



دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر
فصلنامه علمی فضای جغرافیایی

صمد فتوحی^۱

حسین نگارش^۲

فریبا رسولی دخت^۳

دوره بیست و چهارم، شماره ۸۸
زمستان ۱۴۰۳، صفحات ۲۵-۱

تحلیل ژئومورفولوژیکی و ترکیب کانی شناسی کلوتهای فهرج در استان کرمان

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۳/۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۳/۵

چکیده

کلوتهای یکی از پدیدههای ژئومورفیک بیابان لوت هستند که در روی رسوبات دوره میوسن توسعه پیدا کردهاند. هدف از این پژوهش تحلیل ژئومورفولوژیکی کلوتهای فهرج در استان کرمان است. با روش تصادفی پنج نمونه رسوب از کلوتهای منطقه برداشته شد و با استفاده از مطالعات طیف سنجی پراش پرتو ایکس و طیف سنجی فلورسانس پرتو ایکس به تحلیل و بررسی ژئومورفولوژیکی کلوتهای فهرج استان کرمان پرداخته شده است. بررسی نتایج پراش پرتو ایکس نشان دهنده وجود کانی کوارتز در پنج نمونه رسوب است. کانیهای کوارتز، کلسیت، آلبیت، دولومیت، مونت موریلونیت و آنکریت فازهای اصلی رسوبات را تشکیل می دهند. این کانیها جزئی از سیلیکاتها هستند که در محیط آبی با درجه حرارت پایین تشکیل می شوند. نتایج فلورسانس پرتو ایکس نشان می دهد بطور متوسط عناصر دی اکسید سیلیسیم، اکسید کلسیم و اکسید آلومینیوم و گازهای فرار ۸۴/۸ درصد از عناصر را تشکیل می دهند.

کلمات کلیدی: پراش پرتو ایکس، فلورسانس پرتو ایکس، بیابان لوت، فهرج، کلوته

مقدمه

کلوتهای نوعی عوارض ژئومورفیک فرسایش بادی است که در مناطق خشک و نیمه خشک شدید در سراسر جهان توزیع شده است. پراکندگی آن در ایران بیشتر در دشت کویر، بیابان لوت، در شمال غربی و جنوب غربی رفسنجان، در بخش غربی شهرستان فهرج و روی رسوبات دلتای قدیمی هیرمند در شهرستان زابل دیده می شود. این نوع ژئوفرم در رسوبات نرم مانند نهشتههای زمینی رودخانههای قدیمی و سیستهای دریاچهای و در پهنه دقها توسعه می یابد و دارای کشیدگی و نظم خاصی در جهت باد غالب دارند. باد هم مانند آبهای جاری، فرآیندی است که خاص نواحی خشک نمی باشد بلکه فرآیندی (بی منطقه) است که در هر دمایی یا رطوبتی امکان پیدایش آن هست (Tricar, 1990: 196). محیط مناسب برای تشکیل کلوتهای، اقلیم خشک همراه با باران کم و باد شدید

۱- گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه سیستان و بلوچستان Fotohi@gp.usb.ac.ir

۲- گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه سیستان و بلوچستان

۳- کارشناس ارشد ژئومورفولوژی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه سیستان و بلوچستان

و مداوم است (Maghsoudi et al., 2016:127). از پدیده‌های فرسایش سایشی باد، تپه‌های، کوتاه تا بلندی است که در قلمرو رسوب‌های ریز دانه جوان مانند رس و سیلت ساخته شده‌اند، سایش بادی بخشی از رسوب‌ها را با خود می‌برد و بقایای آن به صورت تپه‌هایی باقی می‌ماند که در اصطلاح عمومی این پدیده «یاردانگ» و معادل فارسی آن کلوتک است (Alaei Taleghani, 2009: 272). کلوتک‌ها لندفرم‌هایی هستند که توسط فرآیندهای پیچیده‌ای ایجاد می‌شوند. این پیچیدگی شامل منشاء، فرایند حمل، محیط رسوبی و فرایند رسوبگذاری است. ویژگی‌های رخساره‌های رسوبی کلوتک‌ها آسیب‌پذیری آنها را در برابر فرسایش بادی نشان می‌دهد که برای درک رشد مورفولوژیکی آنها مهم است. با این حال، فقدان تحقیقات سیستماتیک در مورد منشأ این ساختارهای ژئومورفیک و محیط رسوبی که منجر به توسعه آنها شده است، پیش‌داوری و تصور چگونگی تشکیل کلوتک را سخت نموده است. این زمین‌شکل‌ها، اشکال منحصر به فردی هستند که کمتر مورد مطالعه قرار گرفته است. چگونگی تشکیل، محیط رسوبگذاری، مواد رسوبگذاری شده، ضخامت و سن رسوبات، دانه بندی و ترکیب شیمیایی آنها، نیاز به مطالعه دارد. در جهان و در ایران مطالعاتی در مورد کلوتکها و کلوتک انجام گرفته است.

Mousavi (2015: 106) کلوتک‌ها را لندفرم‌های فرسایشی می‌داند که توسط فعالیت‌های کندوکاو مشترک فرآیندهای آب و باد غالب تک‌جهته شکل گرفته و در واحدهای سنگ‌شناسی مختلف در بیابان‌های متعددی در جهان نمود عینی دارند. Wesley Ward (1979: 8147) می‌نویسد یاردانگ‌ها پشته‌های فرسایش بادی هستند که در کره مریخ هم عمومیت دارند (Gabriel (1938: 193) بیابان لوت را مشهور به یاردانگ‌های بزرگ می‌داند. Al-Dousari et al (2009: 94) اشکال مختلف یاردانگ‌ها در منطقه ام‌الریمام در منطقه شمال کشور کویت را مطالعه نموده است. Dong et al (2012: 146) با مطالعه روی یاردانگ‌های بیابان کامتگ^۱ توسعه آنها را در چهار مرحله، تولد، نوجوانی، بلوغ و مرگ تقسیم می‌کند. یاردانگ کلمه‌ای ترکمنی است (yar از ریشه زبان ترکستانی به معنی دامنه پرشیب است) که نخستین بار در سال ۱۹۰۳ جهانگرد سوئدی به نام هدین^۲ در سفر به طرف بیابان (تاکلامکان) واقع در غرب چین، آن را به کار برد. بر طبق گزارش‌های سازمان هوا و فضای امریکا در کره مریخ و زهره نیز چنین عوارضی یافت شده‌اند (Ehsani, 2011: 63). در غرب لوت یاردانگ‌هایی وجود دارد (که به زبان بلوچی به آن کلوت گفته می‌شود) که دارای جهت شمال غربی - جنوب شرقی و منطبق بر بادهای ۱۲۰ روزه سیستان است و بر روی رسوبات رسی - سیلتی پلیستوسن، قرار گرفته‌اند (Krinley, Berberian et al, 2001; 1970). کلوت‌ها را تقریباً همه محققین محصول مشترک فرسایش آبی- بادی می‌دانند. وجود آب موجب انعقاد کلونیدها و مواد رسی به صورت ماده گل‌ولای مانند می‌شود. این عمل به دلیل وجود املاح محلول، جدایی و حرکت آنها را به وسیله باد تسهیل می‌کند (Alaei Taleghani, 2009: 290). به منظور شناخت فرآیندهای ژئومورفولوژیک و آثار به جای مانده از این فرآیندها لازم است که واحدهای ژئومورفولوژی به اجزا کوچکتر تقسیم شده تا بتوان شناخت بهتر و تجزیه و تحلیل مناسب‌تری از آنها به دست آورد (Mashhadi et al, 2002: 34). در دانه‌سنجی رسوبات کلوت‌ها و کلوتک‌ها نیز مطالعاتی انجام گردیده است. Maghsoudi et al (2016: 51) برای دانه‌سنجی رسوبات کلوت‌های لوت، دو نمونه کلوت از بیابان لوت در شمال شرق شهداد را انتخاب کردند. تعدادی نمونه رسوب از ارتفاع مختلف برداشت گردید و مشخص شد که فرسایش آبی- بادی فرآیند غالب در شکل‌گیری یاردانگ‌های لوت می‌باشد. نتایج دانه‌سنجی نشان می‌دهد که یاردانگ‌ها عمدتاً دارای رسوبات گلی می‌باشد. Ehsani & Foroutan (2014: 359-380) نیز در طبقه‌بندی یاردانگ‌های لوت با شبکه‌های عصبی مصنوعی مطالعه نمودند و بهینه‌ترین پارامترهای مورفومتریکی در جدایی یاردانگ‌ها را، انحنا، سطحی، چرخش، انتگرال

ارتفاع‌سنجی، کل انحنای تجمعی، شیب، انحنای حدی و متوسط انحنای می‌دانند. (Ghodsi (2017: 21) یاردانگ‌ها را یکی از شگفت‌انگیزترین ویژگی‌های ژئومورفیک کویر لوت ایران می‌داند که در رسوبات آبرفتی پلیستوسن توسعه یافته است. (Ehsani (2011: 63) با آنالیز مورفومتریک به پهنه‌بندی یاردانگ‌های لوت اقدام نمود و (Alavi Panah (2004: 58) به مطالعه منابع آب و رطوبت سطح یاردانگ‌های بیابان لوت با داده‌های ماهواره‌ای پرداخت. (Hamdamju et al (2015: 1) با مطالعه خصوصیات شیمیایی ریزگردهای شهداد با روش طیف‌سنجی فلورانس پرتو ایکس پرداخت. او نتیجه گرفت گرد و غبار رسوب کرده، منشاء طبیعی دارد. (Komaki & Alavi Panah (2005: 13) با مطالعه تفکیک‌پذیری طیفی کلاس‌ها اطلاعاتی بیابان لوت با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای به این نتیجه رسیدند؛ بیابان لوت خشک‌ترین بیابان ایران و یاردانگ‌ها از مهم‌ترین تیپ موجود در لوت مرکزی به شمار می‌رود و نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که داده‌های رقومی در صورت انتخاب روش مناسب، برای شناسایی رخساره‌های منطقه ابزار مفیدی می‌باشند. (Mousavi (2015:105) با تحلیل کمی ژئومورفومتری کلوته‌های واقع در غرب بیابان لوت به بررسی روابط با روش آنالیز رگرسیون و تحلیل واریانس اقدام کرد. نتایج آنالیز رگرسیون چند متغیره نشان می‌دهد که حداکثر ارتباط معنی‌دار ارتفاع با طول، عرض، شیب رو به باد و شیب بادپناه با ضریب تبیین ۰/۸۶۲ وجود دارد. تحلیل واریانس یک طرفه نشان می‌دهد که از نظر آماری تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال خطای کمتر از ۰/۰۵ در مولفه ارتفاع بین کلوته‌های مطالعاتی دیده می‌شود. (Alavi Panah (2004: 67) در مورد دمای لوت مطالعه نمود. نتایج حاصل از مطالعات روند تغییرات تشعشعات حرارتی نشان می‌دهد که مجموعاً تغییرات حرارتی نه تنها از غرب به شرق بلکه از شمال غرب به جنوب شرق یاردانگ‌های بیابان لوت دارای روند کلی افزایش است. (Maghsoudi et al (2016: 125-142) در مورد محیط رسوبگذاری کلوته‌ها می‌نویسد، رسوبات در حد سیلت و رس با طبقه‌بندی افقی نشانگر مواد دانه‌ریز معلق در آب در محیطی آرام است. ترک‌های گلی به همراه رسوبات تبخیری به صورت لایه‌های از گچ و نمک در بین لایه‌های تشکیل دهنده کلوته وجود دارد که نشانگر تبخیر شدید دریاچه است. علاوه بر کلوته‌های بیابان لوت، در بخشی از دشت رفسنجان کلوته‌هایی دیده می‌شود. (Abbasnejad & Zahab Nazori (2012: 127-144)، تشکیل کلوته‌ها را در محدوده‌ای از پلایای دشت رفسنجان که توسط گسل فعال دشت رفسنجان بالا رانده شده و به دلیل فرسایش دیفرانسیل توسط ماسه‌های عبوری می‌دانند.

در شهرستان فهرج از استان کرمان در محدوده‌ای نسبتاً وسیع تپه‌هایی دیده می‌شود که دارای ارتفاعی بین ۱ تا ۵ متر و طولی تا ۴۰ متر دارند، که به آنها کلوته می‌گویند. آنها شبیه به قایق‌های واژگون شده، در یک ساحل مسطح به نظر می‌آیند. مورفولوژی زیبا، قرارگیری روستاها در میان آنها و نخلستان‌های سبز لابه‌لای آنها، گردشگرانی را به خود جذب نموده است. خاک رسی سنگین آنها، خاکی حاصلخیز جهت کشاورزی است. کلوته‌ها مواریث اقلیمی و مورفولوژیکی با ارزشی هستند که به علت عدم اطلاع ساکنین محلی در آستانه تخریب کامل قرار دارند. تخریب و فرسایش کلوته‌ها از یک طرف آنها را با خطر نابودی روبرو نموده است. از طرف دیگر رسوبات حاصل از فرسایش آنها مواد لازم را برای طوفانهای ماسه‌ای فراهم نموده است. از آنجایی که کلوته‌های این منطقه در عرصه و حریم بیابان لوت قرار دارند و بیابان لوت به عنوان یک اثر در فهرست جهانی یونسکو ثبت گردیده است، مطالعه این اشکال ضروری است. هدف از این مطالعه تحلیل مورفولوژیکی و ترکیب کانی‌شناسی کلوته‌های فهرج است. با اطلاع از ترکیبات رسوبی آنها می‌توان با محیط رسوبگذاری و ویژگیهای این محیط آشنایی پیدا کرد و به چگونگی تشکیل، فرسایش، حمل و رسوبگذاری آن پی برد. یافته‌های ما از نظر تئوری برای درک شکل‌گیری و توسعه لندفرم کلوته و از لحاظ عملی برای حفاظت از این آثار زمین‌شناسی مهم هستند.

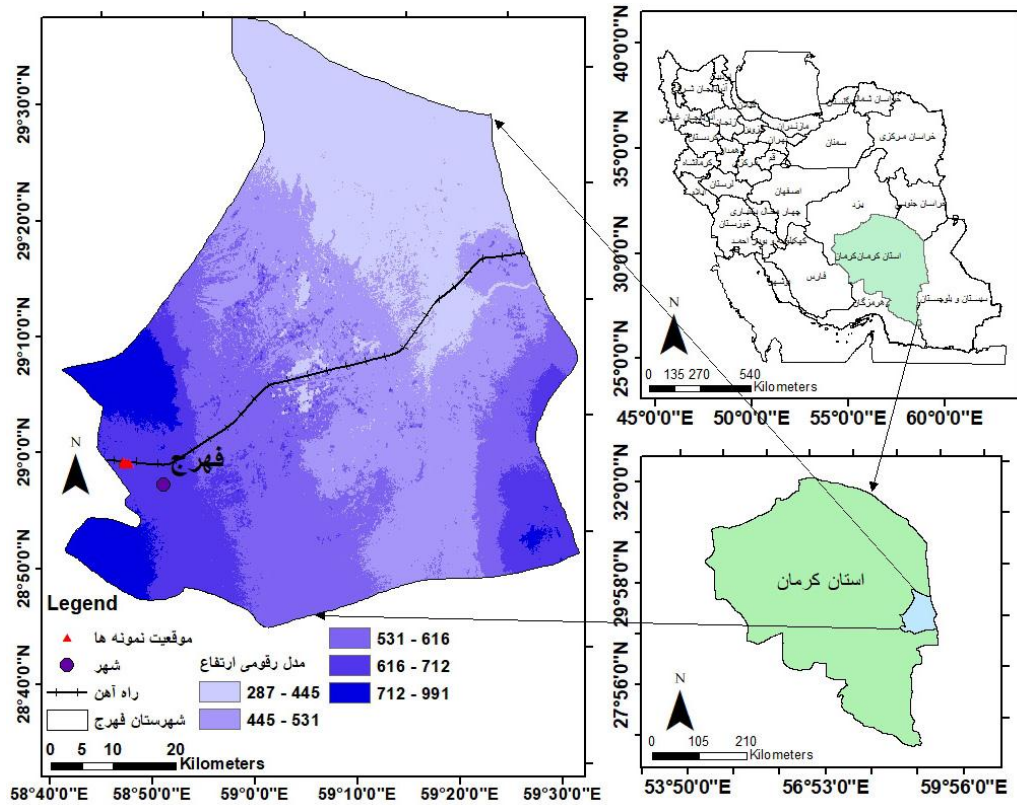
موقعیت جغرافیایی و خصوصیات طبیعی منطقه

محدوده مورد مطالعه در استان کرمان و در شهرستان فهرج (بخش مرکزی) در عرض جغرافیایی ۲۸/۷۲۲ تا ۲۹/۶۰۵ درجه عرض شمالی و طول جغرافیایی ۵۸/۷۲۸ تا ۵۹/۵۵۹ درجه طول شرقی قرار گرفته است. شهرستان فهرج با وسعت حدود ۴۵۵۸ کیلومتر مربع معادل ۲/۴۸ درصد مساحت استان را به خود اختصاص داده است این شهرستان از شمال به شهرستان کرمان و از شرق به استان سیستان و بلوچستان و از جنوب به شهرستان ریگان و از غرب به شهرستان بم منتهی می گردد. این شهرستان دارای ۱ مرکز شهری، ۲ بخش، ۴ دهستان، ۱۳۶ آبادی دارای سکنه است (شکل ۱). با توجه به نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ جهان آباد و الله آباد، منطقه مورد مطالعه از نظر زمین شناسی در پهنه ساختاری رسوبی بلوک صحرائی و نیمه پایدار لوت و در شمال فرونشست جازمورین قرار دارد. این منطقه در دامنه های شمال خاوری رشته کوه جبال بارز و از سنگهای نئوژن و کواترنری پوشانیده شده است. گدازه-های خاکستری رنگ تراکیتی در محدوده مورد مطالعه فراوان است. در قسمت شمال شرقی شهرستان فهرج داسیت، ایگنیمبریت، ریوداسیت، تراکی آندزیت، شیشه آتشفشانی و سنگهای آذرآواری اسیدی رخنمون دارند. جریانهای آندزیتی قدیمی و لاهای داسیتی و آندزیتی، توف و خاکسترهای داسیتی و آندزیتی در محدوده مورد مطالعه دیده می شود. سنگهای آتشفشانی متمورفیک دوره ائوسن به صورت پراکنده رخنمون دارند. سیلت و رس (غیر نمکی) نهشته شده در آبهای راکد که با صفحات ماسه‌ای پوشیده شده بخش‌هایی از محدوده را پوشانیده است. سنگهای نفوذی کوارتز، مونزونیت و گرانودیوریت، فورس سنگ و سنگ رسی سیلت دار، تناوب ماسه سنگ و شیل خاکستری مایل به سبز با رگه‌های زغالی از دیگر سازندهای منطقه مورد مطالعه هستند. از نظر زمانی، سازندهایی از دوره ائوسن تا عصر حاضر در این شهرستان دیده می شود. وسیعترین سازند تشکیل دهنده سطوح متعلق به سازندهای دوره میوسن است. سازندهای دوره میوسن از مارنهای قرمز، مارنهای گچی، ماسه سنگ و کنگلومرا تشکیل شده است. بعد از سازند میوسن، سازند کواترنری است که به صورت دشت‌سره‌های کم ارتفاع و نهشته‌های سیلابی، تپه‌ها و صفحات ماسه‌ای و صفحات گلی دیده می شود. بخشهایی نیز به صورت پراکنده از سازندهای پلیوسن-کواترنری با ترکیب سیلت‌های مایل به زرد، ماسه و شن با استحکام کم، کنگلومراهای آبرفتی و کنگلومراهای دشت‌سر پوشیده شده است. شهرستان فهرج از تنوع ارتفاعی زیادی برخوردار نیست و از ۲۸۰ متر در شمال شرق تا ۹۹۱ متر در غرب متغیر است. از نظر ژئومورفولوژیکی جنوب شهرستان بر انتهایی‌ترین دشت‌سرهایی قرار دارد که از کوه‌های جنوب لوت شروع شده و به شهرستان فهرج می‌رسند. فرسایش بادی، فرایند غالب تابستان در بخش شرقی و فرسایش آبی، فرایند غالب زمستان در بخش غربی است. جابه‌جایی ماسه‌ها و هجوم ماسه‌های روان به مشکلی دائمی برای مردم شهرستان تبدیل شده است.

داده ها و روش تحقیق

با توجه به موضوع بحث در این پژوهش، روش انجام تحقیق حاضر یک روش ترکیبی است که مبانی نظری به روش کتابخانه‌ای گردآوری و آنالیز نمونه‌ها به صورت آزمایشگاهی انجام شد. نمونه‌گیری از رسوبات و اندازه‌گیری‌ها با مطالعات میدانی صورت گرفته است. نمونه‌های رسوب برداشت شده از ۵ کلوتک منطقه فهرج در ظروف مخصوص آماده و شماره‌گذاری شدند و سپس جهت انجام آزمایشات لازم به شرکت کانساران بینالود مشهد ارسال گردیدند که نتایج آنها بصورت جداول و نمودارها آماده شد. مورفومتری کلوتک‌ها نیز با ابزارهای لازم و مراجعه به منطقه برداشت شد. بنابراین به صورت کلی هدف این پژوهش، تحلیل ژئومورفولوژیکی و شناسایی فرآیندهای بوجود آورنده کلوتک-های منطقه فهرج می‌باشد.

جهت بررسی ویژگی‌های مورفومتری کلوته‌ها، پنج کلوته بطور تصادفی انتخاب شد. موقعیت جغرافیایی، ارتفاع از سطح دریا، حداقل و حداکثر و متوسط ارتفاع، طول، محیط، جهت انحراف کشیدگی از سمت شمال و شیب آنها اندازه گیری گردید. جهت آنالیزهای ژئوشیمیایی نیز پنج نمونه رسوب به صورت تصادفی و پراکنده برداشت شده است. نمونه های برداشت شده جهت انجام آزمایشات به آزمایشگاه ارسال و مورد بررسی و تجزیه و تحلیل ژئوشیمیایی XRF و XRD قرار گرفت.



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

Figure 1: Geographical location of the study area

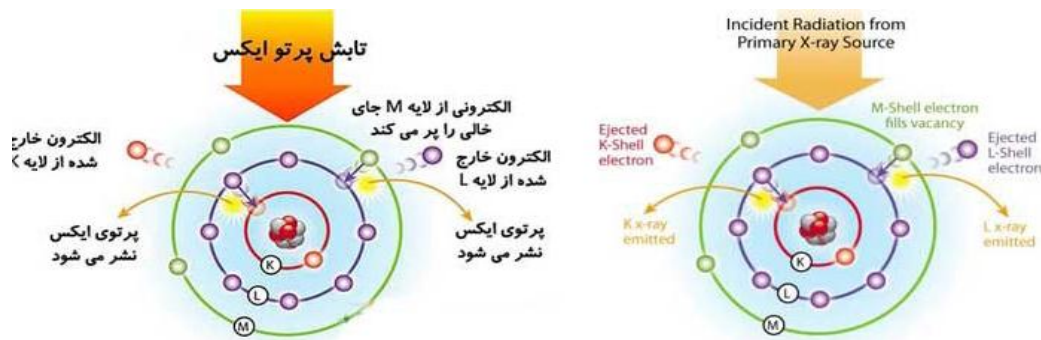
روش پراش پرتو ایکس از آن جهت که روش مستقیمی برای تعیین نوع فازها و ساختار بلورین مواد است، بسیار اهمیت دارد. پراش اشعه ایکس یک روش غیر مخرب با چند کاربرد است و اطلاعات جامعی درباره ترکیبات شیمیایی و ساختار کریستالین مواد طبیعی و صنعتی ارائه می‌دهد. هر کریستالی طرح اشعه ایکس منحصر به فرد خود را دارد که به عنوان اثر انگشت^۱ برای تعیین هویت^۲ آن استفاده می‌شود. گسترده‌ترین استفاده پراش پرتو ایکس در شناسایی ترکیبات کریستالین بر اساس طرح پراش آن‌ها است (شکل ۲).

برای اندازه‌گیری مقدار عناصر از روش فلورسانس پرتو ایکس^۳ استفاده شده است. مزیت استفاده از روش فلورسانس اشعه ایکس نسبت به روش‌های شیمیایی سرعت بالا و هزینه پایین و دقت قابل قبول است. در این روش طول موج و شدت امواج فلورسانس ساطع شده از اتم‌های مختلف در نمونه که نتیجه آن شناسایی نوع و میزان عناصر ماده می‌باشد اندازه گیری می‌شود.

¹ - Fingerprint

² - Identification

³ -X-ray



شکل ۲: پرتو سنجی اشعه ایکس (Saeedi, 2014)

Figure 2: X-ray radiometry

بحث و یافته ها

تشکیل یاردانگها

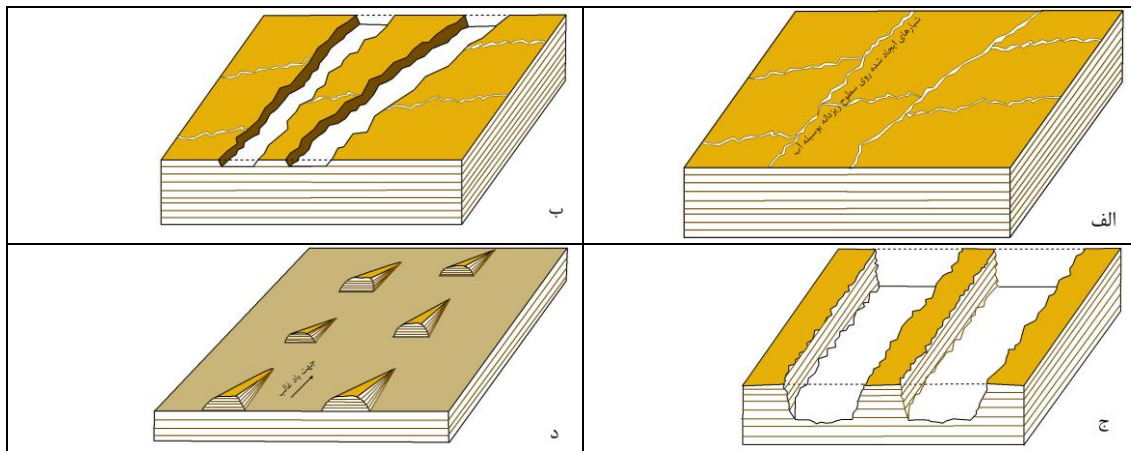
با توجه به مدل رقومی ارتفاع و مطالعه میدانی کلوتهای تشکیل شده در منطقه مورد مطالعه دارای ارتفاعی از ۶۸۳ تا ۷۰۰ متر از سطح دریا و دارای ارتفاع از سطح قاعده بین ۱ متر تا ۵ متر دارند (جدول ۱). دامنه ارتفاعی کلوتهای از سطح دریا بسیار کم است و این امر نشان دهنده این است که رسوبات در آب راکد دریاچه و یا پلایایی رسوبگذاری شده است. لایههای رسوبی افقی که ساختمان کلوتهای را تشکیل می‌دهند، توسط آب از فرسایش کوه‌های غربی و جنوب غربی بیابان لوت حاصل شده‌اند. این لایه‌ها کاملاً افقی است و هیچگونه دگرشیبی در آنها دیده نمی‌شود. بعد از خشک شدن آب دریاچه، تحت تاثیر فرسایش آبی، قرار گرفته و فرسایش شیاری روی آن ایجاد شده است (شکل ۳ الف). آبهای حاصل از بارش باعث شده کف شیاریها تحت تاثیر فرسایش آبی سست شود و بوسیله فرسایش بادی شیاریها عمیق و وسیعتر شود. علاوه بر این هر چه شیاریها بزرگتر می‌شود، کانالیزه شدن باد افزایش می‌یابد و رسوبات کف شیاریها را فرسایش می‌دهد (شکل ۳ ب). شیاریهای اولیه ایجاد شده روی سطح بستر رسوبات دریاچه‌ایی خشک شده، کاملاً وسعت پیدا می‌کند و برجستگی‌های خطی و کشیده‌ای با طول چندین کیلومتر ایجاد می‌شود. نوک رو به باد آنها دارای شیب تند و سمت پشت به باد شیب ملایمتری پیدا می‌کند. آرایش خطی ممتد برجستگی‌ها در مناطقی که شیاریها نازک شده‌اند قطع می‌شود و پشته‌های طولی منقطع بوجود می‌آید. در نقشه‌های توپوگرافی، بسیار شبیه به رشته‌های چین خورده به نظر می‌رسند. در این مرحله کلوتهای شکل گرفته‌اند (شکل ۳ ج). فرسایش بادی و آبی به عمل خود ادامه می‌دهد و کلوتهای را کوچک و کوچکتر می‌کند و فضای بین آنها وسیع و وسیعتر می‌شود، تا جایی که رشته‌های خطی تبدیل به پشته‌های کوچکی می‌شود که تحت عنوان کلوتهک شناخته می‌شود (شکل ۳ د). کلوتهک‌ها به مرور زمان توسط فرسایش از بین می‌روند.

جدول ۱- ویژگی‌های مورفومتریک ۵ نمونه کلوتهک برداشت شده از منطقه مورد مطالعه

Table 1- Characteristics of the morphometric from 5 samples Kalutak were located from the study area

نمونه ۵	نمونه ۴	نمونه ۳	نمونه ۲	نمونه ۱	نمونه‌ها مورفومتریک
۲۸/۹۷۴۲	۲۸/۹۷۶۹	۲۸/۹۷۷۴	۲۸/۹۷۹۵	۲۸/۹۷۵۱	عرض جغرافیایی

۵۸/۸۲۸۹	۵۸/۸۲۹۵	۵۸/۸۲۳۷	۵۸/۸۲۰۰	۵۸/۸۱۸۸	طول جغرافیایی
۶۶۹	۶۶۶	۶۷۵	۶۸۵	۶۹۲	ارتفاع از سطح دریا به متر
۱/۷۰	۳/۵	۳/۵	۳/۱۰	۱/۹۵	حداقل ارتفاع به متر
۹/۲۵	۶/۴۰	۵/۷۰	۵/۴۵	۶/۱۰	حداکثر ارتفاع به متر
۵/۴۷۵	۴/۹۵	۴/۶	۴/۲۷۵	۱۰/۵۵	ارتفاع متوسط به متر
۲۴/۶۰	۲۸	۸/۲۰	۱۶/۸۰	۲۳/۴۰	طول کلوتهک به متر
۶۱	۵۴	۲۲/۰۵	۳۷/۳۰	۴۹/۶	محیط کلوتهک به متر
۱۵ درجه انحراف به شرق	شمالی- جنوبی	۱۸ درجه انحراف به شرق	شمالی- جنوبی	۱۵ درجه انحراف به شرق	جهت انحراف تپه از شمال
۶۴	۶۴	۹۰	۷۲	۹۰	شیب دامنه شمالی به درجه
۳۱	۴۸	۵۸	۹۰	۲۱	شیب دامنه جنوبی به درجه



شکل ۳: الف) شروع شیارهای روی سطوح رسوبی خشک شده، ب) وسیعتر شدن شیارها بوسیله فرسایش آبی و بادی، ج) بوجود آمدن یاردانگ‌ها و د) تبدیل یاردانگ‌ها به کلوتهک
Figure 3: A) The Start of grooves on the surfaces of dried sediments, B) The widening of the fissures by water and wind erosion, C) Yardang formation and D) Convert yardang to kalutak

برای تشکیل کلوتهک‌ها وزش باد یک جهته مورد نیاز است. با توجه به درجه انحراف سمت کلوتهک‌ها از جهت شمال (جدول ۱)، بادهای غالب منطقه دارای تغییراتی نزدیک به ۲۰ درجه‌ای دارند. بعضی از کلوتهک‌ها دارای دامنه‌های پلکانی هستند که ناشی از اختلاف مقاومت آنها در برابر فرسایش است. لایه‌بندی آنها کاملاً افقی و در لایه‌های با ضخامت کمی دیده می‌شوند. تفاوت زیادی در ضخامت لایه‌ها دیده می‌شود که تغییرات دوره‌های رسوبگذاری را

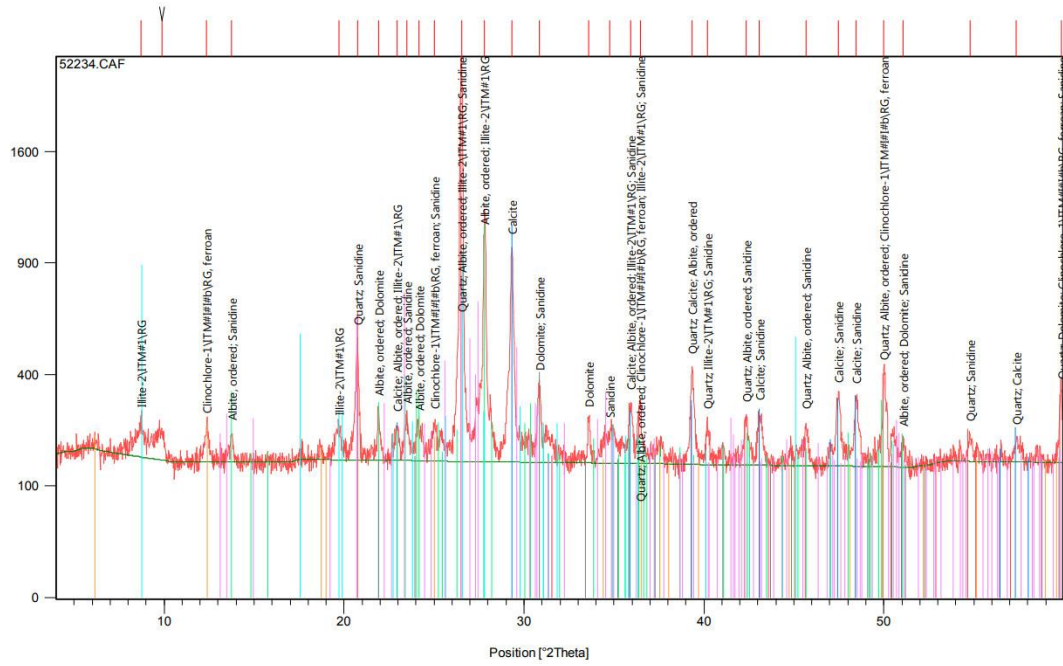
نشان می‌دهد. فرسایش آبی و بادی پایه کلوته‌ها را فرسایش داده و باعث ریزش لایه‌های بالایی می‌گردد. مورفوسکوپی رسوبی نمونه‌های برداشت شده، نشان دهنده این است که بیشتر از ۶۰ درصد رسوبات کلوته‌ها از رس، سیلت تشکیل شده‌اند. مورفوسکوپی رسوبات نشان دهنده این است که نزدیک به نیمی از دانه‌ها دارای گرد-شدگی هستند و جزء رسوبات آبی و نیمی دارای آثار بادی هستند. شیب دامنه‌های رو به باد در کلوته‌ها بیشتر از دامنه‌های پشت به باد است. شیب دامنه‌های رو به باد از ۶۴ تا ۹۰ درجه متغیر است و دامنه‌های پشت به باد دارای شیبی از ۲۱ تا ۹۰ درجه است (Rasolidokht, 2017). عامل اصلی شکل‌گیری کلوته‌های جریان‌های آبی و بادهای غالب، شمال غرب و جنوب شرقی می‌باشد. بررسی توپوگرافی آنها نشان می‌دهد که هم فرآیندهای بادی و هم فرآیندهای آبی در شکل‌گیری آنها دخالت داشته‌اند. به طوریکه آثار فرسایش آبی به صورت فرسایش شیاری و آبراه‌ای در بالای دامنه پشته‌های و آثار فرسایش بادی به صورت بادکندهای در بخش قاعده آنها دیده می‌شود.

نتایج آزمایش XRD

نتایج حاصل از پراش پرتو ایکس در نمونه ۱ نشان می‌دهد که فازهای اصلی شامل، کوارتز، کلسیت، آلبیت و دولومیت است. سه فاز فرعی کلینوکلر، ایلیت و سانیدین در نمونه ۱ دیده می‌شود. نمونه ۵ در فازهای اصلی شبیه نمونه ۱ ولی در فازهای فرعی متفاوت است. در فازهای فرعی هم در نمونه ۱ و هم در نمونه ۵ گروه کانی‌ها یکسان است و کلینوکلر از نمونه ۱ با کلینوکلرفروان در نمونه ۵ در گروه کلریت قرار دارند. الیت در نمونه ۱ و گلوکونیت در نمونه ۵ در گروه میکا و سانیدین در نمونه ۱ و میکروکلین در نمونه ۵ در گروه فلدسپات‌ها هستند. این دو نمونه از نظر فازهای اصلی و فرعی تقریباً یکسان هستند.

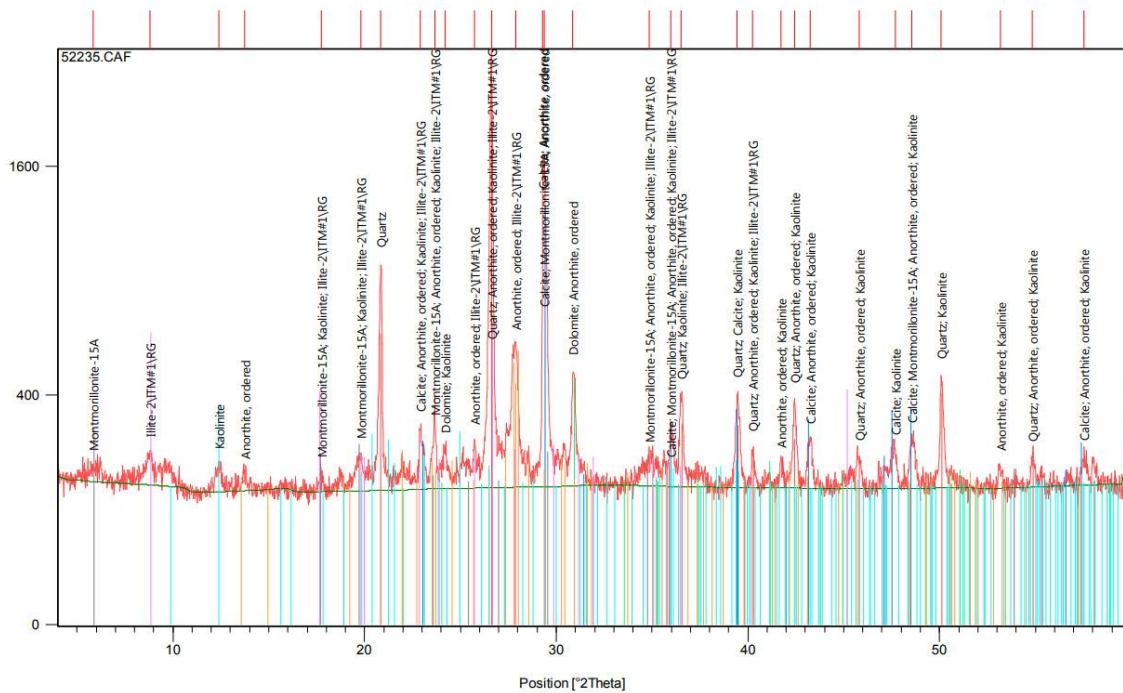
علت یکسان بودن فازهای اصلی این دو نمونه در موقعیت قرارگیری آنها است. فازهای اصلی در نمونه ۲ در کوارتز، کلسیت و دولومیت با نمونه ۱ و ۵ یکسان است و فقط کانی مونت موریلونیت در فازهای اصلی نمونه ۲ دیده می‌شود که در دو نمونه دیگر نیست. این کانی از کانی‌های رسی و از گروه کانی‌های آواری است. کانی‌های مونت موریلونیت از طریق دگرگونی مواد مذاب آتشفشانها یا تجزیه کانی‌هایی مانند ریبولیت، تراکیت، داسیت، بازالت و یا لیپاریت بوجود می‌آید. هوازگی منشاء اصلی اغلب کانی‌های رسی است. اگر سنگهای بازیک هوازده شوند یون‌های منیزیم فراوان آزاد شده و مونت موریلونیت تشکیل می‌شود.

وجود سنگ‌های بازیک در محدوده مورد مطالعه و منابع تامین این کانی کوههای جبال بارز است. نمونه ۳ در فاز اصلی یک تفاوت جزئی با نمونه ۱ و ۵ دارد و آن این است که کانی آلبیت، کلسین در یک فاز اصلی با هم دیده می‌شوند که در گروه فلدسپات‌ها قرار گرفته است. در مورد فلدسپات‌ها یک انحلال جامد کامل بین انواع مختلف فلدسپات‌ها وجود دارد. یونهای پتاسیم و سدیم و کلسیم می‌توانند بجای یکدیگر در شبکه سیلیکات آلومینیم قرار گیرند و تشخیص دقیق نوع مینرال تنها در مطالعات میکروسکوپی در مقطع نازک بر اساس زاویه خاموشی و ماکلها امکان پذیر است (شکل های ۴، ۵، ۶، ۷، ۸ و جداول ۲، ۳، ۴، ۵، ۶).



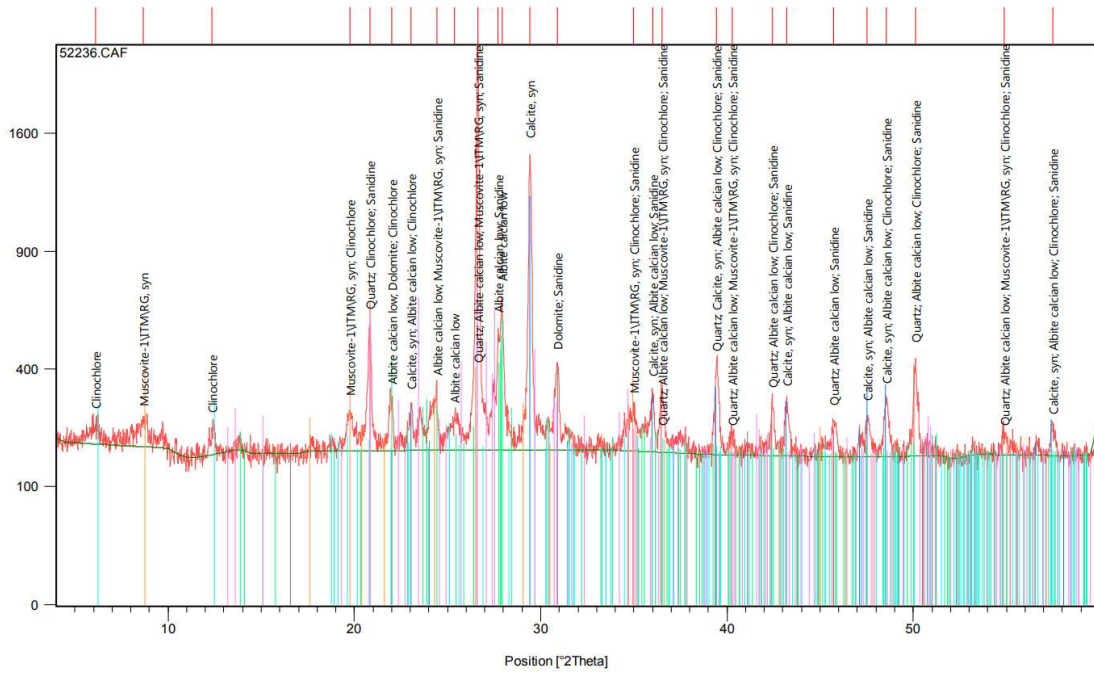
شکل ۴: نمودار طیف xrd کلوته نمونه ۱

Figure 4: XRD spectrum diagram of kalutak sample 1



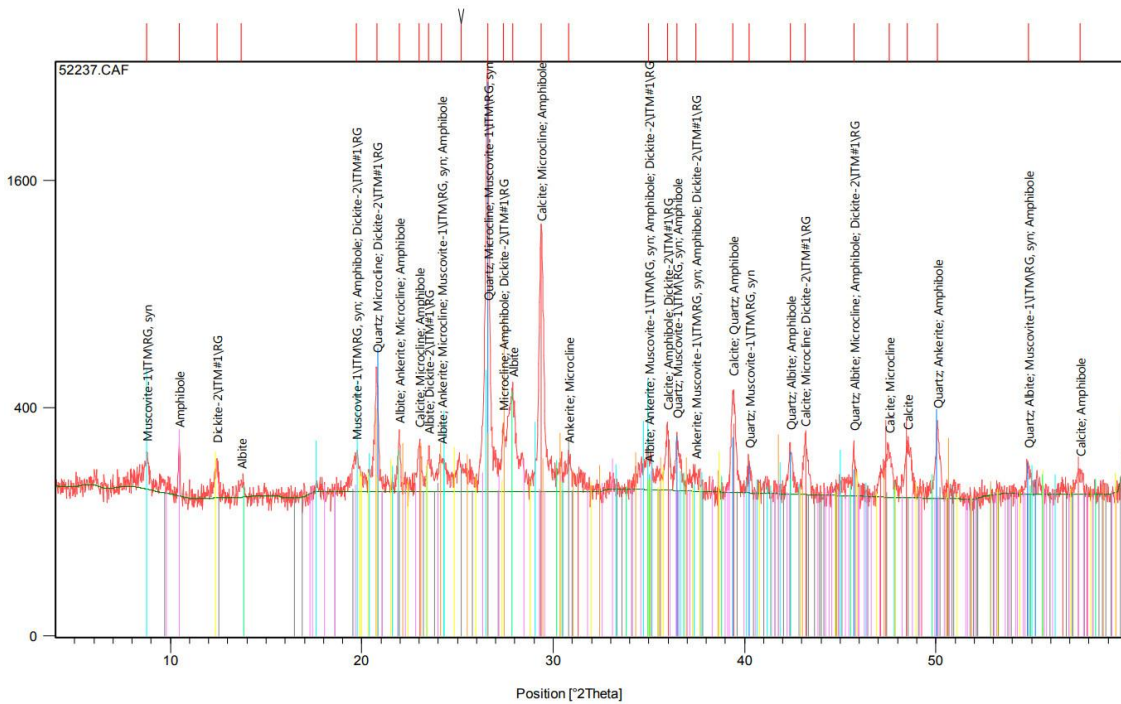
شکل ۵: نمودار طیف xrd کلوته نمونه ۲

Figure 5: XRD spectrum diagram of kalutak sample 2



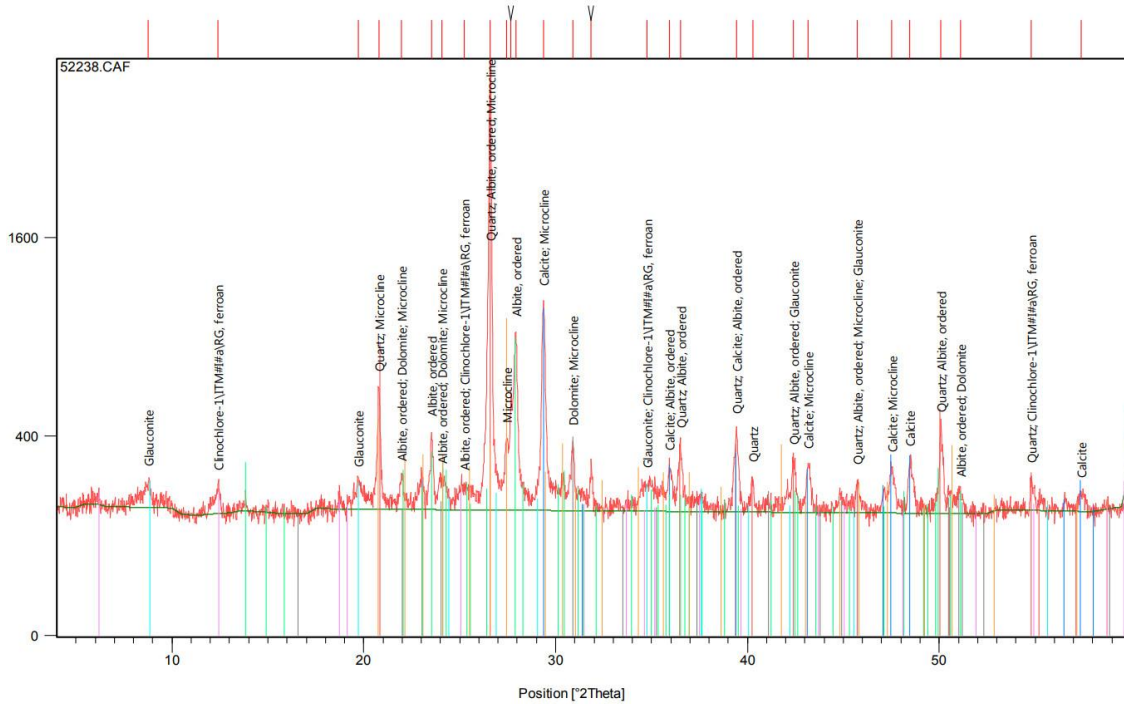
شکل ۶: نمودار طیف xrd کلوتک نمونه ۳

Figure 6: XRD spectrum diagram of kalutak sample 3



شکل ۷: نمودار طیف xrd کلوتک نمونه ۴

Figure 7: XRD spectrum diagram of kalutak sample 4



شکل ۸: نمودار طیف xrd کلوتهک نمونه ۵

Figure 8: XRD spectrum diagram of kalutak sample 5

جدول ۲ - نتایج حاصل از آزمایش XRD در کلوتهک نمونه ۱

Table 2- The results of XRD test in Kalutak sample 1

گروه	فرمول شیمیایی	نام کانی	
کوارتز	SiO ₂	کوارتز ^۱	فاز اصلی
کلسیت	CaCO ₃	کلسیت ^۲	
فلدسپات	NaAlSi ₃ O ₈	آلبیت ^۳	
کلسیت	CaMg(CO ₃) ₂	دولومیت ^۴	
کلریت	(Mg, Al) ₆ (Si, Al) ₄ O ₁₀ (OH) ₈	کلینوکلر ^۵	فاز فرعی
میکا	(K, H ₃ O) Al ₂ Si ₃ AlO ₁₀ (OH) ₂	الیت ^۶	
فلدسپات	K (Si ₃ Al)O ₈	سانیدین ^۷	

- 1 - Quartz
- 2 - Calcite
- 3 - Albite
- 4 - Dolomite
- 5 - Clinocllore
- 6 - Illite
- 7 - Sanidine

جدول ۳- نتایج حاصل از آزمایش XRD در کلوتک نمونه ۲

Table 3- The results of XRD test in Kalutak sample 2

گروه	فرمول شیمیایی	نام کانی	
کوارتز	SiO ₂	کوارتز	فاز اصلی
کلسیت	CaCO ₃	کلسیت	
کلسیت	CaMg(CO ₃) ₂	دولومیت	
اسمکتیت	Ca _{0.2} (Al, Mg) ₂ Si ₄ O ₁₀ (OH) ₂ · 4H ₂ O	مونت موریلونیت ^۱	فاز فرعی
فلدسپات	CaAl ₂ Si ₂ O ₈	آنارتیت ^۲	
کائولینت-سرپانتین	Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄	کائولینیت ^۳	
میکا	(K, H ₃ O) Al ₂ Si ₃ AlO ₁₀ (OH) ₂	الیت	

جدول ۴- نتایج حاصل از آزمایش XRD در کلوتک نمونه ۳

Table 4- The results of XRD test in Kalutak sample 3

گروه	فرمول شیمیایی	نام کانی	
کوارتز	SiO ₂	کوارتز	فاز اصلی
کلسیت	CaCO ₃	کلسیت	
فلدسپات	(Na, Ca) (Al (Si, Al) ₃ O ₈	آلبیت، کلسین ^۴	
کلسیت	CaMg(CO ₃) ₂	دولومیت	فاز فرعی
میکا	KAl ₂ (Si ₃ Al)O ₁₀ (OH) ₂	مسکوویت ^۵	
کلریت	(Mg, Al) ₆ (Si, Al) ₄ O ₁₀ (OH) ₈	کلینوکلر	
فلدسپات	K (Si ₃ Al) O ₈	سانیدین	

¹ - Montmorillonite

² - Anorthite ordered

³ - Kaolinite

⁴ - Albite, calcian

⁵ - Muscovite

جدول ۵- نتایج حاصل از آزمایش XRD در کلوتهک نمونه ۴

Table 5- The results of XRD test in Kalutak sample 4

گروه	فرمول شیمیایی	نام کانی	
کلسیت	CaCO ₃	کلسیت	فاز اصلی
کوارتز	SiO ₂	کوارتز	
فلدسپات	NaAlSi ₃ O ₈	آلبیت	
کلسیت	Ca (Fe, Mg) (CO ₃) ₂	آنکریت ^۱	
فلدسپات	K A l S i 3 O 8	میکروکلین ^۲	فاز فرعی
میکا	KAl ₂ (Si ₃ Al)O ₁₀ (OH) ₂	مسکوویت	
	Al _{3.2} Ca _{3.4} Fe _{4.0} K _{.6} Mg _{6.0} Na _{1.0} Si _{12.8} O ₄₄ (O H) ₄	آمفیبول ^۳	
کائولینیت - سرپانتین	Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄	دیکیت ^۴	

جدول ۶- نتایج حاصل از آزمایش XRD در کلوتهک نمونه ۵

Table 6- The results of XRD test in Kalutak sample 5

گروه	فرمول شیمیایی	نام کانی	
کوارتز	SiO ₂	کوارتز	فاز اصلی
کلسیت	CaCO ₃	کلسیت	
فلدسپات	NaAlSi ₃ O ₈	آلبیت	
کلسیت	CaMg(CO ₃) ₂	دولومیت	
فلدسپات	K A l S i 3 O 8	میکروکلین	فاز فرعی
میکا	(K, Ca, Na) _{0.84} (Al _{4.7} Fe _{0.66} Mg _{0.40}) (Si, Al) ₄ O ₁₀ (OH) ₂	گلوکونیت	
کلریت	(Mg,Fe,Al) ₆ (Si,Al) ₄ O ₁₀ (OH) ₈	کلینوکلور فروآن	

¹ - Ankerite

² - Microcline

³ - Amphibol

⁴ - Dickite

عناصر و ترکیبات مشخص شده از نمونه‌های برداشته شده از کلوته‌های منطقه فهرج-کرمان به روش XRD، از نظر فازهای اصلی، مشابه و تفاوت‌هایی جزئی در فازهای فرعی دیده می‌شود. شرایط رسوبگذاری یکسان و تغذیه رسوب از سنگهای مشابه علت اصلی یکسان بودن ترکیبات نمونه‌های برداشت شده است. جهت مقایسه فازهای اصلی نمونه‌های ۱ تا ۵ در جدول (۷) آورده شده است.

جدول ۷- فازهای اصلی مشخص شده به روش XRD

Table 7- Main phases determined by XRD method

نمونه ۱	نمونه ۲	نمونه ۳	نمونه ۴	نمونه ۵
کوارتز	کوارتز	کوارتز	کلسیت	کوارتز
کلسیت	کلسیت	کلسیت	کوارتز	کلسیت
آلبیت	دولومیت	آلبیت، کلسین	آلبیت	آلبیت
دولومیت	مونت موریلونیت	دولومیت	آنکریت	دولومیت

کانی‌شناسی رسوبات

در آنالیز کلوته‌های فهرج کرمان به روش XRD فازهای اصلی آن کوارتز، کلسیت، آلبیت، دولومیت، آنکریت، مونت مورنیت است که جزئی از سیلیکات‌ها و گروهی از کانی‌ها هستند که در محیط‌های آبی و محیط‌هایی با درجه حرارت پایین تشکیل می‌شوند.

کوارتز SiO_2 : کوارتز و فلدسپات اجزای مهم سنگ‌های رسوبی ریزدانه هستند که انواع و منشأ پیچیده‌ای دارند (Potter et al., 2005; Morad et al., 2000; Schieber et al., 2000; Seewald, 2003; Heydari & Wade, 2002; Khalil et al., 2007; Milliken, 2013; Milliken et al., 2016; Milliken, 2019). منشأ بیشتر سنگهای پوسته زمین سنگهای آذرین هستند که به میزان زیادی کوارتز در آنها وجود دارد. کوارتز یکی از پلی مورف‌های سیلیس است این فاز در منشأ و درجه حرارت معمولی پایدار است به همین دلیل سیلیس آزاد در طبیعت بیشتر به صورت کوارتز یافت می‌شود. کانی کوارتز از سختی بسیار بالایی برخوردار است. کوارتز از فراوان‌ترین ذرات در پوسته زمین است و در همه‌جای کره زمین دیده می‌شود. فراوانی، پایداری مکانیکی و ثبات شیمیایی باعث شده که در همه نمونه‌ها به عنوان فاز اصلی دیده شود. معمولاً کوارتز ۳۵ تا ۵۰ درصد از ذرات آواری سنگهای رسوبی را تشکیل می‌دهد. کوارتز موجود در رسوبات منطقه مورد مطالعه هم از هوازدگی سنگهای آذرین به صورت درجا و هم به صورت انتقالی از هوازدگی ماسه‌سنگ‌های شمال فهرج منشأ می‌گیرد.

کلسیت CaCO_3 : کلسیت به آن کربنات کلسیم می‌گویند. رسوب آهک در قسمت‌های کم عمق دریاها به دلیل اینکه زودتر به درجه اشباع می‌رسند بیشتر وجود دارد سطح فوقانی آب اقیانوس‌ها حداقل اشباع و در مناطق خشک همیشه فوق اشباع هستند. بنابراین رسوب آهک به روش شیمی معدنی اکثراً در دریاها کم عمق اتفاق می‌افتد در این مکانها تقریباً در یک متر مکعب آب دریا ۸۰ گرم کربنات کلسیم وجود دارد. کلسیت در برخی از محیط‌های آب شیرین به صورت بلورهای کامل لوزوجهی کوچک تشکیل می‌شود (Folk, 2008: 184). بسیاری از محققان همچنین به صورت تجربی نشان داده‌اند که در یک سیستم دیازنتیکی بسته در یک محیط اسیدی ضعیف با PH کمتر از ۷، با انحلال مواد معدنی ناپایدار توسط اسیدهای آلی، زمانی که کلسیت یا دولومیت فوق اشباع می‌شود، کلسیت یا دولومیت نیز در سیستم رسوب می‌کند (Bareklay and Worden, 2000; Zhu and Lu, 2000; Yuang et al., 2015) در سنگهای آذرین، دگرگونی و رسوبی کلسیت رایج‌ترین کانی کربناتی است.

آلبیت $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$: در پوسته زمین کانی‌هایی که از تجزیه سنگهای آذرین به وجود می‌آیند به وفور دیده می‌شود. در حقیقت فراوان‌ترین عناصر تشکیل دهنده پوسته زمین سنگهای آذرین هستند و روی هم رفته ۹۹ درصد تمام عناصر را تشکیل می‌دهند. منشاء آلبیت از سنگ‌های اسیدی جنوب و غرب منطقه مورد مطالعه و از دایک‌های پگمایتی است.

دولومیت $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$: دولومیت یکی از سنگ‌های کربناتی است که از رسوبات عادی دریایی بشمار می‌رود. برای مثال در بیشتر نقاط جهان در تریاس دولومیت‌ها نمود بارزی دارند. بخش اعظم دولومیت‌ها در شرایط بیرونی از طریق رسوب از آب دریا در شرایط آب و هوای گرم و خشک و در وضعیتی که آب دریا حاوی نمک فراوان و هوا حاوی مقدار زیادی دی‌اکسیدکربن باشد، بوجود می‌آید. دولومیت‌های دیاژنتیکی در نتیجه جایگزینی کلسیت با دولومیت در جریان دیاژنز تشکیل می‌شوند. دریاچه‌های کم عمق که دارای نوسان سطح آب زیادی باشند، در زمان کاهش سطح آب و افزایش مقدار منیزیم و نفوذ آب حاوی منیزیم به داخل لایه‌های آهکی دولومیت تولید می‌شود. یکی از محیط‌های مناسب برای تشکیل دولومیت، کولاب‌های کم عمق یا سبخاهای تحت تاثیر سیلاب است، جایی که شوری آنها بین شرایط فوق العاده شور و نزدیک به آب شیرین سریعاً در نوسان است. فولک شرایط مطلوب برای تشکیل دولومیت، تبلور آرام و رسوبگذاری از محلول‌های رقیق می‌داند. برای تشکیل دولومیت نسبت بالای منیزیم به کلسیم مطلوب است. در محلول‌های هیپرسالین، دولومیت تحت شرایط نسبت منیزیم به کلسیم بیش از ۵ یا ۱۰ به ۱ به وجود می‌آید (Folk, 2008: 338).

آنکریت $\text{Ca}(\text{Fe, Mg})(\text{CO}_3)_2$: آنکریت در سیستم تری‌گونا، رده رومبوئدریک متبلور می‌شود. اکثراً به صورت بلور دیده می‌شود. از این کانی همراه سیدریت برای استخراج فلز آهن در کارخانه ذوب آهن استفاده می‌شود. با توجه به اینکه کوارتز فراوانترین عنصر پوسته زمین است اولین ترکیب در نمونه‌های کلوته‌ها منطقه فهرج-کرمان کوارتز مشخص گردید. کوارتز و کلسیت در هر ۵ نمونه رسوب برداشت شده وجود دارد. سومین ترکیب موجود در کلوته‌های منطقه مورد مطالعه آلبیت می‌باشد که در همه نمونه‌ها به جز نمونه دوم وجود دارد و به جای آلبیت در نمونه دوم عنصر مونته مورنیت وجود دارد و در نمونه سوم آلبیت همراه با عنصر کلسین می‌باشد. چهارمین عنصر موجود در کلوته‌های منطقه مورد مطالعه عنصر دولومیت می‌باشد که در همه نمونه‌ها به جز نمونه چهارم وجود دارد. در نمونه چهارم به جای دولومیت عنصر آنکریت وجود دارد (جدول ۷).

کوارتز جز کانی‌ها فراوان پوسته زمین که در برابر فرسایش هم مقاوم است وجود آن در هر ۵ نمونه نمی‌تواند دور از انتظار باشد، وجود کلسیت هم بعنوان یک فاز اصلی در هر ۵ نمونه کلوته نشان دهنده وجود آهک می‌باشد که منشا این آهک‌ها در منطقه فهرج آهک‌های لبه لوت (ابارق) است که پهنه لوت آهک‌های فراوان دارد و منشا تبخیری دارند که حوضه‌های بسته، پلایا دشتهای وسیع در گذشته پر از آب بوده که عوامل مختلف تغییرات اقلیمی باعث تبخیر آب این حوضه‌ها و دشتهای شده است. کانی دولومیت که در همه نمونه‌ها به جز کلوته نمونه ۴ جز فازهای اصلی محسوب می‌شود و منشا آن همان کلسیت است که به مرور زمان بر اثر میزان تغییرات غلظت رسوبی کاتیونها Mg-PH تبدیل به دولومیت می‌شود که منشا اولیه آن همان آهک‌های لبه لوت و عامل تبخیر می‌باشد، وجود کانی آلبیت در همه نمونه کلوته‌ها به جز کلوته نمونه ۲ نشان دهنده وجود بافت سنگ رس-شیلی می‌باشد که منشا آن کوه‌های اطراف فهرج می‌باشد. بنابراین منشا کلوته‌های منطقه فهرج ماسه سنگها تبخیری و ماسه سنگها آهکی باشد. شکل (۹) کلوته‌های نمونه برداری شده در محدوده شهرستان فهرج را نشان می‌دهد.



شکل ۹: کلوتک‌های بررسی شده در منطقه مورد مطالعه
Figure 9: The investigated kalutak in the study area

نتایج آزمایش XRF

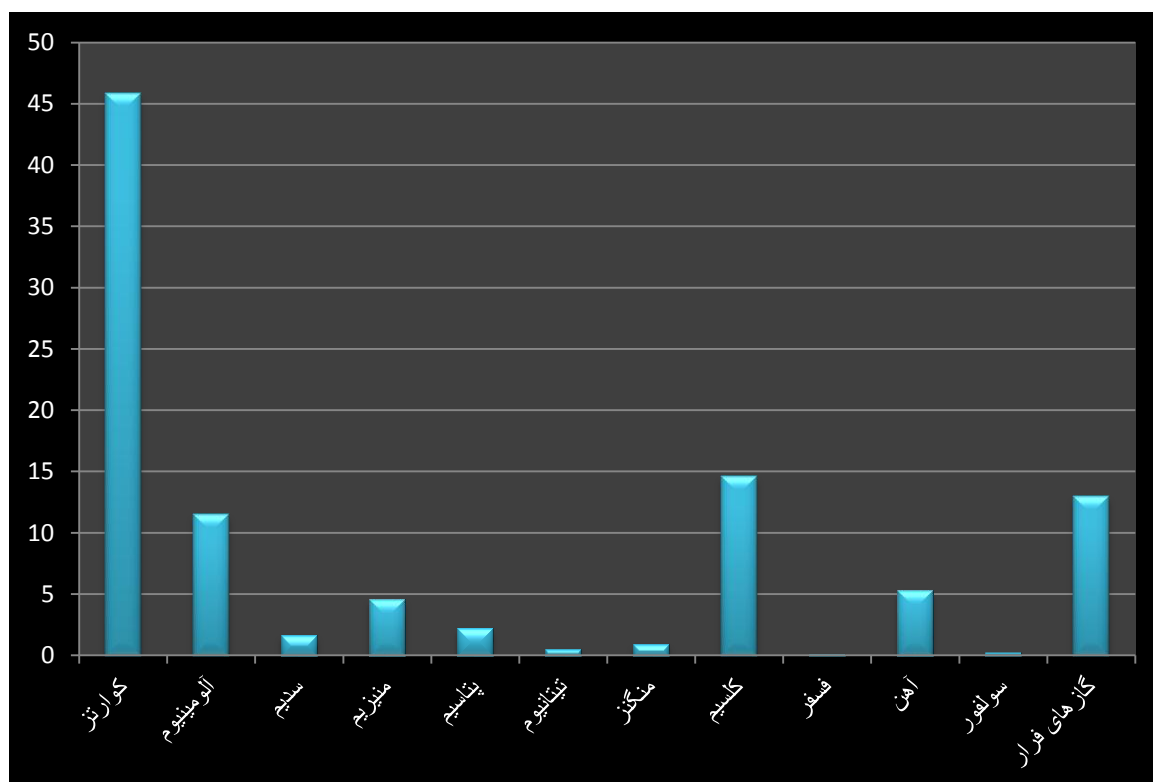
پنج نمونه رسوب برداشت شده از کلوتک‌ها به روش فلورسانس پرتو ایکس تجزیه گردید همه این ۵ نمونه رسوب به صورت جداگانه و تک به تک مورد بررسی قرار گرفت و نتایج حاصل شده در جدول (۸) آورده شده است که هدف تحلیل عناصر اصلی و فرعی ۵ نمونه کلوت منطقه فهرج- کرمان می باشد تا رابطه بین این عناصر و چگونگی تشکیل آنها در منطقه مطالعاتی مذکور مورد بررسی قرار گیرد. عناصر دی اکسید سیلیسیوم یا کوارتز، اکسید آلومینیوم، دی اکسید سدیم، اکسید منیزیم یا پریکلاز، دی اکسید پتاسیم، دی اکسید تیتانیوم، اکسید منگنز یا منگزیت، اکسید کلسیم، دی اکسید فسفر، هماتیت، تری اکسید سولفور، گازهای فرار در این ۵ نمونه رسوب دیده می‌شود. مقدار دی اکسید سیلیسیوم در همه نمونه‌ها بیشتر از ۴۴ درصد است و میانگین هر ۵ نمونه ۴۵.۸۲ درصد است که مقدار آن بیشتر از منطقه جنوب غرب (۳۸ درصد) و کمتر از منطقه جنوب شرق (۴۷ درصد) است (Zarasvandi et al., ۲۰۱۸).

(2011; Rashki et al., 2013). اکسید کلسیم در بین عناصر دومین رتبه را دارا است. مقدار درصد آن در هر ۵ نمونه رسوب بیشتر از ۱۳ درصد و دارای میانگین ۱۴.۵ درصد است. گازهای فرار در مرتبه سوم، اکسید آلومینیم در رتبه چهارم و اکسید آهن در رتبه پنجم قرار دارد. درصد اکسید منیزیم، دی اکسید پتاسیم، دی اکسید تیتانیوم و دی اکسید فسفر دارای مقادیر ناچیز و اکسید منگنز در آخرین رتبه و کمترین درصد را به خود اختصاص داده است. این عنصر دارای منشاء آتشفشان - رسوبی دارد. شست و شو در رسوبات باعث شده که کمترین درصد را در بین عناصر به خود اختصاص دهد. این در حالی است کوارتز با منشاء آذرین درونی، خروجی و رسوبی مخصوصاً در جنوب و غرب محدوده مورد مطالعه (کوههای شهسواران و جبال بارز) بیشترین درصد را دارا می باشد. کوارتز با درجه سختی بالا و پایداری زیاد در برابر هوازدگی فیزیکی و شیمیایی درصد قابل توجهی را در رسوبات رسی به خود اختصاص می دهد. کربنات کلسیم و کربنات منیزیم ترکیبات اصلی سنگهای رسوبی کربناته هستند. مهمترین کربناتهای بی آب به سه گروه ساختاری تعلق دارند: گروه کلسیت، گروه آراگونیت و گروه دولومیت. کانیهای کوارتز، کلسیت و فلدسپات، سه کانی اصلی تشکیل دهنده رسوبات کلوتهک ها هستند. تفاوتی بین نمونه های مختلف رسوب برداشت شده دیده نمی شود. کانی مونت موریلونیت در نمونه ۲ ناشی از هوازدگی و واپاشی سنگهای مافیک که در جنوب کلوتهک ها وجود دارد ناشی می شود. هوازدگی فلدسپات ها می تواند منشاء وجود کائولینت در فاز فرئی نمونه ۲ باشد. جدول (۸) درصد ترکیبات کانی های موجود در نمونه های آنالیز شده به روش فلورسانس پرتو ایکس و شکل (۱۰) درصد مجموع کانی های پنج نمونه را نشان می دهد.

جدول ۸- نتایج حاصل از آزمایش XRF (به درصد)

Table 8- XRF test results (in percent)

عناصر	نمونه ۱	نمونه ۲	نمونه ۳	نمونه ۴	نمونه ۵
SiO ₂	۴۴/۸۳	۴۵/۴۱	۴۶/۴۹	۴۵/۱۰	۴۷/۳۰
Al ₂ O ₃	۱۱/۳۴	۱۱/۰۸	۱۲/۳۶	۱۱/۶۳	۱۱/۰۱
Na ₂ O	۱/۶۴	۱/۴۶	۱/۹۵	۱/۳۸	۱/۷۵
MgO	۴/۷۳	۴/۵۷	۴/۴۵	۴/۵۲	۴/۵۴
K ₂ O	۲/۱۵	۲/۱۴	۲/۳۸	۲/۲۶	۲/۱۴
TiO ₂	۰/۵۲	۰/۵۴	۰/۵۲	۰/۵۱	۰/۵۵
MnO	۰/۱۰	۰/۰۹	۰/۱۰	۰/۰۹	۰/۰۸
CaO	۱۴/۷۴	۱۵/۵۶	۱۳/۸۲	۱۵/۱۱	۱۳/۷۶
P ₂ O ₅	۰/۱۳	۰/۱۳	۰/۱۱	۰/۱۲	۰/۱۲
Fe ₂ O ₃	۵/۱۸	۵/۱۷	۵/۷۹	۵/۰۸	۵/۳۲
SO ₃	۰/۴۲	۰/۰۳	۰/۳۹	۰/۰۴	۰/۱۷
LOI	۱۳/۴۹	۱۳/۴۷	۱۱/۱۵	۱۳/۸۶	۱۲/۸۱



شکل ۱۰: میانگین درصد کانی‌های حاصل از نتایج آزمایش XRF در پنج نمونه کلوتک

Figur 10: Percentage average of minerals obtained from the XRF test results in five kalutak samples

نتیجه گیری

آنچه که در این تحقیق مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته است، نقش جنس رسوبات رسوب گذاری شده در منطقه در ایجاد کلوت‌های منطقه است. در مطالعه ژئومورفولوژی کلوت‌های فهرج به این نتیجه می‌رسیم که کلوت‌های فهرج هر چند که در حال حاضر تحت تاثیر فرسایش بادی می‌باشد ولی بررسی‌های فیزیوگرافی - ژئومورفولوژی نشان داده که هم فرآیند فرسایش آبی و هم فرسایش بادی در شکل‌گیری آنها دخالت داشته‌اند. مطالعات ژئومورفولوژی انجام شده بر اساس بازدیدهای میدانی نشان داد که دو لندفرم کاملاً مجزا در مناطق کلوتک-ها وجود دارند. یکی پشته‌ها و دیگری راهروها، چهره پشته‌ها عمدتاً تحت تاثیر دو نوع فرسایش آبی و بادی قرار گرفته‌اند. به طوری که آثار فرسایش آبی به صورت فرسایش شیاری و آبراه‌های دربالای دامنه پشته‌ها و آثار فرسایش بادی به صورت بادکندگی در بخش قاعده آنها دیده می‌شود. نتایج این مطالعه با نتایج مطالعات (Mousavi 2015)، (Dong et al 2012) و (Maghsoudi et al 2016) مطابقت دارد. راهروها به صورت فضاهای خالی بین پشته‌ها قرار گرفته‌اند که سطح آنها را اشکال ریپل مارک (درشت‌دانه و ریزدانه) کفه‌های رسی - سیلتی و تپه-های ماسه‌ای درابعاد گوناگون پوشش داده‌اند. با توجه به جهت انحراف کلوتک‌ها در مشخصات مورفومتریک نمونه-های برداشت شده مشخص می‌شود که باد غالب منطقه شمال شرقی و شمالی- جنوبی می‌باشد.

طبق نتایج آزمایش xrf کوارتز کانی است که بیشترین مقدار را به خود اختصاص داده است و جز کانی‌ها فراوان پوسته زمین که در برابر فرسایش هم مقاوم است وجود آن در هر ۵ نمونه نمی‌تواند دور از انتظار باشد، طبق نتایج آزمایش xrd و مشخص شدن فازهای اصلی وجود کلسیت هم بعنوان یک فاز اصلی در هر ۵ نمونه کلوت نشان

دهنده وجود آهک می باشد که منشا این آهکها در منطقه فهرج آهکهای لبه لوت (ابارق) است که پهنه لوت آهکهای فراوان دارد و منشا تبخیری دارند. نتایج حاصل از مطالعه (Hamdamju et al (2015) در مورد ترکیب خصوصیات شیمیایی ریزگردهای شهداد با نتایج این مطالعه، مطابقت دارد. حوضه های بسته، پلایای لوت در گذشته پر از آب بوده و عوامل مختلف تغییرات اقلیمی باعث تبخیر آب این پلایا شده است. کانی دولومیت که در همه نمونه ها به جز کلوتک نمونه ۴ جز فازهای اصلی محسوب می شود و منشا آن همان کلسیت است که به مرور زمان بر اثر میزان تغییرات غظلت رسوبی کاتیونها $Mg-PH$ تبدیل به دولومیت می شود که منشا اولیه آن همان آهکهای لبه لوت و عامل تبخیر میباشد، وجود کانی آلبیت در همه نمونه کلوت ها به جز کلوت نمونه ۲ نشان دهنده وجود بافت سنگ رس- شیلی میباشد که منشا آن کوه های اطراف فهرج است بنابراین منشا کلوت های منطقه فهرج ماسه سنگها تبخیری و ماسه سنگها آهکی می باشد.

سپاس گزاری

نویسندگان این پژوهش از کلیه عزیزانی که به هر نحو در مراحل تحقیق همچون برداشت میدانی و انجام آزمایشات همکاری نموده اند، تشکر و قدردانی می نمایند.

References

- Abbasnejad, A., & Zahab Nazori, S. (2012). Identification of forms of wind erosion in the Rafsanjan plain. **Quantitative Geomorphological Research**, 2(1), 127-144 [In Persian].
- Alaei Taleghani, M. (2009). **Geomorphology of Iran**, Ghoomes Publishing company: Tehran, Iran. Pp.360. [In Persian].
- Alavi Panah, S. K. (2003). Study of surface temperature the Lut Desert based upon landsat thermal band and field measurement, **Biaban**, 7(2), 67-79. [In Persian].
- Alavi Panah, S. K. (2004). Investigating the sources and humidity of the earth's surface in Lut Desert using satellite data. **Geographical Research Quarterly**, 36(1), 57-69. [In Persian].
- Al-dousari, A., Al-Elaje, M., Al-Enezi, E., & Al-shareedah, A. (2009). Origin and characteristics of yardangs in the Um Al-Rimam depressions (N Kuwait). **Geomorphology**, 104(3-4), 93-104.
<https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2008.05.010>
- Barclay, S., & Worden, R. (2000). Geochemical modelling of diagenetic reactions in a sub-arkosic sandstone. **Clay Minerals**, 35(1), 57-67.
[doi:10.1180/000985500546729](https://doi.org/10.1180/000985500546729)
- Berberian, M., Jackson, J.A., Fielding, E., Parsons, B.E., Priestley, K., Qorashi, M., Talebian, M., Walker, R., Wright, T. J., & Bake, C. (2001). The 1998 March 14 Fandoqa earthquake (Mw 6.6) in Kerman province, southeast Iran: re- rapture of the 1981 Sirch earthquake fault, triggering of slip on adjacent thrusts and the active tectonics of the Gowk fault zone. **Geophysical Journal International**, 146(2), 371- 398.
- Dong, Z., Lv, p., Lu, J., Qian, G., Zhang, Z., & Luo, W. (2012). Geomorphology and origin of Yardangs in the Kumtagh Desert, Northwest China. **Geomorphology**, 139-140, 145-154. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2011.10.012>
- Ehsani, A. H. (2011). Geomorphology of Lut-Yardangs. **Physical Geography Research Quarterly**, 42(4), 63-77. [In Persian].
- Ehsani, A. H., & Foroutan, M. (2014). An optimized semi- automatic method for geomorphometric classification of Lut Yardangs using artificial neural etwork. **Journal of Range and Watershed Management**, 67(3), 359-380. Doi: 10.22059/jrwm.2014.52826. [In Persian].
- Folk, R. (2008). **Petrology of sedimentary rocks**. Translate by Adabi, M. H., Mirab Shabestari, G. Tehran, Published by Arin Zameen. [In Persian].
- Gabriel, A. (1938). The southern Lut and Iranian Baluchistan. **Geographical Journal**, 92 (3), 193-208.
- Ghodsi, M. (2017). Morphometric characteristics of Yardangs in the Lut Desert, Iran. **Desert**, (22)1, 21-29. doi: 10.22059/jdesert.2017.62251
- Hamdamju, M., Rashki, A., & Jafari, R. (2015). Assessment of chemical characteristics of Airborne Dust over Shahdad Region, Iran by X-Ray Fluorescence (XRF) Analysis. **Journal of Geography and Environmental Hazards**, 4(2), 1-20. doi: 10.22067/geo.v4i2.39488. [In Persian].

- Heydari, E., & Wade, W.J. (2002). Massive recrystallization of low-Mg calcite at high temperatures in hydrocarbon source rocks: Implications for organic acids as factors in diagenesis. **AAPG Bulletin**, 86(7), 1285–1303. <https://doi.org/10.1306/61EEDC7E-173E-11D7-8645000102C1865D>
- Khalil, K., Rabouille, C., Gallinari, M., Soetaert, K., DeMaster, D. J., & Ragueneau, O. (2007). Constraining biogenic silica dissolution in marine sediments: A comparison between diagenetic models and experimental dissolution rates. **Marine Chemistry**, 106(1–2), 223–238. <https://doi.org/10.1016/j.marchem.2006.12.004>
- Komaki, Ch. B., & Alavi Panah, S. K. (2005). Studying the spectral seperability of information classes of Lut Desert using satellite data. **Geographical Research Quarterly**, 54, 13-28. [In Persian].
- Krinsley, D.B. (1970). **A geomorphological and paleoclimatological study of the playas of Iran Pt 1-11**. Cambridge: Air Force Cambridge Research Laboratories.
- Maghsoudi, M., Hajizadeh, A., Nezam mahaleh, M. A., & Bayati Sedaghat, Z. (2016). Investigating the ancient environmental conditions of ovoid Yardangs in Lut Desert using Granulometry. **Scientific- Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR)**, 24(96), 51-64. doi: 10.22131/sepehr.2016.18943. [In Persian].
- Maghsoudi, M., Khanbabaei, Z., Mohammadi, A., Mahboobi, S., & Baharvand, M. (2016). Environmental conditions of Iran pluvial lakes using sedimentary evidence (Case study: Lut Desert kalut). **Physical Geography Research Quarterly**, 48(1), 125-142. Doi: 10.22059/jphgr.2016.57031. [In Persian].
- Mashhadi, N., Alavi Panah, S. K., & Ahmadi, H. (2002). Study of geomorphology Lut Yardangs. **Biaban**, 7(2), 25-43. [In Persian].
- Milliken, K. L. (2013). SEM-based cathodoluminescence imaging for discriminating quartz types in mudrocks. Unconventional Resources Technology Conference, 12-14 August 2013, Denver, Colorado. doi: <https://doi.org/10.1190/urtec2013-238>
- Milliken, K.L. (2019). Compactional and Mass-Balance Constraints Inferred from the Volume of Quartz Cementation in Mudrocks. In *Memoir 120: Mudstone diagenesis: Research perspectives for shale hydrocarbon reservoirs, seals, and source rocks* (pp. 33-48). AAPG. <https://doi.org/10.1306/13672209M121252>
- Milliken, K.L., Ergene, S.M., & Ozkan, A. (2016). Quartz types, authigenic and detrital, in the Upper Cretaceous Eagle ford formation, South Texas, USA. **Sedimentary Geology**. 339, 273-288. <https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2016.03.012>
- Morad, S., Ketzer, J.M., & De Ros, L.F. (2000). Spatial and temporal distribution of diagenetic alterations in siliclastic rocks: Implications for mass transfer in sedimentary basins. **Sedimentology** 49(1), 1-15. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3091.2000.00007.x>
- Mousavi, S.H. (2015). Quantitative analysis of kaluts Geomorphometry in the west of Lut Desert. **Quantitative Geomorphological research**, 4(2), 105-120. [In Persian].
- Potter, P.E., Maynard, J.B., & Depetris, P.J. (2005). *Mud and mudstones: Introduction and overview*. Berlin: Springer Science & Business Media.

- Rashki, A., Eriksson, P. G., Rautenbach, C. J. de. W., Kaskaoutis, D. G., Grote, W., & Dykstra, J. (2013). Assessment of chemical and mineralogical characteristics of airborne dust in the Sistan region, Iran. **Chemosphere**, 90(2), 227-236. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2012.06.059>
- Rasolidokht, F. (2017). Analysis geomorphological Kalutak in Fahraj Kerman province. MSc thesis. Faculty of Geography and Environmental Planning: Sistan and Baluchestan University. [In Persian].
- Saeedi, M. (2014). Geomorphological analysis of mud volcanoes located in the Dashtiari Plain southeastern province of Sistan and Baluchestan. MSc thesis. Faculty of Geography and Environmental Planning: Sistan and Baluchestan University. [In Persian].
- Schieber, J., Kinsley, D., & Riciputi, L. (2000). Diagenetic origin quartz silt in mudstones and implications for silica cycling. **Nature**, 406, 981-985. <https://doi.org/10.1038/35023143>
- Seewald, J.S. (2003). Organic-inorganic interactions in petroleum-producing sedimentary basins. **Nature** 426, 327-333.
- Tricar, J. (1990). **Landforms in arid areas**, Translate by Sedighi, M., Pourkermani, M., Tehran: Published by Astane Ghods. [In Persian].
- Wesley Ward. A. (1979). Yardangs on Mars: Evidence of recent wind erosion. **Journal of Geophysical research**, 84(B14), 8147-8166
- Yuan, G., Cao, Y., Jia, Z., Gluyas, J., Yang, T., Wang, Y., & Xi, K. (2015). Selective dissolution of feldspars in the presence of carbonates: The way to generate secondary pores in buried sandstones by organic CO₂. **Marine and Petroleum Geology**, 60, 105-119. <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2014.11.001>
- Zarasvandi, A., Carranza, E. J. M., Moor, F., & Rastmanesh, F. (2011). Spatio-temporal occurrences and mineralogical-geochemical characteristics of airborne dusts in Khuzestan Province (southwestern Iran). **Journal of Geochemical Exploration**, 111(3), 138-151. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2011.04.004>
- Zhu, C., Lu, P. (2009). Alkali feldspar dissolution and secondary mineral precipitation in batch systems: 3. Saturation states of product minerals and reaction paths. **Geochimica et Cosmochimica Acta**. 73 (11), 3171-3200 <https://doi.org/10.1016/j.gca.2009.03.015>

Geomorphological analysis and mineralogical composition of Kalutak in Fahraj Kerman province

Samad Fotoohi¹, Department of Physical Geography, Faculty of Geography and Environmental Planning, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran
Fotohi@gep.usb.ac.ir

Hossein Negaresh, Department of Physical Geography, Faculty of Geography and Environmental Planning, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran
H_negaresh@gep.usb.ac.ir

Fariba Rasooli dokte, M.Sc. Student, Department of Physical Geography, Faculty of Geography and Environmental Planning, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran
fariba.rasooli2014@gmail.com

Abstract

Kalutaks are one of the geomorphic features of Lut desert that have developed in alluvial deposits of Miocene and Pleistocene. The purpose of this research is to analyze the geomorphologic characteristics of Fahraj Kalutak in Kerman province. Five sediment samples were collected from the area's Kalutaks by random method. The X-ray diffraction (XRD) and X Ray Fluorescence (XRF) methods have been used to analyze the geomorphologic features of the Kalutaks in Kerman province. Investigating the results of XRD indicates the existence of quartz mineral in five sediment samples. Quartz, calcite, albite, dolomite, montmorillonite and ankerite minerals form the main phases of sediments. These minerals are part of silicates that are formed in the water environment with low temperature. X-ray fluorescence results show that on average, silicon dioxide, calcium oxide and aluminum oxide and loss on ignition make up 84.8% of the elements.

Keywords: XRD, XRF, Lut desert, Fahraj, kaloutak

Introduction

Kaloutaks are geomorphic effects of wind erosion distributed in extreme arid and semi-arid regions worldwide. They are mostly distributed in Great Salt and Lut deserts, northwest and southwest of Rafsanjan, western part of Fahraj as well as on the sediments of old delta of Hirmand river in Zabol. Kaloutaks are landforms created by complex processes. This complexity includes the origin, transport process and depositional environment and sedimentation process. There are hills with the height of 1-5 m and length of up to 40 m, known as Kaloutaks, in a relatively wide area in Fahraj, Kerman Province. Kaloutaks are valuable climatic and morphological heritages that are on the verge of complete destruction due to the lack of knowledge of the local residents. On the other hand, the sediments resulting from their erosion provide the necessary materials for sandstorms. Given that Kaloutaks of this region are located in Lut Desert and this desert has been registered in the UNESCO world heritage list, these forms should be studied. The present research aims to perform morphological analysis and examine mineralogical composition of Kaloutaks in Fahraj. The study

¹ - Samad Fotoohi: Corresponding author Email: fotohi@gep.usb.ac.ir

area is located in Fahraj (central part), Kerman. This city leads from the north, east, south and west to Kerman, Sistan and Baluchistan Province, Rigan County and Bam, respectively.

Materials and Methods

A mixed research method was used. Theoretical foundations were collected by the library method and the samples were analyzed in the laboratory. The Kaloutak morphometry was taken by going to the region using the necessary tools. In total, five Kaloutaks were randomly selected to investigate their morphometric characteristics. Geographical location, elevation, minimum, maximum and average height, length, perimeter, direction of elongation deviation from the north side and slope were measured. Also, five sediment samples were randomly collected in a scattered manner to perform geochemical analysis. The collected samples were sent to the laboratory for testing and geochemically analyzed using X-ray powder diffraction (XRD) and X-ray fluorescence (XRF).

Discussion and Results

According to digital elevation model (DEM) and field study, the Kaloutaks formed in the study area were 683-700 m above sea level and 1-5 m above the base level. Kaloutaks had a very small elevation range, indicating the sediments were deposited in the lake or playa stagnant water.

With drying of lake water, it is affected by water erosion, as a result of which furrow erosion is created. The water resulting from the rainfall causes the furrow bottom to become loose under the influence of water erosion and the furrows become deeper and wider due to wind erosion. The initial furrows created on the bed of dried lake sediments expand completely and linear and elongated ridges with the length of several kilometers are created. The continuous linear arrangement of ridges is interrupted in the areas where the furrows are narrowed, and discontinuous longitudinal stacks are formed. Yardangs are formed at this stage. Wind and water erosion continues to make yardangs smaller until the linear strings turn into small stacks, known as Kaloutak.

Depositional morphoscopy of the collected samples showed more than 60% of Kaloutak sediments were composed of clay and silt. The XRD analysis revealed the main phases included quartz, calcite, albite, dolomite, ankerite and montmorillonite, which are a part of silicates and a group of minerals composed in aquatic environments as well as environments with low temperature. In XRF analysis, silicon dioxide or quartz, aluminum oxide, sodium dioxide, magnesium oxide or periclase, potassium dioxide, titanium dioxide, manganese oxide or magnesite, calcium oxide, phosphorus dioxide, hematite, sulfur trioxide and volatile gases were observed in sediment samples.

Conclusion

Geomorphological studies revealed water-wind erosion has caused the formation of Kaloutaks. The XRF results indicated quartz constituted the largest amount and is one of the most abundant minerals

in the earth's crust against erosion. According to the XRD results, the presence of calcite as the main phase in all the five Kaloutak sediment samples indicated the presence of lime, originated from the limestones on the edge of Lut Desert (Abareq) in Fahraj. Dolomite was among the main phases in all the samples, except Kaloutak of sample no. 4, which originated from calcite and turned into dolomite over time due to changes in the sediment concentration of cations. The presence of albite in all Kaloutak samples, except sample no. 2, showed the presence of clay-shale texture, which originated from the mountains around Fahraj. Thus, Kaloutaks in Fahraj originates from evaporite and calcareous sandstones.