

Investigating the relationship between the fluoride concentration in groundwater and spatial distribution of loess deposits in the Gorgan Plain

ABSTRACT

Background and purpose: Fluoride is one of the important ions in drinking water, which in low or high concentrations causes some problems related to human health, such as tooth decay, dental fluorosis, or skeletal fluorosis. Present study was carried out to investigate the fluoride concentration as well as the effective factors in the fluoride distribution in drinking water supply sources of Golestan province.

Materials and methods: For this purpose, Golestan province was divided into four regions according to the distribution of loess. Next, groundwater samples from these areas were collected and chemical parameters of TDS, HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , NO_2^- , F^- , PO_4^{2-} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ and Fe^{2+} analyzed. After hydrogeochemical and statistical assessment, the relationship between fluoride and loess deposits and some physicochemical parameters were investigated.

Results: Results of four regions showed that the fluoride amount is directly related to the loess deposits spread, so that in region 1 including Maraveh Tappeh, Kalaleh, and Gonbad there is the most spread of loess deposits, the fluoride amount is more than other areas. Results revealed that high correlation of fluoride with some ions such as calcium, bicarbonate, iron, sodium, and phosphate. Also, there is a high correlation between electrical conductivity as a salinity parameter and fluoride concentration in groundwater. So, an increase in salinity, the fluoride amount in the province's water resources has increased significantly. Water-rock reaction is the main factor controlling the groundwater chemistry and as a result, most possible factor for the fluoride leaching into groundwater.

Conclusion: Chemical cement of loess along with some clay minerals is the main source of fluoride in groundwater sources in region 1 with the most spread of loess deposits. Saline water of the lower layers and their intrusion into the fresh water aquifer can be considered as the fluoride second source in Gorgan Plain.

Keywords: Drinking water, Fluoride, Loess deposits, Hydrochemistry, Salinity

Mojtaba G. Mahmoodlu

*Assistant Professor at Rangeland and Watershed Department, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Gonbad Kavous University, Gonbad Kavous, Iran. (corresponding author): mmahmoodlu@yahoo.com

Mostafa Raghimi²,

²Professor at Geology Department, Faculty of Sciences, Golestan University, Gorgan, Iran

Maryam Ramezani Mojaveri³

³Expert in therapy management of Social Security, Golestan Province, Iran

Received:2022/08/06

Accepted:2022/10/07

Document Type: Research article

► **Citation:** Ghare Mahmoodlu M, Raghimi M, Ramezani Mojaveri M. Investigating the relationship between the fluoride concentration in groundwater and spatial distribution of loess deposits in the Gorgan Plain. *Iranian Journal of Research in Environmental Health*. Winter 2023; 8(4): 378-391.

بررسی ارتباط بین غلظت فلوراید در آب‌های زیرزمینی و پراکندگی مکانی تشکیلات لسی در دشت گرگان

مجتبی قره محمودلو

* استادیار، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی
و منابع طبیعی، دانشگاه گنبد کاووس، گنبد کاووس،
ایران. (نویسنده مسئول):
mmahmoodlu@yahoo.com

مصطفی رقیمی

استاد گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه
گلستان، گرگان، ایران.

مریم رضانی مجاوری

کارشناس ارشد مدیریت درمان، تأمین اجتماعی استان
گلستان، شهر گرگان، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۵/۱۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۷/۱۵

نوع مقاله: پژوهشی

چکیده

زمینه و هدف: فلوراید، یکی از یون‌های مهم در آب شرب است که در غلظت‌های کم و یا زیاد باعث بروز برخی مشکلات در رابطه با سلامت انسان نظیر پوسیدگی دندان، فلوتوروسیس دندان و یا فلوتوروسیس اسکلتی می‌شود. پژوهش حاضر با هدف بررسی غلظت فلوراید و همچنین عوامل مؤثر در پراکندگی میزان فلوراید در منابع تأمین آب شرب استان گلستان انجام شد.

مواد و روش‌ها: در این مطالعه با توجه به نحوه پراکندگی نهشته‌های لسی، استان گلستان به چهار منطقه تقسیم‌بندی شد. در مرحله بعد نمونه‌های مربوط به آب زیرزمینی از این مناطق جمع‌آوری و پارامترهای شیمیایی نظیر Fe^{2+} ، TDS ، HCO_3^{-} ، Cl^{-} ، SO_4^{2-} ، NO_3^{-} ، NO_2^{-} ، F^{-} ، PO_4^{2-} ، Ca^{2+} ، Mg^{2+} ، Na^{+} ، K^{+} آنالیز شدند. پس از بررسی‌های هیدروژئوشیمیایی و آماری، ارتباط بین فلوراید با نهشته‌های لسی و برخی پارامترهای شیمیایی بررسی شد.

یافته‌ها: نتایج مربوط به مناطق چهارگانه نشان داد، میزان فلوراید ارتباط مستقیم با گسترش نهشته‌های لسی دارد؛ به طوری که در منطقه ۱ شامل شهرهای مراوه‌تپه، کلاله و گنبد با بیشترین پراکندگی نهشته‌های لسی، میزان فلوراید بیش از مناطق دیگر بود. یون فلوتور با برخی یون‌ها نظیر کلسیم، بی‌کربنات، آهن، سدیم و فسفات همبستگی بالایی داشت. همچنین همبستگی بالایی بین هدایت الکتریکی به‌عنوان پارامتر شوری و غلظت فلوراید در آب زیرزمینی و دیگر منابع آبی در استان وجود داشت؛ به طوری که با افزایش شوری، میزان فلوراید در منابع آبی استان افزایش چشم‌گیری داشت. بر اساس نمودار گیبس، واکنش آب-سنگ، عامل اصلی کنترل‌کننده شیمی آب زیرزمینی و در نتیجه، محتمل‌ترین عامل برای ورود فلوراید به آب زیرزمینی در محدوده مورد مطالعه می‌باشد.

نتیجه‌گیری: سیمان شیمیایی لس‌ها به‌همراه برخی کانی‌های رسی، منشأ اصلی فلوراید در منابع آب زیرزمینی در منطقه ۱ با بیشترین پراکندگی نهشته‌های لسی است. آب شور لایه‌های تحتانی و نفوذ آنها به سفره‌های آب شیرین منطقه را می‌توان به‌عنوان منشأ دوم فلوراید در دشت گرگان به‌حساب آورد.

کلید واژه‌ها: آب آشامیدنی، شوری، فلوراید، نهشته‌های لسی، هیدروشیمی

◀ **استاد:** قره محمودلو م، رقیمی م، رضانی مجاوری م. بررسی ارتباط بین غلظت فلوراید در آب‌های زیرزمینی و پراکندگی مکانی تشکیلات لسی در دشت گرگان. *فصلنامه پژوهش در بهداشت محیط*. زمستان ۱۴۰۱؛ ۸(۴): ۳۷۸-۳۹۱.

مقدمه

فلوئور به عنوان یک عنصر ریزمغذی ضروری برای بدن است که اثرات قابل توجهی بر سلامت انسان (رشد دندان و استخوان‌ها) به ویژه از راه نوشیدن آب آشامیدنی دارد. غلظت فلوراید در آب آشامیدنی مانند یک شمشیر دولبه می باشد که کمبود و افزایش آن در طولانی مدت منجر به شیوع بیماری های دهان، دندان و ناراحتی های استخوانی می شود. شدت صدمه به وسیله مدت زمان در معرض قرارگیری و غلظت فلوراید تعیین می شود (۱). این عنصر در غلظت های کمتر از ۰/۵ میلی گرم در لیتر باعث پوسیدگی دندان می شود و در غلظت های بیش از ۱/۵ میلی گرم در لیتر، باعث بیماری بومی به نام فلوئوروسیس دندان و جذب در غلظت های بیش از ۳ میلی گرم در لیتر، باعث فلوئوروسیس اسکلتی می شود. فلوئوروسیس دندان به وسیله تغییر رنگ به صورت لکه ها یا نوارهایی افقی در سطح دندان مشخص می شود و فلوئوروسیس اسکلتی هنگامی رخ می دهد که فلوراید در مفاصل زانو، گردن و استخوان های شانه انباشته شده و باعث اختلالات حرکتی می گردد (۲، ۳).

آب های زیرزمینی، یکی از مهم ترین منابع تأمین آب شیرین مورد نیاز انسان است. حدوداً ۹۷٪ از کل آب های شیرین کره زمین به صورت آب های سطحی ذخیره شده است و فقط ۳٪ آن را آب های زیرزمینی تشکیل می دهد. امروزه بهره برداری از منابع آب زیرزمینی، برای مصارفی چون کشاورزی، صنعت و شرب، توسعه زیادی پیدا کرده است و استفاده از منابع آب زیرزمینی در مناطق خشک و دور از رودخانه ها و دریاچه های آب شیرین، تنها راه تأمین آب برای مصارف مختلف است. آلودگی آب زیرزمینی به فلوراید توسط محیط های مختلف زمین شناسی، از مهم ترین عوامل در محدود کردن استفاده آن در بیشتر کشورها محسوب می شود (۴).

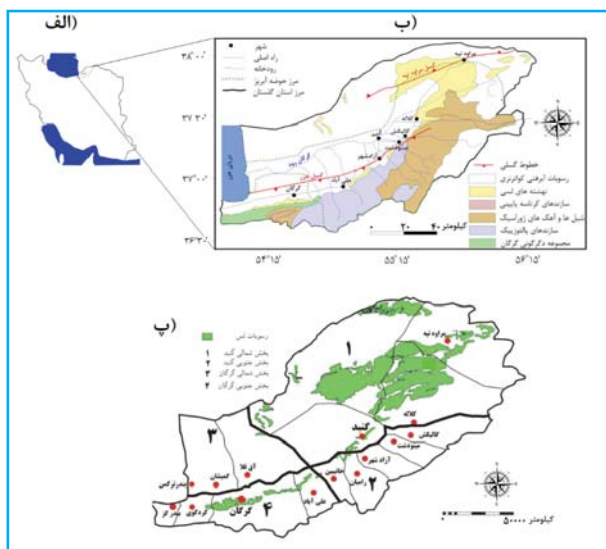
مهم ترین منابع ورود فلوراید به خاک و منابع آبی، هوازدگی شیمیایی برخی کانی های حاوی فلوراید از جمله فلوریت (CaF_2)، کریولیت (Na_3AlF_6)، آپاتیت ($\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$)، فلورومیکا (فلوگپیت) ($\text{KMg}_3(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{F},\text{OH})_2$)، بیوتیت

($\text{Ca}_2\text{Al}_2(\text{Fe}^{3+};\text{Al})$)، اپیدوت ($\text{K}(\text{Mg},\text{Fe})_3\text{AlSi}_3\text{O}_{10}(\text{F},\text{OH})_2$)، توپاز ($\text{Al}_2(\text{SiO}_4)(\text{F},\text{OH})_2$) کریولیت (Na_3AlF_6)، ترمولیت ($\text{Ca}_2\text{Mg}_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$)، هورنبلاند ($\text{Ca}_2(\text{Mg},\text{Fe},\text{Al})_5(\text{Al},\text{Si})_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$) و سنگ های حاوی آنها نظیر گرانیت، بازالت، سنگ های آهکی و شیل است (۴-۶). علاوه بر این فعالیت برخی صنایع نظیر کارخانه های ذوب آلومینیوم، تولید فولاد و آب فلزکاری و استفاده از کودهای فسفاته در زمین های کشاورزی، از دیگر منابع مهم ورود فلوراید به خاک هستند (۷).

توزیع و حرکت فلوراید در زون خاک و آب زیرزمینی پیچیده می باشد. از مهم ترین عوامل کنترل کننده میزان این یون در آب بین منفذی در خاک ها و در نهایت آب های زیرزمینی می توان به درجه هوازدگی خاک ها، میزان و نوع کانی های رسی، pH، غلظت یون های کلسیم و فسفر به همراه اکسیدهای آهن و آلومینیم اشاره کرد (۷، ۸). به طور کلی بیش از ۲۶ کشور در سراسر جهان نظیر آرژانتین، کانادا، شیلی، ایالات متحده، مجارستان، ایتالیا، پاکستان، چین، هند، کنیا، مکزیک، آفریقای جنوبی، تانزانیا و اوگاندا، به دلیل مصرف آب های زیرزمینی حاوی غلظت بالای فلوراید که عمدتاً منشأ زمین شناسی دارد، درگیر بیماری فراگیر فلوئوروسیس دندان هستند. همانند بسیاری از کشورهای دنیا در ایران نیز آب های زیرزمینی، منبع اصلی تأمین آب شرب در اکثر استان ها می باشد (۴، ۶، ۹).

در ایران نیز وجود این بیماری در شهرهایی نظیر ماکو، بازرگان، پلدشت، بوشهر، برازجان، بندرعباس، دامغان، کرمان و برخی نقاط ایران مرکزی گزارش شده است (۱۰). در مقابل در برخی نقاط کشور نظیر استان گلستان، میزان فلوراید در منابع آب زیرزمینی کمتر از حد مطلوب برای شرب می باشد که این امر احتمال بروز پوسیدگی دندان ها را در مناطقی نظیر گلستان به شدت افزایش می دهد. از این رو بررسی میزان این عنصر ریزمغذی ضروری برای بدن در منابع آب زیرزمینی که در بخش شرب استفاده می شود، از اهمیت بالایی برخوردار می باشد. در همین راستا، پژوهش حاضر

قابل توجه سراسر استان را با عرض متوسط ۸ کیلومتر دربرگرفته است. عقب‌نشینی دریای خزر و فرسایش شدید آبی به همراه تراکم آبرفت و رودها، اراضی جلگه‌ای وسیع و اراضی پست و همواری را به وجود آورده است. بخش اعظم شهرهای کلاله، مراوه‌تپه، گنبد، مینودشت، بندرترکمن، آق‌قلا و شهر گرگان بر روی نهشته‌های لسی قرار گرفته‌اند.



شکل ۱. نقشه موقعیت محدوده مورد مطالعه در ایران (الف) به همراه نقشه زمین‌شناسی (ب) و نقشه زون‌بندی استان گلستان بر اساس تشکیلات لسی (پ)

لس‌ها، یکی از گسترده‌ترین نهشته‌های رسوبی دوران چهارم هستند که در سطح وسیع به صورت تپه ماهورهای پست تا نسبتاً مرتفع در محدوده مورد مطالعه گسترش دارند و ضخامت آنها گاه به ۳۰۰ متر می‌رسد (شکل ۱-ب). لس‌ها از جنس رسوبات رسی، سیلتی و ماسه‌های نرم تشکیل شده‌اند و اصولاً به صورت نهشته‌های فشرده و متراکم، فاقد لایه‌بندی و دارای چسبندگی بین دانه‌ای ضعیف می‌باشند و فسیل شکم پایان خشکی نیز در آنها مشاهده می‌شود. این رسوبات، محصول حمل باد هستند و دلیل آن را به این صورت تفسیر کرده‌اند که در دوره‌های بین یخچالی به علت شرایط آب‌وهوایی متفاوت، طوفان‌های عظیم از ناحیه ترکمنستان، مواد دانه‌ریز مانند رس یا سیلت همراه با نمک و گچ را حمل و در برخورد به ارتفاعات کپه داغ و البرز از حرکت باز ایستاده و نواحی پست و حتی دامنه

با هدف بررسی هیدروژئوشیمیایی آب زیرزمینی دشت گرگان و تعیین مکانسیم غالب کنترل‌کننده شیمی آب زیرزمینی، تعیین میزان غلظت فلوراید در منابع آب‌های زیرزمینی و بررسی نقش تشکیلات لسی در تغییرات غلظت فلوراید در آب‌های زیرزمینی انجام شد.

روش کار

منطقه مورد مطالعه: استان گلستان با وسعتی در حدود ۲۰۸۹۳ کیلومترمربع در شمال و شمال شرق کشور بین رشته کوه‌های البرز، دشت‌های جنوبی کشور ترکمنستان، کوه‌های استان خراسان و دریای خزر واقع شده است (شکل ۱). بر اساس آخرین تقسیمات کشوری، این استان دارای ۱۱ شهرستان، ۲۱ بخش، ۱۸ شهر و ۵۰ دهستان می‌باشد. مساحت این استان ۲۰۸۹۳ کیلومتر مربع است. مرکز استان گرگان می‌باشد که ارتفاع آن از سطح دریا ۱۳ متر است. استان گلستان نیز دارای انواع آب‌وهوای معتدل مدیترانه‌ای، معتدل کوهستانی و سرد کوهستانی، خشک و نیمه‌خشک، مرطوب و نیمه‌مرطوب می‌باشد. به طور کلی روند بارش از غرب به شرق و از جنوب به شمال کاهش می‌یابد. میانگین متوسط بارش سالیانه در بخش شرقی ۱۵۰ میلی‌متر تا حدود ۸۰۰ میلی‌متر در قسمت غربی استان گزارش شده است. هم‌چنین در بررسی خطوط هم‌دمای سالانه مشخص شد که در قسمت‌های جنوبی دشت گرگان، متوسط دمای سالانه حدود ۱۶ درجه سانتی‌گراد بوده و هرچه به سمت شمال دشت برویم، بر مقدار دما افزوده شده؛ به طوری که در نزدیک مرز ترکمنستان به بالای ۱۸ درجه سانتی‌گراد می‌رسد. اقلیم دشت گرگان بر اساس روش دومارتن از نیمه‌خشک در شرق تا مرطوب در بخش‌های غربی منطقه مورد مطالعه متغیر می‌باشد (۱۱).

ناهمواری این منطقه به سه ناحیه کوهستانی، کوهپایه‌ای و جلگه‌ای و اراضی پست تقسیم می‌شود. در نواحی کوهستانی استان، سازندهای پرکامبرین تا سنوزوئیک رخمون دارند (شکل ۱-ب). نواحیه کوهپایه‌ای در این استان با ارتفاعی در حدود ۱۰۰-۵۰۰ متری شامل تپه‌های منفرد و با پوشش وسیعی از لس با ضخامت

ارتفاعات را با قشری از لس پوشانیده است. این نهشته‌ها به‌طور گسترده‌ای در پیشانی ارتفاعات مشرف بر جلگه گرگان از حوالی کردکوی تا بخش‌های شمال شرقی استان توسعه دارد (۱۲).

دشت گرگان از اعماق به‌سمت بالا شامل رسوبات دریایی حاوی آب شور می‌باشد. این رسوبات توسط رسوبات آبرفتی پوشیده شده‌اند. ضخامت این آبرفت‌ها در مسیر رودخانه‌ها و مخروط افکنه‌ها زیاد و در فاصله بین رودخانه‌ها دارای ضخامت کمتری می‌باشد. این رسوبات حاصل فرسایش ارتفاعات و مخروط افکنه‌ها می‌باشند (۱۲).

روش کار

در این پژوهش ابتدا با استفاده از نقشه زمین‌شناسی، نقشه پراکندگی تشکیلات لسی در سطح استان تهیه شد. سپس با توجه به نحوه فراوانی و پراکنش لس‌ها، استان گلستان به چهار منطقه تقسیم‌بندی شد. در مرحله بعد از ۱۴۸ منابع آب‌های زیرزمینی (منابع تأمین آب آشامیدنی) در چهار بخش استان در دو فصل بهار و پاییز سال ۱۳۹۸ نمونه‌برداری شد و میزان برخی از پارامترها نظیر pH، درجه حرارت و هدایت الکتریکی در هنگام نمونه‌برداری اندازه‌گیری شد. درحالی‌که میزان پارامترهای شیمیایی نظیر کل مواد جامد محلول، بی‌کربنات، کلراید، سولفات، نیتрат، نیتريت، فلوراید، فسفات، کلسیم، منیزیم، سدیم، پتاسیم و آهن در آزمایشگاه شیمی آب و فاضلاب گرگان اندازه‌گیری شد.

در این مطالعه مقدار برخی پارامترها نظیر دما، pH و هدایت الکتریکی در محل و با استفاده از دستگاه مولتی پارامتر قابل حمل (WTW Multi 3430) و الکترودهای مناسب (WTW, Weilheim, Germany) تعیین شد. مقادیر مابقی پارامترها در آزمایشگاه با استفاده از روش‌های استاندارد موجود برآورد شد. برای اندازه‌گیری غلظت آنیون‌های بی‌کربنات و کلراید از روش تیتراسیون^۱ استفاده شد، در حالی‌که اندازه‌گیری غلظت آنیون سولفات با استفاده از روش کلرید باریم و دستگاه اسپکتروفتومتر انجام شد. جهت اندازه‌گیری کاتیون‌های سدیم و پتاسیم از روش فلیم فتومتر^۲ استفاده شد. غلظت

کاتیون‌های کلسیم و منیزیم با استفاده از روش تیتراسیون تعیین شد. مقادیر آهن و منگنز نمونه‌های آب با استفاده از روش اسپکتروفتومتر جذب اتمی (Model AA-670, Japan) اندازه‌گیری شد. غلظت آنیون‌های نیتريت، نیترات و فسفات با استفاده از اسپکتروفتومتر (HACH, DR5000) با استفاده از روش‌های استاندارد برآورد شد و در نهایت غلظت فلوراید نمونه‌های آب زیرزمینی با استفاده از دستگاه یون کروماتوگراف (Metrohm861) تعیین شد.

در این تحقیق جهت بررسی تکامل هیدروشیمیایی منابع آب‌های زیرزمینی دشت مورد مطالعه، ابتدا تیپ و رخساره هیدروشیمیایی آب با استفاده از دیاگرام‌های استیف، پایپر و دوروف توسط نرم‌افزار AqQa تعیین شد. جهت تعیین عوامل مؤثر در کنترل ترکیب شیمیایی آب از دیاگرام گیبس و برخی از نسبت‌های یونی در طول مسیر جریان و در نهایت برای رسم نقشه و آنالیزهای آماری از نرم‌افزارهای سورفر و اکسل استفاده شد.

نتایج

شیمی یون‌های آب زیرزمینی: میزان یون‌های آب زیرزمینی موجود در آب زیرزمینی به جنس سنگ‌ها، میزان انحلال کانی‌های تشکیل دهنده سنگ‌ها، سرعت و مسیر حرکت آب‌های زیرزمینی بستگی دارد (۱۳). نتایج این پژوهش نشان داد که کلسیم و منیزیم، کاتیون‌های غالب آب در دشت گرگان می‌باشند (جدول ۱)؛ به‌طوری‌که در بیش از ۸۰٪ از نمونه‌های آب، یون‌های کلسیم و منیزیم غالب بودند. همچنین تقریباً در اکثر نمونه‌ها غلظت Mg^{2+} ، Ca^{2+} و Na^{+} کمتر از حد مجاز (به‌ترتیب ۲۰۰، ۱۰۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم) بود (۱۴). نتایج بررسی غلظت یون‌ها نشان داد که بی‌کربنات آنیون، غالب آب زیرزمینی در دشت گرگان می‌باشد. از این رو آب‌های زیرزمینی محدوده مورد مطالعه را می‌توان جزء آب‌های بی‌کربنات به حساب آورد. بر اساس جدول ۱، بیشترین تغییرات در محدوده مورد مطالعه مربوط به دو پارامتر هدایت الکتریکی و کل جامدات محلول و در مقابل کمترین تغییرات مربوط به یون‌های منگنز و آهن بود.

1. Titration method
2. Flame photometer

جدول ۱. نتایج پارامترهای فیزیکوشیمیایی ایستگاه‌های مورد مطالعه در سال ۱۳۹۸ (غلظت آنیون‌ها، کاتیون‌ها و کل جامدات محلول بر حسب میلی‌گرم بر لیتر و هدایت الکتریکی بر حسب میکروموس بر سانتی‌متر^۱)

فصل	پارامتر	بیشترین	کمترین	متوسط	انحراف معیار	واریانس	کشیدهی	چولگی	تعداد نمونه	
بهار	کلسیم	۱۴۴	۵۱/۴	۸۴/۶۸	۱۸/۷۰	۳۴۹/۶۷	۰/۵۵	۰/۷۹	۱۴۸	
	منیزیم	۵۰/۴	۲/۸۸	۲۸/۲۰	۹/۳۰	۸۶/۵۴	۰/۵۳	-۰/۳۱	۱۴۸	
	سدیم	۲۰۰	۲	۴۲/۲۴	۳۳/۶۰	۱۱۲۹/۰۱	۴/۲۷	۱/۷۷	۱۴۸	
	پتاسیم	۷/۶	۰	۱/۵۲	۰/۹۰	۰/۸۱	۱۳/۷۱	۲/۳۲	۱۴۸	
	بی‌کربنات	۳۳۵	۱۶۰	۲۵۸/۹۰	۸۱/۸۹	۱۷۵۴/۵۸	-۰/۴۶	-۰/۳۲	۱۴۸	
	کلراید	۳۵۸/۷	۹/۹	۶۶/۸۹	۵۷/۱۷	۳۲۶۸/۶۷	۹/۱۴	۲/۵۲	۱۴۸	
	سولفات	۳۲۰	۱۰	۷۸/۷۶	۵۳/۵۹	۲۸۷۲/۱۳	۳/۰۳	۱/۱۵	۱۴۸	
	آهن	۰/۵۳	۰/۰۱	۰/۰۳	۰/۰۵	۰/۰۰۳	۵۲/۶۰	۶/۳۳	۱۴۸	
	منگنز	۰/۱۶	۰/۰۰۷	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۰۰۷	۵/۸۱	۲/۲۱	۱۴۸	
	نیترات	۷۹	۱/۳۲	۱۷/۱۴	۱۴/۰۸	۱۹۸/۳۵	۴/۶۰	۱/۹۵	۱۴۸	
	نیتريت	۰/۳۲	۰/۰۰۵	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۰۰۷	۱۰۵/۸۸	۹/۶۳	۱۴۸	
	فسفات	۰/۶۵	۰/۰۲	۰/۲۳	۰/۱۰	۰/۰۰۹	۳/۶۶	۱/۲۱	۱۴۸	
	فلوراید	۰/۸۳	۰/۰۳	۰/۳۶	۰/۱۰	۰/۰۰۹	۵/۱۴	۰/۴۱	۱۴۸	
	کل جامدات محلول	۹۶۳	۱۹۹	۴۷۴/۸۰	۱۴۰/۱۶	۱۹۶۴۵/۸۰	۱/۱۵	۰/۸۷	۱۴۸	
	هدایت الکتریکی	۱۵۷۵	۳۶۰	۸۳۲/۵۶	۲۳۵/۶۵	۵۵۵۳۱/۱۳	۰/۵۹	۰/۷۲	۱۴۸	
	pH	۸/۰۱	۶/۸۶	۷/۵۰	۰/۱۷	۰/۰۳	۱/۵۷	-۰/۵۲	۱۴۸	
	تابستان	کلسیم	۱۴۴	۳۶/۸	۸۴/۷۱	۱۸/۹۱	۳۵۷/۷۲	۰/۵۶	۰/۶۵	۱۴۸
		منیزیم	۵۷/۶	۲/۸۸	۲۸/۲۵	۹/۶۲	۹۲/۵۷	۰/۶۵	-۰/۱۳	۱۴۸
		سدیم	۲۰۰	۲	۴۴/۱۱	۳۶/۴۷	۱۳۳۰/۲۰	۴/۳۷	۱/۸۵	۱۴۸
		پتاسیم	۷/۶	۰	۱/۵۱	۰/۹۰	۰/۸۱	۱۳/۲۴	۲/۲۴	۱۴۸
بی‌کربنات		۳۳۵	۱۶۰	۲۵۹/۹۲	۴۱/۷۰	۱۷۳۸/۱۴	-۰/۵۴	-۰/۳۶	۱۴۸	
کلراید		۳۵۸/۷	۹/۹	۶۸/۱۰	۵۸/۷۰	۳۳۷۵/۵۷	۸/۱۶	۲/۴۰	۱۴۸	
سولفات		۳۲۰	۱۰	۸۷/۴۲	۵۳/۲۱	۲۸۳۱/۳۰	۳/۰۱	۱/۱۴	۱۴۸	
آهن		۰/۵۳	۰/۰۱	۰/۰۳	۰/۰۵۲	۰/۰۰۳	۵۵/۰۳	۶/۴۷	۱۴۸	
منگنز		۰/۳۸	۰/۰۰۷	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۰۱۶	۳۷/۰۰	۵/۰۱	۱۴۸	
نیترات		۷۹	۱/۳۲	۱۷/۳۶	۱۴	۱۹۶/۰۸	۴/۴۲	۱/۸۹	۱۴۸	
نیتريت		۰/۳۲	۰/۰۰۵	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۰۰۷	۱۰۹/۸۵	۹/۸۰	۱۴۸	
فسفات		۰/۶۵	۰/۰۲	۰/۲۳	۰/۰۹	۰/۰۰۹	۳/۸۰	۱/۱۹	۱۴۸	
فلوراید		۱/۰۸	۰/۰۳	۰/۳۶	۰/۱۱	۰/۰۱۲	۱۳/۰۰	۱/۹۵	۱۴۸	
کل جامدات محلول		۹۶۳	۱۹۹	۴۷۷/۳۶	۱۴۱/۱۱	۱۹۹۱۱/۴۱	۱/۱۴	۰/۸۹	۱۴۸	
هدایت الکتریکی		۱۵۷۶	۳۶۰	۸۳۷/۱۷	۲۳۷/۱۶	۵۶۲۴۵/۷۰	۰/۶۱	۰/۷۴	۱۴۸	
pH		۸/۰۱	۶/۸۶	۷/۵۰	۰/۱۷	۰/۰۲۸	۱/۵۳	-۰/۴۹	۱۴۸	

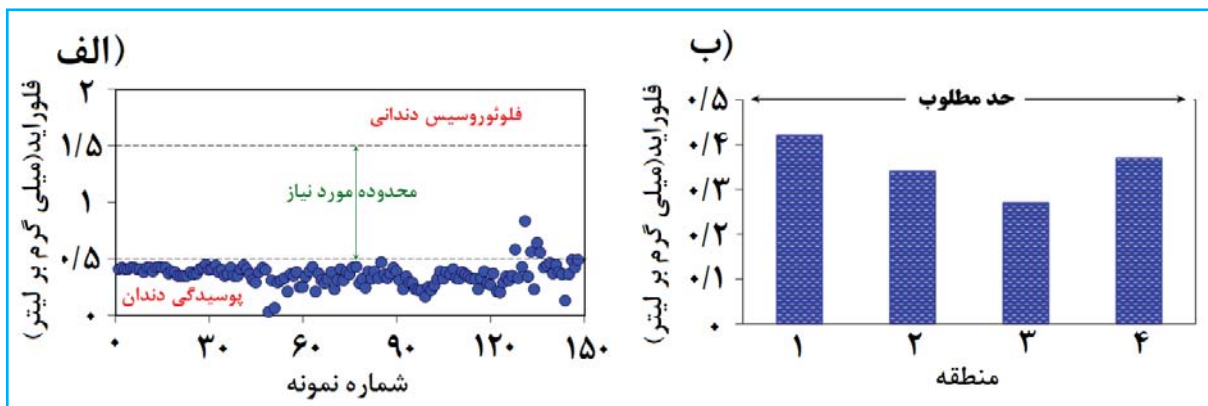
بررسی غلظت فلوراید در آب‌های زیرزمینی دشت گرگان:

نهشته‌های لسی را در خود جای داده‌اند، اما منطقه ۴ با دارا بودن شهرهای علی‌آباد، گرگان، کردکوی و بندرگز، درصد قابل توجهی از نهشته‌های لسی را در خود جای داده‌اند و در رتبه ۲ به لحاظ دارا بودن نهشته‌های لسی قرار دارند.

بر اساس نتایج حاصل از میزان غلظت فلوراید در مناطق چهارگانه، رابطه مستقیمی بین پراکندگی تشکیلات لسی و غلظت فلوراید وجود داشت. در منطقه ۱ (شامل مراوه تپه، کلاله و شمال گنبدکاووس) که دارای پراکندگی بالایی از نهشته‌های لسی است، متوسط غلظت فلوراید در منابع آب‌های زیرزمینی بیش از سایر مناطق بود (نمودار ۱-ب). همچنین در منطقه ۳ (شامل شهرستان‌های آق‌قلا، گمیشان و بندرگز) که دارای کمترین پراکندگی تشکیلات لسی است، متوسط غلظت فلوراید در منابع آب‌های زیرزمینی کمتر از بقیه مناطق بود (کمتر از ۰/۳ میلی‌گرم بر لیتر).

در این پژوهش ابتدا تغییرات غلظت یون فلوراید در ۱۴۸ نمونه آب زیرزمینی دشت گرگان بررسی شد. بر اساس نتایج، به‌جز کمتر از ۴٪ نمونه‌ها، در بقیه منابع آبی، میزان فلوراید کمتر از حد مطلوب (۰/۵ میلی‌گرم بر لیتر) بود (نمودار ۱-الف). از این‌رو استفاده طولانی‌مدت از منابع آب زیرزمینی جهت مصرف شرب، امکان پوسیدگی دندان را برای ساکنین دشت افزایش می‌دهد.

در مرحله بعد با توجه به پراکندگی تشکیلات لسی در استان، این استان به ۴ منطقه مطابق شکل ۱-پ تقسیم‌بندی شد. منطقه ۱ شامل شهرهای مراوه تپه، کلاله و شمال گنبدکاووس می‌باشد که بیشترین پراکندگی را تشکیلات لسی دارد. کمترین میزان پراکندگی تشکیلات لسی مربوط به منطقه ۳ و شامل شهرهای آق‌قلا، گمیشان و ترکمن می‌باشد. منطقه ۲ با شهرهای گالیکش، مینودشت، آزادشهر، رامیان و خان‌ببین، درصد نسبتاً کمی از



نمودار ۱. تغییرات میزان غلظت یون فلوراید در آب‌های زیرزمینی دشت گرگان (الف) به همراه متوسط میزان فلوراید در مناطق چهارگانه بر اساس پراکندگی نهشته‌های لسی (ب)

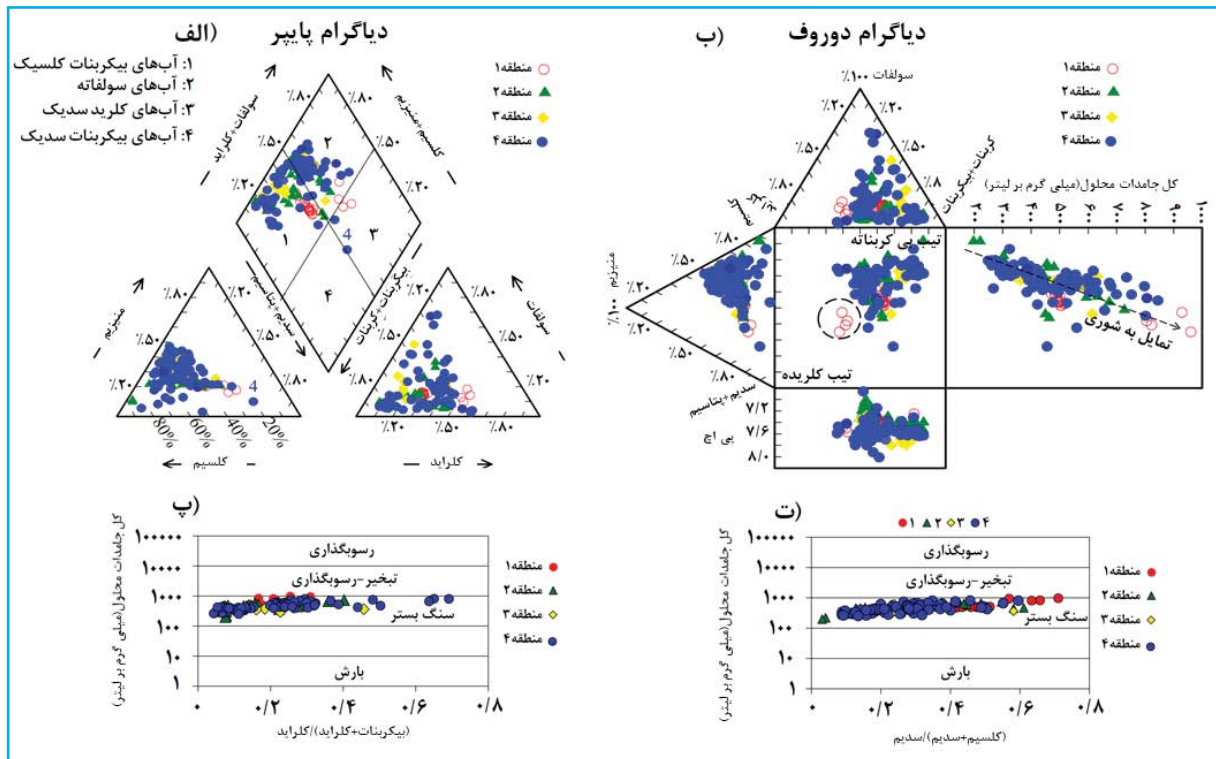
زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه بود (بیش از ۸۲٪). همچنین برخی از تیپ‌ها نظیر کلره کلسیم (Ca-Cl) با حدود ۱۳٪ فراوانی در منابع آب زیرزمینی، نشانه عکس تبادلی یونی در برخی از نقاط آبخوان بود.

به‌طور کلی رخساره‌های هیدروشیمیایی منابع آبی، تعیین‌کننده توده‌های آبی با ماهیت ژئوشیمی متفاوت‌اند (۱۵). بر اساس تجمع نمونه‌ها در نمودار پایپر (نمودار ۲-الف)، رخساره‌های منابع

تیپ و رخساره آب: بررسی تیپ و همچنین رخساره نمونه‌های آبی، از متداول‌ترین روش‌های مطالعه هیدروژئوشیمیایی منابع آبی است (۱۵). در این پژوهش به منظور بررسی تیپ آب از نرم‌افزار AqQa استفاده شد. بر این اساس، تیپ آب در دشت مورد مطالعه شامل ۶ تیپ (Ca-HCO₃, Ca-Cl, Na-Cl, Na-HCO₃, Ca-)، SO₄, Mg-HCO₃ بود که از بی‌کربنات کلسیک تا کلره سدیک متغیر بود. به‌طورکلی تیپ بی‌کربنات کلسیک، تیپ غالب آب

که دارای بیشترین مقدار فلوراید در آب زیرزمینی هستند، در منطقه کلرید سدیک (رخساره لب شور^۲) جای دارند (۱۶). به طور کلی روند تغییرات نمونه‌ها در نمودار پایپر، نشان از تکامل هیدروژئوشیمیایی نمونه‌های مربوط به منابع آب زیرزمینی دارد (۱۵).

آب زیرزمینی استان بیشتر در دو منطقه بی‌کربنات کلسیک (رخساره شیرین^۱) و سولفات کلسیک (رخساره ترکیبی^۲) قرار دارند. اگرچه برخی نمونه‌های مربوط به مناطق ۱ (شامل مراوه تپه، کلاله و شمال گنبدکاووس) و ۴ (شامل علی‌آباد، گرگان، کردکوی و بندرگز)



نمودار ۲. دیاگرام‌های پایپر (الف)، دوروف (ب) به همراه نمودار گیبس منابع آب زیرزمینی در مورد مطالعه (پ و ت)

آب و شناخت تکاملی آنها، بر مبنای پارامترهای کل جامدات محلول، (سدیم+کلسیم)/سدیم و (بی‌کربنات+کلرید)/کلرید با استفاده از جمع‌آوری و آنالیز نمونه‌های نقاط مختلف دنیا ارائه نمود. دیاگرام‌های گیبس در بسیاری از موارد جهت تعیین تأثیر فرآیندهای مؤثر نظیر بارش، تبخیر و هوازدگی سنگ بستر بر ترکیب شیمیایی آب‌های سطحی مورد استفاده قرار می‌گیرد (۱۷). بر اساس تجمع، توزیع و جهت یافتگی نمونه‌ها بر روی دیاگرام گیبس (نمودار ۲-پ و ت)، به طور کلی هوازدگی شیمیایی کانی‌های تشکیل دهنده سنگ‌ها، عوامل اصلی کنترل کننده شیمی منابع آب‌های زیرزمینی در محدوده مورد مطالعه می‌باشند.

در این پژوهش به منظور تفسیر بهتر تیپ، رخساره و تکامل هیدروژئوشیمیایی منابع آب زیرزمینی مورد مطالعه از دیاگرام دوروف استفاده شد (نمودار ۲-ب). با توجه به قسمت مربع نمودار دوروف، به طور کلی با وجود تجمع نمونه‌ها در منطقه بی‌کربنات، آب زیرزمینی دشت پس از گذر از این تیپ، تمایل به رسیدن به بلوغ کامل یعنی تیپ کلروره سدیک را از خود نشان می‌دهد. قسمت‌های مثالی شکل این دیاگرام نیز این نکته را تأیید می‌کنند. مکانیسم کنترل کننده شیمی آب زیرزمینی دشت: گیبس مدلی را جهت بررسی مکانیسم‌های کنترل کننده شیمی منابع

1. Fresh Facies
2. Blended Facies

با توجه به قسمت کاتیونی نمودار گیبس، در بیشتر نمونه‌های مربوط به منطقه ۱ علاوه بر هوازدگی سنگ‌ها، تمایل شورشدگی با نفوذ آب شور از آبخوان‌های عمقی، افزایش تبخیر و رسوب‌گذاری مشاهده می‌شود.

نسبت‌های یونی ژئوشیمیایی: نسبت‌های یونی ژئوشیمیایی، شاخص‌های مناسبی در ارزیابی شیمی منابع آب هستند و استفاده از آنها در تعیین منشأ نمک‌ها، کمک فراوانی می‌کند. در پیدایش ترکیب شیمیایی آب زیرزمینی، این نسبت‌ها متأثر از ترکیب شیمیایی کانی‌های محلول در آب بوده و مقدار کانی انحلال یافته در درجه بعدی اهمیت قرار دارد (۱۸). نتایج نسبت‌های یونی منابع آب زیرزمینی دشت گرگان در جدول ۲ ارائه شده است. از این رو تقریباً در ۸۲٪ نمونه‌ها، میزان سدیم کوچک‌تر از کلر می‌باشد که این امر نشانگر آن است که تبادل یونی، فرآیند غالب آب زیرزمینی در دشت مورد مطالعه می‌باشد. از ۱۴۴ نمونه آب زیرزمینی، تنها در ۱ نمونه میزان سدیم و کلر با هم برابر بودند. در حدود ۲۷/۸٪ نمونه‌ها که اکثراً مربوط به منطقه ۱ بود، میزان سدیم بزرگ‌تر از کلر و فرآیند یونی غالب آن عکس تبادل یونی بود (جدول ۲).

در ۱۱۵ نمونه آب زیرزمینی مربوط به محدوده مورد مطالعه، نسبت سدیم به مجموع سدیم و کلراید ($Na/(Na+Cl)$) کمتر از ۰/۵ بود که نشان از کاهش غلظت سدیم به دلیل وجود رس‌های غنی از کلسیم (رسوبات مارنی) در مسیر جریان آب زیرزمینی داشت. با توجه به اینکه تنها در یک نمونه این نسبت برابر ۰/۵ بود، این امر نشان از انحلال هالیت داشت. در مابقی نمونه‌ها این نسبت بالاتر از ۰/۵ بود که بیانگر افزایش غلظت سدیم و ورود آن به آب زیرزمینی از منبعی غیر از انحلال هالیت بود. همچنین با توجه به نسبت سیمپسان (Cl/HCO_3+CO_3) در بیش از ۵٪ نمونه‌ها، نفوذ آب شور در منابع آبی مشهود بود و مابقی نمونه‌ها از کیفیت مناسبی برخوردار بودند.

بر اساس نتایج این پژوهش، نسبت یونی کلسیم به منیزیم در

تمامی نمونه‌ها بیش از ۱ بود. در نتیجه آب زیرزمینی از سازندهای دولومیتی، دولومیت-آهکی و آهک-دولومیتی تغذیه می‌شود. همچنین از آنجایی که نسبت منیزیم به مجموع منیزیم و کلسیم در تمام نمونه‌ها کمتر از ۰/۵ بود، هوازدگی سنگ‌های آهکی و دولومیتی، از فرآیندهای غالب در سفرهای دشت گرگان می‌باشد.

نمودارهای دومتغیره: در مطالعات هیدروژئوشیمی جهت تشخیص نوع فرآیندهای شیمیایی و تعیین منشأ و اختلاط آب‌ها از نمودارهای دومتغیره^۲ یا ترکیبی استفاده می‌شود (۱۹). مباحث تکمیلی این نمودارها و انواع الگوهای تشکیل یافته در آن توسط میزر ارائه شده است (۲۰). در این پژوهش ابتدا از نمودار دومتغیره فلوراید در مقابل پارامترهای دیگر فیزیکوشیمیایی استفاده شد. نتایج این پژوهش نشان داد که یک رابطه نسبتاً مستقیم بین میزان غلظت فلوراید و برخی پارامترها نظیر کل جامدات محلول، کلسیم، سدیم و کلراید وجود دارد. در اکثر نمودارها، پراکندگی داده‌ها در نمودارهای دومتغیره برای پارامترهای فیزیکوشیمیایی مذکور، آرایش مثلی را از خود نشان دادند. این امر می‌تواند ناشی از وجود منابع مختلف تغذیه کننده آب‌های زیرزمینی دشت مورد مطالعه باشد (جدول ۲).

به‌منظور تعیین منابع تغذیه کننده سفره آب زیرزمینی در منطقه ۱ با بیشترین میزان فلوراید، نمودار ترکیبی آنیون‌ها و کاتیون‌ها در مقابل کل یون‌های محلول ترسیم گردید (نمودار ۳). از آنجایی که در هیچ‌کدام از نمودارهای ترکیبی الگوی خطی مشاهده نمی‌شود و پراکندگی نمونه بیشتر در دو منطقه می‌باشد، می‌توان نتیجه گرفت که حداقل دو منبع تغذیه کننده در سفره می‌باشد. با توجه به فراوانی سنگ‌های آهکی در ارتفاعات منطقه، منبع اول (ناحیه ۱ در نمودار ۳-الف) می‌تواند مربوط به تغذیه آبخوان توسط این تشکیلات آهکی باشد. منبع دوم (ناحیه ۲ در نمودار ۳-الف) که میزان کل یون‌های اصلی در آن‌ها بالا می‌باشد را می‌توان به تغذیه آبخوان توسط تشکیلات لسی، رسی و مارنی که در این منطقه گسترش دارند، مربوط دانست.

جدول ۲. نتایج نسبت‌های یونی منابع آب زیرزمینی دشت گرگان

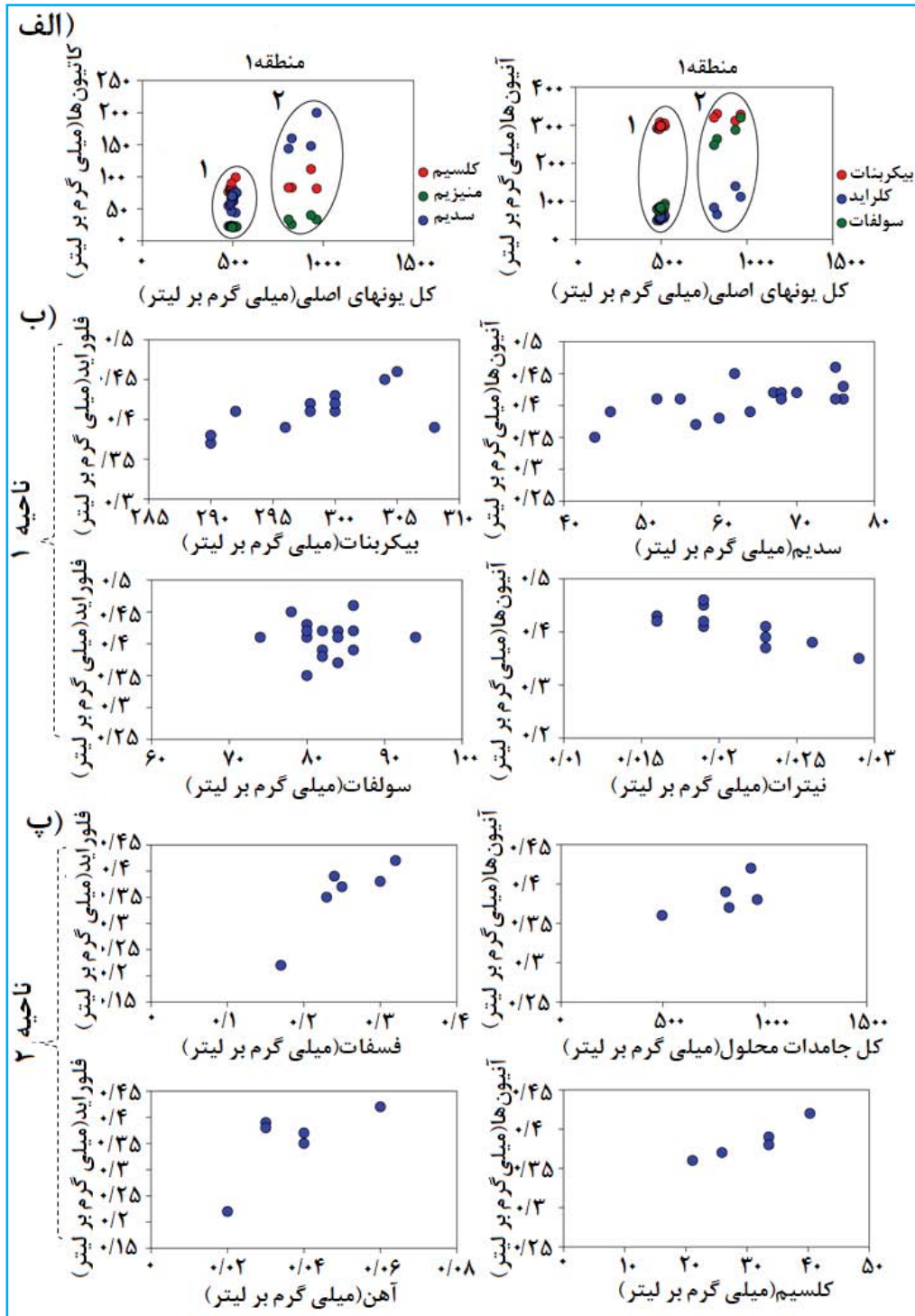
نسبت‌های یونی	تفسیر	تعداد نمونه
کلراید / سدیم	کلراید < سدیم: عکس تبادل یونی است.	۱۱۵
(۱۸)	کلراید = سدیم: منشأ سدیم از کانی هالیت است.	۱
	کلراید > سدیم: منشأ سدیم غیر از هالیت و احتمالاً از آلبیت یا تبادل یونی طبیعی است.	۳۲
(کلراید+سدیم)/سدیم	< ۰/۵ (کلراید+سدیم)/سدیم: کاهش غلظت سدیم به دلیل وجود رس‌های غنی از کلسیم (رسوبات مارنی) در مسیر جریان آب زیرزمینی	۱۱۵
(۲۴)	۰/۵ = (کلراید+سدیم)/سدیم: نشان از انحلال هالیت در آب زیرزمینی	۱
	> ۰/۵ (کلراید+سدیم)/سدیم: افزایش غلظت سدیم و ورود آن به آب زیرزمینی از منبعی غیر از انحلال هالیت	۳۲
	< ۰/۵ (بی‌کربنات+کربنات)/کلراید: کیفیت خوب	۱۱۱
(بی‌کربنات+کربنات)/کلراید	۰/۵ - ۱/۳ = (بی‌کربنات+کربنات)/کلراید: آلودگی کم با آب شور	۳
(۱۶)	۲/۸ - ۲/۸ = (بی‌کربنات+کربنات)/کلراید: آلودگی متوسط با آب شور	-
	۲/۶ - ۸/۶ = (بی‌کربنات+کربنات)/کلراید: آلودگی زیاد با آب شور	-
	۶/۱۵ - ۶/۵ = (بی‌کربنات+کربنات)/کلراید: آلودگی خیلی زیاد با آب شور	-
	< ۱ منیزیم/کلسیم: نشان‌دهنده واپاشی خاک و کاهش تدریجی عملکرد آن	-
منیزیم/کلسیم	۱ = منیزیم/کلسیم: یون کلسیم از محلول در حال استفاده شدن است.	-
	> ۱ منیزیم/کلسیم: آب زیرزمینی از سازندهای دولومیتی، دولومیت-آهکی و آهک-دولومیتی تغذیه می‌شود.	۱۴۴
	< ۰/۵ (منیزیم+کلسیم)/منیزیم: هوازنگی سنگ‌های آهکی و دولومیتی	۱۴۴
(منیزیم+کلسیم)/منیزیم	۰/۵ = (منیزیم+کلسیم)/منیزیم: هوازنگی سنگ‌های دولومیتی	-
	> ۰/۵ (منیزیم+کلسیم)/منیزیم: انحلال دولومیت یا خارج شدن کلسیم بر اثر رسوب‌گذاری کلسیت	-

بحث

نتایج حاصل از میزان غلظت فلوراید در آب زیرزمینی مناطق چهارگانه (براساس پراکندگی تشکیلات لسی) نشان داد که رابطه مستقیمی بین پراکندگی تشکیلات لسی و غلظت فلوراید وجود دارد؛ به طوری که در منطقه ۱ که دارای پراکندگی بالایی از تشکیلات لسی است، متوسط غلظت فلوراید در منابع آب‌های زیرزمینی بیش از سایر مناطق بود. اگرچه متوسط غلظت فلوراید در این منطقه کمتر از حد مطلوب استاندارد سازمان جهانی بهداشت (۰/۵ میلی‌گرم در لیتر) بود. به طور کلی غلظت نسبتاً پایین فلوراید در این استان با توجه به نبود پدیده شاخص ماگماتیسیم و گسترش سنگ‌های آذرینی بدیهی به نظر می‌رسد (۱۴). از این رو، ترکیب شیمیایی تشکیلات لسی و استفاده از کودهای فسفات حاوی یون فلئوئور در کشاورزی می‌تواند از مهم‌ترین عوامل افزایش میزان غلظت فلوراید در منطقه ۱ باشد. نتایج آنالیز شیمیایی لسی‌ها نشان از سیمان کلسیتی در این تشکیلات زمین‌شناسی

با توجه به نمودارهای دومتغیره فلوراید در مقابل برخی یون‌های آب زیرزمینی در ناحیه ۱، ارتباط مستقیم و نسبتاً خطی بین تغییرات میزان فلوراید و یون‌هایی نظیر بی‌کربنات و سدیم وجود دارد؛ به طوری که با افزایش میزان غلظت یون‌های مذکور، میزان فلوراید در آب زیرزمینی نیز افزایش می‌یابد (نمودار ۳-ب). در مقابل ارتباط معکوس بین غلظت یون نیترات و میزان فلوراید در آب زیرزمینی در این ناحیه ۱ مشاهده می‌شود.

در این پژوهش، همانند ناحیه ۱ مربوط به منطقه ۱، رابطه بین برخی پارامترهای فیزیکوشیمیایی با فلوراید در آب زیرزمینی در ناحیه ۲ نیز بررسی شد (نمودار ۳-پ). در این ناحیه رابطه مستقیمی بین فلوراید با فسفات، کلسیم، آهن و کل جامدات محلول مشاهده شد؛ اگرچه این ارتباط در کلسیم و فسفات خطی‌تر به نظر می‌رسد. این امر می‌تواند به دلیل انحلال برخی کانی‌های فسفات نظیر فسفات‌های کلسیم، آهن و آلومینیم در تشکیلات لسی و رسی در منطقه باشد.



نمودار ۳. نمودار ترکیبی آنیون‌ها و کاتیون‌ها در مقابل کل یون‌های محلول در آب زیرزمینی (الف). ناحیه ۱: نمودار ترکیبی فلوراید در مقابل یون‌های سدیم، بی‌کربنات، نیترات و سولفات آب زیرزمینی (ب). ناحیه ۲: نمودار ترکیبی فلوراید در مقابل فسفات، کل جامدات محلول، آهن و کلسیم آب زیرزمینی (ج).

در این آب‌ها غلظت کلرید نسبت به آب‌های شیرین افزایش می‌یابد. در آب‌های شور مزه، مقدار کلرید افزایش قابل توجهی دارد. همچنین از سختی بالایی (بیش از ۶۰۰ میلی‌گرم بر لیتر برحسب بی‌کربنات کلسیم) برخوردار هستند. به‌طور کلی روند تغییرات نمونه‌ها در نمودار پایپر و دروو، نشان از افزایش غلظت یون‌های موجود در آب و در نهایت شورشدهگی آب زیرزمینی داشت (افزایش میزان کل جامدات محلول از حدود ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر تا در حدود ۱۰۰۰ میلی‌گرم) که این امر بیانگر تکامل هیدروژئوشیمیایی نمونه‌های مربوط به منابع آب زیرزمینی است (۱۵). نتایج به‌دست آمده از رخساره‌های هیدروژئوشیمیایی با یافته‌های پاکدل بر روی دشت گرگان همسو بود (۲۳). با توجه به اینکه مناطق ۱ و ۴ دارای بیشترین مقدار فلوراید در آب زیرزمینی هستند، می‌توان نتیجه گرفت که آب شور لایه‌های تحتانی در این مناطق و نفوذ آن به داخل سفرهای آب شیرین به احتمال زیاد می‌تواند عامل دیگری برای منشأ فلوراید در آب زیرزمینی باشد که نتایج مربوط به نمودارهای ترکیبی، تأیید کننده این موضوع می‌باشد.

از آنجایی که در هیچ‌کدام از نمودارهای ترکیبی، الگوی خطی مشاهده نشد و پراکندگی نمونه‌ها بیشتر در دو منطقه بود، می‌توان نتیجه گرفت که دو منبع مختلف تغذیه کننده آب‌های زیرزمینی دشت مورد مطالعه وجود دارد. با توجه به فراوانی سنگ‌های آهکی در ارتفاعات منطقه، منبع اول می‌تواند مربوط به تغذیه آبخوان توسط این تشکیلات آهکی باشد که این نتایج با یافته‌های پاکدل همخوانی داشت (۲۳). منبع دوم را که میزان کل یون‌های اصلی در آن بالا می‌باشد را می‌توان به تغذیه آبخوان توسط تشکیلات لسی، رسی-مارنی و یا رسوبات شور تحتانی که در این منطقه گسترش دارند، مربوط دانست.

همچنین بر اساس نمودارهای دومتغیره فلوراید در مقابل برخی یون‌های آب زیرزمینی در منطقه ۱ با گسترش بالای تشکیلات لسی، ارتباط مستقیم و نسبتاً خطی بین تغییرات میزان فلوراید و یون‌هایی نظیر بی‌کربنات و سدیم وجود دارد؛ به‌طوری‌که با افزایش میزان غلظت یون‌های مذکور، میزان فلوراید در آب زیرزمینی نیز

داشت. این سیمان می‌تواند یکی از عوامل آزادسازی فلوراید در آب زیرزمینی باشد.

هوازدهگی شیمیایی کانی‌های تشکیل‌دهنده سنگ‌ها، عامل اصلی کنترل کننده شیمی منابع آب‌های زیرزمینی در دشت گرگان می‌باشد. این نتایج با یافته‌های لیو و همکاران مبنی بر غلظت بالای فلوراید در آب‌های زیرزمینی استان شانشی واقع در مرکز کشور چین که پوشیده از نهشته‌های لسی است، همسو می‌باشد (۲۱).

با توجه به قسمت کاتیونی نمودار گیبس، در بیشتر نمونه‌های مربوط به منطقه ۱ با پراکندگی بالای تشکیلات لسی علاوه بر هوازدهگی سنگ‌ها، تمایل شورشدهگی به دلیل نفوذ آب شور از آبخوان‌های عمقی، افزایش تبخیر و رسوب‌گذاری مشاهده شد که این نتایج با یافته‌های قزل‌سفلو و همکاران مبنی بر نفوذ آب شور از لایه‌های زیرسطحی به داخل آبخوان شهر کردکوی و افزایش شوری و املاح آب زیرزمینی همخوانی داشت (۲۲).

بر اساس نتایج حاصل بر روی تیپ آب زیرزمینی در دشت گرگان، دو رخساره غالب منابع آب زیرزمینی در دشت مذکور به ترتیب بی‌کربنات کلسیک و سولفات کلسیک بودند. در برخی نمونه‌های آب مربوط به مناطق ۱ و ۴ که دارای مواد جامد محلول بالایی هستند، به رخساره کلرید سدیک تغییر می‌یابد. تیپ بی‌کربنات کلسیک که بیشتر مربوط به منطقه تغذیه آب زیرزمینی است را می‌توان در حاشیه ارتفاعات مشاهده نمود. در مقابل هرچه از جبهه ارتفاعات به سمت میانه‌های دشت حرکت می‌کنیم، تیپ آب به سولفات و سپس کلروه تغییر می‌یابد. این نتایج با تغییرات تکاملی هیدروژئوشیمیایی همسو می‌باشد.

با توجه به نتایج حاصل از نمودارهای پایپر و دروو، رخساره‌های منابع آب زیرزمینی استان بیشتر شامل رخساره‌های شیرین و ترکیبی هستند. اگرچه برخی نمونه‌ها که دارای بیشترین مقدار فلوراید در آب زیرزمینی هستند، در منطقه رخساره لب‌شور جای دارند (۱۶). اصولاً کیفیت آب در نوع رخساره ترکیبی، نسبت به تیپ آب شیرین پایین‌تر است. از نظر سختی، جزء آب‌های سخت و مقدار بی‌کربنات آن‌ها مشابه با آب‌های شیرین می‌باشد.

تشکیلات لسی و غلظت فلوراید در آب‌های زیرزمینی وجود دارد. با توجه با گسترش بالای نهشته‌های لسی در منطقه ۱ (شامل مراوه تپه، کلاله و شمال گنبدکاووس) و نبود پدیده شاخص ماگماتیسم و گسترش سنگ‌های آذرینی (که منشأ اصلی فلوراید در آب‌های زیرزمینی هستند)، سیمان کلسیتی موجود در این تشکیلات زمین‌شناسی را می‌توان یکی از مهم‌ترین منابع آزادسازی یون فلوراید و افزایش غلظت آن در آب‌های زیرزمینی منطقه ۱ به‌شمار آورد.

ملاحظات اخلاقی

نویسندگان تمام نکات اخلاقی شامل عدم سرقت ادبی، انتشار دوگانه، تحریف داده‌ها و داده‌سازی را در این مقاله رعایت کرده‌اند. همچنین هرگونه تضاد منافع حقیقی یا مادی که ممکن است بر نتایج یا تفسیر مقاله تأثیر بگذارد را رد می‌کنند.

تشکر و قدردانی

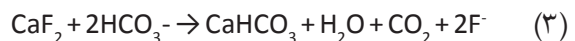
این مقاله حاصل طرح پژوهش (شماره ۶/۰۰/۱۷۵) از دانشکده علوم کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه گنبد کاووس می‌باشد. بدین بدین وسیله از دانشگاه گنبد کاووس به‌خاطر حمایت مالی از طرح پژوهش، تشکر و قدردانی می‌شود.

References

1. Aghniaei F, Zarei M, Asadi S. Investigation of the origin of fluoride in groundwater resources in southern Iran, Larestan, Sahara-i-Bagh. *Advanced Applied Geology* 2017; 7(2): 38-48 <https://dx.doi.org/10.22055/aag.2017.13228> .(In Persian)
2. WHO (World Health Organization). "World Water Day 2001: Oral Health." Geneva: WHO. 2001. https://web.archive.org/web/20081007142428/https://www.who.int/water_sanitation_health/en/oralhealth.htm.
3. Aggeborn L, Öhman, M. The effects of fluoride in drinking water. *Journal of Political Economy* 2021; 129(2):465-491. <http://dx.doi.org/10.1086/711915>
4. Valdez-Alegria CJ, Fuentes-Rivas RM, Garcia-Rivas JL, Fonseca-Montes de Oca RMG, Garcia-Gaitán B. Presence and distribution of fluoride ions in groundwater for human in a semiconfined volcanic aquifer. *Resources* 2019; 8(2):116. <https://doi.org/10.3390/resources8020116>
5. Arnesen AKM, Krogstad T. Sorption and desorption of fluoride in soil polluted from the aluminium smelter at Ardal in western Norway. *Water, Air, & Soil Pollution* 1998; 103: 357-373. <http://dx.doi.org/10.1023/A:1004900415952>

افزایش می‌یابد. رابطه مستقیم بین فلوراید و یون بی‌کربنات، نظریه اول در مورد تغذیه سفره‌های آب زیرزمینی توسط تشکیلات آهکی را اثبات می‌کند.

مطالعات گذشته نشان داد که غلظت بی‌کربنات می‌تواند انحلال فلوراید را در آب‌های زیرزمینی مطابق رابطه زیر تسریع کند (۲۱).



همچنین مطالعات پیشین نشان داد که فلوراید تمایل دارد در محیط‌های قلیایی تجمع پیدا کند؛ به طوری که میزان آن در pH های بالا (۷/۸)، شرایط مناسبی را برای انحلال و پراکندگی فلوراید به وجود آورد کند (۲۴-۲۶).

همچنین رابطه خطی یون فلوراید با یون سدیم به‌عنوان شاخصی برای شوری وجود دارد. از آنجایی که در بیش از ۸۰٪ نمونه‌ها میزان سدیم بیشتر از کلر می‌باشد، این امر نشانگر آن است که عکس تبادلی یونی، فرآیند غالب آب زیرزمینی در دشت مورد مطالعه می‌باشد و منشأ سدیم غیر از هالیت و احتمالاً نفوذ آب شور لایه‌های تحتانی سفره می‌باشد.

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که رابطه مستقیمی بین پراکندگی

6. Brindha K, Elango L. Fluoride in groundwater: causes, implications and mitigation measures. *Fluoride properties, applications and environmental management*, Nova. 1st ed, 2011; pp:111-136.
7. Chavoshi E, Afyuni M, Hajabbasi M A. Fluoride uptake by Spinach and Alfalfa in a calcareous il, *Journal of Water and Soil Science*-2015; 19(72):139-148. <http://dx.doi.org/10.18869/acadpub.jstnar.19.72.13>. (In Persian)
8. Kabata A. *Trace Elements in Soils and Plants*, 3rd ed, CRC Press., New York. 2000. doi: 10.1007/978-94-011-7336-0_12
9. De la Cruz Cardoso D, Chaires IC, Mejía MA, Sandoval AC, Bolaños PP. Analysis of the concentration of fluoride in bottled water in different Mexican states. *Revista de la Asociación Dental Mexicana*. 2013; 70(2): 81-90.
10. Mohseni Sajadi M, Afyuni M, Khademi H, Mohseni Movahed SA, Ayubi Sh. Spatial variability of fluoride in groundwater and soils in some Areas of Arak Plain, *The Journal of Water and Soil* 2011; 25(5): 1033-104. <https://dx.doi.org/10.22067/jsw.v0i-.11215>.

11. Nick Ghogh, Y. Report on the investigation of the Golestan province aquifers, Golestan Regional Water Co. 2016. (In Persian)
12. Golestan Regional Water Co. The comprehensive project for drinking water supply of the Golestan province cities, 3rd ed, Groundwater report. 2009; 2050-688650.)in Persian(
- 13-Ravikumar P, Somashekar RK. Principal component analysis and hydrochemical facies characterization to evaluate groundwater quality in Varahi river basin, Karnataka state, India. *Applied Water Science* 2017; 7: 745-755. DOI 10.1007/s13201-015-0287-x.
14. BIS. Drinking water specifications (revised 2003). Bureau of Indian Standards.2003; IS:10500.
15. Mahmoodlu MG, Jandaghi N, Sayadi M. Hydrochemical evaluation and qualitative death assessment of Gorganrud River. *Iranian Geological Quarterly*2020;55(14):129-145. <https://dori.net/dor/20.1001.1.17357128.1399.14.55.1.2>. (In Persian)
- 16- Todd D, Mays L. Ground water hydrology. Wiley, USA. ISBN-13:978-0471059370. 2005; pp: 652.
- 17- Gibbs RJ. Mechanisms controlling world water chemistry, *Journal of Science* 1970; 17, 1088-1090. Error! Hyperlink reference not valid.
18. Hounslow A. Water Quality Data: Analysis and Interpretation. CRC press; 1995; pp: 416
19. Kim Y, Lee K, Koh DC, Lee DH, Lee S, Park W, et al. Hydrogeochemical and isotopic evidence of groundwater salinization in a coastal aquifer: a case study in Jeju volcanic island, Korea. *Journal of Hydrology*2003;270:282-294. [http://dx.doi.org/10.1016/S0022-1694\(02\)00307-4](http://dx.doi.org/10.1016/S0022-1694(02)00307-4)
20. Mazor E. Applied chemical and isotopic groundwater hydrology. John Wiley & Sons, New York; 1991; 470. <https://doi.org/10.1180/minmag.1992.056.382.27>
21. Liu RP, Zhu H, Liu F, Dong Y, El-Wardany, RM. Current situation and human health risk assessment of fluoride enrichment in groundwater in the Loess Plateau: A case study of Dali nty, Shaanxi Province, China. *China Geology*2021; 4(3):487-497. <https://doi.org/10.31035/cg2021051>
22. Ghezsofloo E, Raghimi M, Mahmoodlu MG, Rahimi-Chakdel A, Khademi SMS. Saltwater intrusion in drinking water wells of Kordkuy, Iran: an integrated quantitative and graphical study. *Environmental Earth Sciences* 2021; 80(16):1-15.
23. Pakdel M. Extraction Effect of Deep and Semi-Deep Wells on Water Table Decline and Groundwater Quality in Gorgan Plain [Master Thesis]. Iran. Gonbad Kavus University. 2021.(Persian)
24. Chen J, Huang Q, Lin Y, Fang Y, Qian H, Liu R, Ma H. Hydrogeochemical characteristics and quality assessment of groundwater in an irrigated region, Northwest China. *Water* 2019;11(1): 96. <http://dx.doi.org/10.3390/w11010096>
25. Chen J, Qian H, Wu H, Gao, Y, Li X. Assessment of arsenic and fluoride pollution in groundwater in Dawukou area, Northwest China, and the associated health risk for inhabitants. *Environmental Earth Sciences* 2017; 76: 314. <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs12665-017-6629-2>
26. Wu J, Li P, Qian H. Hydrochemical characterization of drinking groundwater with special reference to fluoride in an arid area of China and the control of aquifer leakage on its concentrations. *Environmental Earth Sciences* 2015; 73: 8575-8588. <http://dx.doi.org/10.1007/s12665-015-4018-2>