IRANIAN SOCIETY of CRYSTALLOGRAPHY and MINERALOGY

No. 2, 1386/2007 Fall & Winter

IRANIAN JOURNAL of CRYSTALLOGRAPHY and MINERALOGY

Recognition of evaporite minerals in Siahkuh desert areas of the Yazd Province, Iran

A. H. Ansari, A. H. Kohsary

Mining and Metallurgy Engineering Department, Yazd University, Yazd, Iran
E-mail: h.ansari@yazduni.ac.ir

(Received:19/11/2006, received in revised form:6/6/2007)

Abstract: the Siahkuh playa is one of the greatest deserts in Yazd province and is located in the north-north eastern of Ardakan city. In playa regions, different sub-environments with different mineral potentials can be recognized. In Siahkuh playa, various evaporite minerals such as gypsum in different form (sugery, nodular and euhedral crystals), halite (fibrous, cylindrical, hopper-shaped crystals and ball-shaped), and sodium sulfate were indentified. Sodium sulfate (Thenardite) is a commercial chemical compound which is formed in playas environments. This compound was also found for the first time in mud flat sub-environment of SW of Siahkuh playa. In brine waters of salt lakes sub-environment of Siahkuh playa, various elements such as lithium, magnesium, calcium, potassium and sodium were detected.

Keywords: *Siahkuh playa, evaporite minerals, gypsum, halite, Thenardite, brine waters.*

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-07-03]

مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران

شمارهٔ ۲، پاییز و زمستان ۸۶، از صفحهٔ ۴۲۳ تا ۴۳۸

انجمن بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران

شناسایی انواع کانیهای تبخیری زیر پهنه‌های کویر سیاه کوه استان یزد

عبدالحمید انصاری، امیر حسین کوهساری

اعضای هیات علمی دانشکده مهندسی معدن و متالورژی دانشگاه یزد

آدرس: یزد – دانشگاه یزد- مجتمع فنی و مهندسی – دانشکده مهندسی معدن و متالورژی

پست الکترونیکی: h.ansari@yazduni.ac.ir

(دریافت مقاله ۱۳۸۵/۸/۲۸، دریافت نسخه نهایی ۱۳۸۶/۳/۱۶)

چکیده: کویر سیاه کوه یکی از بزرگترین کویرهای استان یزد است که در شمال-شمال غرب شهرستان اردکان قرار دارد. در مناطق کویری، زیر پهنه‌های گوناگونی قابل تشخیص‌اند که پتانسیل هر یک در دارا بودن کانیهای تبخیری متفاوت در آنهاست. در منطقهٔ کویر سیاه کوه کانیهای تبخیری مختلفی شامل انواع ژیپس (دانه شکری، نودولی، بلورهای شکلدار)، انواع هالیت (رشته‌ای، استوانه‌ای، بلورهای هاپری شکل وگلوله‌ای) و سولفات سدیم تشخیص داده شده‌اند. سولفات سدیم یکی از ترکیبهای شیمیایی با ارزش اقتصادی فراوان است که یکی از محلهای تشکیل آن مناطق کویری است. این ترکیب برای اولین بار به صورت کانی تناردیت (SO_4Na_2) که سولفات سدیم بدون آب است، در تعدادی از مناطق جنوب غربی کویر سیاه کوه مشاهده شد. کانی تناردیت در این منطقه، زیر پهنهٔ گلی یافت می‌شود. درشورابه زیر محیط دریاچه نمکی مقادیری از عناصر مختلف مانند لیتیم، منیزیم، کلسیم، پتاسیم و سدیم اندازه‌گیری شدند.

واژه‌های کلیدی: *کویر سیاه کوه، کانیهای تبخیری، ژیپس، هالیت، تناردیت، شورابه.*

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-07-03]

مقدمه

مناطق کویری، حوضه‌های بستهٔ کم عمقی در خشکی هستند که به انگلیسی پلایا گفته می‌شود. آنیونها و کاتیونهایی که از ارتفاعات پیرامون و یا زمینهای مجاور سرچشمه می‌گیرند به وسیلهٔ آبهای جاری و یا زیر زمینی به این حوضه‌ها منتقل می‌شوند. به علت بالا بودن میزان تبخیر در این نوع مناطق، غلظت املاح در این حوضه‌ها به تدریج افزایش می‌یابد، و بسته به نوع آنیون یا کاتیون موجود در محیط، کانیهای مختلف تبخیری تشکیل خواهد شد. کانیهای تبخیری بیشتر دارای بنیان ناسیلیکاتی هستند و در یک محیط آبی و یا از طریق نیروی مویینگی و یا عوامل فیزیکوشیمیایی تشکیل می‌شوند. در یک محیط پلایایی، زیر محیطهای گوناگونی را می‌توان تشخیص داد، گرچه تعداد این زیر محیطها از یک پلایا به پلایای دیگر ممکن است متفاوت باشد. هر کدام از زیر محیطهای موجود در محیط پلایا از نظر پی جویی کانیهای تبخیری دارای ارزشهای متفاوتی هستند. بر اساس تقسیم [۱] زیر محیطها در یک پلایا از بیرون به درون، شامل مخروط افکنه، پهنهٔ شنی، پهنهٔ گلی، دریاچهٔ نمکی موقت، و دریاچهٔ نمکی دائمی است. زیر محیطهای مخروط افکنه و پهنهٔ شنی به دلیل درشت بودن اندازهٔ ذرات معمولا فاقد کانیهای تبخیری هستند. پهنهٔ گلی به دو بخش خشک و نمکی یا مرطوب تفکیک می شود. پهنهٔ گلی خشک در بخش بیرونی و به سمت ارتفاعات قرار دارد، سطح آن خشک است و ممکن است در آن شوره خوردگیهایی (Efforesence) مربوط به کانیهای تبخیری دیده شود. زیر پهنهٔ گلی خشک مناسبترین محل برای پی جویی ترکیبهای تبخیری با ارزش اقتصادی مانند سولفات سدیم است. در پهنهٔ گلی نمکی یا مرطوب ته‌نشستها بیشتر از رس و کمتر از سیلت است، و سطح آب زیر زمینی در آن نسبتاً بالاست. اهمیت زیر محیط پهنهٔ گلی نمکی از نظر پی جویی ترکیبهای تبخیری با ارزش کمتر است. دریاچهٔ نمکی موقت ممکن است در فصول پر باران از آب پر شده باشد ولی در فصول خشک بدون آب بوده و با قشری از ته‌نشستهای تبخیری پوشیده می‌شود. دریاچهٔ نمکی دائمی درونی‌ترین بخش یک پلایاست و در فصول خشک هم می‌تواند حاوی شورابه باشد.

در این کار پژوهشی به معرفی و چگونگی شناسایی کانیهای تبخیری در محیطهای کویری، از جمله کانیهای شناسایی شده در کویر سیاه کوه یزد، پرداخته می‌شود.

روش مطالعه

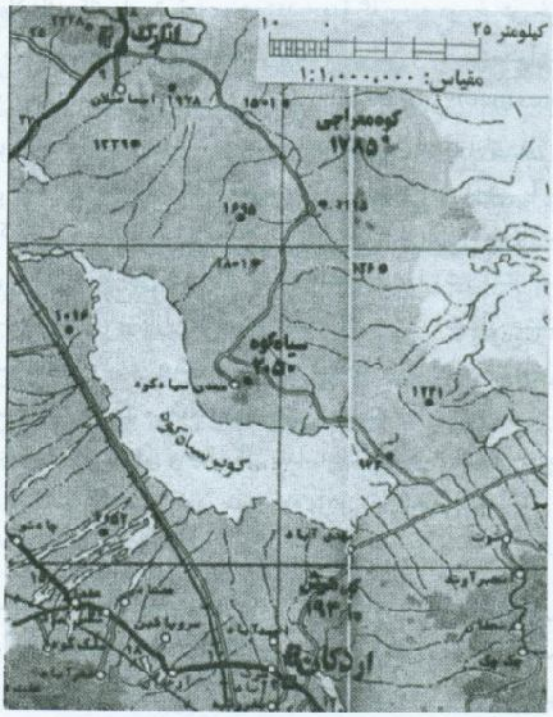
در راستای شناسایی کانیهای تبخیری در کویر سیاه کوه، با بازدیدها و بررسیهای متعدد در بخشهای مختلف این کویر اقدام به نمونه‌گیری از ته‌نشستهای تبخیری در سطح زمین شد. به منظور دسترسی به کانیهای قرار گرفته در اعماق پایین‌تر چاهکهایی به عمق نیم تا یک متر حفر کرده و نمونه‌هایی برای تعیین ترکیب کانی‌شناسی جمع آوری کردیم. برخی از کانیهای

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-07-03]

موجود در نمونه‌ها در جا مورد شناسایی قرار گرفتند. برای شناسایی دقیق‌تر، پنج نمونه از برخی دیگر از کانیهای تبخیری به ویژه نمونه‌های مشکوک سولفات سدیم‌دار، را در آزمایشگاه سازمان زمین‌شناسی مورد آزمایش پراش پرتو ایکس قرار داریم. همچین از شورابه دریاچهٔ نمکی کویر ۸ نمونه از بخشهای مختلف آن انتخاب شدند و به منظور تعیین نوع عناصر موجود در آنها، در آزمایشگاه دانشکده شیمی دانشگاه یزد مورد آنالیز شیمیایی قرار گرفتند.

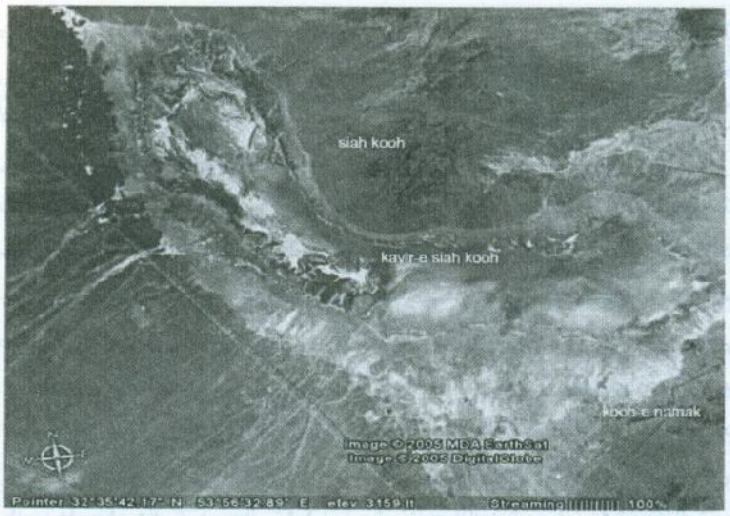
موقعیت جغرافیایی و زمین شناسی کویر سیاه کوه

کویر سیاه کوه یکی از بزرگترین کویرهای استان یزد بوده و در شمال-شمال غربی شهرستان اردکان در عرضهای جغرافیایی بین ۳۲ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۳۳ درجهٔ شمالی، و طولهای ۵۳ درجه و ۴۰ دقیقه تا ۵۴ درجه و ۱۰ دقیقهٔ شرقی قرار دارد. شکل‌های ۱ و ۲ به ترتیب موقعیت جغرافیایی و تصویر ماهواره‌ای کویر سیاه کوه را نشان می‌دهند. در شمال کویر سیاه کوه برونزد گستره‌ای از ته نشستهای سنوزوئیک تبخیری وجود دارد. هالیت و ژیپس کانی‌های غالب این ته نشستهای هستند. این ته نشستهای خاستگاه اصلی املاح در کویر سیاه کوه به حساب می‌آیند.



شکل ۱ موقعیت جغرافیایی کویر سیاه کوه در استان یزد.

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-07-03]



شکل۲ تصویر ماهواره‌ای کویر سیاه کوه.

کلیهٔ زیر محیطهایی که ممکن است در یک محیط پلایایی وجود داشته باشند در کویر سیاه کوه تشخیص داده شده‌اند [۲، ۳، ۴، ۵] که به ترتیب از بیرون به درون پلایا عبارتند از:

۱- مخروط افکنه: در دامنهٔ بسیاری از ارتفاعات پیرامون کویر سیاه کوه مخروط افکنه دیده می‌شود.

۲- پهنهٔ شنی: این پهنه پس از مخروط افکنه قرار گرفته و عرض آن به فاصلهٔ ارتفاعات تا مرکز پلایا، توپوگرافی منطقه و وضعیت هیدروگرافی ناحیه بستگی دارد. پهنهٔ شنی در کویر سیاه کوه در گسترهٔ بین کوه هریش و مرکز پلایا بیشترین پهنا را دارد و به بیش از ده کیلومتر می‌رسد.

۳- پهنهٔ گلی: این پهنه که پس از پهنهٔ شنی قرار دارد متشکل از زمینهای نسبتا صاف به رنگ زرد، خاکستری و گاهی سفید و از ته نشستهای در اندازهٔ رس و سیلت تشکیل شده است. سطح پهنهٔ گلی به علت وجود قشری از ترکیبات تبخیری که در اثر پدیدهٔ مویینگی تشکیل شده‌اند سخت است. گاهی این ترکیبهای تبخیری به ویژه هالیت در سطح تجمع کرده و سطحی کاملا سفید شبیه به زمینهای برفی را بوجود می آورند. گسترش پهنهٔ گلی در بخشهای مختلف کویر سیاه کوه متفاوت است. به طور کلی این گسترش در بخشهای شمالی کمتر است و به حدود دو کیلومتر می رسد. ولی در حاشیهٔ جنوبی پهنهٔ گلی از گسترش بیشتری برخوردار است و حداکثر به ۳۰ کیلومتر می‌رسد ولی به طور متوسط عرض آن ۵ کیلومتر است. بسته به

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-07-03]

رژیم هیدرولوژی، ترکیب شیمیایی آب زیر زمینی، و نوع ته‌نشستهای، پهنهٔ گلی ویژگیهای مختلفی می‌تواند داشته باشد. سطح ایستابی بالا، شوری آب و ته‌نشستهای ریزدانه در حد رس موجب لایه نمکی در سطح می‌شود. اگر آب زیر زمینی سولفات‌دار باشد، امکان تشکیل ذخایر اقتصادی سولفات سدیم وجود خواهد داشت.

۴- دریاچهٔ نمکی موقت و دائمی: این دریاچه در گود ترین بخشهای کویر سیاه کوه تشکیل شده است. در فصول مرطوب، آبهای سطحی و نزدیک سطح در این بخش جمع شده و دریاچه-ای موقتی به وجود می‌آورند. عمق این دریاچه بسیار متفاوت است و ممکن است در برخی از نقاط به بیش از ۲ متر نیز برسد. با فرا رسیدن فصل گرما آب دریاچه شروع به تبخیر می‌کند و از سطح و عمق ان کاسته می‌شود. در اوایل پاییز آب پلایا محدود به تعدادی حوضچه می‌شود. در این حوضچه‌ها بسته به غلظت شورابهٔ موجود در آنها، کانیهای تبخیری متفاوتی در حال تشکیل است. در حوضچه‌هایی که کمترین غلظت را دارند ژیپس و انهایی که بیشترین غلظت را دارند کلریدها بویژه هالیت در حال تشکیل است. نتایج آنالیز شیمیایی ۸ نمونه از شورابه‌های کویر سیاه کوه در جدول ۱ آورده شده‌اند. با توجه به نتایج به دست امده از آنالیز شیمیایی می-توان چنین نتیجه گرفت که میزان لیتیوم شورابه‌ها از ۱۰٫۷۵ ppm تا ۱۹٫۲۵ ppm در تغییر است. با عنایت به اینکه کم عیارترین ذخیرهٔ کنونی لیتیوم در حال استخراج دنیا دارای عیار ۴۵ppm است [۶، ۷، ۸]، بنابراین، لیتیوم موجود در این شورابه‌ها در حال حاضر فاقد ارزش اقتصادی است. همچنین، این شورابه‌ها از نظر پتاسیم، منیزیوم، و کلسیم نیز فقیر بوده و ارزش اقتصادی ندارد. عناصر یاد شده به ترتیب بین۳۱۲ تا ۸۵۰ ppm، ۱۷۴۱ تا ۲۰۳۱۴ ppm و ۶۱۵ تا ۲۲۱۵ ppm در نمونه‌ها گزارش شده‌اند. ضمناً در این شورابه‌ها عناصر ید، برم، و بر تشخیص داده نشده است.

جدول ۱ نتایج آنالیز شیمیایی چند نمونه شورابه در کویر سیاه کوه.

شماره نمونه	PH	I	Br	Ca^{2+} (ppm)	Mg^{2+} (ppm)	Li^{+} (ppm)	SO_4^{2-} (ppm)	CO_3^{2-}	Cl^{-} (ppm)	Na^{+} (ppm)	K^{+} (ppm)
D 10		n.d	n.d	۱۹۲۵	۲۰۳۱۴	۱۴٫۱۲	۶۵۵۱	n.d	۹۲۵۱۲	۵۵۷۱۳	۴۱۲
D 11		n.d	n.d	۲۰۱۴	۲۲۱۵	۱۳٫۱۴	۷۰۱۴	n.d	۹۸۱۸۲	۵۷۸۱۲	۴۵۲
D 12	۶٫۵	n.d	n.d	۱۸۷۴	۱۷۷۴	۱۰٫۷۵	۵۷۱۴	n.d	۷۰۴۵۷	۴۱۸۵۵	۳۱۲
D 13	۶٫۵	n.d	n.d	۱۷۸۴	۱۸۷۸	۱۱٫۴۶	۷۴۹۶	n.d	۸۶۴۰۹	۵۳۸۱۴	۳۵۰
D 14	۶	n.d	n.d	۲۲۱۵	۲۷۴۱	۱۵٫۲۱	۴۹۸۰	n.d	۱۰۶۷۹۳	۶۱۷۸۷	۵۲۵
D 15	۵٫۵	n.d	n.d	۶۵۲	۲۹۹۶	۱۸٫۵۴	۱۰۵۴۹	n.d	۱۹۴۹۷۵	۱۲۳۵۷۴	۷۵۰
D 16		n.d	n.d	۶۱۵	۳۰۱۴	۱۹٫۲۵	۱۱۲۱۳	n.d	۲۰۴۸۱۲	۱۲۴۸۱۵	۸۱۲
D 17		n.d	n.d	۶۲۰	۳۰۸۵	۱۹٫۱۲	۱۱۵۱۴	n.d	۲۱۱۱۳۵	۱۲۵۱۱۲	۸۵۰

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-07-03]

انواع کانیهای شناخته شده در کویر سیاه کوه

مهمترین کانیهای تبخیری در کویر سیاه کوه شامل ژیپس، هالیت، و سولفات سدیم است که دارای انواع مختلف به شرح زیر است:

الف – انواع ژیپس

الف – ۱- ژیپس دانه شکری

این نوع ژیپس به صورت دانه شکری دیده می‌شود. دانه‌ها جدا از یکدیگرند و اندازه آنها در حدود یک میلیمتر است. ژیپس دانه شکری بیشتر در بخشهای داخلی کفه گلی (زون مرطوب) مشاهده می‌شود. ضخامت لایه‌های این نوع ژیپس بستگی به شرایط تشکیل آن دارد و می‌تواند از چند سانتی‌متر تا بیش از یک متر باشد. تجربیات به دست آمده نشان می‌دهد که سایر ترکیبهای تبخیری به صورت دانهٔ شکری دیده نمی‌شوند [۶]، و این یکی از ویژگی‌های ژیپس است. از دیگر ویژگیهای شناسایی ژیپس عدم انحلال آن در آب است. این نوع ژیپس بیشتر در حاشیهٔ جنوبی کویر سیاه کوه و به مقدار کمتر در حاشیه شمالی و شرقی آن دیده می‌شود. پهنای زون حاوی ژیپس دانه شکری در حاشیهٔ جنوبی به دو کیلومتر می‌رسد. شکل ۳ تصویر یک نمونه ژیپس دانه شکری در حاشیهٔ جنوبی کویر سیاه کوه را نشان می‌دهد.

الف – ۲- ژیپس نودولی

این نوع ژیپس در بخش مرکزی کویر سیاه کوه یعنی در جاییکه شورابه در سطح زمین و یا در اعماق کمتر از ده سانتی متر قرار دارد دیده می‌شود. نودولهای ژیپس به شکلهای کروی، نیمه کروی، و گل کلمی دیده می‌شوند (شکل ۴). قطر آنها ممکن است کمتر از یک سانتی متر تا ۳ سانتی‌متر تغییر کند. از آنجاییکه عمق شورابه در محل تشکیل این نوع ژیپس کم است، معمولاً در اثر تبخیر شورابه، روی نودولها، لایهٔ نازک و یا گاهی رشته‌های نازکی از هالیت تشکیل می‌شود. شناسایی این نوع ژیپس در صحرا از شکل ظاهری، محل تشکیل آن، و بالاخره شستشو با آب شیرین و زدودن نمک سطحی و حل نشدن آن در آب انجام پذیر است.

الف – ۳- ژیپس با بلورهای یوهدرال (شکل دار)

این نوع ژیپس از بلورهایی تشکیل شده‌اند که سطوح بلوری در آنها به خوبی تشکیل شده‌اند. ژیپس با بلورهای یوهدرال (شکلدار) و (اتومورف) (خودریخت) به سه صورت دیده می‌شود :

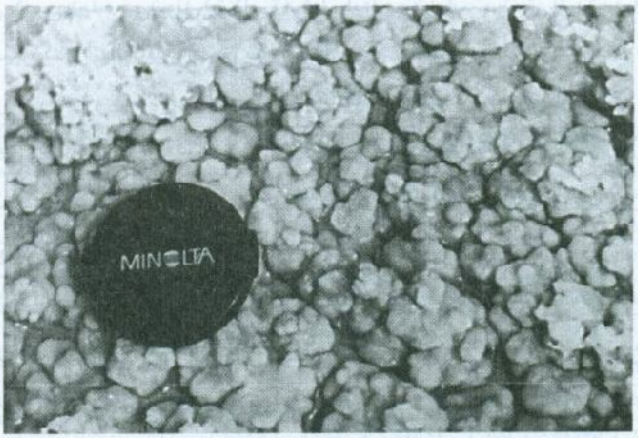
الف۳-۱- ژیپس با بلورهای منفرد و بدون انکلزیون

این نوع ژیپس بیشتر در زون مرطوب یعنی جایی که ته‌نشستهای ریزدانه و در حد رس و سیلت هستند و سطح آب زیرزمینی بالا است مشاهده می‌شود. بلورها در سیستم تک میل

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-07-03]

متبلور شده و ماکل شدگی را نشان نمی‌دهند. اندازهٔ بلورها ببشتر بین کمتر از یک سانتی‌متر تا حدود ۴ سانتی‌متر در تغییر است. بلورهای بدون انکلزیون زمانی تشکیل می‌شوند که ته‌نشستهای پیرامون بلور سست و نرم باشند، به گونه‌ای که نیروی تبلور بلور توانایی کنار زدن ته نشستهای پیرامون را داشته باشد (شکل ۵).

شکل ۳ ژیپس دانه شکری در بخش جنوبی کویر سیاه کوه در استان یزد.



شکل۴ ژیپس نودولی در کویر سیاه کوه. بین نودولها شورابه سطحی و روی آنها نمک رشته‌ای وجود دارد.

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-07-03]

شکل۵ بلورهای ژیپس منفرد و بدون انکلیزیون در کویر سیاه کوه (ردیف بالا). این بلورها در محل-هایی تشکیل می‌شوند که ته نشستهای پیرامون بلور سست و نرم باشند به طوری که نیروی تبلور بلور قادر به کنار زدن نشستهای پیرامون باشد و بلورهای ژیپس با انکلیزیون ماسه‌ای (ردیف پایین) این بلورها در محل هایی تشکیل می‌شوند که نیروی تبلور بلور قادر به کنار زدن نشستهای پیرامون خود نیست.

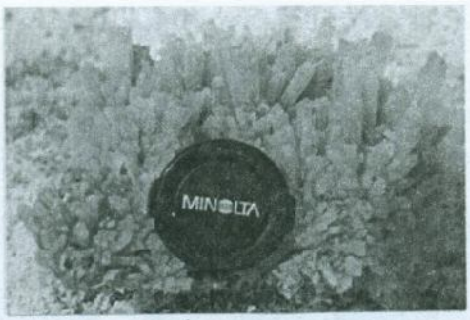
الف – ۳-۲- ژیپس با بلورهای منفرد با انکلزیون ماسه‌ای

تمام ویژگیهای این نوع ژیپس با ژیپس با بلورهای شکلدار و بدون انکلیزیون یکسان است با این تفاوت که این نوع ژیپس در مکانهایی تشکیل می‌شود که ته نشستهای پیرامون بلور از سختی بیشتری برخوردارند. در این حالت نیروی تبلور بلورهای در حال تشکیل در حدی نیست که بتواند ته نشستهای را کنار بزند بلکه ته نشستهای را دور زده و در خود محصور می‌کند. در نتیجه بلورهایی تشکیل خواهد شد که در درون خود دارای ذرات ماسه‌ای هستند. مقدار ذرات ماسه در بلورهای مختلف متفاوت است. اندازهٔ بلورها به طور کلی بیشتر از اندازه بلورهای ژیپس بدون انکلزیون ماسه‌ای است و ممکن است به بیش از ۵ سانتی متر برسد (شکل۵).

الف – ۳-۳- بلورهای ژیپس با ماکل دم پرستویی

این نوع بلورها در حوضچه‌های پر از شورابه واقع در مرکز پلایا تشکیل می‌شوند. در این حالت تمام دیواره و کف حوضچه شورابه‌ای مفروش از بلورهای ژیپس است. اندازهٔ حوضچه‌های دارای این نوع ژیپس بسیار متفاوت است. اندازه بلورها نیز از حدود میلیمتر تا حدود ۵ سانتیمتر در تغییر است (شکل۶). یکی از ویژگی‌های این نوع بلورها داشتن ماکل از نوع دم پرستویی در انتهای آزاد بلور است. این نوع ژیپس در حال حاضر در حوضچه‌های نمکی واقع در کویرسیاه کوه در حال تشکیل است.

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-07-03]



شکل۶ بلور های ژیپس با ماکل دم پرستویی در کویر سیاه کوه.

ب – انواع هالیت

هالیت به صورتهای مختلف زیر دیده می‌شوند.

ب-۱- هالیت رشته‌ای

این نوع هالیت به صورت رشته‌های با ضخامت کم و در حدود یک میلیمتر و طول تا بیش از ۵ سانتیمتر تشکیل می‌شود (شکل۷). محل تشکیل آن در مرکز پلایا است یعنی در جایی که شورابه فصلی در سطح زمین و یا نزدیک به سطح وجود داشته باشد. فاصلهٔ رشته‌ها از یکدیگر بسیار متفاوت است و از قاعدهٔ خاصی تبعیت نمی‌کند. از آنجایی که این نوع هالیت روی ته نشستهای و کانیهای قبلی (بیشتر ژیپس نودولی) تشکیل می‌شود، به نظر می‌رسد که فاصلهٔ نودولها از یکدیگر در ایجاد فاصلهٔ بین رشته‌ها دخالت داشته باشد. هر چه نودولها به هم نزدیکتر باشند و یا اندازهٔ نودولها کوچکتر باشد فاصلهٔ رشته‌های هالیت نیز کمتر خواهد بود و برعکس.

شکل۷ هالیت رشته‌ای در کویر سیاه کوه. در اینجا هالیت بر روی نودولهای ژیپس در حال تشکیل است.

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-07-03]

ب-۲- هالیت استوانه‌ای

این نوع هالیت نیز بیشتر در بخشهای مرکزی پلایا تشکیل می‌شود و به صورت استوانه‌های نامنظم و توخالی است. شورابه هالیت‌ساز معمولاً در اعماق کم (حدود ۱۵ الی ۲۰ سانتیمتر) قرار دارد. ارتفاع استوانه‌ها از چند سانتیمتر تا بیش از ۲۰ سانتیمتر (به طور متوسط ۱۰ سانتیمتر) در تغییر است. ضخامت دیوارهٔ استوانه‌ها نیز در حدود یک میلیمتر است. قطر استوانه‌ها نیز متغیر است و به طور متوسط به ۷ الی ۱۰ سانتیمتر می‌رسد. چگونگی تشکیل این استوانه‌ها به درستی معلوم نیست ولی مشاهدات صحرایی نشان می‌دهد که هالیت استوانه-ای روی ته نشستهای موجود قبلی مانند نمک طعام و ژیپس تشکیل شده است. این ته نشستهای غالباً دارای حفرها و یا درز و شکافهایی هستند و به نظر می‌رسد که شورابه زیرین از این حفرها و یا درز و شکافها به سطح آمده و تبخیر می‌شود. در آغاز دیواره نامنظمی از هالیت گرداگرد حفره تشکیل می‌شود و کاملاً آن را می‌پوشاند. سپس در اثر بارندگیهای فصلی و یا بادهای تند محلی، بخش سطحی سوراخ می‌شود و به شکل استوانه نامنظم در می‌آید. با ادامه تبخیر، این دیواره‌ها رشد کرده و هالیت‌های استوانه‌ای تشکیل می‌شود. این نوع هالیت در کویرهای سیاه کوه به فراوانی دیده می‌شوند (شکل۸).

ب-۳- لایهٔ نازک هالیت روی سطح شورابه

در اوج گرمای تابستان که میزان تبخیر زیاد است، امکان دارد روی سطح شورابه موجود در مرکز پلایا قشری از نمک طعام تشکیل شود. ضخامت این قشر کم و در حدود یک میلیمتر است. غلظت شورابه لزوماً نباید در حد تشکیل نمک طعام باشد تا قشر نازک لایه هالیت روی آن تشکیل شود، بلکه ممکن است شورابه زیرین غلظتی کمتر از غلظت لازم برای تشکیل نمک طعام داشته باشد ولی به علت اینکه در سطح شورابه تبخیر فوق العاده زیاد است غلظت به حد تشکیل نمک طعام می‌رسد و قشر نازک لایهٔ هالیت در سطح شورابه تشکیل می‌شود. هالیت نازک پس از مدتی بر اثر وزن خود شکسته شده و در شورابه سقوط می‌کند. اگر غلظت شورابه کمتر از غلظت نمک طعام تشکیل یافته باشد، در پایین حوضچه شورابه‌ای، لایه‌های نازک هالیت تجمع یابند. هالیت نازک لایه روی سطح شورابه‌های کویر سیاه کوه در حال تشکیل است (شکل۹).

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-07-03]

شکل۸ هالیت استوانه ای در کویر سیاه کوه.

شکل۹ تشکیل قشری از هالیت روی سطح شورابه در کویر سیاه کوه.

ب-۴- هالیت با بلورهای هاپری شکل

در تعدادی از حوضچه‌ها که غلظت شورابه در حد تشکیل هالیت است در فصول گرم بلورهای هالیت هاپری شکل (بلورهای قیفی شکل) تشکیل می‌شوند. چگونگی تشکیل این بلورها به صورت زیرقابل توجیه است.

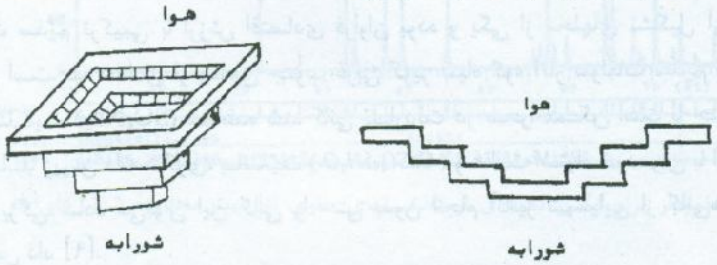
تبخیر شدید در سطح شورابه سبب تشکیل نطفه‌های بلور هالیت می‌شود. کشش سطحی شورابه به علت غلظت زیاد بالاست و به همین دلیل بلورهای ریز اولیه در سطح شورابه به صورت شناور باقی می‌مانند. با رشد بلور به وزن آن افزوده شده و تمایل به سقوط در شورابه را پیدا می‌کند. در این زمان بخش زیرین بلور در شورابه پایین می‌رود ولی به علت کشش سطحی زیاد، بلور همچنان در شورابه شناور می‌ماند. در این شرایط لبهٔ بالایی بلور دارای چهار وجه

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-07-03]

عمود بر هم است (به علت سیستم کوبیک هالیت) و در تماس با شورابه در حال تبخیر است. به همین دلیل، رشد بلور در لبه‌های این وجوه ادامه می‌یابد و همچنان که این فرایند در حال شکل‌گیری است بلور تمایل به سقوط دارد. با ادامهٔ این روند بلورهایی با شکل قیف مانند تشکیل می‌شوند (شکل ۱۰) و در نهایت زمانی می‌رسد که وزن بلور به حدی است که نمی‌تواند در شورابه به صورت غوطه ور باقی بماند و به ته حوضچه تبخیری سقوط می‌کند. ابعاد این بلورها متفاوت است و حداکثر ابعاد بلور مشاهده شده در کویر سیاه کوه به دو سانتیمتر می‌رسد (شکل ۱۱).

ب-۵- هالیت گلوله‌ای شکل

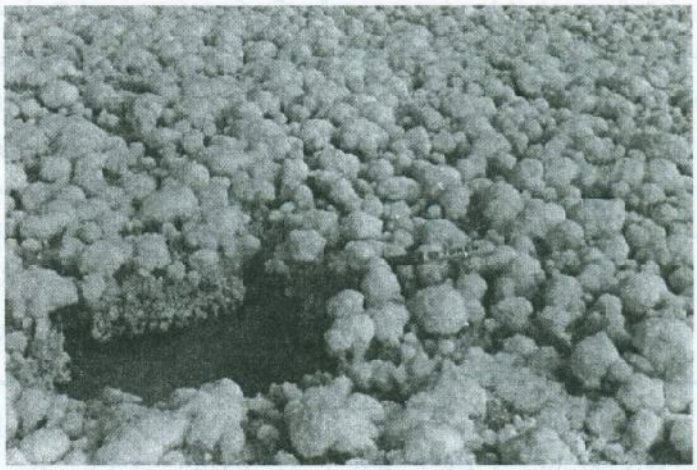
علاوه بر موارد یاد شده در مرکز پلایا، هالیت به صورت گلوله هایی با قطرهای مختلف نیز در حال شکل‌گیری است. قطر گلوله‌ها متفاوت است و از چند سانتیمتر تا حدود ۲۰ سانتیمتر ممکن است تغییر کند. این گلوله‌های نمکی در نقاطی تشکیل می‌شوند که شورابه در عمق کم قرار داشته باشد و اغلب روی ژیپس ندولی تشکیل می‌شوند. گلوله‌های هالیت بر اثر تبخیر شورابه نمک طعام که از طریق حفرهای زیرین تغذیه می‌شوند به وجود می‌آیند. شکل ۱۲هالیت گلوله‌ای در کویر سیاه کوه را نشان می‌دهد.



شکل ۱۰ چگونگی تشکیل بلورهای هالیت قیفی شکل.

شکل۱۱ بلورهای هالیت قیفی شکل در کویر سیاه کوه.

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-07-03]



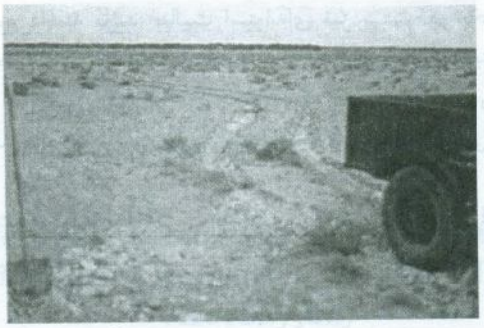
شکل۱۲ هالیت گلوله‌ای در کویر سیاه کوه. در اینجا هالیت روی ژیپس نودولی تشکیل شده است. سطح شورابه در عمق ۱۵ سانتیمتری قرار دارد.

پ- سولفات سدیم

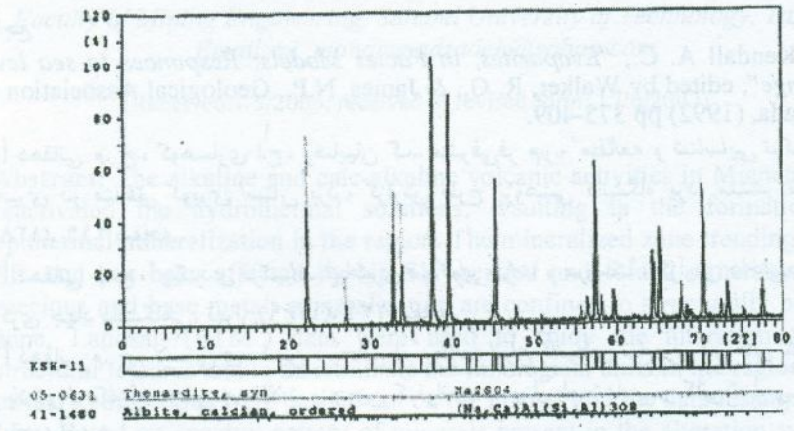
سولفات سدیم ترکیبی با ارزش اقتصادی فراوان بوده و یکی از محلهای تشکیل آن مناطق کویری است. در تعدادی از مناطق جنوب غربی کویر سیاه کوه آثار سولفات سدیم به صورت کانی تناردیت (SO_4Na_2) مشاهده شد. کانی تنـاردیت در صحرا ممـکن است با چنـد کانـی دیگر مانند ژیپس دانه شکری، بـاسانیت ($CaSO_4,5H_2O$) و هالیت اشتباه شود، ولی با استفاده از چند ویژگی ساده می‌توان این کانی را حتی بدون انجام آنالیز شیمیایی از کانی‌های دیگر تشخیص داد [۹].

در مطالعات انجام شده در کویر سیاه کوه در دو محل سولفات سدیم شناسایی شد که درستی تشخیص به روش پراش پرتو ایکس مورد تایید قرار گرفت. یکی در شرق و جنوب شرقی مزرعهٔ جلیل اباد که دارای ضخامت کم و در حد یک الی دو سانتیمتر است که ارزش اقتصادی ندارد. دومین محل سولفات‌دار در شرق مزرعهٔ علی آباد واقع شده است (شکل۱۳). در این محل ضخامت لایهٔ سولفات‌دار به ۱۵ سانتی متر می‌رسد. مطالعات اولیه نشان داد که این منطقه از گسترش چشمگیری نیز برخوردار است و ارزش مطالعه بیشتر را دارد. هر دو محل زیر پهنهٔ گلی قرار دارند و کانی مربوطه نیز تناردیت است. نمونه‌ای از سولفات سدیم منطقهٔ شرق علی اباد با پراش پرتو ایکس مورد بررسی قرار گرفت که نتیجه آن در نمودار شکل ۱۴ آورده شده است.

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-07-03]



شکل۱۳ لایه سولفات سدیم در سطح زمین در شرق مزرعهٔ علی آباد در کویر سیاه کوه. اثر فرورفتگی چرخ خودرو در این نوع زمینها که شبیه مناطق پوشیده از برف هستند دیده می‌شود.



شکل۱۴ نمودار پرتو ایکس نمونه‌ای از ته‌نشستهای حاوی تناردیت محدوده شرق علی‌آباد در کویر سیاه‌کوه.

برداشت

در کویر سیاه کوه کانی ژیپس در شکلهای دانه شکری، ندولی، بلورهای شکلدار و بلورهای با ماکل دم پرستویی قابل تشخیص‌اند. ژیپس‌های دانه شکری بیشتر در بخشهای درونی کفهٔ گلی (زون مرطوب)، ژیپس نودولی در بخش مرکزی کویر و ژیپس‌های با بلورهای منفرد و بدون انکلزیون بیشتر در زون مرطوب مشاهده می‌شود. بلورهای ژیپس با ماکل دم پرستویی در حوضچه‌های پر از شورابه در مرکز پلایا تشکیل می‌شوند.

کانی هالیت نیز در شکلهای رشته‌ای، استوانه‌ای، بلورهای هاپری شکل و گلوله‌ای در این محیط کویری وجود دارد. همچنین هالیت به صورت پهنهٔ نمکی و شوره خوردگی نمک در سطح دیده می‌شود. هالیت بیشتر به صورت لایهٔ نازک در سطح شورابه دیده می‌شود. محل تشکیل هالیت رشته‌ای در مرکز پلایاست، یعنی در جایی که شورابه فصلی در سطح زمین و یا

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-07-03]

نزدیک به سطح وجود داشته باشد. هالیت استوانه‌ای نیز بیشتر در بخشهای مرکزی پلایا تشکیل می‌شود و به صورت استوانه‌های نامنظم و توخالی است. هالیت با بلورهای هاپری شکل (بلورهای قیف مانند) در فصول گرم درحوضچه‌هایی که غلظت شورابه در حد تشکیل هالیت است تشکیل می‌شوند. هالیت گلوله‌ای در مرکز پلایا به صورت گلوله‌هایی با قطرهای مختلف تشکیل می‌شود.

زیر پهنهٔ گلی خشک کویر سیاه کوه برای اولین بار در دو محل سولفات سدیم به شکل کانی تناردیت شناسایی شد.

قدردانی و تشکر

از حوزهٔ معاونت پژوهشی دانشگاه یزد که امکانات اجرایی و مالی این کار پژوهشی را فراهم آورده‌اند صمیمانه تشکر و قدردانی می‌شود.

مراجع

[1] Kendall A. C., *"Evaporites, in Facies Models: Responces to sea level change"*, edited by Walker, R. G., & James, N.P., Geological Association of Canada, (1992) pp 375-409.

[۲] دهقانی م. ح.، کوهساری ا.ح.، رضاییان ک.، مشرفی‌فر م.ر.، *"مطالعه و شناسایی ترکیبات تبخیری در مناطق کویری استان یزد"*، گزارش طرح پژوهشی دانشگاه یزد، منتشر نشده، (۱۳۸۰)، ۲۱۹ صفحه.

[۳] دهقانی م. ح.، *"پیگردی ترکیبات تبخیری در کویر هرات و مروست"*، گزارش داخلی، دفتر مرکزی جهاد دانشگاهی، تهران(۱۳۶۹)، ۲۳۱ صفحه.

[۴] دهقانی م. ح.، لاسمی ی.، امین سبحانی ا.، *"مطالعه انواع کانیهای تبخیری در حال تشکیل در پلایای اردکان"*، مجموعه مقالات پنجمین کنفرانس سمینار بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران (۱۳۷۵)ص۵۷.

[۵] دهقانی م. ح.، *"معرفی کانیهای تبخیری دارای ارزش اقتصادی در مناطق کویری استان یزد"*، مجموعه مقالات هفتمین کنفرانس سمینار بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران (۱۳۷۸) ص۷۲.

[6] Lindgern W., *"Mineral Deposits"*, Mc Graw Hill, (1983), 883 p.

[7] Senior L.A., Slot R.A., *"Asenic, borone, and fluoride in ground water in and near diabase intrusions, Newark Basin, southeastern Pennsylvania"*, U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2006-5261, (2006),105p.

[8] Smoot J.P., Lowenstein T.K., *"Depositional environments of non-marine evaporates in Melvin, J.L., ed., Evaporites, petroleum, and mineral resources"*, Elsevier, (1991) p. 190-347.

[۹] انصاری ع.ح.، کوهساری ا. ح.، *"کانیهای سولفات سدیم و شناسایی آنها در محیطهای کویری استان یزد"*، مجموعه مقالات چهاردهمین همایش بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران (۱۳۸۵) ص۵۶-۶۲.

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-07-03]

IRANIAN SOCIETY of CRYSTALLOGRAPHY and MINERALOGY

No. 2, 1386/2007 Fall & Winter

IRANIAN JOURNAL of CRYSTALLOGRAPHY and MINERALOGY

Application of ETM$^+$ image in detecting alteration halos and discriminating lithological units in Mianeh (east-Azarbayjan)

M.J.Mohammadzadeh, R.Falahat

Faculty of Mining Engineering, Sahand University of Technology, Tabriz
Email:mj_mohammadzadeh@yahoo.com

(Received:1/5/2006, received in revised form: 17/6/2007)

Abstract: The alkaline and calc-alkaline volcanic activities in Mianeh have reactivated the hydrothermal solutions, resulting in the formation of epithermal mineralization in the region. The mineralized zone trending NW-SE, and has been affected by NE-SW bended and folded structures. The precious and base metals mineralization are confined to structurally bended zone. Landsat-7(ETM$^+$) data were used to study the alteration zones, structural features and to discriminate the lithological units in the region. The primary corrections were carried out on the images and the data resampled to 15m. Based on spectral pattern of minerals present in the alteration system, such as chlorite, epidote, kaolinite, jarosite, geotite, hydrothermal alteration zones of the area were detected using band ratio and principle component analysis (PCA) techniques, which also well correlated with field studies. The linear and ring structural features along with lithological units were discriminated based on spectral features of minerals. Ultimately, the study reveals that the application of PCA resulted in enhancement of alteration halos. The field checks have confirmed the achievement and indicate the western part of the area as potentially promising zone.

Keywords: *Landsat-7(ETM$^+$) image, mineral spectral pattern, hydrothermal alteration, lithological units discrimination, Mianeh region.*

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-07-03]