

بررسی سنگ مادر و جایگاه تکتونیک رسوبات ماسه‌ای بیابان لوت

با تأکید بر ریگ یلان

رقیه دلارام؛ دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی و مدیریت محیط، دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، دانشگاه سیستان و

بلوچستان، زاهدان، ایران

صمد فتوحی*؛ دانشیار ژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران

حسین نگارثی؛ استاد ژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران

سیدعلی المدرسی؛ استاد گروه سنجش از دور و GIS دانشگاه آزاد اسلامی یزد، یزد، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۲/۲۹

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۶/۰۷

چکیده:

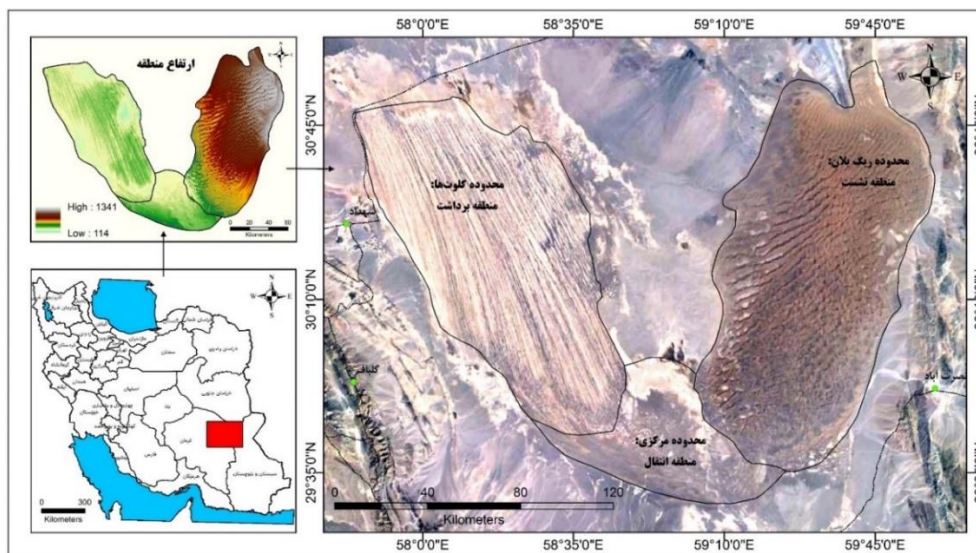
بیابان لوت با ساختار زمین‌شناسی پیچیده، اقلیم فراخشک و دینامیک شدید بادی، یکی از برجسته‌ترین محیط‌های ژئومورفولوژیک در ایران به شمار می‌آید در این پژوهش، تعداد ۱۹ نمونه رسوب سطحی براساس روش‌های استاندارد نمونه‌برداری، برای تعیین منشأ رسوبات، تعیین نوع سنگ مادر، شناسایی فرآیندهای هوازگی و شرایط تکتونیک حوضه رسوبی در پروفیل عرضی بیابان لوت برداشت شد. نمونه‌ها جهت انجام آنالیز عنصری با دستگاه ICP-OES و دستگاه XRF (X-Ray fluorescence) به آزمایشگاه‌های سازمان زمین‌شناسی کشور ارسال شدند. تعیین پارامترهای آماری، نمودارهای هیستوگرام فراوانی عناصر و آنالیز خوشه‌ای به منظور تعیین ارتباط عناصر با یکدیگر و منشأ رسوبات در محیط نرم‌افزار SPSS انجام پذیرفت. براساس نمودارهای تفکیک منشأ سنگ مادر، نمونه‌های برداشت‌شده از منطقه در محدوده سنگ‌های آذرین قرار دارند. این نمونه‌ها با دارا بودن مقادیر بالای کوارتز، نشان‌دهنده منشأی از سنگ‌های آذرین فلسیک تا اولترامافیک هستند. نتایج طبقه‌بندی منشأ رسوبات، نشان می‌دهد که بیش از نیمی از نمونه‌ها در محدوده گرانیته بازالتی و بقیه در بازالت گرانیته قرار دارند. منشأ رسوبات بستر ریگ یلان از سنگ‌های حدواسط تا گرانیته بوده و عمدتاً از بخش‌های جنوبی و جنوب‌غربی بیابان لوت منشأ گرفته‌اند. همچنین، موقعیت تکتونیک این رسوبات با محیط‌های جزایر قوسی و حاشیه‌های فعال قاره‌ای مطابقت دارد.

واژه‌های کلیدی: بیابان لوت، ریگ یلان، ژئوشیمی رسوبی، سنگ منشأ، محیط تکتونیک.

مقدمه

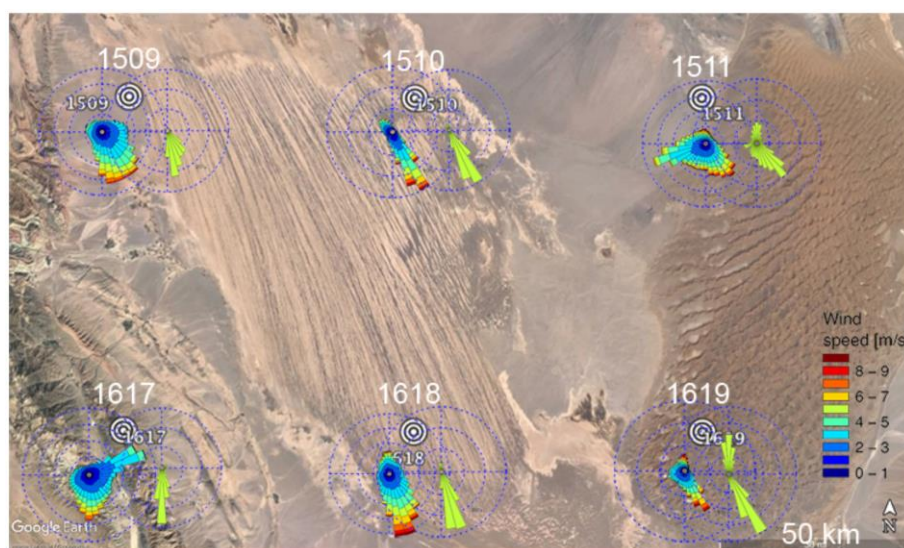
بیابان لوت با مساحتی حدود ۲۴۰۰۰ کیلومتر مربع در شرق ایران واقع شده و بین طول‌های جغرافیایی "۵۰° ۴۳' ۵۷" تا "۱۴° ۵۹' ۵۹" شرقی و عرض‌های جغرافیایی "۳۴° ۲۸' ۲۹" تا "۵۵° ۵۷' ۳۰" شمالی قرار دارد. از نظر تقسیمات کشوری، این بیابان در سه استان کرمان، سیستان و بلوچستان و خراسان جنوبی گسترده شده است که بیشترین بخش آن در استان کرمان واقع شده است. بیابان لوت در محدوده حوضه آبریز کویر لوت در بخش شرقی فلات مرکزی ایران جای دارد و بر اساس تقسیم‌بندی‌های دفتر مطالعات پایه منابع آب، به عنوان حوضه ششم فلات مرکزی شناخته می‌شود. این حوضه از سمت شرق به حوضه رود مشکیل، هامون هیرمند و نمکزار خواف، از شمال به حوضه کویر مرکزی، از غرب به حوضه‌های ریگ زرین و کویر درانجیر و از جنوب به حوضه جازموریان محدود می‌شود. ارتفاع منطقه از ۱۱۴ متر در جنوب غرب کلوت‌ها تا ۱۳۴۱ متر در شمال شرق ریگ لوت متغیر است. سنگ‌بستر منطقه مورد مطالعه به دلیل تراکم و سخت‌شدگی سنگ‌های دگرگونی، بسیار مستحکم و پایدار بوده است (درویش‌زاده، ۱۳۷۱). بنابراین به دلیل زیرساخت آتش‌فشانی و دگرگون شدن و مستحکم شدن آن در حرکات سیمین پیشین، در رسوبات نئوژن و کواترنر شامل (مارن، سیلت، رس ژئوپس‌دار و لیمون‌های نمک‌دار) (علایی طالقانی، ۱۳۹۰)، هیچ‌گونه اثرات و شواهدی مبنی بر حرکات تکتونیکی و درونی زمین بخصوص در محدوده کلوت‌ها دیده نمی‌شود. با توجه به موارد ذکرشده در این محدوده با توجه به نقشه‌های زمین‌شناسی گسل نیز وجود ندارد. فرآیند فرسایش شامل سه مرحله برداشت، حمل و رسوب‌گذاری است (مایر و همکاران، ۱، ۱۹۶۹). مطالعه عوامل فرسایش و شکل‌بندی که از آن‌ها حاصل می‌شود، در قلمرو ژئومورفولوژی قرار می‌گیرد (رجایی، ۱۳۸۳). بیابان لوت از سه محدوده برداشت (کلوت‌ها)، محدوده رسوبگذاری (ریگ یلان) و محدوده انتقال (همادای میانی) تشکیل شده است (شکل ۱). بدین صورت که در غرب بیابان لوت فرسایش بادی بر محیط غلبه می‌کند و ضمن توسعه و گسترش انواع مختلف کلوت‌ها، مواد حمل شده را در بخش شرقی بیابان لوت تحت تأثیر بادهای محلی انباشته کرده که امروزه به ریگ یلان معروف شده است. کلوت‌ها تپه‌های مورب یا رشته‌کوه‌های کم‌ارتفاع و نسبتاً موازی هستند که به وسیله دالان‌ها و شیارهای متعددی از یکدیگر جدا می‌شوند. امتداد این شیارها عمدتاً در راستای شمال، شمال‌غربی-جنوب، جنوب‌شرقی بوده و با جهت وزش بادهای ۱۲۰ روزه سیستان هم‌خوانی دارد (نگارش، ۱۳۹۱). کلوت‌ها به‌عنوان یکی از اشکال منحصربه‌فرد ژئومورفولوژیکی مناطق بیابانی، در غرب لوت با وسعتی حدود ۱۰ هزار کیلومتر مربع، عرض تقریبی ۷۰ کیلومتر و طولی در حدود ۱۵۰ کیلومتر گسترش یافته‌اند (علایی طالقانی، ۱۳۹۰) و هر سال دچار تغییرات مورفولوژیکی می‌شوند. رأس این برجستگی‌ها عموماً مسطح بوده و دامنه روبه‌باد آنها نسبت به دامنه بادپناه، شیب تندتری دارد (به‌نیافر و قنبرزاده، ۱۳۹۷). داده‌های رسوب‌شناسی نشان می‌دهد که کلوت‌ها منشأیی پلایایی دارند و پس از خشک شدن در دوره کواترنر، تحت تأثیر فرسایش بادی شکل کنونی خود را یافته‌اند (رامشت و همکاران، ۱۳۹۸). بخش میانی لوت جنوبی، میان کلوت‌های غربی و ریگ لوت در شرق، به‌صورت سنگفرش بیابانی با پوششی از سنگ‌های ریز و درشت مشخص می‌شود. در شرق این ناحیه، حجیم‌ترین رشته‌های ماسه‌ای ایران و مرتفع‌ترین تپه‌های ماسه‌ای مناطق خشک جهان

قرار دارند (محمودی، ۱۳۸۸). تغییرات سرعت باد در این منطقه عامل اصلی جابه‌جایی و تحول تپه‌های ماسه‌ای ریگ لوت است؛ به‌گونه‌ای که نواحی شمالی ریگ با کاهش ارتفاع و نواحی جنوبی با افزایش ارتفاع همراه‌اند (مقصودی و همکاران، ۱۳۹۹).



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

در دشت لوت، حدود ۶۰ درصد از سرعت بادها کمتر از ۱۶ کیلومتر در ساعت است و ۴۰ درصد از بادها سرعتی بیشتر از ۱۶ کیلومتر در ساعت دارند. در حال حاضر، تمامی اشکال سطحی لوت تحت تأثیر بادهایی با سرعت بیشتر از ۱۶ کیلومتر در ساعت قرار دارند. از این ۴۰ درصد بادهای با سرعت بالاتر از ۱۶ کیلومتر در ساعت، حدود ۲۶ درصد آن‌ها سرعتی بیشتر از ۵۰ کیلومتر در ساعت دارند. در حال حاضر، بادهایی با سرعت‌های بسیار شدید مانند بادهای قدیمی که سرعتی بیش از ۱۰۰ کیلومتر یا حتی ۳۰۰ کیلومتر در ساعت داشتند در منطقه وزش نمی‌کنند (مقیمی، ۱۴۰۱) (جول ۱). بر اساس داده‌های مربوط به ویژگی‌های باد (جهت و سرعت) و نرخ مهاجرت بارخان‌ها و جهت حرکت عوارض ماسه‌ای در ایستگاه‌های هواشناسی کرمان، زاهدان، بم و نصرت‌آباد که در اطراف بیابان لوت قرار دارند روند معناداری در جابه‌جایی اشکال ماسه‌ای و تغییرات ژئومورفولوژیکی مشاهده می‌شود. جهت باد غالب و جهت باد با بیشترین سرعت در این ایستگاه‌ها عمدتاً شمالی و شمال شرقی است که در اغلب ماه‌های سال تکرار می‌شود (شکل ۲ و جول ۱).



شکل ۲- جهت و سرعت باد (گلبادهای رنگی) و ترسیم گلماسه‌ها با استفاده از سرعت آستانه فرسایش بادی (گلبادهای سبز) در ایستگاه‌های محدوده بیابان لوت (بازه زمانی ۱۹۷۹-۲۰۱۳) (Radebaugh et al., 2017)

جدول ۱: جهت و سرعت بادهای غالب در طول سال (ایستگاه‌های کرمان، زاهدان، بم، نصرت آباد)

ماه	باد غالب	جهت باد با حداکثر سرعت	سرعت حداکثر
فروردین	شمال-شمال شرق-جنوب غربی	جنوب غربی	<۳۴
اردیبهشت	شمال-شمال شرق-جنوب غربی	شمال	<۳۴
خرداد	شمال-شمال شرق	شمال-شمال شرق	۲۳-۲۲
تیر	شمال-شمال شرق	شمال شرق	۲۳-۲۲
مرداد	شمال-شمال شرق	شمال	۲۳-۲۲
شهریور	شمال-شمال شرق	شمال	۲۳-۲۲
مهر	شمال-شمال شرق	شمال	۲۳-۲۲
آبان	شمال-شمال شرق	شمال	۱۶-۱۱
آذر	شمال	شمال	۲۱-۱۷
دی	شمال	شمال	۲۱-۱۷
بهمن	شمال-شمال شرق-جنوب غربی	جنوب غربی	۲۳-۲۲
اسفند	شمال-جنوب غربی	جنوب غربی	<۳۴

وجود ذرات با گردش‌دگی‌های متفاوت، دانه‌های کدر و شفاف و رسوبات با بلوغ کانی‌شناسی پایین در نمونه‌های ماسه بادی، نشان‌دهنده این است که رسوبات از چندین منبع مختلف با فاصله‌های متفاوت و تحت فرآیندهای مختلف در دوره‌های زمانی گذشته تأمین شده‌اند. منابع ماسه‌های بادی خارج از محدوده کلوت عمدتاً شامل رسوبات مخروط‌افکنه‌ای بزرگ در بخش‌های شمالی، شمال غربی و غرب بلوک لوت است که عمدتاً شامل ذرات آذرین و دگرگونی و به‌طور محدودتر رسوبات آواری می‌باشد. درصد فراوانی کوارتز و خرده‌سنگ‌ها در ریگ لوت از غرب به شرق تغییرات زیادی ندارد، اما در بخش‌های شرقی‌تر، میزان کلسیت و کانی‌های رسی به‌طور چشمگیری افزایش می‌یابد. در نهایت، تغییرات بلوغ کانی‌شناسی و ترکیب ذرات ماسه‌ای در این منطقه تحت تأثیر سه عامل اصلی قرار دارد: ترکیب لیتولوژیکی سنگ‌های منشاء، شرایط آب‌وهوای گذشته و فعالیت‌های تکتونیکی.

تحلیل منشأ رسوبات (Sediment Provenance Analysis) یکی از روش‌های بنیادی در زمین‌شناسی رسوبی و زمین‌شناسی اقتصادی است که با بررسی ترکیب کانی‌شناسی، ویژگی‌های ژئوشیمیایی و بافت رسوبات، اطلاعات ارزشمندی درباره منبع اولیه این مواد، فرآیندهای انتقال و شرایط محیطی رسوب‌گذاری آن‌ها ارائه می‌دهد. این تحلیل در بسیاری از حوزه‌های زمین‌شناسی، به‌ویژه در مطالعات حوضه‌های رسوبی، تکتونیک و اکتشاف منابع طبیعی مانند نفت، گاز و فلزات اهمیت زیادی دارد. هدف اصلی این تحلیل عبارت است از: شناسایی نوع سنگ منشأ؛ با استفاده از نسبت‌های عنصری، ترکیب کانی‌شناسی و ساختار دانه‌ها، می‌توان نوع سنگ مادر رسوبات را شناسایی کرد. این سنگ مادر می‌تواند آتشفشانی، دگرگونی یا رسوبی باشد و شناخت آن برای بازسازی تاریخ زمین‌شناسی منطقه حیاتی است. تشخیص فرآیندهای هوازدهی، حمل و رسوب‌گذاری؛ ویژگی‌های ژئوشیمیایی مانند شاخص هوازدهی شیمیایی (CIA) و ترکیب کانی‌شناسی، میزان و نوع هوازدهی را نشان می‌دهند. این اطلاعات کمک می‌کنند تا درک کنیم رسوبات چه مقدار از سنگ مادر فاصله گرفته‌اند، چه مسیری را طی کرده‌اند و در چه شرایطی رسوب‌گذاری انجام شده است. تفسیر شرایط تکتونیکی حوضه رسوبی؛ نسبت‌های خاص عناصر و نمودارهای ژئوشیمیایی مانند La-Th-Sc و Th-Ta-Sc-Zr/10 اطلاعاتی درباره نوع محیط تکتونیکی منشأ (مثلاً حاشیه قاره‌ای غیرفعال، کمان آتشفشانی یا حاشیه فعال) فراهم می‌کنند که در بازسازی تاریخچه زمین‌ساختی حوضه بسیار مفید است. کاربرد در اکتشاف منابع معدنی؛ شناخت منشأ رسوبات می‌تواند به شناسایی مسیرهای حمل کانی‌های سنگین مانند زیرکن، تورمالین، ایلمنیت و روتیل کمک کند که خود نشان‌دهنده کانی‌سازی در سنگ‌های منشأ هستند. همچنین، برخی عناصر کمیاب (مانند Nb, REEs, Ta و Ti) به طور مستقیم با نوع سنگ منشأ مرتبط بوده و در اکتشاف منابع اقتصادی کاربرد دارند. در نهایت، تحلیل منشأ رسوبات به‌عنوان ابزاری مهم برای درک چرخه زمین‌ساختی مواد، بازسازی محیط‌های دیرینه و ارزیابی پتانسیل اقتصادی یک حوضه، اهمیت زیادی دارد.

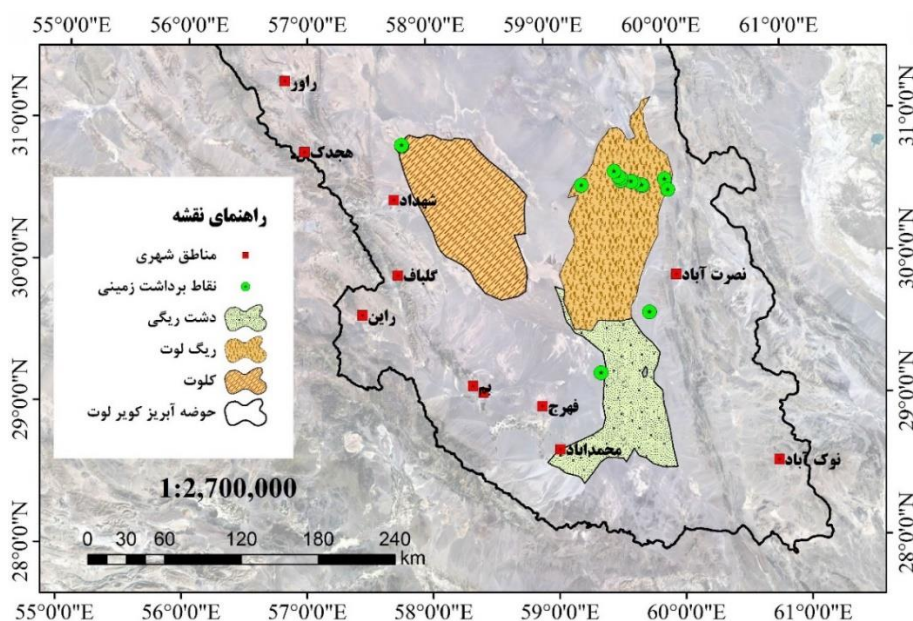
عناصر ژئوشیمیایی و نسبت‌های عنصری در مطالعات زمین‌شناسی برای شناسایی منشأ رسوبات و بررسی فرآیندهای رسوبی و تغییرات پس از رسوب‌گذاری به کار می‌روند. این نسبت‌ها می‌توانند اطلاعات دقیقی از ترکیب سنگ‌های منشأ، وضعیت محیط رسوب‌گذاری و فرآیندهای ژئوشیمیایی مانند هوازدهی، تفریق و جابه‌جایی رسوبات ارائه دهند (Taylor and McLennan, 1985; Condie et al., 1992; Cullers, 1995). در این راستا، عناصر اصلی نه تنها ترکیب سنگ مادر را نشان می‌دهند بلکه تأثیر فرآیندهای سطحی مانند هوازدهی و تغییرات فیزیکی و شیمیایی در طی فرآیندهای رسوبی و دانه‌بندی رسوبات را نیز بازتاب می‌دهند (McLennan et al., 1993). استفاده از نمودارهای ژئوشیمیایی و مقایسه نسبت‌های مختلف عناصر، به تفکیک دقیق محیط‌های رسوبی و شناسایی منشأ سنگ‌ها کمک شایانی می‌کند و از این طریق می‌توان به اطلاعات ارزشمندی در مورد تاریخچه رسوبی و تحولات زمین‌شناسی منطقه دست یافت. در مطالعه ژئوشیمیایی رسوبات، خاستگاه رسوبات یکی از عوامل کلیدی است که بر ترکیب عناصر موجود در آن‌ها تأثیر می‌گذارد. این تأثیر به دلیل تفاوت در قابلیت حل شدن و حمل عناصر مختلف در محیط‌های رسوبی است. بسیاری از عناصر در رسوبات به صورت مواد جامد حمل می‌شوند و ویژگی‌های شیمیایی منبع رسوبات را منعکس می‌کنند. بنابراین، شناخت رابطه بین عناصر مختلف و ویژگی‌های ژئوشیمیایی رسوبات، می‌تواند اطلاعات مهمی را درباره منشأ، فرآیندهای رسوب‌گذاری و تغییرات پس از رسوب‌گذاری فراهم کند. در این پژوهش، با استفاده از آنالیزهای

ژئوشیمیایی، تلاش شده است تا روابط بین عناصر مختلف شناسایی شده و محیط‌های رسوبی مختلف تفکیک شوند. این مطالعه می‌تواند به درک بهتر از فرآیندهای ژئوشیمیایی و محیط‌های رسوب‌گذاری در منطقه ریگ لوت و پهنه‌های اطراف آن کمک کند.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش تعداد ۱۹ نمونه رسوبی از رسوبات محدوده ریگ یلان، کلوتک‌ها و همادای میانی، برداشت و به آزمایشگاه ارسال شد (شکل ۳). نیمی از نمونه‌های برداشت‌شده جهت آماده‌سازی و انجام آنالیز شیمیایی به آزمایشگاه منتقل شد و نیمی دیگر بایگانی شد. جهت آنالیز عنصری از دستگاه ICP-OES (ICP Optical Emission Spectroscopy) مدل Varian 735-ES و دستگاه XRF مدل MAGIX-PRO استفاده شد. نتایج عناصر اصلی با استفاده از دستگاه XRF (X-Ray fluorescence) بصورت اکسید و با واحد درصد دریافت شد و نتایج میزان انحراف از شرایط معمول^۱ ۵۴ عنصر دیگر بر حسب ppm توسط دستگاه ICP مورد شناسایی قرار گرفت. در روش ICP به غیر از گازها، تمامی عناصر پایدار جنول تناوبی قابل شناسایی است (Potts, 1987). برای بررسی دقت آنالیزها ۱۰ نمونه تکراری (حدود ۱۰ درصد کل نمونه‌ها) به صورت کاملاً تصادفی مورد بررسی قرار گرفت که با توجه به حد تشخیص دستگاهی، غالب عناصر دارای خطای آزمایشگاهی زیر ۱۰ درصد و عناصر Sn, Bi, Y, U, Mo, Sb و Be زیر ۱۵ درصد می‌باشد. جهت پردازش داده‌های ژئوشیمیایی، ابتدا جنولی متشکل از نام نمونه، طول و عرض جغرافیایی نقاط نمونه برداری و مقدار فراوانی عناصر شیمیایی در رسوبات تهیه گردید. پس از مرتب شدن جنول داده‌ها و نرمالیزه شدن داده‌ها، مراحل پردازشی ذیل در نرم افزار SPSS صورت گرفت. با توجه به اینکه عناصر نسبت به برخی عوامل محیطی واکنش‌های کم و بیش مشابهی نشان می‌دهند بنابراین، شناخت ارتباط و همبستگی ژنتیکی متقابل میان عناصر، به شناخت دقیق‌تر تغییرات موجود در محیط‌های ژئوشیمیایی کمک شایانی می‌نماید. در این روش با استفاده از رگرسیون و سایر پارامترهای آماری می‌توان عوامل و فرآیندهای کنترل‌کننده رسوب‌گذاری را شناسایی نموده و منشأ تامین رسوبات را تعیین نمود (Alagarsamy and Zhang, 2010). با توجه به پراکندگی غیرنرمال عناصر در نمونه رسوبات، ضرایب همبستگی این عناصر با روش مرتبه ای اسپیرمن که مستقل از نوع تابع توزیع متغیر است، مورد بررسی قرار گرفت. در تحلیل خوشه‌ای، هدف طبقه بندی متغیرها براساس تشابه هرچه بیش تر درون گروهی و اختلاف هرچه بیشتر بین گروهی است. به منظور تعیین پاراژنرها و نحوه ارتباط عناصر با یکدیگر کلاستر آنالیز انجام پذیرفت. روش بکار گرفته شده در این آنالیز Between Groups می‌باشد.

¹ Anomaly



شکل ۳: مناطق تحت تأثیر فرسایش و رسوب‌گذاری در بیابان لوت و موقعیت نقاط برداشت نمونه

یافته‌های تحقیق

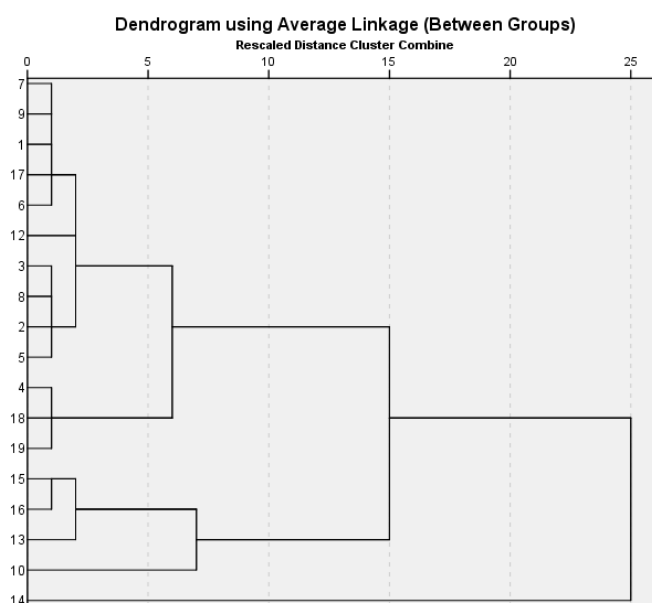
بررسی‌های مورفوسکوپی رسوبات ماسه بادی در دشت ریگی و پهله کلوت، نشان‌دهنده‌ی وجود ذرات ماسه بادی به همراه رسوبات گل قرمز رنگ می‌باشد که حاکی از عملکرد همزمان فرایندهای بادی در مناطق حاشیه‌ی غربی پهله کلوت با محیط پلایایی است. لذا رسوبات به صورت ترکیبی از رسوبات بادی و پلایایی می‌باشد. در دشت ریگی و پهله کلوت وجود همزمان ذرات با گردشگی‌های متفاوت، ذرات کدر و شفاف همچنین وجود رسوبات با رسیدگی (مچورتی) کانی‌شناسی پایین در نمونه‌های ماسه‌های بادی از تامین رسوب از چند منشا، با فواصل و فرایندهای مختلف در زمان‌های گذشته حکایت دارد. از منشا‌های ماسه‌های بادی خارج از محدوده کلوت می‌توان به رسوبات مخروط‌افکنه‌ای بزرگ در بخش‌های شمالی و شمال غرب و غرب بلوک لوت که اکثراً ذرات آذرین و رسوبات مخروط افکنه‌ای که به ترتیب فراوانی آذرین، دگرگونی و رسوبی تشکیل می‌دهند اشاره کرد. همچنین درصد فراوانی کوارتز و خرده سنگ‌ها از غرب به شرق در ریگ لوت تغییر فاحشی نشان نمی‌دهد. در بخش‌های شرقی‌تر کلسیت و کانی‌های رسی افزایش محسوسی را نشان می‌دهد. نقش لیتولوژی، آب‌وهوای قدیمه و تکتونیک در تغییرات بلوغ کانی‌شناسی و درصد جنس ذرات تشکیل دهنده رسوبات ماسه‌ای این منطقه مؤثر بوده است. بطور کلی جنس ذرات از خرده‌سنگ، کوارتز، کربنات تخریبی، فلدسپات و کانی سنگین تشکیل شده است. در نمونه‌های L15، L16، L17 و L18 خرده‌های گلی و گاهی قطعات گیاهی نیز قابل مشاهده است. کوارتزهای بسیار زاویه‌دار، احتمالاً از رخنمون‌های نزدیک به محل رسوب‌گذاری منشا گرفته‌اند. نمونه‌های برداشت شده از همادای میانی به طور متوسط از ۷۰ درصد کوارتز آبی و ۳۰ درصد کوارتز بادی تشکیل شده است. نمونه‌های برداشت شده از قسمت کلوت‌ها به طور متوسط از ۷۴ درصد کوارتز آبی و ۲۶ درصد کوارتز بادی تشکیل شده است. نمونه‌های برداشت شده از ریگ یلان که مربوط به ماسه بادی هستند به طور متوسط از ۳۷ درصد کوارتز آبی و ۶۳ درصد کوارتز بادی تشکیل شده است. با توجه به اینکه

خرده‌سنگ‌ها، مقاومت شیمیایی و مکانیکی کمتری دارند نمی‌توان اظهار نظر قطعی با استفاده از مطالعه آثار سطح دانه، به عوامل حمل و نقل پی برد، بنابراین از دانه‌های کوارتز برای مطالعه آثار سطحی دانه استفاده می‌شود. کربنات‌های تخریبی به علت داشتن سختی کمتر در تمامی نمونه‌ها گردشگی بهتری را نسبت به کوارتزها دارند. در فراکسیون‌های درشت‌تر خرده سنگ‌ها فراوان‌تر هستند ولی در فراکسیون‌های متوسط کوارتز، کربنات‌تخریبی، فلدسپات و کانی‌سنگین بیشتر مشاهده می‌گردد و کوارتزهای بادی در فراکسیون‌های ریزتر بیشتر مشاهده می‌گردند. نتایج آنالیز شیمیایی ۱۹ نمونه نشان می‌دهد که بیشترین درصد عناصر موجود در رسوبات بستر ریگ لوت، دشت ریگی و کلوت مربوط به گروه‌های سیلیس، آلومینیوم، آهن و کلسیت است (جدول ۲).

جدول ۲: نتایج کانی‌شناسی رسوبات برداشت شده از منطقه مورد مطالعه

شماره نمونه	نتایج آنالیز کانی‌شناسی
L-01	کوارتز، فلدسپار
L-02	کوارتز، فلدسپار
L-03	کوارتز، فلدسپار، کلسیت
L-04	کوارتز، فلدسپار
L-05	کوارتز، فلدسپار، کلسیت
L-06	کوارتز، فلدسپار، کلسیت
L-07	کوارتز، فلدسپار
L-08	کوارتز، فلدسپار، کلسیت، پیروکسن
L-09	کوارتز، فلدسپار، کلسیت
L-10	کوارتز + فلدسپار + کانی رسی (جزئی)
L-11	کوارتز، فلدسپار
L-12	کوارتز، فلدسپار
L-13	کوارتز، فلدسپار، کانی رسی (جزئی)
L-14	ژیپس، کوارتز، فلدسپار
L-15	کوارتز، کلسیت، فلدسپار، کاتولینیت
L-16	کوارتز، کلسیت، هالیت، فلدسپار، کاتولینیت (جزئی)
L-17	کوارتز، فلدسپار، کلسیت، آراگونیت، کاتولینیت (جزئی)
L-18	کوارتز، فلدسپار، کلسیت، کاتولینیت (جزئی)
L-19	کوارتز، فلدسپار، کاتولینیت (جزئی)

پردازش داده‌های ژئوشیمیایی نشان می‌دهد که نمونه‌های L7, L9, L1, L17, L6, L12, L3, L8, L2, L5 در یک شاخه با مشابهت زیاد قرار گرفته‌اند. نمونه‌های L4, L18 و L19 در یک شاخه دیگر با مشابهت زیاد و کمی مشابهت کمتر با گروه اول قابل مشاهده هستند. نمونه‌های L15 و L16 که از محدوده کلوت برداشت شده‌اند با همبستگی بالای ژنتیکی در یک گروه واحد قرار دارند. در مقابل، نمونه‌های L13 و L10 با همبستگی ژنتیکی کمتر در شاخه‌ای جداگانه حضور دارند. نمونه L14، که حاوی ژیبس در ترکیب کانی‌شناسی خود است، از نظر همبستگی ژنتیکی اختلاف فاحشی با دیگر نمونه‌ها دارد و احتمالاً از رسوبات تبخیری انتهایی ریگ لوت برداشت شده است (شکل ۴).



شکل ۴: نمودار نرده‌ای همبستگی نمونه‌ها برداشت شده از منطقه مورد مطالعه

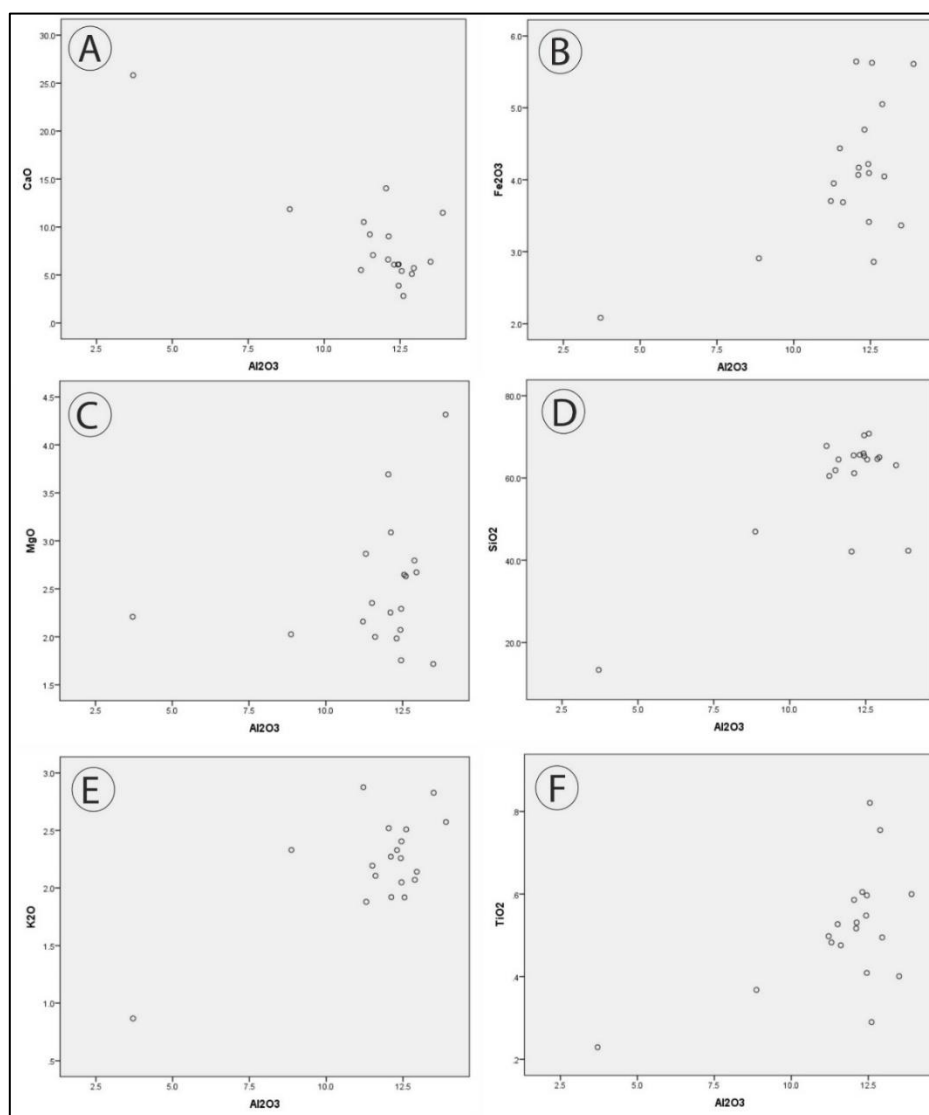
همچنین براساس نتایج آنالیز XRF (جدول ۳)، تحلیل آنالیز فاکتوری انجام شد که عناصر Ag, Co, Dy, Er, Eu, Ga, Gd, Nd, P, Pb, Sm, Te, U, Th, Li, Be, Ni, Cs, Nb, Al, Ce, Cr, Cu, Fe, K, La, Mg, Mn, Na, Sc, Ti, V, Y, Yb, Zn, Zr, Sb در فاکتور یک قرار می‌گیرند که نشان‌دهنده منشأ آواری برای این عناصر است. این گروه از عناصر عمدتاً مرتبط با منابع آتشفشانی شمال و جنوب منطقه می‌باشد. عناصر Bi, Rb, Tl, Ba, K در فاکتور دو و عناصر As, Mo, W در فاکتور سه قرار می‌گیرند. با وجود عدم توسعه صنعتی در منطقه، احتمالاً این عناصر از طریق آب‌های جاری وارد پلایا می‌شوند که در این صورت، رودخانه‌ها ممکن است این عناصر را وارد منطقه کنند. با این حال، میزان این عناصر در رسوبات پایین است و نمی‌توان آن‌ها را آلودگی آنتروپوژنیک دانست. همچنین عناصر Sr, As, Cd, Ca در فاکتور چهار قرار دارند. عناصر Sr و Ca نشان‌دهنده رسوب شیمیایی این عناصر در پلایا هستند در حالی که As و Cd با مقادیر منفی در فاکتور چهار نشان‌دهنده رابطه معکوس این عناصر با رسوبات شیمیایی و اتوزن پلایا می‌باشند. در نهایت، عنصر Na که در فاکتور یک حضور دارد، نشان‌دهنده منشأ آواری رسوبی این عنصر است. به نظر می‌رسد که Na از رسوبات تبخیری میوسن وارد حوضه شده و پس از ورود به حوضه، به صورت شیمیایی رسوب کرده و کانی‌ها را تشکیل می‌دهد.

جدول ۳: نتایج آنالیز شیمیایی نمونه های منطقه مورد مطالعه

Sample	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	L.O.I.*
1	64.5	11.6	3.7	7.1	2.0	2.5	2.1	0.5	4.4
2	66.0	12.4	4.2	6.1	2.1	2.8	2.3	0.5	3.4
3	61.9	11.5	4.4	9.2	2.4	2.3	2.2	0.5	5.0
4	70.4	12.5	3.4	3.9	1.8	2.6	2.4	0.4	2.4
5	65.6	12.3	4.7	6.1	2.0	2.7	2.3	0.6	3.3
6	60.5	11.3	4.0	10.5	2.9	2.2	1.9	0.5	5.8
7	65.5	12.1	4.1	6.6	2.3	2.5	2.3	0.5	3.8
8	65.3	12.5	4.1	6.1	2.3	3.0	2.0	0.6	3.7
9	65.1	13.0	4.0	5.7	2.7	2.7	2.1	0.5	3.5
10	64.5	12.6	5.6	5.4	2.6	2.6	1.9	0.8	3.5
11	47.0	8.9	2.9	11.9	2.0	1.5	2.3	0.4	9.3
12	67.8	11.2	3.7	5.5	2.2	2.1	2.9	0.5	3.6
13	64.6	12.9	5.1	5.1	2.8	2.7	2.1	0.8	3.2
14	13.3	3.7	2.1	25.8	2.2	0.5	0.9	0.2	17.8
15	42.1	12.0	5.6	14.0	3.7	1.5	2.5	0.6	13.5
16	42.3	13.9	5.6	11.5	4.3	3.0	2.6	0.6	10.3
17	61.2	12.1	4.2	9.0	3.1	2.0	1.9	0.5	5.5
18	63.1	13.5	3.4	6.4	1.7	3.6	2.8	0.4	3.9
19	70.8	12.6	2.9	2.8	2.6	2.7	2.5	0.3	2.5

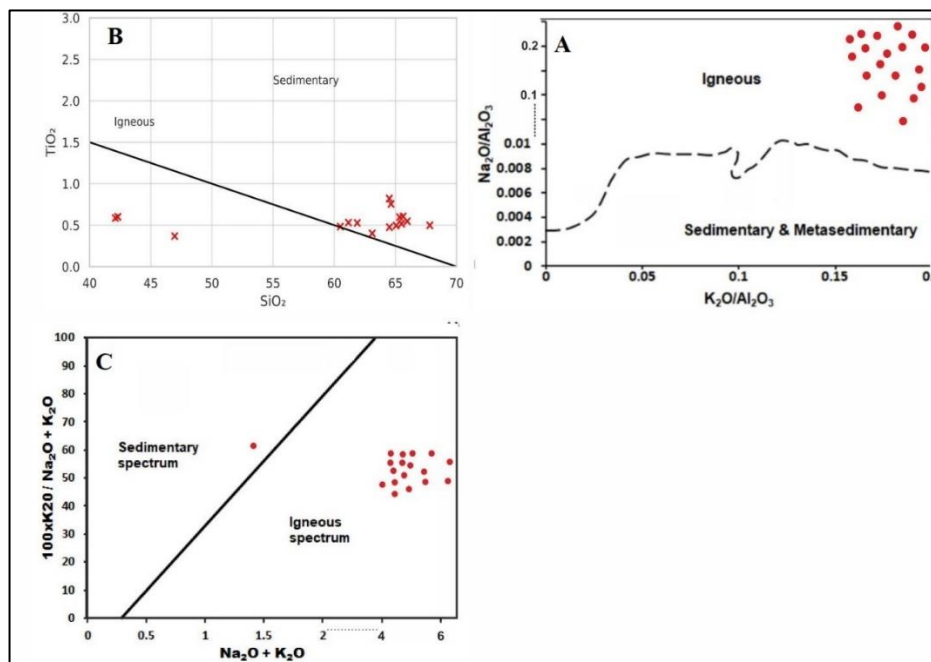
بحث

در فرایندهای دیاژنز، هوازدگی و دگرگونی، اکسید آلومینیوم به عنوان یک عنصر نسبتاً پایدار شناخته می شود (Smirnov et al., 2019) و در مطالعات ژئوشیمیایی رسوبات آواری به عنوان شاخصی از این ثبات استفاده می گردد (Heidari and Raheb, 2020). بر خلاف آن، اکسیدهای CaO، Na₂O و K₂O جزو فازهای متحرک در ماسه سنگها محسوب می شوند (Sharma et al., 2020). طبق برآوردها، میانگین درصد اکسید آلومینیوم در نمونه های بررسی شده از رسوبات منطقه حدود ۱۲ درصد بوده است. همان طور که در شکل ۵ مشاهده می شود، اکسید آلومینیوم همبستگی مثبت با اکسیدهای K₂O، MgO و TiO₂ دارد، و همچنین ارتباط مثبت ضعیفی با اکسید Fe₂O₃ نشان می دهد، در حالی که با اکسید CaO همبستگی منفی وجود دارد (Mahamuda et al., 2020). تحلیل تغییرات دو اکسید TiO₂ و Al₂O₃ نشان دهنده روند افزایشی مشابه و همبستگی مثبت این دو ترکیب است. میانگین درصد TiO₂ در منطقه حدود ۰.۵ درصد گزارش شده است. عنصر تیتانیوم عمدتاً در فیلوسیلیکاتها تمرکز می یابد و به دلیل تحرک پذیری کم آن در فرایندهای رسوبی نسبت به دیگر عناصر، می تواند به عنوان شاخصی مناسب برای تفسیر سنگ منشأ مورد استفاده قرار گیرد (Sharma et al., 2020). افزایش مقدار Al₂O₃ همراه با TiO₂ نشان دهنده همراهی TiO₂ با فیلوسیلیکاتها در این نواحی است (Heidari and Raheb, 2020). همچنین، بررسی همبستگی بین عناصر V و Cr با اکسید تیتانیوم، نشان دهنده ارتباط مثبت میان این عناصر و TiO₂ است. از آنجایی که Cr و V معمولاً با آهن و تیتانیوم در کانی های سنگین همراه هستند این همبستگی نشان دهنده حضور کانی های سنگین در منطقه مطالعه شده می باشد (Ho et al., 2019).



شکل ۵: بررسی روابط بین اکسید آلومینیوم (Al_2O_3) و سایر اکسیدهای اصلی در نمونه‌های رسوبی منطقه مورد مطالعه: (A) همبستگی مثبت بین Al_2O_3 و Fe_2O_3 (B)، همبستگی مثبت بین Al_2O_3 و K_2O (C)، همبستگی مثبت بین Al_2O_3 و MgO (D)، همبستگی منفی بین Al_2O_3 و CaO (E)، همبستگی مثبت بین Al_2O_3 و TiO_2 (F).

روند همبستگی مشابه بین اکسید آلومینیوم (Al_2O_3) و عناصر فرعی شامل اسکاندیوم (Sc)، وانادیوم (V)، توریم (Th)، کبالت (Co)، نیوبیم (Nb)، کروم (Cr) و لانتانیم (La) در نمونه‌های مورد مطالعه مشاهده می‌شود. یکی از دلایل احتمالی برای حضور کانی‌های سنگین در این منطقه، وجود همبستگی مثبت میان این عناصر، به‌ویژه بین Al_2O_3 و Cr، می‌باشد این موضوع با نتایج حاصل از مطالعات پتروگرافی نیز مطابقت دارد و تأییدکننده وجود کانی‌های سنگین در منطقه است (Heidari and Raheb, 2020). عناصر اصلی، اطلاعاتی در مورد ترکیب سنگی منشأ و همچنین تأثیر فرایندهای رسوبی مانند هوازدگی و دانه‌بندی فراهم می‌کنند (McLennan et al., 1993). نمودارهای تفکیک منشأ سنگ مادر هستند که برای نمونه‌های مورد بررسی به‌کار رفته‌اند. تقریباً همه نمونه‌ها در محدوده منشأ آذرین قرار گرفته‌اند. بنابراین منشأ آذرین می‌تواند به این سنگ‌ها نسبت داده شود (شکل ۶).

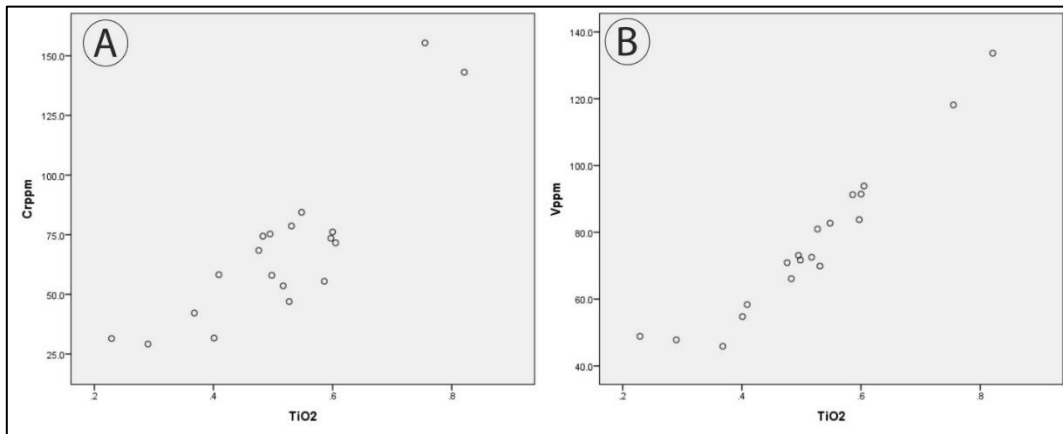


شکل ۶: نمودارهای شناسایی سنگ مادر (Protolith)، A: نمودار TiO_2 در برابر SiO_2 برای تفکیک بین منشأ آذرین و رسوبی (براساس Tarney, 1977)، B: نمودار دوتایی K_2O/Al_2O_3 در برابر Na_2O/Al_2O_3 جهت تشخیص منشأ آذرین از منشأ رسوبی و فرورسوب شده (براساس Garrels and Mackenzie, 1971) و C: نمودار $100 \times K_2O / Na_2O + K_2O$ در برابر $Na_2O + K_2O$ برای تفکیک طیف رسوبی از آذرین (براساس Honkamo, 1987).

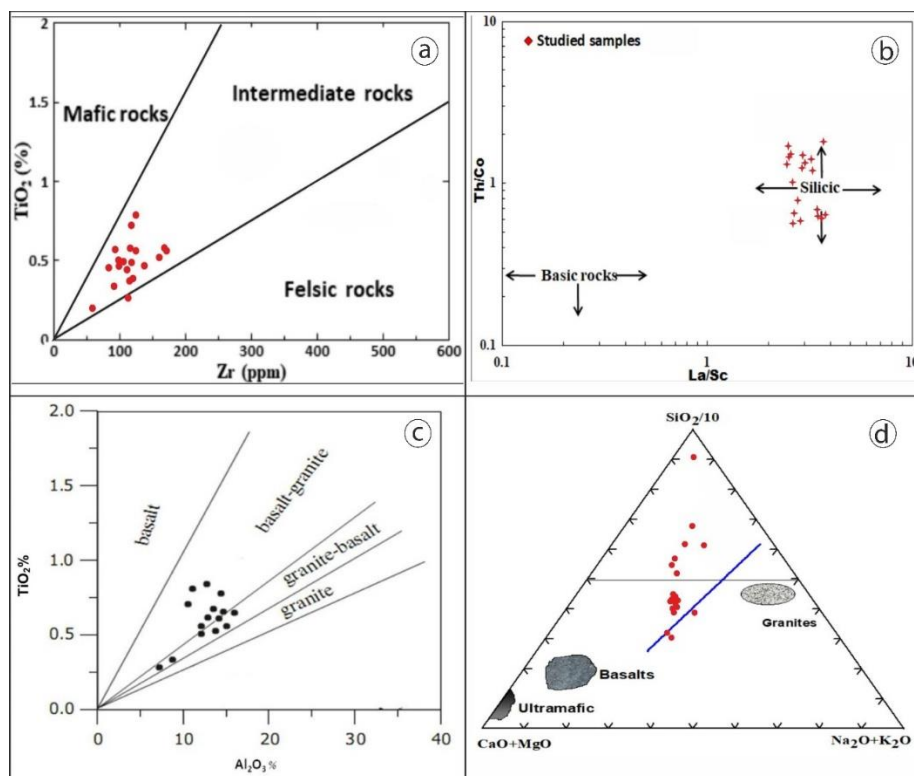
براساس نمودار گرفته شده از (Huntsman et al., 2009)، با استفاده از درصدهای فراوانی K_2O-Na_2O می توان منشأ رسوبات را به سه دسته ی غنی از کوارتز، با کوارتز متوسط و فقیر از کوارتز طبقه بندی کرد. نمودار Crook (۱۹۷۴) برای این طبقه بندی استفاده شده است. مطابق شکل، نمونه های مورد مطالعه در ناحیه ی غنی از کوارتز قرار می گیرند. داده های حاصل از آنالیز نمونه های مورد مطالعه که در توابع تفکیکی فوق محاسبه شده اند، در شکل ۶ (d) ترسیم شده است و نشان دهنده ی منشأ کوارتزی برای تمامی نمونه های مورد مطالعه است. به عقیده ی برخی پژوهشگران، منشأ اصلی رسوبات، سنگ های آذرین فلسیک، با منشأ فلسیکی و اولترامافیک بوده و منشأ کوارتز نیز در محدوده فلسیک در نظر گرفته می شود. با استفاده از نمودار مثلثی $(SiO_2/10)-(CaO+MgO)-(Na_2O+K_2O)$ نیز می توان در رابطه با سنگ مادر سنگ های رسوبی اظهار نظر کرد. بر این اساس، نمونه های مورد مطالعه در درصدهای میانگین شیمیایی مشابه با ترکیب حنواسط قرار می گیرند (شکل ۶). همچنین، بررسی نسبت Al_2O_3/TiO_2 در رسوبات سیلیسی آواری نیز ترکیب سنگ مادر را مشخص می کند. به طوری که در سنگ های آذرین، سنگ های آذرین بازیک دارای نسبت های ۳ تا ۸، سنگ های آذرین آندزیتی دارای نسبت های ۸ تا ۲۱ و سنگ های آذرین فلسیک دارای نسبت بیش از ۲۱ هستند Laird (۱۹۷۲) معتقد است که رسوبات منشأ گرفته از سنگ مادر کوارتزی از مناطق با رخنمون های گرانیتی-گنایسی قدیمی منشأ شده اند. Nathan (۱۹۷۶) نیز عقیده دارد این رسوبات حاصل چرخه های مجدد رسوب گذاری بوده و احتمالاً از مناطق رسوبی که از پیش وجود داشته اند منشأ گرفته اند.

به عقیده‌ی Taylor & McLennan (۱۹۸۵)، مقایسه‌ی نسبت اکسیدهای اصلی رسوبات آواری با سنگ مادرهای احتمالی مانند گرانیت، بازالت و سنگ‌های اولترامافیک (سنگهای حلواسط)، در تعیین منشأ رسوبات مؤثر است. براساس نمودار Al_2O_3 در مقابل TiO_2 می‌توان منشأ رسوبات را به چهار دسته سنگهای بازالتی، بازالت گرانیت، گرانیت بازالت و گرانیت طبقه بندی کرد. با ترسیم داده‌های نمونه‌های مورد مطالعه (شکل ۷c)، بیش از نیمی از نمونه‌ها در ناحیه گرانیت بازالتی و بقیه نمونه‌ها در ناحیه بازالت گرانیتی قرار می‌گیرند. این موضوع نشان می‌دهد که به احتمال زیاد ترکیب سنگ منشأ حلواسط تا گرانیتی است (شکل ۸ a و c).

بررسی تغییرات دو اکسید TiO_2 و Al_2O_3 نشان می‌دهد که این دو ترکیب دارای روند افزایشی مشابه و همبستگی مثبتی با سایر عناصر مورد بررسی هستند. افزایش Al_2O_3 همراه با TiO_2 ، بیانگر همراهی TiO_2 با فیلسیلیکات‌ها در این نواحی است. همچنین بررسی همبستگی عناصر V و Cr با اکسید تیتانیوم، نشان‌دهنده ارتباط مثبت میان این عناصر و TiO_2 است. از آنجایی که Cr و V معمولاً با آهن و تیتانیوم در کانی‌های سنگین همراه هستند، همبستگی آن‌ها با TiO_2 نشان‌دهنده حضور کانی‌های سنگین در منطقه مورد مطالعه است (شکل ۷). جهت شناسایی نمودارهای شناسایی سنگ مادر از نمودار TiO_2 در برابر SiO_2 برای تفکیک بین منشأ آذرین و رسوبی (Tarney, 1977)، نمودار دوتایی K_2O/Al_2O_3 در برابر Na_2O/Al_2O_3 جهت تشخیص منشأ آذرین از منشأ رسوبی و فرورسوب شده (Garrels and Mackenzie, 1971) و نمودار $100 \times K_2O / Na_2O + K_2O$ در برابر $Na_2O + K_2O$ برای تفکیک طیف رسوبی از آذرین (Honkamo, 1987) استفاده شد. براساس نمودارهای تحلیلی یاد شده تقریباً همه نمونه‌های برداشت شده از ریگ یلان با منشأ آذرین هستند. با توجه به نمودار TiO_2-Zr (Hayashi et al., 1997)، نمونه‌های برداشت شده غالباً منشأ حلواسط با سنگ مادرهای احتمالی مانند گرانیت، بازالت و سنگ‌های اولترامافیک (سنگ‌های حلواسط) است. براساس نمودار Al_2O_3 در مقابل TiO_2 (Amajor, 1987) می‌توان منشأ رسوبات را به چهار دسته سنگهای بازالتی، بازالت گرانیت، گرانیت بازالت و گرانیت طبقه بندی کرد. با ترسیم داده‌های نمونه‌های مورد مطالعه، بیش از نیمی از نمونه‌ها در ناحیه گرانیت بازالتی و بقیه نمونه‌ها در ناحیه بازالت گرانیتی قرار می‌گیرند. این موضوع نشان می‌دهد که به احتمال زیاد ترکیب سنگ منشأ حلواسط تا گرانیتی است (شکل ۸).



شکل ۷: بررسی روابط بین اکسید تیتانیوم (TiO_2) با اکسید آلومینیوم (Al_2O_3) و عناصر وانادیوم (V) و کروم (Cr) در نمونه‌های مورد مطالعه: (A) همبستگی مثبت بین TiO_2 و Al_2O_3 ، (B) همبستگی مثبت بین TiO_2 و Cr، (C) همبستگی مثبت بین TiO_2 و V.

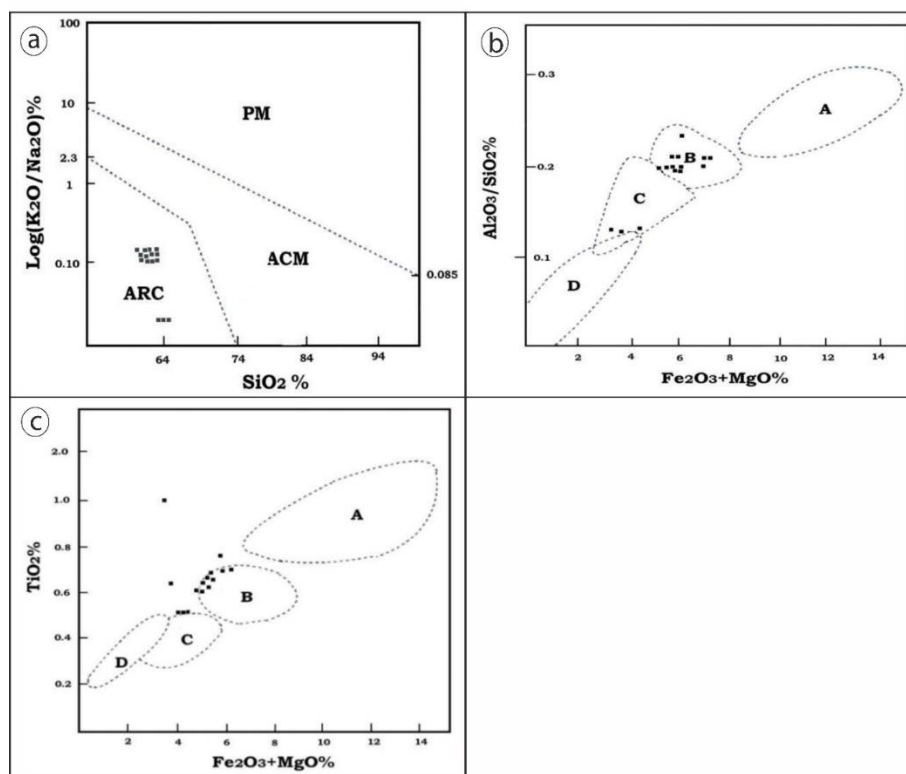


شکل ۸: a: نمودار TiO_2 -Zr برای رسوبات (Hayashi et al., 1997)، b: نمودار Th/Co در برابر La/Sc برای نمونه‌های ماسه ای، c: نمودار Al_2O_3 در مقابل TiO_2 برای تعیین منشأ رسوبات آواری بیابان لوت (Amajor, 1987) و d: نمودار مثلثی $(\text{SiO}_2/10)$ - $(\text{CaO}+\text{MgO})$ - $(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})$ ارتباط سنگ مادر سنگ‌های رسوبی

برای تعیین جایگاه زمین‌ساختی مجموعه‌های آواری رسوبی، می‌توان از نمودارهای تفکیکی تکتونیکی مبتنی بر عناصر اصلی استفاده کرد. در این نمودارها، ماسه‌سنگ‌ها و گل‌سنگ‌ها در چهار جایگاه زمین‌ساختی طبقه‌بندی می‌شوند: حاشیه قاره‌ای غیرفعال (PM)، حاشیه قاره‌ای فعال (ACM)، جزایر کمائی اقیانوسی (OIA) و جزایر کمائی قاره‌ای (CIA) (Roser & Korsch, 1986; Bhatia, 1983; McLennan et al., 1990). در این مطالعات، ترکیب شیمیایی ماسه‌سنگ‌ها و گل‌سنگ‌ها مبنای تعیین موقعیت زمین‌ساختی آن‌ها قرار گرفته است. Roser and Korsch در سال ۱۹۸۶، برای تعیین جایگاه تکتونیکی رسوبات آواری، نمودار $\log(K_2O/Na_2O)$ در برابر SiO_2 را پیشنهاد کرده‌اند (شکل ۹ a). براساس ترسیم داده‌های مربوط به رسوبات بیابان لوت در این نمودار، تمامی نمونه‌ها در محدوده جزایر قوسی قرار می‌گیرند. رسوباتی که در محیط‌هایی مانند جزایر قوسی (اقیانوسی یا قاره‌ای)، حاشیه‌های قاره‌ای فعال یا غیرفعال نهشته می‌شوند از نظر ترکیب شیمیایی به‌ویژه نسبت‌های Al_2O_3/SiO_2 و TiO_2 با نسبت Fe_2O_3+MgO تفاوت‌های مشخصی با یکدیگر دارند. Bhatia (۱۹۸۳) نیز از ترکیب شیمیایی این عناصر برای تفکیک محیط‌های زمین‌ساختی استفاده کرده و مجموعه‌ای از نمودارهای دوبعدی معرفی کرده است (شکل ۹ c). با ترسیم داده‌های نمونه‌ها بر روی این نمودارها: در نمودار TiO_2 در برابر Fe_2O_3+MgO ، از میان ۱۹ نمونه، ۱۶ نمونه در محدوده جزایر قوسی قاره‌ای و ۳ نمونه نزدیک به محدوده حاشیه‌های فعال قاره‌ای قرار می‌گیرند. در نمودار Al_2O_3/SiO_2 در برابر Fe_2O_3+MgO ، تعداد ۱۶ نمونه در محدوده جزایر قوسی قاره‌ای و ۳ نمونه در محدوده حاشیه‌های فعال قاره‌ای جای دارند (شکل ۹ b و c). با توجه به ویژگی‌های تکتونیکی فعال منطقه و وجود پهنه فرورانش در این ناحیه، سنگ‌های آتشفشانی حاصل از این فرایند نقش قابل توجهی در پراکندگی و ترکیب رسوبات دارند. علمیردانی (۱۳۷۸) چهار سری آتشفشانی را در نواحی فرورانش گزارش کرده است: سری تولییتی کوارتزدار معمولاً در کمان‌های آتشفشانی جوان و حوضه‌های پشت‌کمائی مشاهده می‌شود. این سری شامل بازالت‌های تولییتی، سنگ‌های حل‌واسط و اسیدی است و نشانگر تبلور از ماگمایی با منشأ گوشته‌ای و شرایط اکسیژن‌دار پایین است. سری کالکوالکالن یا هیپرستن غنی از سیلیس بوده و معمولاً بیش از ۱۷ درصد Al_2O_3 دارد. این سری در مناطق فرورانش و در ارتباط با فعالیت‌های ماگمایی قوسی شکل می‌گیرد و حاصل ذوب بخشی گوشته متاسوماتی شده به‌وسیله سیالات حاصل از فرورانش پوسته اقیانوسی است. سری آلکالن از نظر سیلیس فقیر ولی از عناصر آلکالن (سدیم و پتاسیم)، عناصر نادر خاکی، مواد فرار و کانی‌هایی نظیر ارتوپروکسن، پیژونیت و الیون پایدار غنی است. در این سری، فلدسپاتوئیدهایی مانند نفلین، آنالیم و لوسیت نیز دیده می‌شوند. چنین سنگ‌هایی معمولاً در صفحات قاره‌ای درون‌صفحه‌ای یا ناحیه‌های اقیانوسی غیر فرورانشی تشکیل می‌شوند. سری شوشونیتی داخلی از نظر ژئوشیمیایی میان سری کالکوالکالن و آلکالن قرار دارد و معمولاً در زون آند و مناطق مرتبط با فرورانش دیده می‌شود. با این حال، از آنجا که این سری می‌تواند در محیط‌های قاره‌ای نیز حضور داشته باشد شاخص قطعی و مطمئنی برای تشخیص محیط فرورانش محسوب نمی‌شود.

با توجه به درصد بالای SiO_2 در نمونه‌های مورد بررسی، و جایگیری داده‌های ژئوشیمیایی در نواحی غنی از سیلیس و همچنین موقعیت نمونه‌ها در ناحیه ترکیب حل‌واسط متمایل به فلسیک، می‌توان سری تولییتی غنی از سیلیس (که شامل سنگ‌های حل‌واسط و اسیدی با Al_2O_3 بالا است) را به‌عنوان منشأ اصلی رسوبات ماسه‌ای بیابان لوت معرفی

کرد. این رسوبات، پس از فرسایش از سنگ مادر، حمل و در منطقه ریگ یلان نهشته شده‌اند. براساس نمودار (Roser and Korsch, 1986) جایگاه تکتونیکی رسوبات آواری بیابان لوت، جزایر قوسی و حاشیه فعال قاره ای می باشد با توجه به بررسی های صورت گرفته، سنگ های مادر رسوبات بستر ریگ یلان غالباً بخش جنوب و جنوب غربی بیابان لوت تشخیص داده می شود. با توجه به اینکه بخش های شمالی غالباً سنگ های آذرین بیرونی است لذا برای توجیه نتایج آنالیز ها نیاز به سنگ مادر حدواسط با ترکیب آذرین بیرونی و درونی (گرانیت بازالتی و بازالت گرانیتی) نیاز است این سنگ ها صرفاً در بخش جنوب و جنوب غربی بیابان لوت قابل مشاهده است.



شکل ۹: a) نمودار تعیین جایگاه تکتونیکی رسوبات آواری بیابان لوت؛ محدوده‌های مشخص شده شامل موارد زیر هستند، ARC: جزایر قوسی اقیانوسی، ACM: جزایر قوسی قاره‌ای، PM: حاشیه‌های قاره‌ای غیرفعال، برگرفته از (Roser & Korsch, 1986)، b و c: نمودارهای تفکیک‌کننده براساس نسبت $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ در برابر درصد $\text{Fe}_2\text{O}_3+\text{MgO}$ و درصد TiO_2 در برابر درصد $\text{Fe}_2\text{O}_3+\text{MgO}$ برگرفته از (Bhatia, 1983) a: جزایر قوسی اقیانوسی، b: جزایر قوسی قاره‌ای، c: حاشیه‌های فعال قاره‌ای، d: حاشیه‌های غیرفعال).

نتیجه‌گیری

برپایه نتایج کانی‌شناسی و مورفوسکوپی غالب کانی موجود در رسوبات ماسه‌ای بیابان لوت و ریگ یلان شامل کوارتز، فلدسپار، کلسیت و کانی‌های رسی است. در دشت ریگی و پهله کلوت وجود همزمان ذرات با گردش‌دهی‌های متفاوت، ذرات کدر و شفاف همچنین وجود رسوبات با رسیدگی (مچوریتی) کانی‌شناسی پایین در نمونه‌های ماسه‌های بادی از تامین رسوب از چند منشأ، با فواصل و فرایندهای مختلف در زمان‌های گذشته حکایت دارد. از منشاهای ماسه‌های بادی خارج از محدوده کلوت می‌توان به رسوبات مخروط‌افکنه‌ای بزرگ در بخش‌های شمالی و شمال غرب و غرب بلوک لوت که اکثر ذرات آذرین و رسوبات مخروط‌افکنه‌ای که به ترتیب فراوانی آذرین، دگرگونی و رسوبی تشکیل می‌دهند اشاره کرد. بررسی‌های ژئوشیمیایی نمونه‌های رسوبی برداشت‌شده از منطقه‌ی بیابان لوت (به‌ویژه ناحیه ریگ یلان) نشان می‌دهد که اکسید آلومینیوم (Al_2O_3) به‌عنوان یکی از عناصر نسبتاً پایدار در فرآیندهای دیاژنتیکی، هوازدگی و دگرگونی، نقش مهمی در تفسیر منشأ و ترکیب سنگ مادر دارد. همبستگی مثبت Al_2O_3 با K_2O ، MgO ، TiO_2 و Fe_2O_3 و نیز همبستگی منفی با CaO نشانگر غنی‌شدگی نمونه‌ها از کانی‌های رسی و فیلسیلیکاتی است. روند افزایشی و همبستگی مثبت بین Al_2O_3 و TiO_2 بیانگر تمرکز هر دو اکسید در فازهای فیلسیلیکاتی و حضور کانی‌های سنگین مانند ایلمنیت، مگنتیت و روتیل است. همبستگی مثبت TiO_2 با عناصر Cr و V نیز موید این موضوع بوده و بیانگر وجود کانی‌های سنگین در ترکیب رسوبات منطقه می‌باشد. نتایج حاصل از نمودارهای تعیین منشأ سنگ مادر (از جمله نمودارهای TiO_2-SiO_2 ، K_2O/Al_2O_3 ، در برابر Na_2O/Al_2O_3 ، TiO_2-Zr و Al_2O_3 - TiO_2) نشان داد که بیشتر نمونه‌ها در محدوده‌ی منشأ آذرین، به‌ویژه ترکیب‌های حواسط تا فلسیک (گرانیت بازالتی و بازالت گرانیتی) قرار دارند. نسبت‌های Al_2O_3/TiO_2 نیز این تفسیر را تأیید کرده و بیانگر منشأ سنگ‌های آذرین حواسط تا فلسیک برای رسوبات است. داده‌های به‌دست‌آمده از نمودارهای مثلثی $(CaO+MgO)-(SiO_2/10)$ و (Na_2O+K_2O) نیز تطابق خوبی با ترکیب‌های حواسط نشان می‌دهد. از نظر جایگاه زمین‌ساختی، ترسیم داده‌های نمونه‌ها در نمودارهای Roser & Korsch (۱۹۸۶) و Bhatia (۱۹۸۳) حاکی از آن است که بیشتر نمونه‌ها در محدوده‌ی جزایر قوسی قاره‌ای و حاشیه‌های فعال قاره‌ای جای می‌گیرند. این موضوع با شواهد زمین‌ساختی منطقه و وجود پهله‌های فرورانش در جنوب و جنوب‌غرب بیابان لوت هم‌خوانی دارد. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که منشأ اصلی رسوبات مورد مطالعه، سنگ‌های آذرین حاصل از فعالیت‌های ماگمایی مرتبط با مناطق فرورانشی است. همچنین، مقایسه‌ی سری‌های ماگمایی در منطقه نشان داد که ویژگی‌های ژئوشیمیایی نمونه‌ها بیشترین تطابق را با سری تولییتی غنی از سیلیس دارند. این سری شامل سنگ‌های حواسط و اسیدی با مقدار بالای Al_2O_3 بوده و معمولاً در کمان‌های آتشفشانی جوان و محیط‌های پشت‌کمانی تشکیل می‌شود. از این‌رو، منشأ رسوبات ماسه‌ای بیابان لوت را می‌توان به سنگ‌های آذرین تولییتی با ترکیب حواسط تا فلسیک نسبت داد که پس از فرسایش و انتقال، در ناحیه‌ی ریگ یلان نهشته شده‌اند.

منابع

- علایی طالقانی، م. (۱۳۹۰). زمین‌شناسی کویر لوت و پدیده‌های ژئومورفولوژیک آن. انتشارات دانشگاه شهید باهنر کرمان. بهنیا، م. و قنبرزاده، س. (۱۳۹۷). تحلیل ریخت‌شناسی کلت‌های لوت. فصلنامه جغرافیا و توسعه، ۱۶(۵۴)، ۴۵-۶۲. درویش‌زاده، م. (۱۳۷۱). زمین‌شناسی ایران. انتشارات دانشگاه تهران. رجبی، م. (۱۳۸۳). ژئومورفولوژی فرسایشی. انتشارات پیام نور. رامشت، م. و همکاران. (۱۳۹۸). تحلیل منشأ کلت‌های لوت با استفاده از داده‌های رسوب‌شناسی. نشریه زمین‌شناسی ایران، ۳۴(۳)، ۹۹-۱۱۲. مقیمی، م. (۱۴۰۱). بررسی الگوی بادهای مؤثر بر تغییرات ماسه‌ای در بیابان لوت. مجله هواشناسی ایران، ۱۳(۲)، ۷۵-۹۱. مقصودی، ح. و همکاران. (۱۳۹۹). تحلیل دینامیک تپه‌های ماسه‌ای ریگ لوت. پژوهش‌های بیابان‌زدایی، ۹(۴)، ۲۲۱-۲۳۹. محمودی، ف. (۱۳۸۸). ویژگی‌های ریختی و ژئومورفولوژیکی ریگ لوت. مجله جغرافیا و مخاطرات محیطی، ۳(۱)، ۱۱-۲۸. نگارش، ن. (۱۳۹۱). مطالعه کلت‌های بیابان لوت با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید باهنر کرمان. علمبردانی، م. (۱۳۷۸). ویژگی‌های ژئوشیمیایی سنگ‌های آتشفشانی نواحی فرورانش ایران. مجله علوم زمین، ۷(۲۸)، ۱۲۵-۱۴۲.

- Alagarsamy, R., & Zhang, J. (2010). Geochemical characterization of sediments and trace metal distribution in the East China Sea. *Continental Shelf Research*, 30(3), 499–518.
- Amajor, L. C. (1987). Major element geochemistry of Albian sandstones from the Benue trough, Nigeria: implications for provenance. *Sedimentary Geology*, 54, 47–60.
- Bhatia, M. R. (1983). Plate tectonics and geochemical composition of sandstones. *Journal of Geology*, 91(6), 611–627.
- Condie, K. C., Wronkiewicz, D. J., & others. (1992). The major-element composition of graywackes and tectonic setting discrimination of ancient sedimentary basins. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 56(10), 3713–3729.
- Crook, K. A. W. (1974). Lithogenesis and geotectonics: the significance of compositional variation in flysch arenites. *Society of Economic Paleontologists and Mineralogists Special Publication*, 19, 304–310.
- Cullers, R. L. (1995). The controls on the major- and trace-element variation of shales, siltstones, and sandstones of Pennsylvanian–Permian age from uplifted continental blocks in Colorado to platform sediment in Kansas, USA. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 59(21), 4591–4612.
- Garrels, R. M., & Mackenzie, F. T. (1971). *Evolution of Sedimentary Rocks*. W.W. Norton & Company.
- Hayashi, K. I., Fujisawa, H., Holland, H. D., & Ohmoto, H. (1997). Geochemistry of about 1.9 Ga sedimentary rocks from northeastern Labrador, Canada. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 61(19), 4115–4137.
- Heidari, M., & Raheb, M. (2020). Geochemistry of detrital sediments: Insights into provenance and weathering processes. *Journal of African Earth Sciences*, 170, 103942.
- Ho, K. H., Lee, T. Y., & Chen, J. (2019). Heavy mineral assemblages as indicators of provenance and weathering. *Sedimentary Geology*, 389, 12–24.
- Honkamo, K. (1987). Tectonic settings of sandstones analyzed by chemical composition. *Lithos*, 20(3), 195–205.
- Huntsman, J. R., et al. (2009). Provenance analysis using K₂O–Na₂O variations in sandstones. *Sedimentary Geology*, 219(1–4), 205–218.

- Laird, M. G. (1972). Sedimentology and provenance of a late Paleozoic–Mesozoic New Zealand greywacke. *New Zealand Journal of Geology and Geophysics*, 15(1), 92–111.
- Mahamuda, S., Rahman, M. J. J., & Islam, M. S. (2020). Geochemical and mineralogical characteristics of the Bengal Basin sediments. *Marine Georesources & Geotechnology*, 38(5), 533–546.
- McLennan, S. M., Hemming, S., Taylor, S. R., & Eriksson, K. A. (1993). Early Proterozoic crustal evolution: Geochemical evidence from metasedimentary rocks of the Huronian Supergroup, Canada. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 57(16), 3781–3792.
- Nathan, Y. (1976). The geochemistry of detrital sediments. *Sedimentary Geology*, 15, 173–189.
- Potts, P. J. (1987). *A Handbook of Silicate Rock Analysis*. Blackie and Son Ltd.
- Roser, B. P., & Korsch, R. J. (1986). Determination of tectonic setting of sandstone–mudstone suites using SiO₂ content and K₂O/Na₂O ratio. *Journal of Geology*, 94(5), 635–650.
- Sharma, A., Mehta, P., & Singh, S. (2020). Provenance and tectonic implications from major element geochemistry of Neoproterozoic sandstones. *Precambrian Research*, 343, 105700.
- Smirnov, V., Ivanov, A., & Kuznetsov, V. (2019). Geochemical characteristics of detrital sediments in ancient rift basins. *Geosciences Journal*, 23(4), 487–502.
- Tarney, J. (1977). Petrology, geochemistry, and tectonic setting of Archaean metavolcanic rocks from Greenland. *Precambrian Research*, 4, 163–194.
- Taylor, S. R., & McLennan, S. M. (1985). *The Continental Crust: Its Composition and Evolution*. Blackwell, Oxford.