پاییز ۸۸، سال نوزدهم، شماره ۷۳، صفحه ۹۹ تا ۱۰۸

# بررسی هیدروژئوشیمی چشمه‌های معدنی آتشفشان تفتان و ارتباط آنها با توده‌های سنگی سخت منطقه

حبیب بیابانگرد[۱*]، دکترعباس مرادیان[۲] و یعقوب بوالی[۳]

[۱] دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران
[۲] دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران.
[۳] سازمان آب و منطقه‌ای زاهدان، زاهدان، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۳۸۶/۱۰/۱۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۷/۰۳/۱۱

## چکیده

آتشفشان مرکب و لایه‌ای تفتان در جنوب خاور زاهدان، در خاور ایران قرار گرفته است. این آتشفشان، به دلیل ایجاد مناطق مرتفع، یک محدوده آب و هوایی ویژه را در منطقه خشک خاور ایران به وجود آورده و به دلیل بارش برف و باران بیشتر از مناطق اطراف، از مناطق آبی پر اهمیت در استان سیستان و بلوچستان است. بررسی‌های صحرایی و تجزیه‌های آب سیزده چشمه از باختر این آتشفشان گویای ارتباط نزدیک سنگ‌های سخت منطقه و آب چشمه‌هاست. داده‌های هیدروژئوشیمیایی نشان می‌دهد که تغییرات موجود درکاتیون‌ها و آنیون‌های منیزیم (۱۵۰-۲)، کلسیم (۴۶۵-۱۱)، سدیم (۴۴۴-۱۰/۵)، پتاسیم (۱/۵-۳۳۰)، سولفات (۱۰۵۰-۸)، نیترات (۵۸/۶)، بی‌کربنات (۳۵۳/۸-۰)، کلر (۱۵۲۰-۱۰/۶۵) و جزء ملکولی سیلیس (۱۸۲/۸۷-۶/۱۱) به طور کلی بر حسب میلی گرم در لیتر متأثر از ترکیب شیمیایی سنگ‌های آتشفشانی هستند. تغییرات ترکیبی بارز موجود در چشمه‌های معدنی تفتان به این دلیل است که آب بسیاری از چشمه‌ها با منشأ جوی تحت تأثیر سنگ‌شناسی‌های منطقه قرارگرفته‌اند. هرچند تعداد اندکی از چشمه‌ها دارای آب ماگمایی و دسته‌ای هم دارای آب مخلوط ماگمایی و جوی هستند.

**کلیدواژه‌ها:** آتشفشان تفتان، سیستان و بلوچستان، هیدروژئوشیمی، توده‌های سنگی سخت، چشمه.

***نویسنده مسئول:** حبیب بیابانگرد

## ۱- مقدمه

مدیریت مؤثر منابع آب‌های زیرزمینی، نیازمند تدوین برنامه‌ای جامع از سوی دولت‌مردان و نیز همکاری مستمر مردم است. (Merritts et al., 1997) امروزه بهره‌برداری بیش از حد ذخایر آب موجود در منابع آبرفتی که باعث افت شدید سطح ایستابی در این سفره‌ها و اعمال محدودیت در بهره‌برداری از آنها شده، اهمیت مطالعه سازندهای تحکیم یافته یا سخت را دو چندان نموده است. از طرفی سازندهای سخت هم به عنوان یک منبع پتانسیل آب و هم به عنوان محلی برای دفع فاضلاب‌های شیمیایی و مواد رادیواکتیو، توجه زیادی را در مطالعات آب های زیرزمینی و مسائل آلودگی آنها به خود جلب نموده‌اند (Brown,1995).

مطالعات هیدروژئولوژی چشمه‌های معدنی و ارتباط آنها با توده‌های سنگی سخت و درز و شکاف‌دار به منظورهای مختلف و با اهداف گسترده و متفاوت، در حال انجام هستند. این مطالعات در مناطق آتشفشانی از جنبه‌های مختلف اکتشافی، منابع آب زیرزمینی سالم برای مصارف آشامیدنی و کشاورزی، مهاجرت آلودگی‌ها و خطرات زیست محیطی حائز اهمیت هستند. وجود انرژی زمین‌گرمایی بالا و پتانسیل مواد معدنی در مناطق آتشفشانی و ارزیابی مقادیر سیال‌هایی که تحت تأثیر شیب زمین‌گرمایی قرار می‌گیرند، می‌توانند مرتبط با فعالیت‌های احتمالی آتشفشان باشند و نمود بسیار خوبی در آب چشمه‌های معدنی می‌یابند این امر اهمیت مطالعه چشمه‌های معدنی را دو چندان می‌نماید. حضور برخی عناصر از جمله منگنز در ترکیب آب چشمه‌های معدنی نقش سنگ منشأ آتشفشانی را به خوبی منعکس می‌نماید (Walter, 2005). تاکنون مطالعاتی بر روی هیدروژئوشیمی چشمه‌های معدنی آتشفشان تفتان صورت نپذیرفته است. آب این چشمه‌ها از جنبه‌های گوناگون حائز اهمیت است، برخی از چشمه‌ها مانند چشمه آبگرم جانپناه دارای پتانسیل قابل ملاحظه‌ای از یون‌های مختلف است که می‌توان از آب آن برای درمان بیماری‌های پوستی و حتی استحصال برخی از یون‌ها استفاده کرد. نظر به این که منشأ آب این چشمه به احتمال آب‌های ماگمایی هستند، لذا تغییرات غلظتی برخی از یون‌های آب این چشمه و دمای آن می‌تواند هشداری از فعالیت‌های احتمالی آتشفشان در آینده باشد. آب برخی از چشمه‌های تفتان نظیر چشمه آب زیر و دره گل شماره ۲ با دارا بودن مقادیر یونی و دمی مناسب می‌توانند به عنوان آب معدنی قابل آشامیدن مورد استفاده قرار گیرند. از این رو، برای بررسی هیدروژئوشیمی این چشمه‌ها و ارتباط آنها با سازندهای سخت منطقه، ۱۳ چشمه از چشمه‌های باختر این آتشفشان انتخاب شدند. مراحل انجام به طور خلاصه شامل برداشت نمونه‌های آب از منابع انتخاب شده در زمان‌های مشخص و اندازه‌گیری پارامترهای صحرایی در محل چشمه‌ها، تجزیه هیدروشیمی نمونه‌های برداشت شده، بحث و تفسیر نتایج است.

## ۲- ریخت‌شناسی آتشفشان تفتان

تفتان یک آتشفشان مرکب لایه‌ای دارای ارتفاع تقریبی ۴۰۵۰ متر از سطح تراز آب دریا و ۲۰۰۰ متر از زمین‌های اطراف است که در استان سیستان و بلوچستان قرار دارد(Ganser, 1971). این آتشفشان دارای قلل متعددی به نام‌های چهل تن (قله شمالی به نام زیارت و قله جنوبی مادرکوه)، صبح کوه و نرکوه است. ساختمان اصلی آتشفشان تفتان شامل دوکوه (نرکوه و مادرکوه) است که به وسیله بخش زین مانند باریک به هم متصل شده‌اند. نرکوه تا اندازه‌ای شکل مخروطی خود را حفظ کرده و به وسیله جریان‌های گدازه‌ای ستبر و جوان‌تر پوشیده شده است. مادرکوه (تفتان فعلی) در مجموع دارای پنج دهانه است که از یکی از دهانه‌های آن به طور مستمر بخار و گازهای گوگردی متصاعد می‌شود (شکل ۱).

## ۳- زمین‌شناسی و چینه‌شناسی منطقه مورد بررسی

منطقه مورد مطالعه از دیدگاه زمین‌شناسی بخشی از فلیش خاور ایران یا زون جوش خورده سیستان است (Tirrul et al., 1983) . در تقسیم‌بندی دقیق‌تر با استفاده از چهار گوش خاش (شهرابی، ۱۳۷۴)، در پهنه فلیشی کورین- خاش قرار می‌گیرد.

براساس گزارش Falcon (1974) تعیین ستبرای دقیق نهشته‌های فیلیشی مکران پیش از پلیوسن چندان آسان نیست. در فیلیش‌های ناحیه تفتان به دلیل تغییرهای زیاد شیب و به‌هم ریختگی لایه‌ها، تعیین شیب یکنواخت برای لایه‌ها امکان پذیر نیست. بر اساس مطالعات صحرایی، چینه‌نگاری منطقه تفتان را در یک نگاه کلی می‌توان به سه بخش زیر تقسیم نمود (شکل ۲).

### ۳-۱. مجموعه‌های پی‌سنگ آتشفشان تفتان

این مجموعه شامل سنگ‌های آمیزه رنگین و واحدهای فیلیشی است. آمیزه رنگین به سن کرتاسه پسین، که به نظر می‌رسد قدیمی‌ترین واحد در منطقه باشد، از سنگ‌های اولترابازیک، بازیک، گدازه‌های بالشی، دایک‌های صفحه‌ای همراه با نهشته‌های دریایی ژرف مانند سنگ آهک‌های پلاژیک و رادیولاریت تشکیل شده است. واحد فیلیشی به سن ائوسن چین‌خورده و به هم ریخته است و به طور معمول شامل ماسه‌سنگ و شیل همراه با سنگ آهک و کنگلومرا است.

### ۳-۲. واحد آتشفشانی تفتان

این واحد شامل محصول‌های مختلف فورانی آتشفشان تفتان بوده و بخش اصلی سنگ‌شناسی منطقه مورد بررسی را تشکیل می‌دهد که بیشتر چشمه‌ها درآن قرار می‌گیرند (شکل ۲). در نگاه کلی این واحد شامل سنگ‌های آذرآواری، گدازه‌های داسیتی و آندزیتی، توف‌ها و ایگنمبریت‌ها است. سنگ‌های آذرآواری و گدازه‌های داسیتی- آندزیتی که قسمت اعظم حجم توده آتشفشانی تفتان را تشکیل می‌دهند در بیشتر نقاط آتشفشان به صورت ریزشی و جریانی به چشم می‌خورند و شامل بمب و برش‌های آتشفشانی، آگلومرا و گدازه‌های داسیتی- آندزیتی هستندکه به طور مستقیم بر روی سنگ‌های رسوبی و آذرین کرتاسه بالایی- ائوسن قرارگرفته‌اند. توف‌ها و ایگنمبریت‌ها در جهات مختلف تفتان مشاهده می‌شوند. از ویژگی‌های توف‌ها ستبرای کم و بیش یکنواخت، رنگ سفید مایل به زرد، دگرسانی فراوان و ویژه آنها است. در بیشتر نقاط، این مجموعه تحت تأثیر یک دگرسانی رسی واقع و به مجموعه‌ای خرد و برشی شده سفید، زرد و صورتی رنگ با رگچه‌های متعدد و متقاطع هماتیت و لیمونیت تبدیل شده است که گاه با کانی‌سازی سولفوره نیز همراه هستند. ایگنمبریت‌های تفتان به طور معمول دارای رنگ سفید، صورتی و ساختار پسدوفلوییدال، چین‌خورده و حفره‌دار هستند. دارای قطعه‌های کشیده باریک و مدور با جنس پومیس و گدازه‌ای با ترکیب‌های آندزیتی- داسیتی هستند. گدازه‌های آندزیتی بر روی خاکسترهای آتشفشانی تفتان جریان یافته‌اند که دارای تنوع ترکیبی بارزی از آندزیت هورنبلنددار، بیوتیت‌دار و پیروکسن‌دار هستند. حجم بسیار زیاد و غلظت به نسبت کم گدازه‌های آندزیتی از یک طرف و شیب زیاد دامنه‌های کوه تفتان از طرف دیگر سبب شده که گدازه‌های آندزیتی تا نقاط خیلی دور جریان یابند.

### ۳-۳. واحدهای پس از فعالیت آتشفشان تفتان

این مجموعه‌ها بیشتر شامل دگرسانی و جابه‌جایی‌های قطعه‌های آتشفشانی هستند در ادامه و مرتبط با فعالیت‌های آتشفشانی هستند، دگرسانی‌های رسی، فیلیک، کلریتی و پیریتی شدن در تفتان ازگسترش نسبی بالایی برخوردارند و در بیشتر مجموعه‌های آتشفشانی به چشم می‌خورند. حجم عمده واحدهای دگرسان‌شده را توف‌هایی با ترکیب اسیدی تا حد واسط تشکیل می‌دهند.

## ۴- نمونه‌برداری و تجزیه نمونه‌ها

عمده چشمه‌های مورد نظر در بخش باختری تفتان و در حوالی روستاهای تمندان، ولان، سیهکی و بیدستر قرار دارند. محل‌های نمونه‌برداری چشمه‌ها در شکل ۳ و ویژگی‌های عمومی آنها در جدول ۱ نشان داده شده است.

بدون شک نمونه‌برداری صحیح، لازمهٔ هر مطالعه است. به منظور جلوگیری از تغییر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آب چشمه‌ها در اثر تماس با محیط آزاد سعی شده است نمونه‌برداری در محل خروجی چشمه انجام گیرد. برای نمونه‌برداری از ظروف پلاستیکی دهانه تنگ استفاده شد که پیش‌تر در آزمایشگاه هیدروشیمی با اسید و آب مقطر شسته شده‌اند. ظروف نمونه‌برداری به صورت کامل پر شده و درب آنها به گونه‌ای بسته می‌شود که هیچ گونه حباب هوایی در ظرف باقی نماند. پس از نمونه‌برداری، نمونه‌ها درکوتاه‌ترین زمان ممکن به آزمایشگاه هیدروشیمی برای اندازه‌گیری پارامترهای شیمیایی (آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی و جزء مولکولی سیلیس) انتقال یافته‌اند. نمونه‌ها چندین بار در آزمایشگاه‌های شیمی دانشگاه سیستان و بلوچستان، سازمان آب و فاضلاب استان سیستان و بلوچستان و سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی جنوب خاور ایران انجام شده است.

## ۵- پارامترهای اندازه‌گیری شده در محل چشمه‌ها و آزمایشگاه

این پارامترها شامل دمای آب، هدایت الکتریکی(EC)، اسیدیته (PH)، آبدهی (Q) و ویژگی‌های ظاهری در محل چشمه‌ها اندازه‌گیری شده‌اند (جدول ۱). اندازه‌گیری آبدهی برخی از منابع که مقدار دبی آنها ناچیز بوده است، با روش بسیار دقیق حجمی انجام شده است. آبدهی دیگر منابع با استفاده از روش جسم شناور برآورد شده است. به منظور کاهش خطا، سعی شد روش به کارگرفته شده برای اندازه گیری آبدهی یک منبع در زمان‌های مختلف نمونه‌برداری ثابت باشد. مقادیر آنیون‌ها (کلر، سولفات، نیترات، کربنات و بی‌کربنات) وکاتیون‌ها (سدیم، پتاسیم، کلسیم، منیزیم، آهن و منگنز) و مقدار جزء مولکولی سیلیس($SiO_2$) با استفاده از روش‌ها و دستگاه‌های موجود درآزمایشگاه تعیین شده‌اند. یون بی‌کربنات ($HCO3^-$) به روش حجم سنجی (Titration) توسط اسید سولفوریک ۱/۴ نرمال و شناساگر متیل اورانژ اندازه‌گیری شده است. میزان کلر به روش مور (Mohr) از روش حجم سنجی با نیترات نقره ۱/۴ نرمال و شناساگر بی‌کرومات پتاسیم تعیین شد. اندازه‌گیری آنیون سولفات ($SO_4^{2-}$) با استفاده از کلریدباریم به وسیله دستگاه کدرسنج (Turbidim eter) انجام گرفته است. کاتیون‌های کلسیم ($Ca^{2+}$) و منیزیم ($Mg^{2+}$) با استفاده از روش حجم سنجی(Titration) به کمک EDTA ۱/۴ نرمال تعیین شده‌اند. برای اندازه‌گیری کاتیون کلسیم، از شناساگر مروکسید (Meroxid) و مجموع کلسیم و منیزیم از شناساگر اریوکروم بلک‌تی(EBT) استفاده شده است. تفاضل دو مقدار بیان شده، مقدار کاتیون منیزیم را به ما خواهد داد. کاتیون‌های سدیم ($Na^+$) و پتاسیم ($K^+$) با استفاده از دستگاه طیف شعله‌ای (Flame photometer) اندازه‌گیری شده‌اند. پس از اندازه‌گیری آنیون‌ها و کاتیون‌ها درصد خطای آزمایش از رابطه زیر محاسبه شده است.

$$\text{Error (\%)} = \frac{|\Sigma \text{Cations} - \Sigma \text{Anions}|}{\Sigma \text{Cations} + \Sigma \text{Anions}} \times 100$$

در این رابطه مجموع کاتیون‌ها و آنیون‌ها برحسب میلی‌اکی‌الان در لیتر هستند. مقدار خطای مجاز برای هر تجزیه شیمیایی تا ۵ درصد است. کل مواد جامد محلول نمونه‌های آب بر حسب میلی گرم در لیتر (TDS) از طریق جمع کردن کل کاتیون‌ها و آنیون‌ها (برحسب میلی گرم در لیتر) افزون بر آن جزء مولکولی سیلیس محاسبه شده است. لازم به ذکر است که در آزمایشگاه TDS از طریق مقدار وزن مادهٔ خشک نیز محاسبه شد. روش کار به این صورت بود که ابتدا آب مورد آزمایش از کاغذ صافی عبور داده شد تا مواد غیر محلول آن (گل و لای) جدا شود. سپس آب مورد آزمایش داخل آون در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد تبخیر شد. مقدار وزن مادهٔ خشک که از روی اختلاف وزن ظرف پیش و پس از تبخیر محاسبه شد برابر TDS است. به طور معمول عدد حاصل با مقدار به دست آمده از روش مجموع یون‌ها و

سیلیس متفاوت است. این تفاوت به علت خروج گاز و بعضی مواد فرار، از بین رفتن بی‌کربنات در اثر دما، ته‌نشین شدن سولفات به صورت ژیپس وگرفتن آب تبلور و تبدیل بی‌کربنات به کربنات است. نتایج تجزیه شیمیایی نمونه‌ها و دیگر پارامترهای اندازه‌گیری شده در جدول ۲ آورده شده است. تجزیه نمونه‌ها از دقت و درستی بالای در حد ۲/۹۳ درصد برخوردار هستند.

## ۶- تجزیه شیمیایی نمونه‌های سنگی

بدون شک میزان عناصر و املاح موجود در آب‌های زیرزمینی هر منطقه متأثر از سازنده‌ها و واحدهای سنگی است که آب از آنها عبور می‌کند. جریان آب ضمن عبور از این واحدهای سنگی طی واکنش‌های شیمیایی و انحلال باعث افزایش املاح می‌شود. به منظور برقراری ارتباط بین آنیون‌ها وکاتیون‌های چشمه‌های مختلف منطقه و واحدهای سنگی که به احتمال منشأ آنها بوده‌اند نمونه‌برداری‌های سنگی در منطقه انجام و تجزیه این نمونه‌ها به روش طیف سنج پلاسمای جفتده القایی درکانادا انجام شده است. نتایج تجزیه در جدول ۳ نشان داده شده است. موقعیت این نقاط نمونه‌برداری به همراه موقعیت چشمه‌ها در منطقه در شکل ۳ نشان داده شده است.

## ۷- تحلیل ویژگی‌های عمومی و هیدروژئوشیمیایی چشمه‌های مورد مطالعه

با استناد به داده‌های موجود و تهیه شده از منطقه تا حد امکان به بررسی و تجزیه و تحلیل ویژگی‌های هیدروژئوشیمی چشمه‌های مورد نظر پرداخته شده است. ارتباط ویژگی‌های هیدروژئوشیمی چشمه‌ها با عوامل مختلف شامل ارتفاع، سنگ‌شناسی، عوامل تغذیه‌ای مورد تجزیه وتحلیل قرارگرفته و در پایان بر اساس این بررسی‌ها سعی شده است طبقه‌بندی از چشمه‌های مورد بررسی به عمل آید.

### ۷-۱. ویژگی‌های عمومی

**- رابطه ارتفاع و عناصر موجود در چشمه‌ها:** با توجه به این که در منطقه تفتان افزایش ارتفاع، همزمان با نزدیکی به قله آتشفشانی و تغییرهای تدریجی سنگ‌شناسی و ساختاری است این اختلاف ارتفاعی چشمه‌ها تأثیر بسزایی بر ویژگی‌های هیدروژئوشیمیایی آنها دارد. تغییرهای سنگ‌شناسی همراه با ارتفاع در منطقه کوه آتشفشانی تفتان حتی بر روی عناصر موجود در چشمه‌ها تأثیرگذار بوده است. همان گونه که در شکل ۴ مشخص است چشمه آبگرم جانپناه در ارتفاع بیشتر و حاوی املاح فراوان‌تری است در حالی که بقیه چشمه‌ها املاح پایین‌تری دارند. وضعیت این املاح (آنیون‌ها و کاتیون‌ها) در چشمه‌ها در شکل ۵- الف نشان داده شده است. چشمه آبگرم جانپناه به لحاظ دارا بودن ویژگی‌های به طور کامل متفاوت عناصر و ویژگی‌های عمومی در مقایسه با سایر چشمه‌ها، در این نمودار آورده نشده و به صورت مجزا در شکل ۵- ب آمده است. در این شکل آشکار است که غلظت عناصر در چشمه‌های غارپوسه، آبگرم جانپناه، تنگ بلبلوئیه شماره ۲ و چشمه بندگلو در مقایسه با دیگر چشمه‌ها بالاتر است، در حالی که چشمه‌های تنگ بلبلوئیه شماره ۱، دره گل شماره ۱، دره گل شماره ۲، باغ بلوچ، سیهکی، شرق ولان، آبزیر، درودی و بیدستر غلظت عناصر مشابه دارند. تمامی آنیون‌ها بجز کربنات و بی‌کربنات کم و بیش ارتباط مستقیمی با افزایش ارتفاع چشمه‌ها نشان می‌دهند. کاتیون‌های نظیر سدیم وکلسیم در پاره‌ای از موارد همانند چشمه‌های غارپوسه و درودی، این ارتباط به صورت وارون جلوه می‌نماید در حالی که عناصری چون سولفات، کلر، سیلیس و منیزیم ارتباط مستقیم مشخصی را نشان می‌دهند.

### ۷-۲. ویژگی‌های هیدروژئوشیمیایی چشمه‌ها

ویژگی‌های عمومی چشمه‌ها مانند موقعیت، دما، اسیدیته، رنگ، بو، طعم و دبی آنها در جدول ۱ آورده شده است. در زیر به ویژگی‌های هیدروژئوشیمی بارز هر یک از چشمه‌ها پرداخته شده است.

**- چشمه شماره ۱ تنگ بلبلوئیه ($SP_1$):** این چشمه در فاصله کمی از محل اردوگاه جم چین در مسیر صعود به قله تفتان واقع می‌شود. آب این چشمه دارای تیپ $Ca\text{-}HCO_3$ است. غلظت یون‌های $Ca^{2+}$ و $SO_4^{2-}$ و $HCO_3^-$ در آب این چشمه بالا است. آب این چشمه از میان سنگ‌های آذرآواری که متحمل دگرسانی‌های رسی،کلریتی و پیریتی شده‌اند و مجموعه‌های گدازه‌ای آندزیتی، داسیتی و ایگنمبریتی خارج می‌شود. حضور درصد به نسبت بالای منیزیم در آب این چشمه ناشی از حضور کانی‌های فراوان بیوتیت و هورنبلند هوازده شده به کانی‌های رسی است که آب‌های سطحی ضمن عبور از این مجموعه باعث شسته شدن و افزایش مقدار $Mg^{2+}$ در آب گردیده‌اند. بالا بودن مقدار $SO_4^{2-}$ به احتمال ناشی از حضور ترکیبات گوگرددار نظیر پیریت و کالکوپیریت در سنگ‌های منطقه و منشأ بی‌کربنات به احتمال ناشی از انحلال توف‌ها و رسوبات کرناته موجود در درز و شکاف‌های واحدهای سنگی اطراف چشمه است.

**- چشمه بندگلو($SP_2$):** آب این چشمه دارای تیپ Ca-Cl است و درآن غلظت عناصری چون کلسیم، منیزیم، کلر و سولفات بالا و غلظت بی‌کربنات بسیار پایین است. آب این چشمه از میان توف‌های سرخ، زرد و قهوه‌ای که متحمل دگرسانی‌های رسی و کلریتی شده‌اند و برش‌های ایگنمبریتی خارج می‌شود. بالا بودن عناصر بیان شده و املاح در آن ناشی از انحلال‌پذیری به نسبت بالای توف‌های دگرسان شده سرشار از کانی‌های ثانویه چون کلریت و رس‌ها است. از طرفی غلظت بالای عناصرکلسیم و منیزیم در آب این چشمه ناشی از حضور کانی‌های در بردارنده این عناصر در گدازه‌های آندزی- بازالت بندگلو و توف‌های اطراف چشمه است. غلظت به نسبت بالای کلسیم و منیزیم در تجزیه نمونه‌های سنگیTSM-128 و TSM-145که متعلق به سنگ‌شناسی اطراف چشمه است، این موضوع را نشان می‌دهند.

**- چشمه آبگرم جانپناه ($SP_3$):** راه دسترسی به این چشمه کم و بیش مشکل بوده و در مسیرصعود به قله تفتان در کنار جانپناه قرار گرفته است. این چشمه در میان سنگ‌های با ترکیب آندزیتی و داسیتی قرارگرفته و آب آن از طریق شکستگی‌های گسلی به سطح جریان می‌یابد (شکل ۶- ب). آب آن دارای تیپ Ca-Cl است. کیفیت آب آن بسیار نامطلوب و دارای میزان کلر و سولفات بسیار بالا است. همچنین غلظت تمامی عناصر بجز بی‌کربنات در این چشمه در مقام مقایسه با سایر چشمه‌های منطقه بیشتر است. موقعیت و ویژگی‌های هیدروژئوشیمیایی منحصر همچون دمای بالا، غلظت بسیار بالای گوگرد (۷۰۰۰) و کلر (۱۳۳۱۲) میلی‌گرم در لیتر نشان می‌دهد که آب این چشمه به احتمال منشأ متفاوتی از سایر چشمه‌ها دارد. لازم به ذکر است که مشابه این چشمه در سایر مناطق آتشفشان تفتان وجود دارد.

**- چشمه شماره ۲ تنگ بلبلوئیه($SP_4$):** این چشمه نسبتاً دائمی و دارای دبی بالایی است و از میان سنگ‌های ایگنمبریتی همراه با جریان‌های آذرآواری خارج می‌شود (شکل ۶- الف). آب آن دارای تیپ Ca-Cl است.کیفیت آن نامطلوب و بیشتر برای مصارف کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرد. آب آن با توجه به دبی بالا، از یک حوضه آبگیر وسیع باید تأمین شود. این چشمه دارای غلظت به نسبت بالایی از بیشتر عناصر، اصلی شامل کلر، سولفات، کلسیم، منیزیم و پتاسیم است و به لحاظ دارا بودن عناصر نسبتاً ترکیبی میانگین از چشمه‌های شماره ۱ تنگ بلبلوئیه و بندگلو را نشان می‌دهد. این امر به خوبی با توجه به موقعیت چشمه و سنگ‌شناسی‌های تأثیرگذار احتمالی بر ترکیب شیمیایی آب آن قابل توجیه است، به گونه‌ای که سنگ‌شناسی چیره موجود در اطراف آن شامل ایگنمبریت، گدازه‌های آندزی- بازالت، داسیت، آندزیت، توف‌ها و مجموعه‌های آذرآواری‌اند که دچار

دگرسانی‌های رسی، فیلیک،کلریتی و پیریتی شده‌اند و سبب غلظت بالای عناصر موجود در این چشمه شده‌اند از طرفی نظر به غلظت نسبتاً بالای سولفات وکلر و نیز دبی بالای آن، احتمال می‌رود که بخشی از آب‌های این چشمه مشابه چشمه آبگرم جانپناه منشأ ماگمایی داشته باشد. اما آنچه آشکار است ، آب‌های این چشمه از مناطق وسیع و به نسبت ژرف عبور می‌نماید که خود تغییرات غلظتی متفاوت عناصر موجود در آن را سبب شده است.

– **چشمه شماره ۱ دره‌گل** ($SP_{۱۰}$): تجزیه نمونه‌های آب برداشت شده از این چشمه تیپ $Ca\text{-}HCO_3$ را نشان می‌دهد. دارای دبی پایین و حوضه آبریز آن کوچک است و محدود به واحدهای سنگ‌شناسی آندزیتی دگرسان شده به رس اطراف آن است. کاتیون‌های کلسیم، منیزیم، پتاسیم، سدیم و آنیون‌های بی‌کربنات، سولفات وکلر به ترتیب فراوانی، درآب این چشمه حضور دارند. وجودکربنات بالا در آن به احتمال ناشی از رسوبات کربناته موجود در درز و شکاف‌های موجود و فراوان در سنگ‌شناسی محدوده آبگیر این چشمه است. بالا بودن سولفات وکلسیم در مقایسه با سایر عناصر در این چشمه به احتمال ناشی از حضور پلاژیوکلازهای کلسیک و هوازده با قابلیت انحلال بالا است که مهم‌ترین منبع تأمین کننده کلسیم به شمار می‌روند. سولفات بالا نیز ناشی از حضور کانی‌های پیریت و کالکوپیریت وآغشتگی آندزیت‌ها، توسط سولفیدهای حاصل از فرایندهای فومورولی است.

– **چشمه شماره ۲ دره‌گل** ($SP_{۲۰}$): تجزیه آب آن تیپ $Mg\text{-}HCO_3$ را نشان می‌دهد از ویژگی‌های بارز آن غلظت به نسبت بالای کاتیون‌های کلسیم و منیزیم در مقایسه با سایرکاتیون‌ها و بالا بودن آنیون‌های بی‌کربنات، سولفات و کلر است. منشأ احتمالی منیزیم وکلسیم، تجزیه کانی‌های پیوتیت و هورنبلند است که در سنگ‌شناسی تغذیه کننده آن یعنی آندزیت‌های هورنبلند، پیوتیت‌دار حضور دارند و بالا بودن مقدار بی‌کربنات این چشمه، ناشی ازحضور رسوبات کربناته فراوان موجود در درز و شکاف‌های این سنگ‌ها است.

– **چشمه باغ بلوچ** ($SP_{۹}$): این چشمه در فاصله حدود ۵ کیلومتری از روستای تمندان در مسیر ارودگاه جم چین و حدود یک کیلومتری در سمت راست جاده قرار دارد. آب این چشمه که از ته‌نشست‌های لاهار و مواد آذرآواری خارج می‌شود دارای تیپ $Na\text{-}HCO_3$ است. مهم‌ترین ویژگی EC پایین آن در میان چشمه‌های مورد مطالعه و کیفیت بسیار مطلوب آب آن است. غلظت آنیون‌های بی‌کربنات و کلر در این چشمه قابل توجه بوده وکاتیون‌های سدیم و کلسیم نیز در آن به نسبت بالا هستند. موقعیت ویژه چشمه، قرارگیری در میان پوشش گیاهی متراکم و حضور سنگ‌های هوازده شده همراه با مجموعه‌های لاهار منابع احتمالی افزایش مقدار کربنات و کلر در این چشمه هستند.

– **چشمه سیهکی**($SP_{۳}$): این چشمه در مسیر ولان به سردریا در حدود ۵ کیلومتر، پس از روستای ولان است. آب این چشمه از میان توف‌های با دگرسانی رسی خارج و دارای تیپ $Na\text{-}HCO_3$ است. غلظت عناصر در این چشمه تشابه بسیار بالایی با چشمه باغ‌بلوچ دارد. یون‌های کربنات، کلر و سولفات و سدیم، کلسیم و منیزیم در آن نسبتاً بالا است که با توجه به ویژگی‌های سنگ‌شناسی مشابه، به احتمال منشأ یون‌های آن شبیه چشمه باغ بلوچ باشد.

– **چشمه خاور ولان**($SP_{۴}$): در خاور روستایی به همین نام در دامنه ارتفاعات قرار دارد. آب این چشمه از حد فاصل جریان‌های گدازه‌ای با ترکیب آندزیتی، داسیتی و جریان‌های آذرآواری خارج می‌شود(شکل ۶-ج) و دارای تیپ $Ca\text{-}HCO_3$ است. آب آن برای مصرف شرب روستای ولان مورد استفاده قرار می‌گیرد. غلظت آنیون‌ها وکاتیون‌های بی‌کربنات، سولفات، کلسیم، منیزیم و سدیم درآن به طور تقریبی بالا است. میزان بسیار بالای بی‌کربنات در مقام مقایسه با سایر عناصر در این چشمه حائز اهمیت است و دلیل آن دگرسانی رسی و فیلیک توف‌های منطقه است که آغشتگی با رگچه‌های از رسوبات کربناته دارند.

– **چشمه آبزیو**($SP_{۵}$): این چشمه در حد فاصل سردریا به روستای درودی در میان گدازه‌های آندزیتی، خرد شده واقع می‌شود. از ویژگی‌های این چشمه دمای به نسبتاً پایین آن است. آب این چشمه دارای تیپ $K\text{-}SO_4^{2-}$ است. مهم‌ترین ویژگی این چشمه در مقام مقایسه با سایر چشمه‌های مورد مطالعه غلظت بیشتر یون پتاسیم درآب آن است که به نظر با دگرسانی رسی نمونه‌های سنگی (آندزیت ها) این منطقه که چشمه در آن واقع شده ارتباط دارد.

– **چشمه درودی**($SP_{۱۱}$): این چشمه در پایین دست روستای درودی در نزدیکی آبراهه اصلی قرار دارد. آب آن از آبرفت‌های حاشیه این آبراهه خارج می‌شود و نمونه‌های آب برداشت شده از آن دارای تیپ $Ca\text{-}HCO_3$ است. غلظت تمامی عناصر در این چشمه قابل ملاحظه است. میزان آنیون‌های $HCO_3^-$ و $SO_4^{2-}$ وکاتیون‌های کلسیم، سدیم و منیزیم در آن بالاتر است. بالا بودن کربنات با توجه به آبرفتی بودن محدوده تغذیه و وجود مواد آلی در رسوبات است. کلسیم، سدیم و منیزیم بالا نیز احتمالاً به دلیل وجود رسوبات ناشی از واحدهای سنگی توفی، آندزیتی و ایگنمبریتی مجاور چشمه است.

– **چشمه بیدستر**($SP_{۱۱}$): این چشمه در شمال خاور روستای بیدستر در ارتفاعات کوه گنج قرار دارد. آب آن از حد فاصل جریان‌های گدازه‌ای با ترکیب آندزیتی، داسیتی و جریان‌های آذرآواری خارج می‌شود. تجزیه شیمیایی نمونه آب برداشت شده از این چشمه نشان می‌دهد که آب آن دارای تیپ $Na\text{-}HCO_3$ است. میزان بی‌کربنات، کلر، سدیم وکلسیم در آن قابل توجه است. از ویژگی‌های شیمیایی بارز آن غلظت بالای نیترات است و شاید منشأ نیترات پوشش گیاهی متراکم اطراف این چشمه باشد.

– **چشمه غارپوسه**($SP_{۱۲}$): در حدود ۵ کیلومتری قبل از روستای نارون، در مسیر جاده اصلی اسکل آباد به نارون و به فاصله حدود یک کیلومتر در سمت راست جاده قرار دارد. آب این چشمه از حد فاصل ته نشست‌های آگلومرایی و مارنی، از طریق غاری به نام پوسه (شکل ۶- د) که در مجموعه مارنی ایجاد شده، خارج می‌شود. آب آن دارای تیپ $Na\text{-}SO_4^{2-}$ است. این چشمه در محل تماس واحدهای مارنی در قسمت زیرین و واحدهای آگلومرایی در قسمت بالایی شکل گرفته است.

## ۸– تفسیر آنیون‌ها و کاتیون‌ها

میزان املاح موجود در آب‌های زیرزمینی تابعی از عوامل متعددی است که از مهم‌ترین آنها می‌توان جنس واحدهای سنگی، طول مسیرجریان، میزان نزولات جوی، پوشش گیاهی و منشأ اولیه آب را نام برد. تغییرهای مکانی کاتیون‌ها و آنیون‌ها در آب‌های طبیعی ارتباط تنگاتنگی با سازنده‌های سخت منطقه تغذیه کننده آب دارند (Hem, 1989). در منطقه مورد مطالعه از میان این عوامل، جنس واحدهای سنگی و منشأ اولیه آب کم و بیش مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر میزان کاتیون‌ها وآنیون‌های موجود درآب چشمه‌ها مورد بررسی هستند. نظر به این که منطقه مورد مطالعه در یک آتشفشان لایه‌ای قرار دارد، درآن سنگ‌شناسی‌های با ترکیبات مختلف و متنوع در فواصل کم به صورت مکرر وجود دارند این امر باعث می‌شود تا آب چشمه‌هایی که از این واحدهای سنگی خارج می‌شوند حتی با وجود فواصل کم (مثل چشمه شماره ۱ تنگ بلبلوئیه و شماره۲ تنگ بلبلوئیه کمتر از ۱۰۰ متر) دارای تفاوت‌های آشکار از نظر عناصر موجود باشند. مقایسه بین ترکیب به دست آمده از نتایج نمونه‌های آزمایش شده آب چشمه‌ها با میانگین ترکیب عناصر موجود در چشمه‌های آب گرم و سرد اطراف توده‌های سنگی آذرین توسط

Hochstein et al.(2000) و Freeze and Cherry(1979) Clarke et al.(1990) (جدول ۴) نشان می‌دهد که مقادیر یون‌های اصلی موجود در چشمه‌های معدنی تفتان بیش از مقادیر همان یون‌ها در چشمه‌های آب گرم و سرد مناطق آذرین و قابل مقایسه با چشمه‌های Kasimolo و Mampulo هستند (جدول۴) که این چشمه‌ها نیز در مناطق آتشفشانی واقع شده‌اند. غلظت بالای عناصر در این چشمه‌ها ناشی از منشأ آب تغذیه کننده آنها و سنگ‌شناسی‌های اطراف چشمه‌ها است (Hochstein et al., 2000). این وضعیت در چشمه‌های تفتان نیز به چشم می‌خورد. شاید بالا بودن وگستره بیشتر یون‌های اصلی موجود در چشمه‌های معدنی تفتان ناشی از سنگ‌شناسی‌های متفاوتی باشد که چشمه‌ها در آن قرار دارند و منشأهای متفاوت آب تغذیه‌کننده آنها باشد. هر چند برخی از یون‌های اصلی چون سدیم و پتاسیم در چشمه‌های تفتان تشابه نزدیک‌تری را با چشمه‌های ذکر شده در جدول ۴ نشان می‌دهند که این امر ناشی از تجزیه کانی‌های فلدسپار موجود در بیشتر سنگ‌های آذرین است. بنابراین ترکیب سنگ‌های در برگیرنده اطراف چشمه‌ها، مهم‌ترین عامل تغییردهنده غلظت عناصر موجود در چشمه‌ها است. تغییرهای مکانی کاتیون‌ها وآنیون‌های موجود در چشمه‌های منطقه در شکل ۷ نشان داده شده است.که در ذیل به بحث در مورد مهم‌ترین آنها پرداخته شده است.

– **سولفات** ($SO_4^{2-}$): یون سولفات موجود در آب‌های زیرزمینی منطقه به طور عمده ناشی از گازهای آتشفشانی گوگردزا و اکسایش ترکیبات سولفیدی از قبیل پیریت، کالکوپیریت وگالن است. همچنین عمده سنگ‌ها، بویژه آندزیت‌ها در تجزیه شیمیایی مقدار قابل توجهی سولفید ناشی از کانی‌های پیریت و کالکوپیریت نشان می‌دهند از طرفی این سنگ‌ها در اثر گازهای آتشفشانی سرشار از گوگرد نیز آلوده شده‌اند و چشمه‌هایی که در این واحدهای سنگی وجود دارند حجم قابل توجهی از گوگرد را نشان می‌دهند. اگرچه در تمامی چشمه‌های منطقه سولفات حضور دارد اما در چشمه‌های بندگلو، تنگ بلبلوئیه شماره ۲ و آبگرم جانپناه به ترتیب بیشترین مقادیر سولفات وجود دارد که ارتباط مستقیم با سنگ‌شناسی نشان می‌دهند.

– **بیکربنات** ($HCO^{3-}$): منشأ بی‌کربنات به طور عمده حاصل از $CO_2$ محلول در آب باران، برف و $CO_2$ موجود در خاک است. تغییرات دما و فشار سبب تغییر در حلالیت گاز دی‌اکسیدکربن می‌شود. مواد آلی فاسد شده نیز می‌توانند $CO_2$ را برای حل کربنات‌ها آزاد نمایند (مقیمی، ۱۳۸۵). از طرفی میزان انحلال و چگونگی آزاد شدن $CO_2$ بستگی به میزان pH آب دارد به گونه‌ای که در pH کمتر از ۴/۵ اسید کربنیک، در pH بین ۴/۵ الی ۸/۵ بی‌کربنات و در pH بیشتر از ۸/۲ به شکل کربنات ظاهر می‌شود (Lloyd and Heathcoat, 1984). این امر به خوبی در چشمه‌های مورد مطالعه خود را نشان می‌دهد به گونه‌ای که چشمه‌هایی که ویژگی اسیدی آب، نمود پیدا کرده است، مثل چشمه‌های شماره ۲ تنگ بلبلوئیه و آبگرم جانپناه، بی‌کربنات وکربنات وجود ندارد و در چشمه بندگلو نیز مقدار آن بسیار کم است. آب‌های نفوذی منطقه که از اسیدیته قابل ملاحظه‌ای برخوردارند هنگام عبور از میان درز و شکاف‌های سنگ‌ها و انحلال رسوبات موجود در این درز و شکاف‌ها قادر به تولید بی‌کربنات است که خود عامل مهمی در تغییرهای یون بی‌کربنات موجود در چشمه‌های منطقه است. همان گونه که در شکل ۷ پیداست، در بعضی از چشمه‌ها چون چشمه شماره ۲ تنگ بلبلوئیه و چشمه آبگرم جانپناه بی‌کربنات حضور ندارد در حالی که چشمه‌های باغ بلوچ، بیدستر و شرق‌ولان بیشترین مقدار بی‌کربنات را نشان می‌دهد. این نومانات با آنچه در مورد منشأ بی‌کربنات توضیح داده شده به خوبی انطباق دارد به طوری که با افزایش ارتفاع چشمه‌ها، میزان واحدهای سنگی دگرسان شده که عامل مؤثر بر تغییرهای بی‌کربنات چشمه‌ها به شمار می‌روند، کمتر می‌شوند همان گونه که در شکل ۷ نشان داده شده است، چشمه‌های غار پوسه، درودی و بیدستر که ارتفاع پایین‌تری دارند دارای بی‌کربنات بیشتر هستند که علت احتمالی افزایش بی‌کربنات این چشمه‌ها حضور واحدهای دگرسان شده رسی بیشتر در محل این چشمه‌ها است.

– **کلر** ($CL^-$): کلر عامل اصلی و مهم چرخه آب‌شناسی به شمار می‌رود و منشأ آن به طور عموم کانی‌های کلردار مانند سودالیت و آپاتیت هستند (مقیمی، ۱۳۸۵). که در واحدهای سنگی منطقه این کانی‌ها حضور ندارند از این رو، تنها منشأ احتمالی آن کانی بیوتیت است که در بیشتر واحدهای سنگی دیده می‌شود از طرفی هوازدگی شدید واحدهای سنگی باعث آزاد شدن کلر از طریق پدیده تبادل یونی و حضور آن در آب‌های موجود در چشمه‌ها شده است. به ترتیب بیشترین مقدار کلر در چشمه‌های آبگرم جانپناه، چشمه شماره ۲ تنگ بلبلوئیه و بندگلو وجود دارد در حالی که چشمه‌های سیهکی و آب زیر مقادیرکمی کلر را نشان می‌دهد. این روندها با جنس واحدهای سنگی منطقه انطباق دارد.

– **نیترات** ($NO^{3-}$): نیتروژن به طور معمول در سنگ‌های آتشفشانی به مقدار کمی وجود دارد لذا منشأ آن در آب‌های زیرزمینی به احتمال، ناشی از فعالیت‌های جانوران و گیاهان است (مقیمی، ۱۳۸۵). مقادیر نیترات در تمامی چشمه‌های مورد مطالعه، درحد پایین است. به نظر می‌رسد نیترات موجود در این چشمه‌ها حاصل از پوشش گیاهی به نسبت متراکم منطقه باشد و تنها در چشمه آبگرم جانپناه افزون بر این منشأ ممکن است خاستگاه ماگمایی نیز داشته باشد.

– **جزء ملکولی سیلیس** ($SiO_2$): سیلیس عنصری است که به صورت جزء ملکولی درآب‌های زیرزمینی وجود دارد و در تمامی واحدهای سنگی منطقه از عناصر اصلی تشکیل دهنده است. به همین دلیل در تمامی چشمه‌های مورد مطالعه ،مقدار قابل توجهی سیلیس وجوددارد. باافزایش دما میزان انحلال سیلیس افزایش می‌یابد به گونه‌ای که در چشمه آبگرم جانپناه که دارای دمای بالای است، بیشترین مقادیر سیلیس وجود دارد (شکل ۷). کم و بیش مقادیر یون‌های اصلی موجود درآب چشمه آبگرم جانپناه، نسبت به سایر چشمه‌ها بیشتر است که آن هم به دلیل منشأ ماگمایی آب آن، بالا بودن دما و pH این چشمه است و انحلال بیشتر املاح از سنگ های منطقه است.

– **کلسیم** ($Ca_2^+$): یون کلسیم به علت موجود بودن در بیشتر سنگ‌ها و حلالیت آن، کم و بیش در آب‌های زیرزمینی همه مناطق وجود دارد (مقیمی، ۱۳۸۵). منابع اصلی کلسیم در چشمه‌های معدنی مورد مطالعه کانی‌های پلاژیوکلاز، بیوتیت و هورنبلند هستند که به طور معمول نیز دچار تجزیه شده‌اند. این یون در تمامی چشمه‌ها وجود دارد ولی مقدار آن در چشمه های بند گلو، آبگرم جانپناه، تنگ بلبلوئیه شماره ۲، درودی و غاریوسه بالاتر است. منشأ یون کلسیم در چشمه‌های بند گلو و تنگ بلبلوئیه شماره ۲ توف‌های دگرسان شده رسی، در چشمه غار پوسه لایه مارنی و چشمه درودی قرارگیری آن در لایه آبرفتی است.

– **منیزیم** ($Mg^{2+}$): یون منیزیم به طور معمول در سنگ‌های آذرین (آتشفشانی) به صورت غیر محلول است، اما در اثر هوازدگی به صورت کربنات محلول و همراه با کانی‌های رسی دیده می‌شود (مقیمی، ۱۳۸۵). مهم‌ترین منشأ این کاتیون در آب‌های چشمه‌های معدنی مورد مطالعه، کانی‌های تیره و بویژه بیوتیت‌های تجزیه شده به کلریت در سنگ‌های آتشفشانی تفتان هستند. به این دلیل است که مقدار آن در چشمه بندگلو واقع در توف‌های دگرسان شده به کلریت و رس، نسبتاً بالا است.

– **سدیم** ($Na^+$): مهم‌ترین منابع یون سدیم در آب‌های زیرزمینی اطراف سنگ‌های آذرین کانی‌های پلاژیوکلاز هستند (مقیمی، ۱۳۸۵). مقدار این یون در چشمه‌های بند گلو و غار پوسه نسبتاً بالا است و آن هم به دلیل تجزیه بیشتر کانی‌های پلاژیوکلاز به کانی‌های رسی در سنگ‌های اطراف چشمه بند گلو و حضور لایه مارنی اطراف چشمه غار پوسه است.

– **پتاسیم** ($K^+$): منابع عمومی پتاسیم‌دار، کانی‌های سیلیکاتی بویژه ارتوکلاز،

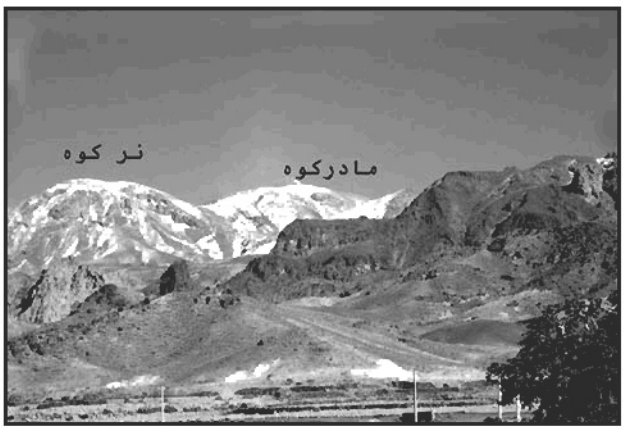
میکروکلین، لوسیت و پیوتیت در سنگ‌های آذرین است (مقیمی، ۱۳۸۵). این کانی‌ها در سنگ‌های آتشفشانی تفتان بسیار کم و یا حضور ندارند، به این دلیل مقدار یون پتاسیم در چشمه‌های مورد مطالعه پایین است. چشمه آبزیر پس از چشمه آب گرم جانپناه بیشترین مقدار پتاسیم را داراست، که آن هم به دلیل دگرسانی رسی نمونه‌های سنگی (آندزیت‌ها) این منطقه که چشمه در آن واقع شده است.

همان‌گونه که توضیح داده شد، به طور معمول تغییرهای غلظت عناصر در چشمه‌های معدنی مورد مطالعه تحت تأثیر سنگ‌های منطقه و دگرسانی آنها است. بیشتر سنگ‌ها را آندزیت، داسیت ، توف و مواد آذراواری تشکیل می‌دهند که دچار دگرسانی‌های رسی، کلریتی و پیریتی شده‌اند. این دگرسانی‌ها باعث آزادسازی یون‌ها، سهولت جابه‌جایی آنها و در نتیجه تغییر غلظت عناصر در چشمه‌ها می‌شوند.

## ۹- بحث و نتیجه‌گیری

چشمه‌های متعددی در اطراف و دامنه‌های آتشفشان تفتان قرار دارند. داده‌های هیدروژئوشیمیایی چشمه‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد که تغییرات غلظت‌های کاتیون‌ها و آنیون‌های منیزیم (۱۵۰-۲)،کلسیم (۴۶۵-۱۱)، سدیم (۴۴۴-۱۰/۵)، پتاسیم (۱/۵-۳۳۰)، سولفات (۱۰۵۰-۸)، بی‌کربنات (۳۵۳/۸-۰)، نیترات (۵۸/۶)، کلر(۱۵۲۰-۱۰/۶۵) و جزء ملکولی سیلیس (۱۸۲/۸۷-۶/۱۱) برحسب میلی‌گرم در لیتر تحت تأثیر ترکیب شیمیایی سنگ‌های آتشفشانی تفتان هستند. بنابراین بین آب‌های موجود در این چشمه‌ها، مهاجرت کاتیون‌ها و آنیون‌ها و توده‌های سنگی سخت آتشفشان تفتان ارتباط تنگاتنگی وجود داردکه از این منظر می‌توان چشمه‌ها را در چهار گروه طبقه‌بندی نمود(شکل ۸).

الف)چشمه آبگرم جانپناه: این چشمه ویژگی‌های هیدروژئوشیمی و عمومی به متفاوتی نسبت به بقیه چشمه‌های منطقه نشان می‌دهد. مهم‌ترین ویژگی‌های که آن را از سایر چشمه‌ها متمایز می‌نمایند، عبارتند از حضور املاح بسیار بالا، pH به شدت اسیدی، دمای به نسبت بالا و غلظت بسیار بالای تمامی عناصر بویژه سولفات و کلر در مقایسه با دیگر چشمه‌های منطقه، طعم، رنگ و بوی خاص آن است. وضعیت زمین‌شناسی و ساختاری محلی که چشمه در آنجا واقع می‌شود، خروج آب این چشمه از طریق گسلی که در میان گدازه‌های آندزیتی عمل کرده و ویژگی‌های متفاوت آن، احتمال ماگمایی بودن منشأ آب این چشمه را می‌رساند. نظر به این که آب این چشمه از مناطق ژرف از میان سنگ‌ها طی مسیر نموده و داغ است قادر به انحلال ترکیبات مختلف سنگی بویژه کانه‌های سولفیدی (پیریت و کالکوپیریت) است. آب‌های فرو رو ضمن عبور از سنگ‌شناسی‌های مختلف منطقه و انحلال ترکیب‌های مختلف سنگی در طی مسیر، به سمت ژرفا و نزدیک شدن به توده ماگمایی سازنده این آتشفشان، به آرامی گرم شده و با گازها و بخارهای ناشی از سرد شدن این توده مخلوط و ضمن صعود سبب انحلال بیشتر و تغییرات وسیع و متنوع عناصر می‌شود. این امر سبب ایجاد ویژگی‌های هیدروژئوشیمیایی ویژه این چشمه در میان سایر چشمه‌های منطقه مورد مطالعه شده است. ب)چشمه‌های بندگلو و چشمه شماره ۲ تنگ بلبلوئیه: در یک دید کلی در تمام چشمه‌ها این گونه به نظر می‌رسد که این چشمه‌ها دارای ترکیبی میانگین از تمامی عناصر و املاح موجود در چشمه‌ها را دارا هستند و می‌توانند به عنوان چشمه‌های شاخص و نماینده در میان چشمه‌های مورد مطالعه به شمار آیند. به نظر می‌رسد منشأ آب این چشمه‌ها در عین حال که متأثر از سنگ‌شناسی و رسوبات (کرناته) موجود در درز و شکاف‌های موجود در سنگ‌ها هستند، باید تحت تأثیر فعالیت‌های گرمایی منطقه مشابه چشمه آبگرم جانپناه نیز باشند. این امر با توجه به دمای به نسبت بالای چشمه شماره ۲ تنگ بلبلوئیه و از طرفی دبی بالا و ویژگی‌های هیدروژئوشیمی مشابه با چشمه آبگرم جانپناه در این چشمه استنباط می شود. ج) چشمه غار پوسه: در این چشمه با توجه به این که فاصله به نسبت زیادی با سایر چشمه‌ها از قله تفتان دارد و از طرفی سنگ‌شناسی مارنی که آب چشمه از آن خارج می‌شود، باعث شده است تا ویژگی‌های آن با سایر چشمه‌ها متفاوت باشد. از مهم‌ترین ویژگی‌های این چشمه غلظت بالای عنصر سدیم در مقایسه با سایر چشمه‌های مورد مطالعه است. غلظت آنیون‌های کلر، سولفات و بی‌کربنات و کاتیون‌های سدیم و کلسیم در آن قابل توجه است. منشأ سدیم بالا در این چشمه به احتمال به دلیل وجود رسوبات مارنی و آهکی بوده که آب چشمه از آن خارج می‌شود و در آنها پدیده تبادل کاتیونی رخ داده به طوری که غلظت کلسیم و منیزیم در مقایسه با سایر چشمه‌ها در آن کاهش یافته و سدیم جایگزین آنها شده است. د) مابقی چشمه‌ها: در این چشمه‌ها میزان املاح تفاوت‌های زیادی را با همدیگر نشان می‌دهد و بیشتر چشمه‌های منطقه را در بر می‌گیرند ارتباط نزدیکی بین سنگ‌شناسی دربرگیرنده چشمه‌ها وکاتیون‌ها وآنیون‌های موجود در آب آنها وجود دارد. کیفیت به نسبت بالا و دبی کم از مهم‌ترین ویژگی‌های آنها است این گونه به نظر می‌رسد که آب‌های تمامی این چشمه‌ها منشأ جوی داشته که تحت تأثیر سنگ‌شناسی منطقه قرار گرفته‌اند. با توجه به تغییرات هیدروژئوشیمی یادشده در چشمه‌ها می‌توان آنها را از لحاظ منشأ آب در سه گروه جای داد. گروه نخست آنهایی را شامل می‌شوند که آب تغذیه کننده آنها دارای منشأ جوی است و عمده چشمه‌ها را در بر می‌گیرند، دسته‌ای دارای آب فقط با منشأ ماگمایی‌اند که این دسته از چشمه‌ها اندک‌اند و دسته سوم شامل چشمه‌هایی هستند که آب آنها منشأ ماگمایی و جوی دارد.




شکل ۱- دورنمایی از ریخت شناسی کوه آتشفشانی تفتان (مادرکوه و نرکوه).

جدول ۱- ویژگی‌های عمومی چشمه‌ها

| نام چشمه | UTM(X) | UTM(Y) | ارتفاع | PH | دما (C°) | ویژگی‌های عمومی | دبی (Lit/Sec) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| تنگ بلبلوئیه -۱ (SP1) | ۳۱۲۹۳۷ | ۳۱۶۶۵۱۶ | ۲۵۷۱ | ۷/۱۸ | ۹/۵ | بدون طعم ، بی بو و بی رنگ | ۱/۵ |
| بند گلو (SP2) | ۳۱۳۲۴۶ | ۳۱۶۶۷۲۴ | ۲۶۳۷ | ۶/۰۲ | ۹ | بدون طعم ، بی بو و بی رنگ | ۰/۵ |
| آبگرم جانهناه (SP3) | ۳۱۵۶۲۰ | ۳۱۶۵۰۲۷ | ۳۱۷۶ | ۱/۴۶ | ۴۰ | بوی گوگرد، مزه تلخ ، ترش | ۰/۲ |
| تنگ بلبوئیه -۲(SP4) | ۳۱۲۹۹۴ | ۳۱۶۶۶۰۲ | ۲۵۸۶ | ۳/۷۸ | ۱۴ | بدون بو ، بی رنگ ، مزه ترش | ۱۱ |
| دره گل۱ (SP5) | ۳۱۱۹۲۹ | ۳۱۶۵۹۷۶ | ۲۵۰۰ | ۷/۰۴ | ۱۱ | بدون بو ، بی رنگ ، معمولی | ۳/۵ |
| دره گل ۲ (SP5-1) | ۳۱۲۹۳۷ | ۳۱۶۵۹۷۲ | ۲۵۲۰ | ۶/۶۷ | ۱۲ | بدون طعم ، بو ورنگ | ۴ |
| باغ بلوچ (SP6) | ۳۰۹۲۳۷ | ۳۱۵۳۸۸۸ | ۲۳۳۶ | ۷/۱۳ | ۷ | بدون بو ، بی رنگ ، معمولی | ۲ |
| شرق ولان (SP7) | ۳۰۷۶۸۱ | ۳۱۶۴۹۶۰ | ۲۳۴۱ | ۶/۶۴ | ۱۸ | بدون بو ، بی رنگ ، معمولی | ۰/۵ |
| سیهکی (SP8) | ۳۰۶۱۸۸ | ۳۱۶۷۲۱۰ | ۲۴۵۷ | ۷/۲۱ | ۱۲ | بدون بو ، بی رنگ ، معمولی | ۱/۵ |
| آبزیر(سردریا) (SP9) | ۳۰۴۴۰۷ | ۳۱۶۹۲۵۱ | ۲۵۴۵ | ۷/۲۴ | ۷ | بدون بو ، بی رنگ ، معمولی | ۰/۵ |
| درودی (SP10) | ۳۰۰۸۲۳ | ۳۱۶۸۲۶۶ | ۲۱۸۰ | ۷/۴۵ | ۱۵ | بدون طعم ، بو و رنگ | ۸ |
| بیدستر (SP11) | ۳۰۱۰۴۷ | ۳۱۶۹۸۰۳ | ۲۴۰۷ | ۷/۵۸ | ۱۱ | بدون طعم ، بو و رنگ | ۱ |
| غارپوسه (Sp12) | ۲۹۱۳۱۲ | ۳۱۵۹۰۲۸ | ۱۷۷۸ | ۷/۵۲ | ۲۵ | بدون طعم ، بو و رنگ | ۲/۵ |

جدول ۲- نتایج تجزیه شیمیایی یون‌های اصلی (بر حسب میلی‌گرم در لیتر) نمونه‌های آب برداشت شده از چشمه‌های معدنی تفتان در دو مرحله.

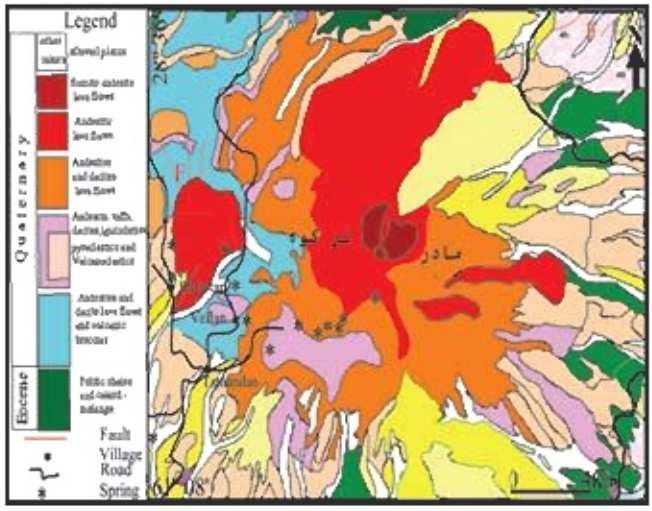
| نام چشمه | Ec | PH | TDS | TH | $Cl^-$ | $SO_4^{2-}$ | $NO_3^-$ | $HCO_3^-$ | $SiO_2$ | $Na^+$ | $K^+$ | $Mg^{2+}$ | $Ca^{2+}$ | $Fe^{2+}$ | $Mn^{2+}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| تنگ بلبلوئیه -۱ (SP1) | ۳۲۹ | ۷/۱۸ | ۱۹۰ | ۲۰۰ | ۱۰/۶۵ | ۵۱ | ۳/۸ | ۱۲۲ | ۹۵/۴۱ | ۱۰/۵ | ۳/۲ | ۸ | ۳۷ | ۰/۱۴ | ۰/۴ |
| بند گلو (SP2) | ۳۱۹۰ | ۶/۰۲ | ۱۹۲۰ | ۱۳۸۰ | ۷۱۰ | ۶۰۰ | ۱۱/۵ | ۱۸/۳ | ۹/۷۰ | ۱۰۴ | ۴۲ | ۱۲۵ | ۲۸۹ | ۰/۱ | ۰/۵۶ |
| آبگرم جانهناه (SP3) | ۳۰۸۰۰ | ۱/۴۶ | ۱۷۵۱۰ | – | ۱۳۳۱۲ | ۷۰۰۰ | ۱۵۸/۶ | ۰ | ۵/۱۷۱ | ۴۴۳ | ۳۳۰ | ۱۵۰ | ۴۶۵ | ۰/۴۶ | ۶ |
| تنگ بلبلوئیه -۲ (SP1) | ۲۷۰۰ | ۳/۷۸ | ۱۶۳۰ | ۹۲۰ | ۶۲۴/۸ | ۶۲۰ | ۲۰۰ | ۰ | ۲۵/۶۵ | ۸۷ | ۲۵ | ۷۷ | ۲۱۶ | ۰/۷۶ | ۲ |
| دره گل-۱(SP5) | ۳۸۶ | ۷/۰۴ | ۲۲۰ | ۱۵۰ | ۲۱/۳ | ۵۹ | ۱/۱ | ۱۴۶/۴ | ۷۳/۱۵ | ۲۶ | ۵/۵ | ۸ | ۳۳ | ۰/۱۳ | ۰/۱۲ |
| دره گل-۲(SP5-1) | ۳۹۶ | ۶/۶۷ | ۲۲۰ | ۱۶۰ | ۲۱/۳ | ۵۹ | ۲ | ۱۵۲/۵ | ۱۱/۱۶ | ۲۷ | ۵/۵ | ۷/۵ | ۳۶ | ۰/۱۲ | ۱۰/۱۸ |
| باغ بلوچ (SP6) | ۲۳۷ | ۷/۱۳ | ۱۴۰ | ۷۵ | ۳۱/۹۵ | ۱۰ | ۲/۳ | ۱۴۰/۴ | ۹۹/۱۴ | ۲۶ | ۹/۴ | ۸/۲ | ۱۱ | ۰/۷ | ۰/۱۷ |
| شرق ولان (SP7) | ۳۹۸ | ۶/۶۴ | ۲۲۰ | ۱۲۵ | ۲۸/۴ | ۳۳ | ۷/۲ | ۱۵۲/۵ | ۴/۲۶ | ۳۲ | ۲/۶ | ۶/۵ | ۲۱ | ۰/۴ | ۰/۱۶ |
| سیهکی (SP8) | ۲۵۸ | ۷/۲۱ | ۱۵۰ | ۱۱۰ | ۱۰/۶۵ | ۳۶ | ۷/۱ | ۲۸۰/۶ | ۸/۶۶ | ۲۰ | ۲/۴ | ۶ | ۱۹ | ۰/۶۵ | ۰/۱۹ |
| آبزیر(سردریا) (SP9) | ۹۲۷ | ۷/۲۴ | ۵۲۰ | ۴۰۵ | ۲۴/۸۵ | ۳۲۰ | ۲۰/۳ | ۱۲۸/۱ | ۰۶/۴۴ | ۵۲ | ۵۱۷ | ۸/۲ | ۹۸ | ۰/۶۶ | ۰/۱۶ |
| درودی (SP10) | ۱۲۹۰ | ۷/۳۵ | ۷۸۰ | ۵۶۰ | ۴۶/۷ | ۳۰۰ | ۱۲/۸ | ۳۳۱/۶ | ۳۸/۵۷ | ۸۶ | ۵/۱۱ | ۴۰ | ۱۶۳ | ۰/۵۸ | ۰/۱۹ |
| بیدستر (SP11) | ۳۱۵ | ۷/۵۸ | ۱۸۰ | ۵۵ | ۲۸/۴ | ۱۳ | ۱۴/۱ | ۱۷۰/۸ | ۸/۲۸ | ۴۶ | ۷/۴ | ۳۹ | ۱۲ | ۰/۵۵ | ۰/۱۵ |
| غارپوسه (SP12) | ۱۸۵۵ | ۷/۵۲ | ۱۱۲۰ | ۴۱۰ | ۲۱۳ | ۳۱۰ | ۱۳/۸ | ۲۹۸/۹ | ۲/۵۵ | ۲۶۲ | ۵/۱۸ | ۲۹ | ۱۰۸ | ۰/۴۹ | ۰/۱۹ |
| مرحله دوم | | | | | | | | | | | | | | | |
| تنگ بلبلوئیه -۱ (SP1) | ۳۲۷ | ۷/۹۶ | ۱۸۰ | ۱۵۰ | ۱۴/۲ | ۵۶ | ۱/۹ | ۱۲۲ | ۴/۴۱ | ۸/۵ | ۵/۱ | ۷ | ۳۶ | ۰/۱۲ | ۰/۴۸ |
| بند گلو (SP2) | ۳۲۷۰ | ۵/۹۵ | ۱۹۷۰ | ۱۳۷۵ | ۷۴۵/۵ | ۶۷۰ | ۱۴ | ۲۴/۴ | ۵۴ | ۱۰۶ | ۲۵ | ۸۹ | ۴۲۶ | ۰/۱۲ | ۰/۸۶ |
| آبگرم جانهناه (SP3) | ۲۸۸۰۰ | ۱/۴۷ | ۱۵۴۹۰ | – | ۱۵۱۱۲ | ۱۰۵۰۰ | ۲۹۲ | ۰ | ۸۷/۱۸۲ | ۳۶۸ | ۳۲۰ | ۹۲ | ۳۶۸ | ۰/۳۳ | ۳/۵ |
| تنگ بلبلوئیه -۲ (SP1) | ۲۷۲۰ | ۳/۸۴ | ۱۶۴۰ | ۸۴۰ | ۶۱۷/۷ | ۶۴۰ | ۱/۶ | ۰ | ۳۴ | ۸۵ | ۲۲ | ۵۷ | ۲۴۳ | ۰/۱۵ | ۱/۵ |
| دره گل -۱ (SP5) | ۴۲۱ | ۶/۹۵ | ۲۴۰ | ۱۶۵ | ۳۴/۸۵ | ۶۱ | ۲ | ۱۵۸/۶ | ۹/۲۹ | ۳۲ | ۵/۴ | ۸/۴ | ۳۸ | ۰/۲۴ | ۰/۸ |
| دره گل -۲(SP5-1) | ۴۰۹ | ۶/۹۸ | ۲۳۰ | ۱۵۵ | ۲۱/۳ | ۶۰ | ۳/۴ | ۱۴۰/۴ | ۳۷۵/۳۰ | ۳۱ | ۵/۴ | ۱۰ | ۳۹ | ۰/۱۵ | ۰/۸۶ |
| باغ بلوچ (SP6) | ۲۳۵ | ۸/۶۱ | ۱۳۰ | ۶۵ | ۱۰/۶۵ | ۸ | ۴/۴ | ۱۳۴/۲ | ۱۷۵/۱۹ | ۳۲ | ۱/۴ | ۹ | ۱۷ | ۰/۱۵ | ۰/۹۷ |
| شرق ولان (SP7) | ۴۰۳ | ۷/۴۹ | ۲۳۰ | ۱۰۵ | ۱۷/۷۵ | ۶۰ | ۲/۴ | ۱۴۰/۴ | ۹۲/۵۸ | ۴۹ | ۸/۴ | ۹ | ۳۳ | ۰/۱۸ | ۰/۹۱ |
| سیهکی (SP8) | ۲۶۰ | ۷/۶۹ | ۱۵۰ | ۱۰۵ | ۱۰/۶۵ | ۳۷ | ۸/۴ | ۱۵۱/۹ | ۰۵/۵۷ | ۱۶ | ۳ | ۷/۳ | ۳۰ | ۰/۲۱ | ۱ |
| آبزیر(سردریا) (SP9) | ۹۵۵ | ۷/۷۵ | ۵۸۰ | ۴۴۰ | ۲۱/۳ | ۳۲۰ | ۲۳/۵ | ۱۰۷/۸ | ۸۷/۴۱ | ۵۴ | ۳۱۳ | ۶ | ۹۵ | ۰/۱۸ | ۱/۱ |
| درودی (SP10) | ۱۲۹۶ | ۷/۵۵ | ۷۸۰ | ۵۸۰ | ۴۶/۱۵ | ۳۵۰ | ۷/۶ | ۳۵۳/۸ | ۱۸/۶۹ | ۸۲ | ۳/۷ | ۳۵ | ۱۴۰ | ۰/۱۸ | ۱/۱ |
| بیدستر (SP11) | ۲۸۱ | ۸/۰۷ | ۱۶۰ | ۵۰ | ۱۷/۷۵ | ۱۸ | ۱۲/۹ | ۱۴۰/۴ | ۲۵/۳۸ | ۵۰/۵ | ۱/۴ | ۴۸ | ۷/۱۳ | ۰/۱۸ | ۱/۱ |
| غارپوسه (SP12) | ۱۸۷۰ | ۷/۶۲ | ۱۱۳۰ | ۴۹۰ | ۲۳۰/۷۵ | ۳۵۰ | ۱۲/۹ | ۲۹۲/۸ | ۱۲/۶۱ | ۲۴۰ | ۱۲ | ۲۰ | ۹۹/۶ | ۰/۲۱ | ۱/۲ |

جدول ۳- نتایج تجزیه شیمیایی انجام شده برای اکسیدهای عناصر اصلی(ICPM-S,Wt%) .

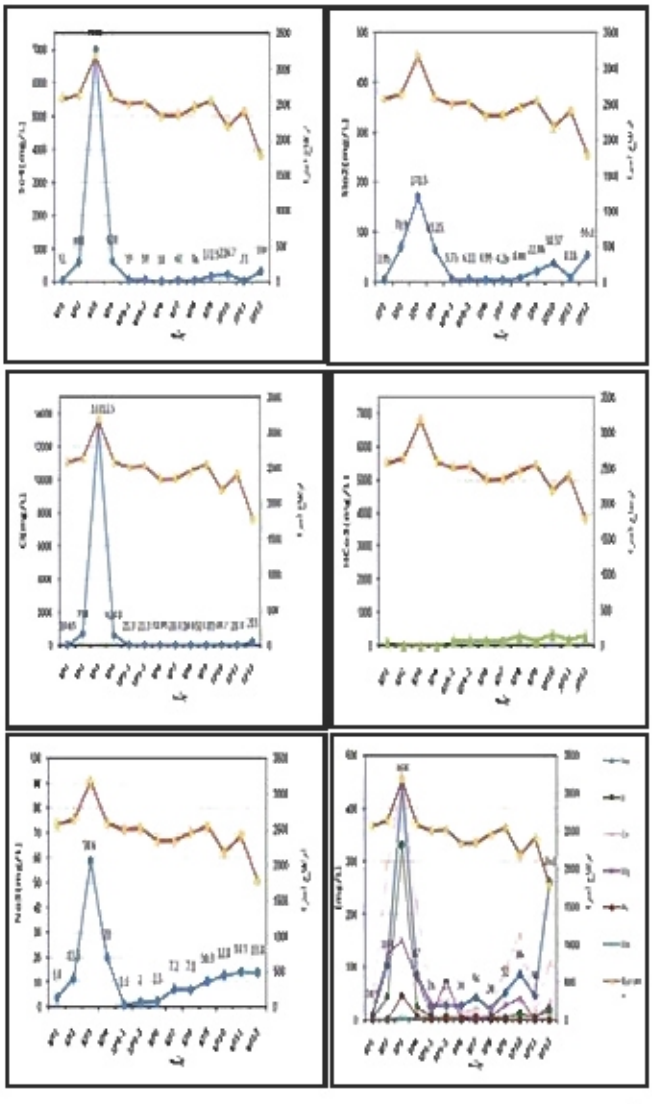
| Sample.N | $SiO_2$ | $Al_2O_3$ | $Fe_2O_3$ | CaO | MgO | $Na_2O$ | $K_2O$ | $Cr_2O_3$ | $TiO_2$ | MnO | $P_2O_5$ | SrO | BaO | LOI | Total |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ISH-176 | ۶۲/۷ | ۱۶/۱۲ | ۴/۷۵ | ۵/۱۳ | ۲/۴۸ | ۱/۹۵ | ۲/۹۲ | ۰/۰۰۱ | ۰/۶۷ | ۰/۰۷ | ۰/۱۹ | ۰/۰۶ | ۰/۰۸ | ۲/۱۵ | ۱۰۰ |
| ISH-181 | ۵۳/۴ | ۱۷/۶۵ | ۷/۲۱ | ۷/۹۷ | ۴/۳۲ | ۲/۵۹ | ۱/۷۲ | ۰/۰۰۱ | ۰/۹۹ | ۰/۱۰ | ۰/۱۳ | ۰/۰۹ | ۰/۰۴ | ۳/۳۵ | ۹۹/۵ |
| ISH-182 | ۶۲/۱ | ۱۵/۶۶ | ۶/۲۴ | ۸/۸۲ | ۱/۹۷ | ۲/۷۴ | ۱/۵۸ | ۰/۰۰۲ | ۰/۶۳ | ۰/۱۷ | ۰/۱۸ | ۰/۰۶ | ۰/۰۶ | ۳/۱۳ | ۹/۹۸ |
| ISH-183 | ۶۱/۱ | ۱۶/۶۵ | ۴/۹۹ | ۵/۲۹ | ۲/۰۱ | ۱۹۵ | ۲/۸۲ | ۰/۰۰۱ | ۰/۷۵ | ۰/۰۸ | ۰/۲۲ | ۰/۰۷ | ۰/۰۷ | ۱/۸۰ | ۹۹/۶ |
| ISH-185 | ۵۷/۵ | ۱۶/۸۵ | ۶/۵۵ | ۷/۸۴ | ۳/۴۷ | ۳/۱۰ | ۱/۹۹ | ۰/۰۰۲ | ۰/۹۷ | ۰/۱۱ | ۰/۲۴ | ۰/۰۶ | ۰/۰۵ | ۱/۰۶ | ۹۹/۸ |
| ISM-92 | ۵۸/۵۰ | ۱۷/۷۰ | ۵/۴۵ | ۵/۸۳ | ۲/۲۸ | ۳/۱۴ | ۱/۲۳ | ۰/۰۱ | ۰/۶۸ | ۰/۰۷ | ۰/۲۰ | ۰/۰۸ | ۰/۰۴ | ۱/۲۷ | ۹۸/۲ |
| ISM-93 | ۵۸/۴۰ | ۱۷/۶۵ | ۵/۶۲ | ۶/۶۱ | ۳/۰۵ | ۳/۱۷ | ۱/۸۶ | ۰/۰۱ | ۰/۰۷ | ۰/۱۰ | ۰/۲۴ | ۰/۱۱ | ۰/۰۶ | ۱/۰۳ | ۹۸/۶ |
| ISM-102 | ۵۷/۰۰ | ۱۶/۵۵ | ۵/۱۷ | ۷/۰۲ | ۲/۹۷ | ۲/۹۶ | ۲/۰۲۰ | ۰/۰۰۱ | ۰/۷۸ | ۰/۱۵ | ۰/۲۲ | ۰/۱۱ | ۰/۰۷ | ۲/۲۸ | ۹۸/۶ |
| ISM-106 | ۶۱/۳۰ | ۱۶/۳۰ | ۴/۸۵ | ۴/۸۲ | ۱/۸۰ | ۲/۹۷ | ۲/۹۰ | ۰/۰۱ | ۰/۶۷ | ۰/۱۰ | ۰/۱۳ | ۰/۰۸ | ۰/۰۷ | ۲/۱۸ | ۹۹/۲ |
| ISM-111 | ۵۷/۹۰ | ۱۷/۱۵ | ۴/۸۹ | ۶/۳۵ | ۱/۰۹ | ۳/۸۸ | ۱/۲۸ | ۰/۰۱ | ۰/۸۲ | ۰/۰۹ | ۰/۳۳ | ۰/۱۰ | ۰/۰۷ | ۲/۹۰ | ۱۰۰ |
| ISM-112 | ۶۲/۰۰ | ۱۷/۱۵ | ۵/۲۸ | ۵/۷۸ | ۲/۶۰ | ۳/۶۷ | ۲/۳۷ | ۰/۰۰۱ | ۰/۷۵ | ۰/۰۸ | ۰/۲۷ | ۰/۰۸ | ۰/۰۶ | ۱/۶۳ | ۹۹/۷ |
| ISM-115 | ۶۱/۱۰ | ۱۷/۵۰ | ۶/۰۳ | ۵/۶۶ | ۲/۲۹ | ۳/۲۹ | ۲/۱۶ | ۰/۰۰۱ | ۰/۳۵ | ۰/۰۷ | ۰/۲۱ | ۰/۰۶ | ۰/۰۵ | ۲/۶۹ | ۱۰۰ |
| ISM-116 | ۵۷/۷۰ | ۱۷/۲۰ | ۵/۱۸ | ۶/۹۱ | ۳/۲۲ | ۳/۹۳ | ۱/۹۹ | ۰/۰۱ | ۰/۰۱ | ۰/۰۹ | ۰/۲۷ | ۰/۱۲ | ۰/۰۵ | ۰/۸۷ | ۹۹/۶ |
| ISM-118 | ۶۳/۶۰ | ۱۶/۳۰ | ۴/۵۷ | ۵/۰۸ | ۲/۶۵ | ۳/۷۶ | ۲/۳۱ | ۰/۰۱ | ۰/۶۱ | ۰/۰۸ | ۰/۱۳ | ۰/۰۶ | ۰/۰۵ | ۲۴/۱ | ۱۰۰ |
| ISM-126 | ۶۱/۲۰ | ۱۷/۱۰ | ۴/۲۳ | ۵/۲۳ | ۱/۹۸ | ۳/۶۳ | ۲/۱۳ | ۰/۰۰۱ | ۰/۶۱ | ۰/۰۶ | ۰/۲۲ | ۰/۰۶ | ۰/۰۵ | ۲/۷۸ | ۹۹/۶ |
| ISM-127 | ۵۱/۷۱ | ۱۷/۷۰ | ۷/۸۳ | ۷/۳۵ | ۳/۸۸ | ۳/۹۵ | ۱/۰۲۱ | ۰/۰۰۲ | ۰/۸۷ | ۰/۱۰ | ۰/۲۷ | ۰/۰۷ | ۰/۰۴ | ۲/۷۳ | ۱۸/۲ |
| ISM-128 | ۵۰/۱۱ | ۱۷/۷۵ | ۷/۱۵ | ۹/۰۰ | ۴/۷۲ | ۳/۴۲ | ۱/۰۱۲ | ۰/۰۰۲ | ۰/۹۳ | ۰/۱۳ | ۰/۳۲ | ۰/۰۹ | ۰/۰۴ | ۴/۰۲ | ۱۹/۶ |
| ISM-129 | ۶۲/۸۰ | ۱۶/۵۰ | ۴/۱۰ | ۴/۸۵ | ۱/۱۰ | ۳/۷۲ | ۲/۳۲ | ۰/۰۱ | ۰/۵۹ | ۰/۰۶ | ۰/۱۰ | ۰/۰۷ | ۰/۰۵ | ۱/۰۱۵ | ۱۸/۵ |
| ISM-130 | ۵۸/۴۰ | ۱۷/۲۵ | ۵/۲۷ | ۶/۱۹ | ۱/۸۷ | ۳/۸۰ | ۱/۸۲ | ۰/۰۰۱ | ۰/۵۳ | ۰/۱۰ | ۰/۲۷ | ۰/۰۷ | ۰/۰۴ | ۰/۷۳ | ۹۹/۱ |
| ISM-132 | ۶۲/۷۰ | ۱۶/۳۰ | ۴/۲۲ | ۵/۱۲ | ۲/۵۴ | ۳/۶۲ | ۲/۲۲ | ۰/۰۱ | ۰/۵۹ | ۰/۹۰ | ۰/۱۰ | ۰/۰۷ | ۰/۰۵ | ۱/۱۴ | ۱۸/۵ |
| ISM-135 | ۶۱/۷۰ | ۱۷/۱۵ | ۴/۸۰ | ۵/۶۸ | ۱/۶۲ | ۳/۷۱ | ۲/۱۸ | ۰/۰۱ | ۰/۶۲ | ۰/۰۸ | ۰/۲۱ | ۰/۰۷ | ۰/۰۵ | ۱/۱۲ | ۱۰۰ |
| ISM-137 | ۶۱/۷۰ | ۱۷ | ۴/۶۸ | ۵/۶۱ | ۲/۰۴ | ۳/۰۷ | ۲/۰۰۵ | ۰/۰۰۱ | ۰/۷۲ | ۰/۰۸ | ۰/۱۰ | ۰/۰۷ | ۰/۰۵ | ۰/۸۲ | ۱۹/۶ |
| ISM-142 | ۶۱/۹۰ | ۱۶/۲۵ | ۴/۷۷ | ۵/۳۰ | ۲/۲۰ | ۳/۷۱ | ۲/۲۲ | ۰/۰۱ | ۰/۶۸ | ۰/۰۸ | ۰/۱۲ | ۰/۰۷ | ۰/۰۴ | ۱/۳۳ | ۹۹/۳ |
| ISM-154 | ۵۷/۷۰ | ۱۶/۲۵ | ۶/۱۰ | ۷/۴۰ | ۲/۷۲ | ۳/۳۵ | ۱/۶۵ | ۰/۰۰۲ | ۰/۷۷ | ۰/۱۰ | ۰/۲۱ | ۰/۰۹ | ۰/۰۳ | ۰/۶۱ | ۹۹/۳ |
| ISM-153 | ۵۸/۰۰ | ۱۶/۸۰ | ۵/۰۷ | ۷/۱۷ | ۳/۲۱ | ۳/۸۰ | ۲/۰۹ | ۰/۰۰۱ | ۰/۹۰ | ۰/۰۰۹ | ۰/۳۸ | ۰/۰۹ | ۰/۳۲ | ۰/۹۸ | ۹۸/۶ |
| SS-12 | ۶۳/۲۰ | ۱۶/۷۰ | ۴/۶۲ | ۵/۱۲ | ۲/۳۹ | ۳/۷۸ | ۲/۳۸ | ۰/۰۱ | ۰/۶۲ | ۰/۰۸ | ۰/۱۲ | ۰/۰۶ | ۰/۰۵ | ۰/۰۳۲ | ۹۹/۹ |
| SS-28 | ۵۷/۰۰ | ۱۷/۰۵ | ۵/۶۱ | ۶/۷۲ | ۳/۳۰ | ۳/۷۰ | ۲/۲۸ | ۰/۰۱ | ۰/۹۳ | ۰/۰۹ | ۰/۳۵ | ۰/۰۹۲ | ۰/۰۵ | ۰/۸۱ | ۱۰۰ |
| SS-51 | ۷۱/۹۰ | ۱۵/۰۵ | ۳/۲۸ | ۵/۱۲ | ۰/۹۲ | ۳/۵۷ | ۱/۸۶ | ۰/۰۰۱ | ۰/۰۲۹ | ۰/۰۰۳ | ۰/۰۱۳ | ۰/۰۰۲ | ۰/۰۵ | ۲/۰۱۳ | ۹۹/۷ |
| SS-56 | ۷۱/۹۰ | ۱۷/۶۰ | ۵/۱۶ | ۵/۶۲ | ۲/۲۳ | ۳/۶۸ | ۱/۹۸ | ۰/۰۰۱ | ۰/۵۲ | ۰/۰۰۹ | ۰/۲۲ | ۰/۰۰۲ | ۰/۰۵ | ۰/۵۱ | ۱۰۰ |
| SS-69 | ۵۸/۷۰ | ۱۸/۲۰ | ۴/۵۲ | ۴/۶۲ | ۳/۲۳ | ۳/۳۹ | ۱/۰۴۲ | ۰/۰۱ | ۰/۸۱ | ۰/۱۰ | ۰/۲۱ | ۰/۰۸ | ۰/۰۴ | ۰/۲۰ | ۱۰۰ |
| SS-70 | ۷۱/۰۰ | ۱۷/۵۰ | ۵/۱۵ | ۵/۸۹ | ۱/۹۲ | ۳/۶۳ | ۱/۸۵ | ۰/۰۱ | ۰/۶۲ | ۰/۰۹ | ۰/۱۹ | ۰/۰۸ | ۰/۰۵ | ۰/۰۸ | ۹۹/۶ |
| SS-71 | ۵۸/۷۰ | ۱۸/۲۰ | ۴/۳۲ | ۴/۹۲ | ۳/۱۶ | ۳/۷۵ | ۱/۰۴۶ | ۰/۰۰۱ | ۰/۰۷۹ | ۰/۰۰۱ | ۰/۱۸ | ۰/۰۰۲ | ۰/۰۴ | ۰/۲۷ | ۱۰۰ |
| SS-73 | ۶۱/۹۰ | ۶۱/۲۵ | ۴/۷۳ | ۵/۱۶ | ۲/۲۶ | ۳/۷۳ | ۲/۳۲ | ۰/۰۱ | ۰/۲۰ | ۰/۰۹ | ۰/۲۲ | ۰/۰۷ | ۰/۰۵ | ۱/۰۲۰ | ۹۹/۷ |
| SS-82 | ۶۰/۳۰ | ۱۷/۶۰ | ۵/۲۶ | ۶/۲۹ | ۳/۰۳ | ۳/۷۳ | ۱/۰۸۵ | ۰/۰۱ | ۰/۷۹ | ۰/۰۶ | ۰/۲۲ | ۰/۱۱ | ۰/۰۴ | ۰/۵۲ | ۱۰۰ |
| SS-86 | ۴۹/۸۰ | ۱۷/۳۰ | ۷/۸۳ | ۹/۶۲ | ۵/۲۹ | ۳/۱۴ | ۱/۰۲۱ | ۰/۰۰۳ | ۰/۹۸ | ۰/۱۳ | ۰/۳۶ | ۰/۸۳ | ۰/۱۸ | ۰/۹۰ | ۱۰۰ |
| IST-6 | ۶۲/۵۰ | ۱۶/۳۰ | ۴/۵۱ | ۵/۱۲ | ۲/۳۲ | ۳/۷۸ | ۲/۳۳ | ۰/۰۱ | ۰/۵۵ | ۰/۰۸ | ۰/۱۰ | ۰/۰۷ | ۰/۰۵ | ۰/۲۰ | ۹۸/۵ |
| IST-7 | ۶۳/۱۰ | ۱۶/۰۲۰ | ۴/۲۹ | ۵/۱۳ | ۲/۱۶ | ۳/۷۹ | ۲/۳۶ | ۰/۰۱ | ۰/۵۲ | ۰/۰۸ | ۰/۱۱ | ۰/۰۷ | ۰/۰۵ | ۰/۶۸ | ۹۹/۳ |
| IST-11 | ۶۳/۵۰ | ۱۶/۳۰ | ۴/۲۹ | ۵/۱۶ | ۲/۲۶ | ۳/۸۱ | ۲/۳۹ | ۰/۰۱ | ۰/۵۵ | ۰/۰۸ | ۰/۲۲ | ۰/۰۷ | ۰/۰۵ | ۰/۶۰ | ۱۹/۵ |
| IST-13 | ۵۲/۹۰ | ۱۷/۳۵ | ۷/۱۸ | ۷/۰۵ | ۳/۲۹ | ۳/۷۴ | ۱/۷۳ | ۰/۰۱ | ۰/۷۵ | ۰/۰۹ | ۰/۱۳ | ۰/۱۱ | ۰/۰۴ | ۰/۷۳ | ۹۸/۳ |
| IST-27 | ۵۲/۱۰ | ۱۶/۲۵ | ۵/۸۵ | ۷/۱۳ | ۳/۹۱ | ۳/۲۵ | ۱/۷۶ | ۰/۰۱ | ۰/۶۹ | ۰/۰۹ | ۰/۱۲ | ۰/۱۰ | ۰/۰۴ | ۰/۸۷ | ۱۰۰ |

جدول ۴- مقادیر میانگین یون‌های اصلی آب زیرزمینی و آب مشتق شده از آب سطحی در چشمه‌های آب گرم و سرد مناطق آذرین (میلی‌گرم در لیتر، اقتباس از Freeze and Cherry, 1979).

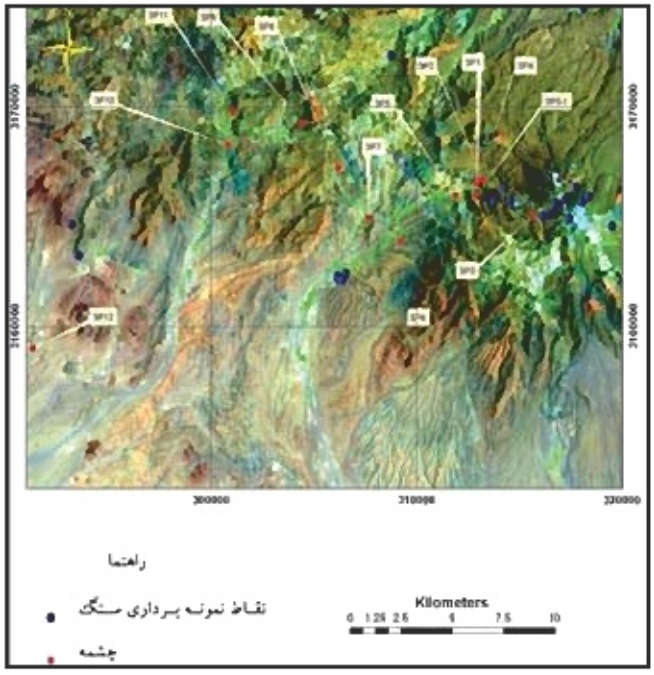
| Location | PH | $HCO_3^-$ | $Cl^-$ | $SO_4^{-2}$ | $SiO_2$ | $Na^+$ | $K^+$ | $Ca^{+2}$ | $Mg^{+2}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Vosges, France | ۶/۱ | ۱۵/۹ | ۳/۳ | ۱۰/۹ | ۱۱/۵ | ۳/۳ | ۱/۲ | ۵/۸ | ۲/۳ |
| Brittany, France | ۶/۵ | ۱۳/۴ | ۱۶/۲ | ۳/۹ | ۱۵/۰ | ۱۳/۳ | ۱/۳ | ۳/۴ | ۲/۶ |
| Central Massif, France | ۷/۷ | ۱۹/۲ | ۶/۲ | ۳/۷ | ۱۵/۱ | ۴/۲ | ۱/۲ | ۳/۶ | ۱/۳ |
| Alrance Spring F, France | ۵/۹ | ۶/۹ | <۳ | ۱/۱۵ | ۵/۹ | ۲/۳ | ۰/۶ | ۱/۰ | ۰/۴ |
| Alrance Spring F, France | ۶/۰ | ۸/۱ | <۳ | ۱/۱ | ۱۱/۵ | ۲/۶ | ۰/۶ | ۰/۷ | ۰/۴ |
| Corsica | ۶/۷ | ۴۰/۳ | ۲۲/۰ | ۸/۶ | ۱۳/۲ | ۱۶/۵ | ۱/۴ | ۸/۱ | ۴/۰ |
| Senegal | ۷/۱ | ۳۳/۹ | ۳/۲ | ۰/۸ | ۴۶/۲ | ۸/۴ | ۲/۲ | ۸/۳ | ۳/۷ |
| Chad | ۷/۹ | ۵۲/۴ | <۳ | ۱/۴ | ۸۵ | ۱۵/۷ | ۳/۴ | ۸/۰ | ۲/۵ |
| (Mampulo(Tanzania | ۷/۲ | ۱۱۴۲۵ | ۱۳۵ | ۲۳۰ | ۱۲۵ | ۹۱۰ | ۱۰۲ | ۳۶ | ۱۸ |
| (Kasimolo(Tanzania | ۷ | ۳۰۱۰ | ۲۲۰ | ۲۶۰ | ۱۵۰ | ۱۳۳۰ | ۷۴ | ۶۴ | ۱۹ |
| (Malagasy (high plateaus | ۵/۷ | ۶/۱ | ۱ | ۰/۷ | ۱۰/۶ | ۰/۹۵ | ۰/۶۲ | ۰/۳۰ | ۰/۱۲ |
| (Sierra Nevada, Calif (eparennial spring | ۶/۲ | ۲/۰ | ۰/۵ | ۱/۰ | ۱۶/۳ | ۳/۰۳ | ۱/۰۹ | ۳/۱۱ | ۰/۷۰ |
| (Sierra Nevada, Calif (parennial spring | ۶/۸ | ۵۲/۶ | ۱/۰۶ | ۲/۳۸ | ۲۲/۶ | ۵/۹۵ | ۱/۵۷ | ۱۰/۳ | ۱/۷۰ |
| (Kenora, NW ntario (confined aquifer | ۶/۹ | ۵۹/۲ | ۰/۷ | ۰/۸ | ۲۲/۱ | ۳/۰۴ | ۱/۰۵ | ۱۱/۹ | ۳/۹۲ |



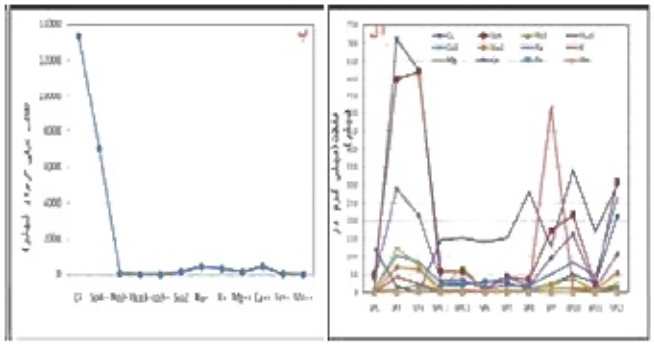

شکل ۲ – نقشه زمین‌شناسی آتشفشان تفتان با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰
(اقتباس از نقشه سازمان زمین‌شناسی با تغییرات).



شکل ۴– رابطه بین عناصر و ارتفاع چشمه‌ها.

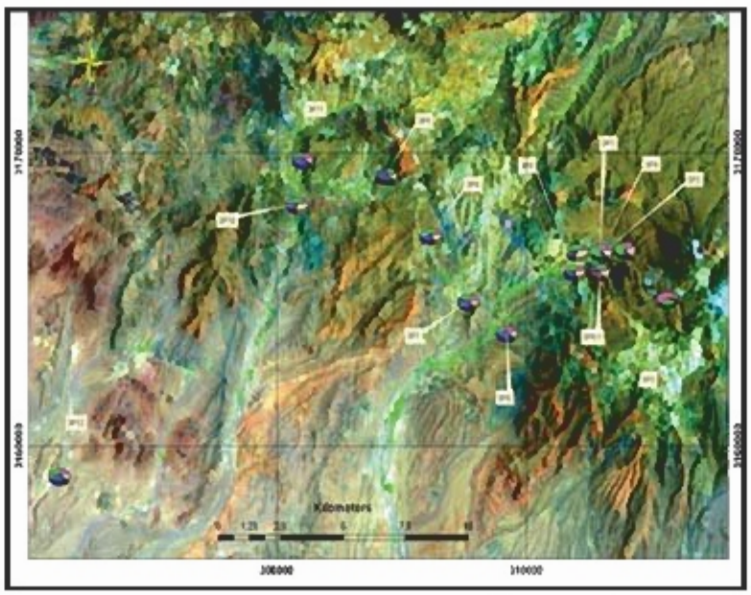



شکل ۳– موقعیت نقاط نمونه‌برداری سنگ‌ها و چشمه‌ها در منطقه مورد مطالعه.

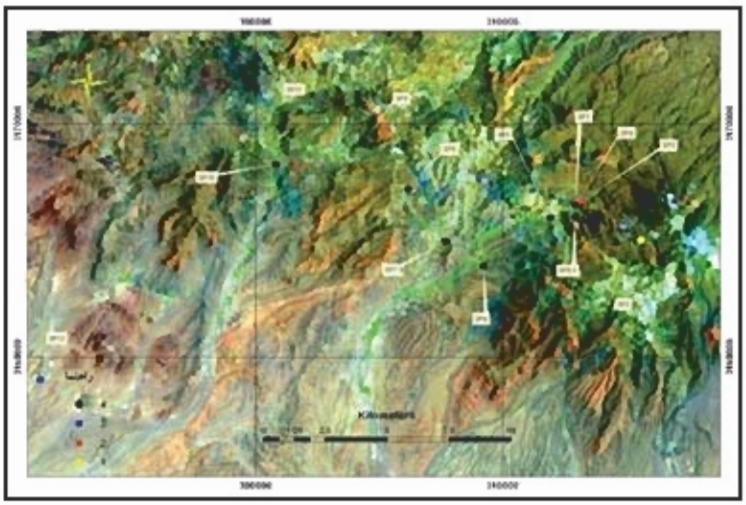


شکل ۵– الف) کاتیون‌ها و آنیون‌های اندازه‌گیری شده در چشمه‌های منطقه
ب) کاتیون‌ها و آنیون‌های اندازه‌گیری شده در چشمه آبگرم– جانپناه

شکل ۶– الف) نمایی از چشمه شماره ۲ تنگ بلباولیه ب) چشمه آبگرم جانپناه ج) چشمه شرق ولان د) چشمه غار پرسه.



شکل ۷- تغییرات مکانی کاتیون‌ها و آنیون‌های چشمه‌های مختلف.



شکل ۸- طبقه‌بندی چشمه‌های مورد مطالعه.

## کتابنگاری


شهرابی، م.، ۱۳۷۳- شرح نقشه زمین‌شناسی چهارگوش خاش، سازمان زمین‌شناسی کشور، مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰، شماره L۱۲، ۸۵ صفحه.

مقیمی، ه.، ۱۳۸۵ - هیدروژئوشیمی، اثر سری انتشارات پیام نور، ۲۱۴ صفحه.

مهرپرتو، م. و پادیار، ف.، ۱۳۸۲- شرح نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ تفتان، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

**References**

Brown, A. G., (ed.), 1995- Geomorphology and groundwater, Johan Wiley and Sons, Chichester, 213 p.

Clarke, M. C. G., Woodhall, D. G., Allen, D. and Darling, G., 1990- Geological, volcanological and hydrogeological controls on the occurrence of geothermal activity in the area surrounding Lake Naivasha, Kenya. Ministry of Energy-British Geological Survey Report, Nairobi, 138 pp.

Ganser, A., 1971- The Taftan volcano (southeast Iran), edogae geol Helve. 64, 2,319-334.

Falcon, N. L., 1974- An outline of the geology of the Iranian Makran, Geographical Journal, 140:283-291.

Freeze, R. A. and Cherry J. A., 1979- Groundwater. Prentice Hall, Inc. 473 pp.

Hem, J. D., 1989- Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water. United State Geological Survey water- supply, 2254.

Hochstein, M. P., Tennu, B. P., Mosby, C. M. A., 2000- Geothermal resources of Tanzania. Proceedings World Geothermal Congress Kyushu-Tohoku, Japan, 1233-1238 P.

Lloyd, W. J., Heathcoat J. A., 1984- Natural inorganic hydrochemistry in relation to groundwater Clarendon Press.

Merritts, D., De Wet, A., Menking, K., 1997- Environmental Geology, W.H. Freeman and Company, New York.

Tirrul, R., Bell, I. R., Griffis, R. j. & Camp, V.E., 1983- The Sistan suture zone of eastern Iran, Geological Society of America, Bulletin, 94:134-150.

Walter, J.V., 2005- Essentials of geochemistry, Jones and Bartlett publishers, Sudbury.

fault is Tappeh Siah fault, suggested to be active during and after the period of sedimentation. Major minerals are sphalerite and galena with minor pyrite, chalchopyrite in sulfide zone, smithzonite, hydrozincite, hemimorphite and cerussite in oxide zone. Mineralization occurs in stratiform-lenticular orebodies and concordant with host rocks. Also ore bodies showing laminated, disseminated, open space filling, karst filling, colloform and botryoidal textures.

**Keywords:** Mehdiabad, Lower Creataceous, Zinc & Lead, Iran, Tappeh Siah fault.

For Persian Version see pages 89 to 98

*Corresponding author: M. Ghasemi; E-mail: gsighasami@yahoo.com

# Study of the Hydrogeochemistry of Taftan Volcano's Mineral Springs and their Relation to Hard-Rock Masses of Region

**H. Biabangard [1*], A. Moradian[2] & Y. Bavali [3]**

[1] Sistan and Baluchestan University of Zahedan, Zahedan, Iran.

[2] Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran.

[3] Water Resources Management Company, Sistan and Baluchastan, Zahedan, Iran.

Received: 2008 January 05 Accepted: 2008 May 31

**Abstract**

Taftan is a stratovolcano, located to the SE of Zahedan, eastern Iran. Due to the highlands of the volcano, a microclimate is created in the region where precipitation provides some water in the arid region that the volcano is located. Field studies and chemical analyses of thirteen mine springs from western flanks of the volcano indicate that springwater in Taftan is somehow related to volcanic rocks. Based on hydrogeochemical analyses, significant variation in $Mg^{2+}$(2-150), $Ca^{2+}$(11-465), $Na^{+}$(10.5-444), $K^{+}$(1.5-330), $SO_4^{2-}$(8-1050), $HCO_3^{-}$ (0-353.8), $NO_3^{-}$(1.1-58.6), $Cl^{-}$ (10.65-1520) and mole fraction of $SiO_2$ (6.11-182.87) all in mg/L is affected by the chemical composition of volcanic rocks. Since springwater in Taftan shows significant compositional variation, it is concluded that the springs originated mainly due to precipitation, affected by water-rock interaction to some extent. However, a few springs show characteristic of juvenile water and some may have a mixture of juvenile and meteoric water.

**Key words:** Taftan volcano, Sistan and Baluchastan, Hydrogeochemistery, Hard-rocks, Spring.

For Persian Version see pages 99 to 108

*Corresponding author: H. Biabangard; E-mail: h.biabangard@yahoo.com