

بررسی کیفیت منابع آب شرب زیرزمینی از دیدگاه هیدروژئوشیمیایی (مطالعه موردی: شهرستان سراب)

مجتبی پورا کبر^۱ محمد مسافری^۲ محمد شاکر خطیبی^۳ عادل مرادی^۴

(دریافت ۹۳/۱/۸ پذیرش ۹۳/۳/۱۷)

چکیده

آب‌های زیرزمینی برای بسیاری از جوامع مهم‌ترین منبع تأمین آب آشامیدنی هستند. نظر به اینکه کیفیت آب به‌طور مستقیم سلامت مصرف‌کنندگان را تحت تأثیر قرار می‌دهد، بررسی کیفیت آب و عوامل مؤثر از نظر هیدروژئوشیمیایی ضروری به‌نظر می‌رسد. در این پژوهش ۲۵ روستا از شهرستان سراب در استان آذربایجان شرقی انتخاب و پارامترهای فیزیکوشیمیایی همراه با ۲۰ فلز سنگین در منابع آب آشامیدنی آنالیز شد. نتایج حاصل ضمن پهنه‌بندی و تفسیر در محیط Arc GIS با استفاده از آزمون تحلیل مؤلفه‌های اصلی و آنالیزهای خوشه‌ای، تحلیل و روستاهای مورد مطالعه دسته‌بندی شدند. بر اساس نتایج حاصل از مطالعه، میانگین و دامنه EC برابر ۸۱۲ و ۲۲۰ تا ۲۹۹۰ میکروزیمنس بر سانتی‌متر اندازه‌گیری شد. بالا بودن املاح محلول در غرب شهرستان از نکات قابل توجه بود. غلظت آرسنیک در دو مورد از نمونه‌ها و جیوه در یکی از نمونه‌ها بالا بود. آزمون تحلیل مؤلفه‌های اصلی نشان داد که آب‌های بررسی شده از لحاظ پارامترهای فیزیکوشیمیایی در سه دسته قابل تقسیم‌بندی هستند. با توجه به برخی مشکلات کیفی مشاهده شده، جایگزین کردن برخی منابع تأمین با منابع جدید و انجام مطالعه‌ای جامع در خصوص آنومالی آرسنیک و اثرات بهداشتی آن بر روی سلامت مصرف‌کنندگان در روستاهای آلوده توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: GIS، آب زیرزمینی، فلزات سنگین، هیدروژئوشیمیایی، آزمون‌های آماری چندمتغیره

Groundwater Quality Assessment from a Hydrogeochemical Viewpoint (A Case Study of Sarab County)

M. Pourakbar¹ M. Mosafari² M. Shaker Khatibi³ A. Moradi⁴

(Received March 28, 2014 Accepted June 7, 2014)

Abstract

Groundwater resources are the most important sources of drinking water in many communities. The direct impact of water quality on public health warrants a thorough investigation of water quality and the factors involved from a hydrogeochemical viewpoint. In the present study, 25 villages of Sarab County in East Azarbaijan Province were selected and the quality of the drinking water supplied in the region was analyzed in terms of its physicochemical parameters along with heavy metals content including 20 different metals. The results were plotted using the Arc GIS for interpretation. The selected villages were subsequently categorized using the Principal Component Analysis (PCA) and the Hierarchical Cluster Analysis. Based on the result of study, the EC of the drinking water ranged over 220-2990 μ s/cm with an average value of 812. A remarkable finding was the high level of dissolved solids in the Western parts of the study area. Arsenic in two villages and mercury in one village were also high. PCA results showed that the drinking water in the pilot villages could be divided into three categories. Based on certain water quality problems observed in the region, it is suggested that substitute water supplies should be identified for some of the villages while a comprehensive investigation is also carried out on the arsenic anomaly and its health effects on water consumers in the contaminated villages.

Keywords: GIS, Groundwater, Heavy Metals, Hydrogeochemical, Multivariate Statistic.

1. MSc Student of Environmental Health Engineering, Faculty of Public Health, Student Research Committee, Tabriz University of Medical Sciences, Tabriz
2. Assoc. Prof. of Environmental Health Engineering, Faculty of Public Health, Tabriz University of Medical Sciences, Tabriz (Corresponding Author) (+98 411) 3355952 mmosafari@yahoo.com
3. Assist. Prof. of Environmental Health Engineering, Faculty of Public Health, Tabriz University of Medical Sciences, Tabriz
4. Environmental Engineer, East Azarbaijan Rural Water and Sewage Co., Tabriz

- ۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، کمیته تحقیقات دانشجویی دانشگاه علوم پزشکی تبریز، تبریز، ایران
- ۲- دانشیار گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تبریز، تبریز، ایران (نویسنده مسئول) ۳۳۵۵۹۵۲ (+۹۸۴۱۱) mmosafari@yahoo.com
- ۳- استادیار گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تبریز
- ۴- کارشناس شرکت آب و فاضلاب روستایی استان آذربایجان شرقی، تبریز

طی دو دهه اخیر، مطالعات زیادی در خصوص کیفیت منابع آب زیرزمینی و تحلیل و تفسیر آن صورت گرفته است. به عنوان مثال در کشور پرتغال در مطالعه دو منطقه، به منظور گویاتر کردن نتایج، از نقشه‌های کیفی استفاده شد و مشخص شد که کیفیت آب در آبخوان‌های با عمق کم، پایین بوده و فعالیت‌های کشاورزی بر روی کیفیت منابع آب تأثیر دارد [۷]. در مطالعه دیگری توسط بالاکیشن و همکاران در سال ۲۰۱۱، در کشور هند با استفاده از نرم افزار GIS، نقشه‌های کیفی آب‌های زیرزمینی تهیه و تفسیر شد [۸]. جمشیدزاده و میرباقری در سال ۲۰۱۱، بر روی یک آبخوان در بخش مرکزی ایران کمیّت و کیفیت آب‌های این منطقه را بررسی کرده و پارامترهای کیفی آب‌های منطقه را توسط نرم افزار GIS پهنه‌بندی نموده و تفسیر کردند که طبق نتایج آنها اکثر نمونه‌های آب، آشامیدنی نیست [۹]. در مطالعه‌ای که طبق نتایج آنها در سال ۲۰۱۲، در بنگلادش انجام شد، ارتباط بین هیدروژئوشیمی و میزان آرسنیک در آب‌های زیرزمینی بررسی شد. نتایج مطالعه نشان دهنده این بود که اکثر چاه‌های سطحی و عمقی، با غلظت ۲ تا ۳۳۱ میکروگرم در لیتر، آلوده به آرسنیک بودند [۱۰].

هدف از مطالعه حاضر، بررسی کیفیت آب‌های زیرزمینی مورد استفاده برای شرب در مناطق روستایی شهرستان سراب، تحلیل و تفسیر کیفیت این منابع با استفاده از نرم افزار GIS، بررسی آن از لحاظ هیدروژئوشیمیایی و انجام آزمون‌های آماری بود. با توجه به اینکه اطلاعات منتشر شده‌ای در خصوص کیفیت منابع آب شرب زیرزمینی مربوط به روستاهای شهرستان سراب وجود نداشت، بنابراین انجام این مطالعه ضروری به نظر می‌رسید.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- محدوده مورد مطالعه

شهرستان سراب با مساحت ۳۵۶۰ کیلومتر مربع در جنوب شرقی استان آذربایجان شرقی واقع شده و ارتفاع این شهرستان از سطح دریا ۱۶۵۰ متر است. مساحت شهرستان سراب ۶/۷ درصد کل مساحت استان را تشکیل می‌دهد که از این لحاظ در رده ششم قرار دارد. این شهرستان دارای دو بخش مرکزی و مهربان، ۹ دهستان و ۴ نقطه شهری به نام‌های سراب، مهربان، شربیان و دوزدوزان است (شکل ۱).

با توجه به روند رشد جمعیت جهان، تأمین آب آشامیدنی سالم در شهرها و روستاها از جمله نگرانی‌های دولتمردان و ساکنان است. از این رو قرن ۲۱ را قرن استرس آبی یا استرس هیدرولوژیک نام نهاده‌اند [۱]. کیفیت آب از جمله مسائلی است که با سلامتی، بهداشت فردی و عمومی جامعه نسبت مستقیم دارد و اهمیت کیفیت آب‌های سطحی و زیرزمینی بر هیچکس پوشیده نیست. در این میان اهمیت منابع آب زیرزمینی به عنوان یک گزینه مناسب برای تأمین آب شرب با در نظر گرفتن هزینه‌های بالا در استفاده از آب‌های سطحی و همچنین افزایش آلودگی آب‌های سطحی دو چندان شده است [۲، ۳ و ۴].

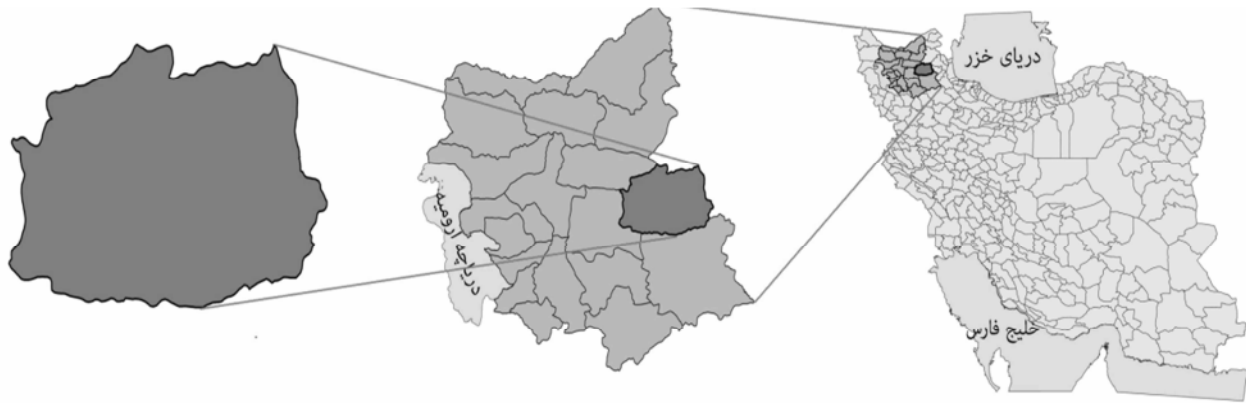
اصولاً تغییرات کیفیت آب‌های زیرزمینی تابعی از پارامترهای فیزیکی و شیمیایی است که آن نیز به شدت تحت تأثیر ساختار زمین‌شناسی منطقه و فعالیت‌های انسانی است. ساختار خاک و کیفیت آب‌های سطحی در یک منطقه، به نوعی تعیین کننده ترکیبات و کیفیت آب زیرزمینی بوده و همچنین کیفیت شیمیایی آب‌های زیرزمینی بستگی به کیفیت آب در محل برداشت و همچنین فرایندهای ژئوشیمیایی که زیر زمین اتفاق می‌افتد، دارد. فرایندهای ژئوشیمیایی عامل اصلی تغییرات کیفیت آب به صورت مکانی است [۵].

ایران به دلیل واقع شدن در منطقه خشک و نیمه‌خشک در زمره کشورهای بحرانی دنیا در زمینه سرانه آب و تأمین آب است. در دهه‌های اخیر، عمدتاً به علت افزایش مصرف آب و برداشت بیش از حد مجاز از منابع آب، خصوصاً منابع آب زیرزمینی و همچنین عدم مدیریت و استفاده بهینه از آب در دسترس، پدیده کمبود آب در کشور نمایان شده است. عدم برخورداری از بارندگی کافی با توزیع زمانی و مکانی مناسب نیز بر جدی شدن مسئله کمبود آب در کشور تأثیرگذار بوده است.

در این میان مدیریت صحیح منابع آب و آگاهی از وضعیت و کیفیت منابع آب یکی از اهداف سازمان‌ها و متولیان این امر است، که در این راستا از علوم مختلف دیگر نظیر سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی^۱ استفاده می‌شود. استفاده از GIS در صنعت آب از اواخر دهه ۱۹۸۰ شروع شد و از اوایل دهه ۱۹۹۰، در صنعت آب از GIS در تولید نقشه‌ها، مدل‌سازی، مدیریت امکانات و برنامه‌های نگهداری و بهره‌برداری استفاده می‌شود. طبق گزارش‌های انجمن امور آب آمریکا^۲ حدود ۹۰ درصد از فعالیت‌های مربوط به آب تا اواخر سال ۲۰۰۰ در آمریکا از فن‌آوری GIS استفاده کرده

^۱ Geographical Information System (GIS)

^۲ American Water Work Association (AWWA)



شکل ۱- موقعیت شهرستان سراب

۲-۲- نمونه برداری و آنالیز

برای انجام پژوهش، منابع آب آشامیدنی زیرزمینی روستاهایی که تحت پوشش شرکت آب و فاضلاب روستایی استان آذربایجان شرقی بودند، انتخاب و نمونه برداری از این منابع در فصل بهار سال ۱۳۹۱ صورت گرفت. در کل ۲۵ روستا از مناطق مختلف شهرستان در شمال غربی، مرکز، شرقی و جنوب با رعایت پراکندگی جغرافیایی برای نمونه برداری انتخاب شدند. با توجه به اینکه آبرسانی در برخی روستاها به صورت مجتمع صورت می‌گیرد، این ۲۵ نمونه در کل پوشش دهنده ۴۰ روستا از شهرستان بودند.

تمامی نمونه‌ها از منبع تأمین آب شامل چاه یا چشمه، مطابق با اصول نمونه برداری در بطری‌های پلاستیکی اسیدشویی شده برداشته شد و موقعیت جغرافیایی منابع تأمین آب با استفاده از دستگاه GPS ثبت شد. پارامترهایی نظیر pH، هدایت الکتریکی، سختی، کاتیون‌های اصلی یعنی کلسیم، منیزیم، سدیم و پتاسیم، آنیون‌های اصلی یعنی بی‌کربنات، سولفات، کلرور، فلوئور و نیترات و فلزات سنگین مشتمل بر آرسنیک، آلومینیوم، بور، باریم، برلیوم، کروم، مس، جیوه، قلع، روی، کادمیم، کبالت، آهن، منگنز، مولیبدن، سرب، نیکل، آنتیموان، سلنیم و وانادیم اندازه‌گیری شد. کلیه آنالیزها مطابق با اصول کتاب روش‌های استاندارد برای آزمون‌های آب و فاضلاب صورت گرفت [۱۱]. آنالیز فلزات سنگین با استفاده از روش ICPOES^۱ انجام شد. به منظور بررسی روند تغییرات مکانی پارامترهای کیفی، تمامی اطلاعات به همراه موقعیت جغرافیایی منابع تأمین، وارد نرم‌افزار Arc GIS، نسخه ۱۰ شد و نقشه‌های کیفی برای محدوده مورد مطالعه تهیه شد.

به منظور گویاتر و ساده‌تر کردن نتایج و تعیین نوع آب‌های منطقه با استفاده از نرم‌افزار AqQa نمودار پایپر نیز رسم و تفسیر

^۱ Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry (ICPOES)

شد.

۲-۳- تجزیه و تحلیل‌های آماری چندمتغیره

به منظور بررسی اطلاعات کیفیت آب و روابط آن‌ها، از پارامترهای آماری توصیفی شامل میانگین، حداقل، حداکثر و انحراف معیار، مدل رگرسیون لجستیک، آزمون‌های همبستگی و تحلیل واریانس^۲ استفاده شد. همچنین آزمون تحلیل مؤلفه‌های اصلی^۳ و آنالیز خوشه‌ای^۴ روستاهای مورد مطالعه و پارامترهای کیفی انجام و با نقشه‌های تولیدی مقایسه شد. روش چرخش واریماکس^۵ یک روش پرکاربرد برای تفسیر نتایج در آزمون PCA است [۱۲، ۱۳ و ۱۴]. روش خوشه‌بندی سلسله مراتبی متراکم شونده^۶ یک رویکرد معمول برای بررسی نوع روابط تشابه بین یک نمونه با سایر نمونه‌ها، یا یک پارامتر با سایر پارامترها است که معمولاً به شکل نمودار درختی، نمایش داده می‌شود [۱۵].

۳- نتایج و بحث

نتایج حاصل از مطالعه به‌طور جداگانه در بندهای زیر ارائه شده است. به جای استفاده از اسم روستاها از کدهایی برای مشخص کردن نام روستاها استفاده شد.

۳-۱- آنالیزهای فیزیکوشیمیایی

نتایج آنالیزهای فیزیکوشیمیایی به همراه پارامترهای آمار توصیفی در جدول ۱ ارائه شده است. شکل‌های ۲ تا ۴ تغییرات مکانی هدایت الکتریکی، سختی و pH در محدوده مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

^۲ Analysis of Variance (ANOVA)

^۳ Principal Component Analysis (PCA)

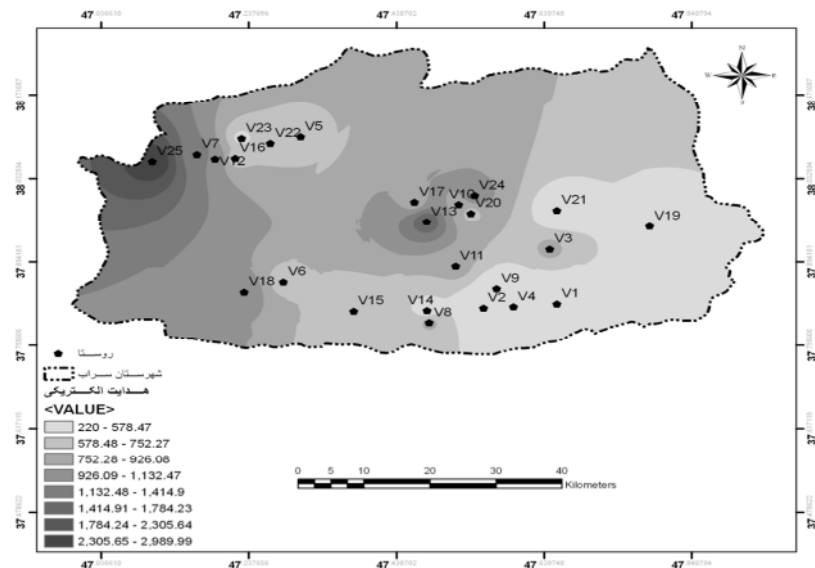
^۴ Cluster Analysis (CA)

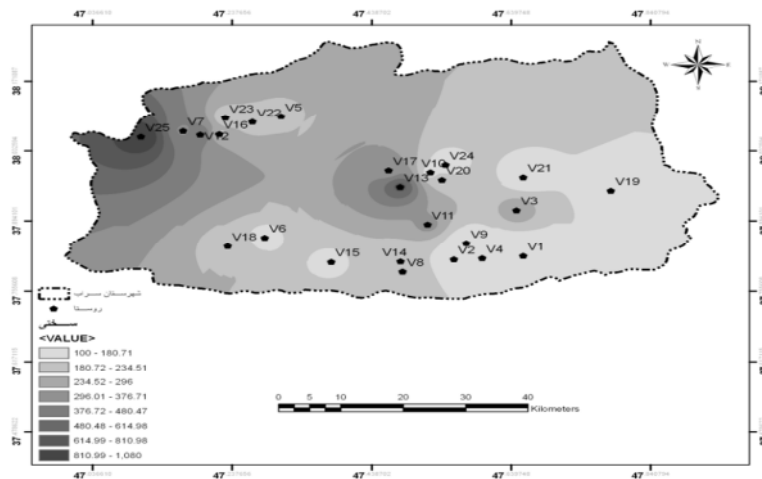
^۵ Rotation Method Varimax

^۶ Hierarchical Agglomerative Clustering

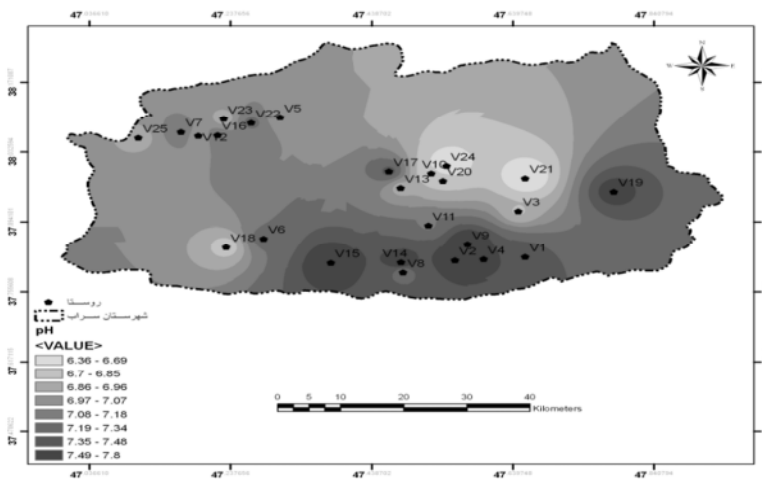
جدول ۱- نتایج آنالیزهای فیزیکوشیمیایی

سختی (mg/L)	TDS (mg/L)	EC (µs/cm)	pH	آنیون (میلی‌گرم در لیتر)					کاتیون (میلی‌گرم در لیتر)			کد روستا	
				NO ₃	HCO ₃	SO ₄	CL	F	K	Na	Mg		Ca
۱۰۰	۱۴۳	۲۲۰	۷/۴۲	۱/۴۴	۱۰۲/۵	۱۴/۶	۱۰	۰/۲	۱	۵	۵/۸	۳۰/۴	V1
۱۲۴	۱۸۷/۲	۲۸۸	۷/۵۷	۲/۵۴	۱۶۵/۹	۲/۲	۱۰	۰/۲	۰/۱	۱۲	۱۵/۶	۲۴	V2
۲۸۰	۵۲۶/۵	۸۱۰	۶/۸۳	۱۲/۲۴	۳۳۶/۷	۵۲/۹	۴۰	۰/۲	۲	۴۹/۲	۲۹/۲	۶۴	V3
۱۴۴	۲۶۷/۲	۴۱۱	۷/۵۴	۳	۱۶۵/۶	۲۹/۹	۳۰	۰/۲	۰/۵	۳۳/۲	۱۵/۶	۳۲	V4
۲۰۴	۳۷۶/۴	۵۷۹	۶/۹۸	۱/۵	۲۱۹/۶	۳۱/۸	۶۴	۰/۲	۳/۵	۴۷/۹	۱۵/۶	۵۶	V5
۱۶۰	۴۳۶/۲	۶۷۱	۷/۲۳	۱۲/۵۱	۱۷۵/۷	۷۵/۴	۷۲	۰/۴	۳	۸۳/۶	۱۳/۶	۴۱/۶	V6
۳۶۰	۸۱۹	۱۲۶۰	۷/۱۶	۱۵/۲۴	۳۹۰/۴	۹۷/۱	۱۰۴	۰/۶	۳	۱۲۷/۷	۳۰/۱	۹۴/۴	V7
۲۴۰	۵۲۷/۸	۸۱۲	۷/۲۱	۱/۴۹	۳۶۶	۶۱/۷	۳۰	۰/۴	۱/۲	۷۰/۱	۳۷/۹	۳۳/۶	V8
۱۰۰	۲۳۳/۴	۳۵۹	۷/۸	۰/۱۹	۱۵۶/۲	۱۲/۷	۲۶	۰/۶	۰/۴	۳۶/۹	۱۰/۷	۲۲/۴	V9
۱۵۲	۵۵۹/۷	۸۶۱	۶/۷۳	۱۷/۸۱	۳۲۲/۱	۶۸/۹	۴۸	۰/۵	۱۰	۱۲۵/۲	۱۲/۶	۴۰	V10
۳۲۰	۵۶۳/۶	۸۶۷	۷/۱۷	۱۰/۶۵	۳۱۷/۲	۷۶/۳	۷۶	۰/۲	۴	۶۷/۷	۲۹/۲	۸۰	V11
۴۷۶	۷۲۸	۱۱۲۰	۶/۹۹	۱۸/۵۲	۱۹۵/۲	۲۲۴	۱۰۰	۰/۵	۴/۵	۵۷/۸	۲۸/۲	۱۴۴	V12
۶۶۰	۱۱۳۶/۲	۱۷۴۸	۹/۲۶	۲۵/۴۱	۱۷۰/۸	۲۴۱/۹	۲۸۰	۰/۳۵	۴	۹۱/۱	۱۹/۴	۲۳۲	V13
۱۷۶	۲۹۳/۸	۴۵۲	۷/۶۶	۳/۵۲	۲۰۵	۱۹/۵	۲۴	۰/۲	۰/۸	۲۵/۸	۱۳/۶	۴۸	V14
۱۶۰	۴۰۴/۳	۶۲۲	۷/۶۹	۶/۰۶	۲۰۰/۱	۱۱۲/۷	۳۸	۰/۴	۱/۵	۸۰	۲۴/۳	۲۴	V15
۲۲۰	۴۰۶/۳	۶۲۵	۷/۱۳	۳/۱۵	۲۴۴	۵۱/۸	۲۴	۰/۴	۱/۵	۳۳/۲	۱۳/۶	۶۵/۶	V16
۳۲۰	۵۱۰/۳	۷۸۵	۷/۳۹	۲۲/۶۳	۱۶۱	۱۸۴/۶	۴۴	۰/۳	۴/۲	۴۴/۹	۱۹/۴	۹۶	V17
۲۱۲	۷۰۲	۱۰۸۰	۶/۷۸	۳/۴۸	۲۸۳	۵۹/۵	۱۳۸	۰/۲۵	۶	۱۳۷/۸	۲۴/۳	۴۴/۸	V18
۱۵۲	۳۱۷/۹	۴۸۹	۷/۵۷	۱۱/۳۷	۲۰۵	۵۰/۳	۲۰	۰/۳	۴	۵۰/۴	۲۵/۳	۱۹/۲	V19
۲۱۲	۴۲۹/۷	۶۶۱	۶/۸۴	۲/۹۹	۱۸۵/۴	۱۰۷/۵	۲۴	۰/۸	۸	۴۱/۸	۱۲/۶	۶۴	V20
۱۲۸	۲۰۸	۳۲۰	۶/۴۴	۶/۷۱	۱۴۶/۶	۱۰	۱۲	۰/۲۵	۱/۹	۸	۱۱/۷	۳۲	V21
۱۹۲	۴۳۲/۳	۶۶۵	۷/۲۳	۲/۶۹	۱۹۰/۳	۶۲/۶	۶۶	۰/۶	۲	۵۲/۹	۲۲/۴	۴۰	V22
۱۷۶	۳۲۷	۵۰۳	۶/۸۹	۱/۳۴	۲۱۹/۶	۳۷	۳۰	۰/۲	۰/۵	۳۴/۴	۲۸/۲	۲۴	V23
۱۱۲	۷۱۶/۳	۱۱۰۲	۶/۳۶	۶/۲۹	۳۴۱/۶	۹۳/۲	۹۲	۰/۵	۱۶	۱۹۶/۶	۹/۷	۲۸/۸	V24
۱۰۸۰	۱۹۴۳	۲۹۹۰	۶/۹۱	۱۲/۰۲	۲۱۹/۶	۷۳۶	۳۰۰	۰/۲	۵/۵	۲۰۲/۱	۱۴۳/۹	۱۹۵/۲	V25
۱۰۸۰	۱۹۴۳	۲۹۹۰	۷/۸	۲۵/۴۱	۳۹۰/۴	۷۳۶	۳۰۰	۰/۸	۱۶	۲۰۲/۱	۱۴۳/۹	۲۳۲	حداکثر
۱۰۰	۱۴۳	۲۲۰	۶/۳۶	۰/۱۹	۱۰۲/۵	۲/۲	۱۰	۰/۲	۰/۱	۵	۵/۸	۱۹/۲	حداقل
۲۵۸/۴	۵۲۷/۸	۸۱۲	۷/۱۴	۸/۱۹	۲۲۷/۴	۱۰۰/۶	۶۸	۰/۳۶	۳/۶	۶۸/۶	۲۴/۵	۶۳	میانگین
۲۱۳/۲	۳۷۱/۳	۵۷۱	۰/۳۸	۷/۲۵	۷۷	۱۴۶/۳	۷۵	۰/۱۷	۳/۶	۵۲/۸	۲۶/۱	۵۴/۱	انحراف معیار





شکل ۳- تغییرات مکانی سختی در محدوده مورد مطالعه



شکل ۴- تغییرات مکانی pH در محدوده مورد مطالعه

لیتر بود که نشان می‌دهد آب شرب روستاها در محدوده آب سخت بوده است. این درحالی است که در مطالعه مشابه دیگری که در منابع آب شرب زیرزمینی دشت شیراز صورت گرفته، مشخص شده که آب شرب دشت شیراز در محدوده خیلی سخت یعنی CaCO_3 برابر ۴۶۲ میلی‌گرم در لیتر، قرار دارد [۱۶]. شکل ۳ تغییرات مکانی سختی را در محدوده مورد مطالعه نشان می‌دهد. شکل ۴ نشان دهنده تغییرات مکانی pH است. همان‌طور که در شکل دیده می‌شود میزان pH در روستاهای واقع در ضلع جنوبی شهرستان که در دامنه‌های کوه بزقوش واقع‌اند، بالاتر از سایر بخش‌های شهرستان است که می‌تواند به دلیل بالا بودن آنیون بیکربناته و کوهپایه‌ای بودن آب باشد.

شکل ۵ نشان دهنده نقشه مدل رقمی ارتفاع^۱ و جریانات سطحی در محدوده مورد مطالعه است. همچنان که در این نقشه

مطابق جدول ۱، مقادیر هدایت الکتریکی در محدوده مورد مطالعه بین ۲۲۰ تا ۲۹۹۰ میکروزیمنس بر سانتی‌متر اندازه‌گیری شد، که این مقدار در مقایسه با مطالعه‌ای که در بخش مرکزی ایران به دست باغوند و همکاران صورت گرفته، بسیار پایین بود [۴]. شکل ۲ تغییرات EC را در محدوده مورد مطالعه نشان می‌دهد، همان‌طور که در نقشه نشان داده شده غلظت املاح محلول در غرب شهرستان بالا است، به‌گونه‌ای که روستای شماره ۲۵ دارای بالاترین میزان هدایت الکتریکی است. با در نظر گرفتن سختی، آب‌ها را می‌توان به دسته‌های نرم (CaCO_3 کوچک‌تر از ۷۵ میلی‌گرم در لیتر)، متوسط (CaCO_3 ۷۵ تا ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر)، سخت (CaCO_3 ۱۵۰ تا ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر) و آب خیلی سخت (CaCO_3 بزرگ‌تر از ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر) تقسیم‌بندی کرد. محدوده، میانگین و انحراف معیار سختی در این مطالعه به ترتیب برابر ۱۰۰ تا ۱۰۸۰ و $185/88 \pm 106/56 \text{ CaCO}_3$ میلی‌گرم در

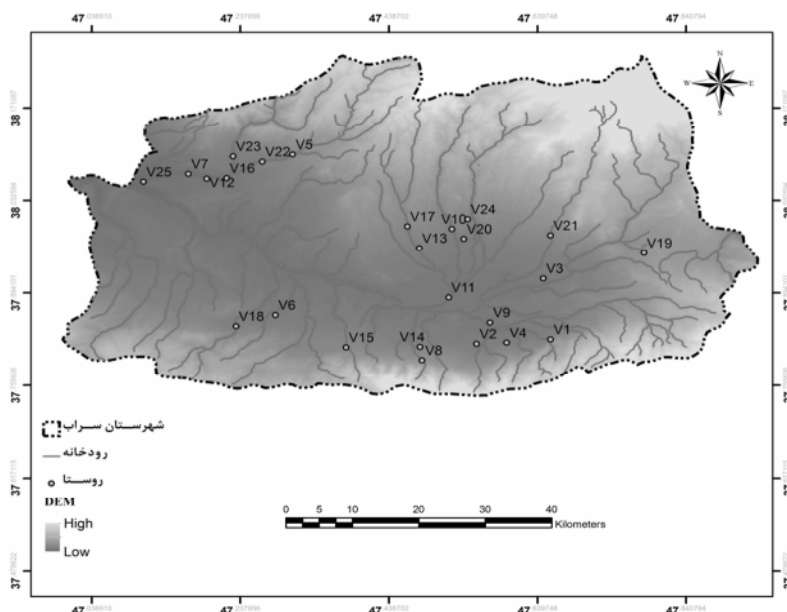
¹ Digital Elevation Model (DEM)

مشخص است، جریان‌های سطحی در این شهرستان از استان به سمت غرب است.

منابع آب شرب دارای ساختار CaHCO_3 ، چهار مورد دارای ساختار NaCl ، یک مورد دارای ساختار مخلوط CaNa HCO_3 ، سه مورد از منابع دارای ساختار مخلوط CaMgCl ، یک مورد دارای ساختار CaCl است و هیچکدام از نمونه‌ها در محدوده NaHCO_3 قرار نمی‌گیرد. در این پژوهش بیکرنات در منابع آب شرب منتخب آنیون غالب در ۸۴ درصد از نمونه‌ها و کلسیم کاتیون غالب در ۴۸ درصد از نمونه‌ها بود و ۵۶ درصد از نمونه‌ها دارای ساختار CaHCO_3 بود.

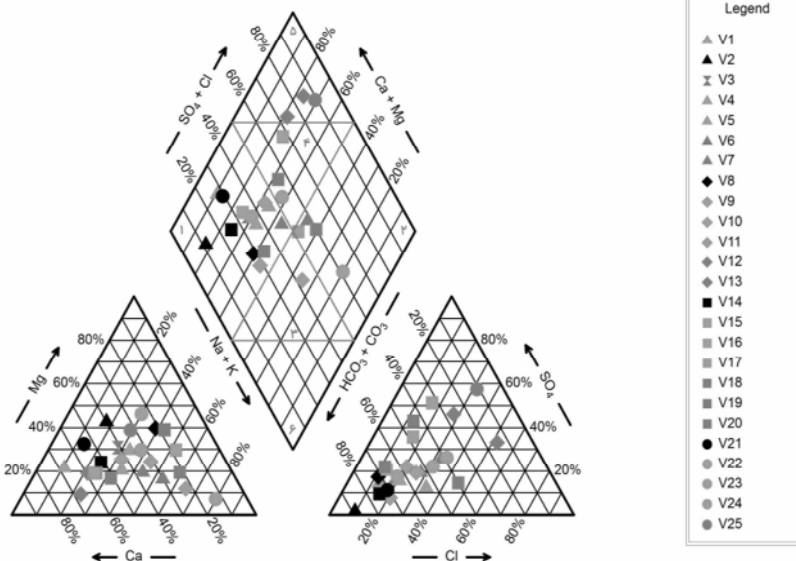
۲-۳- تیپ و رخساره آب

مطابق نتایج ارائه شده در جدول ۱ و نمودار پایپر در شکل ۶، تیپ آب در اکثر روستاهای شهرستان سراب بیکرناته و رخساره آن کلسیک است. با توجه به نمودار پایپر، آب‌های زیرزمینی را می‌توان در شش دسته تقسیم‌بندی کرد [۳، ۹ و ۱۷].



شکل ۵- نقشه DEM و جریان‌های سطحی غالب در شهرستان سراب

Piper Diagram



شکل ۶- نمودار پایپر روستاهای مورد مطالعه

جدول ۲- غلظت فلزات سنگین در نمونه‌های آنالیز شده

کد روستا	Zn	Sn	Mn	Hg	Fe	Cu	Ba	B	As	Al
V1	<۲	<۹	<۱	<۱	<۱۵	۳۰/۳	۳	۳۳/۷۳	<۱	۱۳/۲۱
V2	<۲	<۹	<۱	<۱	<۱۵	۲۹/۰۴	۱۲	۲۵/۸	<۱	۴۷/۹۴
V3	۴/۰۳	۱۰/۹۳	<۱	<۱	<۱۵	۲۹/۱	۸۹	۱۵۴/۸۴	<۱	۷/۹۶
V4	۶/۳۱	<۹	<۱	<۱	<۱۵	۲۴/۹۹	۱۴	۶۰/۲۹	<۱	۵/۰۷
V5	۴/۵۴	۱۱/۲۲	۱۱/۴۴	<۱	<۱۵	۳۰/۹	۶۹	۲۲۷/۶۲	<۱	۱۷/۲۸
V6	۱۸/۱	۹/۱	<۱	<۱	<۱۵	۳۰/۷۹	۶۶	۴۹۱/۵۹	<۱	۳۴/۰۵
V7	<۲	۱۴/۰۶	<۱	<۱	<۱۵	۲۴	۴۵	۲۴۸/۱	<۱	۶/۰۳
V8	۹۵/۳	۱۲/۶۱	<۱	<۱	<۱۵	۳۳/۵۶	۱۲	۳۴۰/۳۵	<۱	۳۴/۶۱
V9	<۲	<۹	<۱	<۱	<۱۵	۳۴/۲۶	۲۰	۵۸/۴۹	<۱	۱۵/۴۷
V10	۹/۹۳	۱۳/۰۹	<۱	<۱	<۱۵	۳۱/۱۷	۲۰	۷۴۲/۰۹	<۱	۵/۷۶
V11	۸/۵۳	۱۱/۱۷	<۱	<۱	<۱۵	۲۷/۵۴	۸۵	۱۳۴/۶	<۱	۱۱/۵۵
V12	۸/۰۵	۱۳/۹۵	<۱	<۱	<۱۵	۳۰/۳۶	۳۸	۴۱۹/۳۶	<۱	۵/۵۳
V13	۲۴/۹	<۹	<۱	<۱	۲۵/۳۷	۳۶/۸۷	۲۷	۲۸۸/۷۹	<۱	۱۲/۰۷
V14	۱۷/۶۱	<۹	<۱	<۱	<۱۵	۳۴/۷۹	۷	۸۲/۵۸	<۱	۲۲/۴۲
V15	۴۸/۶	<۹	<۱	<۱	۳۸/۲	۳۶/۵۷	۱۵	۴۲۲/۶۹	<۱	۲۲/۷۱
V16	۳/۹۶	۱۲/۶۵	<۱	<۱	<۱۵	۲۹/۲۸	۵۴	۱۷۴/۲	<۱	۸/۴
V17	۸۲/۳۶	<۹	<۱	<۱	۲۶/۴۹	۳۳/۱۵	۲۱	۸۷/۲۷	<۱	۵۵/۹۷
V18	۱۱/۸۱	۱۷/۶۹	<۱	<۱	<۱۵	۳۴/۶۶	۵۳	۹۶۷/۱۱	<۱	۵/۰۲
V19	<۲	<۹	<۱	<۱	<۱۵	۲۸/۳۸	۹	۱۳۷/۲۴	<۱	۸/۱۸
V20	۴/۰۵	۱۱/۱۹	<۱	<۱	<۱۵	۳۶/۱۷	۳۸	۳۵۲/۲۲	۵۶/۳۵	۷/۸
V21	۱۳/۷۵	<۹	<۱	<۱	<۱۵	۳۴/۹	۳۶	۶۵/۵	<۱	۱۷/۰۱
V22	<۲	۹/۸۶	<۱	<۱	<۱۵	۳۰/۴۸	۵۷	۱۹۷/۵۸	<۱	۵۰/۷۶
V23	<۲	۱۷/۷۲	<۱	۸/۶۲	<۱۵	۲۹/۱۳	۱۰۱	۱۲۶/۲۴	<۱	۱۳/۵۳
V24	۳۶/۱۸	۱۸/۲	۲۴/۸۷	<۱	۲۷۲/۷۵	۳۱/۱۳	۴۰	۲۵۰۰	۳۵۷/۴	۶/۱۳
V25	<۲	۱۲/۷۹	<۱	<۱	<۱۵	۳۱/۶۸	۲۳	۵۲۴/۱۷	<۱	۴/۸۷
استاندارد	-	-	۴۰۰	۶	۳۰۰	۲۰۰۰	۷۰۰	۲۴۰۰	۱۰۰	۱۰۰

۳-۳- فلزات سنگین

جدول ۲ غلظت فلزات سنگین آنالیز شده را در طی مطالعه نشان می‌دهد. علاوه بر عناصر ذکر شده در این جدول، عناصر دیگری نظیر برلیم، کادمیم، کبالت، کروم، مولیبدن، نیکل، سرب، آنتیموان، سلنیم و وانادیم نیز مورد آنالیز واقع شدند که غلظت آن‌ها غیرقابل تشخیص^۱ بود.

۳-۴- تجزیه و تحلیل‌های آماری

جدول ۳ ماتریس همبستگی بین پارامترهای کیفی آب و غلظت فلزات سنگین را نشان می‌دهد. مطابق این جدول می‌توان به معنی‌دار بودن رابطه بین پتاسیم و فلزاتی نظیر آرسنیک، بور، آهن و منگنز اشاره کرد. همچنین همبستگی بالایی بین غلظت نیترات و کلسیم و نیز بین سدیم، پتاسیم و بور مشاهده می‌شود. سایر پارامترهایی که با یکدیگر همبستگی بالایی دارند در جدول به شکل پررنگ نمایش داده شده است.

جدول ۴ چرخش بار عاملی متغیرها را نشان می‌دهد. در آزمون بارتلت^۲ و KMO ضریب ۰/۶۳۹ با $P < ۰/۰۰۱$ معنی‌دار بود. آزمون تحلیل مؤلفه‌های اصلی نشان داد که با سه مؤلفه، ۷۹/۹۴ درصد پارامترها پوشش می‌یابد. از ۲۵ نمونه آب آنالیز شده بر اساس ماتریس مؤلفه دوران یافته^۳ با سه عامل محلول در مؤلفه اول هدایت الکتریکی، کلرور، سولفات، کلسیم، منیزیم، سدیم و سختی واقع شد. در مؤلفه دوم pH، فلوراید، بیکربنات و پتاسیم قرار گرفت و نهایتاً در مؤلفه سوم نیترات واقع شد.

در خصوص فلزات سنگین در آزمون بارتلت KMO ضریب ۰/۴۸۴ با $P < ۰/۰۰۱$ معنی‌دار بود. آزمون تحلیل مؤلفه‌های اصلی نشان داد که با سه مؤلفه، ۷۴/۸۶ درصد پارامترها پوشش می‌یابد (جدول ۵). از ۲۵ نمونه آب آنالیز شده بر اساس ماتریس مؤلفه دوران یافته با سه عامل محلول در مؤلفه اول ترکیبات آرسنیک، بور، آهن و منگنز قرار گرفت. در مؤلفه دوم باریم، قلع،

² Bartlett Test

³ Rotated Component Matrix

¹ Non-detectable

مطابق نمودار درختی حاصل از پارامترهای کیفی آب در شهرستان سراب می‌توان آب شرب روستاها را در پنج خوشه تقسیم‌بندی کرد.

روی و مس و نهایتاً در مؤلفه سوم آلومینیوم و جیوه قرار گرفت. در مؤلفه دوم باریم و قلع رابطه عکس با روی و مس داشت. شکل ۷ نیز نشان‌دهنده نمودار درختی حاصل از آنالیزهای خوشه‌ای است.

جدول ۳- ماتریس همبستگی بین پارامترهای فیزیکوشیمیایی و فلزات سنگین

	pH	EC	F	Cl	SO ₄	HCO ₃	NO ₃	Ca	Mg	Na	K	سختی	Al	As	B	Ba	Cu	Fe	Hg	Mn	Sn	Zn	
pH	۱																						
EC	-۰/۳۶	۱																					
F	-۰/۰۹	۰/۰۱	۱																				
Cl	-۰/۳۲	۰/۹۳	-۰/۰۵	۱																			
SO ₄	-۰/۱۹	۰/۹۲	-۰/۰۴	۰/۸۱	۱																		
HCO ₃	-۰/۳۸	۰/۲۸	۰/۱۵	۰/۱۱	-۰/۰۱	۱																	
NO ₃	-۰/۲۰	۰/۵۰	۰/۰۶	۰/۵۱	۰/۴۳	۰/۱۱	۱																
Ca	-۰/۲۳	۰/۸۱	۰/۰۰	-۰/۸۶	۰/۷۷	-۰/۰۱	۰/۶۸	۱															
Mg	-۰/۱۱	۰/۸۳	-۰/۲۰	۰/۶۶	۰/۹۰	۰/۱۵	۰/۱۷	۰/۵۴	۱														
Na	-۰/۴۵	۰/۷۸	۰/۱۸	۰/۶۹	۰/۶۰	۰/۵۵	۰/۳۳	۰/۳۷	۰/۵۴	۱													
K	-۰/۶۴	۰/۳۸	۰/۳۶	۰/۳۰	۰/۲۴	۰/۳۹	۰/۲۹	۰/۱۴	۰/۰۴	۰/۷۱	۱												
سختی	-۰/۲۰	۰/۹۳	-۰/۱۱	۰/۸۸	۰/۹۴	۰/۰۷	۰/۵۲	۰/۹۱	۰/۸۴	۰/۵۱	۰/۱۱	۱											
Al	۰/۳۸	-۰/۲۹	-۰/۰۲	-۰/۲۶	-۰/۱۶	-۰/۲۹	-۰/۰۴	-۰/۱۹	-۰/۱۵	-۰/۳۴	-۰/۳۳	-۰/۲۰	۱										
As	-۰/۴۵	۰/۱۰	۰/۲۶	۰/۰۵	-۰/۰۱	۰/۲۹	-۰/۰۸	-۰/۱۳	-۰/۱۳	۰/۴۹	۰/۷۶	-۰/۱۵	-۰/۱۸	۱									
B	-۰/۵۶	۰/۳۱	۰/۲۵	۰/۲۶	۰/۱۴	۰/۴۳	۰/۰۶	-۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۷۵	۰/۸۷	-۰/۰۱	-۰/۲۶	۰/۸۸	۱								
Ba	-۰/۴۵	۰/۰۲	-۰/۰۸	۰/۰۴	-۰/۱۱	۰/۳۳	-۰/۰۳	۰/۰۰	-۰/۰۱	۰/۰۴	۰/۰۳	۰/۰۰	-۰/۱۳	۰/۰۱	۰/۰۴	۱							
Cu	-۰/۰۴	-۰/۰۹	-۰/۱۴	۰/۰۰	۰/۰۶	-۰/۴۷	-۰/۱۵	-۰/۰۲	-۰/۰۶	-۰/۱۷	۰/۰۷	-۰/۰۵	۰/۱۷	۰/۰۵	۰/۰۸	-۰/۱۹	۱						
Fe	-۰/۳۸	۰/۱۳	۰/۱۷	۰/۱۰	۰/۰۲	۰/۲۷	۰/۰۲	-۰/۰۸	-۰/۱۳	۰/۵۱	۰/۷۱	-۰/۱۱	-۰/۱۰	۰/۹۷	۰/۸۸	-۰/۰۳	۰/۰۷	۱					
Hg	-۰/۱۴	-۰/۱۱	-۰/۱۹	-۰/۱۱	-۰/۰۹	-۰/۰۲	-۰/۲۰	-۰/۱۵	۰/۰۳	-۰/۱۴	-۰/۱۸	-۰/۰۸	-۰/۰۶	-۰/۰۵	-۰/۰۹	۰/۴۸	-۰/۰۴	-۰/۰۶	۱				
Mn	-۰/۴۳	۰/۰۶	۰/۰۸	۰/۰۶	-۰/۰۵	۰/۲۸	-۰/۱۳	-۰/۱۳	-۰/۱۴	۰/۴۳	۰/۶۷	-۰/۱۶	-۰/۱۵	۰/۸۹	۰/۸۰	۰/۱۱	۰/۰۲	۰/۸۸	-۰/۰۶	۱			
Sn	-۰/۶۴	۰/۳۷	۰/۲۴	۰/۲۳	۰/۱۷	۰/۶۸	-۰/۰۴	۰/۰۸	۰/۲۵	۰/۵۶	۰/۴۹	۰/۱۸	-۰/۳۴	۰/۳۳	۰/۵۲	۰/۶۲	-۰/۲۶	۰/۲۳	۰/۳۰	۰/۳۳	۱		
Zn	۰/۰۵	۰/۰۲	۰/۰۲	-۰/۰۵	۰/۰۳	۰/۱۹	۰/۱۹	۰/۰۰	-۰/۰۴	۰/۱۰	۰/۰۹	-۰/۰۲	۰/۴۶	۰/۱۵	۰/۱۸	-۰/۲۸	۰/۲۸	۰/۲۷	-۰/۱۳	۰/۱۲	-۰/۰۹	۱	

جدول ۵- نتایج آنالیز PCA برای فلزات سنگین

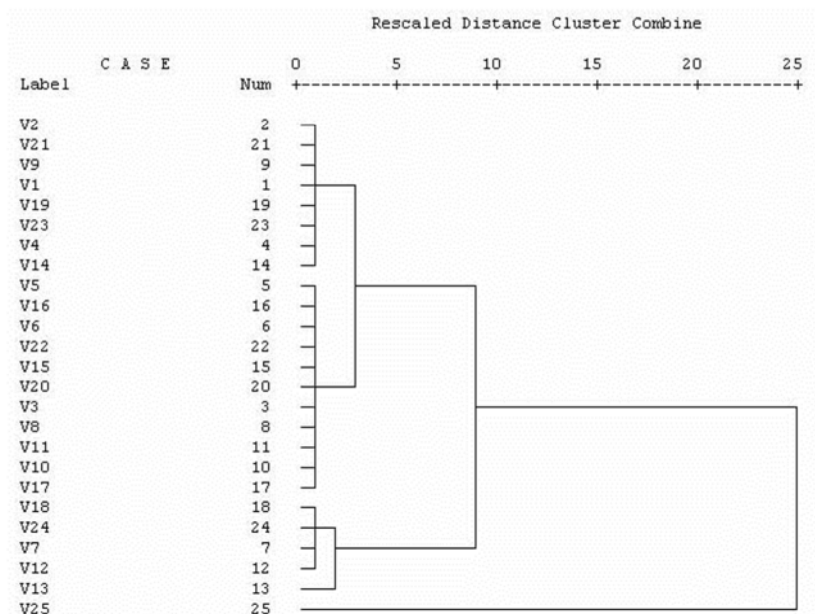
پارامترها	PC1	PC2	PC3
As	۰/۹۶۰	۰/۱۲۹	۰/۰۴۶
B	۰/۹۴۹	۰/۰۵۶	-۰/۰۴۵
Fe	۰/۹۴۲	۰/۲۲۶	۰/۰۱۰
Mn	۰/۹۱۸	۰/۰۷۵	-۰/۰۱۸
Ba	۰/۱۴۳	-۰/۷۶۹	۰/۴۱۷
Cu	۰/۰۱۶	۰/۴۸۴	۰/۳۱۹
Sn	۰/۵۰۹	-۰/۶۵۳	۰/۲۰۵
Zn	۰/۱۶۳	۰/۶۳۰	۰/۵۱۵
Al	-۰/۲۶۰	۰/۵۰۷	۰/۵۹۴
Hg	-۰/۰۰۹	-۰/۵۵۷	۰/۵۷۱
Eigenvalue	۳/۹۲۷	۲/۲۹۳	۱/۲۶۷
Variance %	۳۹/۲۶۹	۲۲/۹۲۶	۱۲/۶۷۴
Cumulative %	۳۹/۲۶۹	۶۲/۱۹۶	۷۴/۸۶۹

مقادیر پرننگ شده نشان دهنده پارامتر تأثیرگذار در هر PC است

جدول ۴- نتایج آنالیز PCA برای پارامترهای کیفی

پارامترها	PC1	PC2	PC3
EC	۰/۹۹۱	-۰/۰۲۴	-۰/۰۸۶
Cl ⁻	۰/۹۲۵	-۰/۱۱۱	۰/۰۶۱
SO ₄ ²⁻	۰/۹۱۶	-۰/۲۵۷	۰/۰۶۳
Ca ²⁺	۰/۸۴۳	-۰/۲۷۱	۰/۳۶۵
Mg ²⁺	۰/۷۸۷	-۰/۳۰۹	-۰/۴۳۸
Na ⁺	۰/۷۶۶	۰/۴۸۱	-۰/۲۳۱
سختی	۰/۹۳۲	-۰/۳۲۷	۰/۰۱۱
pH	-۰/۴۱۱	-۰/۶۰۸	۰/۰۳۴
F ⁻	۰/۰۱۴	۰/۵۱۱	۰/۴۶۰
HCO ₃ ⁻	۰/۲۵۹	۰/۶۴۲	-۰/۳۷۹
K	۰/۴۲۱	۰/۷۸۸	۰/۱۰۳
NO ₃ ²⁻	۰/۵۸۱	۰/۰۲۵	۰/۶۰۶
Eigenvalue	۶/۲۱۴	۲/۲۵۱	۱/۱۲۸
Variance %	۵۱/۷۸۶	۱۸/۷۵۷	۹/۴۰۴
Cumulative %	۵۱/۷۸۶	۷۰/۵۴۳	۷۹/۹۴۷

مقادیر پرننگ شده نشان دهنده پارامتر تأثیرگذار در هر PC است



شکل ۷- نمودار درختی پارامترهای فیزیکوشیمیایی برای روستاهای شهرستان

غلظت جیوه (۶ میکروگرم در لیتر) بود. اصلی ترین اثر سمیت با جیوه غیرآلی بر روی کبد و سیستم کلیوی است که حتی در غلظت های بالا می تواند منجر به مرگ شود [۲۱]. غلظت جیوه در منابع آب زیرزمینی به ندرت بالا است، مگر در مکان های خاص و یا اینکه در اثر فعالیت های صنعتی به منابع آب زیرزمینی راه یابند [۲۲ و ۲۳]. سایر فلزات سنگین ارائه شده در جدول ۲ دارای مقادیر کمتر از استاندارد سازمان بهداشت جهانی^۱ است.

مطابق شکل ۳ منابع شماره ۱، ۲، ۴، ۹، ۱۴، ۱۹، ۲۱ و ۲۳ در یک خوشه قرار دارند و از لحاظ پارامترهای فیزیکوشیمیایی با یکدیگر شباهت دارند. منابع شماره ۳، ۵، ۶، ۸، ۱۰، ۱۱، ۱۵، ۱۶، ۱۷، ۲۰ و ۲۲ دومین خوشه را تشکیل می دهند. منابع شماره ۷، ۱۲، ۱۸ و ۲۴ در یک خوشه مستقل قرار دارند و در نهایت منابع شماره ۱۳ و ۲۵ هر کدام به طور جداگانه یک خوشه را تشکیل می دهند. همچنان که در نقشه های کیفی نیز مشاهده می شود، آب در منابع شماره ۱۳ و ۲۵ کیفیت پایینی دارند. استفاده از آنالیزهای خوشه ای در گروه بندی آب های زیرزمینی یک منطقه، می تواند در ارزیابی های مکانی کمک به سزایی داشته باشد؛ به گونه ای که تعداد نمونه های برداشت شده و هزینه های مربوط، بدون اثر منفی خاص بر روی نتایج نهایی کاهش می یابد [۲۴ و ۲۵].

۴- نتیجه گیری

مطالعه حاضر با هدف ارزیابی و تحلیل کیفی منابع آب شرب زیرزمینی از نظر هیدروژئوشیمیایی در روستاهای شهرستان سراب

با توجه به اینکه منابع آب شرب زیرزمینی روستایی اکثراً در کنار رودخانه ها واقع شده اند، بنابراین کیفیت آب در این رودخانه ها می تواند بر روی کیفیت آب زیرزمینی استحصال شده برای آشامیدن تأثیرگذار باشد. همچنان که در شکل ۲ نیز نشان داده شده با نزدیک شدن به سمت غرب شهرستان، انتهای دشت، میزان هدایت الکتریکی در آب های زیرزمینی افزایش می یابد که دلیل این امر می تواند طی مسیر طولانی آب از وسط دشت سراب به انتهای دشت و نیز جهت جریانات سطحی باشد که به طرف غرب شهرستان بوده و باعث افزایش املاح محلول در آب می شود (شکل ۵).

در رابطه با فلزات سنگین مواجهه با آرسنیک یک عامل نگران کننده در سلامت جامعه است. آرسنیک آلاینده ای است که به صورت طبیعی در منابع آب زیرزمینی یافت می شود و تماس با غلظت های بالای آرسنیک می تواند منجر به ایجاد علائم حاد و مزمن سلامتی در افراد شود [۱۰]. آرسنیک می تواند به دلیل فعالیت های آتشفشانی که در یک منطقه رخ می دهد، به منابع آب زیرزمینی راه یابد [۱۸، ۱۹ و ۲۰]. در مطالعه حاضر غلظت های بالاتر از ۱۰ میکروگرم در لیتر، در روستاهای شماره ۲۰ و ۲۴ مشاهده شد، به گونه ای که این مقدار در روستای شماره ۲۴ بحرانی تر بود.

حالت غالب جیوه در آب های سطحی و زیرزمینی، به شکل غیرآلی است که در غلظت های کمتر از ۰/۵ میکروگرم در لیتر مشاهده می شود، اما با این وجود رسوبات معدنی موجود در منطقه می تواند باعث بیشتر شدن غلظت جیوه در آب ها شود [۱۹]. همچنان که در جدول ۴ مشاهده می شود، تنها در روستای شماره ۲۳

^۱ World Health Organization (WHO)

نتایج حاصل از این پژوهش، بالا بودن غلظت آرسنیک در روستاهای شماره ۲۴ و ۲۰ را نشان داد که با توجه به اثرات بهداشتی ناشی از آرسنیک و خطراتی که بالا بودن این آلاینده در آب شرب می‌تواند به همراه داشته باشد، توصیه می‌شود مطالعه‌ای در خصوص شناسایی منابع آلوده کننده، نوسانات غلظت آرسنیک و مکانیسم پخش و گسترده‌گی آن صورت گرفته و در نهایت اقدامی برای بهبود کیفیت آب این منابع صورت گیرد.

۵- قدردانی

مقاله حاضر حاصل از داده‌های پایان‌نامه کارشناسی ارشد مصوب دانشگاه علوم پزشکی تبریز است. نویسندگان این مقاله بر خود لازم می‌دانند از شرکت آب و فاضلاب روستایی استان آذربایجان شرقی و کمیته تحقیقات دانشجویی دانشگاه علوم پزشکی تبریز تقدیر و تشکر کنند. همچنین از زحمات آقای مهندس محمد عابدپور و خانم مهندس لیدا کوهی و پریراد فرجی در آنالیز نمونه‌ها تشکر می‌نمایند.

انجام شد. نتایج این مطالعه مناسب بودن یا نبودن آب شرب روستاهای مورد مطالعه و کیفیت آب‌های زیرزمینی را در بخش‌های مختلف شهرستان سراب نشان می‌دهد. با توجه به نتایج مطالعه حاضر، روستاهای شماره ۱۳ و ۲۵ کیفیت آب پایینی دارند. با توجه به اینکه این منابع آب به صورت مجتمع، برای آبرسانی به چندین روستا استفاده می‌شوند، بنابراین توصیه می‌شود در این روستاها هرچه سریع‌تر اقداماتی برای تأمین آب مناسب صورت گیرد. در این مطالعه از چندین روش آنالیز آماری چندمتغیره استفاده شد. بر اساس نتایج حاصل از آنالیزهای خوشه‌ای، آب‌های شرب روستاها در پنج گروه مختلف خوشه‌بندی شد که در بررسی‌های بعدی می‌توان از این نتایج استفاده نمود و نمونه‌برداری و آنالیزها را هدفمند کرد که با این کار، تعداد نمونه‌های برداشت شده و آنالیزهای انجام شده و در نهایت هزینه‌های مربوطه کاهش پیدا خواهد کرد. آزمون تحلیل مؤلفه‌های اصلی نیز در شناسایی فاکتورها و عوامل تعیین‌کننده در کیفیت آب شرب مؤثر است.

۶- منابع

1. Salmani, M., Toorani, A., and Khorasani, M. (2010). "Rural classification based on risk of reservoirs and drinking water distribution system, case study: Central part of Minoodasht city." *J. of Rural Research*, 4, 155-177. (In persian)
2. Mishra, P., Behera, P., and Patel, R. (2005). "Contamination of water due to major industries and open refuse dumping in the steel city of Orissa--a case study." *J. of Environmental Science and Engineering*, 47(2), 141-154.
3. Arumugam, K., and Elangovan, K. (2009). "Hydrochemical characteristics and groundwater quality assessment in Tirupur region, coimbatore district, Tamil Nadu, India." *J. of Environmental Geology*, 58, 1509-1520.
4. Baghvand, A., Nasrabadi, T., Bidhendi, G.N., Vosoogh, A., Karbassi, A., and Mehrdadi, N. (2010) "Groundwater quality degradation of an aquifer in Iran central desert." *J. of Desalination*, 260, 264-275.
5. Kumar, K.S., Kumar, P.S., Babu, M.J.R., and Rao, C.H. (2010). "Assessment and mapping of ground water quality using geographical information systems." *Int. J. of Engineering Science and Technology*, 2(11), 6035-6046.
6. Shamsi, UM. (2005) *GIS applications for water, wastewater, and stormwater systems*, Taylor and Francis, UK.
7. Stigter, T.Y., Ribeiro, L., and Carvalho, Dill, A.M.M. (2006). "Application of a groundwater quality index as an assessment and communication tool in agro-environmental policies a two portuguese case studies." *J. of Hydrology*, 327(3-4), 578-591.
8. Balakrishnan, P., Saleem, A., and Mallikarjun, N.D. (2011). "Groundwater quality mapping using geographic information system (GIS): A case study of Gulbarga city, Karnataka, India." *African J. of Environmental Science and Technology*, 5(12), 1069-1984.
9. Jamshidzadeh, Z., and Mirbagheri, S.A. (2011). "Evaluation of groundwater quantity and quality in the Kashan Basin, Central Iran." *J. of Desalination*, 270, 23-30.

10. Chowdhury, M.T.A., Meharg, A.A., Deacon, C., Hossain, M., and Norton, G.J. (2012). "Hydrogeochemistry and Arsenic Contamination of Groundwater in the Haor Basins of Bangladesh." *J. of Water Quality Exposure and Health*, 4(2), 67-78.
11. APHA. AWWA. WPCF. (2005). *Standard methods for examination of water and wastewater*, 21st Ed, USA.
12. Kazi, T.G., Arain, M.B., Jamali, M.K., Jalbani, N., Afridi, H.I., Sarfraz, R.A., Baig, J.A, and Shan, A.Q. (2009). "Assessment of water quality of polluted lake using multivariate statistical techniques: A case study." *J. of Ecotoxicology and Environmental Safety*, 72(2), 301-309.
13. Li, S., Li, J., and Zhang, Q. (2011). "Water quality assessment in the rivers along the water conveyance system of the middle route of the south to north water transfer project (China) using multivariate statistical techniques and receptor modeling." *J. of Hazardous Materials*, 195, 306-317.
14. Vieira, J.S., Pires, J.C.M., Martins, F.G., Vilar, V.J.P., Boaventura, R.A.R., and Botelho, C.M.S. (2012). "Surface water quality assessment of Lis river using multivariate statistical methods." *J. of Water Air Soil Pollutant*, 223(9), 5549-5561.
15. Zhao, Y., Xia, X.H., Yang, Z.F., and Wang, F. (2012). "Assessment of water quality in Baiyangdian lake using multivariate statistical techniques." *J. of Procedia Environmental Sciences*, 13, 1213-1226.
16. Badee Nezhad, A., Farzadkia, M., Gholami, M., and Jonidi Jafari, A. (2012). "Chemical quality assessment of Shiraz plain's groundwater as a drinking water resource using Geographical Information System (GIS)." *J. of South Medicine*, 17(3), 358-367. (In persian)
17. Hussain, M., Ahmed, S.M., and Abderrahman, W. (2008). "Cluster analysis and quality assessment of logged water at an irrigation project, Eastern Saudi Arabia." *J. of Environmental Management*, 86(1), 297-307.
18. Mosafieri, M., Yunesian, M., Dastgiri, S., Mesdaghinia, A., and Esmailnasab, N. (2008). "Prevalence of skin lesions and exposure to arsenic in drinking water in Iran." *J. of Science of the Total Environment*, 390(1), 69-76.
19. WHO. (2011) *Guidelines for drinking-water quality*, 4th Ed., USA.
20. Christodoulidou, M., Charalambous, C., Aletrari, M., Nicolaidou, Kanari P., Petronda, A., and Ward, N.I. (2012). "Arsenic concentrations in groundwaters of Cyprus." *J. of Hydrology*, 468/469, 94-100.
21. Gray, N.F. (2008). *Drinking water quality problems and solutions*, 2nd Ed., Cambridge University Press, New York.
22. Barringer, J.L., and MacLeod, C.L. (2001). "Relation of mercury to other chemical constituents in groundwater in the Kirkwoodcohansey aquifer system, New Jersey coastal plain, and mechanisms for mobilization of mercury from sediments to groundwater." West Trenton, Geological Survey, New Jersey, USA.
23. Barringer, J.L., Szabo, Z., Schneider, D., Atkinson, W.D., and Gallagher, R.A. (2006). "Mercury in ground water, septage, leach-field effluent, and soils in residential areas, New Jersey coastal plain." *J. of Science of the Total Environment*, 361(1-3), 144-162.
24. Kim, J-H., Yum, B-W., Kim, R-H., Koh, D-C., Cheong, T-J., Lee, J., and Chang, H.W. (2003). "Application of cluster analysis for the hydrogeochemical factors of saline groundwater in Kimje, Korea. " *Geosciences Journal*, 7(4), 313-322.
25. Kim, J-H., Kim, R-H., Lee, J., Cheong, T-j., Yum, B-W., and Chang H-W. (2004). "Multivariate statistical analysis to identify the major factors governing groundwater quality in the coastal area of Kimje, South Korea." *J. of Hydrological Processes*, 19(6), 1261-1276.