

منشأیابی رسوبات کلوتهای دلتای قدیمی رودخانهی هیرمند

حسین نگارش، استاد ژئومورفولوژی-دانشگاه سیستان و بلوچستان

صمد فتوحی*، دانشیار ژئومورفولوژی-دانشگاه سیستان و بلوچستان

الهام خمر، کارشناس ارشد ژئومورفولوژی-دانشگاه سیستان و بلوچستان

چکیده

کلوتهای یکی از اشکال ژئومورفولوژیکی مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان هستند. این عوارض در ایران دارای گسترش و تنوع زیادی بوده که حاصل فرسایش رسوبات رودخانه‌ای و دریاچه‌ای دوران چهارم زمین‌شناسی می‌باشند. بخش وسیعی از گسترش کلوتهای در شرق و جنوب شرق کشور بوده که دارای ویژگی‌های خاص و منحصر به فردی هستند. در این میان، وجود کلوتهای واقع در پلایای هامون سیستان توسعه‌ی چشم‌گیری داشته است. منطقه‌ی مورد مطالعه، قسمتی از کلوتهای این محدوده است. هدف اصلی این پژوهش، بررسی و منشأیابی رسوبات نهشته‌شده‌ی دلتای قدیمی رودخانه‌ی هیرمند بوده که محدوده‌ی اصلی گسترش کلوتهای بوده است. در این رابطه پنج نمونه رسوب، به صورت مشخص از منطقه‌ی مورد مطالعه برداشت شده و با استفاده از روش‌های تجزیه و تحلیل آزمایشگاهی XRD و XRF مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این تحقیق نشان داد رسوباتی چون کوارتز، آلومینیوم، کلسیم و دیگر رسوبات تبخیری، بیشترین درصد تشکیل دهنده‌ی کلوتهای را دارا می‌باشند. همچنین با توجه به عناصر به دست آمده از آزمایش‌های انجام گرفته و بررسی نقشه‌های زمین‌شناسی در ایران و افغانستان می‌توان گفت این رسوبات هم دارای منشأ داخلی و هم دارای منشأ خارجی هستند. سازندهای فرسایش یافته و رسوب گذاری شده‌ی فلیش شرق ایران در منطقه، منشأ داخلی رسوبات را تأیید و وجود کوارتز، آلومینیوم، کلسیت، دولومیت، مسکوویت، آلبیت و سایر کانی‌ها و عناصر دیگر نیز نشان از خارجی بودن منشأ این رسوبات بوده که توسط رودخانه‌ی هیرمند انتقال یافته و در پلایای هامون رسوب گذاری شده است. با توجه به نتایج به دست آمده، رسوبات دلتای قدیمی رودخانه‌ی هیرمند به دلیل خصوصیات خاک‌شناسی و عوامل اقلیمی، بهترین شرایط را برای فرسایش و تشکیل کلوتهای در این منطقه فراهم کرده است.

واژگان کلیدی: کلوتهک، پلایای سیستان، رودخانه‌ی هیرمند، XRF، XRD.

۱- مقدمه

کلوته‌ها یکی از عوارض ژئومورفولوژیکی هستند که وضعیت اقلیمی گذشته‌ی زمین را برای ما روشن می‌سازند. ایران از جمله کشورهایی است که با دارا بودن اقلیم خشک و نیمه‌خشک، دارای بهترین نمونه‌ی کلوته‌ها در دنیاست. این عوارض که بهترین شواهد فرسایش آبی- بادی در جهان هستند، طی هزاران سال شکل گرفته‌(نگارش، ۱۳۹۱: ۱۳۷۸-۲۰۱). از مهم‌ترین پدیده‌های فرسایشی دوران چهارم در ایران و جهان به شمار می‌آیند(احمدی و فیض‌نیا، ۱۳۷۸: ۴۴۱). تشکیل این عوارض به شرایطی مانند سرعت، جهت و فراوانی باد و نیز به خصوصیات سطح زمین و مواد رسوبی موجود بستگی دارد(عباس‌نژاد و ذهاب ناظوری، ۱۳۹۱: ۱۲۷). یکی از نواحی مناسب برای تشکیل یاردانگ‌ها، دق‌ها می‌باشند که از این نواحی می‌توان به دشت لوت، دشت کویر و دشت سیستان اشاره نمود(محمودی، ۱۳۸۷: ۱۲۰-۱۲۲). در پلایای سیستان، محدوده‌ی وسیع دلتای قدیمی رودخانه‌ی هیرمند شرایط مناسبی را برای تشکیل این عوارض ژئومورفولوژیکی فراهم نموده و گسترش چشم‌گیری یافته است. سرعت قابل توجه و جهت یکسان باد غالب و مسلح به ذرات ماسه در بادهای ۱۲۰ روزه‌ی سیستان، به همراه اثر فرسایشی آب در ایجاد شیارهایی در جهت شیب، از عوامل مؤثر ایجاد و گسترش کلوته‌ها در این منطقه بوده است. همچنین وضعیت رسوبی و ترکیب کانی‌شناختی و بافت رسوبات نیز از مهم‌ترین عوامل اصلی ایجاد کلوته‌ها بوده که در تحقیق فوق این ویژگی بررسی شده و منشأ رسوبات مورد تحلیل و بررسی قرار گرفته است. آنچه مسلم است تحلیل رسوبات کلوته‌ها و منشأیابی آن‌ها می‌تواند شرایط گذشته آب و هوایی را شبیه‌سازی کرده و به شناخت ترکیب کانی‌شناسی این عوارض کمک نماید. در زیر می‌توان به برخی مطالعات انجام‌شده اشاره نمود که اهمیت پژوهش را نشان می‌دهد.

الورزا و همکاران (۲۰۰۲)، یاردانگ‌های بخش مرکزی نیمه‌خشک فرورفتگی EBRO در شمال شرقی اسپانیا را بررسی کرده‌اند. نتایج نشان داد که پیدایش یاردانگ‌ها در این منطقه‌ی نیمه‌خشک، مربوط به وجود پلایهاست که تشکیل‌دهنده‌ی منبع ذرات ساینده در طول دوره‌های خشک است(Elorza, et al., 2002: 168). احسانی و کونل (۲۰۰۸) در پژوهشی یاردانگ‌های بیابان لوت با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای بررسی نمودند. آن‌ها با استفاده از تحلیل نقشه‌ها، تغییرات طبیعی سطح زمین را بر اساس شکل و شیب یاردانگ‌ها طبقه‌بندی کرده‌اند و نقش بادهای ۱۲۰ روزه‌ی منطقه را مؤثر دانستند(Ehsani and Quiel, 2008: 3292). الدوساری و همکاران (۲۰۰۹) در مطالعه‌ی منشأ شکل‌گیری یاردانگ‌ها را در فرورفتگی‌های شمال کویت بررسی کرده و با استفاده از مشاهدات میدانی و تفسیر عکس‌های هوایی به این نتیجه رسیده‌اند که بیش‌ترین یاردانگ‌های این منطقه به‌وسیله‌ی فرآیندهای هیدرولوژیکیال توسعه یافته‌اند که توسط عمل باد تغییر یافته است(Al-Dousari, et al., 2009: 103). سبه و همکاران (۲۰۱۱) در تحقیقی به تحلیل فرسایش بادی اروپای مرکزی پرداخته‌اند. آن‌ها به این نتیجه رسیده‌اند که شکل‌گیری یاردانگ‌های این منطقه ناشی از وجود بادهای غالب است که عمدتاً به‌وسیله‌ی اثر فرسایشی سرعت زیاد باد در دالان‌های بادی در سلسله جبال کوهستانی اطراف اروپای مرکزی تشدید شده است(Sebe, et al., 2011: 481). دانگ و همکاران (۲۰۱۲) ژئومورفولوژی یاردانگ‌ها و منشأ آن‌ها را در بیابان kumtagh واقع در شمال غربی چین بررسی کرده و دریافتند که یاردانگ‌ها در این بیابان در رسوبات دوره‌ی هولوسن شکل گرفته‌اند(Dong, et al., 2012: 151). پابلو و همکاران (۲۰۱۵) پراکندگی یاردانگ‌ها و مگا یاردانگ‌ها در منطقه‌ی Titan را مورد بررسی قرار داده‌اند و به این نتیجه رسیده‌اند که این عوارض ژئومورفولوژیکی که باقی‌مانده‌ی رسوبات حوضه‌های دریاچه‌ای قدیمی در عرض جغرافیایی میانی هستند، زمانی شکل گرفته‌اند که آب‌وهوای این منطقه متفاوت بوده است(Paillou, et al., 2015: 220). لی و همکاران (۲۰۱۶) منشأ و ریخت‌شناسی یاردانگ‌های حوضه‌ی رودخانه‌ی Caiden را در شمال غربی چین مورد مطالعه قرار داده‌اند. نتایج نشان می‌دهد که جهت‌گیری یاردانگ‌ها در شمالی‌ترین قسمت منطقه، متناسب با بادهای غالب شمالی- جنوبی بوده که این امر ناشی از موقعیت‌های سلسله جبال کوهستانی است(Li, et al., 2016: 98). هو و یانگ (۲۰۱۶) شواهد ژئومورفولوژیکی و ژئوشیمیایی بیابان Badain Jaran را در چین به‌منظور شناخت ساختار و

تغییرات فرآیندهای فعال در سطح زمین بررسی کردند. آن‌ها با ذکر موقعیت ویژه‌ی این بیابان نمونه‌هایی از رسوبات این منطقه را مورد آزمایش XRD و XRF و همچنین دانه‌سنجی قرار دادند. نتایج نشان داد اکثر رسوبات حاصل فرسایش ارتفاعات اطراف این بیابان بوده و رسوبات لس منشأ خارجی داشته است (Hu and Yang, 2016: 190). دنیل و همکاران (۲۰۱۸) در تحقیقی رسوبات کواترنری دره‌ی می‌سی‌سی‌پی را بررسی و منشأیابی نمودند. آن‌ها برای این کار از روش آنالیز ژئوشیمیایی XRD و XRF استفاده نموده و ماهیت رسوبات این منطقه را تحلیل نمودند و آنالیز ژئوشیمیایی را در این زمینه بسیار مؤثر دانستند (Daniel, et al., 2018, 261). فو و همکاران (۲۰۱۸) به بررسی و منشأیابی رسوبات حوضه‌ی Qaidam واقع در شمال غرب کشور چین اقدام نمودند. آن‌ها ضمن تمرکز بر مطالعه‌ی عوارض ژئومورفولوژیکی همچون کلوتک‌ها در منطقه، نمونه‌هایی از رسوبات منطقه را برداشت نموده و آن‌ها را مورد آزمایش ژئوشیمیایی XRD و XRF قرار دادند. در این آزمایش، رسوبات تبخیری همچون گروه هالیت و کلسیت و نیز عنصر سدیم قابل توجه بوده که نشان از ماندگاری آب در محیطی آرام بوده و نیز وجود لس، نشان از خارجی بودن منشأ این رسوبات مشخص گردید. آن‌ها وجود عوارض ژئومورفولوژیکی همچون کلوتک‌ها در این منطقه را ناشی از فرسایش هیدرو-ئولین دانسته و تشکیل آن را در دوره‌ی کواترنری تبیین نمودند و به نقش عوامل اقلیمی در ایجاد عوارض در میان این رسوبات تأکید کردند (Fu, et al., 2018, 55). دو و همکاران (۲۰۱۸) در پژوهشی شواهد ژئوشیمیایی فلات تبت را بررسی نموده و کانی‌های اصلی آن را مشخص کردند و برخی عناصر را با منشأ داخلی و برخی را نیز با منشأ خارجی دانستند. در پایان، آن‌ها انجام روش‌های ژئوشیمیایی را بسیار دقیق دانسته و در منشأیابی بسیار مفید و مؤثر معرفی نمودند (Du, et al., 2018, 68).

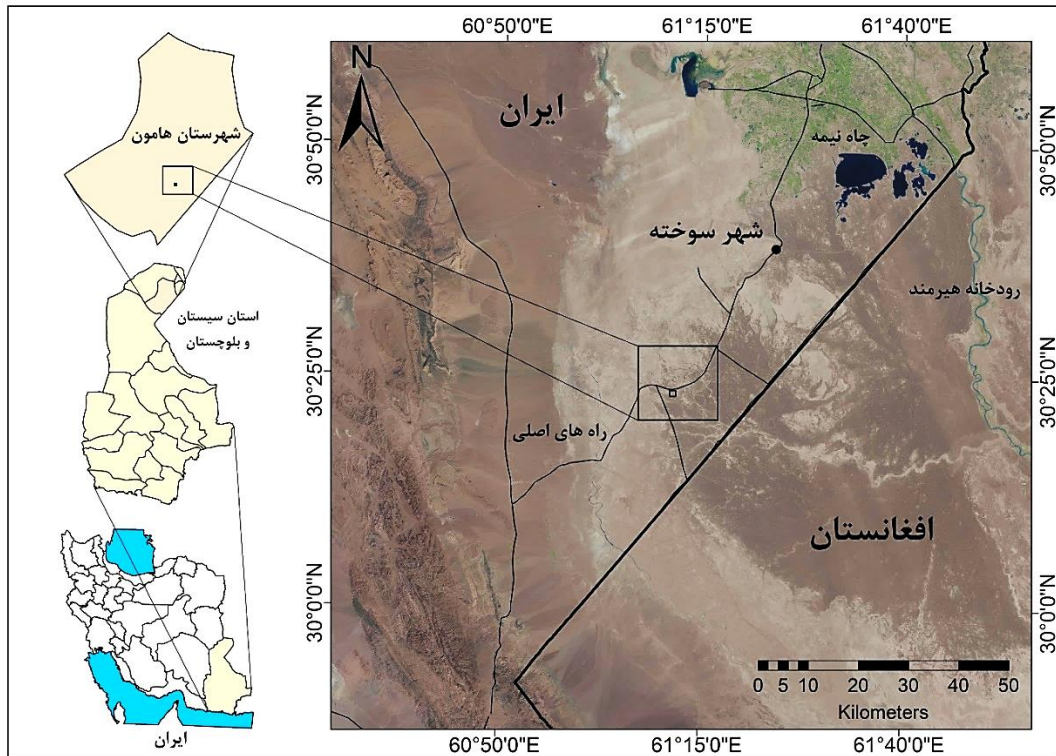
مهرشاهی و نکونام (۱۳۸۸) در مقاله‌ای با عنوان چهره‌های شگفت‌انگیز فرسایش بادی در بیابان‌های ایران، به بررسی کلوتک‌ها منطقه پرداخته‌اند و منشأ تشکیل آن‌ها را مربوط به رسوبات ریزدانه مانند رس و سیلت دانسته که در اثر فرسایش در ذرات سست به وجود آمدند (مهرشاهی و نکونام، ۱۳۸۸: ۶). نگارش و عباس‌نژاد (۲۰۱۰) به شناسایی و تعیین منشأ کلوتک‌های ایران با استفاده از روش‌های تحلیل فیزیکی و شیمیایی اقدام نمودند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که منشأ و ترکیب معدنی یاردانگ‌های ایران که هرکدام صدها کیلومتر از هم فاصله دارند، مشابه یکدیگر می‌باشند که حاصل شرایط یکسان محیط رسوب‌گذاری است (negaresh, and Abasnejad, 2010, 9). غلامی و همکاران (۱۳۹۴) مطالعه‌ی خصوصیات رسوب‌شناسی و شیمیایی رسوبات بادی را در بخشی از منطقه‌ی یزد - اردکان انجام داده‌اند. نتایج کار آن‌ها بر اساس طبقه‌بندی بسلر (۲۰۰۸) نشان داد تپه‌ها در گروه شدیداً شور قرار گرفته‌اند. مقادیر شاخص CIA نیز در همه‌ی نمونه‌ها کم‌تر از ۵۵ محاسبه شد که این امر را حاکی از عدم هوازدهی و یا هوازدهی بسیار ضعیف در منطقه‌ی مورد مطالعه و بیش‌ترین مقدار این شاخص نیز با ۵۰/۷ مربوط به رخساره‌ی کلوتک‌ها مشخص گردید. آن‌ها استفاده از روش فوق را در شناسایی قطعی کانی‌ها و عناصر موجود مهم خواندند (غلامی و همکاران، ۱۳۹۴: ۱۵).

بررسی نتایج پژوهش‌های محققین در گذشته، اهمیت مطالعات و همچنین بررسی و منشأیابی رسوبات را در مناطق مختلف نشان می‌دهد. شناخت این مناطق رسوبی می‌تواند به محققین کمک کند تا ضمن تحلیل گذشته، ژئومورفولوژی و عوامل مؤثر در تکامل آن، روند تغییرات آینده را نیز در یک منطقه شناسایی نمایند؛ بنابراین در این پژوهش با استفاده از شواهد رسوب‌شناسی و آزمایش‌های مربوطه، اقدام به منشأیابی، نحوه تکامل و پیشرفت کلوتک‌های موجود در منطقه‌ی مورد مطالعه با توجه به فرآیندهای مؤثر در آن شناسایی، تحلیل و بررسی گردیده است.

۲- منطقه‌ی مورد مطالعه

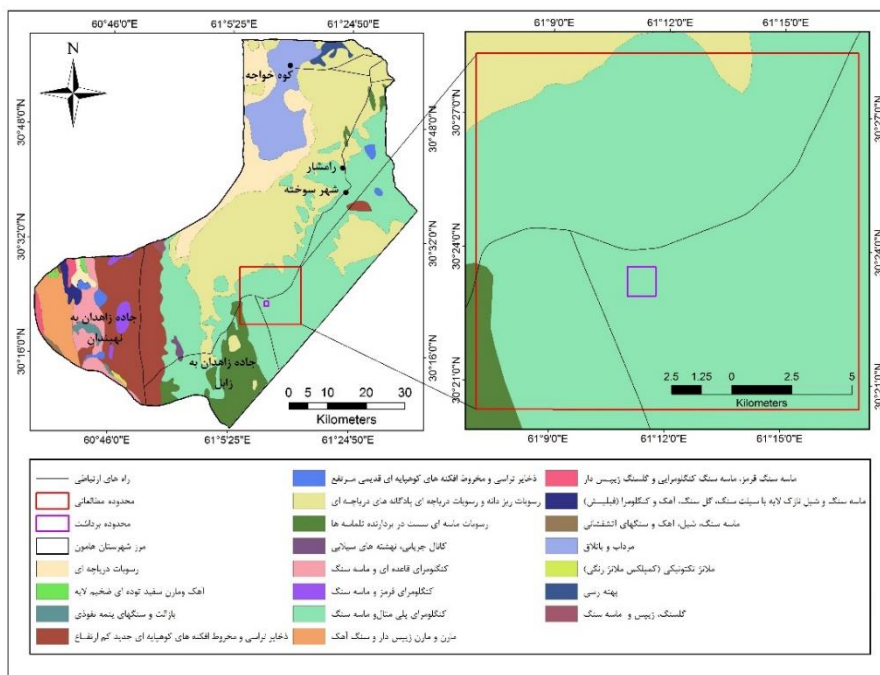
دشت سیستان در شرق ایران و در شمال استان سیستان و بلوچستان در طول جغرافیایی $۶۱^{\circ} ۱۰'$ تا $۶۱^{\circ} ۴۹'$ شرقی و عرض جغرافیایی $۲۹^{\circ} ۵۵'$ تا $۳۱^{\circ} ۲۰'$ شمالی قرار دارد. منطقه‌ی مورد مطالعه در جنوب شرق ایران و در شمال استان سیستان و بلوچستان بوده که در جنوب غربی مرز مشترک ایران و افغانستان واقع است و به دشت

سیستان و چاله‌ی سیستان نیز معروف است (علی‌جانی و رئیس‌پور، ۱۳۹۰: ۱۰۹). منطقه‌ی انتخاب‌شده گسترش کلوک‌ها با مساحت ۲۵۰ کیلومترمربع، بخش کوچکی از مساحت پلایای سیستان را شامل می‌شود که در شهرستان هامون واقع شده است و در محدوده‌ی بین $61^{\circ} 06'$ تا $61^{\circ} 16'$ طول جغرافیایی و $30^{\circ} 20'$ تا $30^{\circ} 28'$ عرض جغرافیایی قرار دارد. این محدوده قسمتی از گسترش وسیع دلتای قدیمی رودخانه‌ی هیرمند را دربر می‌گیرد.

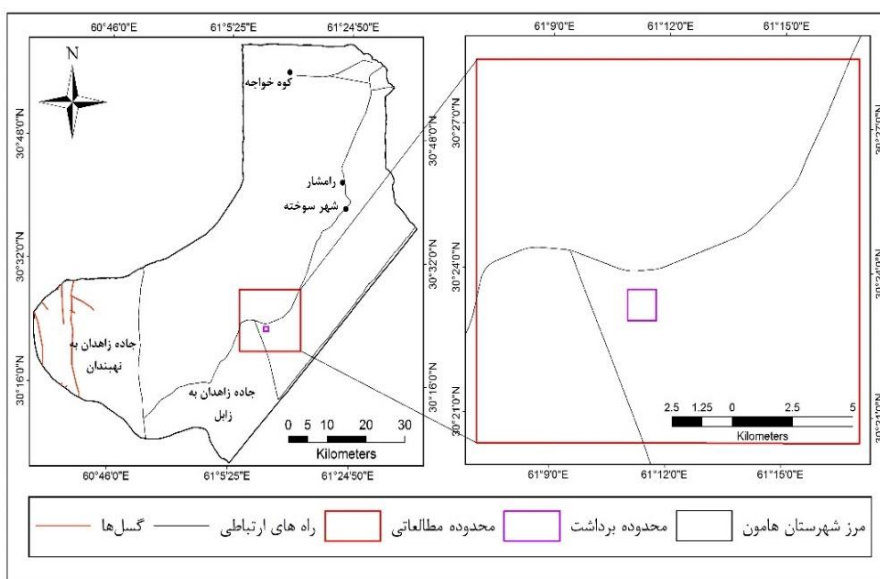


شکل ۱: موقعیت جغرافیایی منطقه‌ی مورد مطالعه

منطقه‌ی مورد مطالعه قسمتی از پلایای سیستان است که دنباله‌ی بلوک هلمند به حساب می‌آید و یک فرورفتگی تکتونیکی محسوب می‌شود که از بقایای دوران سوم زمین‌شناسی بوده و در اثر حرکات زمین‌ساختی به شکل چاله درآمد (پودینه، ۱۳۹۱: ۸۷). این محدوده در آخرین دوران زمین‌شناسی بر اثر حرکات فاز کوهزایی آلپی در اثر انباشته شدن رسوبات و آبرفت‌های حاصل از آب‌های جاری خصوصاً رودخانه‌ی هیرمند پر شده و به شکل امروزی خود درآمد است (جدیدالاسلامی و همکاران، ۱۳۸۹: ۴). بررسی سیمای زمین‌شناسی منطقه نشان از وجود نواحی سخت و محکم در زیر رسوبات دوره‌ی کواترنر دارد (پیری، ۱۳۸۵: ۴۱). وجود این نواحی سخت در زیر رسوبات دشت سیستان موجب شده است که این منطقه همانند بلوک لوت از نظر زمین‌شناسی بسیار پایدارتر از دیگر مناطق کشور باشد و به دلیل نبود گسل، در معرض خطر وقوع زمین‌لرزه شدید قرار نگیرد (پودینه، ۱۳۹۱: ۸۷). به جز یک برون‌زد آتشفشانی به نام کوه‌خواجه، مابقی این دشت با نهشته‌های آبرفتی جوان پوشیده شده است. ویژگی‌های زمین‌شناسی و چینه‌شناسی این منطقه بخشی از حوضه‌ی پادگانی (فلیشی) خاور ایران است که دارای یک پی سنگ اقیانوسی است و از یک لایه‌ی ضخیمی از نهشته‌های فلیش کرتاسه پسین و ژوراسیک - اولیگوسن آغازی پوشیده شده است (رضاییان و فروزان فر، ۱۳۹۱: ۱۵۸) (شکل ۲ و ۳).



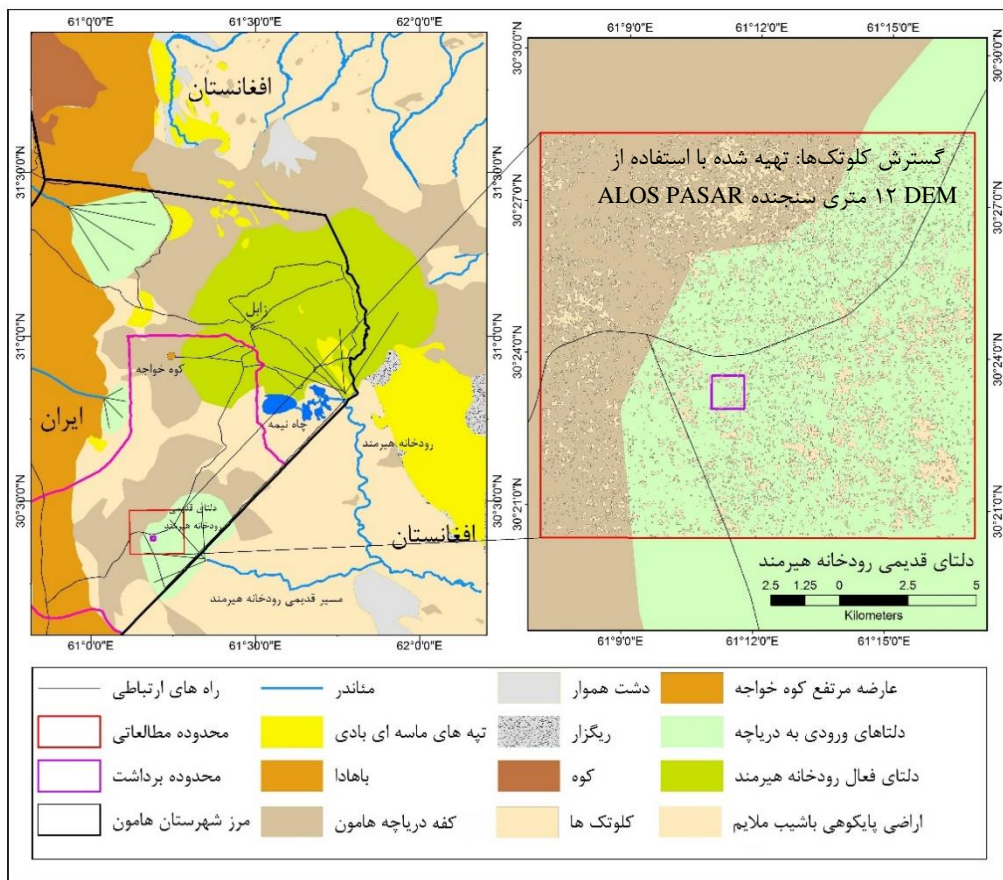
شکل ۲: نقشه‌ی زمین‌شناسی منطقه‌ی مورد مطالعه (ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۶)



شکل ۳: نقشه‌ی گسل‌های منطقه‌ی مورد مطالعه

دشت سیستان همانند بلوک لوت در خلال کوهزایی آلپی به‌عنوان توده سختی عمل نموده (صادقی، ۱۳۹۶: ۷۹) و به همین دلیل عواملی که سیمای توپوگرافی و ژئومورفولوژی یک منطقه را پرعارضه می‌سازد، چندان فعال نبوده است و به جهت رسوب‌گذاری رودخانه‌ی هیرمند و دیگر رودخانه‌ها در سطح این منطقه با سرزمین همواری مواجه می‌شویم که در تمامی وسعت آن اختلاف ارتفاع آن به زحمت از ۱۳۰ متر تجاوز می‌نماید و دارای شیب ملایمی است که جهت عمومی آن از طرف جنوب شرقی به طرف شمال غرب است (پودینه، ۱۳۹۱: ۸۶). این منطقه از نظر ژئومورفولوژی، کمابیش به‌صورت یک دشت هموار است و پدیده‌های طبیعی آن، افزون بر دشت، دریاچه، رودخانه‌ی و دلتا می‌باشند (طاوسی و همکاران، ۱۳۹۱: ۲۱) و علی‌رغم یکنواختی نسبی از منظر ژئومورفولوژی دارای اشکال ناهموار ویژه‌ای

است که از آن جمله می‌توان به فرورفتگی‌ها، چاله‌ها (آبگیر تحت عنوان هامون‌ها) چاه‌نیمه‌ها، ارتفاعات کوه‌خواجه، تپه‌های ماسه‌ای، پشته‌های شنی و تراس‌های دریاچه‌ای اشاره نمود (زمردیان، ۱۳۹۲: ۱۰۴). منطقه‌ی مورد مطالعه واقع در دشت فروافتاده‌ی زابل است (مهندسین مشاور آساران، ۱۳۸۲: ۱۲ و ۱۳) که فروافتادگی آن در حدود ۲۰ متر بوده و توسط دیواره‌ای که آیینی‌گسل است، از واحد دشت مرتفع جدا می‌شود. این واحد محل استقرار شهر زابل و روستاهای وابسته به آن است و اراضی کشاورزی دلتای هیرمند در این بخش واقع می‌باشند؛ زیر واحدهای شناخته‌شده در این واحد شامل اینسلب‌برگ کوه‌خواجه، دلتای هیرمند، دریاچه‌های هامون و پدیده‌های حاصل از باد است. مهم‌ترین رسوبات بادی منطقه در حوالی نیاتک و ملکی میانکنگی، قلعه‌نو و جزینک شناسایی شده است (شکل ۴). رده‌های غالب خاک این منطقه نیز اریدی‌سل و انتی‌سل است (کردوانی، ۱۳۸۷: ۳۲۲-۳۱۹).



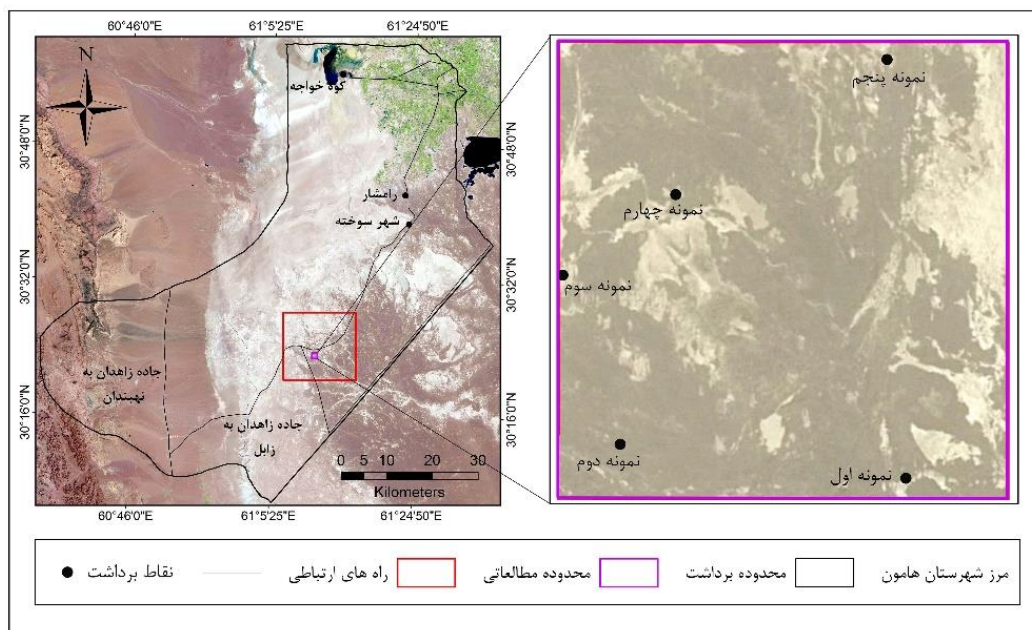
شکل ۴: نقشه‌ی ژئومورفولوژی پلایای هامون و منطقه‌ی مورد مطالعه

منطقه‌ی سیستان، دارای اقلیم ویژه‌ای است که وزش بادهای شدید و شرایط گردوغبار، از دسته ویژگی‌های آن بوده و آن را از قسمت‌های دیگر ایران متمایز می‌کند. بارش‌های کم با تغییرپذیری زیاد و درجه حرارت بالا و تبخیر و تعرق شدید و در نتیجه نیاز آبی بالا سبب شده که این منطقه چهره‌ای بیابانی داشته باشد (خسروی و نظری پور، ۱۳۹۱: ۴۰). تقسیم‌بندی‌هایی که تاکنون به روش‌های مختلف از جمله کوپن، دومارتن و غیره در خصوص وضعیت اقلیمی ایران انجام گرفته؛ به‌گونه‌ای است که منطقه‌ی سیستان در قلمروی اقلیم گرم‌وخشک با تابستان‌های گرم و طولانی قرار می‌گیرد (نوری و همکاران، ۱۳۸۶: ۴۱). همچنین بر اساس طبقه‌بندی آمبرژه دارای اقلیم بیابانی معتدل است (مهندسین مشاور سروآب، ۱۳۸۹). بر اساس آمار ایستگاه‌های ثبت وقایع آب و هوایی در محدوده‌ی مورد مطالعه، میانگین بلندمدت دمای این منطقه ۲۱/۸ درجه سلسیوس و میانگین بارندگی سالیانه آن کم‌تر از ۵۵ میلی است.

همچنین میزان تبخیر سالیانه‌ی آن ۴۷۰۰ و رطوبت آن نیز ۳۶ درصد است (اداره کل هواشناسی استان سیستان و بلوچستان، ۱۳۹۵).

۳- مواد و روش‌ها

روش انجام تحقیق در این پژوهش به صورت کتابخانه‌ای، میدانی و آزمایشگاهی است. به منظور تجزیه و تحلیل و منشأیابی رسوبات کلوک‌ها در دلتای قدیمی رودخانه‌ی هیرمند، پنج نمونه رسوب از کلوک‌های این منطقه به صورت تصادفی و پراکنده توسط نگارندگان این تحقیق برداشت شده است (شکل ۵). نمونه‌های برداشت شده جهت انجام آزمایش‌های به آزمایشگاه مربوطه ارسال شده و مورد بررسی و تجزیه و تحلیل ژئوشیمیایی شامل XRD و XRF قرار گرفته‌اند.



شکل ۵: موقعیت نقاط برداشت نمونه رسوب از کلوک‌های منطقه (ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۶)

آنالیز XRD یا همان طیف‌سنجی اشعه‌ی ایکس (X-Ray Diffraction) تکنیکی قدیمی و پرکاربرد در بررسی خصوصیات کریستال‌هاست. در این روش از پراش اشعه‌ی ایکس توسط نمونه جهت بررسی ویژگی‌های نمونه‌ی استفاده می‌شود. این روش برای تعیین کلیات ساختار کریستالی از قبیل ثابت شبکه، هندسه‌ی شبکه، تعیین کیفی مواد ناشناس، تعیین فاز کریستال‌ها، تعیین اندازه‌ی کریستال‌ها، جهت‌گیری تک کریستال، استرس، تنش، عیوب شبکه و غیره قابل استفاده است (خاکزاد، ۱۳۹۲: ۱۴۹). مطالعه‌ی ترکیب کانی‌شناسی رسوبات با استفاده از این آزمایش انجام گرفته است. روش پراش پرتو ایکس از آن جهت که روش مستقیمی برای تعیین نوع فازها و ساختار بلورین مواد است، بسیار اهمیت دارد. در واقع، پیشرفت چند دهه‌ی اخیر شناسایی فازی، کانی‌شناسی و بلورشناسی، در گرو کشف این روش است. پراش پرتو ایکس که توسط مجموعه‌ی اتم‌ها پدید می‌آید، ناشی از تقویت پرتو پراکنده‌شده در جهت‌های ویژه‌ی فضایی است. پس از برخورد پرتو ایکس به الکترون‌های ماده، آن‌ها را به نوسان وادار می‌کند و این الکترون‌ها نیز باعث پراکندگی پرتو ایکس در فضای اطراف خود، با همان بسامد پرتو ابتدایی خواهند شد (گلستانی فرد و همکاران، ۱۳۹۲: ۷۵)؛ بنابراین در حالت‌های ویژه‌ای که دامنه‌ی پرتوها با هم جمع شوند، پرتو تابیده از مجموع اتم‌ها تقویت می‌شود و به آن پراش گویند. دستگاه پراش از یک دایره فلزی به نام دایره‌ی پراش تشکیل شده است که لوله‌ی

پدیدآورنده‌ی پرتو ایکس و آشکارساز بر روی محیط آن و نمونه‌ی مجهول در مرکز آن قرار دارند (محمدی‌فر و عرب، ۱۳۹۲: ۷۰).

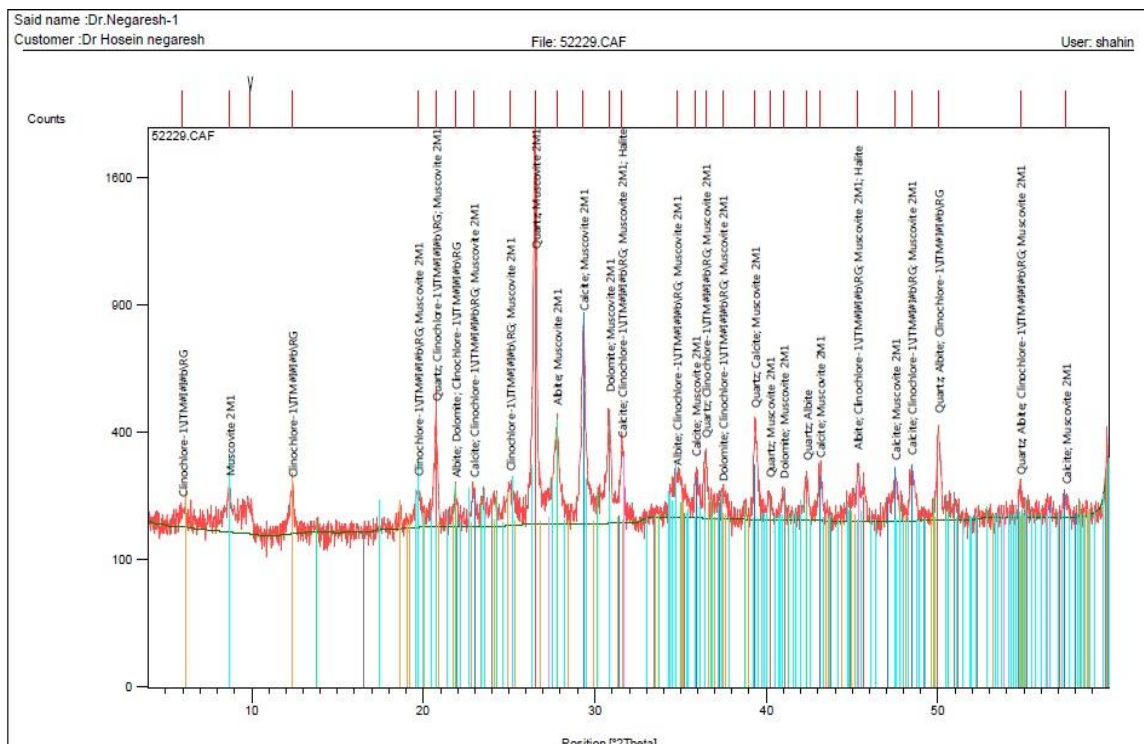
طیف‌نگاری فلورسانس اشعه‌ی ایکس یا (X-Ray Fluorescence) XRF از روش‌های آنالیز عنصری است که به دلیل سرعت بالای آنالیز آن دارای اهمیت است. در این روش، اشعه‌ی ایکس به نمونه تابیده و در اثر برانگیختن اتم‌ها و انتقال الکترونی در لایه‌های مختلف اتم، اشعه‌ی ایکس ثانویه تولید می‌شود که با تعیین طول‌موج (انرژی) اشعه‌ی ایکس ثانویه که مشخصه اتم است (verma, 2007: 35). می‌توان عناصر موجود در نمونه‌ی موردنظر را شناسایی کرد. با استفاده از این تکنیک، می‌توان آنالیز عنصری را به‌صورت کیفی و تا حدودی کمی، به‌خصوص در مورد نمونه‌های معدنی، باستانی، زمین‌شناسی، کانی‌ها، سنگ‌ها، شیشه و آلیاژهای فلزی انجام داد و ردیابی عناصر از سدیم تا اورانیوم را ممکن می‌سازد که دقت آن برای عناصر سنگین بیش‌تر است (خاکزاد، ۱۳۹۲: ۱۸۴). در تحقیق فوق به‌منظور منشأیابی رسوبات منطقه‌ی مورد مطالعه این آزمایش انجام گرفته است. این روش که امروزه از آن به‌طور وسیعی در صنعت و مراکز پژوهشی استفاده می‌شود (گلستانی فرد و همکاران، ۱۳۹۲: ۹۳)، در یک گستره‌ی متنوع در زمینه‌های آنالیز کمی و کیفی، اکتشافات استخراج معدن و پردازش جنس و مواد معدنی، استخراج و ذوب فلزات و قوانین مربوط به آن‌ها به کار گرفته می‌شود. مزیت این روش این است که با انتخاب مناسب هدف اولیه، عناصر خاصی را می‌توان ترجیحاً در نمونه تشخیص داد (آذرنوش، ۱۳۸۱: ۸۰). در این روش پرتو ایکس به نمونه‌ی مجهول تابیده و در اثر برانگیختن اتم‌ها باعث پدید آمدن پرتو ایکس ثانویه می‌شود. سپس با تعیین طول‌موج یا انرژی پرتو ایکس ثانویه، عنصرهای موردنظر را می‌توان شناسایی کرد. پرتو خروجی از لوله‌ی پدیدآورنده‌ی پرتو ایکس به نمونه می‌تابد و در اثر بمباران، الکترون‌های موجود در مدارهای داخلی اتم خارج شده و جایگزینی این الکترون‌ها از مدارهای بالایی، سبب پدید آمدن پرتو X (پرتو مشخصه) خواهد شد. اساس این پدیده مانند حالتی است که نمونه توسط الکترون بمباران می‌شود (گلستانی فرد و همکاران، ۱۳۹۲: ۹۳). نتایج آزمایش‌های انجام گرفته با روش‌های فوق می‌تواند به‌صورت دقیق تمامی ویژگی‌های کانی‌های موجود در رسوبات را در اختیار ما قرار دهد؛ بنابراین پس از بررسی نتایج، نوع رسوبات موجود با سازنده‌های زمین‌شناسی منطقه‌ی مورد مطالعه تحلیل و رسوبات منشأیابی شده است.

جهت پردازش داده‌های ژئوشیمیایی، ابتدا جدولی متشکل از نام نمونه، طول و عرض جغرافیایی نقاط نمونه‌برداری و مقدار فراوانی عناصر شیمیایی در رسوبات تهیه گردید. پس از مرتب شدن جدول داده‌ها و نرمالیزه شدن داده‌ها، مراحل پردازشی ذیل در نرم‌افزار SPSS صورت گرفت. در مطالعات ژئوشیمیایی، عوامل مختلفی از قبیل عوامل ژنتیکی و غیره می‌تواند در ارتباط و وابستگی متغیرها به یکدیگر مؤثر باشد، مقدار این وابستگی را می‌توان با ضریب همبستگی نشان داد (حسنی پاک و شرف‌الدین، ۱۳۸۰: ۳۶۵). در این روش با استفاده از رگرسیون و سایر پارامترهای آماری می‌توان عوامل و فرآیندهای کنترل‌کننده‌ی رسوب‌گذاری را شناسایی نموده و منشأ تأمین رسوبات را تعیین نمود (Zhang, 2010: 166 Alagarsamy & Zhang). با توجه به پراکندگی غیرنرمال عناصر در نمونه‌ی رسوبات، ضرایب همبستگی این عناصر با روش مرتبه‌ی اسپیرمن که مستقل از نوع تابع توزیع متغیر است، مورد بررسی قرار گرفت (داوودی و لک، ۱۳۹۱: ۲۹۹).

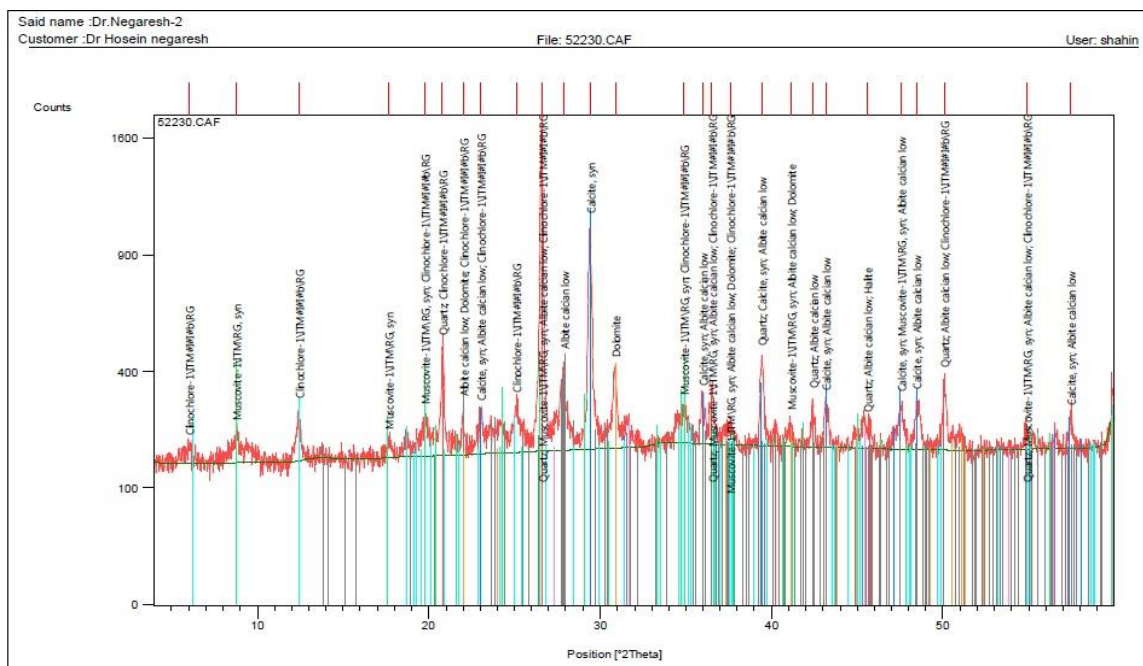
۴- بحث و نتایج

۴-۱- نتایج آنالیز XRD

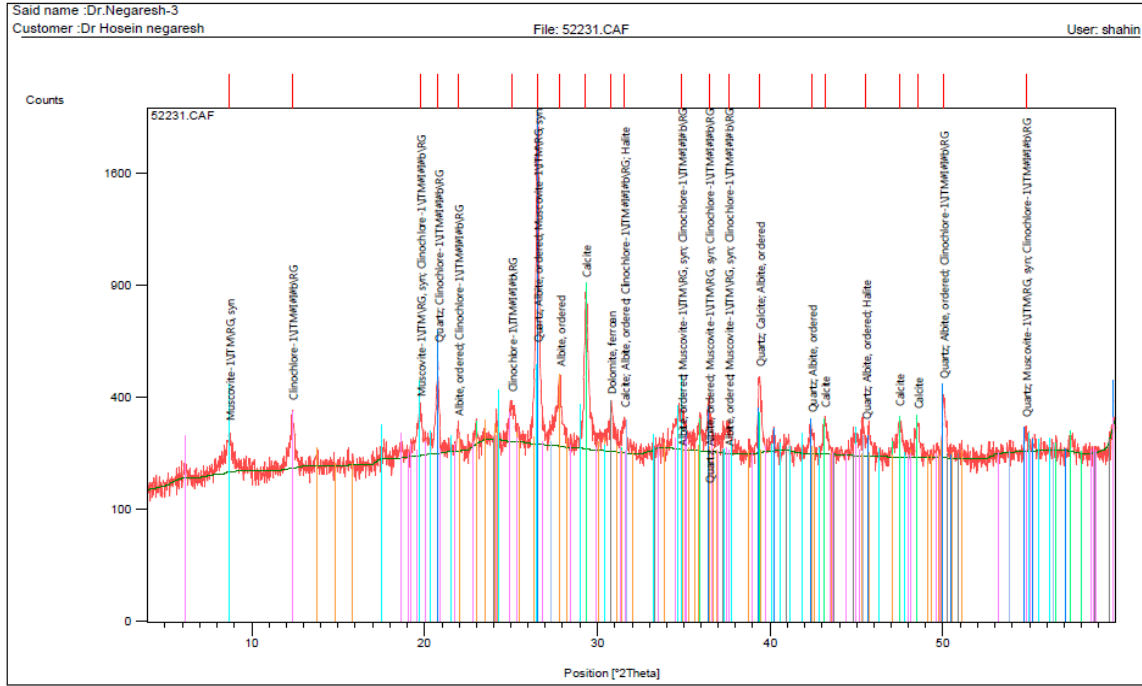
با شروع آنالیز، اشعه‌ی ایکس به نمونه‌ها تابیده شده و هم‌زمان آشکارساز شروع به حرکت می‌کند و در زوایای مختلف نسبت به سطح نمونه‌ی قرار می‌گیرد تا شدت پرتوهای پراش‌یافته در هر زاویه را ثبت کند. در واقع، دستگاه پراش اشعه‌ی ایکس شدت پرتوهای پراش‌یافته را تعیین می‌کند که در مواد بلوری این شدت‌ها به‌صورت پیک تیزی مشخص می‌شوند، ولی در مواد آمورف پیک‌ها به‌صورت پهن هستند (جاسمی، ۱۳۹۰: ۵۲). شکل‌ها و جداول زیر نتایج این آنالیز را نشان می‌دهند.



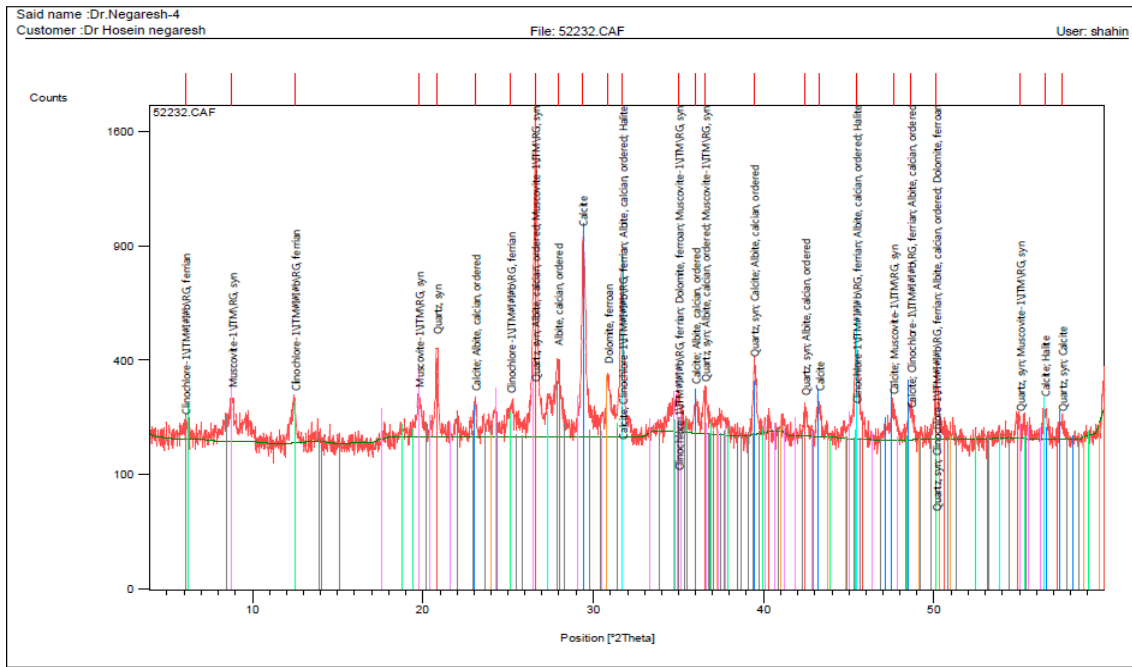
شکل ۶: آنالیز کانی‌شناسی و طیف XRD نمونه‌ی اول



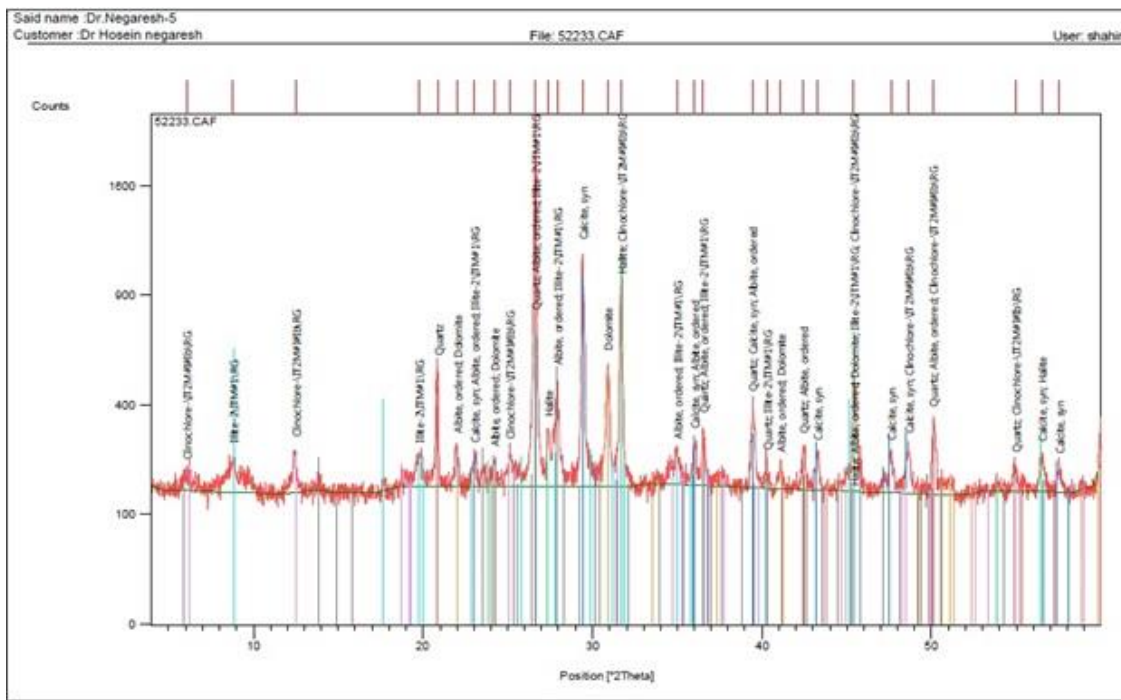
شکل ۷: آنالیز کانی‌شناسی و طیف XRD نمونه‌ی دوم



شکل ۸: آنالیز کانی‌شناسی و طیف XRD نمونه‌ی سوم



شکل ۹: آنالیز کانی‌شناسی و طیف XRD نمونه‌ی چهارم



شکل ۱۰: آنالیز کانی‌شناسی و طیف XRD نمونه‌ی پنجم

جدول ۱: نتایج حاصل از آنالیز XRD در نمونه‌ی اول

	Mineral name	Chemical formula	Group
فاز اصلی	Quartz	SiO ₂	Quartz group
	Calcite	CaCO ₃	Calcite group
	Albite	NaAlSi ₃ O ₈	Feldspar group
	Dolomite	CaMg(CO ₃) ₂	Calcite Group
فاز فرعی	Clinocllore	(Mg,Al) ₆ (Si,Al) ₄ O ₁₀ (OH) ₈	Chlorite group
	Muscovite	KAl ₂ (Si ₃ Al)O ₁₀ (OH) ₂	Mica group
	Halite	NaCl	Halite group

جدول ۲: نتایج حاصل از آنالیز XRD در نمونه‌ی دوم

	Mineral name	Chemical formula	Group
فاز اصلی	Quartz	SiO ₂	Quartz group
	Calcite	CaCO ₃	Calcite group
	Muscovite	KAl ₂ (Si ₃ Al)O ₁₀ (OH) ₂	Mica group
	Albite, calcian	(Na, Ca) (Al (Si, Al) ₃ O ₈	Feldspar group
فاز فرعی	Dolomite	CaMg(CO ₃) ₂	Calcite Group
	Clinocllore	(Mg, Al) ₆ (Si, Al) ₄ O ₁₀ (OH) ₈	Chlorite group
	Halit	NaCl	Halite group

جدول ۳: نتایج حاصل از آنالیز XRD در نمونهی سوم

	Mineral name	Chemical formula	Group
فاز اصلی	Quartz	SiO ₂	Quartz group
	Calcite	CaCO ₃	Calcite group
	Dolomite, ferroan	Ca (Mg, Fe) (CO ₃) ₂	Calcite group
	Albite	NaAlSi ₃ O ₈	Feldspar group
فاز فرعی	Muscovite	KAl ₂ (Si ₃ Al)O ₁₀ (OH) ₂	Mica group
	Clinochlore	(Mg, Al) ₆ (Si, Al) ₄ O ₁₀ (OH) ₈	Chlorite group
	Halite	NaCl	Halite group

جدول ۴: نتایج حاصل از آنالیز XRD در نمونهی چهارم

	Mineral name	Chemical formula	Group
فاز اصلی	Quartz	SiO ₂	Quartz group
	Calcite	CaCO ₃	Calcite group
	Clinochlore, ferroan	(Mg,Fe,Al) ₆ (Si,Al) ₄ O ₁₀ (OH) ₈	Chlorite group
	Albite, calcian	(Na, Ca) (Al (Si, Al) ₃ O ₈	Feldspar group
فاز فرعی	Dolomite, ferroan	Ca (Mg, Fe) (C O ₃) ₂	Calcite group
	Muscovite	KAl ₂ (Si ₃ Al)O ₁₀ (OH) ₂	Mica group
	Halite	NaCl	Halite group

جدول ۵: نتایج حاصل از آنالیز XRD در نمونهی پنجم

	Mineral name	Chemical formula	Group
فاز اصلی	Quartz	SiO ₂	Quartz group
	Calcite	CaCO ₃	Calcite group
	Albite	NaAlSi ₃ O ₈	Feldspar group
	Dolomite	CaMg(CO ₃) ₂	Calcite Group
فاز فرعی	Illite	(K, H ₃ O) Al ₂ Si ₃ AlO ₁₀ (OH) ₂	Mica group
	Clinochlore	(Mg, Al) ₆ (Si, Al) ₄ O ₁₀ (OH) ₈	Chlorite group
	Halite	NaCl	Halite group

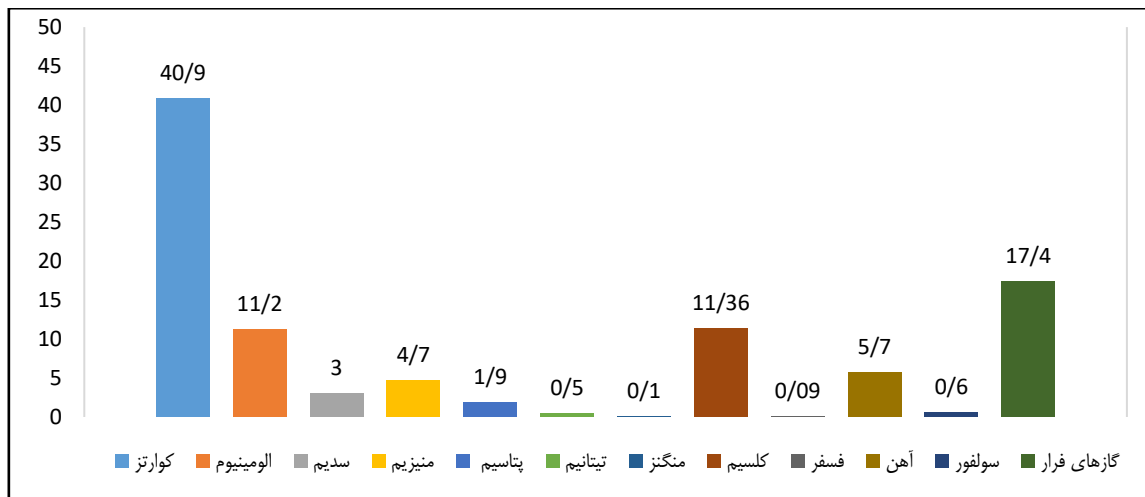
نتایج این آنالیزها نشان می‌دهد نمونه‌های برداشت‌شده دارای دو فاز اصلی و فرعی می‌باشند. کانی‌های اصلی نمونهی اول شامل کوارتز، کلسیت، دولومیت و آلپیت بوده است. در نمونهی دوم مسکوویت به جای دولومیت قرار گرفته و کانی‌های نمونهی سوم همانند نمونهی اول بوده است. در نمونهی چهارم کانی کلینوکلر اضافه شده و نمونهی پنجم نیز همانند نمونه‌های اول و سوم با همان ترکیب است. کانی‌های فرعی در این نمونه‌ها مشخص شده است که در هر پنج نمونه، گروه هالیت‌ها و کانی ایلپیت و دیگر کانی‌ها مشاهده می‌شود.

۴-۲- نتایج آنالیز XRF

جدول (۶) درصد ترکیبات کانی‌های موجود در نمونه‌های آنالیز شده به روش XRF را نشان می‌دهد. شکل (۱۱) نیز درصد مجموع کانی‌های پنج نمونه را نشان می‌دهد. طبق این نتایج، بیش‌ترین درصد کانی‌های موجود در رسوبات کلوته‌ها مربوط به گروه کوارتز است که بیش‌تر از ۴۰ درصد است.

جدول ۶: نتایج حاصل از آزمایش XRF

نمونه عناصر	نمونه‌ی اول	نمونه‌ی دوم	نمونه‌ی سوم	نمونه‌ی چهارم	نمونه‌ی پنجم
SiO ₂	۴۲/۷۷	۴۰/۶۲	۴۵/۷۱	۳۷/۴۱	۳۸/۳۱
Al ₂ O ₃	۱۱/۴۵	۱۰/۹۳	۱۲/۷۱	۱۱/۰۱	۹/۹۲
Na ₂ O	۲/۷۶	۱/۰۵	۱/۲۷	۴/۴۶	۵/۶۷
MgO	۴/۷۳	۵/۱۱	۴/۷۸	۴/۵۶	۴/۴۱
K ₂ O	۲/۰۳	۱/۹۹	۲/۴۸	۲/۱۳	۱/۷۱
TiO ₂	۰/۵۵	۰/۵۲	۰/۵۹	۰/۴۶	۰/۴۳
MnO	۰/۰۹	۰/۱۱	۰/۱۱	۰/۱۱	۰/۰۸
CaO	۱۲/۰۱	۱۳/۸۶	۹/۰۱	۱۰/۷۷	۱۱/۱۹
P ₂ O ₅	۰/۱۱	۰/۰۹	۰/۱۱	۰/۰۹	۰/۰۹
Fe ₂ O ₃	۵/۹۲	۵/۷۲	۶/۹۶	۵/۶۲	۴/۵۸
SO ₃	۰/۱۱	۰/۰۰	۰/۰۲	۰/۴۳	۰/۵۱
LOI	۱۵/۸۹	۱۹/۳۹	۱۵/۳۸	۱۸/۴۸	۱۷/۸۸



شکل ۱۱: میانگین مجموع درصد کانی‌های حاصل از نتایج آزمایش XRF در پنج نمونه

۵- خصوصیات و کاربرد کانی‌های موجود در نمونه‌های برداشت شده

۵-۱- کوارتز: به‌عنوان فراوان‌ترین کانی موجود در رسوبات کلوته‌های دلتای قدیمی رودخانه‌ی هیرمند است. از نظر فرمول شیمیایی یک اکسید است، ولی اختصاصات فیزیکی، شیمیایی و ساختمانی داخلی آن به‌گونه‌ای است که جزو سیلیکات‌ها محسوب می‌شود. بی‌رنگ و دارای جلای شیشه‌ای است؛ فاقد رخ بوده و شکستگی از نوع صدفی دارد. بر روی شیشه خط می‌اندازد و سختی آن ۷ است. در مقابل هوا بسیار مقاوم است. از کوارتز در صنعت شیشه‌سازی، کاغذسازی، سمباده و ابزارهای نوری و الکتریکی استفاده می‌شود.

۵-۲- کربنات کلسیم: کانی‌های موجود در رسوبات کلوته‌های در منطقه‌ی مورد مطالعه شامل کلسیت و دولومیت است. کاربرد این کانی‌ها در صنعت پلاستیک، دیرگدازهای دولومیتی (نسوز)، گچ طبیعی آسیایی، سنگ آهک تزئینی و انواع مختلفی از کربنات کلسیم رسوبی می‌تواند به‌عنوان پرکننده استفاده شوند (Ming et al., 2008: 1358).

۵-۳- میکا: به گروهی از کانی‌ها اطلاق می‌شود که در دسته‌ی بزرگی از سیلیکات‌ها موسوم به سیلیکات‌های ورقه‌ای قرار دارند. میکاها دارای خاصیت نرمی انطباق و مقاومت مکانیکی خیلی زیادی است. خصوصیت مهم دیگر آن قابلیت عبور نور یا شفافیت آن است. هر دو خاصیت شفافیت و قابلیت انطباق و قدرت خمشی آن با ضخامت نسبت عکس دارد. میکا همچنین در مقابل حرارت زیاد، مقاوم بوده و قادر است بدون تغییر چندانی در خصوصیات فیزیکی و شیمیایی، حرارت‌های بالا یا تغییرات ناگهانی و شدید دما را تحمل نماید. خاصیت هدایت دی‌الکتریکی پایین و قدرت مقاومت دی‌الکتریکی در مقابل ولتاژ زیاد بدون ترک‌خوردگی یا خردشدگی به‌خصوص اگر میکا فاقد کانی‌های ریز باشد. لذا کاربرد عمده‌ی میکاها در صنعت به‌عنوان عایق حرارتی و الکتریکی است.

۵-۴- فلدسپات‌ها: به دو دسته‌ی ارتوکلاز و پلاژیوکلاز تقسیم می‌شوند، پلاژیوکلاز (فلدسپات‌های سدیک و کلسیک) به رنگ سفید تا خاکستری کم‌رنگ است. اثر خاکی آن بی‌رنگ، جلای آن شیشه‌ای و از انواع آن می‌توان به آنورتیت، آندزین، الیگوکلاز و آلبیت اشاره کرد. اورتوکلاز (فلدسپات‌های پتاسیک) به رنگ کرم روشن تا صورتی است. رنگ خاکی بی‌رنگ و جلای شیشه‌ای دارد و از انواع مهم آن سانیدین است. فلدسپات‌ها از فراوان‌ترین کانی‌های پوسته‌ی زمین هستند و در صنایع سرامیک، چینی و کاشی‌سازی کاربرد دارند.

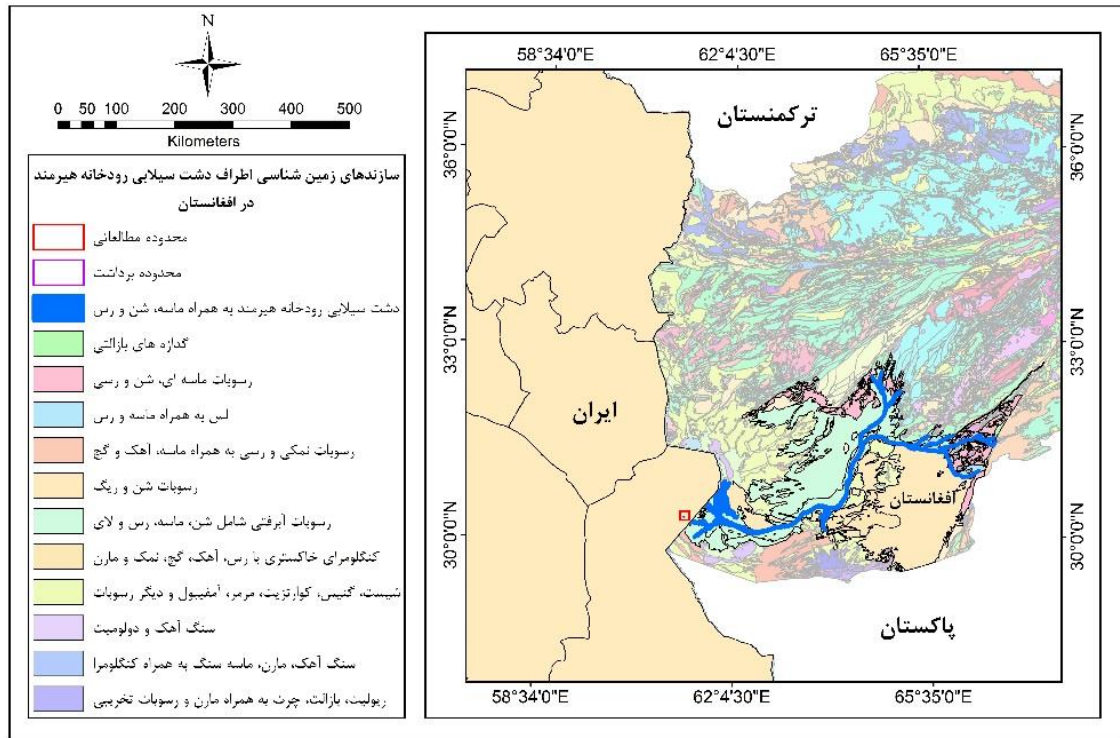
۵-۵- هالیت: این گروه کانی‌ها در رسوبات کلوته‌های دلتای قدیمی رودخانه‌ی هیرمند به‌صورت هالیت نمایان شده است. بیش‌ترین کاربرد هالیت در صنایع شیمیایی به‌عنوان منبع سدیم و کلر برای تهیه‌ی کلریدریک اسید و تعداد زیادی از ترکیبات سدیم‌دار است. همچنین از این گروه از کانی‌ها در صنایع تولید شوینده‌ها، پارچه‌بافی، کودسازی، مصارف خوراکی، خنک‌کننده موتور، خوراک برخی کارخانه‌ها در قالب کاتالیزور و... استفاده می‌شود.

۵-۶- کلریت: کلینوکلر از کانی‌های شناسایی‌شده در کلوته‌های دلتای قدیمی هیرمند و جزو گروه کانی کلریت است. کلریت‌ها کانی‌هایی با ورقه‌های قابل انعطاف، ولی غیرقابل ارتجاع می‌باشند. کلریت‌ها دارای تغییرات ترکیبی و جان‌شینی‌های اتمی مشخصی هستند که بازتابی از دمای تبلور آن‌هاست و منشأ تشکیل آن دگرگونی است. از مصارف صنعتی برای کلریت‌ها می‌توان به مصارف دیرگدازی جهت استفاده در کوره‌های الکتریکی، ذوب فولاد، کوره‌های دوار آهک و سیمان، کوره‌های پتروشیمی و آستر بندی کوره‌های بلند اشاره کرد (عابدینی و همکاران، ۱۳۹۳: ۲۹۷).



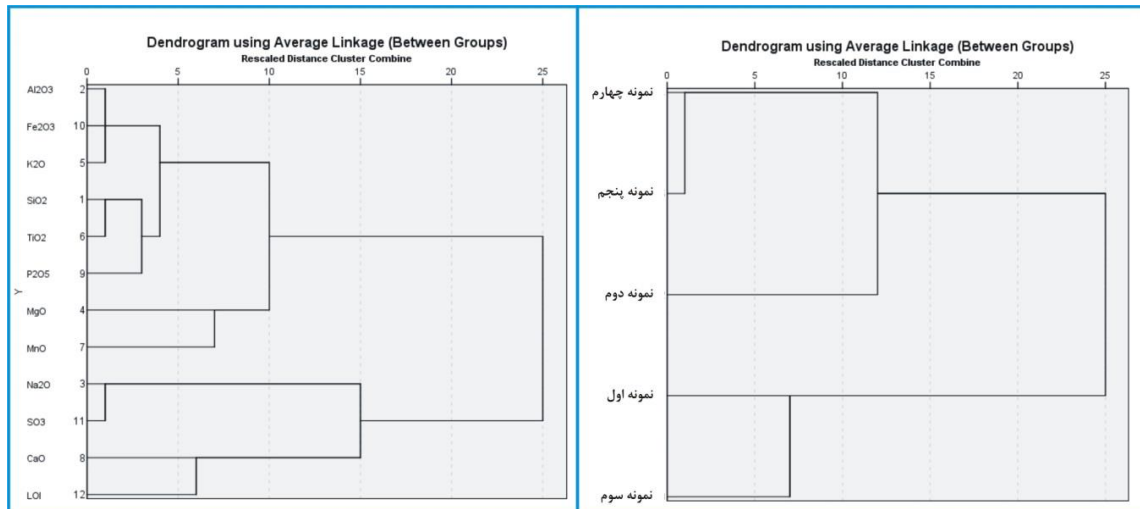
شکل ۱۲: کلوته‌های بررسی شده در منطقه‌ی مورد مطالعه

نتایج آنالیزها نشان می‌دهد برخی از کانی‌های موجود در رسوبات همچون کوارتز منشأ داخلی نداشته و به‌منظور بررسی بیشتر، به بررسی نقشه‌ی زمین‌شناسی افغانستان اقدام شده که سرچشمه‌ی رودخانه‌ی هیرمند است. نتایج نشان داد که سازندهای زمین‌شناسی افغانستان دارای این کانی‌ها بودند (شکل ۱۳).



شکل ۱۳: نقشه‌ی زمین‌شناسی سازندهای موجود در مسیر رودخانه‌ی هیرمند در افغانستان

آنالیز خوشه‌ای: عناصر نسبت به برخی عوامل محیطی واکنش‌های کم‌وبیش مشابهی نشان می‌دهند؛ بنابراین شناخت ارتباط و همبستگی ژنتیکی متقابل میان عناصر، به شناخت دقیق‌تر تغییرات موجود در محیط‌های ژئوشیمیایی کمک شایانی می‌نماید. فرضیات روش آنالیز خوشه‌ای شامل واریانس همسانی و توزیع نرمال متغیرها است (درویشی خاتونی، ۱۳۹۷: ۱۶۲). در تحلیل خوشه‌ای، هدف طبقه‌بندی متغیرها بر اساس تشابه هرچه بیشتر درون‌گروهی و اختلاف هرچه بیشتر بین‌گروهی است (تقی‌زاده زانوقی، ۱۳۸۸: ۸۷). به‌منظور تعیین پاراژنزها و نحوه‌ی ارتباط عناصر با یکدیگر کلاستر آنالیز انجام پذیرفت. روش به‌کار گرفته‌شده در این آنالیز میان‌گروهی^۱ است (شکل ۱۴). با توجه به همبستگی عناصر و تحلیل خوشه‌ای انجام‌شده بر روی نمونه‌های برداشت‌شده (شکل ۱۴) کلوتهک‌های دوم، چهارم و پنجم در یک خوشه و کلوتهک‌های اول و سوم در خوشه‌ی دیگر قرار گرفته‌اند. این وضعیت حاکی از منشأ متفاوت برای هریک از خوشه‌های مذکور است. در زمان‌های مختلف، رسوبات حمل‌شده توسط رودخانه‌ی هیرمند در بخشی از دلتا وارد شده است. در این بین کلوتهک‌های دوم، چهارم و پنجم در زمان واحد از رسوبات مشابهی تغذیه شده و احتمالاً با مهاجرت کانال رودخانه در سطح دلتا رسوبات کلوتهک‌های اول و سوم در زمان دیگری توسط رسوبات غالب متفاوتی تأمین و شکل گرفته است. همچنین عناصر تأمین‌شده از رسوبات سازندهای بالادستی به‌غیر از تبخیری‌ها (Na_2O ، CaO ، SO_3) که احتمالاً منشأ درون‌حوضه‌ای داشته و پس از رسوب‌گذاری تشکیل شده‌اند، مابقی عناصر با منشأ برون‌حوضه‌ای از سازندهای بالادستی تأمین شده است.



شکل ۱۴: آنالیز خوشه‌ای راست: ارتباط کانی‌شناسی کلوتهای مورد مطالعه چپ: ارتباط عناصر با یکدیگر

۶- نتیجه‌گیری

در تحقیق فوق به منشأیابی رسوبات کلوتهای دلتای قدیمی رودخانهی هیرمند پرداخته شد. بدین منظور پنج نمونه رسوبات برداشت‌شده از کلوتهای مورد آنالیز XRD و XRF قرار گرفت. نتایج حاصل از آنالیز نمونه‌ها نشان می‌دهد که بیش‌ترین عناصر تشکیل‌دهنده‌ی رسوب در کلوتهای، مربوط به عناصر کوارتز، آلومینیوم و گازهای فرار است. ترکیب کوارتز و آلومینیوم نشان از وجود رس بوده و بیانگر رس در رسوبات است. همچنین آلومینیوم ناشی از تجزیه‌ی آلبیت بوده و در نتیجه‌ی تخریب کانی آلبیت در نتیجه‌ی بارش، سدیم آزاد شده و کانی رسی در آن ساخته شده است. در کانی رسی، ترکیبات کوارتز و آلومینیوم وجود دارد و بیش‌ترین سهم را در این رسوبات دارند. از دیگر کانی‌های رسی موجود در این رسوبات، کانی مسکوویت و کانی ایلپیت است. از درصد بالای گازهای فرار مانند (H₂O, CO₂) در نمونه‌ها نیز می‌توان نتیجه گرفت که این رسوبات تخریبی و هوازده می‌باشند. میزان کلسیم نیز از عناصری است که درصد بالایی را نسبت به دیگر عناصر داراست. وجود کلسیم نشان می‌دهد که در حوضه، میزان تبخیر زیاد بوده است. به این صورت که رسوبات وقتی در حوضه قرار گرفته‌اند، به دلیل اینکه دریاچه به حالت راکد و ساکن بوده، رسوب‌گذاری شده و در نتیجه‌ی تبخیر زیاد، میزان کلسیم و منیزیم در منطقه افزایش می‌یابد؛ اما در این رسوبات میزان منیزیم کم بوده و نشان می‌دهد که رسوبات جوان بوده و هنوز به منیزیم تبدیل نشده‌اند. دیگر عناصر مانند سدیم، منگنز، کلسیم، تیتانیوم، منیزیم، کلسیت، فسفر و سولفور نیز در کلوتهای دیده می‌شوند و از نظر ترکیبات موجود مشابه می‌باشند و تنها میزان و درصد وجود هر عنصر در یک نمونه با نمونه‌های دیگر متفاوت است. همان‌طور که در نتایج مشخص است، فازهای اصلی ۵ نمونه تقریباً مشابه هم است. وجود عناصر اصلی رسوبات در همه‌ی نمونه‌ها شامل مجموعه‌ی کوارتز همراه با آلبیت نشان می‌دهد که این ترکیب در ماسه‌سنگ‌های فلدسپات وجود دارد؛ و از این ترکیب چنین نتیجه گرفته می‌شود که بخشی از این رسوبات از ماسه‌سنگ‌ها بوده است. از طرفی وجود کلسیت و دولومیت در فاز اصلی که از یک خانواده بوده و از ترکیبات آهک می‌باشند، نشان از تبخیری بودن این رسوبات است و یا اینکه اگر حاصل از تبخیر نباشد، ماسه‌سنگی که در این رسوبات وجود دارد، آهکی بوده و یا ماسه‌سنگ به همراه آهک است؛ اما با توجه به منطقه‌ی مورد مطالعه که در دشت سیستان قرار دارد و زمانی در این منطقه دریاچه بوده و به‌مرور زمان آب موجود تبخیر شده است، در نتیجه بخش آهکی این رسوبات بیش‌تر حاصل تبخیر بوده‌اند. میزان کلسیم موجود در رسوبات و وجود هالیت یا نمک طعام در نتایج، تبخیری بودن محیط را تأیید می‌کند؛ بنابراین با توجه به نکات ذکر شده می‌توان چنین نتیجه گرفت که رسوبات ماسه‌سنگ شیلی یا رسی از عمده‌ترین رسوبات کلوتهای هستند؛ در نتیجه می‌توان ادعان داشت که قسمتی از رسوبات کلوتهای منشأ داخلی داشته و از ماسه‌سنگ‌ها و شیل-

هایی که از زون فلیش شرق ایران و زون بخیه‌ی سیستان (Suture Zone) به جای مانده‌اند، رسوب‌گذاری کرده‌اند؛ اما وجود کوارتز، آلومینیم، کلسیت، دولومیت، مسکویت، آلبیت و سایر کانی‌ها مانند آهک، لس و دیگر رسوبات تخریبی نیز نشان از خارجی بودن منشأ این رسوبات است که توسط رودخانه‌ی هیرمند انتقال یافته و در پلایای هامون رسوب‌گذاری شده است.

۷- سپاس‌گزاری

نویسندگان این پژوهش از کلیه عزیزانی که به هر نحو در مراحل تحقیق همچون برداشت میدانی و انجام آزمایش‌های همکاری نموده‌اند، تشکر و قدردانی می‌نمایند.

۸- منابع

- ۱- احمدی، حسن، فیض‌نیا، سادات (۱۳۷۸). سازندهای دوره‌ی کواترنر، تهران، انتشارات دانشگاه تهران، ۴۴۱ ص.
- ۲- اداره کل هواشناسی استان سیستان و بلوچستان (۱۳۹۵).
- ۳- آذرنوش، مسعود (۱۳۸۱). مجموعه مقالات نخستین همایش باستان‌سنجی در ایران: نقش علوم پایه در باستان‌شناسی، سازمان میراث فرهنگی کشور، پژوهشکده‌ی باستان‌شناسی، تهران.
- ۴- پودینه، مهدی (۱۳۹۱). بررسی وضعیت فضای سبز شهر زابل. پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد واحد شیروان.
- ۵- پیری، جمشید (۱۳۸۵). شبیه‌سازی تبخیر چاه‌نیمه‌های زابل با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی، پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد، دانشگاه شیراز.
- ۶- تقی‌زاده زانوقی، مهدی (۱۳۸۸). ژئومورفولوژی و منشأ ماسه‌های بادی در شمال غرب بهرمان (استان کرمان)، پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد، دانشکده‌ی جغرافیا، دانشگاه تهران.
- ۷- جاسمی، فاضل (۱۳۹۰). تهیه‌ی نانو ذرات TiO_2/Au و بررسی خواص فیزیکی آن، پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد رشته‌ی فیزیک، گرایش اتمی و مولکولی، گروه آموزشی فیزیک دانشکده‌ی علوم پایه‌ی دانشگاه بوعلی سینا همدان.
- ۸- جدیدالاسلامی، مهدی، جدیدالاسلامی، منیر، جدیدالاسلامی، هادی (۱۳۸۹). بررسی ارتباط ژنتیکی و کانی‌شناسی عناصر تشکیل‌دهنده‌ی تپه‌های ماسه‌ای (شرق دشت سیستان)، چهارمین کنگره‌ی بین‌المللی جغرافی‌دانان جهان اسلام، صص ۱۰-۱.
- ۹- حسنی پاک، علی‌اکبر، شرف‌الدین، محمد (۱۳۸۰). تحلیل داده‌های اکتشافی، انتشارات دانشگاه تهران، ۹۹۱ ص.
- ۱۰- خاکزاد، احمد (۱۳۹۲). روش‌های تجزیه‌ی نمونه‌های معدنی، تهران، انتشارات آراین زمین، ۳۴۰ ص.
- ۱۱- خسروی، محمود، نظری‌پور، حمید (۱۳۹۱). مطالعه‌ی هم‌دید تپه‌های هوای غالب منطقه‌ی سیستان (ایستگاه زابل)، پژوهش‌های جغرافیایی، سال ۴۴، شماره‌ی ۳، پیاپی ۸۱، صص ۶۲-۳۹.
- ۱۲- داوودی، اعظم، لک، راضیه (۱۳۹۱). شناسایی منبع اقتصادی تیتانیم و تعیین منشأ آن در رسوبات ساحلی منطقه‌ی لاریم و فرح‌آباد (استان مازندران)، فصلنامه‌ی زمین‌شناسی کاربردی، شماره‌ی ۳، سال هشتم، صص ۲۳۲-۲۲۵.
- ۱۳- درویشی خاتونی، جواد (۱۳۹۷). تجزیه‌ی آماری داده‌های رسوب‌شناسی و ژئوشیمی رسوبی نهشته‌های بادی استان خوزستان، علوم زمین خوارزمی، جلد ۴، شماره‌ی ۲، صص ۱۶۸-۱۵۱.
- ۱۴- رضاییان، جعفر، فروزان فر، فرزاد (۱۳۹۱). بررسی جمجمه‌ی ترافیناسیون‌شده‌ی شهر سوخته‌ی سیستان، شماره‌ی ۱(۴)، صص ۱۵۷-۶۸.
- ۱۵- زمردیان، محمدجعفر (۱۳۹۲). ژئومورفولوژی ایران: فرایندهای اقلیمی و دینامیک‌های بیرونی، جلد ۲، مشهد، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، ۲۶۸ ص.
- ۱۶- صادقی، عباسقلی (۱۳۸۳). جغرافیای کواترنر، انتشارات دانشگاه پیام نور، ۲۷۷ ص.
- ۱۷- طاوسی، تقی، سلیقه، محمد، صفرزایی، نعمت‌الله (۱۳۹۱). بررسی پارامترهای برداری باد و نقش آن در توفان‌های گردوغباری سیستان ایران، جغرافیا و پایداری محیط، شماره‌ی ۲، صص ۳۰-۱۹.
- ۱۸- عابدینی علی، صمد علیپور، مریم خسروی (۱۳۹۳). کانی‌شناسی، زمین‌شیمی و کاربردهای صنعتی کانسنگ‌های بوکسیت درزی ولی، خاور بوکان، شمال باختر ایران، فصلنامه‌ی علوم زمین، شماره‌ی پیاپی ۹۴، صص ۳۰۴-۲۹۳.

- ۱۹- عباس نژاد، احمد، ذهاب ناظوری، سمیه (۱۳۹۱). شناسایی اشکال فرسایش بادی دشت رفسنجان، فصلنامه‌ی پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال ۱، شماره‌ی ۲، صص ۱۴۴-۱۲۷.
- ۲۰- علیجانی، بهلول، رئیس‌پور، کوهزاد (۱۳۹۰). تحلیل آماری، همدیدی توفان‌های گردوخاک در جنوب شرق ایران (مطالعه‌ی موردی: منطقه‌ی سیستان)، مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، سال دوم، شماره‌ی پنجم، صص ۱۳۲-۱۰۷.
- ۲۱- غلامی، حمید، احمدی، جواد، نظری سامانی، علی‌اکبر (۱۳۹۴). مطالعه‌ی خصوصیات رسوب‌شناسی و شاخص شیمیایی تغییر CIA در رسوبات بادی، مجله‌ی پژوهش‌های فرسایش محیطی، سال ۵، شماره‌ی ۳، صص ۲۷-۱۵.
- ۲۲- کردوانی، پرویز (۱۳۸۷). جغرافیای خاک‌ها، تهران، انتشارات دانشگاه تهران، ۴۸۷ ص.
- ۲۳- گلستانی فرد، فرهاد، بهره‌ور، محمدعلی، صلاحی، اسماعیل (۱۳۹۲). روش‌های شناسایی و آنالیز مواد، تهران، انتشارات دانشگاه علم و صنعت، ۳۶۱ ص.
- ۲۴- محمدی‌فر، یعقوب، عرب، احمدعلی (۱۳۹۲). مطالعه ترکیب سفال کلینی دوره‌ی اشکانی منطقه‌ی همدان با استفاده از سه روش XRF، PIXE و XRD با هدف تعیین میزان تشابه و تمایز، پژوهش‌های باستان‌شناسی ایران، بهار و تابستان، شماره‌ی ۴، صص ۷۶-۵۷.
- ۲۵- محمودی، فرج‌الله (۱۳۸۷). ژئومورفولوژی دینامیک، تهران، انتشارات دانشگاه پیام نور، ۲۸۵ ص.
- ۲۶- مهرشاهی، داریوش، نکونام، زری (۱۳۸۸). چهره‌های شگفت‌انگیز فرسایش بادی در بیابان‌های ایران، مجله‌ی رشد آموزش، جغرافیا، صص ۷-۳.
- ۲۷- مهندسین مشاور آبساران (۱۳۸۲).
- ۲۸- مهندسین مشاور جامع ایران (۱۳۸۴). مطالعات جامع بیابان‌زدائی و مقابله با فرسایش بادی دشت سیستان.
- ۲۹- مهندسین مشاور سروآب (۱۳۸۹).
- ۳۰- نگارش، حسین (۱۳۹۱). ژئومورفولوژی ساختمانی و دینامیک، انتشارات مرنديز مشهد، ۲۳۷ ص.
- ۳۱- نوری، غلامرضا، اربابی، طیبه، نوری، سهیلا (۱۳۸۶). تالاب هامون حیات سیستان، تهران، مرکز نشر سپهر، ۱۲۸ ص.
- 32- Alagarsamy, R., Zhang, J (2010). Geochemical characterization of major and trace elements in the coastal sediments of India, Environmental Monitoring Assessment, Vol. 161, pp 161-176.
- 33- Al-Dousari, A.M, Al-Elaj, M, Al-Enezi, E, and Al-shareeda, A, (2009). Origin and characteristics of yardangs in the Um Al-Rimam depressions (N Kuwait), Geomorphology, Vol. 104, pp 93-104.
- 34- Daniel R.. Muhsa. E., Arthur B.G, L.Skipp (2018). Geochemistry and mineralogy of late Quaternary loess in the upper Mississippi River valley, USA: Provenance and correlation with Laurentide Ice Sheet history, Quaternary Science Reviews, Vol. 187, pp 235-269.
- 35- Dong ,ZH, Lv ,P , Lu , J, Qian ,G, Zhang ,ZH ,and Luo, W, (2012). Geomorphology and origin of Yardangs in the Kumtagh Desert, Northwest China , Geomorphology, Vol,139-140, pp 145- 154.
- 36- Ehsani, A.H, and Quiel, F, (2008). Application of Self Organizing Map and SRTM data to characterize yardangs in the Lut desert Iran, Remote Sensing of Environment, Vol, 112, pp 3284-3294.
- 37- Elorza, M.G, Desir, G,and Santolalla, F.G, (2002). Yardangs in the semiarid central sector of the Ebro Depression (NE Spain), Geomorphology, Vol, 44, pp 155-170.
- 38- Hu, F, Yang, X (2016). Geochemical and geomorphological evidence for the provenance of Aeolian deposits in the Badain Jaran Desert, northwestern China, Quaternary Science Reviews Vol, 131, pp 179-192.
- 39- Fu, Y.A, Zhong Ping Lai, XiangJun Liu, QiShun Fan, HaiCheng Wei (2018). Abnormal Rb/Sr ratio in lacustrine sediments of Qaidam Basin, NE QinghaieTibetan Plateau: A significant role of aeolian dust input, Quaternary International Vol, 469, pp 44-57.
- 40- Li , J, Dong , Z, Qian ,G, Zhang ,Z, Luo ,W, Lu , J ,and Wang , M (2016). Yardangs in the Qaidam Basin, northwestern china: Distribution and morphology, Aeolian Research, Vol 20, pp 89-99.
- 41- Ming Ni, Buddy D. Ratner, (2008). Surface and Interface Analysis, Vol, 40, pp 1356-1361.

- 42- Negaresh, H, Abasnejad, A, (2010). Identification and Determination of the Origin of Iranian Yardangs by Utilizing Chemical and Physical Analyses Methods, *The Geographer*, Department of Geography Aligarh Muslim University, Vol, 57, pp 1-10.
- 43- Paillou, PH, Seignovert, B, Radebaugh, J, and Wall, S, (2015). Radar scattering of linear dunes and Mega-Yardangs: Application to Titan, *Icarus*, Vol, 27, pp 211-221.
- 44- Sebe, K, Csillag, G, Ruzkiczay-Rudiger, Z, Fodor, L, Thamo-Bozso, E, Muller, P, and Braucher, R, (2011). Wind erosion under cold climate: A Pleistocene periglacial megar-yardang system in Central Europe (Western Pannonian Basin, Hungary), *Geomorphology*, Vol, 134, pp 470- 482.
- 45- Du, Sh, Yongqiu Wu, Lihua Tan (2018). Geochemical evidence for the provenance of aeolian deposits in the Qaidam Basin, Tibetan Plateau, *Aeolian Research*, Vol, 32, pp 60-70.
- 46- Verma, H.R, (2007). Atomic and Nuclear Analytical methods, XRF, Mossbauer, XRF, NAA and Ion- Beam spectroscopic techniques, Springer, Verlag Berlin Heidelberg, 376 p.