

## مطالعه زمین‌شناسی، کانی‌شناسی و زمین‌شیمی بنتونیت منطقه اصقول (جنوب شرق بیرجند)

ملیحه نخعی<sup>۱\*</sup>، سید سعید محمدی<sup>۲،۳</sup>

۱- گروه مهندسی معدن، دانشکده عمران، معدن و شیمی، دانشگاه صنعتی بیرجند، بیرجند، ایران

۲- گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران

۳- گروه پژوهشی علوم زمین، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران

nakhaei@birjandut.ac.ir

ssmohammadi@birjand.ac.ir

### چکیده

منطقه اصقول در جنوب بیرجند بخشی از آمیزه افیولیتی پهنه جوش خورده سیستان بوده و رخنمون‌هایی از سنگ‌های اولترامافیک، مافیک، آتشفشانی و نهشته‌های رسوبی نتوژن تا کواترنر را در بر می‌گیرد. سنگ‌های میزبان بنتونیت شامل دیوریت پورفیری و آندزیت هستند که شواهد گسترده‌ای از دگرسانی کربناتی نشان می‌دهند. نتایج کانی‌شناسی (XRD) بیانگر غالب بودن مونت‌موریونیت همراه با آلبیت و کوارتز در بنتونیت‌های منطقه است. شواهد صحرایی نظیر لایه‌بندی، چین‌خوردگی ملایم و وجود قطعات گردشده آندزیتی، منشأ نابرجا و رسوب‌گذاری در یک حوضه فعال زمین‌ساختی را تأیید می‌کند. داده‌های ژئوشیمیایی، قرارگیری نمونه‌ها در محدوده آندزیت تا داسیت و وابستگی به سری ماگمایی کالک‌آلکالن را نشان می‌دهند. الگوهای عناصر نادر خاکی و عناصر کمیاب بهنجار شده، غنی‌شدگی LREE و LILE و آنومالی منفی Nb و Ti را آشکار می‌سازند که نشان‌دهنده منشأ ماگمایی مرتبط با فروانش است. بنتونیت‌های اصقول حاصل دگرسانی سنگ‌های آتشفشانی حدواسط و تکامل‌یافته در شرایط رسوبی-هیدروترمال می‌باشد.

**کلیدواژه‌ها:** بنتونیت، مونت‌موریونیت، اصقول، پهنه جوش خورده سیستان

## Geological, mineralogical, and geochemical study of the Osghool bentonite deposit (southeast of Birjand)

Malihe Nakhaei<sup>1\*</sup>, Seyyed Saeid Mohammadi<sup>2,3</sup>

1- Department of mining engineering, Faculty of civil, mining and chemistry, Birjand university of technology, Birjand, Iran

2-Department of Geology, Faculty of Science, University of Birjand, Birjand, Iran

3-Earth Sciences Research Group, University of Birjand, Birjand, Iran

\*nakhaei@birjandut.ac.ir

ssmohammadi@birjand.ac.ir

### Abstract

The Osghool area in southeast Birjand is part of the ophiolitic mélange of the Sistan Suture Zone, exposing ultramafic, mafic, and volcanic rocks, along with Neogene to Quaternary sedimentary deposits. The bentonite-hosting rocks consist mainly of porphyritic diorite and andesite, which exhibit extensive carbonate alteration. Mineralogical analyses (XRD) indicate that montmorillonite is the dominant phase in the bentonites, accompanied by albite and quartz. Field observations, including bedding, mild folding, and the presence of well-rounded andesitic clasts, confirm the allochthonous nature of the deposits and their deposition in an active tectonic basin. Geochemical data classify the host rocks within the andesite-to-dacite range of the calc-alkaline magma series. Rare earth element (REE) patterns and normalized trace element data show LREE and LILE enrichment, along with negative Nb and Ti anomalies, indicating a subduction-related magmatic origin. Overall, the Osghool bentonites formed through hydrothermal alteration of intermediate volcanic rocks, reflecting the interplay of sedimentary-hydrothermal processes.

**Keywords:** Bentonite, Montmorillonite, Osghool, Sistan Suture Zone

#### مقدمه

منطقه اصقول در جنوب بیرجند بخشی از آمیزه افیولیتی پهنه جوش خورده سیستان است و رخنمون‌هایی از سنگ‌های اولترامافیک، مافیک، آتشفشانی و نهشته‌های رسوبی نئوژن تا کواترن را در بر می‌گیرد. منطقه مورد مطالعه در فاصله حدود ۴۴ کیلومتری جنوب شرق بیرجند و در محدوده نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰,۰۰۰ بیرجند قرار داشته (اوهانیان و طاطاوسی، ۱۹۷۸) و در حوالی روستای اصقول گسترش یافته است. پهنه بنتونیتی اصقول در فاصله حدود یک کیلومتری جنوب غرب این روستا و در حاشیه جاده اصقول-گز واقع شده و بخش مرکزی آن دارای موقعیت جغرافیایی  $32^{\circ}36'38''$  عرض جغرافیایی شمالی و  $59^{\circ}32'19''$  طول جغرافیایی شرقی می‌باشد. این تنوع زمین‌شناسی و موقعیت تکنیکی ویژه، شرایط مناسبی را برای شکل‌گیری و تمرکز نهشته‌های رسی، به‌ویژه بنتونیت، فراهم آورده است. بنتونیت سنگی رسی با کانی غالب مونتورونیت است که معمولاً در اثر دگرسانی سنگ‌های آتشفشانی، به‌ویژه خاکسترها و گدازه‌های حدواسط تا اسیدی، در محیط‌های رسوبی، دیاژنتیکی یا هیدروترمال تشکیل می‌شود (Grim and Güven, 1978; Murray, 2007). ویژگی‌های کانی‌شناسی و زمین‌شیمیایی بنتونیت‌ها به شدت تحت تأثیر ماهیت سنگ مادر، ترکیب سیال دگرسان‌کننده و شرایط زمین‌ساختی منطقه قرار دارد (Christidis and Huff, 2009). بنتونیت‌های منطقه اصقول پیش‌تر نیز به‌صورت محدود مورد توجه قرار گرفته‌اند؛ به‌طوری‌که یک نمونه از این نهشته در سال ۱۳۸۶ توسط نخعی و همکاران مورد مطالعه قرار گرفته با این حال، تاکنون بررسی جامعی که به‌طور هم‌زمان زمین‌شناسی، سنگ‌نگاری، کانی‌شناسی و زمین‌شیمی بنتونیت‌های این منطقه را تحلیل نماید، ارائه نشده است. از این رو، هدف اصلی پژوهش حاضر، مطالعه جامع بنتونیت‌های منطقه اصقول و تبیین منشأ، شرایط تشکیل و ارتباط آن‌ها با ماگماتیسزم قوسی و فرآیندهای تکنیکی شرق ایران می‌باشد.

#### مواد و روش‌ها

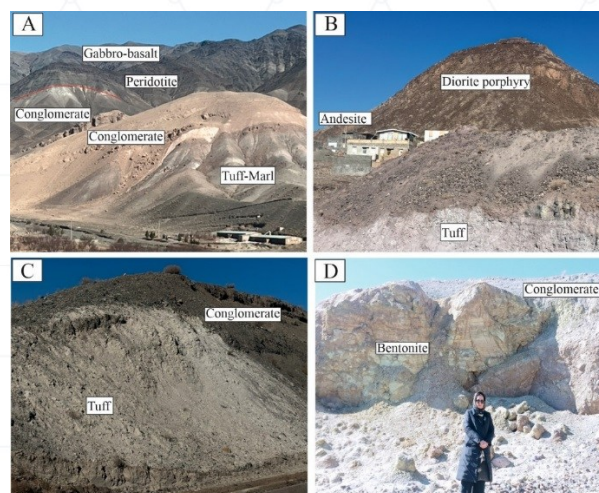
برای انجام این پژوهش، طی پیمایش‌های صحرایی، از رخنمون‌های مناسب سنگ‌های نیمه عمیق-آتشفشانی، نمونه‌برداری انجام شد. سپس از نمونه‌های مناسب، مقطع نازک تهیه و مورد مطالعات سنگ‌نگاری قرار گرفت. علاوه بر این، به منظور پی بردن به ترکیب کانی‌شناسی و زمین‌شیمی بنتونیت جنوب اصقول، دو نمونه مورد آنالیز کانی‌شناسی به روش XRD و چهار نمونه مورد آنالیز ژئوشیمی به روش‌های XRF و ICP-MS (برای عناصر اصلی و کمیاب) قرار گرفت.

#### بحث

##### زمین‌شناسی منطقه

منطقه اصقول بخشی از آمیزه افیولیتی جنوب بیرجند است که به شکل کلی کمائی دارای تحدب به سمت شمال شرق به پهنه جوش خورده سیستان (Tirrul et al., 1982) تعلق دارد. رخنمون‌های سنگی در جنوب بیرجند شامل واحدهای پوسته اقیانوسی و گوشته فوقانی همراه رسوبات پلاژیک، نهشته‌های رخساره فلیش، رخساره مولاس، سنگ‌های آتشفشانی و آذرآواری ترشیری-کواترنری و نهشته‌های کواترنر هستند. قدیمی‌ترین واحد سنگی در منطقه اصقول، سنگ‌های اولترامافیک متعلق به کرتاسه بالایی بوده که به‌طور گسترده در شمال روستای اصقول رخنمون دارد. امتداد کلی این واحد شمال غرب-جنوب شرق بوده و عمدتاً از نوع هارزبورژیت است که با درجات مختلف، فرآیند سرپانتینی شدن را تحمل نموده است. در مناطق گسلی موجود در پریدوتیت‌های شمال اصقول، رگه‌های لیستونیت و منیزیت با امتداد تقریباً شرقی-غربی تشکیل شده است. از دیگر واحدهای مجموعه افیولیتی در منطقه مورد بررسی، می‌توان به حضور گابرو، دیاباز و بازالت اسپیلیتی اشاره نمود که به دلیل درهم آمیختگی این واحدها با واحدهای گوشته فوقانی، با عنوان آمیزه رنگین نامیده شده‌اند (شکل ۱- A). سنگ‌های آذرآواری جوانتر از افیولیت در اطراف روستای اصقول از گسترش قابل توجهی برخوردار است. این سنگ‌ها عمدتاً شامل توف و برش همراه مارن بوده و مستقیماً بر روی سنگ‌های آمیزه افیولیتی قرار دارند. این نهشته‌ها با گسترش وسیع در بخش‌های شمال غربی و غرب روستای اصقول مورفولوژی تپه‌ماهوری ایجاد کرده است. در بعضی جاها، عدسی‌هایی از آهک به رنگ خاکستری روشن در توف‌های نئوژن دیده می‌شود. سنگ‌های نیمه عمیق-آتشفشانی نئوژن در حوالی روستای اصقول گسترش نسبتاً وسیعی داشته و

از غرب روستا تا شمال روستای گز رخنمون دارند. این واحدها تشکیل دهنده ارتفاعات بوده و در مجاورت شمال روستای اصقول با نام های قله قلا (شکل ۱- B) و قله استاد حسن و در شمال شرق اصقول (به طرف روستای گز) با نام قله گز نامیده می شوند که بر روی توف ها قرار گرفته اند. بر اساس نقشه زمین شناسی بیرجند، این سنگ ها با نام پیروکسن آندزیت و آمفیبول آندزیت معرفی شده است، در حالیکه بر اساس مطالعات صحرایی و سنگ نگاری این پژوهش، مشخص گردید که به دلیل وجود بافت پورفیری با زمینه ریزدانه، بخش های مرکزی توده ها، ماهیت نیمه عمیق نشان داده و دیوریت پورفیری می باشد. در بخش های حاشیه ای دیوریت پورفیری کمر قلا در شمال غرب روستای اصقول، بافت سنگ کاملاً ریزدانه (میکرولیتی) بوده و دارای ترکیب کلی آندزیتی می باشد. به طور کلی، سنگ های نیمه عمیق و آتشفشانی مورد مطالعه، کم و بیش کربناتیزه شده اند. هیچگونه شواهد فسیلی مبنی بر تعلق این سنگ ها به نئوژن در دست نیست، اما بر اساس تعیین سن های انجام شده در لوت شمالی، سن البیگومیوسن را برای سنگ های معادل آنها تعیین نموده اند (اوهانیان و طاطاوسیان، ۱۹۷۸). از جمله واحدهای جوان در محدوده مورد مطالعه، کنگلومرا است که به علت تأثیر حرکات زمین ساختی، گسل خوردگی و چین خوردگی های ملایمی در آن ایجاد شده است. روند کلی کنگلومرا در شمال روستای اصقول شمال غرب-جنوب شرق و شیب لایه ها NE ۳۰ می باشد. در فاصله یک کیلومتری جنوب روستای اصقول و همچنین در شمال روستا، توالی توف و مارن در زیر واحد کنگلومرای قرار گرفته است (شکل های ۱- C و D). کنگلومرای مذکور حاوی قطعات مختلف از واحدهای آمیزه افیولیتی نظیر پریدوتیت، گابرو، بازالت، سنگ آهک، سنگهای نیمه عمیق-آتشفشانی و لیستونیت می باشد. پهنه بنتونیتی در جنوب روستای اصقول دارای لایه بندی بوده و کمی چین خوردگی نشان می دهد. وجود لایه بندی و همچنین قطعات نسبتاً گرد شده از سنگ های آذرین نیمه عمیق-آتشفشانی در بنتونیت، بیانگر حمل به حوضه رسوبی و نابرجا بودن آن است. وجود قطعات تقریباً درشت با جورشدگی کم، یک توالی درشت شونده به سمت بالا را نشان می دهد که بیانگر برخاستگی منطقه و پسروری آب دریا می باشد. واحدهای متعلق به کواترنر شامل تراس های قدیمی، رسوبات بادبزی و آبرفت های جدید هستند. منطقه اصقول تحت تأثیر گسل های دارای سازوکار راندگی با مؤلفه معکوس قرار دارد (محمدی، ۱۳۹۸) به طوریکه، در فاصله حدود ۲ کیلومتری شمال روستای اصقول، عملکرد گسل معکوس سبب رانده شدن واحدهای افیولیتی (پریدوتیت) بر روی کنگلومرای نئوژن شده است (شکل ۱- A).



شکل ۱- تصاویری از واحدهای سنگی در محدوده مورد مطالعه (A) واحدهای آمیزه افیولیتی، توف-مارن و کنگلومرا (به راندگی پریدوتیت بر روی کنگلومرای نئوژن توجه شود) (دید به شمال شرق)؛ (B) نمایی از قله قلا در مجاورت شمال روستای اصقول متشکل از دیوریت پورفیری-آندزیت (دید به شمال شرق)؛ (C) کنگلومرا بر روی توف (دید به شمال غرب)؛ (D) قرارگیری کنگلومرا بر روی بنتونیت (دید به غرب).

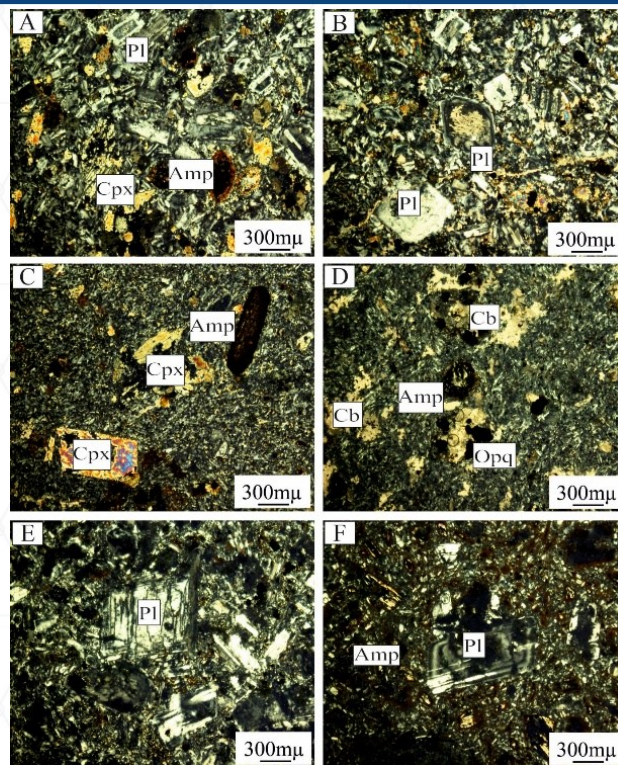


### سنگ‌نگاری

واحدهای سنگی مجاور پهنه بنتونیتی اصقول دارای ترکیب کلی حدواسط بوده و با توجه به بافت، شامل دیوریت پورفیری و آندزیت می باشند.

**دیوریت پورفیری:** بافت سنگ، پورفیری با زمینه ریزدانه می باشد (شکل ۲- A و B). فراوان‌ترین کانی تشکیل دهنده سنگ پلاژیوکلاز است که به صورت فنوکریست و در زمینه ریزدانه به میزان حدود ۷۰ تا ۸۰ درصد وجود دارد. فنوکریست‌های پلاژیوکلاز به صورت بلورهای بی شکل، نیمه شکل دار تا شکل دار و گاهی دارای منطقه بندی هستند (شکل ۲- B). ترکیب پلاژیوکلازها بر مبنای زاویه خاموشی، آندزین تا لابرادوریت می باشد. برخی فنوکریست‌های پلاژیوکلاز در بخش‌های مرکزی، دچار دگرسانی کربناتی شده اند (شکل ۲- B). حضور کربنات نشان دهنده غنی بودن سیال عامل دگرسانی از  $CO_2$  می باشد. سیال از طریق کلیواژ یا شکستگی وارد سنگ شده و بخش مرکزی پلاژیوکلاز که غنی از انورتیت است را تحت تأثیر قرار می دهد. میزان  $CO_2$  سیال باید حداقل ۲۵ درصد باشد واکنش بین سیال غنی از دی اکسید کربن با پلاژیوکلاز انجام شود (Leichmann et al., 2003). آمفیبول به صورت بلورهای نیمه شکل دار تا شکل دار (شکل ۲- A) حدود ۱۰ درصد حجم سنگ را تشکیل داده است. فنوکریست‌های آمفیبول (هورنبلند) اغلب به طور کامل دچار اکسیداسیون شده و فقط شکل منشوری کانی حفظ شده است (شکل ۲- A). کلینوپیروکسن از دیگر کانی‌های مافیک سنگ است که به صورت بلورهای نسبتاً ریز حدود ۵ تا ۱۰ درصد حجم سنگ را تشکیل داده است (شکل ۲- A). بر اساس بافت و ترکیب کانی شناسی، این سنگ را می توان دیوریت پورفیری در نظر گرفت.

**آندزیت:** نمونه‌های برداشت شده از بخش‌های حاشیه‌ای توده اصلی، دارای بافت پورفیری با زمینه میکروولیتی بوده و ماهیت آتشفشانی دارند (شکل ۲- C و D). قسمت عمده این سنگ را میکروولیت‌های پلاژیوکلاز همراه مقدار کمی فنوکریست با فراوانی حدود ۸۰ درصد تشکیل داده است. فنوکریست‌های نیمه شکل دار تا شکل دار آمفیبول که اغلب به طور کامل دچار اکسیداسیون شده و حالت کدر پیدا نموده است (شکل ۲- C)، حدود ۱۰ درصد حجم سنگ را تشکیل داده است. کلینوپیروکسن دیگر کانی مافیک سنگ است که به صورت فنوکریست‌های نیمه شکل دار تا شکل دار (شکل ۲- C) و بلورهای ریز در زمینه سنگ، حدود ۵ تا ۱۰ درصد حجم سنگ را تشکیل داده است. دگرسانی کربناتی در نمونه‌های آندزیتی نیز رایج است (شکل ۲- D). به اعتقاد (Robb, 2005)، این دگرسانی زمانی رخ می دهد که سیال با شوری کم و غنی از دی اکسید کربن با سنگ میزبان واکنش انجام دهد. کربناتی شده پلاژیوکلاز عموماً در محدوده دمایی پایین صورت می گیرد (Szeliga and Michalik, 2005). یکی از ویژگی‌های بنتونیت اصقول، وجود قطعات فراوان از سنگ‌های آتشفشانی به رنگ‌های روشن و قرمز است. این قطعات دارای گردشگی بالا هستند که بیانگر حمل از فاصله نسبتاً طولانی به حوضه رسوبی می باشد. مطالعه مقاطع نازک قطعات روشن و قرمز نشان داد که ترکیب کلی آن آندزیتی است، بطوریکه در هر دو نمونه، فنوکریست‌های پلاژیوکلاز در زمینه میکروولیتی قرار گرفته است (شکل ۲- E و F). بلورهای آمفیبول اکسید شده دیگر کانی تشکیل دهنده هر دو نوع قطعات است با این تفاوت که در نمونه قرمز رنگ، فراوانی آمفیبول اکسید شده بیشتر بوده و اکسید آهن در زمینه سنگ نیز پراکنده می باشد.

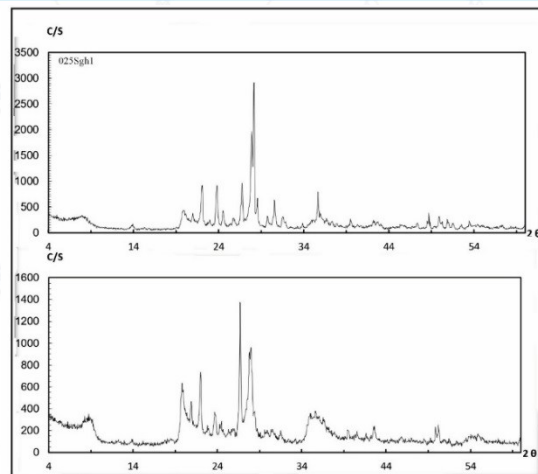


شکل ۲- ویژگی‌های میکروسکوپی سنگ‌های نیمه عمیق-آشفشانی منطقه اصقول (A) بافت پورفیری با زمینه ریزدانه، فنوکریست‌های پلاژیوکلاز، آمفیبول اکسیدشده و پیروکسن؛ (B) فنوکریست پلاژیوکلاز دارای منطقه‌بندی و کریستالیزه شده؛ (C) فنوکریست آمفیبول سوخته و پیروکسن در آندزیت؛ (D) دگرسانی کریستال در آندزیت؛ (E) فنوکریست پلاژیوکلاز در قطعات آندزیتی روشن رنگ موجود در بنتونیت؛ (F) فنوکریست پلاژیوکلاز و آمفیبول‌های اکسیدشده در قطعات آندزیتی قرمز رنگ موجود در بنتونیت. نور در شکل‌ها XPL است. علائم اختصاری کانی‌ها برگرفته از (Whitney and Evans, 2010).

### کانی‌شناسی

نتایج مطالعه کانی‌شناسی به روش اشعه ایکس بر روی دو نمونه از بنتونیت اصقول در شکل ۳ نشان داده شده است. فازهای اصلی سازنده نمونه‌ها شامل مونتموریونیت، آلبیت و کوارتز و فازهای فرعی شامل آلکالی فلدسپار، کائولن و کریستوبالیت هستند. از آنجاییکه در ترکیب کانی‌شناسی این بنتونیت آلبیت وجود دارد، مقداری از درصد  $\text{Na}_2\text{O}$  مربوط به حضور این کانی بوده و بنا بر این، برای تعیین سدیک یا کلسیک بودن آن می‌بایست ابتدا درصد  $\text{Na}_2\text{O}$  مربوط به آلبیت را محاسبه و از مقدار  $\text{Na}_2\text{O}$  نمونه کسر تا درصد  $\text{Na}_2\text{O}$  مونتموریونیت بدست آید. ترکیب کانی‌شناسی نمونه‌های بنتونیت مورد مطالعه در جدول ۱ آورده شده است.





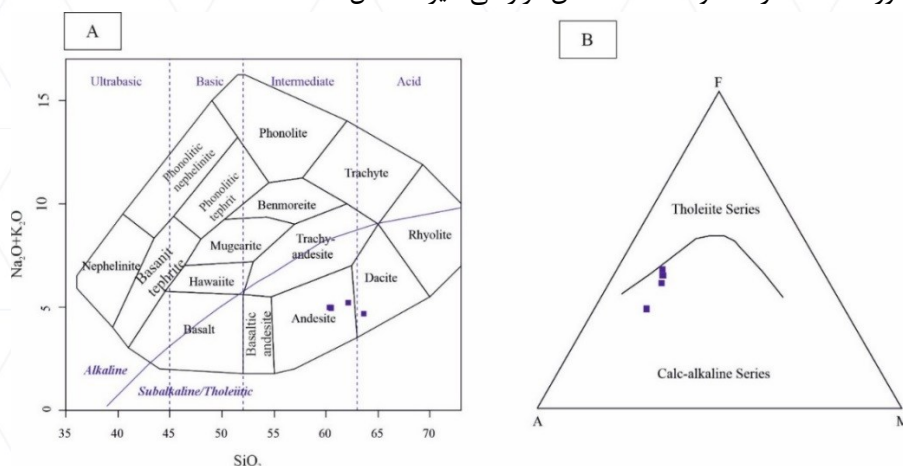
شکل ۳- نتایج مطالعه کانی‌شناسی به روش اشعه ایکس بر روی دو نمونه بنتونیت اصقول

جدول ۱- مشخصات کانی‌شناسی نمونه‌های بنتونیت از مناطق مورد مطالعه.

منطقه	شماره نمونه	فاز اصلی	فاز فرعی	فاز کمیاب
اصقول	025Sgh1	آلبیت- مونت موریونیت- کوارتز	میکروکلین	-
اصقول	025Sgh3	مونت موریونیت، آلبیت- کوارتز	میکروکلین- کائولینیت- کریستوبالیت	-

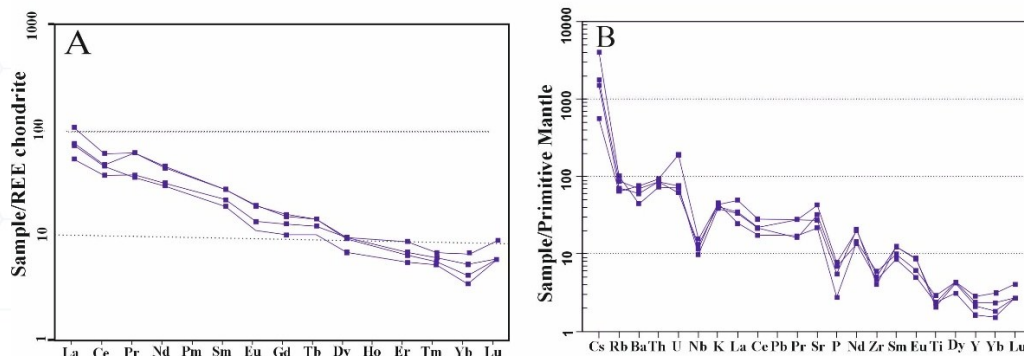
### ژئوشیمی

برای نام‌گذاری نمونه‌های مورد مطالعه از نمودار  $\text{SiO}_2$  در برابر مجموع آلکالینها (Cox et al., 1979) استفاده شد که بر اساس آن، نمونه‌ها در محدوده آندزیت تا داسیت قرار گرفته‌اند (شکل ۴- A). بر اساس نمودار AFM (Irvine and Baragar, 1971) تمام نمونه‌های مورد مطالعه در محدوده کالک آلکان قرار می‌گیرند (شکل ۴- B).



شکل ۴- A) نمودار  $\text{SiO}_2$  در برابر  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$  (Cox et al., 1979)، B) نمودار سه تایی  $\text{FeO}$ -  $\text{MgO}$ -  $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$  (Irvine and Baragar, 1971) جهت تفکیک سری کالک آلکان از سری تولیتیتی

نمودارهای عناصر نادر خاکی بهنجار شده با کندریت (Boynton, 1984) و عناصر کمیاب بهنجار شده با گوشته اولیه (Sun and McDonough, 1989) برای نمونه‌های بنتونیتی منطقه اصقول که به ترتیب در شکل‌های (A-5) و (B-5) نمایش داده شده است. به طور کلی، الگوی عناصر نادر خاکی بهنجار شده با کندریت و عناصر کمیاب بهنجار شده با گوشته اولیه در نمونه‌های بنتونیتی منطقه اصقول، بیانگر پراکندگی نسبتاً یکنواخت REE همراه با غنی‌شدگی محسوس عناصر سبک (LREE) نسبت به عناصر سنگین (HREE) است. این ویژگی‌ها، همراه با غنی‌شدگی عناصر بزرگ‌یون لیتوفیل (LILE) و بروز آنومالی منفی Nb و Ti مؤید منشأ ماگمایی مرتبط با محیط‌های فرورانشی یا قوس آتشفشانی است.



شکل ۵- A: نمودار عناصر نادر خاکی بهنجار شده با کندریت (Boynton, 1984) و B: نمودار عنکبوتی عناصر کمیاب بهنجار شده با گوشته اولیه (Sun and McDonough, 1989) برای نمونه‌های بنتونیتی منطقه اصقول

### نتیجه‌گیری

بنتونیت‌های منطقه اصقول عمدتاً در سنگهای دیوریت پورفیری و آندزیت حدواسط جای گرفته‌اند و مونتموریونیت کانی غالب آن‌هاست. شواهد میدانی، شامل لایه‌بندی، چین‌خوردگی ملایم و قطعات آندزیتی گردشده، نشان‌دهنده رسوب‌گذاری در یک حوضه فعال زمین‌ساختی و منشأ نابرجا این نهشته‌ها است. داده‌های ژئوشیمیایی و الگوهای عناصر نادر خاکی نیز ویژگی‌های ماگمایی مرتبط با فرورانش را تأیید می‌کنند. در کل، بنتونیت‌های اصقول محصول دگرسانی هیدروترمال سنگ‌های آتشفشانی حدواسط بوده و فرآیندهای زمین‌ساختی و ماگمایی منطقه نقش مهمی در شکل‌گیری آن‌ها داشته است.

### مراجع

۱. اوهانیان، ت، طاطاوسی‌ان، ش، ۱۹۷۸، نقشه زمین شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ بزرجند، ورقه ۷۸۵۵، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
۲. محمدی، م، ۱۳۹۸، بررسی شواهد ریخت زمین ساختی در پیشانی جنوبی رشته کوه باقران (جنوب بزرجند)، خاور ایران، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه بزرجند، ۹۶ صفحه.
۳. نخعی، م، رسا، ا، وثوقی عابدینی، م، محمدی، س.س، ۱۳۸۶، نتایج مقدماتی پی جویی بنتونیت در منطقه جنوب بزرجند (بنتونیت های اصقول، زادنبه، شهرستانک و نوکاج)، پانزدهمین همایش انجمن بلورشناسی و کانی شناسی ایران، دانشگاه فردوسی مشهد
4. Boynton, W.V., 1984. *Cosmochemistry of the rare earth elements: meteorite studies*. In: Peltier, W.R. (Ed.), *Meteorites and the Early Solar System*, University of Arizona Press, Tucson, pp. 63–114.
5. Christidis, G.E., Huff, W.D., 2009. Geological aspects and genesis of bentonites. *Applied Clay Science* 45, 1–7.
6. Cox, K.G., Bell, J.D., Pankhurst, R.J., 1979. *The Interpretation of Igneous Rocks*. George Allen and Unwin, London.

7. Grim, R.E., Güven, N., 1978. *Bentonites: Geology, Mineralogy, Properties and Uses*. Elsevier, Amsterdam.
8. Irvine, T.N., Baragar, W.R.A., 1971. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. *Canadian Journal of Earth Sciences* 8, 523–548
9. Leichmann, J., Broska, I. and Zachovalova, K., (2003), Low-grade metamorphic alteration of feldspar minerals :a CL study , *journal of petrology* , Vol 15, No. 2.p: 104–108
10. Murray, H.H., 2007. *Applied Clay Mineralogy: Occurrences, Processing and Applications of Kaolins, Bentonites, Palygorskite–Sepiolite, and Common Clays*. Elsevier, Amsterdam.
11. Robb, L., 2005. *Introduction to Ore-Forming Processes*. 3rd Edition. Blackwell Publishing, Oxford.
12. Sun, S.-S., McDonough, W.F., 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. *Geological Society of London Special Publication* 42, 313–345
13. Szeliga, T., Michalik, I., 2005. Carbonate alteration in andesites: petrological and geochemical constraints. *Lithos* 82, 55–73.
14. Tirrul, R. , Bell, L.R., Griffis, R.J. and Camp, V.E., 1983. The Sistan suture zone of eastern Iran. *Geological Society of America Bulletin*, 94(1): 134-150.
15. Whitney, D.L., Evans, B.W., 2010. Abbreviations for names of rock-forming minerals. *American Mineralogist* 95, 185–187.