

شواهد اختلاطی بودن منشأ چشمه‌های آهکی آب اسک (جنوب شرق آتشفشان دماوند) بر اساس مطالعات ایزوتوپی نهشته‌های کربناته، ژئوشیمی آب و دورسنجی

سمیه رحمانی جوانمرد^(۱)، صفیه امیدیان^(۲) و رضا زارعی سهامیه^(۳)

۱. دانشجوی دکتری پترولوژی، دانشکده علوم، دانشگاه لرستان

۲. دانش‌آموخته پترولوژی، دانشکده علوم، دانشگاه تهران

۳. دانشیار گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه لرستان

تاریخ دریافت: ۹۴/۱۲/۱۷

تاریخ پذیرش: ۹۵/۰۴/۲۱

چکیده

در دامنه‌های جنوب شرقی آتشفشان دماوند (۸۵ کیلومتری شرق تهران واقع در پهنه البرز مرکزی) در منطقه آب اسک، چندین چشمه آهکی تراورتن‌ساز وجود دارد. به‌منظور تعیین منشأ عمقی آب این چشمه‌ها بر اساس منشأ گاز CO₂، از داده‌های ایزوتوپی کربن و اکسیژن نهشته‌های کربناته و همچنین داده‌های ژئوشیمی آبی استفاده شد. آنالیزهای ایزوتوپی نشان می‌دهند که با دور شدن از چشمه‌ها، تراورتن‌ها از $\delta^{13}C$ و $\delta^{18}O$ غنی‌شدگی نشان می‌دهند. بر اساس مقادیر $\delta^{13}C_{(CO_2)}$ اولیه، سیال رسوب‌دهنده نهشته‌ها یک سیال هیدروترمال متاسوماتیسم‌کننده بوده است. با توجه به روند خطی مشاهده شده بین مقادیر $\delta^{13}C - \delta^{18}O$ در تراورتن‌های منطقه، احتمالاً این سیال با آب‌هایی با منشأ متفاوت اختلاط پیدا کرده است. بر اساس نتایج ایزوتوپی منشأ گاز CO₂ این چشمه‌ها، دریایی-گوشته‌ای تشخیص داده شده، همان‌طور که نتایج بررسی داده‌های شیمیایی بر روی آب‌های چشمه‌های آب اسک، مؤید وجود یک منشأ عمیق برای آب‌های این منطقه است. بر اساس مطالعات دورسنجی صورت گرفته، هم‌راستا بودن روند کشیدگی و ظهور تراورتن‌های شناسایی شده با روند خطواره‌های گسلی بررسی شده در صحرا و همچنین آبراهه‌ها، حاکی از تأثیر قوی آبخوان‌های سطحی در سیستم زهکشی درونی زایش نهشته‌های کربناته در این منطقه می‌باشد. در نهایت بر اساس مطالعات ژئوشیمی آب و ایزوتوپی رسوبات، شرکت آب‌های سطحی و آب‌هایی با منشأ عمقی، برای منشأ آب چشمه‌های این ناحیه معرفی می‌شود.

واژه‌های کلیدی: آب اسک، ایزوتوپ، تراورتن، دورسنجی، منشأ چشمه‌ها.

مقدمه

مجموعه چشمه‌های معدنی آب اسک (واقع در ۸۵ کیلومتری شمال شرق تهران) در ترازهای پایین ارتفاعی جاده هراز رخنمون دارند. این منطقه از نواحی معروف دامنه جنوب شرقی آتشفشان دماوند است که به‌واسطه ظهور

بیش از ۱۰ چشمه سرد و گرم مورد توجه ویژه گردشگران و همچنین پژوهشگران بوده است. هنوز مطالعات جامعی برای بررسی منشأ دقیق چشمه‌ها و میزان مشارکت فعالیت‌های آتشفشانی در ایجاد آنها، در این ناحیه انجام نشده است. Ansari (2013) و Rahmani Javanmard et al. (2012)

* نویسنده مرتبط: somayeh.rahmani@khayam.ut.ac.ir

انجام گرفت. به طوری که بر اساس توالی رسوب‌گذاری و لیتوفاسیس و با دور شدن از چشمه‌ها سه تیپ مختلف تراورتن در منطقه شناسایی شد (تراورتن‌های نوع اول با مورفولوژی کانالی، تراورتن‌های نوع دوم با مورفولوژی سدی، آبشاری، پشته‌ای- شکافی و تراورتن‌های نوع سوم یا لامینه‌ای). سپس از بخش بالایی و هوازده تراورتن‌های نوع اول و دوم که دارای تخلخل ظاهری و میزان آلودگی کمتری بودند، تعداد ۵۰ نمونه برداشت شد. آنالیزهای ایزوتوپی ^{18}O و ^{13}C در آزمایشگاه ETH زوریخ (سوئیس) انجام شد. جهت انجام مطالعات تکتونیکی در منطقه تصویر ماهواره‌ای استر منطقه مورد مطالعه تهیه شد و مطالعات دورسنجی توسط نرم‌افزارهای Geomatica و Envi انجام گرفت.

زمین‌شناسی منطقه

منطقه آب اسک از نظر زمین‌شناسی در حد فاصل بین رسوبات دوران پالئوزویک، مزوزویک تا نهشته‌های آذرآواری و توده‌های آذرین و از نظر جغرافیایی در محدوده‌ای به مختصات عرض جغرافیایی $35^{\circ} 52'$ تا $35^{\circ} 51'$ شمالی و طول جغرافیایی $52^{\circ} 08'$ تا $52^{\circ} 10'$ شرقی قرار گرفته است (شکل ۱). سازندهای پالئوزویک موجود در منطقه، متشکل از سنگ آهک میلا و سنگ آهک دورود هستند. از جمله سازندهای مزوزویک موجود در منطقه می‌توان به سنگ آهک الیکا، ماسه‌سنگ‌ها و شیل‌های سازند شمشک و سنگ آهک لار نیز اشاره کرد.

چشمه‌های آب اسک از نظر موقعیت زمین‌ساختاری در شرایط بسیار خاصی قرار دارند. به طور کلی این منطقه بخشی از کمربند کوهزایی البرز مرکزی است که دو روند ساختاری شرق-شمال شرق و غرب-شمال غرب به ترتیب مربوط به البرز شرقی و غربی در منطقه کوه آتشفشانی دماوند به هم می‌رسند. کوهزایی فعال این ناحیه که ناشی از فشارش مداوم صفحه عربستان به صفحه ایران است، باعث ایجاد گسل‌های فعال و توانمند فشارشی (مانند گسل مشا) و چین‌خوردگی‌های عظیم تقریباً شرقی-غربی در پهنه ۶۰۰ کیلومتری البرز شده و به طور کلی پی‌سنگ رسوبی حاشیه غیرفعال پالئوزویک-مزوزویک این منطقه را همراه

به ترتیب با بررسی فاکتورهای فیزیکی شیمیایی آب چشمه‌ها و مطالعات ژئوشیمیایی و ایزوتوپی نهشته‌های کربناته ناشی از فعالیت چشمه‌ها به بررسی عوامل مؤثر در ظهور چشمه‌های این ناحیه پرداختند. نهشته‌های این چشمه‌های آهک‌ساز بیشتر به صورت تراورتن تظاهر یافته است. این چشمه‌ها از سنگ‌های آهکی ژوراسیک و از بین رسوبات تخریبی و تراورتن حاصل از آب‌های کربناته چشمه‌های قدیمی خارج می‌شوند. آب آن‌ها از نوع بیکربناته کلسیم با pH کم و بیش اسیدی ($\text{pH}=6$) و حاوی گاز H_2S و CO_2 می‌باشد که به علت خارج شدن این گازها به صورت جوشان به سطح زمین می‌رسند. تراورتن‌هایی که از این چشمه‌ها نهشته می‌شوند دارای مقدار زیادی گوگرد هستند، به حدی که بوی گوگرد شدیدی از آن‌ها متصاعد و در مناطق اطراف احساس می‌شود. آب اکثر این چشمه‌ها دارای مزه نمکی و گزنده‌اند و به طور کلی رنگ آنها در مظهر بی‌رنگ و پس از چندی در حوضچه مجاور مظهر کدر و شیری به نظر می‌رسد. پدیده سفید شدن که بیشتر در حوضچه‌ها دیده می‌شود، به احتمال زیاد به دلیل تبدیل منوسولفورها به پلی‌سولفورها به همراه رسوب نمودن گوگرد در آب می‌باشد (غفوری، ۱۳۶۶).

در این مطالعه منشأ عمقی چشمه‌های غنی از Ca و HCO_3 بر اساس منشأ گاز CO_2 موجود در آب با توجه ویژه‌ای به نتایج داده‌های ژئوشیمیایی آب، خاستگاه زمین‌ساختاری، زمین‌شناسی منطقه و همچنین مطالعات ایزوتوپی ^{18}O و ^{13}C مورد بررسی قرار گرفته است.

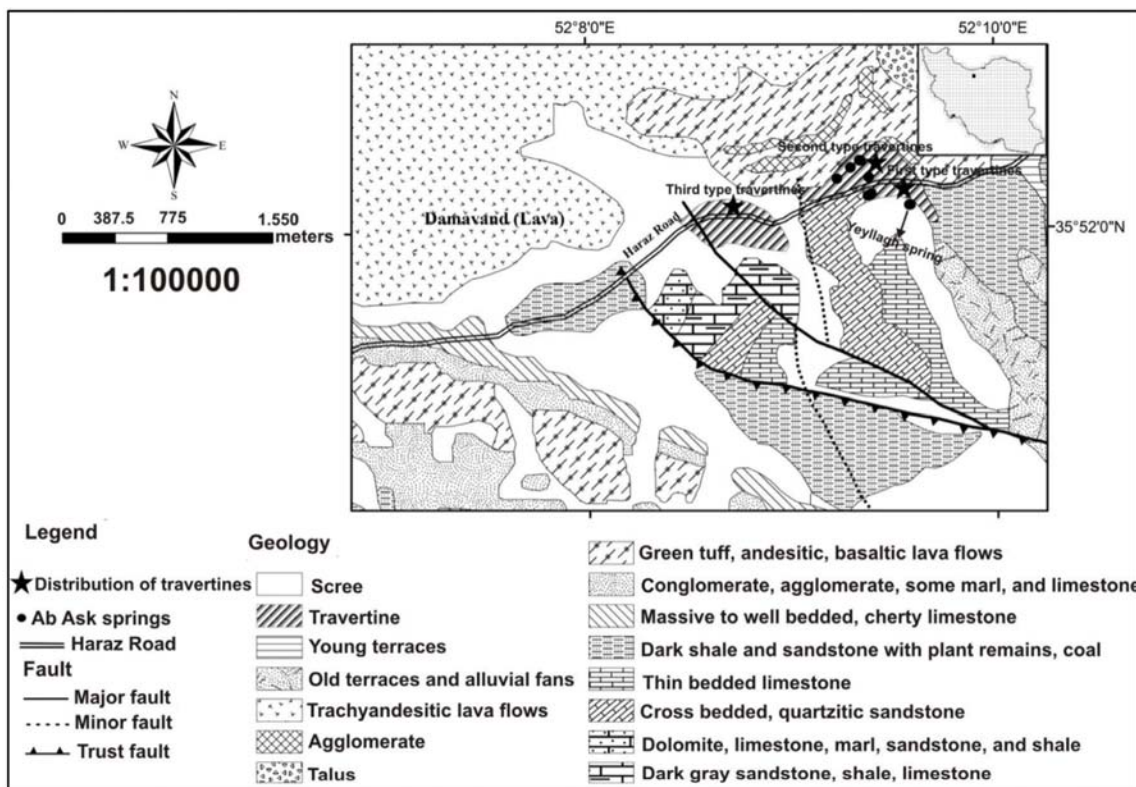
روش مطالعه

برای انجام این تحقیق از داده‌های نمونه‌های آبی منتشر شده توسط Ansari (2013) استفاده شد. همچنین در طی تحقیق حاضر، پارامترهای فیزیکی شیمیایی مانند درجه حرارت، EC و pH در بعضی از چشمه‌های آب اسک اندازه‌گیری شد (جدول ۱). به منظور تعیین منشأ چشمه‌های آب گرم آب اسک و با توجه به اینکه منشأ دی‌اکسیدکربن آزاد و کربن آب‌های زیرزمینی نقش بسیار مهمی را در تشکیل تراورتن‌های رسوب شده از این چشمه‌ها ایفا می‌کنند، از تراورتن‌ها در امتداد مسیر جریان چشمه‌های آب نمونه‌برداری

سمیه رحمانی جوانمرد و همکاران

محیط تراکشی شده است. به نظر می‌رسد چشمه‌های متعدد و نهشته‌های تراورتن ناشی از آن در اطراف آتشفشان دماوند، در نتیجه فعالیت سیستم‌های جدید تکتونیکی حاکم بر البرز مرکزی به سطح راه یافته‌اند (امیدیان، ۱۳۸۶). بر اساس اطلاعات نقشه زمین‌شناسی، گسل‌های ساختاری ایرا و نوا با روند ESE و دارا بودن مکانیسم معکوس در شرق آتشفشان دماوند، جزء سیستم تکتونیکی البرز مرکزی محسوب می‌شوند. ادامه روند این گسل‌ها به سمت غرب، با تعدد شاخه‌های فرعی فعالی همراه است که با تغییر جهت بارز به زیر گذارهای دماوند در منطقه آب اسک، محو می‌شوند (اسکویی و امیدیان، ۱۳۹۲). برای بررسی دقیق‌تر رابطه بین نقش فعالیت‌های تکتونیکی در ظهور چشمه‌های آب این ناحیه، مطالعات دورسنجی به منظور یافتن شواهدی از این نظریه انجام شد.

با حضور سنگ‌های رسوبی-آتشفشانی سنوزوییک، از نظر تکتونیکی شدیداً متحول کرده است. روند گسلش فشارشی راست‌گرد این ناحیه به واسطه شروع به چرخش راست‌گرد بلوک خزر در 5 ± 2 میلیون سال پیش، موجب تغییر جهت امتداد لغز از راست‌گرد به چپ‌گرد شده است (Allen et al., 2003). امیدیان (۱۳۸۶) با بررسی‌های پالئواسترس در اطراف آتشفشان دماوند، شواهد متعدد ثبت خش‌لغزهای گسلی فشارشی دارای مؤلفه امتدادی چپ‌گرد که بر روی خش‌لغزهای فشاری با مؤلفه امتدادی راست‌گرد حک شده بودند را تحلیل و روند تنش این منطقه را همخوان با سیستم تراکشی معرفی کرد. Hassanzadeh et al (2006) و امیدیان (۱۳۸۶) معتقدند که تغییر جهت رژیم تنش در این زمان عامل تکتونیکی برای ایجاد درز و شکاف‌های عمیق در ناحیه شکننده خمشی البرز مرکزی بوده است که منجر به فوران دماوند در یک



شکل ۱. نقشه زمین‌شناسی خلاصه شده (برگرفته از نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ دماوند، آلباخ و اشتایگر، ۱۹۶۶) که در آن موقعیت زمین‌شناسی، انواع مختلف تراورتن‌ها و چشمه‌های تراورتن‌ساز مشخص شده است

مطالعات دورسنجی

(شکل ۲). پراکندگی تراورتن‌ها در تصویر ماهواره‌ای نشان می‌دهد که این عوارض به موازات رودخانه و جاده هراز کشیده شده‌اند و از سوی دیگر به صورت پراکنده در مسیر آبراهه‌های ارتفاعی عمود بر روند رودخانه و جاده رخنمون دارند. در آخرین مرحله تهیه لایه‌های اطلاعاتی، آبراهه‌های منطقه از نقشه توپوگرافی استخراج و با لایه‌های خطواره‌های تکتونیکی، موقعیت و پراکندگی تراورتن‌ها تلفیق شد (شکل ۲). خروجی ارزشمند تهیه شده نشان می‌دهد که روند کشیدگی و ظهور تراورتن‌های شناسایی شده با روند خطواره‌های گسلی بررسی شده در صحرا و همچنین آبراهه‌ها تطبیق دارد. علاوه بر صحت نتایج به دست آمده از پراکندگی و وجود توده‌های تراورتنی افزون بر نقشه زمین‌شناسی، سوی کشیدگی آنها در دو جهت موازی رودخانه و جاده هراز و روند عمود بر آن در مسیر آبراهه‌ها، حاکی از تأثیر آبخوان‌های سطحی در تغذیه زیرسطحی چشمه‌های آب گرم می‌باشد و از سوی دیگر به‌طور قابل توجهی با روند شکستگی‌ها و خطواره‌های مشکوک به گسل هم‌راستا است و نشان می‌دهد که این منطقه از نظر زمین‌شناسی و تکتونیکی مستعد شرایط تکتونیکی پیچیده‌ای است که شبکه‌ای از درز و شکاف‌های عمیق را در راستای روندهای اصلی تنشی ایجاد کرده است.

خصوصیات فیزیکوشیمیایی چشمه‌های آب اسک

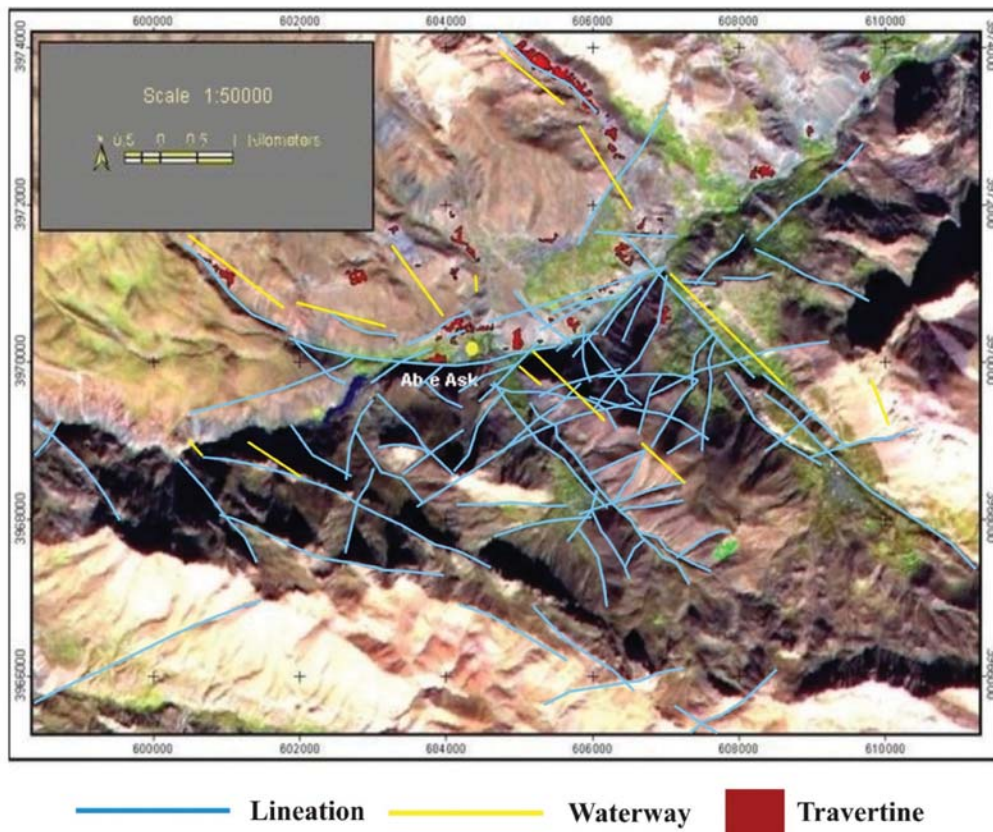
در شکل ۳ منظره‌ای از چشمه‌های جوشان آب اسک در دو منطقه قل قل و زاغ نمایش داده شده است. داده‌های ترکیب شیمیایی و فیزیکی چشمه‌های آب اسک در جدول یک نشان داده شده است (Ansari, 2013). چشمه‌های آب گرم اسک دارای درجه حرارت تقریباً یکسان (۲۳ C° - ۳۲ C°) می‌باشند. pH آنها نزدیک به خنثی و کم‌وبیش اسیدی است و بین (۶/۸ - ۶) قرار دارد. EC بین ۱/۳۹ تا ۳/۶۴ mS cm⁻¹ می‌باشد.

برای مشخص کردن محدوده اصلی تراورتن‌ها و ارتباط چشمه‌های آب گرم با فعالیت‌های تکتونیکی در منطقه، مطالعات دورسنجی بر اساس تصویر ماهواره‌ای استر در منطقه انجام شد. عوارض خطی در تصویر ماهواره‌ای مثل جاده، گسل و انواع ساختارهای زمین‌شناسی از جمله عوارض با فرکانس بالا می‌باشند. جهت استخراج این‌گونه عوارض که تغییرات شدیدی را در تصویر نشان می‌دهند، از فیلترهای بالا گذر^۱ استفاده شد. در این مطالعه برای استخراج گسل‌ها از روش رقومی و نرم‌افزار ژئوماتیک^۲ بهره گرفته شد. به همین منظور با استناد به شواهد متعددی که از عوامل اساسی در تشخیص گسل از روش‌های دورسنجی هستند، عوارض خطی استخراج شد. بر اساس این بررسی‌ها، خطواره‌های بزرگ‌تر با روند شرق- جنوب شرق و خطواره‌های کوچک‌تر در راستای کلی شرق- شمال شرق که در منطقه آب اسک دارای بیشترین تمرکز هستند که با یکدیگر تقاطع دارند. ظاهراً این عوارض احتمالاً گسلی، که بعداً صحت وجود بعضی از آنها در صحرا تأیید شد، به صورت شکستگی‌های متقاطع، مسیر مناسبی را برای خروج آب‌های گرم و ظهور چشمه‌های این منطقه فراهم کرده‌اند (شکل ۲). صحت وجود اصلی‌ترین خطواره‌های منطقه با بررسی‌های ژئومغناطیسی اسکویی و امیدیان (۱۳۹۲) و بررسی‌های تکتونیکی امیدیان (۱۳۸۶) در صحرا تأیید شد.

در مرحله بعدی محدوده تراورتن‌های ناحیه با توجه به آنالیز طیفی تصاویر تعیین شد. تصاویر با ترکیب رنگی بهینه جهت بارسازی موقعیت نهشته‌های تراورتنی و گسل‌های موجود در منطقه ساخته شد. برای تفکیک تراورتن در تصویر ماهواره‌ای ابتدا از روش بصری یعنی ایجاد ترکیب باندهای ۴، ۳، ۱ در محیط RGB استفاده شد و سپس در روش رقومی با استفاده از کتابخانه طیفی نرم‌افزار انوی^۳ و با به‌کارگیری طیف بازتابی تراورتن، محدوده اصلی آن‌ها شناسایی شد. در این ترکیب باندهای، تراورتن‌ها به رنگ قرمز، خطواره‌ها به رنگ آبی فیروزه‌ای و پوشش گیاهی به رنگ سبز دیده می‌شوند

1. High pass
2. Geomatica
3. Envi

سمیه رحمانی جوانمرد و همکاران



شکل ۲. تصویر ماهواره‌ای منطقه مورد مطالعه با ترکیب رنگی کاذب ۱، ۳، ۴ که در آن موقعیت گسل‌ها و خطواره‌های استخراجی از تصویر ماهواره‌ای با رنگ آبی فیروزه‌ای، حدود و پراکندگی تراورتن‌ها با رنگ قرمز و موقعیت و روند آبراهه‌ها با رنگ زرد نشان داده شده است. در این ترکیب باندی پوشش گیاهی به رنگ سبز مشخص است



شکل ۳. الف) زاغ چشمه، ب) چشمه قل قل (آب اسک)

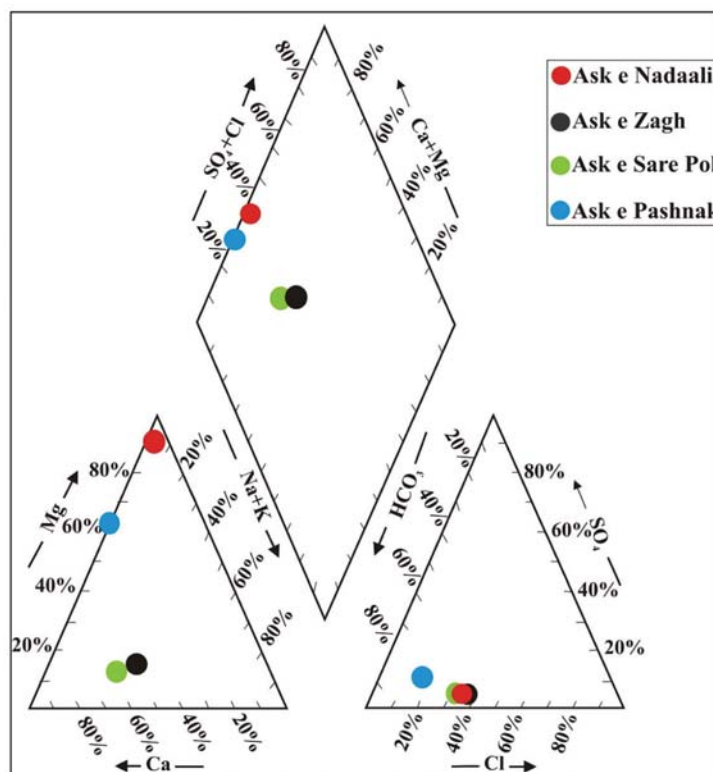
جدول ۱. پارامترهای فیزیکوشیمیایی چشمه‌های آب گرم آب اسک (Ansari, 2013). پارامترهای فیزیکوشیمیایی چشمه‌های قل، جنب مخابرات و ییلاق در این پژوهش اندازه‌گیری شده است

نام چشمه‌ها	pH	EC mS cm ⁻¹	HCO ₃ mg/l	Cl mg/l	SO ₄ mg/l	k mg/l	Na mg/l	Mg mg/l	Ca mg/l	Fe mg/l	SiO ₂ mg/l	T (°C)
اسک نادعلی	۶/۶	۳/۱۶	۱۲۵۶/۸	۴۲۶/۵	۱۰/۸	۲۷/۳	۲۲۹/۹	۳۶۵۵	۳۷۶/۶	۱/۲	۱۷/۵	۲۸
اسک زاغ	۶/۷	۳	۱۱۳۴/۷	۴۳۷/۹	۹۸/۹	۲۷/۳	۲۲۹/۹	۶۷/۴	۳۲۲/۶	۰/۹۱	۱۵	۲۵
اسک سر پل	۶	۳/۱۱	۱۲۳۸/۵	۴۰۰/۷	۹۵/۵	۲۹/۳	۲۱۱/۵	۵۱/۶	۳۷۰	۱/۰۴	۱۶/۵	۳۲
اسک پشنک	۶/۸	۲/۶۰	۷۹۳	۱۱۷	۱۰۶	۲۸	۲۱۵	۷۳۱	۶۸۰	۰/۵	۲۶/۷	۳۱
قل	۶/۲۸	۱/۳۹	*	*	*	*	*	*	*	*	*	۲۳/۴
جنب مخابرات	۶/۳۸	۳/۶۴	*	*	*	*	*	*	*	*	*	۲۹/۲
ییلاق	۶	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	۳۰

*: not measured

نشان می‌دهد که چشمه‌های آب اسک بر اساس تغییرات آنیونی و شیمی آب مانند HCO₃ و SO₄ به دو گروه تقسیم می‌شوند. چشمه‌های آب گرم اسک زاغ و اسک سر پل در سنگ‌های کربناته ژوراسیک منطقه و چشمه‌های اسک نادعلی و اسک پشنک در منشورهای بازالتی موجود در منطقه ظاهر شده‌اند.

جهت تعیین آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی، نمودار پایپر چشمه‌های آب گرم آب اسک، بر اساس داده‌های Ansari (2013) رسم شده است (شکل ۴). این نمودار نشان می‌دهد که کلسیم کاتیون غالب در چشمه‌های آب گرم آب اسک می‌باشد (به جزء اسک نادعلی و اسک پشنک که نمونه‌های غنی از Mg هستند). تمرکز نسبی آنیون‌ها

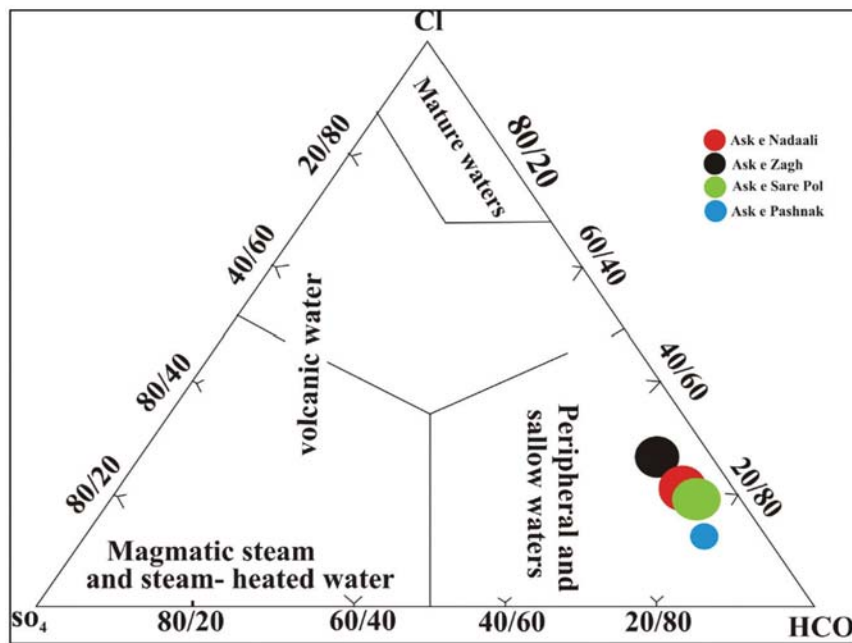


شکل ۴. نمودار پایپر برخی از چشمه‌های آب اسک، برگرفته از Ansari (2013) بعد از اعمال تغییرات

سمیه رحمانی جوانمرد و همکاران

سطحی و محیطی به چرخش آب‌های سطحی در سنگ‌های رسوبی و ولکانیکی مربوط می‌باشد. در همه چشمه‌های آب اسک HCO_3 (mg/l426-117) آنیون غالب می‌باشد. افزایش HCO_3 ناشی از واکنش بین دی‌اکسید کربن حل‌شده و سنگ میزبان است که HCO_3 را تشکیل می‌دهند. در چشمه‌های آب گرم آب اسک به‌استثنای چشمه‌های اسک نادعلی و اسک پشنگ میزان $\text{Ca} < (\text{Na} + \text{Mg} + \text{K})$ و $\text{HCO}_3 > (\text{SO}_4 + \text{Cl})$ است. در صورتی که در چشمه‌های اسک نادعلی و اسک پشنگ میزان $\text{Mg} < (\text{Na} + \text{Ca} + \text{K})$ و $\text{HCO}_3 > (\text{SO}_4 + \text{Cl})$ می‌باشد که با پیدایش آنها در سنگ‌های بازالتی موجود در منطقه قابل توجه می‌باشد.

مشارکت نسبی Cl ، HCO_3 و SO_4 در نمودار (1991) Giggenbach در شکل ۵ نشان داده شده است. این نمودار، یکی از نمودارهای ژئوشیمیایی دسته‌بندی سیال‌های زمین‌گرمایی است که جهت تشخیص آب‌های نابالغ از آن استفاده می‌شود. علاوه بر این، نمودار یاد شده یک نشانگر اولیه جهت بررسی میزان آمیختگی سیال زمین‌گرمایی با آب‌های سرد زیرزمینی نیز می‌باشد. نمونه‌هایی که در این مطالعه مورد بررسی قرار گرفته‌اند، در ضلع HCO_3 و در محدوده آب‌های کم‌عمق و محیطی قرار دارند، که نشان‌دهنده جذب CO_2 پراکنده از سطوح پایین‌تر به درون آب‌های زیرزمینی و یا ناشی از فعالیت‌های ماگمایی می‌باشد (Ansari (2013). (Al-Kohlani, 2008). معتقد است که قرارگیری نمونه‌ها در محدوده آب‌های



شکل ۵. نمودار مثلثی Cl ، HCO_3 و SO_4 برای جداکردن آب‌های آتشفشانی از بخارات ماگمایی، آب‌های بالغ و آب‌های کم‌عمق (Giggenbach, 1991)

چشمه‌ها بر روی نمودار (1991) Giggenbach و قرارگیری آن در محدوده آب‌های سطحی و محیطی، از سویی نمایانگر جذب دی‌اکسید کربن توسط آب‌های سطحی نفوذی است که از طریق شکستگی‌ها و گسل‌های منطقه و یا از خلال آبراهه‌ها (شکل ۲) به درون راه می‌یابند و همچنین به فعالیت‌های ماگمایی منطقه مربوط است. نظریه دیگر که به

نمودار پایپر تهیه شده از کاتیون‌ها و آنیون‌های نمونه‌های آب گرم نشان می‌دهد که ترکیب شیمیایی آب هر چشمه تحت تأثیر جنس و نوع واحدهای سنگی است که چشمه‌ها در آن ریشه دارند و به‌طور اصلی در دو گروه کربناته‌ها (متأثر از نهشته‌های کربناتی مزوزوییک و سنوزوییک ناحیه) و گدازه‌ها (ناشی از فوران‌های تراکی آندزیتی- تراکی بازالتی دماوند) قرار می‌گیرند. نمایش داده‌های شیمیایی آب

1. Peripheral and shallow

شواهد اختلاطی بودن منشأ چشمه‌های آهکی آب اسک ...

از تشکیلات کرتاسه پیدی در کارولینای جنوبی است صورت می‌گیرد و با نماد $\delta^{13}C$ نشان داده می‌شود. مقادیر ایزوتوپ اکسیژن بر اساس استاندارد VSMOW و VPDB گزارش شده است. بر اساس مقادیر ایزوتوپی اکسیژن و کربن، همچنین اطلاعاتی در مورد نرخ تبخیر، تغییرات درجه حرارت و نرخ گاز زدایی چشمه‌های آب گرم به دست می‌آید. به منظور تعیین منشأ CO_2 چشمه‌های آب گرم آب اسک آنالیزهای $\delta^{13}C$ و $\delta^{18}O$ بر روی تراورتن‌های رسوب کرده از آنها انجام گرفته است (جدول ۲). تراورتن‌های منطقه مورد مطالعه، دارای مقادیر $\delta^{13}C$ در حدود $+6$ تا $+9/8$ پرمیل و مقدار $\delta^{18}O$ در محدوده‌ای بین $-13/0$ تا $-9/3$ پرمیل بر اساس استاندارد VPDB می‌باشند. بنابراین این تراورتن‌ها از نظر مقدار $\delta^{13}C$ غنی‌شدگی و از نظر مقدار $\delta^{18}O$ تهی‌شدگی نشان می‌دهند.

چرخش آب‌های سطحی در سنگ‌های رسوبی و ولکانیکی اشاره دارد، مؤید نتایج برگرفته از نمودار پایپر است.

خصوصیات ایزوتوپی نهشته‌های کربناته

Allan and Matthews (1982) نشان دادند که برهمکنش میان سنگ آهک و آب جوی را می‌توان روی نمودار $\delta^{13}C - \delta^{18}O$ تشخیص داد. اثر چنین فرایندی گسترش وسیع مقادیر $\delta^{13}C$ در ترکیب با گسترش باریکی از مقادیر $\delta^{18}O$ است. این الگو به این دلیل ایجاد می‌شود که مقدار $\delta^{13}C$ کربنات دوباره تبلور یافته، حاصل ترکیبی از دو منبع کربن است (CO_2 حاصل از خاک و کربنات‌های اولیه) درحالی‌که اکسیژن غالباً از یک منبع واحد یعنی آب جوی است. ایزوتوپ کربن را از روی گاز کربنیک آزاد شده از آهک‌ها اندازه‌گیری می‌کنند و دقت آن اغلب $0/1$ پرمیل است. اندازه‌گیری‌ها نسبت به نمونه استاندارد (VPDB) که

جدول ۲. داده‌های ایزوتوپی کربن و اکسیژن، مقادیر $\delta^{13}C$ (CO_2) و $\delta^{18}O$ (VPDB) محاسبه شده تراورتن‌ها و توصیف انواع مختلف تراورتن‌ها در منطقه ژئوترمال آب اسک

شماره نمونه	$\delta^{18}O$ (VPDB)	$\delta^{13}C$ (VPDB)	$\delta^{18}O$ (VSMOW)	$\delta^{13}C$ (CO_2)	انواع تراورتن‌ها	شرح
SR T1	-۱۲/۵۸	۶/۶۱	۱۸/۹۲	-۲/۵۶	تراورتن‌های نوع اول	تراورتن با مورفولوژی کانالی، کلسیت با مقادیر ناچیزی کوارتز، با آثاری از میکروارگانیزم‌ها به ویژه دیاتومه‌ها
SR M 13	-۱۳/۰۲	۶	۱۷/۳۴	-۳/۳	تراورتن‌های نوع دوم	کلسیت با مقادیر ناچیزی کوارتز، با آثاری از میکروارگانیزم‌ها به ویژه دیاتومه‌ها
SR Z 14	-۱۲/۵۹	۶/۴۸	۱۷/۸۸	-۲/۷۲	تراورتن‌های نوع دوم	کلسیت با مقادیر ناچیزی کوارتز، با آثاری از میکروارگانیزم‌ها به ویژه دیاتومه‌ها
SR A 22	-۱۱/۸۴	۶/۷۲	۱۸/۶۵	-۲/۴۳	تراورتن‌های نوع دوم	کلسیت با مقادیر ناچیزی کوارتز، با آثاری از میکروارگانیزم‌ها به ویژه دیاتومه‌ها
SR A 12	-۱۱/۰۸	۷/۳۵	۱۹/۴۳	-۱/۶۸	تراورتن‌های نوع دوم	کلسیت با مقادیر ناچیزی کوارتز، با آثاری از میکروارگانیزم‌ها به ویژه دیاتومه‌ها
SR A 9	-۹/۲۹	۹/۷۹	۲۱/۲۸	۱/۲۴	تراورتن‌های نوع دوم	کلسیت با مقادیر ناچیزی کوارتز، با آثاری از میکروارگانیزم‌ها به ویژه دیاتومه‌ها

سمیه رحمانی جوانمرد و همکاران

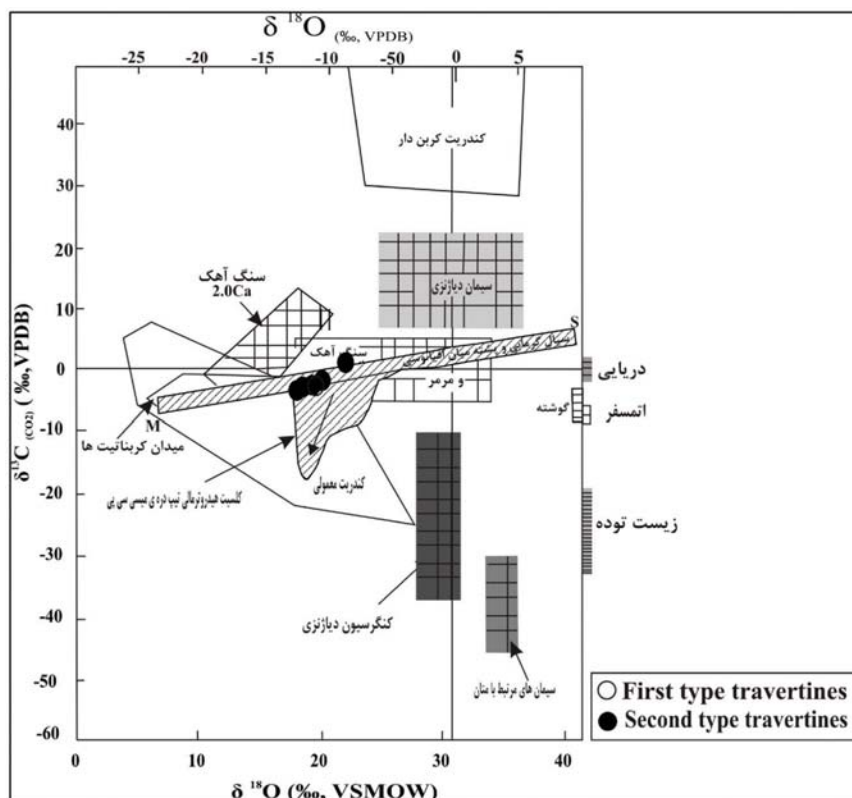
بر روی آن مشخص شده است، نمونه‌های مورد مطالعه در محدوده سیال گرمایی قرار گرفته‌اند (شکل ۶). کلسیت‌های گرمایی حاصل از برهمکنش آب-سنگ در پشته‌های میان‌اقیانوسی، آمیختگی کربن گوشته‌ای (M) و کربن آب دریا (S) را نشان می‌دهد (Stack and O'Neil, 1982). بنابراین بر اساس این نمودار، منشأ گاز CO₂ در چشمه‌های رسوب‌دهنده تراورتن‌های منطقه مورد مطالعه، دارای دو منبع دریایی و گوشته‌ای بوده است.

رابطه (۱) یکی از متداول‌ترین روش‌ها برای تعیین منشأ اولیه گاز CO₂ آزاد شده از آب در طی رسوب تراورتن می‌باشد. این معادله در ابتدا توسط Panichi and Tongiorgi (1976) بر روی چشمه‌های آب گرم ایتالیا و رسوبات مربوط به آن‌ها مورد استفاده قرار گرفته است (جدول ۲).

$$\delta^{13}C_{(CO_2)} = 1/2 \delta^{13}C_{(travertine)} - 10/5 \quad (1)$$

با توجه به نمودار (Rollinson, 1993) که ترکیب ایزوتوپی

$\delta^{18}O$ گاز CO₂ اولیه سیال رسوب‌دهنده تراورتن در برابر $\delta^{13}C$



شکل ۶. نمودار $\delta^{18}O - \delta^{13}C$ محدوده‌های کربنات با منشأ مختلف (Rollinson, 1993). نمونه‌های مورد مطالعه در محدوده سیال گرمایی قرار گرفته‌اند

بحث

استاندارد VPDB می‌رسند (جدول ۲). مقادیر $\delta^{18}O$ و $\delta^{13}C$ در تراورتن‌های منطقه آب اسک با هم رابطه خطی دارند (شکل‌های ۷ و ۸). این روند خطی ایزوتوپی ممکن است به دلایل متعددی ایجاد شده باشد مانند: (۱) اختلاط سیالاتی با ترکیبات ایزوتوپی مختلف کربن و اکسیژن مانند آب‌هایی که با مخزن آهکی

مطالعه داده‌های ایزوتوپی نشان می‌دهد که با دور شدن از چشمه‌ها، تراورتن‌ها از نظر مقادیر $\delta^{18}O$ و $\delta^{13}C$ نسبتاً غنی شده‌اند، به طوری که تراورتن‌های نزدیک به مجرای خروجی چشمه‌ها دارای مقادیر $\delta^{18}O$ و $\delta^{13}C$ به ترتیب در حدود +۶ و -۱۳/۰ پرمیل هستند و با افزایش فاصله از چشمه‌ها به مقادیری در حدود +۹/۸ و -۹/۳ پرمیل بر اساس

شواهد اختلاطی بودن منشأ چشمه‌های آهکی آب اسک...

کربناته‌میزبان (سنگ آهک مزوزوییک) باشد. این مدل سازگاری خوبی با نتایج (2000) Simsek et al. و (2000) Özler دارد. آن‌ها پیشنهاد کرده‌اند که واکنش‌های ترمومتامورفیسیم سنگ آهک‌های مزوزوییک و مرمهرهای پالئوزوییک، منجر به تولید گاز CO₂ با مقادیر بالای δ¹³C می‌شود.

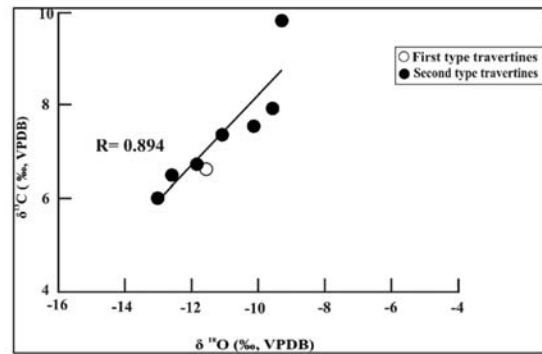
از طرف دیگر مقادیر بالای δ¹³C، به عدم تعادل بین گاز CO₂ و سیال گرمایی اشاره دارد. این عدم تعادل در اثر گاز زدایی سریع گاز CO₂ حل شده (غنی از 12C) از سیال غنی از CO₂ ناشی شده است (Liu et al., 2003; Pentecost, 2005). بررسی‌ها نشان می‌دهد که مقادیر δ¹³C در سیستم آب-کلسیت به مقدار زیادی توسط فرایندهای تفریق ایزوتوپی در طی گاز زدایی آب-کانی فوق اشباع شده با دی‌اکسیدکربن تنظیم می‌شود. فرایند گاز زدایی به علت از دست دادن کربن سبک (12C) تأثیر زیادی بر روی ترکیب ایزوتوپی کربن دارد. در نتیجه کربن باقیمانده در محلول از δ¹³C غنی می‌شود. نرخ گاز زدایی و رسوب از آب‌های گرم در صورتی که ترکیب ایزوتوپ کربن پایدار بالا باشد سریع است و این غنی‌شدگی δ¹³C اغلب منعکس کننده کربن سنگین‌تر آزاد شده از تجزیه سنگ آهک دریایی است (Pentecost and Viles, 1994).

میزان δ¹⁸O تراورتن‌های منطقه نیز، با فاصله گرفتن از محل چشمه‌ها افزایش نشان می‌دهند. به عبارت دیگر نمونه‌هایی که در نزدیک چشمه‌ها واقع شده‌اند دارای مقادیر δ¹⁸O پایینی هستند. مقادیر پایین ایزوتوپ اکسیژن نشان می‌دهد که این تراورتن‌ها از سیالاتی با درجه حرارت بالا رسوب کرده‌اند (شکل ۷). از طرف دیگر گذشت زمان و کاهش درجه حرارت سیال در هنگام رسوب‌گذاری از مهم‌ترین عوامل کنترل‌کننده تغییرات ایزوتوپی مشاهده شده و غنی‌شدگی مقادیر δ¹⁸O در تراورتن‌های منطقه مورد مطالعه محسوب می‌شود (Lohmann, 1988) (شکل‌های ۷ و ۸).

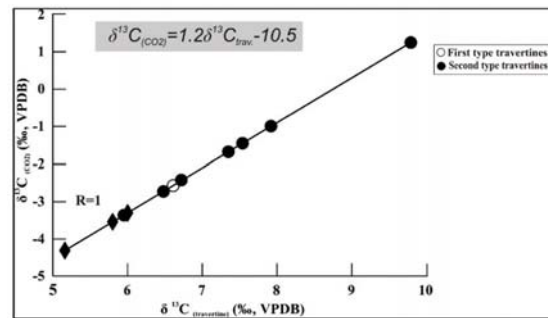
نتیجه‌گیری

منطقه آب اسک در یک ناحیه فعال تکتونیکی قرار گرفته است. مطابق با نتایج حاصل از مطالعات تکتونیکی،

واکنش می‌دهند، آب‌های هیدروترمال و آب‌های متئوریک شدیداً سطحی، ۲) تغییرات طولانی مدت درجه حرارت، ۳) آلتراسیون دیازنتیکی توسط سیالات متئوریک و ۴) ترکیبی از این عوامل (Guidry and Chafetz, 2002).



شکل ۷. روند خطی مشاهده شده در نمودار مقادیر ایزوتوپی اکسیژن و کربن در نمونه‌های مورد مطالعه



شکل ۸. نمودار δ¹³C(CO₂) در مقابل δ¹³C تراورتن

با توجه به روند خطی مشاهده شده بین مقادیر ایزوتوپی کربن و اکسیژن، نهشته‌های کربناته از نظر مقادیر δ¹³C و δ¹⁸O غنی‌شدگی نشان می‌دهند. سنگ‌های کربناته‌ای که تحت دگرگونی مجاورتی واقع شده‌اند، دچار کربنات‌زدایی شده و در نتیجه تراورتن‌های غنی‌شده از δ¹³C، ایجاد می‌شود (Turi, 1986). این دلیل برای تراورتن‌های غنی‌شده از δ¹³C سراسر ایتالیا مورد استفاده قرار گرفته است.

Kele et al. (2011) غنی‌شدگی تراورتن‌های منطقه Pamukkale را از نظر مقادیر δ¹³C به CO₂ آزاد شده به‌وسیله واکنش‌های ترمومتامورفیسیم نسبت داده‌اند. بنابراین این احتمال وجود دارد که غنی‌شدگی تراورتن‌های منطقه مورد مطالعه از نظر مقادیر δ¹³C، در نتیجه شرکت CO₂ سنگین (غنی از δ¹³C) در طی انحلال ترمومتامورفیسیمی سنگ‌های

سمیه رحمانی جوانمرد و همکاران

زمین و فضا، در زیر چاپ.
 - امیدیان، ص.، ۱۳۸۶. تعیین جایگاه زمین‌ساختی آتشفشان دماوند بر اساس شواهد ساختاری و ژئوشیمیایی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده زمین‌شناسی، دانشگاه تهران، ۱۶۷.
 - آلباخ، پ. و اشتایگر، ر.، ۱۹۶۶. نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ دماوند. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
 - غفوری، م.، ۱۳۶۶. شناخت آب معدنی و چشمه‌های معدنی ایران. انتشارات دانشگاه تهران، ۳۸۸.

- Al-Kohlman, T., 2008. Geochemistry of thermal waters from Al-Lisi-Isbil geothermal field, Dhamar Governorate, Yemen. Geothermal Training Program, Orkustofnun, Grensásvegur 9, Number 10 IS-108 Reykjavík, Iceland.

- Allan, J.R., and Matthews, R.K., 1982. Isotope signatures associated with early meteoric diagnosis. *Sedimentology*, 29, 797-817.

- Allen, M., Ghassemi, M.R., Shahrabi, M., and Qorashi, M., 2003. Accommodation of late Cenozoic oblique shortening in the Alborz range, northern Iran. *Journal of Structural Geology*, 25, 659-672.

- Ansari, M.R., 2013. Hydrochemistry of the Damavand Thermal springs, North of Iran. *Life Science Journal*, 10(7s), 866- 873.

- Giggenbach, W.F., 1991. Chemical techniques in geothermal exploration. Application of Geochemistry in Geothermal Reservoir Development (Co-ordinator D'Amore, F). UNITAR/UNDP Centre on Small Energy Resources, Rome, 119-144.

- Guidry, S.A., and Chafetz, H.S., 2002. Petrography and stable isotopic trend associated with Mammoth hot spring travertine, Yellowstone National Park, Wyoming. 33rd Annual Lunar and Planetary Science Conference, Houston, Texas, abstract no. 1149.

- Hassanzadeh, J., Omidian, S., and Da-

دورسنجی و مغناطیسی مشخص شده است که این محدوده تحت تأثیر گسل خورگی‌ها و رورانگی‌های متعدد به صورت یک منطقه تراوا در آمده است. همین عامل باعث شده است تا کانال‌هایی درون سنگ‌ها و سازندهای منطقه ایجاد شود و به دنبال آن آب‌های جوی که حاوی مقدار زیادی دی‌اکسیدکربن هستند بتوانند به راحتی نفوذ کنند. در طی نفوذ آب‌های جوی، به علت اسیدیته زیاد سنگ‌های آهکی حل شده‌اند و در نهایت به صورت چشمه‌های آهکی در سطح زمین ظاهر شده و نهشته‌های عظیم تراورتن را تشکیل داده‌اند. آب این چشمه‌ها از نوع بیکربناته کلسیم با pH کم‌وبیش اسیدی (pH=۶) و حاوی گاز CO_2 و H_2S می‌باشند. مطالعات ایزوتوپی و ژئوشیمیایی نشان می‌دهد منشأ پنهان فعالیت‌های ماگمایی منطقه نیز در بروز و ظهور چشمه‌ها اثراتی داشته است. بر اساس آنالیزهای ایزوتوپی انجام شده بر روی نهشته‌های کربناته و روند خطی مشاهده شده بین مقادیر $\delta^{18}\text{O}$ و $\delta^{13}\text{C}$ ، احتمالاً این چشمه‌ها با سیالاتی با منشأ مختلف اختلاط پیدا کرده‌اند. نتایج ایزوتوپی نشان می‌دهد که منشأ گاز CO_2 در چشمه‌های آهکی آب اسک از دو منشأ دریایی و گوشته‌ای می‌باشد. همچنین ظهور چشمه‌ها در دو محیط سازندهای آهکی مزوزوییک و سنوزوییک منطقه و در گدازه‌های دماوند نشان‌دهنده تأثیرپذیری آب‌ها از سنگ‌های درون‌گیر بوده است. در این مطالعه برای منشأ آب چشمه‌های منطقه آب اسک، نقش تأثیر مشترک هر دو عامل آب‌های جوی- سطحی و آب‌هایی با منشأ عمقی و ولکانیکی توسط داده‌های ایزوتوپی و ژئوشیمیایی نشان داده شد. مطالعات دورسنجی نشان داد که روند و نحوه پراکندگی تراورتن‌ها با سیستم زهکشی و روند گسلش منطقه هم‌راستا است و این خود مؤید وجود و نقش مؤثر مسیرهای نفوذی و شکستگی‌های عمیق در منطقه در انتقال آب‌های عمقی به سطح و همچنین آب‌های سطحی و جوی به عمق می‌باشد.

منابع

- اسکویی، ب. و امیدیان، ص.، ۱۳۹۲. مطالعه ساختاری گسل‌های ایرا و نوا در جنوب شرق آتشفشان دماوند با استفاده از روش مغناطیس سنجی. *مجله فیزیک*

- vidson, J., 2006. A late Pliocene tectonic switch from transpression to transtension in the Haraz sector of central Alborz: implications for the origin of Damavand volcano, Philadelphia Annual Meeting.
- Kele, S., Özkul, M., Forizs, I., Gökgöz, A., Baykara, M.O., Alçiçek, M.C, and Nemeth T., 2011. Stable isotope geochemical study of Pamukkale travertines: New evidences of low-temperature non-equilibrium calcite-water fractionation. *Sedimentary Geology*, 238 (1), 191-212.
 - Liu, Z., Zhang, M., Li, Q., and You, S., 2003. Hydrochemical and isotope characteristics of springwater and travertine in the Baishuitai area (SW China) and their meaning for paleoenvironmental reconstruction. *Environmental Geology*, 44, 698-704.
 - Lohmann, K.C., 1988. Application of carbon and oxygen isotopic techniques for unraveling the diagenetic history of carbonate sequences. in Allan, J. R. and Harris, P. M., eds., *Stable Isotope, Trace Element, and Fluid Inclusion Workshop*, Chevron Oil Field Research Co., unpublished report, 1-49.
 - Özler, H.M., 2000. Hydrogeology and geochemistry in the Curuksu (Denizli) hydrothermal field, western Turkey. *Environmental Geology*, 39, 1169-1180.
 - Pentecost, A., 2005. *Travertine*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 446
 - Pentecost, A., and Viles, H., 1994. A review and reassessment of travertine classification. *Geographie physique et Quaternarie*, 48, 305-314.
 - Rahmani Javanmard, S., Tutti, F., Omidian, S., and Ranjbaran, M., 2012. Mineralogy and stable isotope geochemistry of the Ab Ask travertines in Damavand geothermal field, Northeast Tehran, Iran. *Central European Geology*, 55, 187-212.
 - Rollinson, H.R., 1993. *Using Geochemical Data*. Longman Scientific and Technical, 420.
 - Şimşek, S., Günay, G., Elhatip, H., and Ekmekçi, M., 2000. Environmental protection of geothermal waters and travertines at Pamukkale, Turkey. *Geothermics*, 29, 557-572.
 - Stack, D.S., and O'Neil, J.R., 1982. Mineralogy and stable isotope geochemistry of hydrothermally altered oceanic rocks. *Earth and Planetary Science Letters*, 57, 258-304.
 - Turi, B., 1986. Stable isotope geochemistry of travertines. in: Fritz, P., Fontes, J.Ch. (Eds.), *Handbook of Environmental Isotope Geochemistry*, 2. Elsevier, Amsterdam, 207-238.