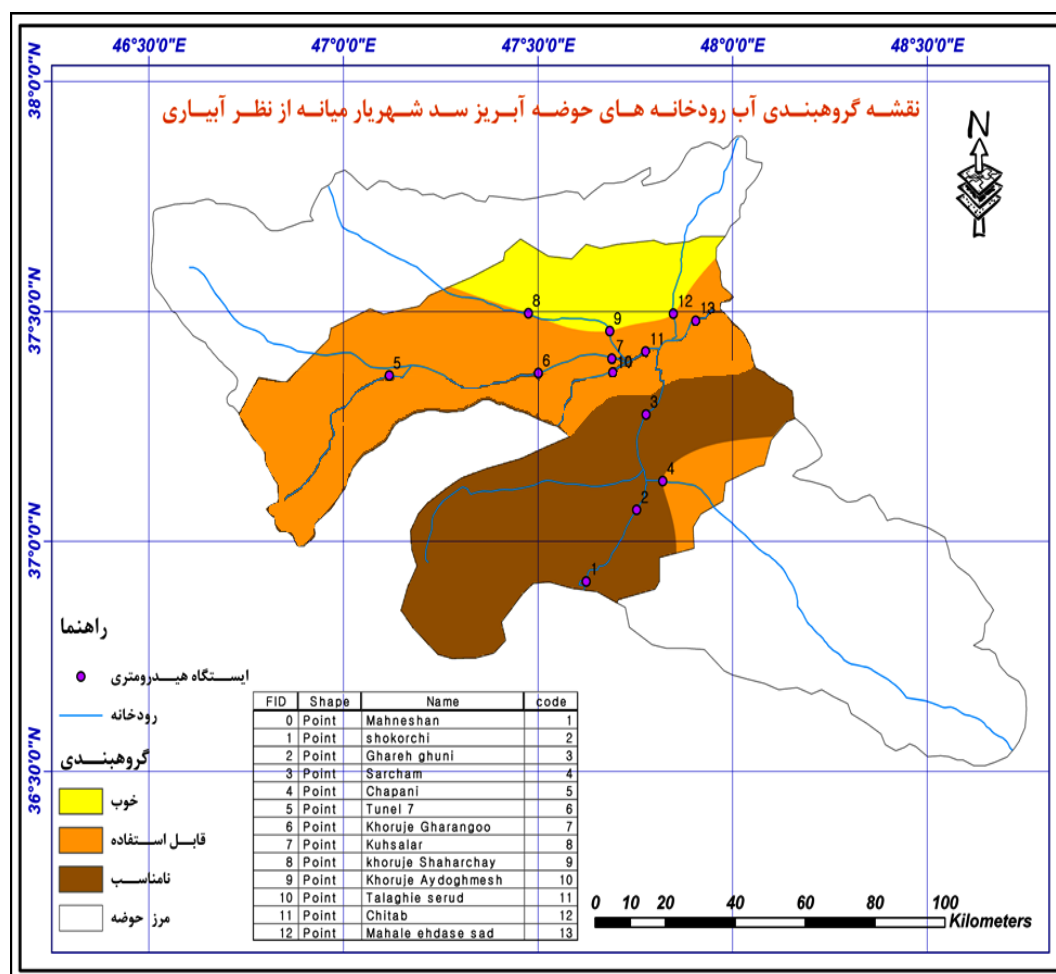
که در آن غلظت یون‌ها برحسب میلی اکسی والان در لیتر (meq/l) بیان می‌شوند. آب با RSC بالا PH بالا دارد، بنابراین زمین‌های آبیاری شده با چنین آب به علت رسوب کربنات سدیم نابارور می‌شود (Eton, 1950). براساس کمیته کود کالیفرنیا (۱۹۷۵) رنج RSC کمتر از ۱/۲۵ در گروه آب سالم از نظر آبیاری قرار دارد. لذا باتوجه به داده‌های (جدول ۳) همه نمونه‌ها در ردیف آب سالم از نظر RSC هستند.

درصد سدیم (%Na)

سدیم در آب آبیاری معمولاً بصورت درصد سدیم بیان می‌شود (Tank and Chandel, 2010). وقتی غلظت یون سدیم در آب آبیاری بالا است، در

جدول ۳. پارامترهای مورد استفاده جهت ارزیابی کیفیت آب برای استفاده کشاورزی

محل نمونه برداری	SAR	Na %	کیفیت بر اساس Na %	RSC	کیفیت بر اساس RSC
اوزن - شکرچی قزل	۱۴/۱۸	۷۰/۱۶	مشکوک	-۱۴/۷۵	مناسب
قرنقو - میانه خروجی	۶/۵۶	۶۱/۵۲	مشکوک	-۴/۹۵	مناسب
آیدوغموش - میانه خروجی	۴/۱۶	۴۸/۷۷	قابل قبول	-۶/۹۵	مناسب
سه رود شهرچای، آیدوغموش و قرنقو بعد از تلاقی	۴/۳۴	۴۹/۱۲	قابل قبول	-۷/۲۵	مناسب
قزل اوزن - قره گونی وسط	۱۳/۵۹	۶۹/۴	مشکوک	-۱۴/۵۵	مناسب
احداث سد محل	۵/۴	۵۳/۱۱	قابل قبول	-۷/۷	مناسب
میانه شهرچای - کوهسالار	۱/۸۸	۳۹/۰۷	خوب	-۰/۱۴	مناسب
تونل شماره ۷ - قرنقو	۶/۱۷	۶۴/۱۶	مشکوک	-۲/۶۱	مناسب
چای - چتاب گرمی	۰/۸۴	۲۴/۳۸	خوب	-۰/۷۷	مناسب
رود - سرچم زنجان	۲/۰۳	۳۶/۲۹	خوب	-۲/۷۶	مناسب
چای - میانه شهر	۱/۴۴	۳۴/۳۵	خوب	-۰/۱۵	مناسب
اوزن - ماه نشان قزل	۹/۶۴	۶۹/۰۲	مشکوک	-۵/۲۷	مناسب
چپینی - قرنقو	۴/۳۷	۶۱/۰۷	مشکوک	-۰/۸۹	مناسب



شکل ۶. توزیع مکانی کیفیت آب ناحیه مطالعاتی برای اهداف آبیاری

نتیجه گیری

کیفیت آب در حوضه آبریز سد شهریار جهت ارزیابی ترکیب شیمیایی و قابلیت آن برای مصارف گوناگون (انسان، صنعت و کشاورزی) بررسی شده است. برای این منظور از شاخص کیفیت (WQI) بهره گرفته شد. در مطالعه ما، مطابق جدول ۲، پارامترهای TH، PH و کاتیون‌های کلسیم و منیزیم و آنیون سولفات به‌طور متوسط در داخل ماکزیم سطح آلودگی (MCL) مربوط به چهار استاندارد (سازمان بهداشت جهانی، ایران، ترکیه و هند) قرار دارند. پارامتر EC بیش از حد مجاز است (۲۲۶۲ mg/l). ماکزیم مقدار EC براساس استاندارد ترکیه ۲۰۰۰ mg/l است. یون سدیم به‌طور متوسط بالاترین سطح آلودگی سازمان بهداشت جهانی (۲۰۰ mg/l) را عبور می‌کند. غلظت یون کلر به‌طور میانگین بیش از بالاترین سطح آلودگی مربوط به سازمان بهداشت جهانی و هند (۲۵۰ mg/l) است در حالیکه در داخل ماکزیم استاندارد ایران و ترکیه قرار می‌گیرد. مقدار پارامتر TDS به‌طور متوسط بیش از ماکزیم سطح آلودگی سه استاندارد مربوط به سازمان بهداشت جهانی (۶۰۰ mg/l)، ترکیه (۵۰۰ mg/l) و هند (۵۰۰ mg/l) است، اما در داخل ماکزیم سطح آلودگی استاندارد ایران (۱۵۰۰ mg/l) قرار می‌گیرد. در این پژوهش نقشه نهایی کیفیت آب جهت شرب و آبیاری به ترتیب مطابق نظر شولر (۱۹۶۵) و ویلکوکس (۱۹۹۵) با استفاده از روش وزن‌دهی فاصله معکوس (IDW)، جهت نشان دادن توزیع مکانی آن در ناحیه مطالعاتی تهیه شد (شکل ۵ و ۶).

نقشه کیفیت نهایی مربوط به استفاده خانگی نشان می‌دهد تنها آب موجود در قسمت جنوبی ناحیه مطالعاتی به‌علت گذر از واحدهای تخییری، دارای کیفیت نامطبوع بوده و برای آشامیدن نامناسب است. همان‌طور که می‌توان از نقشه دید، آب بسیاری از مناطق مرکزی و جنوب شرقی (حوضه زنگان‌رود) دارای کیفیت متوسط بوده و بعد از رسیدگی مناسب، قابل شرب است. در حالیکه بخش شمالی ناحیه مطالعاتی (حوضه گرمی‌چای و شهرچای) دارای آب با کیفیت مناسب بوده و می‌تواند مورد استفاده انسان قرار گیرد. در مجموع می‌توان گفت که کیفیت آب ناحیه مطالعاتی از سمت جنوب به طرف شمال افزایش پیدا می‌کند. همین‌طور بر پایه نقشه ارائه شده برای آبیاری (شکل ۶)، آب بخش جنوبی منطقه برای اهداف کشاورزی از نظر شوری دارای محدودیت زیاد بوده و برای آبیاری بهتر است تا آنجاییکه امکان دارد استفاده نشود. اما اگر آب دیگری وجود ندارد، و انسان مجبور است از آن استفاده کند باید زمین‌های با این آب کاشته بشود که قابلیت نفوذپذیری آن‌ها زیاد است و علاوه زهکشی لازم است و شستشوی زمین به‌ویژه در فصول پرآبی با استفاده از آب‌های شیرین به‌طور مرتب و همه ساله صورت گیرد. این در حالی است که کیفیت آب به سمت بخش‌های مرکزی و شمالی منطقه به‌علت خروج آب از سازندهای تخییری بهبود پیدا می‌کند و در نتیجه می‌توان از آن‌ها در بخش کشاورزی استفاده نمود. این مطالعه نشان می‌دهد که استفاده از روش‌های WQI و GIS می‌تواند اطلاعات مفید برای ارزیابی کیفیت آب فراهم نماید.

منابع

- امیری، و.، نخعی، م.، سهرابی، ن.، ۱۳۹۲. ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی بر اساس آنتروپی وزن دار شاخص کیفیت آب، فصلنامه زمین شناسی کاربردی پیشرفته، شماره ۷، صفحه ۳۱-۳۹.
- حسینخانی، ح.، ۱۳۹۰. رسوبشناسی حوضه آبریز سد شهریار (استور) میانه و نقش لیتولوژی در میزان بار فرسایشی آن، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید بهشتی، ۲۲۰ ص.
- موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، ۱۳۷۶. "ویژگی‌های آب آشامیدنی" استاندارد شماره ۱۰۵۳، چاپ‌های چهارم و پنجم، کمیسیون استاندارد آب‌های آشامیدنی.
- نخعی، م.، ودیعتی، م.، ۱۳۹۱. کاربرد مدل استنتاج فازی در ارزیابی کیفیت آب قنات جهت مصارف شرب و کشاورزی (مطالعه موردی: استان تهران)، فصلنامه زمین شناسی کاربردی پیشرفته، شماره ۶، صفحه ۴۴-۵۲.
- Aghazadeh, N. and Mogaddam, A. A., 2010. Assessment of groundwater Quality and its Suitability for Drinking and Agricultural Uses in the Oshnavieh Area, Northwest of Iran. *Journal of Environmental Protection*, Vol. (1) : 30-40.
- Ahn H, Chon H., 1999. Assessment of groundwater contamination using geographic information systems. *Environmental Geochemistry Health*, Vol.(21) : 273-289.
- Avvannavar, S.M. and Shrihari, S., 2008. Evaluation of water quality index for drinking purposes for river Netravathi, Mangalore, South India. *Environmental Monitoring and Assessment*, Vol.(143) : 279-290.
- Bahar, M.M. and Reza, M.S., 2010. Hydrochemical characteristics and quality assessment of shallow groundwater in a coastal area of Southwest Bangladesh. *Environmental Earth Science*, Vol.(61) : 1065-1073.
- Balakrishnan, P. Abdul Saleem and Mallikarjun, N. D., 2011. Groundwater quality mapping using geographic information system (GIS): A case study of Gulbarga City, Karnataka, India. *African Journal of Environmental Science and Technology*, Vol.(5) : 1069-1084.
- Bernstein, I., 1975. Effects of salinity and sodicity on plant growth. *Ann. Rev. Phytopathol.*, Vol.(13) : 295-312.
- Borgarello, F., Serpont, N., Torcini, S., Minero, C. and Pelizzetti, E., 1986. Separation of inorganic anions by unsuppressed ion chromatograph, *Analytica Chimica Acta*, Vol.(188) : 317-319.
- Burrough, P.A. McDonnell, R.A., 1998. *Principles of Geographical Information Systems* Oxford: Oxford University Press, p. 333.
- California Fertilizer Committee, 1975. *Western Fertilizer Hand-Book*. The Interstate Printers and Publishers Inc. Danville, Illinois.
- Ducci, D., 1999. GIS techniques for mapping groundwater contamination risk. *Natural Hazards*, Vol.(20) : 279-294.

- Durfer CN, Baker F., 1964. Public water supplies of the 10 larger city in the U.S. Geological Survey. Water Supply, p. 364.
- Eaton, F.M., 1950. Significance of carbonate in Irrigation waters. Soil Science., Vol.(67) : 128-133.
- Ferry, L.T. Akihiko, K. and Mohammed Aslam, M.A., 2003. A Conceptual Database Design for Hydrology Using GIS. In the Proceedings of Asia Pacific Association of Hydrology and Water Resources, Japan, Kyoto.
- Fetter, C. W., 1999. Contaminant hydrogeology. USA: Prentice Hall. p. 500.
- Fytianos, K., & Christophoridis, C., 2004. Nitrate, arsenic and chloride pollution of drinking water in Northern Greece: Elaboration by applying GIS. Environmental Monitoring and Assessment, Vol.(93) : 55-67.
- Gueddari, M. and Rachida, B., 2011. Use of Geographical Information System and Water Quality Index to Assess Groundwater Quality in El Khairat Deep Aquifer (Enfidha, Tunisian Sahel), Iranica Journal of Energy & Environment, Vol.(2) : 133-144.
- Han G., and Liu C., 2003. Water geochemistry controlled by carbonate dissolution: a study of the river water draining Karst-dominated terrain, Guizhou China. Che geology, 204: 1-21.
- 5-Han G., Tang Y., and Xu Z. 2010. Fluvial geochemistry of rivers draining Karst terrain in southwest China. Journal of Asian earth sciences, Vol.(38) : 65-75.
- Han, D. Liang, X. Jin, M. Currell, MJ. Han, Y. and Song X., 2009. Hydrogeochemical indicators of groundwater flow systems in the Yangwu River Alluvial Fan, Xinzhou Basin, Shanxi, China. Environment Management, Vol.(44) : 243-255.
- Health Canada, 1979. Guidelines for Canadian Drinking Water Quality - Hardness. Ottawa, Canada: Health Canada.
- Health Canada, 1991. Guidelines for Canadian Drinking Water Quality - Total Dissolved Solids. Ottawa, Canada: Health Canada.
- Indian Standards Institution, 1991. Indian standard Specification for drinking water, IS 10500.
- Ishaku, J.M., 2011. Assessment of groundwater quality index for Jimeta-Yola area, Northeastern Nigeria. Journal of Geology and Mining Research, Vol.(3) : 219-231.
- Jain CK, Kumar CP, Sharma MK., 2003. Ground water qualities of Ghataprabha command Area, Karnataka. Indian J. Environ. Ecoplan, Vol.(7) : 251-262.
- Khan, F., Husain, T. and Lumb, A., 2003. Water quality evaluation and trend analysis in selected watersheds of the Atlantic Region of Canada. Environmental Monitoring and Assessment, Vol.(88) : 221-242.
- Lang C., Liu C., and Zhao Z., 2006. Geochemistry of Surface and ground water in Guiyang, China: Water/Rock interaction and Pollution in Karst hydrological system. Applied Geochemistry, Vol.(21) : 88-115.
- Li S., and Zhang Q., 2008. Geochemistry of the Han river basin China, 1: Spatial distribution of major ion compositions and their controlling factors. Applied geochemistry, Vol.(23) : 3535-3544.
- Mandel, S. and Shiftan, Z.I., 1981. Groundwater Resources Investigation and development. Academic press. New york, p. 257.
- Nas, B. Berkay, A. 2010. Groundwater quality mapping in urban groundwater using GIS. Environmental Monitoring and Assessment, Vol.(160) : 215-227.
- Obiefuna, G. J. and Sheriff, A., 2011. Assessment of Shallow Ground Water Quality of Pindiga Area, Yola Area, NE, Nigeria for Irrigation and Domestic Purposes. Research Journal of Environmental and Earth Sciences, Vol.(3) : 131-141.
- Ramesh, K. and Elango, L., 2006. Groundwater Quality Assessment in Tondiar Basin. Intl. J. Environ. Pollution, Vol.(26) : 497-504.
- Ravikumar, P. Somashekar, R.K. and Angami, M., 2011. Hydrochemistry and evaluation of groundwater suitability for irrigation and drinking purposes in the Markandeya River basin, Belgaum District, Karnataka State, India. Environmental Monitoring Assessment, Vol.(173) : 459-487.
- Richards, L.A., 1954. Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils Agric Handbook 60, USDA and IBH Pub. Coy Ltd., New Delhi, India, p. 98-99.
- Sahu, P. and Sikdar, P.K., 2008. Hydrochemical framework of the aquifer in and around East Kolkata wetlands, West Bengal. Indian Journal of Environmental Geology, Vol.(55) : 823-835.
- Sargaonkar, A. and Deshpande, V., 2003. Development of an overall index of pollution for surfacewater based on a general classification scheme in Indian context. Environmental Monitoring and Assessment, Vol.(89) : 43-67.
- Sawyer, C. N., & McCarty, P. L., 1978. Chemistry for environmental engineering. New York: Mc-Graw Hill, p. 532.
- Schoeller, H., 1965. Qualitative Evaluation of Groundwater Resources. In: Methods and Techniques of Groundwater Investigation and Development. Water Resources Series No. 33, UNESCO, p. 44-52.
- Subba Rao, N., 1997. Studies on water quality index in hard rock terrain of Guntur district, Andhra Pradesh, India National Seminar on Hydrology of Precambrian Terrains and hard rock areas, p. 129-134.
- Subramani, T. Krishnan, S. and Kumaresan, P. K., 2012. Study of Groundwater Quality with GIS Application for Coonoor Taluk in Nilgiri District. International Journal of Modern Engineering Research (IJMER), Vol.(2) : 586-592.
- Subramani, T., Elango, L. and Damodarasamy, S.R., 2005. Groundwater quality and its suitability for drinking and agricultural use Chithar River Basin, Tamil Nadu, India. Environ. Geol., Vol.(47) : 1099-1110.
- Sunitha, V. Muralidhara Reddy, B. Jagadish Kumar, M. Ramakrishna Reddy, M., 2012. GIS based groundwater quality mapping in southeastern part of Anantapur District, Andhra Pradesh, India. International Journal of Geomatics and Geosciences, Vol.(2) : 805-814.
- Suresh, T.S. Naganna, C. and Srinivas, G. 1991. Study of water quality for agricultural use in Hemavathy river (Karnataka). Hydrol. J. Indian Assoc. Hydrol., Vol.(14) : 247-254.
- Tank, D.K. and Chandel, C.P.S., 2010. Analysis Of The Major Ion Constituents In Groundwater of Jaipur City. Nature and Science, Vol.(8) : 1-7.

- Tiri, A. and Boudoukha, H., 2010. Hydrochemical Analysis and Assessment of Surface Water Quality in Koudiat Medouar Reservoir, Algeria. *European Journal of Scientific Research*, Vol.(41) : 273-285.
- TSE, 1997. Drinking water Turkish standards, Turkish standards (TSE-266). Ankara.
- Tziritis, E. Kelepertzis, A. and Stamatakis, M., 2008. Hydro geochemical conditions and groundwater quality in the SE part of Samos Island, Greece. *Mineral and Wealth*, Vol.(149) : 1-11.
- UNESCO, 2006. UNESCO water portal newsletter no. 161: Water-related diseases. Available at: <http://www.unesco.org/water/news/newsletter/161.shtml>.
- Vasanthavigar, M., Srinivasamoorthy, K. Vijayaragavan, K. Rajiv Ganthi, K. Chidambaram, S. Anandhan, P. Manivannan, R. and Vasudevan, S., 2010. Application of water quality index for groundwater quality assessment: Thirumanimuttar sub-basin, Tamilnadu, India. *Environmental Monitoring Assessment*, Vol.(171) : 595-609.
- WHO, 2004. Guidelines for drinking water quality: training pack. WHO, Geneva, Switzerland.
- Wilcox, L.V., 1955. Classification and use of Irrigation Waters. U.S. Dept. of Agric., Circular No. 696, Washington D.C., p. 19.
- World Health Organization, 2008. guidelines for drinking-water quality [electronic resource]: incorporating 1st and 2nd addenda, v. 1, Recommendations, 3rd edn. WHO, Geneva, p. 515.
- Zhang, W. Kinniburgh, D. and Gabos, S., 2013. Assessment of Groundwater Quality in Alberta, Canada Using GIS Mapping, 3rd International Conference on Medical, Biological and Pharmaceutical Sciences (ICMBPS'2013), Bali (Indonesia), p.199-204.
- Assessment of Shahriar dam catchment water quality for irrigation and domestic purposes using chemical indices and GIS mapping in Mianeh area, South- East Azarbaijan Province.