

بررسی منشا فلوراید در آب زیرزمینی در جنوب ایران، صحرای باغ لارستان

فوزیه اغنیايي

بخش علوم زمین، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شیراز

مهدی زارعی

بخش علوم زمین، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شیراز

سینا اسدی

بخش علوم زمین، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شیراز

تاریخ دریافت: ۹۵/۳/۲۷ تاریخ پذیرش: ۹۵/۱۲/۴

zareim@shirazu.ac.ir

چکیده

با توجه به مشاهده علائم ابتلای ساکنین منطقه صحرای باغ لارستان به فلوروسیس دندان خفیف تا شدید، غلظت فلئور در منابع آب منطقه بررسی گردید. برای این منظور تعداد ۶۲ نمونه آب از چشمه، چاه‌های شرب و کشاورزی و آب‌انبارهای منطقه جمع‌آوری شدند. غلظت یون‌های اصلی و یون فلوراید در نمونه‌ها اندازه‌گیری شد. مطالعه پراش پرتو ایکس (XRD) و کروماتوگرافی یونی نیز بر روی پنج نمونه سنگ از واحدهای سنگ شناختی اطراف منطقه انجام گردید. نتایج نشان می‌دهد که در بیش از ۹۸٪ از چاه‌های نمونه‌برداری شده، میزان فلوراید بالاتر از حد مجاز اعلام شده توسط سازمان بهداشت جهانی (WHO) یعنی بیش از ۱/۵ میلی‌گرم در لیتر می‌باشد. نتایج بررسی‌های آب زمین شیمی و آماری نمونه‌های آب و سنگ نشان داد که محتمل‌ترین منشأ فلئور در آب زیرزمینی منطقه از آزادسازی فلئور از کانی‌های فلئوردار در خاک و رسوبات منطقه شامل کانی‌های فلئوردار رسی، میکا و نیز فلئورآپوفیلیت می‌باشد. با توجه به نتایج این پژوهش استفاده از منابع آبی موجود در منطقه به شدت سلامت ساکنین منطقه را تهدید می‌کند و بایستی از منابع آب جایگزین مانند سازندهای کارستی و یا روشهای حذف فلئور در آب شرب استفاده گردد.

کلمات کلیدی: فلوراید، منشاء، آب زیرزمینی، آب زمین شیمی، صحرای باغ

مقدمه

اسکلتی می‌شود (Handa, 1975; WHO, 1984; Vollmer, 1993; Ripa, 1993). فلئوروسیس دندان بوسیله تغییر رنگ به صورت لکه‌ها یا نوارهایی افقی در سطح دندان مشخص می‌شود و فلئوروسیس اسکلتی هنگامی رخ می‌دهد که فلوراید در مفاصل زانو، گردن و استخوان‌های شانه نهشته شده و باعث اختلالات حرکتی می‌گردد.

در حال حاضر غلظت‌های بالای فلوراید در آب‌های زیرزمینی یک مشکل جهانی است. فلئوروسیس بومی یک بیماری رایج در تمام قاره‌ها است و میلیون‌ها نفر به این بیماری مبتلا هستند. شیوع این بیماری در مناطق مختلف جهان توسط محققین بسیاری گزارش شده است: شمال چین (Gao et al. 2007)، هند (Vikas et al. 2013; Singaraja et al., 2014; Kumar and Singh 2015)، ترکیه (Oruc, 2008)، کره جنوبی (Chae et al. 2007)، پاکستان (Rafique et al. 2009)، آفریقا (Gizaw, 1996) و عربستان سعودی (Alabdulaaly et al., 201). در ایران نیز بسیاری از مناطق در معرض غلظت بالای فلوراید در آب آشامیدنی هستند و در نتیجه وقوع فلئوروسیس در برخی از شهرهای کوچک و روستاها از جمله دشتستان (بطالب‌لویی و همکاران، ۲۰۱۲)، ماکو (اصغری مقدم و فیجانی، ۲۰۰۸)، کوهبنان (فکری و صادق کسمایی،

فلئور واکنش پذیرترین و فعال‌ترین عنصر در جدول تناوبی است و بنابراین به صورت فلورین (F) در محیط زیست دیده نمی‌شود. (Hem, 1989) بدین معنی که تمایل شدیدی برای بدست آوردن بار منفی دارد و در محلول‌ها یون فلوراید را تشکیل می‌دهد. رابطه بین فلوراید در محیط زیست و سلامت انسان برای بیش از صد سال توسط محققان در طیف گسترده‌ای از رشته‌ها مورد مطالعه قرار گرفته است (Ozsvath, 2009). فلئور به عنوان یک عنصر ریزمغذی ضروری، اثرات قابل توجهی بر سلامت انسان به ویژه از راه نوشیدن آب آشامیدنی دارد. غلظت فلوراید در آب آشامیدنی مانند یک شمشیر دولبه است و کمبود و بیش بود آن در طولانی مدت منجر به شیوع بیماریهای دهان، دندان و ناراحتی‌های استخوانی می‌شود (Edmunds and Smedley, 2004). شدت صدمه بوسیله مدت زمان در معرض قرارگیری و غلظت فلوراید تعیین می‌شود. حد مجاز تعریف شده برای فلئور توسط سازمان بهداشت جهانی (WHO) ۱/۵ میلی گرم در لیتر است. این عنصر در غلظت‌های کمتر از ۰/۵ میلی گرم در لیتر باعث پوسیدگی دندان می‌شود (Clark 1993; Jones et al. 1997; Acharya et al. 2008) و در غلظت‌های بیش از ۱/۵ mg/l باعث بیماری بومی به نام فلئوروسیس دندان و جذب در غلظت‌های بیش از ۳ mg/l باعث فلئوروسیس

۲۰۱۳)، موته (کشاورزی و همکاران، ۲۰۱۰) و لار (امینی و همکاران، ۲۰۱۶) گزارش شده است.

بخش عمده فلوراید موجود در محیط‌های سطحی و نزدیک به سطح زمین از کانی‌ها و سنگ‌ها منشأ می‌گیرند در حالی که منابع دیگر مانند هوا، آب دریا و فعالیت‌های انسانی نیز سهم نسبتاً کوچکی دارند. (Lahermo et al., 1995) این عنصر به‌طور وسیعی در ترکیب با کانی‌هایی مانند فلوریت، مسکوویت، بیوتیت، هورنبلند، توپاز، تورمالین و فلوروآپاتیت یافت می‌شود (احیاء، ۱۳۹۰). محتوای فلوراید در آب زیرزمینی تابعی از بسیاری از فاکتورها مانند دسترس‌پذیری و قابلیت انحلال کانی‌های فلوراید، سرعت جریان آب، دما، pH و غلظت یون‌های کلسیم و بیکربنات می‌باشد. (Meenakshi et al., 2004) زمان ماندگاری و برهم کنش آب با مواد آبخوان نیز به‌طور قابل توجهی غلظت فلوراید در آب‌های زیرزمینی را تنظیم می‌کند به طوری که با افزایش زمان ماند، انحلال کانی‌های حاوی فلوراید و تبادل یونی افزایش می‌یابد، بنابراین به افزایش غلظت فلوراید کمک می‌کند می‌کند. (Rao et al., 1993) به‌طور کلی آب‌های زیرزمینی میزان فلوراید بالاتری در مقایسه با آب‌های سطحی دارند، چون آب‌های زیرزمینی که از طریق سنگ‌های هوازده به آبخوان نفوذ می‌کند کانی‌های دارای فلونور را حل می‌کند و بنابراین فلونور در محلول آزاد می‌شود (Falvey, 1999). رخداد بالای فلوراید در آب زیرزمینی در ارتباط با محیط‌های زمین‌شناختی گوناگونی است و محدوده‌ای از سنگ‌های رسوبی (Battaleb-Looie et al, 2012) تا سنگ‌های بلورین و آبخوان‌های آتشفشانی را شامل می‌شود، با این حال روند انحلال پذیری آن هنوز به خوبی درک نشده است (Saxena and Ahmed 2001).

آب زیرزمینی به عنوان منبع اصلی تامین آب شرب و کشاورزی در صحرای باغ استفاده می‌شود. با توجه به مشاهده علائم ابتلای ساکنین منطقه صحرای باغ به فلوروسیس دندان خفیف تا شدید و نیز تهدید سلامتی آن‌ها، انجام پژوهشی در این زمینه ضروری است. اهداف اصلی این مطالعه عبارتند از: ۱) بررسی توزیع فلوراید و نیز تفسیر رفتار زمین‌شیمیایی آن در منابع آب منطقه صحرای باغ ۲) بررسی منشأهای احتمالی فلوراید در آب‌های زیرزمینی با استفاده از تجزیه آب‌های سطحی و زیرزمینی و سنگ منطقه مطالعاتی.

موقعیت جغرافیایی و جایگاه زمین‌شناختی منطقه

دشت پهناور صحرای باغ در طول‌های جغرافیایی شرقی $31^{\circ} 41'$ تا $31^{\circ} 53'$ و عرض‌های جغرافیایی شمالی $25^{\circ} 25'$ تا $27^{\circ} 35'$ با وسعت 46540 هکتار در جنوب شهرستان لارستان و در مرز استانهای فارس و هرمزگان واقع شده است (شکل ۱). ارتفاع این دشت از سطح دریا 551 تا 757 متر می‌باشد. اقلیم منطقه در تابستان گرم و خشک است و بیشینه دمای هوا تا 48 درجه سانتیگراد می‌رسد. آب و هوای این دشت در زمستان خشک و سرد است و در برخی سال‌ها دما تا کمتر از -5 درجه سانتیگراد خواهد رسید (اغنیایی، ۱۳۹۴). دشت صحرای باغ فاقد ایستگاه باران‌سنجی است و با توجه به نزدیکی دشت به شهر لار آمار و اطلاعات ایستگاه اداره هواشناسی لار مورد استفاده قرار گرفته است. بر اساس آمار این ایستگاه میانگین سالانه بارندگی $231/1$ میلی‌متر است. بیشینه، کمینه و میانگین دمای سالانه به ترتیب $28/8$ ، $2/2$ ، $24/2$ درجه سانتیگراد و متوسط تبخیر سالانه $2761/3$ میلی‌متر می‌باشد.

از دیدگاه زمین‌شناختی این منطقه بخشی از کمربند چین‌خورده زاگرس است که تحت اثر دو عامل زمین‌شناختی چین‌خوردگی کلی زاگرس و پدیده دی‌پایرسم قرار گرفته است. منطقه زاگرس یکی از مهم‌ترین ایالت‌های نفت و گاز جهان

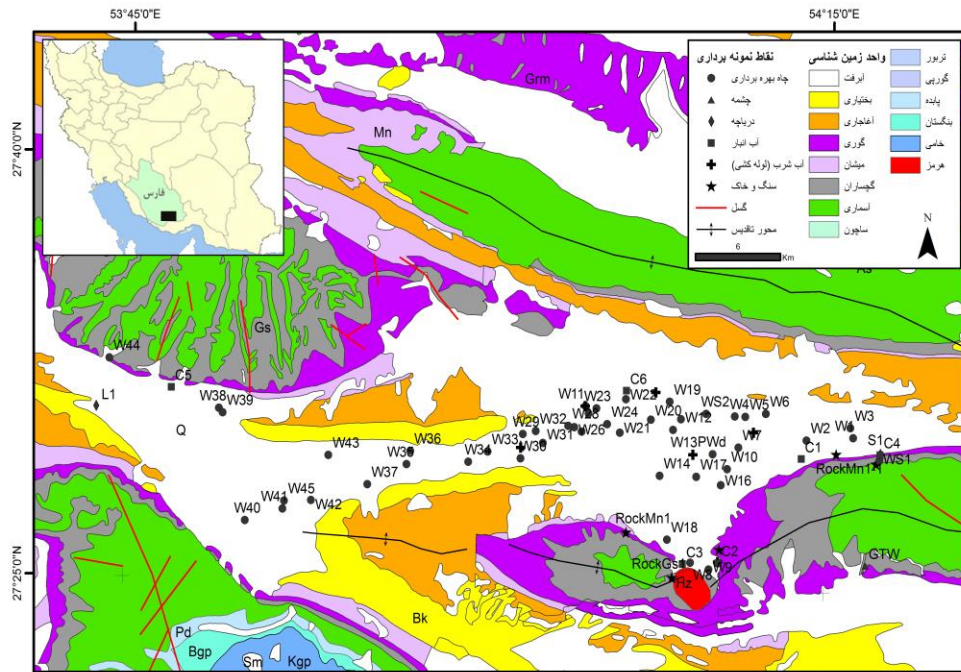
است کاه با مساحتی افزون بر 400 هزار کیلومتر مربع از جنوب خاور ترکیه تا تنگه هرمز گسترش دارد (جلیلیان و همکاران، ۱۳۹۰). چین‌خوردگی‌های منطقه در دوران سوم زمین‌شناسی به وجود آمده است. این چین‌خوردگی‌ها در راستای غرب - شرق، به موازات هم کشیده شده‌اند. مهم‌ترین سازندهایی که در منطقه رخمون دارند شامل سری نمکی هرمز به شکل گنبد‌های نمکی (پروتوزوئیک بالایی-کامبرین)، آهک آسماری (الیگوسن)، آهک دولومیتی جهرم (پالئوسن)، ژپیس و انیدریت گچساران (میوسن)، مارن میشان (میوسن)، آهک و مارن گوری (میوسن)، ماسه‌سنگ و مارن آجاجاری (میوسن) و کنگلومرای بختیاری (پلیوسن بالایی) است (آقاناتی ۲۰۰۴) (شکل ۱).

روش کار

به منظور انجام این پژوهش، از محیط‌های مختلف شامل آب و سنگ نمونه - برداری صورت گرفت و نمونه‌ها مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند.

در این پژوهش، از منابع آب سطحی شامل ۷ آب انبار و آب زیرزمینی شامل ۵۵ چاه نمونه‌برداری شد. نتایج اندازه‌گیری‌های صحرایی و آنالیزهای آزمایشگاهی در (جدول ۱) خلاصه شده است. نمونه‌برداری‌ها در پاییز ۱۳۹۳ انجام شد. از بطری‌های پلی‌اتیلن 250 میلی لیتری برای آنالیز یون فلوراید و 500 میلی لیتری برای آنالیز یون‌های اصلی استفاده گردید. بطری‌ها قبل از استفاده دو بار با آب نمونه شست و شو داده شدند و پس از پر کردن کامل، درب آن‌ها محکم بسته شد. به منظور جلوگیری از تبخیر نمونه‌ها، همه آن‌ها در جعبه پر از یخ در دمای $4^{\circ}C$ نگهداری شدند و جهت آنالیز به آزمایشگاه انتقال داده شدند. در هر ایستگاه پارامترهای دما، pH و هدایت الکتریکی (EC) به کمک دستگاه pH متر و EC متر صحرایی اندازه‌گیری شد. موقعیت نقاط نمونه‌برداری با استفاده از یک دستگاه GPS مدل Garmin ثبت گردید. فلونور در آب با روش رنگ‌سنجی SPADNS و با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتر مدل (DR5000) ساخت شرکت HACH اندازه‌گیری شد. در مواردی که نتیجه غلظت فلوراید بیشتر از حد تشخیص دستگاه بود رقیق‌سازی نمونه انجام گرفت. غلظت نیترات نیز با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتری آنالیز گردیده. غلظت سدیم و پتاسیم توسط نورسنجی شعله‌ای و کلسیم و منیزیم به روش تیتراسیون با استفاده از استاندارد EDTA (اریوکروم بلک تی و مروکسید به عنوان آشکارساز) اندازه‌گیری شد. غلظت کلر به روش تیتراسیون با استفاده از استاندارد $AgNO_3$ ، بیکربنات با تیتراسیون HCl و سولفات به روش توربیدیتی‌متری اندازه‌گیری شد. دقت آنالیزها با استفاده از خطای تعادل یونی کنترل گردید که درصد خطای همه نمونه‌ها کمتر از 5% می‌باشد.

در این پژوهش برای شناسایی منشأ فلونور از واحدهای سنگ‌شناختی مختلف (بر حسب رنگ و جنس و سختی) از سازندهای مجاور دشت نمونه‌برداری انجام شد. در بعضی مناطق به دلیل تنوع رنگ و نمونه بیش از یک نمونه برداشته شد. نمونه‌ها در پاکت‌های پلاستیکی جداگانه قرار داده شد و در حین نمونه‌برداری نکاتی مانند برجا بودن نمونه، نبود شرایط هوازدگی و آلوده نشدن نمونه مد نظر قرار گرفت. پنج عدد از نمونه‌ها برای انجام آنالیز XRD به مرکز متالوژی مواد معدنی رازی تهران ارسال شد. میزان فلوراید نیز در نمونه‌های سنگ با استفاده از روش کروماتوگرافی یونی تعیین شد.



شکل ۱. نقشه زمین شناسی منطقه مورد مطالعه و موقعیت نقاط نمونه برداری

بحث و نتایج

آب زمین شناسی آبخوان صحرائی باغ

در محدوده مطالعاتی صحرائی باغ آبرفتی‌های کواترنری عمدتاً شامل رسوبات رودخانه‌ای و رسوبات دشت سیلابی می‌باشد که مساحتی بالغ بر ۸۴۴ کیلومتر مربع از محدوده مورد مطالعه را پوشش می‌دهد. رسوبات رودخانه‌ای که از فرسایش ارتفاعات اطراف به وجود آمده در نزدیکی ارتفاعات درشت دانه و به تدریج با دور شدن از ارتفاعات ریزتر می‌شوند به طوریکه در نواحی مرکزی دشت شامل رسوبات سیلت و رس می‌شود.

آبخوان اصلی دشت یک آبخوان آبرفتی آزاد می‌باشد که به علت ریزدانه بودن و ضخامت کم آبرفت، بویژه در مرکز دشت از نظر پتانسیل آبی بسیار فقیر است. این دشت فاقد منابع آب سطحی دائمی می‌باشد و هنگام سیلاب رواناب‌های سطحی از انتهای غربی دشت زهکشی می‌شود. ارتفاع سنگ کف به طرف غرب دشت بالاتر است و خاک ریزدانه‌تر می‌شود و لذا از غرب به شرق سطح برخورد به آب زیرزمینی افزایش می‌یابد. در میانه دشت صحرائی باغ تشکیلات بختیاری و آغاچاری بیرون زدگی دارد که دشت را به دو قسمت شرقی و غربی تقسیم می‌کند. مجموع برداشت سالانه آب‌های زیرزمینی از آبخوان دشت صحرائی باغ ۲۷/۵۵۴ میلیون متر مکعب می‌باشد. بیلان آبخوان آبرفتی در محدوده مطالعاتی صحرائی باغ ۱۵/۹۴ میلیون متر مکعب منفی بوده و افت سطح آب زیرزمینی طی دوره بهره‌برداری نیز موید این موضوع است (مهندسین مشاور سنگاب زاگرس، اردیبهشت ۱۳۹۰).

حداقل تراز سطح ایستابی در منطقه مطالعاتی صحرائی باغ ۶۰۴/۵ متر در غرب و حداکثر آن ۶۱۸ متر در شمال دشت می‌باشد. تراز آب در آبخوان صحرائی باغ از شرق آبخوان تا میانه دشت (حوالی چاه‌های W11 و W27) در حال افزایش است (شکل ۲-الف). سپس مجدداً به طرف غرب دشت تراز آب روندی

کاهش را نشان می‌دهد. جهت جریان نیز در این دشت در دو نیمه شرقی و غربی متفاوت است (شکل ۲-الف) بطوریکه در میانه دشت یک خط تقسیم آب دیده می‌شود. جهت جریان در نیمه غربی دشت به سمت غرب و در نیمه شرقی جهت جریان به سمت شرق می‌باشد. تشکیل این خط تقسیم آب احتمالاً به دلیل تغذیه سفره از ارتفاعات مجاور در این ناحیه می‌باشد.

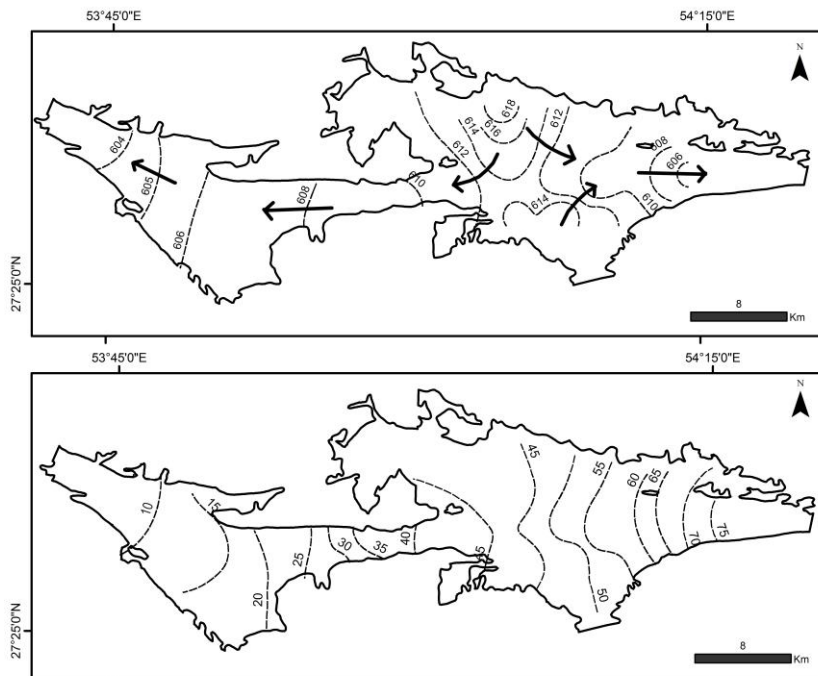
حداقل عمق سطح ایستابی در چاه‌های مورد بررسی ۱۳/۵ متر در چاه (W38) و حداکثر آن ۷۷ متر در چاه (W1) است. با توجه به نقشه عمق سطح ایستابی (شکل ۲-ب) مشاهده می‌گردد که به طور کلی عمق آب زیرزمینی از غرب به شرق در حال افزایش است.

آب زمین شیمی آبخوان

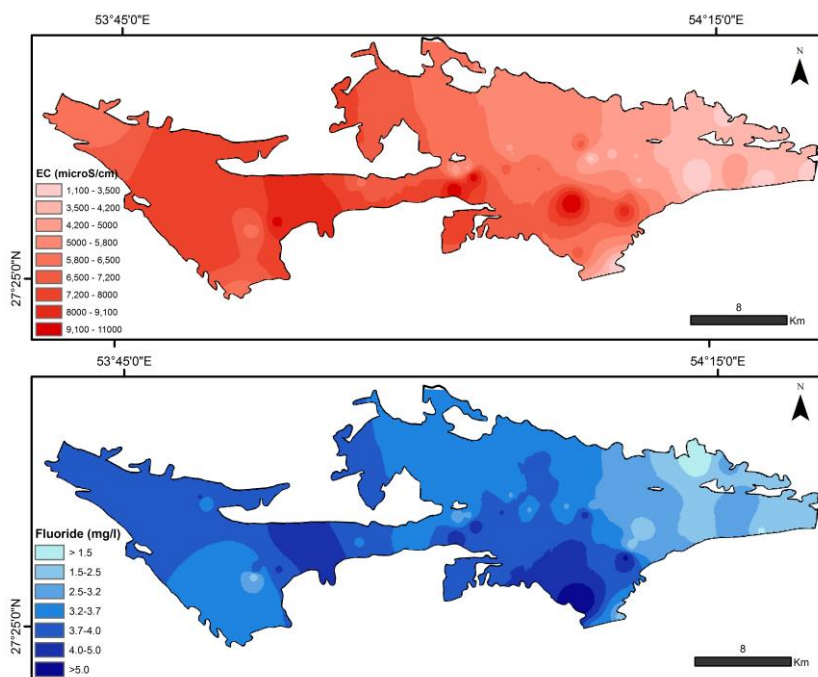
کیفیت آب زیرزمینی در دشت صحرائی باغ چندان مطلوب نمی‌باشد به طوریکه عمدتاً آب زیرزمینی این دشت در محدوده آب‌های لب شور تا شور طبقه‌بندی می‌شوند. (شکل ۳-الف) توزیع شوری در نقاط نمونه برداری از این دشت را نشان می‌دهد. هدایت الکتریکی آب زیرزمینی دشت بین ۱۱۷۰ (چاه WS3) تا ۱۱۰۰۰ میکروموس بر سانتیمتر (چاه W14) تغییر می‌کند. هدایت الکتریکی نمونه‌های شش آب انبار منطقه بین ۲۲۰ تا ۵۳۰ میکروموس بر سانتیمتر تغییر می‌کند و همگی نمونه‌ها جزو آب‌های شیرین طبقه‌بندی می‌شوند. تنها نمونه آب گرفته شده از دریاچه فصلی واقع در غرب منطقه نیز هدایت الکتریکی ۴۷۰۰ میکروموس بر سانتیمتر دارد. به منظور تعیین تیپ آب نمونه‌های آب زیرزمینی نمودار پایپر (شکل ۴) تهیه گردید. بر اساس این نمودار نمونه‌های آب زیرزمینی منطقه از نظر رخساره هیدروژئوشیمیایی عمدتاً از نوع کلروره-سولفات (۲۸ نمونه)، سولفات (۱۶ نمونه) و کلروره (۱۴ نمونه) هستند. انیون غالب نمونه‌ها سولفات و کلر و کاتیون غالب آن‌ها سدیم است.

جدول ۱. خصوصیات فیزیکوشیمیایی و نتایج تجزیه‌های آزمایشگاهی نمونه‌های آب منطقه مورد مطالعه

کد محل نمونه	تیپ آب	pH	EC (μs/cm)	T (°C)	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺ (mg/L)	Na ⁺	K ⁺	F ⁻	NO ₃ ⁻
W1	Cl	۷/۲۱	۴۸۰۰	۲۳/۱	۱۸۳	۷۴۴	۱۱۱۸/۲	۳۴۰	۲۳۴	۶۳۴/۷	۱۱/۳	۳/۱۶	۳۴
W2	Cl	۷/۴۵	۲۳۱۰	۲۴/۷	۱۵۲/۵	۱۰۸۰	۷۷۷/۴	۲۳۲	۱۰۱	۵۶۸/۱	۱۱/۷	۲/۲۴	۱۴/۵
W3	Cl	۷/۵۵	۴۲۰۰	۲۶	۱۷۹/۹	۷۶۸	۷۸۱	۲۷۰	۱۰۸	۵۱۵/۲	۹/۳۶	۳/۱۶	۸
W4	Cl	۷/۵	۴۱۰۰	۲۶/۶	۱۲۸/۱	۹۳۶	۸۱۶/۵	۳۴۰	۴۸	۶۴۳/۷	۱۱/۷	۲/۸	۳۵
W5	Cl	۷/۶۵	۴۳۰۰	۲۱/۳	۱۲۸/۱	۱۰۵۶	۸۳۴/۲	۲۰۰	۱۳۸	۶۶۴/۷	۱۱/۷	۲/۹	۱۷/۵
W6	Cl	۷/۵۳	۳۸۰۰	۲۴/۳	۱۵۲/۵	۱۰۸۰	۶۵۳/۲	۲۶۴	۷۸	۵۶۷/۶	۱۱/۷	۳/۱۶	۱۵
W7	Cl	۷/۴۸	۴۰۰۰	۲۵	۱۴۰/۳	۱۰۳۲	۷۶۶/۸	۲۱۴	۹۳/۲	۵۹۴/۵	۱۱/۷	۱/۹	۵
W8	SO4	۷/۲۱	۳۸۰۰	۲۸/۶	۹۱/۵	۲۴۷۲	۲۳۷/۸	۵۹۰	۲۶۴	۱۵۲/۴	۱۱/۷	۳/۳۶	۱۲/۵
W9	SO4	۷/۱۸	۵۰۰۰	۲۷/۳	۱۲۲	۲۳۵۲	۶۳۹	۴۷۰	۲۵۲	۴۲۰/۹	۱۱/۷	۴/۱۶	۱۵
W10	SO4	۷/۴۳	۶۹۰۰	۲۷/۲	۱۰۹/۸	۲۶۶۴	۱۲۴۲/۵	۴۰۰	۳۱۲	۹/۹۲۹	۱۸/۳	۲/۳	۱۱
W11	Cl	۷/۵	۴۷۰۰	۲۶/۴	۱۴۶/۴	۸۴۰	۹۵۸/۵	۲۲۰	۱۳۸	۶۶۰/۱	۱۱/۷	۳/۰۸	۲۲/۵
W12	SO4	۷/۴۴	۳۲۰۰	۲۷/۱	۱۲۸/۱	۹۶۰	۴۶۱/۵	۱۵۸	۱۰۹	۴۰۰/۶	۱۱/۷	۳/۰۸	۲۱/۳
W13	SO4	۷/۴۲	۴۶۰۰	۲۷/۶	۱۰۶/۷	۱۴۴۰	۶۵۶/۷	۲۶۰	۱۸۶	۶۰۳/۷	۱۳/۶	۴/۲۸	۷
W14	Cl	۷/۱۹	۱۱۰۰۰	۲۷/۱	۱۰۳/۷	۲۲۳۲	۲۰۸۰/۲	۵۷۰	۱۹۸	۹۶۰	۱۹/۵	۴/۴۴	۲۱/۳
W15	Cl	۷/۶	۵۳۰۰	۲۷	۱۱۸/۹	۱۰۵۶	۱۳۴۹	۲۶۰	۱۸۶	۷۰۸/۶	۱۱/۷	۳/۳۶	۸
W16	SO4	۷/۴۷	۸۷۰۰	۲۴/۵	۹۱/۵	۳۳۶۰	۱۴۷۳/۲	۶۵۰	۳۷۲	۱۲۷۵	۱۹/۵	۵/۰۸	۲۵
W17	SO4	۷/۳۹	۶۸۰۰	۲۶/۳	۱۰۰/۶	۲۵۶۸	۱۱۷۱/۵	۳۷۰	۳۰۰	۱۱۰۴	۱۴/۸	۲/۱۸	۱۲
W18	SO4	۷/۳۱	۶۷۰۰	۲۶/۵	۱۰۳/۷	۳۷۱۲	۸۸۷/۵	۵۷۰	۳۲۴	۸۲۸	۲/۱۱	۶/۳۶	۵۸
W19	Cl	۷/۵۵	۶۹۰۰	۲۵	۱۳۴/۲	۱۷۰۴	۱۲۰۷	۳۶۰	۱۳۳	۱۱۲۵	۱۴/۸	۳/۲۸	۱۶
W20	SO4	۷/۴۹	۵۱۰۰	۲۷/۵	۱۳۱/۱	۱۴۴۰	۸۵۲	۲۰۰	۲۸۸	۴۸۸/۷	۱۱/۷	۳/۲	۱۶/۳
W21	Cl	۷/۴۳	۶۶۰۰	۲۷	۹۷/۶	۱۷۸۶	۱۱۳۶	۳۳۰	۲۵۸	۹۱۴/۹	۱۵/۶	۴/۰۸	۵
W22	SO4	۷/۴۲	۵۰۰۰	۲۷/۶	۱۱۵/۹	۱۷۵۲	۶۷۴/۵	۳۳۰	۱۳۸	۳۳۹/۴	۱۳/۳	۴/۰۸	۱۱
W23	SO4	۷/۴۹	۵۱۰۰	۲۷/۲	۱۳۴/۲	۱۴۴۰	۶۳۳/۲	۲۵۰	۱۸۶	۷۳۵/۱	۱۳/۶	۲/۸	۵۹
W24	SO4	۷/۴۹	۶۴۰۰	۲۶/۹	۱۲۲	۲۰۴۰	۱۱۵۳/۷	۳۰۰	۲۰۴	۱۰۶۵	۱۵/۶	۳/۱۶	۱۶/۳
W25	Cl	۷/۴۴	۶۹۰۰	۲۷/۱	۱۳۴/۲	۱۸۲۴	۱۵۰۸/۷	۴۵۰	۱۸۰	۱۱۵۰	۱۶/۸	۳/۸۴	۱۳
W26	Cl	۷/۴۱	۶۶۰۰	۲۱/۴	۱۰۹/۸	۱۷۰۴	۱۱۰۰/۵	۳۰۰	۲۵۸	۹۳۵/۳	۱۶/۴	۴/۲	۱۴
W27	Cl	۷/۴۶	۴۹۰۰	۲۵/۷	۱۳۴/۲	۱۳۴۴	۷۸۷/۵	۲۶۰	۱۹۲	۶۳۵/۷	۱۳/۶	۳/۸۴	۳۰
W28	SO4	۷/۴۴	۴۱۰۰	۲۴	۱۰۹/۸	۱۸۲۴	۱۱۰۰/۵	۴۸۰	۶۰	۱۰۰۰	۱۷/۹	۳/۸	۱۲
W29	Cl	۷/۲۹	۴۳۰۰	۲۸/۲	۱۷۶/۹	۸۴۰	۸۸۷/۵	۱۸۰	۱۵۶	۶۱۶/۲	۱۱/۷	۲/۹۶	۷/۵
W30	Cl	۷/۲۶	۱۰۵۰۰	۲۵/۷	۱۵۲/۵	۳۳۶۰	۲۶۶۲/۵	۵۴۰	۴۹۲	۱۷۴۰	۱۹/۱	۴/۴۴	۱۷/۵
W31	Cl	۷/۳۶	۱۰۰۰۰	۲۶/۸	۱۱۵/۹	۳۰۲۴	۲۰۴۱/۲	۶۳۰	۳۹۰	۱۶۱۰	۱۹/۵	۴/۴۸	۵۲
W32	Cl	۷/۴۲	۴۸۰۰	۲۶/۷	۱۷۰/۸	۱۰۸۰	۸۶۹/۷۵	۲۰۰	۱۷۴	۶۹۰	۱۲/۵	۳/۱۲	۱۵
W33	Cl	۷/۵۳	۷۲۰۰	۲۵/۲	۱۳۴/۲	۱۸۷۲	۱۴۲۰۰	۳۲۰	۲۶۴	۱۰۹۷	۱۷/۵	۳/۶۸	۱۷/۵
W34	Cl	۷/۶۵	۷۲۰۰	۲۵/۷	۱۴۶/۴	۱۹۴۴	۱۴۳۱/۲	۳۳۰	۲۷۶	۱۰۷۲	۱۵/۶	۳/۴۸	۱۶
W35	Cl	۷/۱۷	۷۳۰۰	۲۶/۶	۲۱۳/۵	۱۲۴۸	۱۴۷۳/۲	۳۰۰	۳۱۲	۷۷۹/۷	۱۴/۴	۳/۶۴	۲۵
W36	Cl	۷/۳۳	۶۴۰۰	۲۷/۵	۱۴۹/۴	۱۹۴۴	۱۴۰۲/۲	۳۸۰	۲۶۴	۹۳۷/۵	۱۵/۶	۳/۸۴	۲۰
W37	Cl	۷/۰۹	۹۱۰۰	۲۶/۴	۲۳۱/۵	۳۱۹۲	۲۱۶۵/۵	۹۵۰	۳۶	۱۶۴۴	۱۷/۵	۴/۷۶	۱۹
W38	SO4	۷/۳۵	۷۵۰۰	۲۷/۱	۲۵۰/۱	۲۹۰۴	۱۶۸۶/۲	۴۸۰	۳۴۸	۱۰۹۹	۳۹	۴/۱۶	۶۲/۵
W39	Cl	۷/۹۴	۸۰۰۰	۲۱	۱۸۳	۱۷۲۸	۱۵۲۶/۵	۴۰۰	۲۷۰	۱۰۶۲	۱۹/۵	۳/۴۴	۲۰/۵
W40	Cl	۷/۴۶	۷۸۰۰	۲۵/۸	۲۳۱/۸	۲۱۶۰	۱۷۹۲/۷	۳۸۰	۲۸۸	۱۴۴۴	۱۹/۵	۳/۶۴	۵۳/۸
W41	Cl	۷/۳۱	۵۹۰۰	۲۶/۸	۲۱۳/۵	۱۳۲۰	۱۱۵۳/۷	۳۱۰	۱۶۲	۹۲۴/۶	۱۳/۳	۲/۲۳	۲۸
W42	Cl	۷/۲۴	۹۴۰۰	۲۷/۴	۲۱۳/۵	۲۹۵۲	۲۰۹۴/۵	۳۹۰	۳۴۸	۱۶۲۵	۳/۲۰	۴/۱۲	۲۰
W43	Cl	۷/۳۲	۹۰۰۰	۲۹/۵	۱۹۸/۲	۲۸۸۰	۱۹۱۷	۳۷۰	۳۴۸	۱۵۹۰	۱۷/۵	۴/۷۲	۱۳
W44	SO4	۷/۰	۵۹۰۰	۲۶/۳	۱۷۶/۹	۲۲۰۸	۱۱۸۹/۲	۷۹۰	۶۶	۸۱۹/۹	۱۹/۵	۳/۹۶	۸/۷۵
W45	Cl	۷/۳۵	۷۰۰۰	۲۵/۲	۲۱۶/۵	۲۱۸۴	۱۴۷۳/۲	۳۱۰	۲۷۶	۹۹۵/۹	۱۴/۸	۴/۰۸	۱۷
W46	Cl	۷/۳۹	۵۱۰۰	۲۸/۸	۱۲۲	۱۳۸۰	۸۸۷/۵	۴۲۰	۲۲۲	۴۹۹/۸	۱۱/۷	۴/۰۴	۰/۵
W47	Cl	۷/۶۵	۳۹۰۰	۲۴/۶	۱۲۲	۱۱۰۴	۷۱۰	۱۸۲	۱۳۰	۵۸۷	۱۱/۷	۲/۹۶	۷/۵
W48	Cl	۸/۰	۱۱۷۰	۲۰/۲	۱۴۶/۴	۳۳/۶	۳۰۵/۳	۷۶۰	۳۲/۴	۱۱۲/۷	۵/۸۵	۲/۱۱	۱۵
T1	Cl	۸/۲۲	۳۷۰۰	۲۴/۹	۳۶/۶	۲۱۱/۴	۸۳۰/۷	۲۱۶	۵۱/۶	۳۵۰/۳	۱۰/۹	۳/۴۴	۱۰/۸
T2	SO4	۸/۱۶	۳۴۰۰	۲۴/۶	۱۴۰/۳	۱۳۳۰	۶۷۴/۵	۳۶۰	۵۲/۸	۵۰۸/۱	۱۰/۹	۲/۵۶	۲۰/۸
T3	Cl	۸/۸۸	۲۶۰۰	۲۴/۸	۱۶۴/۷	۸۱۲/۲	۴۶۸/۶	۱۱۶	۶۰	۲۵۲/۱	۲۴/۶	۳/۶	۱۳/۶
T4	Cl	۸/۴	۱۳۲۰	۲۴/۳	۱۱۵/۹	۲۸۸	۲۷۶/۹	۸۰	۴۳/۲	۱۵۱/۱	۵/۰۷	۲/۴	۳۶/۴
T5	Cl	۸/۳	۱۱۶۰	۲۴/۴	۲۴۴	۲۵۹/۲	۱۴۲	۹۰	۳۳/۶	۱۰۸/۱	۷/۰۲	۱/۶	۱۹/۶
S2	Cl	۶/۸۵	۲۸۰۰۰	۳۵/۸	۱۳۷۲	۲۱۱۰	۱۲۶۰۲	۸۲۵	۳۱۵	۷۷۹۹	۴۹/۵	۴/۶۴	۰/۱
L	Cl	۸/۳۱	۴۷۰۰	۱۲/۶	۷۳/۲	۱۰۰۸	۱۰۸۲/۷	۳۰۰	۱۳۸	۹/۶۹۹	۲۴/۲	۱/۰۷	۰/۱
S1	Cl	۷/۶۴	۱۹۴۰	۲۶/۱	۱۸۹/۱	۱۸۹/۶	۳۷۲/۷	۹۰	۳۹/۶	۲۶۲/۴	۶/۲۴	۱/۰۱	۵۶/۳
C1	HCO3	۷/۴۸	۴۰۰	۱۴/۹	۱۵۸/۶	۵۵/۲	۳۱/۵	۶۴	۳/۶	۱۶/۷۹	۸/۹۷	۰/۸۵	۲/۷
C2	HCO3	۷/۴۵	۳۹۰	۱۵/۶	۱۳۱/۱	۲۸/۸	۱۷/۷۵	۴۰	۴/۸	۱۳/۸	۷/۸	۰/۲۵	۱/۷
C3	HCO3	۷/۱	۲۲۰	۱۵/۶	۱۲۸/۱	۹/۶	۵۳/۲۵	۳۶	۷/۲	۷۵/۹	۱/۱۷	۰/۰۸	۵
C4	HCO3	۷/۴۳	۵۳۰	۱۵/۵	۱۶۴/۷	۲۸/۸	۴۹/۷	۶۰	۴/۸	۱۸/۱۷	۱۴/۸	۰/۴۷	۲/۴
C5	Cl	۷/۴	۳۲۰	۱۸	۱۱۵/۹	۱۲۰	۴۶/۱۵	۷۰	۹/۶	۲۰/۰۱	۸/۹۷	۰/۷	۸/۳
C6	Cl	۷/۲۳	۳۳۰	۱۶/۷	۱۵۸/۶	۹/۶	۱۵۹/۷	۷۰	۲/۴	۹/۳	۸/۹۷	۰/۲۲	۱/۷



شکل ۲. الف: نقشه هم تراز سطح ایستابی و جهت عمومی جریان آب زیرزمینی در دشت صحرای باغ، ب: نقشه هم عمق سطح ایستابی دشت صحرای باغ



شکل ۳. الف: نقشه توزیع شوری (هدایت الکتریکی) در آب زیرزمینی دشت صحرای باغ، ب: نقشه توزیع غلظت فلئور در آب زیرزمینی دشت صحرای باغ

عامل اصلی کاهش کیفیت آب زیرزمینی دشت صحرای باغ محسوب می‌گردد. علاوه بر گسترش رسوبات تبخیری گروه فارس در دامنه‌ها و سنگ کف دشت، رخنمون یک گنبد نمکی در ناحیه جنوب شرقی محدوده صحرای باغ، بارندگی کم و زهکشی ضعیف، سبب شده تا آب زیرزمینی دشت از کیفیت مناسبی برخوردار نباشد.

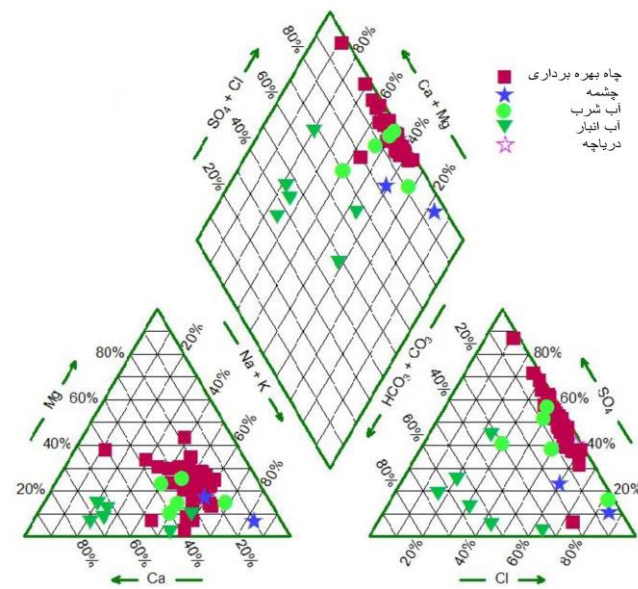
(جدول ۲) خلاصه آماری غلظت فلوراید را که بر اساس تیپ آب و نوع منبع آبی تفکیک شده را نشان می‌دهد. تفکیک گروهها بر اساس آزمون آماری کروسکال والیس تایید شده است. تیپ نمونه‌های آب سطحی (نمونه‌های آب انبار) اغلب از نوع بی‌کربناته است. سازندهای تبخیری گروه فارس (سازندهای گچساران، میشان و آغاچاری) در منطقه گسترش فراوانی دارد که احتمالاً انحلال کانی‌های تبخیری مانند هالیت، ژپس و انیدریت این سازندها و رسوبات منشاء گرفته از آنها

ضریب همبستگی را دارد. همبستگی قوی و مثبت بین EC و یون کلرید و سدیم وجود دارد. این موضوع نشان می‌دهد که یون کلرید و سدیم مهم‌ترین عامل در افزایش هدایت الکتریکی آب‌های زیرزمینی منطقه محسوب می‌شوند و انحلال کانی‌ها مهم‌ترین عامل کنترل‌کننده EC آب‌های زیرزمینی است. همبستگی مثبت و قوی بین کلر و سدیم نشانگر منشأ یکسان آن‌ها و انحلال کانی‌ها از رسوبات ریزدانه و نیز میان لایه‌های مارنی دارای نمک است. همبستگی مثبت و قوی بین کلسیم و سولفات نیز مشاهده می‌شود که احتمالاً به دلیل منشأ یکسان آن‌ها می‌باشد و ناشی از انحلال ژئوس است. کلسیم همبستگی مثبت و معناداری را با منیزیم دارد که این همبستگی می‌تواند ناشی از همراهی منیزیم در سنگ‌های تخیری گچساران باشد که احتمالاً به صورت سولفات منیزیم است. همبستگی مثبت و معنادار فلئور با اکثر یون‌های اصلی از جمله سدیم، کلر، کلسیم و سولفات ممکن است ناشی از انحلال کانی‌های هالیت و ژئوس در مسیر جریان آب زیرزمینی و یا تخییر آب زیرزمینی باشد که منجر به افزایش همزمان غلظت املاح موجود در آب می‌گردد. تخییر از سطح ایستایی منفی می‌باشد. لذا به نظر می‌رسد که افزایش غلظت فلئور در مسیر جریان به دلیل آیشویی فلئور از کانی‌های فلئوردار در آبخوان صورت می‌گیرد. همچنین با توجه به اینکه به طور همزمان در مسیر جریان انحلال هالیت و ژئوس از سازندهای تخییری اطراف از جمله سازند گچساران انجام می‌گیرد که منجر به افزایش توام غلظت املاح آن و فلئور می‌گردد. به منظور بررسی ارتباط غلظت فلئور با تیپ آب نمودار جعبه‌ای تغییرات غلظت فلئور در نمونه‌های آب با تیپ‌های مختلف ترسیم گردید (شکل ۵-الف). همانطور که در شکل مشاهده می‌شود متوسط فلوراید در تیپ‌های مختلف آب متفاوت می‌باشد. بیشترین میانگین فلوراید در تیپ آب‌های سولفات و برابر با ۳/۸۲ و کمترین میزان فلوراید مربوط به تیپ آب‌های بی‌کربناته با متوسط ۰/۴ mg/l می‌باشد. شکل ۵-ب نیز تغییرات غلظت فلئور در نمونه‌های آب گرفته شده از منابع مختلف شامل چاه‌های بهره‌برداری (کشاورزی)، چشمه‌ها، آب انبارها و آب شرب (لوله‌کشی) منطقه را نشان می‌دهد. میانگین غلظت فلوراید در منابع مختلف آب نیز متفاوت می‌باشد به طوریکه چاه‌های بهره‌برداری منطقه بیشترین میانگین فلوراید (۳/۶۲ mg/l) و آب انبارهای منطقه کمترین میانگین فلوراید (۰/۴۲ mg/l) را دارند.

تحلیل آماری چند متغیره

در این تحقیق از روش‌های آماری چند متغیره شامل تحلیل مولفه‌های اصلی و آنالیز خوشه‌ای به منظور بررسی منشأ فلئور استفاده گردیده است. تحلیل مولفه‌های اصلی یک روش آماری چند متغیره می‌باشد که هدف آن ساده کردن مجموعه‌های پیچیده و مختلفی است که بین متغیرهای مشاهده‌ای وجود دارد. با استفاده از روش تحلیل مولفه‌های اصلی، سه عامل اصلی موثر بر کیفیت آب زیرزمینی صحرای باغ استخراج گردید (جدول ۴) که در مجموع بیش از ۸۳٪ از کل واریانس داده‌ها را شامل می‌شوند. نتایج مطالعه نشان می‌دهد که در فاکتور اول که ۶۰/۶٪ از کل واریانس را به خود اختصاص داده، کاتیون‌های سدیم، کلسیم، منیزیم و پتاسیم و آنیون‌های کلر و سولفات و فلئور همراه با هدایت الکتریکی قرار دارد. این فاکتور را می‌توان به عنوان فاکتور منشأ زمین‌زاد در نظر گرفت که نشان دهنده انحلال همزمان کانی‌های سولفات و کلریدی و منشأ یکسان آن‌ها باشد. در فاکتور دوم نترات به تنهایی قرار دارد و ۱۱/۴٪ از کل واریانس را در برمی‌گیرد. این موضوع می‌تواند نشانگر منشأ متفاوت نترات و ناشی از فعالیت‌های کشاورزی و منشأ انسان‌زاد آن باشد.

برای بررسی کانی‌های مهمی که در ترکیب شیمیایی آب‌های زیرزمینی تأثیرگذار هستند از شاخص اشباع استفاده شد. شاخص اشباع نمونه‌های آب با استفاده از مدل Phreeqc محاسبه گردید و نتایج نشان می‌دهد که همه نمونه‌های آب زیرزمینی نسبت به ژئوس و هالیت وضعیت تحت اشباع (شاخص اشباع $SI < 0$) دارند و نسبت به تمام کانی‌های کربناته (کلسیت، دولومیت و آراگونیت) وضعیت فوق اشباع ($SI > 0$) نشان می‌دهد. این موضوع نشان دهنده آن است که آب حاصل از این تشکیلات، میزان کافی از کانی‌های کربناته را داراست و زمان ماند کافی برای انحلال این کانی‌ها در آب زیرزمینی دشت صحرای باغ وجود دارد. از طرف دیگر شرایط آب و هوایی گرم و خشک منطقه همراه با بارندگی ضعیف و نرخ تخییر بالا باعث رسوب کربنات‌ها می‌شود. نمونه‌های آب سطحی (آب انبار و دریاچه) همگی در وضعیت تحت اشباع نسبت به کانی فلئوریت قرار دارند در حالیکه نمونه‌های آب زیرزمینی عمدتاً نسبت به فلئوریت وضعیت اشباع دارند.



شکل ۴. نمودار پایپر نمونه‌های آب در منطقه مطالعاتی

توزیع فلئور در منابع آب منطقه

بر اساس نتایج تجزیه ۶۲ نمونه آب در منطقه مورد مطالعه (جدول ۱)، میانگین غلظت فلوراید در آب زیرزمینی دشت صحرای باغ برابر با ۳/۵ mg/l است. توزیع غلظت فلوراید نقاط نمونه‌برداری نیز در (شکل ۳-ب) نشان داده شده است. کمینه آن در نمونه آب چشمه S1 برابر ۱/۰۱ mg/l و بیشینه آن در نمونه آب چاه W18 برابر با ۶/۳۶ mg/l واقع در جنوب دشت اندازه‌گیری شده است. بیش از ۹۸٪ نمونه‌های آب زیرزمینی غلظت فلوراید بالاتر از حد مجاز اعلام شده توسط WHO (۱/۵ mg/l) دارند در حالیکه در تمام نمونه‌های آب سطحی غلظت فلوراید کمتر از حد مجاز WHO می‌باشد.

همبستگی فلئور با سایر املاح

نتایج بررسی ماتریس همبستگی بین عناصر مختلف در نمونه‌های آب در (جدول ۳) مشاهده می‌گردد. به جز همبستگی منفی بین فلئور و بی‌کربنات، فلئور با دیگر کاتیون‌ها و آنیون‌ها به جز نترات از همبستگی مثبت و سطح اطمینان بالایی برخوردار است. بیشترین ضریب همبستگی فلئور با آنیون سولفات است و پس از آن به ترتیب با کلسیم، سدیم، منیزیم، پتاسیم و کلر بیشترین

جدول ۲. خلاصه آماری غلظت فلوراید تفکیک شده بر اساس نسبت به تیپ آب و نوع منبع آبی و نتایج آزمون کرومکال والیس

معیار ارزیابی	سطح معنی داری	رده	تعداد	میانگین	میانه	محدوده تغییرات	حداقل	حداکثر	انحراف از معیار	چولگی	کشیدگی
۳ ۳	۰/۰۰۱	SO ₄	۱۶	۳/۸۲	۳/۸۰	۴/۰۶	۲/۳۰	۶/۳۶	۰/۹۷	۱/۰۱	۲/۲۸
		Cl-SO ₄	۲۸	۳/۳۶	۳/۶۲	۴/۰۶	۰/۷	۴/۷۶	۰/۹۹	-۰/۸۷	۰/۵۰
		Cl	۱۴	۲/۸۴	۳/۱۶	۴/۴۲	۰/۲۲	۴/۶۴	۱/۲۹	-۰/۷۹	۰/۰۲۰
		HCO ₃	۴	۰/۴۰	۰/۳۶	۰/۷۳	۰/۰۸	۰/۸۱	۰/۳۱	۰/۶۶	۰/۳۳
۳ ۳	۰/۰۰۰	چاه	۴۸	۳/۶۲	۳/۶۶	۴/۴۶	۱/۹۰	۶/۳۶	۰/۸۳	۰/۴۳	۱/۵۹
		چشمه	۲	۲/۸۲	۲/۸۲	۳/۶۳	۱/۰۱	۴/۶۴	۲/۵۷	۰/۰	۰/۰
		شرب	۵	۲/۷۲	۲/۵۶	۱/۶۰	۲/۰۰	۳/۶۰	۰/۸۲	-۰/۲۹	۱/۱۴
		آب انبار	۶	۰/۴۲	۰/۳۶	۰/۷۳	۰/۰۸	۰/۸۱	۰/۲۹	۰/۳۴	۱/۷۴

جدول ۳. ماتریس همبستگی نمونه‌های آب منطقه مطالعاتی

پارامتر	Cl ⁻										
	pH	EC	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	F ⁻	NO ₃ ⁻	
pH	۱/۰۰										
EC	-۰/۴۳**	۱/۰۰									
HCO ₃ ⁻	-۰/۲۱	۰/۱۰	۱/۰۰								
SO ₄ ²⁻	-۰/۴۴**	۰/۸۶**	-۰/۰۷	۱/۰۰							
Cl ⁻	-۰/۳۹**	۰/۹۵**	۰/۱۹	۰/۷۵**	۱/۰۰						
Ca ²⁺	-۰/۴۹**	۰/۸۱**	-۰/۰۵	۰/۸۷**	۰/۷۵**	۱/۰۰					
Mg ²⁺	-۰/۳۹**	۰/۸۲**	-۰/۰۲	۰/۷۹**	۰/۷۴**	۰/۶۶**	۱/۰۰				
Na ⁺	-۰/۳۲**	۰/۹۴**	۰/۱۳	۰/۸۱**	۰/۹۳**	۰/۷۵**	۰/۷۲**	۱/۰۰			
K ⁺	-۰/۳۳**	۰/۸۱**	-۰/۰۴	۰/۷۶**	۰/۷۶**	۰/۷۰**	۰/۶۵**	۰/۸۲**	۱/۰۰		
F ⁻	-۰/۴۳**	۰/۷۹**	-۰/۰۸	۰/۸۲**	۰/۶۸**	۰/۷۷**	۰/۷۰**	۰/۷۱**	۰/۶۹**	۱/۰۰	
NO ₃ ⁻	-۰/۰۱	۰/۳۲**	۰/۲۱	۰/۲۹*	۰/۲۹*	۰/۲۶*	۰/۳۲*	۰/۳۲*	۰/۱۷	۰/۲۴	۱/۰۰

آب غلظت آنها نیز افزایش می‌یابد. نیترات ارتباط معناداری با سایر پارامترها ندارد و در آنالیز خوشه‌ای نیز در فاصله دورتر با سایر پارامترهای گروه اول و دوم قرار گرفته است. این موضوع می‌تواند نشان‌دهنده منشاء متفاوت نیترات و ناشی از زهاب برگشتی کشاورزی به آب‌های زیرزمینی باشد. بیکربنات نیز جدا از سایر عناصر قرار گرفته است که احتمالاً به دلیل اشباع بودن نمونه‌ها نسبت به کربنات کلسیم و منیزیم و محدوده تغییرات کم این آنیون می‌باشد.

تعامل آب-سنگ

به طور کلی رخداد فلوتور در آب‌های طبیعی ارتباط نزدیکی با فراوانی آن در کانی‌ها و سنگ‌های منطقه دارد. این عنصر به‌طور وسیعی در ترکیب با کانی‌هایی مانند فلوریت، مسکوویت، بیوتیت، هورنبلند، توپاز، تورمالین و فلوروآپاتیت یافت می‌شود (Hamilton et al., 1982). هوازدگی و تجزیه این کانی‌ها توسط آب باعث افزایش غلظت فلوتور می‌شود. حضور برخی یا مجموعه‌ای از این کانی‌ها می‌تواند دلیلی بر غلظت بالای فلوراید مشاهده شده در منطقه مطالعاتی باشد. بدین منظور پنج نمونه سنگ برای انجام تجزیه XRD نیمه کمی و تعیین نوع کانی‌ها به مرکز پژوهش متالوژی رازی تهران ارسال گردید. نتایج XRD در جدول ۵- آورده شده است. نتایج وجود کانی‌های فلوتوردار رسی (ایلیت و مونت

در مولفه سوم بیکربنات به تنهایی قرار دارد و ۱۱/۳٪ از واریانس کل را به خود اختصاص داده است. با توجه به اینکه بیکربنات در آب‌های با املاح بالا خیلی زود به حد اشباع می‌رسد لذا روند مشابه با سایر املاح که در فاکتور یک تجمع پیدا کرده‌اند نشان نمی‌دهد. در واقع با ادامه فرآیند انحلال، غلظت بیکربنات به دلیل اینکه آب نسبت به کربنات کلسیم و منیزیم به حد اشباع رسیده است افزایش نمی‌یابد. قابل ذکر است که پارامترهای pH و دما به دلیل رنج محدود آنها و فاکتور استخراج (Extraction) پایین و عدم همبستگی با سایر پارامترها از آنالیز تحلیل عاملی کنار گذاشته شده‌اند.

به منظور دسته‌بندی عناصر بر اساس روابط ژئوشیمیایی از آنالیز خوشه‌ای نیز در این تحقیق استفاده شده است. در آنالیز خوشه‌ای عناصر یا متغیرهای آماری بر اساس میزان همبستگی آماری به خوشه‌هایی تقسیم می‌شوند که بیانگر میزان ارتباط آن‌ها با یکدیگر است. نتایج آنالیز خوشه‌ای نیز انطباق مناسبی با تحلیل عاملی دارد و نشان می‌دهد که سدیم، کلسیم و هدایت الکتریکی در یک خوشه قرار گرفته‌اند (شکل ۶). همچنین این پارامترها در مرتبه‌های بالاتری با کلسیم و سولفات، منیزیم و فلوراید در ارتباطند. بر این اساس می‌توان گفت که این عناصر از جمله فلوتور منشا یکسانی داشته و همزمان با افزایش هدایت الکتریکی و شوری

جدول ۴. نتایج تحلیل مولفه‌های اصلی در نمونه‌های آب

	مؤلفه‌ها		
	۱	۲	۳
EC	۰/۹۶۹	۰/۰۹۱	۰/۰۵۸
HCO ₃	۰/۰۳۹	۰/۱۶۱	۰/۹۵۶
SO ₄	۰/۹۴۰	۰/۱۳۳	-۰/۰۴۲
Cl	۰/۹۱۴	۰/۰۱۵	۰/۳۱۲
Ca	۰/۸۳۵	۰/۰۷۹	-۰/۰۹۳
Mg	۰/۷۹۷	۰/۲۳۵	-۰/۰۳۷
Na	۰/۹۲۳	۰/۰۶۱	۰/۳۰۱
K	۰/۷۱۹	۰/۱۸۴	۰/۱۷۴
F	۰/۸۱۵	۰/۲۸۵	-۰/۲۰۸
NO ₃	۰/۱۷۷	۰/۹۵۱	۰/۱۸۱

منشا احتمالی فلئوئور

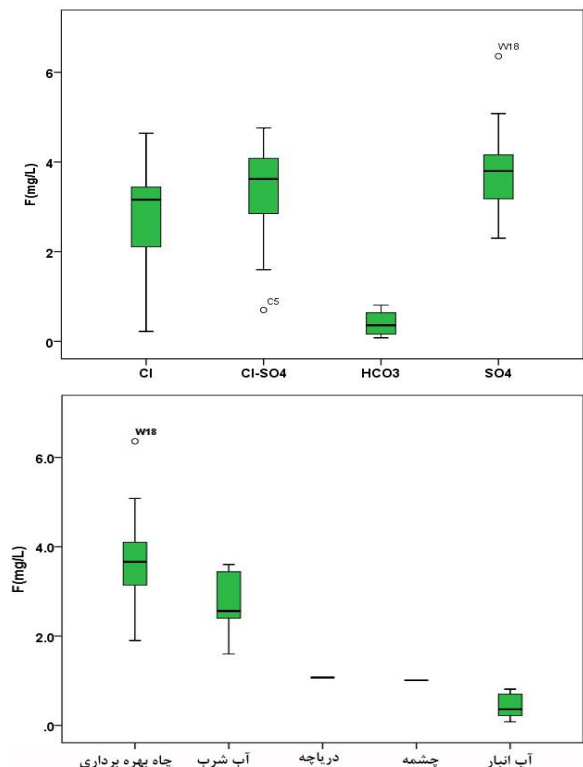
نتایج آنالیزهای شیمیایی آب و سنگ و بررسی‌های آب زمین شیمی و آماری نشان می‌دهد که محتمل‌ترین منشا فلئوئور در آب منطقه در نتیجه آزادسازی فلئوئور از کانی‌های فلئوئوردار در خاک و رسوبات منطقه شامل کانی‌های فلئوئوردار رسی (ایلپت و مونت موریلونیت) و میکا (بیوتیت و مسکوویت) و نیز فلئوئورآپوفیلیت صورت گیرد به طوری‌که طی جریان آب زیرزمینی و برهمکنش آب با مواد آبخوان، فلئوئور از این کانی‌ها آزاد شده و وارد محیط آب می‌گردد. غلظت فلئوئور در آب همبستگی بالایی با کل املاح موجود در آب نشان می‌دهد. این همبستگی که نتیجه افزایش همزمان شوری و فلئوئور در آب است می‌تواند در نتیجه تبخیر از آب زیرزمینی یا برهمکنش آب با محیط آبخوان ایجاد گردد. با توجه به اینکه عمق سطح ایستابی در آبخوان صحرای باغ بیش از ۱۰ متر است لذا تبخیر از آب زیرزمینی این آبخوان منتهی است و به نظر می‌رسد که علت افزایش غلظت فلئوئور توام با سایر املاح برهم کنش آب با محیط آبخوان در طول مسیر جریان می‌باشد. در واقع در حالیکه افزایش سایر املاح از راه انحلال کانی‌های هالیدی، سولفاتی و کربناتی در مسیر جریان صورت می‌گیرد فرصت کافی برای آزادسازی فلئوئور از کانی‌های فلئوئوردار به درون آب نیز فراهم می‌گردد. این کانی‌ها با توجه به نتایج تجزیه سنگ در منطقه و در اثر فرسایش سازندهای گچساران و گوری همراه با سنگ‌های کربناته و سولفات منشا گرفته از این سازندها در ابرفتهای منطقه تجمع یافته اند. همچنین چاه‌هایی که بیشینه غلظت فلئوئور در آنها اندازه‌گیری شده شامل چاه‌های W10، W16 و W43 (به ترتیب دارای غلظت فلئوئور برابر با ۴/۷۲، ۵/۰۸، ۶/۳۶) در مسیر آبراهه‌هایی قرار دارند که در حوضه آبرگیر خود بخش بیشتری از سازندهای گچساران و گوری را دارا می‌باشند.

تعیین دوز بهینه فلئوئور در آب آشامیدنی در منطقه مطالعاتی

مقدار دوز بهینه فلوراید در آب آشامیدنی، بر اساس متوسط سالانه حداکثر دمای هوای روزانه برای حداقل پنج سال است و با توجه به رابطه زیر محاسبه می‌شود (Galagan et al. 1957; Messaitfa 2008).

موریلونیت) و میکا (بیوتیت و مسکوویت) و نیز فلئوئورآپوفیلیت را نشان می‌دهد. کانی‌های بیوتیت و مسکوویت به صورت ریزدانه در سنگ دیده می‌شوند و به دلیل دارا بودن سطح تماس بیشتر، انحلال‌پذیری آنها افزایش می‌یابد (Deutsch, 1997). در آب‌های اسیدی فلوراید جذب سطحی رس‌ها می‌شود در حالی که در آب‌های قلیایی عمل واجذب صورت می‌گیرد. آب قلیایی همراه با اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک احتمالاً در طولانی مدت باعث برهم‌کنش آب-کانی شده و فلوراید را در آب زیرزمینی آزاد می‌کند.

نمونه‌های R-Gm، (R-Gs1، R-Gs2) و (R-Mn1، R-Mn2) به ترتیب از سازندهای گوری، گچساران و میشان گرفته شدند. همانطور که (جدول ۵) نشان می‌دهد تنها نمونه‌های گرفته شده از سازندهای گوری و گچساران دارای کانی‌های فلئوئوردار هستند و در نمونه‌های برداشت شده از سازندهای هیچگونه کانی فلئوئوردار مشاهده نمی‌شود. (جدول ۶) نتایج آنالیز کروماتوگرافی یونی نمونه‌های سنگ را نشان می‌دهد. نتایج مقادیر بالای فلئوئور را در نمونه‌های R-Gs (۱۲۴۳۸ mg/kg) و R-Gm (۵۲۴۴ mg/kg) که به ترتیب از سازندهای گچساران و گوری گرفته شده است را نشان می‌دهد. نمونه گرفته شده از سازندهای میشان R-Mn مقدار کمتری فلوراید برابر با ۹۷ mg/kg را دارا است. بر طبق این مشاهدات می‌توان گفت که به احتمال زیاد غلظت‌های بالای فلوراید در منطقه مطالعاتی ناشی از حضور کانی‌های فلئوئوردار در سازندهای گچساران و گوری می‌باشد و سازندهای نقش چندانی در افزایش میزان فلئوئور ندارد.



شکل ۵. الف: نمودار جعبه‌ای نشان‌دهنده غلظت فلوراید در آب زیرزمینی در ارتباط با تیپ آب، ب: نمودار جعبه‌ای نشان‌دهنده غلظت فلوراید در آب زیرزمینی در ارتباط با منبع آب

$$D = \frac{0.34}{(-0.038 + (0.0062T_m))}$$
 (رابطه ۱)

D: مقدار بهینه فلوراید در آب بر حسب میلی گرم بر لیتر و T_m : میانگین بیشینه دما برحسب فارنهایت می باشد. با فرض مصرف دو لیتر آب آشامیدنی در طول روز و میانگین دمای $23/9^{\circ}C$ ($75/02^{\circ}F$)، غلظت بهینه فلوراید

در آب منطقه مطالعاتی $0/8 \text{ mg/l}$ محاسبه می گردد که کمتر از استاندارد WHO می باشد.

جدول ۵. نتایج XRD نمونه های سنگ

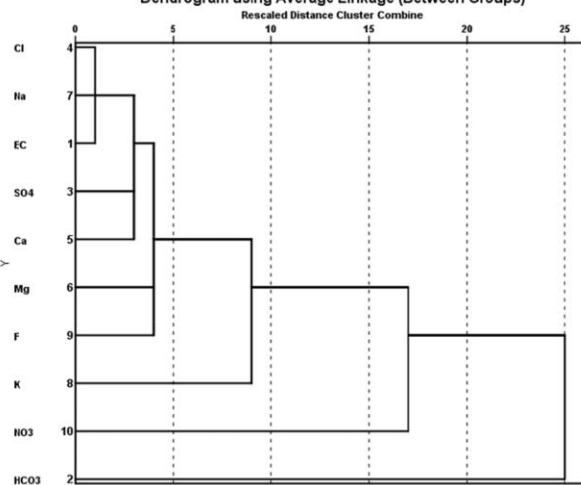
Rock Sample	R-Gm	R-Gs1	R-Gs2	R-Mn1	R-Mn2
Minerals					
Calcite	۳۳/۳	-	-	۱۷	۷۷
Dolomite	-	۶۳/۲	۸۹/۷	۷۳	۸
Quartz	۲۴/۸	-	-	۶	۱۵
Muscovite	۱۳/۸	۲/۴	-	-	-
Illite	۳/۱	۱/۵	۶/۴	-	-
Talc	۱/۶	-	-	-	-
Biotite	-	-	۱/۴	-	-
Montmorillonite	۵/۱	-	-	-	-
Fluorapophyllite	۲/۶	-	-	-	-
Orpiment	۱/۷	-	-	-	-
Cerite	۴/۳	-	-	-	-
Ankerite	-	۱۲/۱	-	-	-
Allanite	-	۱۹/۴	-	-	-
Variscite	۴/۹	۰/۹	-	-	-
Feldspar(Ca,Na)	۰/۳	-	-	۴	-

نتیجه گیری

دشت صحرای باغ در جنوب شهرستان لارستان و در مرز استان های فارس و هرمزگان واقع شده است. آب زیرزمینی به عنوان منبع اصلی تامین آب شرب و کشاورزی در صحرای باغ استفاده می شود. مشاهدات میدانی اولیه نشان دهنده ابتلای ساکنین منطقه صحرای باغ به فلوروسیس دندانی خفیف تا شدید می باشد. کیفیت آب زیرزمینی در دشت صحرای باغ در محدوده آب های لب شور تا شور قرار دارد و هدایت الکتریکی آب زیرزمینی دشت بین ۱۱۷۰ تا ۱۱۰۰۰ میکروموس بر سانتیمتر تغییر می کند. هدایت الکتریکی نمونه های آب انبار منطقه بین ۲۲۰ تا ۵۳۰ میکروموس بر سانتیمتر تغییر می کند که جزو آب های شیرین طبقه بندی می شوند. میانگین غلظت فلوراید در آب زیرزمینی دشت صحرای باغ برابر با $3/5 \text{ mg/l}$ و کمینه و بیشینه آن به ترتیب $1/01$ و $6/36$ میلی گرم در لیتر اندازه گیری شده است. بیش از ۹۸٪ نمونه های آب زیرزمینی غلظت فلوراید بالاتر از حد مجاز اعلام شده توسط WHO ($1/5 \text{ mg/l}$) دارند در حالیکه در تمام نمونه های آب سطحی غلظت فلوراید کمتر از حد مجاز WHO می باشد.

غلظت فلوراید تفاوت معنی داری را در نمونه های آب با تیپ های مختلف نشان می دهد به طوریکه بیشترین میانگین فلوراید در تیپ آب های سولفات و برابر با $3/82$ می باشد. همچنین غلظت فلوراید در نمونه های گرفته شده از منابع آبی مختلف شامل چاه های بهره برداری، آب شرب، آب انبار و دریاچه نیز متفاوت می باشد و چاه های بهره برداری منطقه بیشترین میانگین فلوراید ($3/62 \text{ mg/L}$) را دارا می باشند.

Dendrogram using Average Linkage (Between Groups)



شکل ۶. نمودار شاخه درختی آنالیز خوشه ای پارامترهای شیمیایی در نمونه های آب

جدول ۶. نتایج آنالیز کروماتوگرافی یونی نمونه های سنگ

نمونه سنگ	سازند	فلوراید (mg/kg)
R-Gs	گچساران	۱۲۴۳۸
R-Gm	گوری	۵۲۴۴
R-Mn	میشان	۹۷

در نهایت نتایج تجزیه شیمیایی آب و سنگ و بررسی‌های آب زمین شیمی و تجزیه‌های آماری مختلف نشان می‌دهد که محتمل‌ترین منشأ فلئور در آب زیرزمینی منطقه از آزادسازی فلئور از کانی‌های فلئوردار در خاک و رسوبات منطقه شامل کانی‌های فلئوردار رسی (ایلپیت و مونت موریلونیت)، میکا (بیوتیت و مسکوویت) و نیز فلئوروپوفیلیت و در اثر تماس آب با مواد آبخوان صورت می‌گیرد. در حالیکه افزایش سایر املاح از راه انحلال کانی‌های هالیدی، سولفاتی و کربناتی در مسیر جریان صورت می‌گیرد و فرصت کافی برای آزادسازی فلئور از کانی‌های فلئوردار به درون آب نیز فراهم می‌گردد.

با توجه به نتایج به دست آمده در این پژوهش استفاده از منابع آبی موجود در منطقه به شدت سلامت ساکنین منطقه را تهدید می‌کند. از طرفی با توجه به اینکه منابع فلئور در سازندهای منطقه و آبرفتهای حاصل از فرسایش آنها گسترده می‌باشد پیشنهاد می‌گردد که از منابع آب جایگزین مانند سازندهای کارستی مناطق مجاور و یا روشهای حذف فلئور در آب شرب این منطقه استفاده گردد.

روش‌های آماری چند متغیره شامل تحلیل مولفه‌های اصلی و آنالیز خوشه‌ای نشان می‌دهد که پارامترهای فیزیکی و شیمیایی نمونه‌های آب در سه طبقه قرار می‌گیرند. گروه اول که فلئور، هدایت الکتریکی همراه با یون‌های سدیم، کلر، سولفات، کلسیم و منیزیم را در بر می‌گیرد. یون‌های نیترات (به دلیل منشأ متفاوت آن) و بیکرینات (به دلیل محدوده تغییرات کم آن) در گروه‌های جداگانه قرار می‌گیرند. تجزیه XRD بر روی نمونه‌های سنگ منطقه نیز انجام گرفته است و نتایج آن نشان می‌دهد که تنها نمونه‌های گرفته شده از سازندهای گوری و گچساران دارای کانی‌های فلئوردار هستند و در نمونه‌های گرفته شده از سازند میشان هیچگونه کانی فلئورداری مشاهده نمی‌شود. همچنین تجزیه کروماتوگرافی یونی نمونه‌های سنگ مقادیر بالای فلئور بالا در نمونه های گچساران (mg/kg) ۱۲۴۳۸ و میشان (۵۲۴۴ mg/kg) نشان می‌دهد در حالیکه غلظت پایینی در نمونه‌های سازند میشان دارد.

منابع

- احیاء. ف.، ۱۳۹۰، زمین شیمی عناصر نادر خاکی در کانی فلوریت کانسار بزجان (چکاپ)، استان مرکزی، مجله زمین شناسی کاربردی پیشرفته، شماره ۲، ص ۱۱۳-۱۲۵.
- اغنیایی. ف.، ۱۳۹۴، بررسی منشأ فلئور در منابع آب محدوده صحرای باغ، لارستان، پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه شیراز، ص ۱۶۱.
- آقنابتی. ع.، ۱۳۸۳، زمین شناسی ایران، انتشارات سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ص ۵۸۶.
- جلیلیان، ع.، لاسمی، ی.، آقنابتی، ع.، پتروگرافی و زمین‌شیمی دولومیت‌های سازند سورمه در منطقه فارس داخلی، جنوب باختری ایران، مجله زمین شناسی کاربردی پیشرفته، شماره ۲، ص ۶۷-۷۶.
- مهندسین مشاور سنگاب زاگرس، ۱۳۹۰، گزارش توجیهی پیشنهاد ممنوعیت در محدوده مطالعاتی صحرای باغ.
- Aiuppa, A., Baker, D.R. and Webster, J.D., 2009. Halogens in volcanic systems. *Chemical Geology*, 263(1), pp.1-18.
- Alabdulaaly. A.I., Al-Zarah. A.I., & Khan. M.A., 2013, Occurrence of fluoride in ground waters of Saudi Arabia, *Applied Water Science*, Vol:3, No:3, p: 589-595.
- Amini. H., Haghghat. G.A., Yunesian. M., Nabizadeh. R., Mahvi. A.H., Dehghani. M.H., ... & Faramarzi. H., 2016, Spatial and temporal variability of fluoride concentrations in groundwater resources of Larestan and Gerash regions in Iran from 2003 to 2010, *Environmental geochemistry and health*, Vol:38, No:1, p: 25-37
- Battaleb-Looie. S., Moore. F., Jacks. G., & Ketabdari. M.R., 2012, Geological sources of fluoride and acceptable intake of fluoride in an endemic fluorosis area, southern Iran, *Environmental geochemistry and health*, Vol:34, No:5, p: 641-650.
- Battaleb-Looie. S., Moore. F., Jafari. H., Jacks. G., & Ozsvath. D., 2012, Hydrogeochemical evolution of groundwaters with excess fluoride concentrations from Dashtestan, South of Iran, *Environmental Earth Sciences*, Vol:67, No:4, p: 1173-1182.
- Bishnoi. M., & Arora. S., 2007, Potable groundwater quality in some villages of Haryana, India: Focus on fluoride, *Environmental biology*, Vol:28, No:2, p: 291-294.
- Chae. G.T., Yun. S.T., Mayer. B., Kim. K.H., Kim. S.Y., Kwon. J.S., ... & Koh. Y.K., 2007, Fluorine geochemistry in bedrock groundwater of South Korea, *Science of the Total Environment*, Vol:385, No: 1, p: 272-283.
- Fawell. J., Bailey. K., Chilton. J., Dahi. E., Fewtrell. L., & Magara. Y., 2006, Fluoride in Drinking-water (World Health Organization Drinking Water), p: 134.
- Fekri. M., & Kasmaei. L.S., 2013, Fluoride pollution in soils and waters of Koohbanan region, southeastern Iran, *Arabian Journal of Geosciences*, Vol:6, No:1, p: 157-161.
- Falvey, D., 1999, Groundwater geochemistry. In: Thomas J (ed) Sustainability. *Earthwise Magazine- British Geological Survey*, New Basford, Nottigham, pp. 13-22
- Gao. X., Wang. Y., Li. Y., & Guo. Q., 2007, Enrichment of fluoride in groundwater under the impact of saline water intrusion at the salt lake area of Yuncheng basin, northern China, *Environmental geology*, Vol:53, No:4, p: 795-803.
- Gizaw. B., 1996, The origin of high bicarbonate and fluoride concentrations in waters of the Main Ethiopian Rift Valley, East African Rift system, *Journal of African Earth Sciences*, Vol:22, No:4, p: 391-402.
- Keshavarzi. B., Moore. F., Esmaili. A., & Rastmanesh. F., 2010, The source of fluoride toxicity in Muteh area, Isfahan, Iran, *Environmental Earth Sciences*, Vol:61, No:4, p: 777-786.
- Kumar. A., & Singh. C.K., 2015, Characterization of Hydrogeochemical Processes and Fluoride Enrichment in Groundwater of South-Western Punjab, *Water Quality, Exposure and Health*, Vol:7, No:3, p: 373-387.

- Lahermo, P., Mannio, J. and Tarvainen, T., 1995, The hydrogeochemical comparison of streams and lakes in Finland. *Applied geochemistry*, 10(1), pp.45-64.
- Moghaddam. A.A., & Fijani. E., 2008, Distribution of fluoride in groundwater of Maku area, northwest of Iran, *Environmental geology*, Vol:56, No:2, p: 281-287.
- Oruc. N., 2008, Occurrence and problems of high fluoride waters in Turkey: an overview, *Environmental Geochemistry and Health*, Vol:30, No:4, p: 315-323.
- Ozsvath. D.L., 2009, Fluoride and environmental health: a review, *Reviews in Environmental Science and Biotechnology*, Vol:8, No:1, p: 59-79.
- Rafique. T., Naseem. S., Usmani. T.H., Bashir. E., Khan. F.A., & Bhanger. M.I., 2009, Geochemical factors controlling the occurrence of high fluoride groundwater in the Nagar Parkar area, Sindh, Pakistan, *Journal of hazardous materials*, Vol:171, No:1, p: 424-430.
- Rao, N.R., Rao, N., Rao, K.S.P. and Schuiling, R.D., 1993. Fluorine distribution in waters of Nalgonda district, Andhra Pradesh, India. *Environmental Geology*, 21(1-2), pp.84-89.