

بررسی ژئوشیمی کانی‌های تبخیری با تأکید بر سولفات‌سدهای توک راین در استان کرمان

عاطفہ قائدی^{*}، عباس مرادیان، حمید احمدی پور

بخش زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ایران

(دریافت مقاله: ۹۴/۴/۱۰، نسخه نهایی: ۹۳/۱۱/۵)

چکیده: سولفات‌سدیم پس از کلرید‌سدیم یکی از فراوان‌ترین کانی محلول در آب در طبیعت است که در ۱۲۰ کیلومتری جنوب شرقی کرمان در راین، میان کراترهای توک سولفات‌سدیم به وفور یافت می‌شود. با توجه به اینکه کاملترین زمان شکوفایی سولفات‌سدیم در اوخر تابستان و اوایل مهرماه است؛ نمونه‌برداری در اوایل مهرماه انجام شد. نمونه‌ها از عمق ۳۰ تا ۵۰ سانتی‌متری زمین برداشت شده و به منظور بررسی‌های XRF و XRD مورد نیاز، به شرکت فرآوری مواد معدنی ارسال شدند. بررسی‌های کانی شناسی حاکی از وجود سولفات‌سدیم از نوع تناردیت بود که با توجه به نتایج XRF و مقایسه‌ای آن‌ها با اکسیدهای اصلی پوسته‌ی زمین، Na_2O بیشترین فراوانی را در بین اکسیدهای اصلی نشان می‌دهد، و فراوانی SO_3 ارتباط مسقیم به میزان سدیم دارد. بر اساس ضریب همبستگی اسپیرمن که برای داده‌های XRF رسم شد، ضریب همبستگی SO_3 و Na_2O برابر ۱+ بود که نشان دهندهی غالب بودن کانی تناردیت است.

واژه‌های کلیدی: سولفات سدیم، XRD و SEM؛ کراتر توتک؛ راین.

روش‌های شیمیایی تولید آن، به منابع طبیعی موجود توجه بیشتری شود. براساس بررسی‌های انجام شده، کانسارهای سولفات‌سدیم در رده‌ی تبخیری‌ها قرار می‌گیرند و از این رو برای پی‌جوئی سولفات‌سدیم، تمرکز بر مناطق خشک و نیمه خشک، بویژه مناطق پست کویری، حائز اهمیت است [۲]. در ۱۲۰ کیلومتری جنوب شرقی کرمان، و در اطراف دهکده‌های قلعه حسنعلی، قلعه حیدر و توتک، ۱۴ کراتر انفجاری، یافت شد، که نخست برخوردگاه سنگ‌های آسمانی [۳] و بعدها کراترهای آتشفشاری در آنها شناسایی شدند. این کراترهای سنگ‌های آتشفشاری ائوسن، یا در نهشته‌های آذرآورای الیگومیوسن، و یا در نهشته‌های تخریبی شیمیایی کواترنری [۴] آمدند.

مقدمة

سولفات‌سدیم پس از کلرید‌سدیم یکی از فراوان‌ترین کانی محلول در آب است که در طبیعت یافت می‌شود. تنازع بزرگی از سولفات‌سدیم در صنایع شیمیایی کاربرد دارد و احتمالاً یکی از اولین کانی مورد استفاده‌ی بشر در حدود ۵۰۰۰ سال قبل بوده است. از جمله استفاده‌های آن در مصر باستان برای مومیایی کردن جسد مردگان بود که برای این منظور از مخلوطی از سولفات‌سدیم و کربنات‌سدیم استفاده می‌شد [۱]. در ایران قدیم به آن مهره افسون یا حجر السلوان می‌گفته شد که کاربرد دارویی داشته است. از دیگر استفاده‌های آن در گذشته استفاده در رنگرزی، شیشه‌گری و دباغی است. سولفات‌سدیم یک ماده‌ی شیمیایی بسیار مهم در صنعت است. مصرف رو به رشد این ماده در صنایع مختلف باعث شده است که علاوه بر

ی آن ۱۳ درجه و میانگین بارندگی ۷۳ میلی‌متر است [۵]. منطقه‌ی مورد نظر درون کراترهای آتشفشاری توتک قرار گرفته است و کراترها نیز حاصل انجارهای آتشفشاری هستند و سن آن‌ها به کواترنر می‌رسد (شکل ۲). تشکیلات مشرف بر این منطقه به دو گروه تقسیم می‌شوند.

(الف) تشکیلات آتشفشاری ائوسن که کراترها درون آن‌ها قرار گرفته‌اند و شامل ماسه‌سنگ‌های توفی، توفیت‌ها، ریولیت‌توف، گدازه‌ها و پیروکلاستیک‌های اسیدی وابسته به همبافت آتشفشاری هزار [۳] و در کوه زاغ و کوه پایین واقع شده‌اند. (ب) تشکیلات جنوب غربی که بازهم به گدازه‌ها و مواد آذرآواری نوار دهچ - ساردوئیه وابسته بوده و کمی قدیمی‌ترند (ائوسن میانی هستند). این تشکیلات شامل گدازه‌ها و توفهای اسیدی آگلومرا - برش‌های آتشفشاری و توفاند و به صورت یک مجموعه متناوب از گدازه و پیروکلاستیک رخمنون دارند. این آتشفشار در مراحل آخر فوران خود مأگما نداشت و فوران آن به آب‌های سطحی وابسته بوده و گل و لای بیرون می‌ریخته است. بیشتر منطقه از مارن پوشیده شده است. وجود دودکش گلی در کراترهای توتک بسیار جوان بودن این آتشفشار صحه می‌گذارد (شکل ۳).

روش بررسی

به منظور بررسی رسوب‌های کراترهای توتک راین، نخست اطلاعات وابسته به هدف پژوهش؛ شامل مقالات، نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ خانه‌خاتون جمع آوری و مورد بررسی قرار گرفتند. با توجه به اینکه کاملترین زمان تبلور و رشد رسوب‌های سولفات‌سدهم در اواخر تابستان و اوایل مهرماه صورت می‌گیرد، نمونه‌برداری در اوایل مهرماه انجام شد. حدود ۴۰ نمونه‌ها از اعماق ۳۰ تا ۵۰ سانتی متری زمین برداشت شدند. در نمونه‌برداری نخست نمونه‌ها را از دورترین نقطه‌ی کراتر، نمونه‌های بعدی را به ترتیب از تمام جهات دیواره‌های کالدراء، دهانه‌ی دودکش و پشت دیواره برداشت شدند و موقعیت نمونه‌ها با استفاده از GPS ثبت شدند.

در این مناطق سولفات‌سدهم به صورت لایه‌های نازک (حداکثر به ضخامت ۵ سانتی متر) و بریده بریده دیده می‌شوند و در زیر ۱۰ تا ۲۰ سانتی متری خاک پوک و متورم قرار گرفته است (شکل ۴). نمونه‌های جمع آوری شده به منظور آزمایش‌های مورد نیاز به آزمایشگاه شرکت فرآوری مواد معدنی ایران ارسال شدند درین آزمایشگاه نمونه‌ها به روش‌های فلوروسانی پرتو

سولفات‌سدهم نوعی ترکیب شیمیایی رایج است که در طبیعت به فراوانی یافت می‌شود، کانسارهای سولفات‌سدهم عموماً از تبخیر آب‌های سطحی اشباع شده از نمک در دریاچه‌های قلیائی و سواحل تشکیل می‌شوند و در نتیجه تبخیر آب‌های سطحی مقداری سولفات‌سدهم همراه با نمک‌های دیگر در اینگونه از دریاچه‌ها به اشباع می‌رسد، به طوری که بخش بزرگی از سولفات‌سدهم طبیعی از سورابه‌های غیر دریایی و رسوبات تبخیری به دست می‌آید که در دریاچه‌های کویری وجود دارد. بر این اساس بیشتر کانسارهای تجاری سولفات‌سدهم دارای خاستگاه تبخیری هستند و بیشتر در مناطق خشک و نیمه‌خشک یافت می‌شوند [۴].

به طور کلی مناطقی را که برای پی‌جویی این ماده‌ی معدنی مناسب‌اند می‌توان به چند گروه رده‌بندی کرد و پی‌جوئی‌ها را در این مناطق متمرکز کرد [۲].

(الف) - دشت‌ها و دامنه‌های پست کوههای آتشفشاری جوان، مظهر آب‌های زیرزمینی و شور و کنار رودخانه‌های شور و نیز کرانه‌های دریاچه‌های شور و پلایاها و سورابه‌های لب شور حاشیه سواحل.

(ب) - سازندۀای تبخیری، تپه‌های رسی و ماسه‌ای مجاور دریاچه‌های آب شور و سواحل.

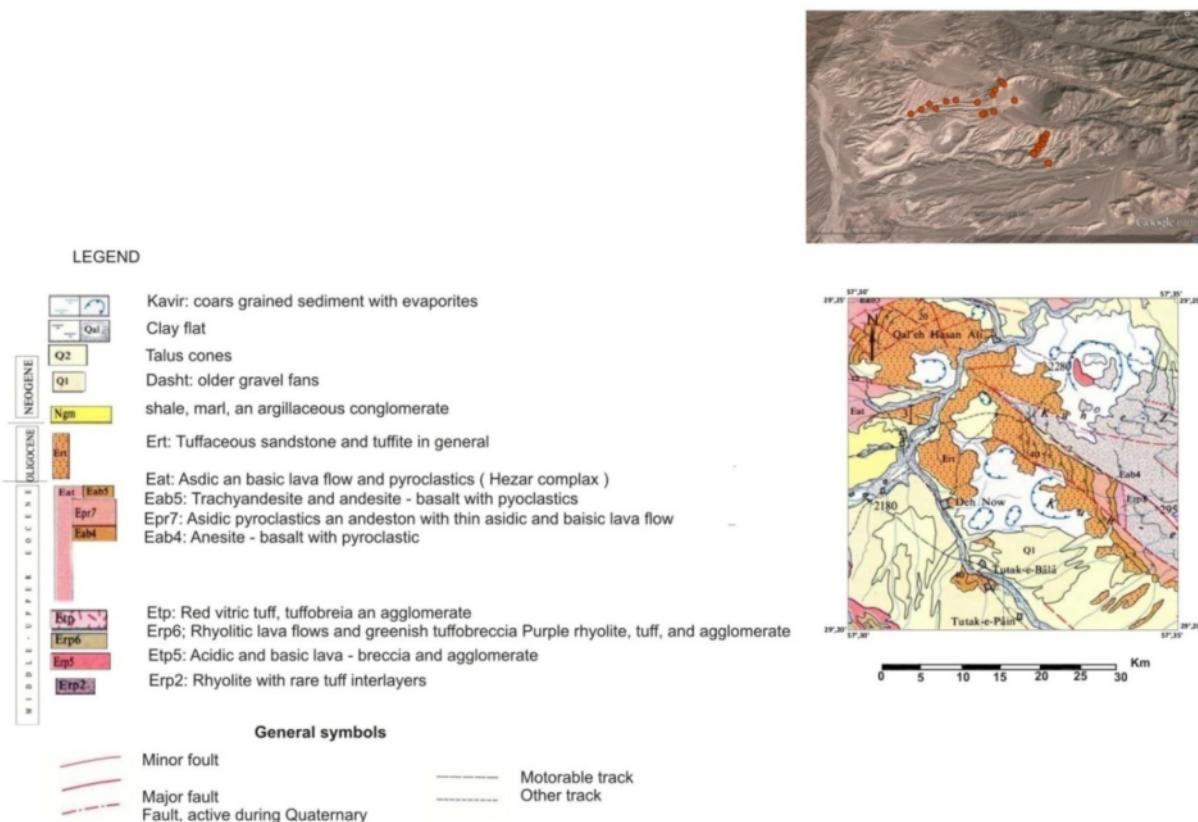
(ج) - آتشفشارهای جوان، توفها و خاکسترها آتشفشاری و چشمۀای آب گرم شور مجاور بخارهای آتشفشاری و حواشی دامنه‌ی سنگ‌های آتشفشاری جوان. سولفات‌سدهم موجود در خاکسترها آتشفشاری کراترهای قلعه‌ی حسنعلی و منطقه‌ی توتک راین کرمان بر این اساس مورد پی‌جویی قرار گرفتند که سنگ‌های درونگیر کراترهای این منطقه، عموماً از مجموعه‌های آتشفشاری، رسوبی و نفوذی ائوسن میانی و بالایی تا الیگوسن تشکیل شده و سولفات‌سدهم در خاکسترها ریز دانه اطراف کراترها وجود دارند که سولفات‌سدهم در منطقه‌ی توتک از خلوص بیشتری نسبت به قلعه‌ی حسنعلی برخوردار است.

موقعیت جغرافیایی و زمین‌شناسی منطقه مورد بررسی

این منطقه در ۲۰ کیلومتری جنوب راین و در غرب خانه خاتون نزدیک راین استان کرمان و بین طول‌های ۳۵° ، ۳۵° تا ۵۷° ، ۳۰° ، ۵۷° شرقی و عرض‌های ۲۰° ، ۲۵° تا ۲۹° شمالی قرار گرفته و مساحت تقریبی آن ۲۰ کیلومتر مربع است (شکل ۱). آب و هوای راین معتدل کوهستانی است با زمستان-های سرد و تابستان‌های خنک و دلیزد. دمای میانگین سالانه-

الکترونی (SEM) برای مطالعات کانی‌شناسی مورد بررسی قرار گرفتند.

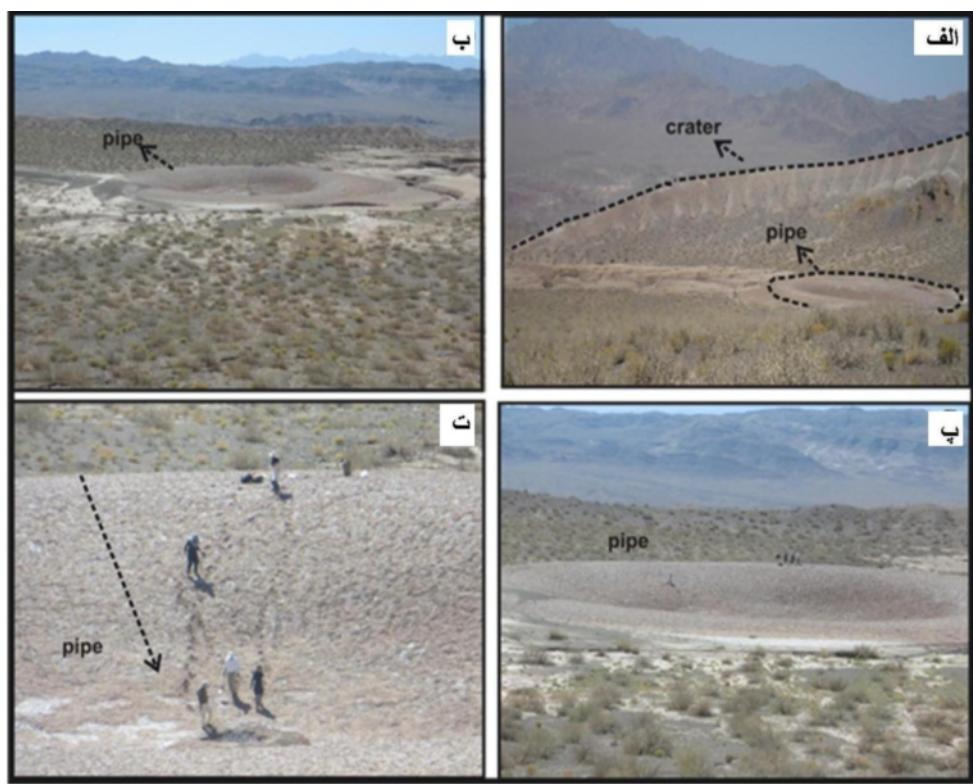
ایکس (XRF) برای اندازه‌گیری مقدار اکسیدهای عناصر اصلی و کمیاب، پراش پرتو ایکس (XRD) و بررسی با میکروسکوپ



شکل ۱ نقشه‌ی زمین‌شناسی منطقه‌ی مورد بررسی [۶] در شکل مشخص شده است.



شکل ۲ کراتر های منطقه توتک در راین.



شکل ۳ دهانه‌ی گلی در بزرگترین دهانه از دهانه‌های توتك که نشان دهنده‌ی برخورد آب‌های سطحی با یک مagma‌ی گرم و در نتیجه انفجار گل و لای بوده است دیواره‌های این دهانه فرسایش کمی داشته و دیواره‌های دودکش نیز کاملاً سالم است. الف - نمایی از دهانه توتك و دودکش گلی آن، ب و پ - دودکش تقریباً در وسط دهانه قرار، ت - تصاویری از داخل دودکش گلی.



شکل ۴ الف- سولفات‌سدیم در عمق ۴۰ تا ۳۰ سانتی‌متری، ب و پ در قسمت‌های سطحی.

آفتیاتالیت (Aphthitalite)، دولومیت و سیلویت نام برد. کانی‌های غیر تبخیری نیز شامل کوارتز، کامینیت، پیروولیت و ایلیت هستند.

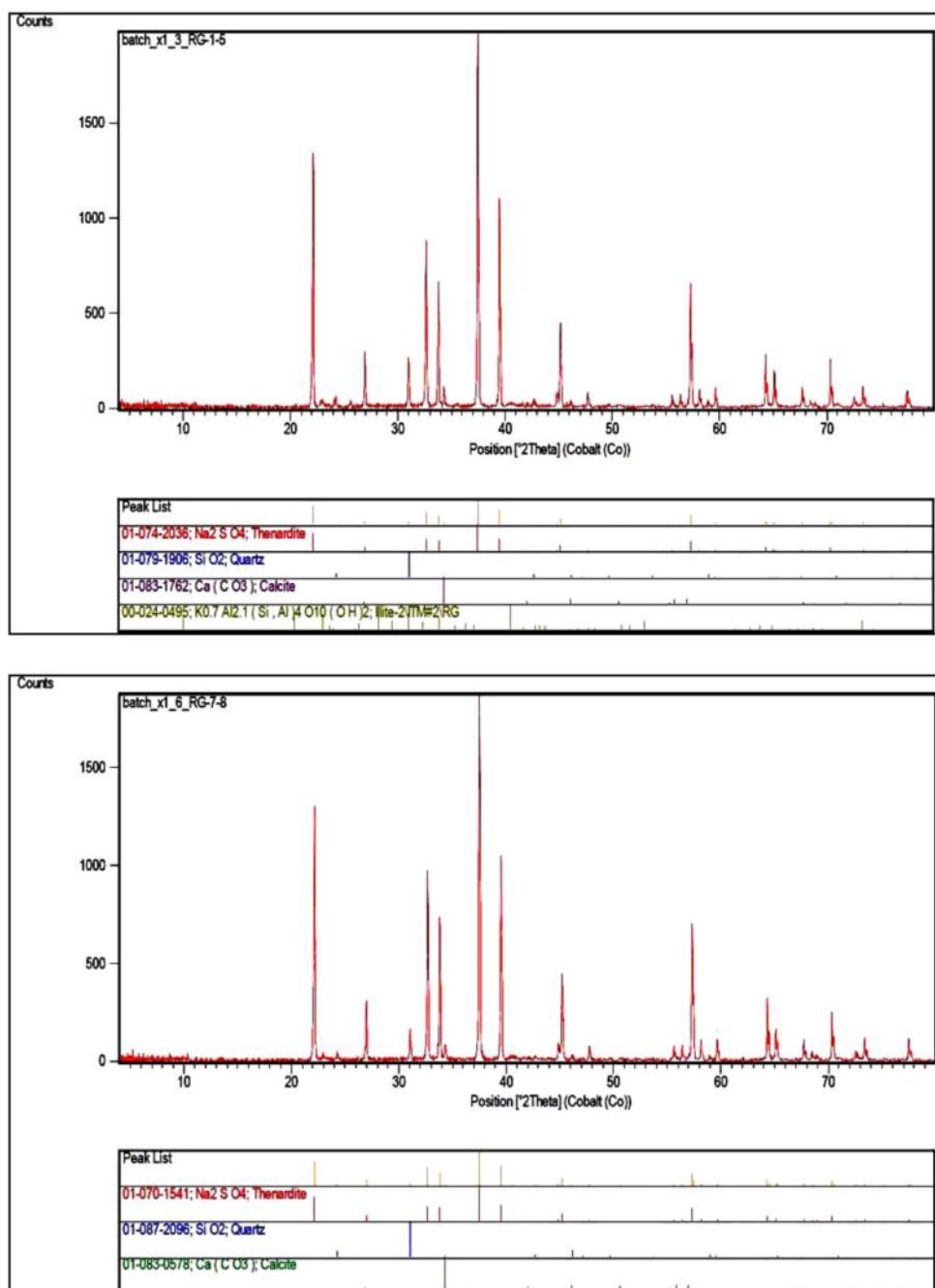
کانی‌شناسی منطقه‌ی مورد بررسی سولفات‌سدیم نمکی است با رنگ سفید که بر حسب ناخالصی‌های موجود و نیز آب متبلور سفید روشن تا سفید شیری تغییر می‌کند [۷] که در مناطق مورد بررسی به این صورت مشاهده شده و به صورت ترکیبات گوناگون و کانی‌های

بحث

بررسی‌های با پرتو ایکس حاکی از وجود سولفات‌سدیم از نوع تناردیت بود (شکل ۵) همچنین در SEM علاوه بر سولفات‌های سدیم، سولفات‌های کلسیم - سدیم (یوگستریت) نیز مشاهده می‌شوند. مقدار خلوص تناردیت به سمت مرکز کراتر و سپس دیواره‌های جنوبی و غربی بیشتر می‌شود. در واقع تناردیت کانی اصلی محسوب می‌شود. از دیگر کانی‌های مهم تبخیری در منطقه می‌توان از کلسیت، زیپس، هالیت،

سدیم - پتاسیم) است، نیز یافت می‌شود و به طور کلی اغلب همراه است با ترکیب یا مخلوط با دو یا بیشتر نمک‌های همگن است. به هر حال بیش از ۴۰ کانی برای سولفات‌سدیم با ترکیبات مختلف و میزان درصد سولفات‌سدیم متفاوت شناخته شده است که اغلب در یک محیط همگن تشکیل شده و هر یک دارای ویژگی جالب توجهی هستند که این فرایند بر اساس پایداری آنهاست [۸].

مختلفی یافت می‌شوند، حالت جامد سولفات‌سدیم در منطقه‌ی مورد بررسی اغلب به صورت سولفات‌سدیم بدون آب (تناردیت) یافت می‌شود و در بسیاری موارد نیز نمک‌های دیگر به صورت ناخالصی همراه آن‌ها هستند و در نتیجه کانی‌های سولفات‌سدیم دارای عیارهای مختلفی هستند، این ماده‌ی معدنی به صورت ترکیبات دیگری از قبیل گلوبریت و یوگستریت که نمک مضاعف سولفات‌سدیم و سولفات‌کلسیم و آفتیتالیت (سولفات-



شکل ۵ نمونه‌ای از پیک گراف XRD مربوط به تناردیت.

تمام نمونه‌های راین که XRD و SEM شده‌اند، به عنوان کانی اصلی منطقه وجود دارد.

میرابیلیت ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$): این کانی همراه با تناردیت در بعضی نمونه‌ها یافت می‌شود. سیستم بلور آن تکمیل، رده $2/m$ است. بلورهای کوتاه تا منشورهای بلند، بارشد به شکل‌های پیچیده، همچنین نا بالغ تا ۱۰ سانتی متر در توده‌های به هم پیوسته، بلوری، دانه‌ای تا فشرده و نیز به صورت شوره دیده می‌شوند [۱۰]. این کانی در هوای خشک در اثر از دست دادن آب، به تناردیت تبدیل می‌شود. در آب به خوبی حل می‌شود و مزه آن شور و تلخ است. کانی‌های همراه آن عبارتند از گچ، تناردیت، هالیت، آفتیتالیت، گلوبریت، یوگستریت، و معمولاً در کفه‌ی نمکی، کرانه‌های اقیانوسی کم عمق، دریاچه‌های شور، که در آنها رسوب شدن به صورت ذخایر لایای به صورت فصلی ممکن باشد تشکیل می‌شود.

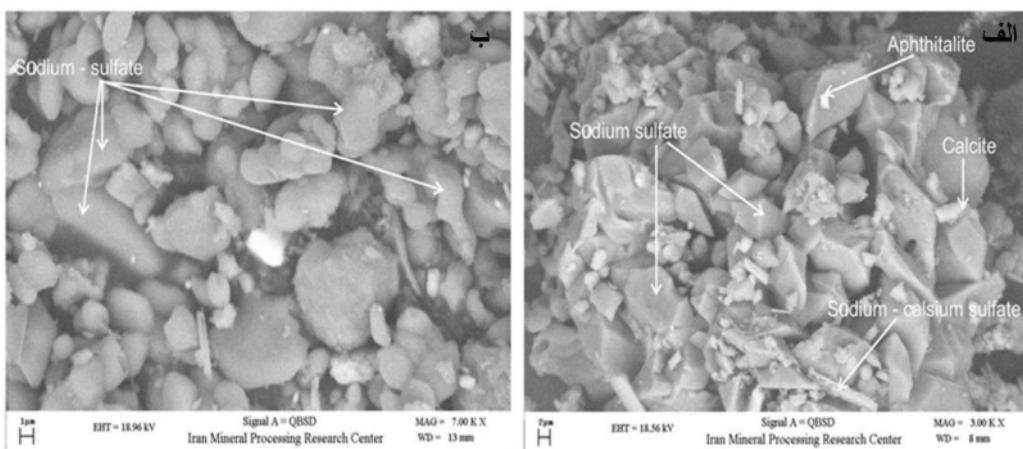
یوگستریت ($\text{Na}_4\text{Ca}(\text{SO}_4)_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$): در بسیاری از نمونه‌ها هم در XRD و هم SEM تشخیص داده شده‌اند. سیستم بلور آن سیستم تکمیل (۹) به صورت خوش‌هایی از الیاف نازک با $40 \mu\text{m}$ است [۱۱] که در تصاویر مربوط به SEM این سرشتی‌ها به خوبی مشاهده می‌شوند. سختی آن ۲، محلول در H_2O و شفاف است که به صورت بینگ تا سفید و همراه کانی‌های دیگر تبخیری به صورت پودر مشاهده می‌شود. انباست در نمونه‌های مورد بررسی شامل تناردیت، هالیت، ژپس، گلوبریت، کلسیت، یوگستریت یک کانی فرعی دیگر است که همراه با تبخیری‌های منطقه یافت می‌شود.

تناردیت (Na_2SO_4): تناردیت در نمونه‌های توتک، یک کانی اصلی است که در بعضی نمونه‌ها دارای خلوص بسیار بالایی است. سیستم بلوری آن راست لوزی رده $2/m$ است. بلورها دی‌پرامیدال $\{111\}$ یا مسطح $\{010\}$ یا به طور عمد $\{101\}$ هستند [۹]. در تصاویر میکروسکوپ الکترونی، تناردیت بیشتر به صورت بی‌شکل دیده می‌شود که البته در بعضی نمونه‌ها نیز شکل دوهرمی آن مشخص است همین‌طور در سطح زمین بیشتر به صورت پوسته پوسته و شوره دیده می‌شوند. سختی آن نسبتاً شکننده و در حدود $2.5 - 3$ و شکنندگی آن به صورت ناهموار (نااصاف) است [۹].

محلول در H_2O است، طعم آن کمی شور که هنگام نمونه‌برداری برای تشخیص از گچ به کار می‌رود. رنگ نمونه‌های مورد بررسی بینگ تا سفید است.

تشخیص تناردیت در SEM: در بعضی نمونه‌ها تناردیت کاملاً بی‌شکل و در بعضی از نمونه‌ها نیمه‌شکدار تا یو‌هدral هستند (شکل ۶). در بعضی نمونه‌ها اندازه‌ها بزرگ‌تر در حدود $40 \mu\text{m}$ میکرون و نیز تا حد $10 \mu\text{m}$ میکرون هستند. در بقیه نمونه‌ها اندازه‌ها کوچک‌تر و در حدود $1.5 - 5 \mu\text{m}$ هستند. شکل الف-۶ سولفات‌سدهم‌های درشت بلور و تقریباً یوهدرال (بلور پرامیدال) با اندازه‌ای برابر $6 \mu\text{m}$ تا $7 \mu\text{m}$ میکرون دیده می‌شوند آنالیز SEM-EDS نتایج بسیار خوبی برای هر یک از مکان‌ها نشان می‌دهد. تمام نمونه‌ها از نظر کانی‌شناسی، اندازه و ترکیب تا حدودی رفتارهای مشابهی نشان می‌دهند.

در نمونه‌های مورد بررسی، همراه با میرابیلیت گلوبریت، گچ، هالیت، یوگستریت، کلسیت، باسانیت معمولاً در خاکسترها و کراترهای آتشفسان توتک راین یافت می‌شود. تناردیت در



شکل ۶ الف- بلورهای خود شکل (یوهدرال) تناردیت همراه با دیگر سولفات‌های سدهم، ب- سولفات‌های بی‌شکل (آنهدral).

میرابیلیت، هالیت، گچ دیده شده‌اند. در نمونه‌های دیگر به صورت کانی فرعی نیز دیده می‌شود.

ژئوشیمی کانی‌های برسی شده مقایسه‌ی اکسیدهای اصلی با میانگین اکسیدهای پوسته‌ی زمین و پوسته‌ی قاره‌ای

نمونه‌های منطقه مورد بررسی تجزیه XRF شدن. بنابراین نتایج (جدول ۱) و مقایسه‌ی آن‌ها با اکسیدهای اصلی پوسته‌ی زمین (شکل ۸) چنین نتیجه می‌شود که Na_2O : بیشترین فراوانی را بین کاتیون‌ها نشان می‌دهد. این مقدار در نمونه‌های توک بالاتر از میانگین پوسته‌ی قاره‌ای و کل پوسته است. فراوانی SO_3 ارتباط مسقیم با میزان سدیم دارد که نشان دهنده‌ی غالب بودن کانی سولفات‌سدیم (تناریدیت) است. در مقایسه با Na_2O ، کاتیون‌های CaO ، K_2O ، MgO ، مقدار کمتری را نشان می‌دهند همچنین در مقایسه با فراوانی SO_3 ، آبیون Cl^- به مقدار کمتری دیده می‌شود که نشان دهنده‌ی کمتر و یا نادر بودن کانی‌های کلریدی و دیگر کانی‌های تبخیری رایج در منطقه است.

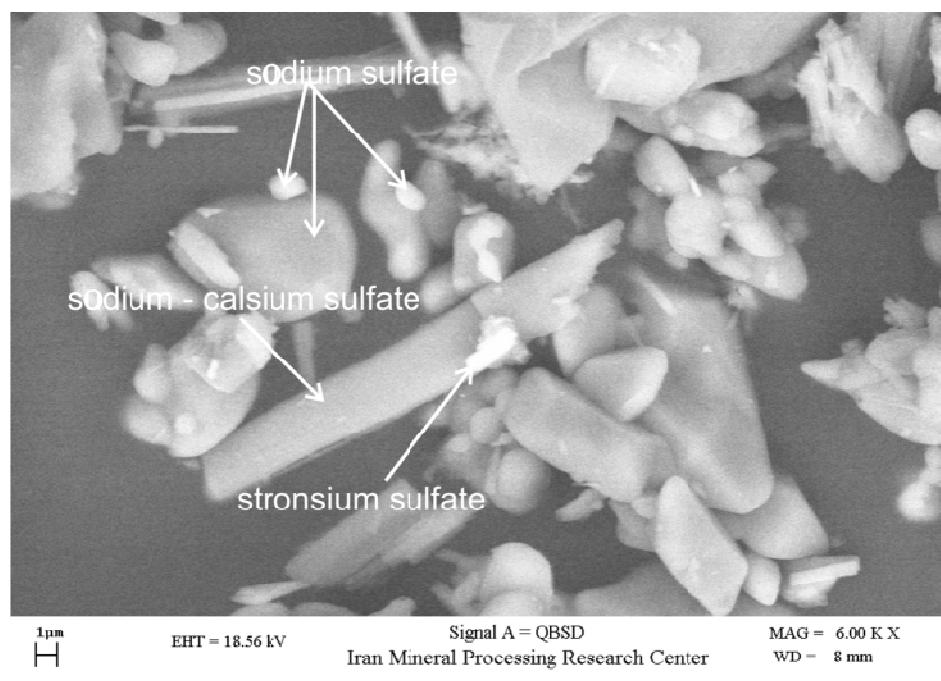
کمتری را نسبت به میانگین پوسته‌ی زمین نشان می‌دهد. که نشان دهنده‌ی کم بودن میزان کانی‌های سیلیکاتی و رسی در حوضه‌های تبخیری مورد بررسی است. بقیه‌ی اکسیدها مقداری برابر یا کمتر از میانگین پوسته‌ی زمین و قاره‌ای نشان می‌دهند.

تشخیص یوگسترتیت در SEM به صورت سوزنی یوهدرال تا نیمه شکل دار دیده می‌شود که نشان دهنده خصلت تکمیل آن است [۱۲، ۱۱]. این کانی به صورت الیاف نازک (فیبری) دارای ضخامتی حدود ۱.۵ تا ۰.۵ و طول ۱۰ تا ۴ میکرون در نمونه‌ها دیده می‌شود. تشخیص دو کانی گلوبریت و یوگسترتیت دشوار است و تنها با استفاده از SEM-EDS امکان پذیر است [۱۳] بلورهای سولفات‌سدیم مضاعف سدیم - کلسیم در این بررسی به صورت یوهدرال با بلورهای منشوری است که بیشتر همراه با تناریدیت در متن دیده می‌شود (شکل ۷). بررسی SEM-EDS مربوط به آن برای تمام نمونه‌ها از نظر ترکیب مشابه است. در نمونه‌های راین سولفات‌های سدیم - کلسیم به صورت فرعی در متن سنگ همراه با تناریدیت دیده می‌شوند.

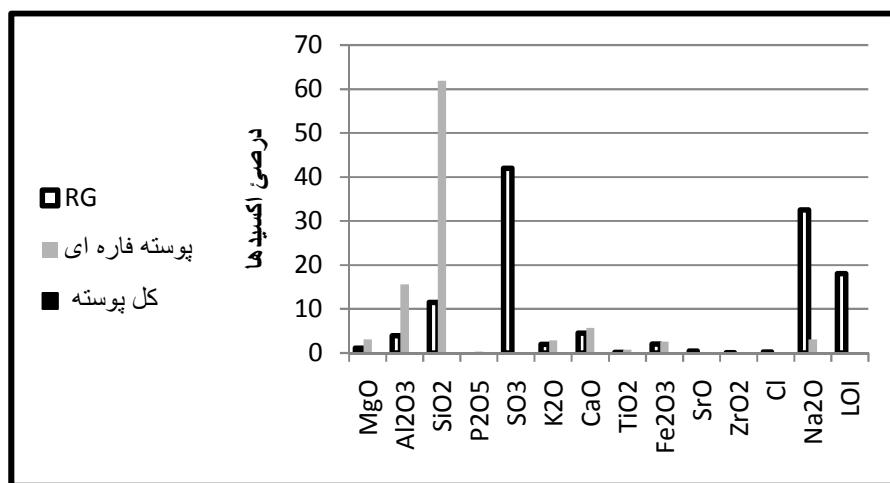
آفتینالیت ($\text{K}, \text{Na}(\text{SO}_4)_2$): این کانی در نمونه‌های مورد بررسی مثل بقیه به صورت پودر است و با XRD شناسایی شده است. سیستم تبلور آن سیستم هشت‌گوشی رده‌ی $32/m$ با ظاهری سه‌گوش و نیز به شکل شبه راست لوزی دیده می‌شود. در انباست تیغه‌دار به صورت پستانی ناقص در پوسته خاک نیز دیده می‌شود. ترد و شکننده با سختی ۳ بینگ، و رنگ‌های سفید، خاکستری، آبی، سبز است. جلای شیشه‌ای تا صمعی دارد و شفاف تا مات است [۱۴]. در H_2O حل می‌شود و دارای طعم شور است [۱۵]. انباست در نمونه‌های مورد بررسی به صورت تناریدیت، سیلولیت،

جدول ۱ نتایج آنالیز XRF منطقه‌ی راین

	RG-1-4	RG-1-10	RG-1-13	RG-1-16	RG-1-21	RG-1-23	RG-1-28	RG
MgO	۱/۰۴	۱/۶۲	۱/۱۶	-	۰/۷۵	۱/۷۷	۱/۱۴	۱/۰۷
Al ₂ O ₃	۱/۹۸	۶/۴۷	۳/۷۸	۲/۰۵	۳/۰۲	۶/۱۱	۳/۷۰	۳/۸۷
SiO ₂	۵/۴۱	۱۹/۲۹	۱۱/۱۹	۶/۲۰	۸/۵۴	۱۹/۰۰	۱۰/۸۹	۱۱/۵
P ₂ O ₅	-	-	-	-	-	-	-	-
SO ₃	۴۹/۹۵	۳۰/۹۶	۴۳/۲۹	۴۸/۷۰	۴۶/۲۰	۳۲/۷۱	۴۱/۹۸	۴۱/۹۷
K ₂ O	۰/۳۸	۳/۵۵	۱/۱۱	۱/۵۸	۰/۹۷	۳/۸۳	۱/۹۱	۱/۹
CaO	۱/۲۴	۷/۶۶	۳/۶۷	۲/۵۵	۲/۹۴	۷/۸۹	۵/۲۷	۴/۴۶
TiO ₂	۰/۱۳	۰/۳۵	-	-	-	۰/۲۶	-	۰/۱۱
Fe ₂ O ₃	۱/۲۰	۴/۶۸	۱/۲۶	۱/۰۶	۱/۴۶	۲/۳۶	۱/۸۸	۱/۹۸
SrO	-	۰/۴۸	۰/۲۳	۰/۱۴	۰/۲۹	۳/۶۲	۰/۶۶	۰/۳۵
ZrO ₂	-	۰/۰۹	۰/۰۵	-	۰/۰۵	۰/۱۲	۰/۱۲	۰/۰۶
Cl	-	۰/۹۰	۰/۸۱	-	-	-	-	۰/۲۴
Na ₂ O	۳۸/۶۸	۲۳/۹۸	۳۳/۴۶	۳۷/۷۲	۳۵/۷۸	۲۵/۳۴	۲۲/۴۹	۳۲/۴۹
LOI	۲۰/۹۰	۱۳/۲۳	۲۰/۹۳	۱۸/۴۵	۱۸/۸۸	۱۳/۱۹	۲۰/۷۲	۱۸/۰۳



شکل ۷ تصویر SEM بلورهای تک میل یوگستریت.



شکل ۸ مقایسه نمونه‌های راین با پوسته‌ی قاره‌ای و کل پوسته

همبستگی Na_2O با Cl با 0.535 - است که همبستگی وجود ندارد. همین طور K_2O با Cl دارای ضریب همبستگی 0.223 است. این موارد نشان دهنده‌ی کمبود کانی‌های کلریدی مانند هالیت و سیلویت در مناطق مورد بررسی است. نمونه‌های توک در مقایسه با پوسته‌ی قاره‌ای و کل پوسته، Al_2O_3 و SiO_2 ، MgO ، CaO ، K_2O ، Na_2O ، TiO_2 ، Fe_2O_3 ، SO_3 آن از میانگین پوسته بسیار بیشتر است (شکل ۸).

بررسی همبستگی اکسید کاتیون‌های اصلی با اکسید آنیون‌های اصلی تشکیل دهنده‌ی مناطق مورد مطالعه بر اساس جدول ۲ ضریب همبستگی اسپیرمن که برای داده‌های XRF رسم شده است: ضریب همبستگی SO_3 و Na_2O برابر $+1$ است. مقدار ضریب همبستگی $+1$ موید همبستگی کامل و مستقیم متغیرهاست در حالی که مقدار ضریب همبستگی -1 نشانگر همبستگی کامل و غیر مستقیم است و ضریب همبستگی صفر، عدم ارتباط بین دو متغیر را نشان می‌دهد. ضریب همبستگی CaO با 0.964 و ضریب

جنس بیشتر آن‌ها از پیروکلاستیک‌های اسیدی با جریان‌های لاوای اسیدی و بازی و نیز ماسه‌های **توفی** اسیدی و **توف**‌های دیگر هستند. در اثر دگرسانی این سنگ‌ها آنیون‌های سولفات (SO_4^{2-}) و کلرید (Cl^-) و کاتیون‌های Na^{2+} و K^+ و Ca^{2+} آزاد می‌شوند و نقش مهمی در تشکیل تبخیری‌های این منطقه به خصوص سولفات‌های سدیم بازی می‌کنند. در این میان نمی‌توان نقش گسل‌های موجود در منطقه و جریان‌های گرمابه‌ای این آتشفشن جوان را نادیده گرفت.

توبوگرافی دهانه‌های توتك که پایین‌تر از ارتفاعات اطراف است و نیز شرایط آب و هوایی منطقه در تشکیل تبخیری‌های منطقه مؤثرند. با توجه به این که زمان نمونه برداری در فصل گرم (نیمه‌ی مهرماه) صورت گرفت، سولفات‌سدیم‌های موجود در منطقه بیشتر از نوع تنار دیده‌اند.

خاستگاه تبخیری‌ها در منطقه توتك راین

بر اساس آن چه گفته شد، به عقیده‌ی نظری که قطبی [۱۶] در سال ۱۳۶۳ بیان کرد، خاستگاه سولفات‌سدیم به دلیل دگرسانی فلدسپات‌های سنگ‌های آتشفشنی جوان و کربنات‌سدیم موجود در خاکسترها آتشفشنی است. سبزه‌ای [۱۷] در سال ۱۳۶۴ رسوب‌های تبخیری از نوع سولفات‌سدیم در کراترهای قلعه حسنعلی راین (کرمان) را حاصل واکنش سنگ‌های آتشفشنی با گاز CO_2 و Cl می‌داند که تهنشینی آن‌ها باعث به وجود آمدن سولفات‌سدیم و کلرید‌سدیم شدن. بنابراین، تبخیری‌ها را می‌توان در ارتباط با فعالیت آتشفشن‌های جوان، دگرسانی و آبهای گرمابی دانست. بر اساس نقشه‌ی زمین‌شناسی منطقه (شکل ۱) آبراهه‌هایی به کراتر توتك و منطقه‌ی تبخیری آن می‌ریزند از تشکیلاتی سرچشمی می‌گیرند که

جدول ۲ ضریب همبستگی اکسیدها در منطقه‌ی مورد بررسی

		MgO	Al_2O_3	SiO_2	SO_3	K_2O	CaO	TiO_2	Fe_2O_3	SrO	ZrO_2	Cl	Na_2O	LOI
MgO	Correlation Coefficient	۱,۰۰۰												
Al_2O_3	Correlation Coefficient	۰,۸۵۷*	۱,۰۰۰											
SiO_2	Correlation Coefficient	۰,۸۵۷*	۱,۰۰۰**	۱,۰۰۰										
SO_3	Correlation Coefficient	-۰,۸۲۱*	-۰,۹۶۴**	-۰,۹۶۴**	۱,۰۰۰									
K_2O	Correlation Coefficient	۰,۶۷۹	۰,۷۸۶*	۰,۷۸۶*	-۰,۸۵۷*	۱,۰۰۰								
CaO	Correlation Coefficient	۰,۸۵۷*	۰,۹۲۹**	۰,۹۲۹**	-۰,۹۶۴**	۰,۸۹۲**	۱,۰۰۰							
TiO_2	Correlation Coefficient	۰,۶۷۰	۰,۵۱۲	۰,۵۱۲	-۰,۵۱۲	۰,۴۷۳	۰,۴۷۳	۱,۰۰۰						
Fe_2O_3	Correlation Coefficient	۰,۷۸۶*	۰,۸۵۷*	۰,۸۵۷*	-۰,۹۲۹**	۰,۷۱۴	۰,۸۹۳**	۰,۶۱۱	۱,۰۰۰					
SrO	Correlation Coefficient	۰,۵۷۱	۰,۶۷۹	۰,۶۷۹	-۰,۸۲۱*	۰,۷۵۰	۰,۸۵۷*	۰,۱۵۸	۰,۸۲۱*	۱,۰۰۰				
ZrO_2	Correlation Coefficient	۰,۷۳۴	۰,۷۵۳	۰,۷۵۳	-۰,۸۶۳*	۰,۷۷۱*	۰,۹۱۸**	۰,۲۸۴	۰,۸۶۳*	۰,۹۷۳**	۱,۰۰۰			
Cl	Correlation Coefficient	۰,۴۹۰	۰,۶۶۸	۰,۶۶۸	-۰,۵۳۵	۰,۲۲۳	۰,۳۵۶	۰,۳۶۹	۰,۴۰۱	۰,۰۴۵	۰,۱۱۴	۱,۰۰۰		
Na_2O	Correlation Coefficient	-۰,۸۲۱*	-۰,۹۶۴**	-۰,۹۶۴**	۱,۰۰۰**	-۰,۸۵۷*	-۰,۹۶۴**	-۰,۵۲۱	-۰,۹۲۹**	-۰,۸۲۱*	-۰,۸۶۳*	-۰,۵۳۵	۱,۰۰۰	
LOI	Correlation Coefficient	-۰,۳۲۱	-۰,۴۶۴	-۰,۴۶۴	۰,۵۳۶	-۰,۷۵۰	-۰,۵۱۷	-۰,۵۱۷	-۰,۵۳۶	-۰,۴۲۹	-۰,۴۰۴	۰,۰۴۵	۰,۵۳۶	۱,۰۰۰

- [2] Mcilveen S. Jr., R.L. Cheek Jr., "Sodium sulfate resources". Edited by D.D. Carr. Littleton, CO: SME , (1994) 959–971.
- [3] Dimitrijevic M. D., "Geology of Kerman region. Geological survey of Iran". Report, Yu. 59. (1973).
- [4] Low R., Anderson D.M., Boak R.A., Nkala G., "An investigation of solar evaporation pond leakage and possible remedial measures at Sua Pan", Botswana Eighth World Salt Symposium, vol. 1, (2000) pp. 523–528.
- [5] "فرهنگ جغرافیایی آبادی‌های استان کرمان"، سازمان جغرافیایی و وزارت دفاع و پشتیبانی نیروهای مسلح (۱۳۸۴).
- [6] دیمیتريویچ و همکاران، " نقشه ۱:۱۰۰۰۰ خانه خاتون، انتشارات سازمان زمین‌شناسی کشور" ، (۱۹۵۹).
- [7] Warren, J. K., "Evaporites through time: Tectonic", climatic and eustatic controls in marine and nonmarine deposits. *Earth-Science Reviews*, (2010) 217–268.
- [8] Austin G. S., "Sodium Sulfate Resources. Industrial Minerals and Rocks, SME" (Soc. Mining Metallurgy and Exploration) , (2006).
- [9] Nord A. G., "Refinement of the crystal structure of thenardite, Na_2SO_4 (V)". *Acta Chemica Scandinavica*, 27 (1973) 814–822.
- [10] Erickson, G.E., M.E. Mrose, J.J. Fahey, "Ice-clear mirabilite from Salar de Pintados, northern Chile". *Mineral. Record*, 1 (1970) 12–25.
- [11] Vergouwen L., "Eugsterite, a new salt mineral", *American Mineralogist*, 66 (1981) 632–636.
- [12] Buck B. J., King J., Etyemezian V., "Effects of salt mineralogy on dust emissions, Salton Sea," California. *Soil Science Society of America Journal*, 75(5) (2011) 1971–1985.
- [13] Mees F., T.V. Tursina, "Salt minerals in saline soils and salt crusts". Ch. 20. In G.V. Stoops et al. (ed.) The interpretation of micromorphological features of soils and regoliths. Elsevier, Amsterdam (2010).

برداشت

بر اساس بررسی‌های SEM و XRD، کانی‌های سولفاتی اصلی و مهم منطقه‌ی مورد بررسی عبارتند از: سولفات‌های کلسیم (گچ، انیدریت، باسانیت)، سولفات‌های سدیم (تناردیت) سولفات‌های سدیم – کلسیم (یوگستریت و گلوبریت)، سولفات‌های سدیم – پتابسیم (آفتیتالیت)، سولفات‌منزیریم (کامینیت) که تناردیت از کانی‌های اصلی منطقه به حساب می‌آیند.

با توجه به نتایج XRF و مقایسه‌ی آن‌ها با اکسیدهای اصلی پوسته‌ی زمین، Na_2O بیشترین فراوانی را بین کاتیون‌ها نشان می‌دهد. فراوانی SO_3 ارتباط مسقیم با میزان سدیم دارد که نشان دهنده‌ی غالب بودن کانی سولفات‌سدیم (تناردیت) است. در مقایسه با Na_2O ، کاتیون‌های CaO ، MgO ، K و در مقایسه با SO_3 ، آئیون Cl فراوانی کمتری را نشان می‌دهد که نشان دهنده‌ی کمتر و یا نادر بودن کانی‌های کلریدی و دیگر کانی‌های تبخیری رایج در منطقه است. بر اساس جدول ضریب همبستگی اسپیرمن که برای داده‌های XRF رسم شده است، ضریب همبستگی Na_2O و SO_3 برابر +1 است. مقدار ضریب همبستگی +1 موید همبستگی کامل و مستقیم متغیرهاست.

بین Na_2O و SO_3 همبستگی کامل و مستقیم وجود دارد در حالی که بین بقیه اکسیدها با SO_3 و نیز Cl ، این همبستگی وجود ندارد. همه‌ی این موارد نشان دهنده‌ی تشکیل تناردیت (سولفات‌سدیم) هستند.

قدرتانی

از شرکت فرآوری مواد معدنی ایران به خاطر انجام آنالیزها سپاسگزاری می‌کنم.

مراجع

- [1] Garrett D. E., "Sodium sulfate: Handbook of Deposits", perossesing & use. Academic Press (2001).

[۱۶] قطبی ح، "اکتشاف و بررسی مقدماتی سولفات سدیم و کابیهای همراه، گزارش داخلی سازمان زمین شناسی (۱۳۶۳) ..

[۱۷] سبزه‌ای، م، و دیگران، "اکتشافات تفصیلی سولفات سدیم موجود در خاکستر های آتشفسانی منطقه قلعه حسنعلی راین کرمان"، گزارش داخلی سازمان زمین شناسی (۱۳۶۴).

- [14] Moore P. B., "Bracelets and pinwheels-topologycal geometrycal approach to calcium orthosilicate and alkaly sulfate structures". American Mineralogist, 58(1-2) (1973) 32-42.
- [15] Okada K., Ossaka J., " Structures of potassium sodium sulphate and tripotassium sodium disulphate". ActaCrystallographica Section B: Structural Crystallography and Crystal Chemistry, 36(4) (1980) 919-921.