

# سنگ‌نگاری و زمین‌شیمی کانسنگ‌های بازماندی بوکت، شمال خاور عجب‌شیر، استان آذربایجان شرقی، ایران

هادی خلیل‌زاده<sup>۱</sup>، علی اصغر کلاگری<sup>۲</sup>، علی عابدینی<sup>۳</sup> و حسین رحیم‌پور بناب<sup>۴</sup>

<sup>۱</sup>دانشکده زمین‌شناسی، پردیس علوم، دانشگاه تهران، تهران، ایران.  
<sup>۲</sup>گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران  
<sup>۳</sup>گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۰۴/۰۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۹/۱۱/۳۰

## چکیده

افق بازماندی بوکت، در ۱۵ کیلومتری شمال خاور عجب‌شیر در استان آذربایجان شرقی واقع است. این افق به شکل عدسی‌های چینه‌سان در طول مرز بین سنگ‌های کربناتی سازند روته (پرمین میانی-بالایی) و الیکا (تریاس) توسعه یافته است. کانسنگ‌های درون این افق بافت‌های پلئومرفیک، ریزدانه، میکرواثری، شیب‌پورفیری، انویدی، پیزویدی، شبه‌برشی و گره‌کی نشان می‌دهند. براساس داده‌های زمین‌شیمیایی، کانسنگ‌های این افق به ۵ نوع، (۱) لاتریت فریتی، (۲) لاتریت بوکسیتی، (۳) لاتریت کانولینیتی، (۴) کانولینیت فریتی و (۵) لاتریت تفکیک شدند. مقایسه الگوی توزیع عناصر در یک نیمرخ انتخابی دلالت بر نقش مؤثر Al و Ti در توزیع و تمرکز Ga، Zr، Nb، Th، V و HREEs در کانسنگ‌ها دارد. تلفیق داده‌های حاصل از مطالعات سنگ‌نگاری و زمین‌شیمیایی نشان می‌دهد که کانسنگ‌ها منشأ برج‌زاد دارند. افزون بر این، عواملی مانند تغییرات شیمی محلول‌های درگیر در هوازگی، تثبیت در فازهای نوریکت (نئومورف)، حضور در فازهای کانیاپی مقاوم، ناهمگنی سنگ آغازین (پروتولیت)، اختلاف در میزان شدت هوازگی، و فرایندهای جذب سطحی همراه با زهکشی ضعیف، دیاژنز، فشارهای دینامیکی و نوسان سطح سفره آب‌های زیرزمینی نقش مهمی در توزیع عناصر و توسعه کانسنگ‌ها در این افق داشته‌اند. بارزترین ویژگی زمین‌شیمیایی کانسنگ‌ها (به‌استثنا لاتریت کانولینیتی) تحرک بیشتر LREEs نسبت به HREEs در طی فرایندهای هوازگی است. این رفتار غیر عادی در این افق، می‌تواند با عواملی مانند اختلاف در پایداری کانی‌های اولیه حامل REEs، تغییر pH (از ۶/۷ تا ۷/۸) محلول‌های هوازده کننده و درجه متوسط تکاملی نیمرخ مرتبط باشد.

**کلیدواژه‌ها:** عجب‌شیر، بوکت، لاتریت، توزیع عناصر، افق بازماندی.

\*نویسنده مسئول: علی اصغر کلاگری

E-mail: calagari@tabrizu.ac.ir

## ۱- مقدمه

منطقه بوکت با مختصات جغرافیایی  $37^{\circ} 01' 01''$  تا  $46^{\circ} 02' 20''$  طول خاوری و  $37^{\circ} 32' 26''$  تا  $37^{\circ} 33' 39''$  عرض شمالی، در ۱۵ کیلومتری شمال خاور عجب‌شیر در استان آذربایجان شرقی واقع شده است (شکل ۱). وجود افقی از کانسنگ‌های بازماندی در مرز بین سنگ‌های کربناتی سازند روته (پرمین میانی-بالایی) و الیکا (تریاس) باعث شده است که این منطقه از دیرباز مورد توجه پژوهشگران مختلف قرار گیرد. علوی نائینی و همکاران (۱۳۶۴)، شهرابی (۱۳۷۳) و خدابنده و امینی فضل (۱۳۷۳) اولین پژوهشگرانی بوده‌اند که به ترتیب در طی مطالعات زمین‌شناسی ناحیه‌ای چهارگوش ارومیه و اسکو به بررسی جایگاه سنگ‌چینه‌نگاری کانسنگ‌های بازماندی حاضر در این منطقه پرداخته‌اند. به‌دنبال آن باقرزاده کریمی (۱۳۷۴) به بررسی محیط رسوبی کانسنگ‌های بازماندی این منطقه پرداخته و به این نتیجه رسیده است که سنگ‌های درونگیر کربناتی این کانسنگ‌ها متعلق به نواحی داخلی سکوها و کانسنگ‌های یادشده از نظر کانی‌شناسی شامل دیاسپور، بوهمیت، همتیت، گوتیت، آنتاز، ایلیت، کانولینیت، شاموزیت، فلدسپار پتاسیم، ژیبس و کلسیت هستند. عابدینی (۱۳۸۷) در طی بررسی‌های تفصیلی بر روی نهشته‌های بوکسیتی-لاتریتی شمال باختر ایران سنگ‌هایی با ترکیب بازالت را محتمل‌ترین سنگ آغازین این افق معرفی کرده است. خلیل‌زاده (۱۳۸۸) مطالعات نسبتاً جامعی بر روی مسائل زمین‌شناسی این افق انجام داده و بر این باور است که کانسنگ‌های این افق به دلیل محتوای بالای Fe و Si در شرایط فعلی نمی‌توانند کاربردهای فنی مناسبی در صنعت داشته باشند. با توجه به مسائل یادشده، چنین به نظر می‌رسد که تاکنون، مطالعات انجام شده بیشتر بر روی مسائل کانی‌شناختی، زایشی و فنی و محیط رسوبی تشکیل سنگ‌های میزبان این کانسنگ‌ها متمرکز بوده و ویژگی‌های سنگ‌نگاری و زمین‌شیمیایی خود کانسنگ‌ها کمتر مورد توجه قرار گرفته‌اند. در این مطالعه با

تکیه بر آخرین دستاوردهای علمی به‌دست آمده بر روی این نوع نهشته‌ها در مقیاس بین‌المللی سعی شده است، به تفصیل به بررسی ویژگی‌های سنگ‌نگاری به‌ویژه بافت، انواع تیپ‌های کانسنگی حاضر، و عوامل کنترل‌کننده توزیع عناصر اصلی، فرعی، جزئی و خاکی کمیاب و رخداد بی‌هنجاری‌های Eu و Ce در کانسنگ‌ها پرداخته شود.

## ۲- روش مطالعه

این مطالعه در دو مرحله صحرائی و آزمایشگاهی انجام شد. مرحله صحرائی شامل پیمایش‌هایی برای شناسایی انواع تیپ‌های کانسنگی، بررسی روابط صحرائی، انتخاب محل‌های مناسب برای نمونه‌گیری و در نهایت نمونه‌گیری‌های تصادفی و سامان‌مند (یک نیمرخ انتخابی عمود بر امتداد افق) از کانسنگ‌ها بوده است. مرحله آزمایشگاهی با تهیه و مطالعه ۲۰ مقطع نازک-صیقلی از کانسنگ‌های انتخابی آغاز شد. به‌دنبال آن، ۷ نمونه از کانسنگ‌های نیمرخ انتخابی همراه با یک نمونه از سنگ‌های بازالتی به روش‌های طیف‌سنجی انتشار اتمی پلاسما جفت‌شده القایی (Inductively Coupled Plasma - Atomic Spectrometry, ICP-AES) با کد تجزیه‌ای ME-ICP06 و طیف‌سنج جرمی پلاسما جفت‌شده القایی (Inductively Coupled Plasma - Mass Spectrometry, ICP-MS) با کد تجزیه‌ای ME-MS81 به ترتیب برای تعیین مقادیر عناصر اصلی و فرعی، و عناصر جزئی و خاکی کمیاب در آزمایشگاه شرکت ALS Chemex کشور کانادا تجزیه شیمیایی شدند (جدول ۱). مقادیر LOI نمونه‌ها نیز براساس اندازه‌گیری وزن نمونه‌ها پیش و پس از حرارت دادن (۱۰۰۰ درجه سانتی‌گراد به مدت یک ساعت) محاسبه شدند.

### ۳- بحث و بررسی

#### ۳-۱. مطالعات صحرایی

بارزترین واحدهای سنگی منطقه مورد مطالعه به ترتیب از قدیم به جدید شامل سازندهای ماسه‌سنگی - شیلی زایگون (کامبرین)، دولومیتی - آهکی میلا (کامبرو - اردووسین)، دولومیتی - ماسه‌سنگی دونین، ماسه‌سنگی درود (پرمین زیرین)، کربناتی روت (پرمین میانی - بالایی)، آهکی - دولومیتی الیکا (تریاس)، ماسه‌سنگی - شیلی ناینید (تریاس) و سازندهای کواترنری هستند (شکل ۱). وقفه رسوب‌گذاری در این منطقه با تشکیل افقی از کانسنگ‌های بازماندی در طول مرز سنگ‌های کربناتی سازند روت و الیکا همراه بوده است. افق یادشده امتداد کلی NW-SE و سترایی متغیر از ۸ تا ۱۴ متر دارد. شیب کلی آن متغیر از ۲۵ تا ۴۰ درجه به سمت SW و گسترش جانبی آن بیش از ۲ کیلومتر است. مشاهدات صحرایی نشان می‌دهد که سنگ بستر این افق در بیشتر نقاط تا ژرفای بیشینه یک متر در تماس با کانسنگ‌ها، در نتیجه نفوذ تدریجی محلول‌های آهن دار از کانسنگ‌ها به درون درز و شکاف‌های موجود، به رنگ صورتی تا ارغوانی در آمده است. همچنین مرزهای کاملاً مشخصی بین افق بازماندی با سنگ‌های درونگیر بستر و پوشش قابل تشخیص است. از نکات برجسته زمین‌شناسی این منطقه می‌توان به وجود برونزدهایی از سنگ‌های آتشفشانی مافیک در درون سنگ‌های بستر کربناتی و در محل تماس افق با سنگ بستر، و نیز به وجود بافت‌های برشی و کنگلومرایی به شکل خیلی محدود در برخی از بخش‌های افق بازماندی اشاره کرد. عملکرد گسل‌ها باعث جابه‌جایی موضعی افق بازماندی و خردشدگی شدید کانسنگ‌ها شده است. در مشاهدات صحرایی در یک نیمرخ انتخابی عمود بر امتداد افق مورد مطالعه به ترتیب از پایین به بالا ۴ واحد بازماندی تشخیص داده شد (شکل ۲-۱). این واحدها به ترتیب از پایین به بالا شامل: ۱) کانسنگ‌های قرمز قهوه‌ای (شکل ۲-۱b)، ۲) کانسنگ‌های خاکستری سبز زیرین (شکل ۲-۱c)، ۳) کانسنگ‌های قرمز (شکل ۲-۱d) و ۴) کانسنگ‌های خاکستری سبز بالایی هستند. لمس زبر، لیمونیت‌زایی و رشد کلسیت در سطح کانسنگ‌های قرمز قهوه‌ای، لمس صابونی، سختی پایین، تورق و لایه‌بندی در کانسنگ‌های سبز خاکستری، لمس خاکی تا صابونی و سختی پایین کانسنگ‌های قرمز از مهم‌ترین ویژگی‌های زمین‌شناسی افق بازماندی این منطقه به شمار می‌آیند.

#### ۳-۲. مطالعات سنگ‌نگاری

با توجه به ریز بلوربودن کانی‌های سازنده کانسنگ‌ها و نبود خواص نوری ثابت برای اغلب کانی‌ها، مطالعات سنگ‌نگاری تنها به منظور شناسایی بافت‌ها و به‌دست آوردن شواهدی برای تعیین ژنر کانسنگ‌ها انجام شده است. با توجه به مطالعات سنگ‌نگاری، اجزای بافت‌ساز عمده در کانسنگ‌های مورد مطالعه شامل زمینه‌های پلئومرفیک (اجزای سازنده  $>1\mu\text{m}$ ) و ریزدانه (اجزای سازنده ۱ تا  $5\mu\text{m}$ ) هستند. از اجزای بافت‌ساز دیگر می‌توان به شکل‌های هم‌مرکز سنگالی (کنکرسونی) میکروانوئید (قطر  $<100\mu\text{m}$ )، انوئید (قطر  $100\mu\text{m}$  تا  $1000\mu\text{m}$ )، پیروئید (قطر ۱ تا  $5\text{mm}$ ) و گرهک‌ها، شکل‌های رگچه‌ای و کانی‌های درج‌ازا اشاره کرد. هماتیت تنها کانی قابل تشخیص در مقاطع میکروسکوپی است. بررسی‌های سنگ‌نگاری نشان می‌دهند توسعه پیروئیدها و میکروانوئیدها در یک زمینه پلئومرفیک (آفانیتیک) به ترتیب باعث ایجاد بافت پیروئیدی (شکل ۴-۱a) و میکرو انوئیدی (شکل ۴-۱b) در کانسنگ‌ها شده است. وجود دانه‌های کانیاپی درج‌ازای هماتیتی در یک زمینه پلئومرفیک و ریزدانه باعث شکل‌گیری بافت شبه‌پورفیری (شکل ۴-۱c) در کانسنگ‌ها شده است. حضور تعداد قابل توجهی انوئید در یک زمینه افانیتیک با شکل‌گیری بافت انوئیدی (شکل ۴-۱d) همراه بوده است. همچنین توسعه زمینه پلئومرفیک و ریزدانه موجب تشکیل و توسعه بافت‌های پلئومرفیک (شکل ۴-۱e) و ریزدانه در کانسنگ‌ها شده است. وجود شکل‌های رگچه‌ای هماتیت در یک زمینه آلومینوسیلیکاتی بسیار ریزدانه سبب تشکیل بافت رگچه‌ای (شکل ۴-۱f) و وجود

اجزای بافت‌ساز هماتیتی در یک زمینه پلئومرفیک که در شکل‌های جریان‌ی آرایش یافته‌اند، سبب ایجاد بافت کولومرفیک - جریان‌ی (شکل ۴-۱g) در کانسنگ‌ها شده است. وجود قطعات منظم هماتیتی در کنار هم باعث ایجاد بافت شبه‌برشی (شکل ۴-۱h) و توسعه گرهک‌های گرد و سنگال‌هایی به شکل نامنظم باعث تشکیل بافت گرهکی در کانسنگ‌ها شده است. وجود انوئیدهای مرکب، از مهم‌ترین ویژگی‌های بافتی این کانسنگ‌ها به شمار می‌آید (شکل ۴-۱i).

وجود بافت‌های یادشده دلالت بر منشأ برج‌ازاد افق بازماندی دارد (Bardossy, 1982). وجود بافت‌های میکروانوئیدی، انوئیدی و پیروئیدی نشانگر نقش موثر فرایندهای دیاژنزی (Bardossy, 1982) و توسعه بافت‌های گرهکی نشانگر تغییرات شدید سطح سرفه آب‌های زیرزمینی در طی تکوین کانسنگ‌ها (Valeton, 1972) هستند. وجود بافت‌های پلئومرفیک و رگچه‌ای (از نوع هماتیت) به ترتیب نشان‌دهنده زهکشی ضعیف، طولانی مدت بودن زمان فرایند هوازدگی (Boulangue, 1984) و توزیع دوباره Fe در نیمرخ هوازده است. توسعه بافت کولومرفیک - جریان‌ی و شبه‌برشی به ترتیب نشان‌دهنده بر جابه‌جایی کلویید در طی فرایندهای دیاژنزی و تأثیر شدید تنش‌های ساختمانی، تبلور دوباره و انقباض ژل در طی تکوین کانسنگ‌ها است (Bardossy, 1982).

#### ۳-۳. زمین‌شیمی

**معرفی تپ‌های کانسنگی در نیمرخ مورد مطالعه:** رسم مقادیر  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ،  $\text{Al}_2\text{O}_3$  و  $\text{SiO}_2$  کانسنگ‌های مورد مطالعه شده در نمودار سه متغیره  $\text{SiO}_2 - \text{Fe}_2\text{O}_3 - \text{Al}_2\text{O}_3$  (Aleva, 1994) (شکل ۴-۱a) نشان می‌دهد که نیمرخ مورد بررسی شامل ۵ نوع کانسنگی است: ۱) لاتریت، ۲) لاتریت بوکسیتی، ۳) لاتریت فریتی، ۴) لاتریت کائولینیتی و ۵) کائولینیت فریتی. مقایسه ستون چینه‌شناسی نیمرخ مورد مطالعه (شکل ۲-۱a) با نحوه توزیع  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ،  $\text{Al}_2\text{O}_3$  و  $\text{SiO}_2$  در شکل ۴-۱a نشان دهنده آن است که کانسنگ‌های قرمز قهوه‌ای ترکیبی در حد لاتریت و لاتریت بوکسیتی، کانسنگ‌های سبز خاکستری ترکیبی در حد لاتریت، کائولینیت فریتی و لاتریت فریتی، و کانسنگ‌های قرمز ترکیبی در حد لاتریت کائولینیتی دارند.

**ارتباط بین نوع و شدت فرایندهای هوازدگی با تقریب عناصر اصلی:** رسم داده‌های تجزیه‌ای در نمودار سه متغیره  $\text{SiO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{Fe}_2\text{O}_3$  (Schellmann, 1983) (شکل ۴-۱b) نشان می‌دهد که سنگ آغازین افق بازماندی در طی تکوین کانسنگ‌های مورد مطالعه متحمل فرایندهای لاتریتی شدن ضعیف، متوسط تا شدید شده است. از نحوه توزیع  $\text{SiO}_2$ ،  $\text{Al}_2\text{O}_3$  و  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  در نمودار یادشده می‌توان نتیجه‌گیری نمود که در طی گذر شرایط لاتریتی شدن از ضعیف به متوسط، تفریق خوب و مشخصی بین Fe و Al قابل تشخیص نیست اما در طی گذر شرایط از لاتریتی شدن متوسط به شدید تفریق Fe از Al کاملاً مشهود است.

**عوامل کنترل‌کننده توزیع عناصر در کانسنگ‌ها:** در این مطالعه برای بررسی عوامل کنترل‌کننده توزیع عناصر، تفریق و غنی‌شدگی آنها، الگوی توزیع عناصر در نیمرخ مورد مطالعه (شکل ۵-۹) مقایسه و ضرایب همبستگی اسپیرمن (Rollinson, 1993) بین عناصر محاسبه شد. این بررسی در ۵ بخش شامل: ۱) عناصر اصلی و فرعی (Al, Si, Fe, Ti, Ca, Mg, Na, K, P, Mn)، ۲) عناصر سنگ‌دوست درشت یون (LILE: Rb, Ba, Cs, U, Th)، ۳) عناصر جزئی عبوری (TTE: V, Ni, Cr, Co)، ۴) عناصر با قدرت میدان بالا (HFSE: Hf, Nb, Ta, Zr, Ga, Y) و ۵) عناصر خاکی کمیاب (REE: La-Lu) انجام شده است.

**الف) عناصر اصلی و فرعی:** شباهت الگوهای توزیع برای Si (شکل ۵-۱a) و Al (شکل ۵-۱b) در نیمرخ (از واحد کائولینیت آهنی تا لاتریت بوکسیتی) نشان می‌دهد که توزیع این دو عنصر در این بخش از نیمرخ توسط فاز کانیاپی یکسانی مانند کائولینیت کنترل شده است. نبود تشابه در روند توزیع Si (شکل ۵-۱a) و Al

سامانه بازماندی داشته‌اند (Meinhold, 2010). وجود روندهای توزیع مشابه بین Nb (شکل ۵-b) از کائولینیت بوکسیتی تا لائتریت زیرین نشان‌دهنده حضور Al در فازهای غیرسیلیکاتی مانند بوهمیت و یا دیاسپور در این بخش از نیمرخ است. شباهت نسبتاً خوب در نحوه توزیع Ti (شکل ۵-c) با Al (شکل ۵-a) در نیمرخ پیشنهاد می‌کند که رفتارهای زمین‌شیمیایی این دو عنصر در طی فرایندهای هوازدگی تا حدی شبیه هم بوده است. تفریق نسبتاً خوب Fe (شکل ۵-d) از Si (شکل ۵-a) و Al (شکل ۵-b) و Ti (شکل ۵-c) از واحد کائولینیت فریتی تا لائتریت بوکسیتی، نشان از این دارد که سازوکار آهن‌زدایی - آهن‌زایی (تغییرات در شیمی محلول‌های درگیر در هوازدگی) و به عبارت بهتر نحوه توزیع Fe، مهم‌ترین متغیر کنترل‌کننده توزیع Al، Si و Ti در این بخش از نیمرخ بوده است. رفتار نامنظم در نحوه توزیع عناصر Mg، Ca، K، Na، Mn و P (شکل ۶-e-j) می‌تواند در ارتباط با عواملی چون ناهمگنی سنگ آغازین و یا اختلاف در میزان شدت هوازدگی در طی تشکیل کانسنگ‌ها باشد (Panahi et al., 2000).

**ب) عناصر سنگ‌دوست درشت‌یون (LILE):** وجود روندهای توزیع مشابه بین نحوه توزیع عناصر Rb (شکل ۶-a) و تا حدی Cs (شکل ۶-b)  $K_2O$  (شکل ۵-h) نشان از میزبانی این دو عنصر توسط ایلیت دارد. همبستگی مثبت و خوب بین Sr با P (۰/۷۶)، می‌تواند نشانگر تثبیت احتمالی Sr به شکل کانی بیلوویت (Belovite)  $[(Sr,Ce,Na,Ca)_3(PO_4)_3(OH)]$  در سامانه باشد (Henderson, 1984). شباهت نسبی در نحوه تغییرات Ba (شکل ۶-d) با MnO (شکل ۵-i) دلالت‌بر رویش (scavenging) توسط اکسیدهای منگنز در نیمرخ دارد (Mutakyahwa et al., 2003). شباهت در نحوه توزیع Th (شکل ۶-e) با Al (شکل ۵-b) و Ti (شکل ۵-c) نشان‌دهنده رفتار مشابه این عناصر در طی فرایندهای هوازدگی و یا کنترل توزیع این عنصر توسط کانی‌هایی مانند بوهمیت، دیاسپور و آنتاز است (Mordberg, 1999). زیرکن به عنوان کانی اصلی حامل Th در نیمرخ‌های بازماندی شناخته شده‌است (Fernandez-Caliani & Cantano, 2010). با توجه به روند توزیع مشابه Th (شکل ۶-e) با Zr (شکل ۸-d) این کانی می‌تواند میزبان بالقوه دیگری برای Th در این نیمرخ باشد. روند مشابه در نحوه توزیع U (شکل ۶-f) با  $P_2O_5$  (شکل ۵-j) دلالت بر حضور U در شبکه کانی‌های فسفاتی ثانویه دارد. همچنین شباهت نسبی در روند توزیع U (شکل ۷-c) با Al (شکل ۵-b) از واحد لائتریت بالایی تا زیرین، می‌تواند نشانگر تثبیت U توسط کانی‌های رسی در این بخش از نیمرخ باشد (Hudson et al., 1999).

**ج) عناصر جزئی میوری (TTE):** اگر چه توزیع عناصری چون V، Co، Cr و Ni در واحدهای بوکسیتی - لائتریتی عمدتاً توسط اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن کنترل می‌شود (Laskou & Economou-Eliopoulos, 2007)، اما مقایسه نحوه الگوی تغییرات این عناصر (شکل ۷-d-v) با Fe (شکل ۵-d) در نیمرخ چنین روندی را نشان نمی‌دهد. ضرایب همبستگی مثبت و متوسط بین V با Al (۰/۶۸) و با Ti (۰/۶۴) نشان از تثبیت V توسط کانی‌های بوهمیت، دیاسپور و آنتاز دارد (Marques et al., 2004; Calagari & Abedini, 2007; Calagari et al., 2010). همبستگی متوسط بین Si با Cr (۰/۷۵) و Co (۰/۷۶) دلالت بر تثبیت این دو عنصر توسط کانی‌های رسی بواسطه فرایند جذب سطحی دارد (Newman, 1987). همچنین با توجه به شباهت نسبی الگوی توزیع Ni (شکل ۷-b) با Si (شکل ۵-a) و همچنین همبستگی مثبت و متوسط بین آن دو (۰/۶۷) می‌توان سازوکاری مشابه با Cr و Co را برای تثبیت Ni در سامانه در نظر گرفت.

**د) عناصر با قدرت میدان بالا (HFSE):** الگوی مشابه بین نحوه توزیع Ga (شکل ۸-a) و Ta (شکل ۸-b) با Al (شکل ۵-b) دلالت بر تثبیت این دو عنصر توسط رس‌ها در سامانه دارد (Fernandez-Caliani & Cantano, 2010). همچنین شباهت نسبی در الگوی تغییرات Ta (شکل ۸-b) با Ti (شکل ۵-c) نشان می‌دهد که افزون بر کانی‌های Al دار یادشده، اکسیدهای تیتانیم نیز نقش قابل توجهی در تثبیت Ta در این

سامانه بازماندی داشته‌اند (Meinhold, 2010). وجود روندهای توزیع مشابه بین Nb (شکل ۵-b) از کائولینیت بوکسیتی تا لائتریت زیرین نشان‌دهنده حضور Al در فازهای غیرسیلیکاتی مانند بوهمیت و یا دیاسپور در این بخش از نیمرخ است. شباهت نسبتاً خوب در نحوه توزیع Ti (شکل ۵-c) با Al (شکل ۵-a) در نیمرخ پیشنهاد می‌کند که رفتارهای زمین‌شیمیایی این دو عنصر در طی فرایندهای هوازدگی تا حدی شبیه هم بوده است. تفریق نسبتاً خوب Fe (شکل ۵-d) از Si (شکل ۵-a) و Al (شکل ۵-b) و Ti (شکل ۵-c) از واحد کائولینیت فریتی تا لائتریت بوکسیتی، نشان از این دارد که سازوکار آهن‌زدایی - آهن‌زایی (تغییرات در شیمی محلول‌های درگیر در هوازدگی) و به عبارت بهتر نحوه توزیع Fe، مهم‌ترین متغیر کنترل‌کننده توزیع Al، Si و Ti در این بخش از نیمرخ بوده است. رفتار نامنظم در نحوه توزیع عناصر Mg، Ca، K، Na، Mn و P (شکل ۶-e-j) می‌تواند در ارتباط با عواملی چون ناهمگنی سنگ آغازین و یا اختلاف در میزان شدت هوازدگی در طی تشکیل کانسنگ‌ها باشد (Panahi et al., 2000).

**ب) عناصر سنگ‌دوست درشت‌یون (LILE):** وجود روندهای توزیع مشابه بین نحوه توزیع عناصر Rb (شکل ۶-a) و تا حدی Cs (شکل ۶-b)  $K_2O$  (شکل ۵-h) نشان از میزبانی این دو عنصر توسط ایلیت دارد. همبستگی مثبت و خوب بین Sr با P (۰/۷۶)، می‌تواند نشانگر تثبیت احتمالی Sr به شکل کانی بیلوویت (Belovite)  $[(Sr,Ce,Na,Ca)_3(PO_4)_3(OH)]$  در سامانه باشد (Henderson, 1984). شباهت نسبی در نحوه تغییرات Ba (شکل ۶-d) با MnO (شکل ۵-i) دلالت‌بر رویش (scavenging) توسط اکسیدهای منگنز در نیمرخ دارد (Mutakyahwa et al., 2003). شباهت در نحوه توزیع Th (شکل ۶-e) با Al (شکل ۵-b) و Ti (شکل ۵-c) نشان‌دهنده رفتار مشابه این عناصر در طی فرایندهای هوازدگی و یا کنترل توزیع این عنصر توسط کانی‌هایی مانند بوهمیت، دیاسپور و آنتاز است (Mordberg, 1999). زیرکن به عنوان کانی اصلی حامل Th در نیمرخ‌های بازماندی شناخته شده‌است (Fernandez-Caliani & Cantano, 2010). با توجه به روند توزیع مشابه Th (شکل ۶-e) با Zr (شکل ۸-d) این کانی می‌تواند میزبان بالقوه دیگری برای Th در این نیمرخ باشد. روند مشابه در نحوه توزیع U (شکل ۶-f) با  $P_2O_5$  (شکل ۵-j) دلالت بر حضور U در شبکه کانی‌های فسفاتی ثانویه دارد. همچنین شباهت نسبی در روند توزیع U (شکل ۷-c) با Al (شکل ۵-b) از واحد لائتریت بالایی تا زیرین، می‌تواند نشانگر تثبیت U توسط کانی‌های رسی در این بخش از نیمرخ باشد (Hudson et al., 1999).

**ج) عناصر جزئی میوری (TTE):** اگر چه توزیع عناصری چون V، Co، Cr و Ni در واحدهای بوکسیتی - لائتریتی عمدتاً توسط اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن کنترل می‌شود (Laskou & Economou-Eliopoulos, 2007)، اما مقایسه نحوه الگوی تغییرات این عناصر (شکل ۷-d-v) با Fe (شکل ۵-d) در نیمرخ چنین روندی را نشان نمی‌دهد. ضرایب همبستگی مثبت و متوسط بین V با Al (۰/۶۸) و با Ti (۰/۶۴) نشان از تثبیت V توسط کانی‌های بوهمیت، دیاسپور و آنتاز دارد (Marques et al., 2004; Calagari & Abedini, 2007; Calagari et al., 2010). همبستگی متوسط بین Si با Cr (۰/۷۵) و Co (۰/۷۶) دلالت بر تثبیت این دو عنصر توسط کانی‌های رسی بواسطه فرایند جذب سطحی دارد (Newman, 1987). همچنین با توجه به شباهت نسبی الگوی توزیع Ni (شکل ۷-b) با Si (شکل ۵-a) و همچنین همبستگی مثبت و متوسط بین آن دو (۰/۶۷) می‌توان سازوکاری مشابه با Cr و Co را برای تثبیت Ni در سامانه در نظر گرفت.

**د) عناصر با قدرت میدان بالا (HFSE):** الگوی مشابه بین نحوه توزیع Ga (شکل ۸-a) و Ta (شکل ۸-b) با Al (شکل ۵-b) دلالت بر تثبیت این دو عنصر توسط رس‌ها در سامانه دارد (Fernandez-Caliani & Cantano, 2010). همچنین شباهت نسبی در الگوی تغییرات Ta (شکل ۸-b) با Ti (شکل ۵-c) نشان می‌دهد که افزون بر کانی‌های Al دار یادشده، اکسیدهای تیتانیم نیز نقش قابل توجهی در تثبیت Ta در این

**– ارتباط شرایط فیزیکوشیمیایی تشکیل کانسنگ‌ها با توزیع عناصر خاکی کمیاب:** الگوی توزیع REEs به‌نحوا شده نسبت به ترکیب کندریت (Taylor & McLennan, 1985) برای کانسنگ‌های نیمرخ مورد مطالعه، همراه با سنگ آغازین بازالتی (شکل ۱۰-a) نشان از غنی‌شدگی LREEs<sub>(La-Gd)</sub> و HREEs<sub>(Tb-Lu)</sub> نسبت به کندریت دارد با این تفاوت که میزان غنی‌شدگی LREEs<sub>(La-Gd)</sub> نسبت به HREEs<sub>(Tb-Lu)</sub> هم در کانسنگ‌ها و هم در سنگ آغازین شدیدتر است. با این وجود، با توجه به الگوی توزیع REEs کانسنگ‌های به‌نحوا شده نسبت به سنگ آغازین بازالتی مشخص می‌شود که در بیشتر کانسنگ‌ها (به‌استثنای لائتریت کائولینیتی) میزان شستشوی HREEs نسبت به LREEs در کانسنگ‌ها کمتر بوده است (شکل ۱۰-b). این رفتار غیر عادی که به‌ندرت در نیمرخ‌های لائتریتی گزارش شده است، می‌تواند در ارتباط با عواملی چون اختلاف در پایداری کانی‌های حامل REEs، تغییر pH محلول‌های هوازده‌کننده از اسیدی ضعیف تا بازی (Beyala et al., 2009) و یا درجه تکاملی متوسط نیمرخ باشد (۶/۷ < pH < ۷/۸).

– مطالعات سنگ‌نگاری نشان می‌دهند این افق، به‌طور برجاستاد تشکیل شده است و عواملی مانند تغییر مداوم سطح آب‌های زیرزمینی، زهکشی ضعیف، دیاژنز و فشارهای دینامیکی، نقش ارزنده‌ای در تشکیل بافت‌های پلئومرفیک، ریزنده، میکروائوئیدی، شبه‌پورفیری، ائوئیدی، پیروئیدی، شبه‌برشی و گره‌کی در کانسنگ‌های این افق داشته‌اند.

– مقایسه الگوی تغییرات عناصر در عرض نیمرخ مورد مطالعه نشان می‌دهد که رفتار عناصر در طی تکوین این افق تابعی از تغییرات شیمی محلول‌های درگیر در هوازدگی، تثبیت در فازهای نوریخت، حضور در فازهای کانایی مقاوم، ناهمگنی سنگ آغازین، اختلاف در میزان شدت دگرسانی، فرایندهای جذب سطحی و سازوکار آهن‌زدایی- آهن‌زایی است.

– مطالعات زمین‌شیمیایی نشان می‌دهند که عواملی مانند اختلاف در پایداری کانی‌های اولیه حامل REEs، تغییر pH محلول‌های هوازده کننده از اسیدی ضعیف تا بازی ( $6/7 < \text{pH} < 7/8$ ) و یا درجه تکاملی متوسط نیمرخ توزیع عناصر خاکی کمیاب را در کانسنگ‌ها در کنترل خود داشته‌اند.

– الگوی تغییرات بی‌هنجاری‌های Eu و Ce در نیمرخ در ارتباط مستقیم با شرایط اکسیدی حاکم در بخش‌های بالای آن، افزایش pH آب‌های زهکشی شده توسط سنگ‌های بستر کربناتی و تخریب کانی‌های پلاژیوکلاز سنگ آغازین در طی فرایندهای کانسنگ‌سازی است.

### سپاسگزاری

نگارندگان نهایت سپاس و قدردانی خود را از حمایت‌های مالی معاونت پژوهشی دانشگاه تهران ابراز می‌دارند. همچنین از نظرات و پیشنهادهای ارزنده و سازنده داوران محترم مجله سپاسگزاری می‌شود.

– تفسیر بی‌هنجاری‌های Ce و Eu: در این مطالعه برای تعیین بی‌هنجاری‌های Ce و Eu در کانسنگ‌های نیمرخ مورد بررسی به ترتیب از روابط زیر استفاده شده است:

$$\text{Ce Anomaly} = (2\text{Ce}_N) / (\text{La}_N + \text{Pr}_N) \quad (\text{Ma et al., 2007})$$

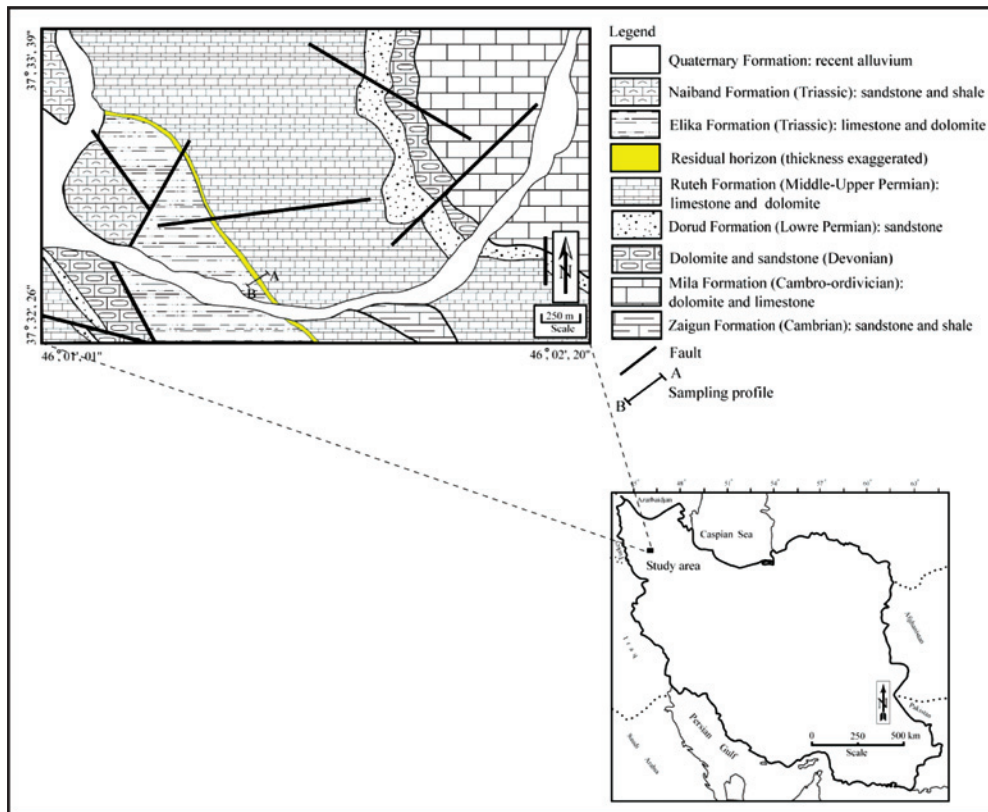
$$\text{Eu Anomaly} = (\text{Eu}_N) / \sqrt{[(\text{Sm}_N \times \text{Gd}_N)]} \quad (\text{Taylor \& McLennan, 1985})$$

در این روابط، N نشانگر بهنجارشدن عناصر مربوط به ترکیب کندریت (Taylor & McLennan, 1985) است. نتایج این محاسبات نشان می‌دهند که بازه تغییرات بی‌هنجاری Ce در نیمرخ، از ۰/۸۶ تا ۱/۳۶ و برای Eu از ۰/۵۲ تا ۰/۸۵ است. بررسی روند تغییرات بی‌هنجاری Ce در نیمرخ هوازده در مقایسه با سنگ آغازین به‌صورت افزایشی است (شکل ۱۱-ا). همچنین مقایسه نحوه تغییرات بی‌هنجاری Ce با نحوه توزیع عناصر اصلی نشان می‌دهد که شباهت نسبتاً زیادی بین نحوه توزیع Al با تغییرات بی‌هنجاری Ce در نیمرخ وجود دارد. افزایش بی‌هنجاری Ce در بخش‌های بالایی، می‌تواند به دلیل شرایط اکسیدی حاکم و در نتیجه تبدیل  $\text{Ce}^{+3}$  به  $\text{Ce}^{+4}$  و در بخش زیرین، به دلیل افزایش pH آب‌های زهکشی شده توسط سنگ‌های بستر کربناتی باشد (Braun et al., 1990). روند تغییرات بی‌هنجاری‌های Eu در نیمرخ نسبت به سنگ آغازین به‌صورت نامنظم و کاهش‌ی است (شکل ۱۱-ب). این روند کاهش‌ی نشان‌دهنده تخریب کانی‌های پلاژیوکلاز سنگ‌های مادر در طی فرایندهای هوازدگی است (White et al., 2001).

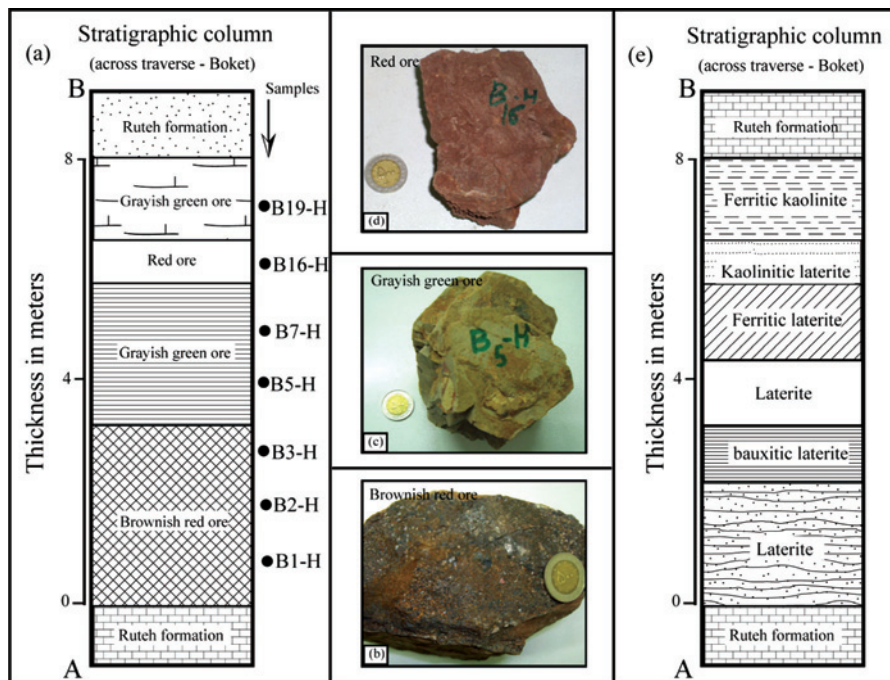
### ۴- نتیجه‌گیری

مهم‌ترین نتایج حاصل از بررسی‌های سنگ‌نگاری و زمین‌شیمیایی کانسنگ‌های بازماندی پرمو- تریاس در بوکت به قرار زیر است:

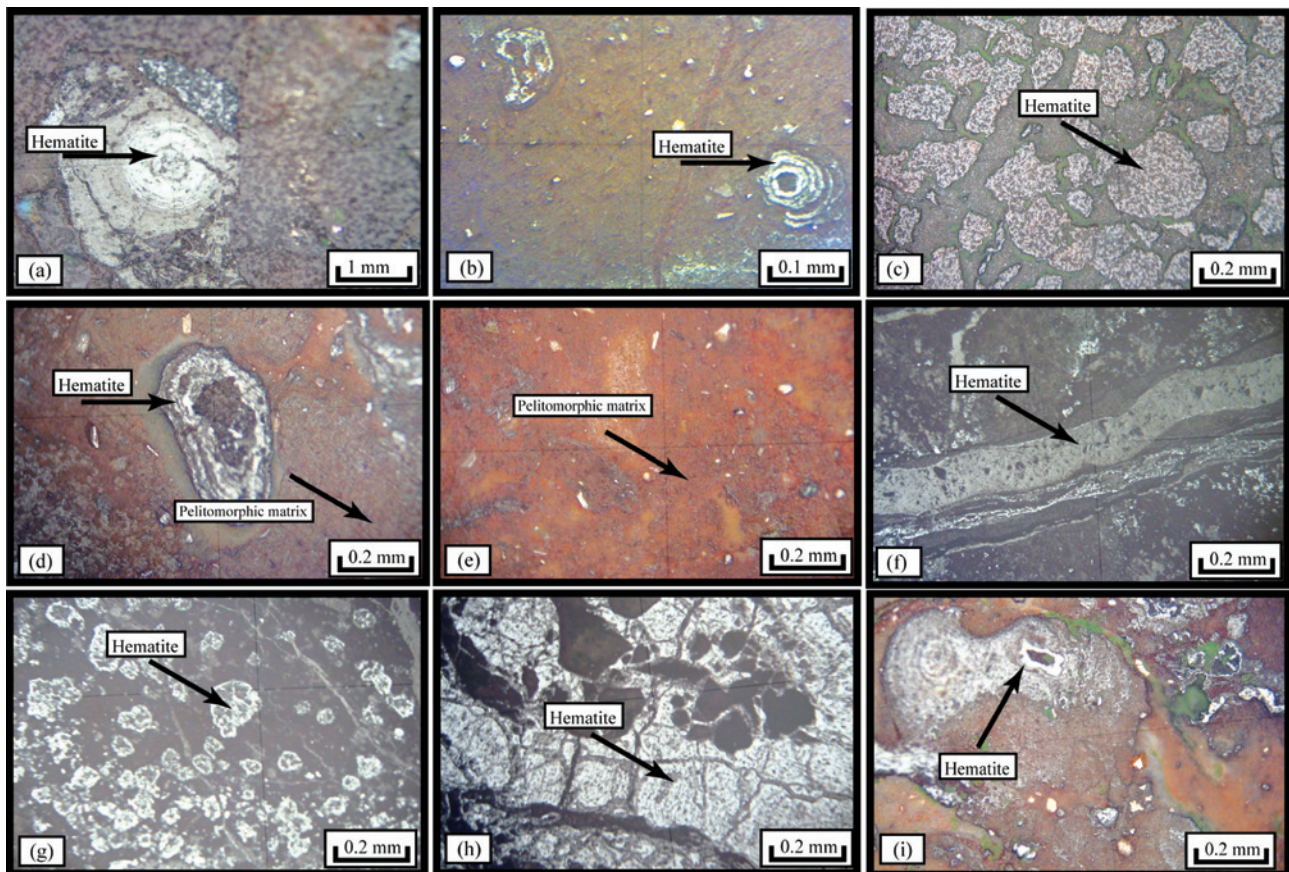
– افق بازماندی مورد مطالعه از پنج نوع کانسنگی شامل: (۱) لاتریت فریتی، (۲) لاتریت بوکسیتی، (۳) لاتریت کانولینیتی، (۴) کانولینیت فریتی و (۵) لاتریت تشکیل شده است.



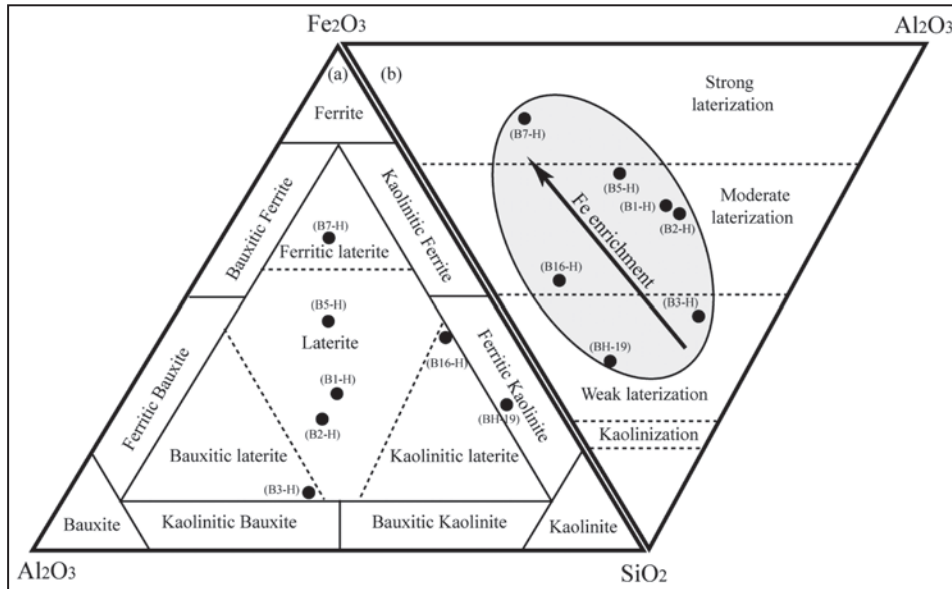
شکل ۱- نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه (خداپنده و امینی فضل، ۱۳۷۳) که در آن موقعیت افق بازماندی مشخص شده است.



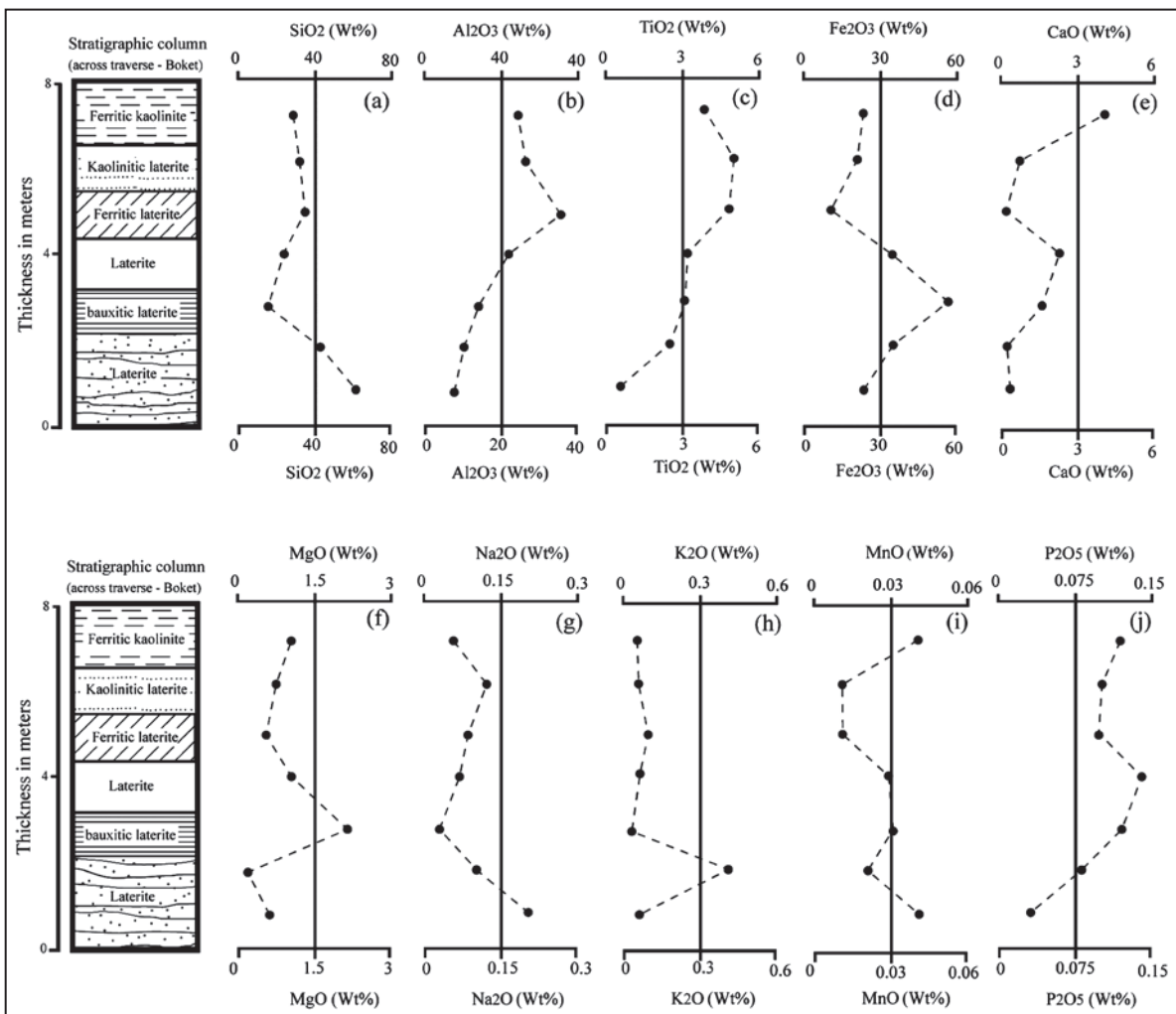
شکل ۲- (a) ستون چینه‌شناسی نیمرخ مورد مطالعه که در آن محل نمونه‌های برداشت شده برای تجزیه‌های زمین‌شیمیایی با دایره‌های توپر نشان داده شده‌اند، (b) نمونه دستی از کانسنگ قرمز قهوه‌ای، (c) نمونه دستی از کانسنگ سبز خاکستری، (d) نمونه دستی از کانسنگ قرمز و (e) نحوه توزیع کانسنگ‌های لاتریتی، لاتریت بوکسیتی، لاتریت فریتی، لاتریت کانولینیتی و کانولینیت فریتی در عرض نیمرخ مورد مطالعه بر اساس شیمی عناصر اصلی.



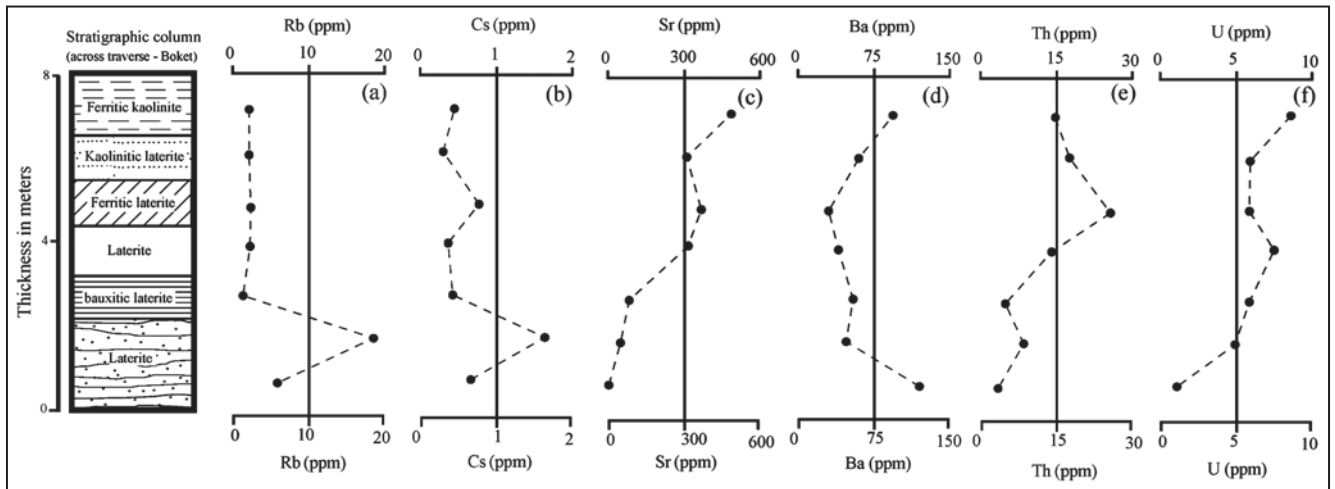
شکل ۳- تصاویر میکروسکوپی از کانسنگ‌های مورد مطالعه. (a) بافت پیزویدی، (b) بافت میکروائویدی، (c) بافت شبه پورفیری، (d) بافت ائویدی، (e) بافت پلیمورفیک، (f) بافت رگچه‌ای، (g) بافت کولومرفیک-جریانی، (h) بافت شبه برشی و (i) ائوید مرکب. همه تصاویر در نور بازتابی و به صورت ppl گرفته شده‌اند.



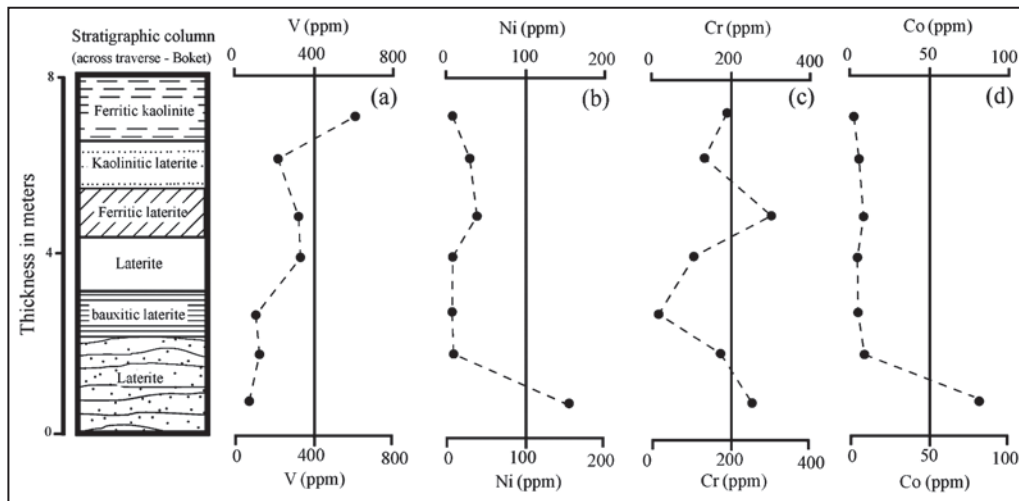
شکل ۴- (a) موقعیت کانسنگ‌های بررسی شده در نمودار سه متغیره  $Al_2O_3-SiO_2-Fe_2O_3$  (Aleva, 1994) و (b) موقعیت کانسنگ‌های نیمرخ بررسی شده در نمودار سه متغیره  $Al_2O_3-SiO_2-Fe_2O_3$  (Schellmann, 1983) برای تعیین شدت فرایند هوازدگی.



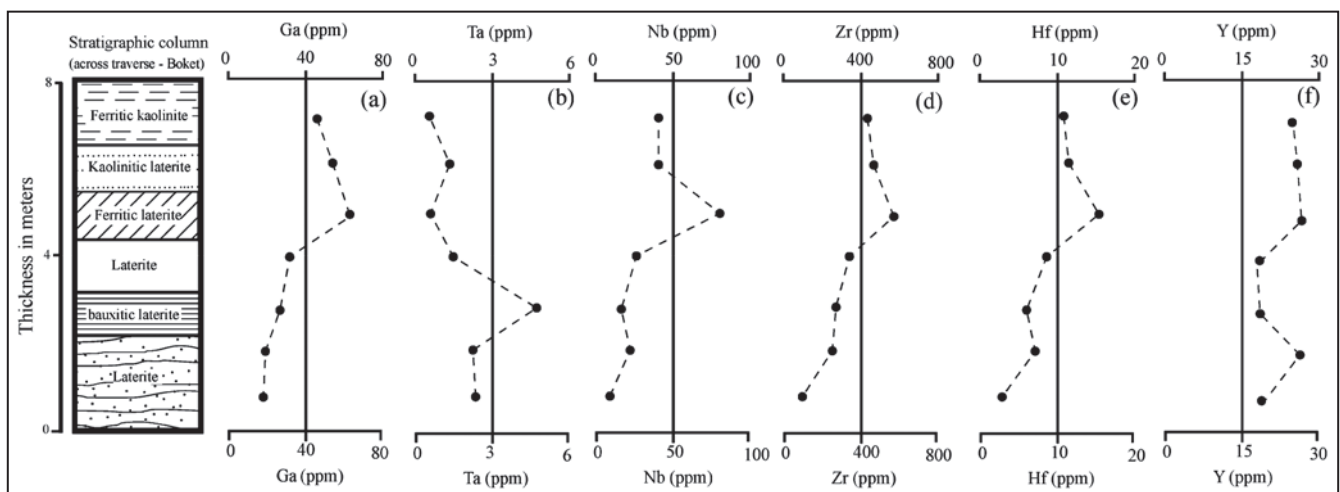
شکل ۵- الگوی تغییرات مقادیر اکسیدهای اصلی و فرعی (a)  $SiO_2$  (b)  $Al_2O_3$  (c)  $TiO_2$  (d)  $Fe_2O_3$  (e)  $CaO$  (f)  $MgO$  (g)  $Na_2O$  (h)  $K_2O$  (i)  $MnO$  (j)  $P_2O_5$  در عرض نیمرخ مورد مطالعه.



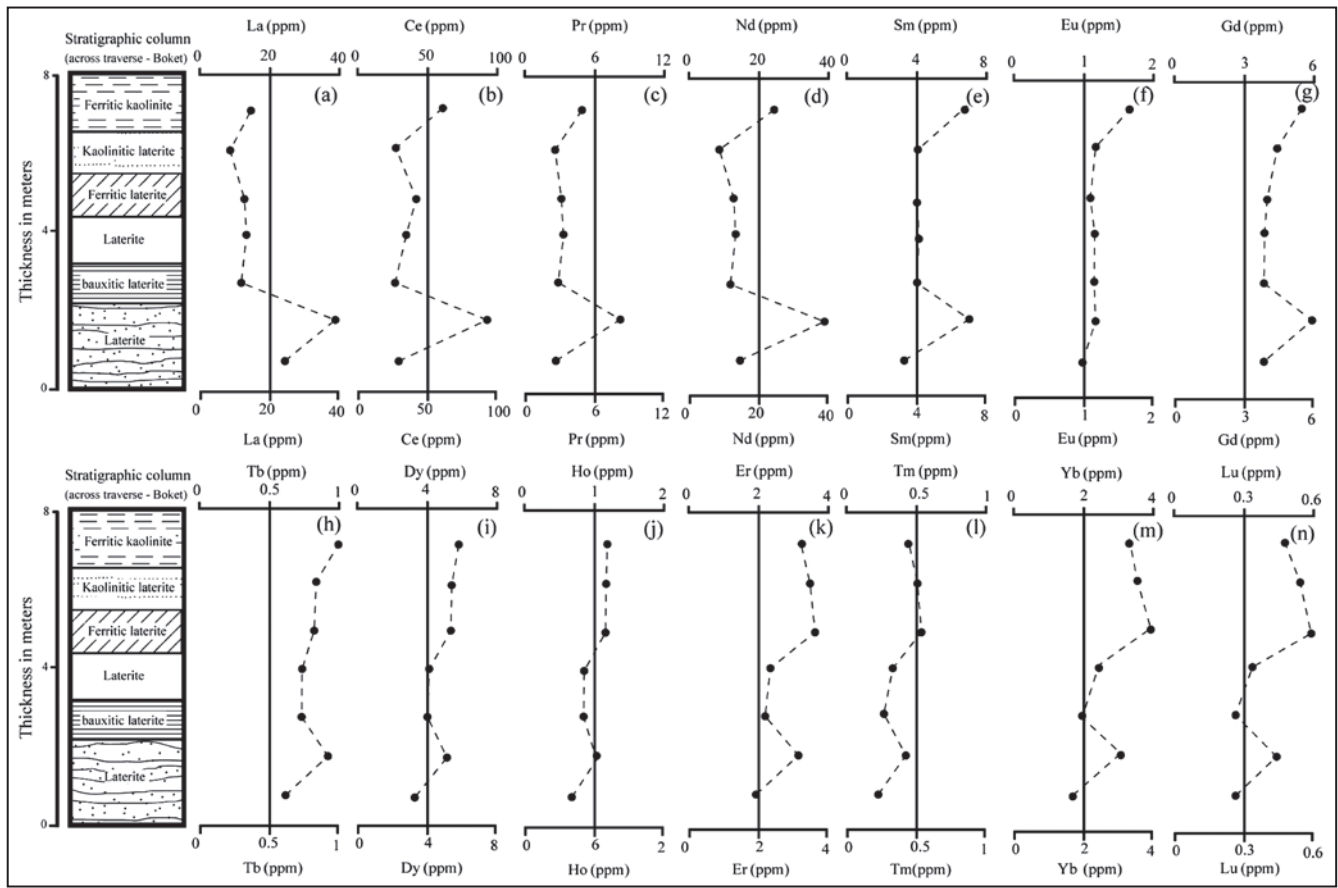
شکل ۶- الگوی تغییرات مقادیر عناصر سنگ‌دوست درشت یون (a) Rb، (b) Cs، (c) Sr، (d) Ba، (e) Th و (f) U در عرض نیمرخ مورد مطالعه.



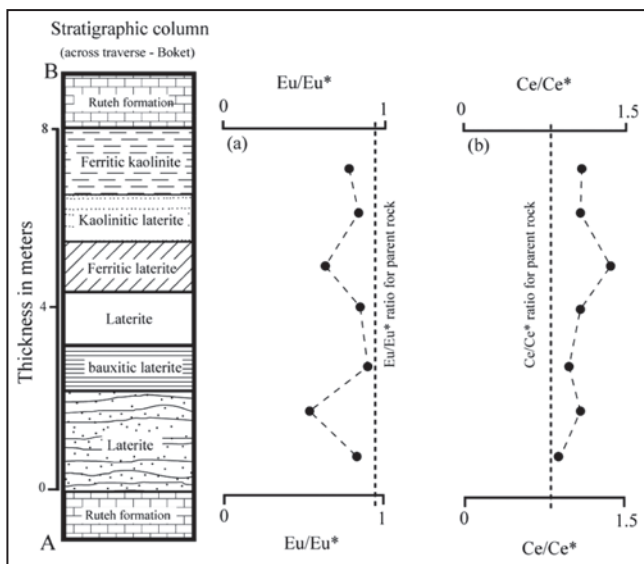
شکل ۷- الگوی تغییرات مقادیر عناصر جزئی عبوری (a) V، (b) Ni، (c) Cr و (d) Co در عرض نیمرخ مورد مطالعه.



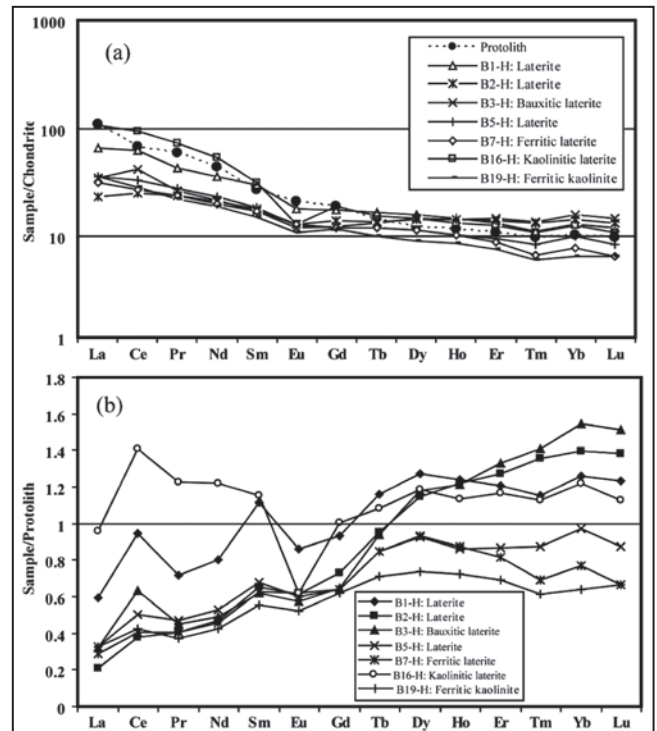
شکل ۸- الگوی تغییرات مقادیر عناصر با قدرت میدان پایداری بالا (a) Ga، (b) Ta، (c) Nb، (d) Zr، (e) Hf و (f) Y در عرض نیمرخ مورد مطالعه.



شکل ۹- الگوی تغییرات مقادیر عناصر خاکی کمیاب (a, La, (b, Ce, (c, Pr, (d, Nd, (e, Sm, (f, Eu, (g, Gd, (h, Tb, (i, Dy, (j, Ho, (k, Er, (l, Tm, (m, Yb, (n, Lu) در عرض نیمرخ مورد مطالعه.



شکل ۱۱- تغییرات (a) بی‌هنجاری Eu و (b) بی‌هنجاری Ce در عرض نیمرخ مورد مطالعه نسبت به سنگ آغازین.



شکل ۱۰- (a) الگوی توزیع REEs کانسنگ‌های بازماندی و سنگ آغازین بهنجار شده نسبت به کندریت (Taylor & McLennan, 1985) و (b) الگوی توزیع REEs در کانسنگ‌های بازماندی بهنجار شده نسبت به سنگ آغازین.



جدول ۱- نتایج تجزیه‌های ICP-AES و ICP-MS به ترتیب برای عناصر اصلی، فرعی، جزئی و خاکی کمیاب در کانسنگ‌های نیمرخ مورد مطالعه و یک نمونه سنگ بازالتی.

Sample No	Basalt	B1-H	B2-H	B3-H	B5-H	B7-H	B16-H	B19-H
<b>Major and minor elements</b>								
SiO <sub>2</sub> (Wt %)	52.9	27.9	30.6	34.9	22.5	13.6	41.6	61.1
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20.4	24.0	25.8	35.0	21.2	12.75	9.3	7.71
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8.01	22.8	22.4	10.1	35.6	56.7	35.3	23.6
CaO	6.03	4.01	0.54	0.15	2.22	1.48	0.22	0.28
MgO	2.49	0.62	0.74	0.56	1.06	2.19	0.18	1.03
Na <sub>2</sub> O	3.79	0.05	0.12	0.08	0.07	0.03	0.1	0.2
K <sub>2</sub> O	3.66	0.03	0.05	0.09	0.05	0.01	0.41	0.05
TiO <sub>2</sub>	0.88	3.99	4.99	4.85	3.21	3.03	2.55	0.53
MnO	0.12	0.04	0.02	0.01	0.03	0.03	0.01	0.04
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.36	0.12	0.1	0.1	0.14	0.12	0.08	0.03
LOI	1.19	14.35	12.9	13.35	11.95	8.14	9.79	5.39
Sum	99.83	97.91	98.26	99.19	98.03	98.07	99.54	99.96
<b>Large ion lithophile elements</b>								
Ba (ppm)	891	94.3	57.8	30.6	43.9	55.3	46.5	119
Rb	102.0	1.8	1.9	1.8	2	0.7	18.7	6.1
Cs	2.23	0.44	0.32	0.79	0.36	0.42	1.67	0.64
Sr	1000	366	481	307	363	317	86.8	57.1
U	2.24	8.47	5.76	5.86	7.43	5.68	4.98	0.79
Th	7.29	14.5	17.25	25.9	14.1	4.14	8.47	3.55
<b>Transition trace elements</b>								
V (ppm)	191	600	217	324	329	99	123	70
Ni	34	5	26	35	5	5	5	158
Cr	40	180	120	300	100	10	170	250
Co	17.3	3	2.7	5.3	2	3	4.7	76.2
<b>High field strength elements</b>								
Ga (ppm)	20.1	44.7	53.8	63.1	31.2	25.3	18.4	17.7
Hf	3.8	10.9	11.1	15.3	8.5	5.6	7.1	2.9
Y	24.2	26.2	25.8	26.9	18	18.5	26.7	19
Nb	15.6	40.9	40.5	81.2	27	15.3	22	8.4
Zr	135	427	458	575	334	257	256	99
Ta	0.9	2.4	2.3	4.8	1.5	0.6	1.4	0.6
<b>Rare earth elements</b>								
La (ppm)	40.8	24.3	8.6	13.0	13.3	11.7	39.1	13.2
Ce	64.3	61	24.2	40.5	32.2	25.9	90.6	27.2
Pr	8.34	5.99	3.38	3.73	3.91	3.36	10.25	3.1
Nd	31.5	25.2	14.8	15.4	16.7	14.3	38.4	13.4
Sm	6.28	6.99	4.11	3.91	4.26	3.92	7.26	3.48
Eu	1.89	1.63	1.16	1.09	1.14	1.17	1.17	0.99
Gd	5.89	5.48	4.32	3.81	3.77	3.75	5.92	3.66
Tb	0.86	1.00	0.82	0.81	0.73	0.73	0.93	0.61
Dy	4.73	6.02	5.42	5.57	4.39	4.4	5.62	3.48
Ho	0.95	1.18	1.16	1.15	0.82	0.83	1.08	0.69
Er	2.74	3.3	3.48	3.65	2.37	2.24	3.19	1.89
Tm	0.39	0.45	0.53	0.55	0.34	0.27	0.44	0.24
Yb	2.57	3.24	3.59	3.98	2.49	1.98	3.14	1.65
Lu	0.39	0.48	0.54	0.59	0.34	0.26	0.44	0.26
<b>Anomalies</b>								
Eu/Eu*	0.96	0.78	0.83	0.63	0.85	0.91	0.52	0.82
Ce/Ce*	0.92	1.08	1.06	1.36	1.05	0.97	1.06	0.86

### کتابخانه

باقرزاده کریمی، ن.، ۱۳۷۴- محیط رسوبی رس‌های بوکسیتی پرمین فوقانی شمال غرب مراغه، رساله کارشناسی ارشد دانشکده زمین‌شناسی دانشگاه تهران، ۶۰ ص.  
 خداوند، ع.، امینی فضل، ع.، ۱۳۷۳- نقشه زمین‌شناسی اسکو به مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.  
 خلیل‌زاده، ه.، ۱۳۸۸- بررسی‌های زمین‌شیمیایی و ژئز نهشته‌های بوکسیت- لائریت شمال شرق عجب‌شیر (استان آذربایجان شرقی)، رساله کارشناسی ارشد دانشکده زمین‌شناسی دانشگاه تهران، ۱۲۳ ص.

شهرابی، م.، ۱۳۷۳- شرح نقشه زمین‌شناسی چهارگوش ارومیه مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰. انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۸۱ ص. عابدینی، ع.، ۱۳۸۷- بررسی کانی‌شناسی، ژئوشیمی و ژنز نهشته‌های بوکسیتی-لاتریتی پرمین تا تریاس در شمال غرب ایران. رساله دکتری گروه زمین‌شناسی دانشگاه تبریز، ۱۸۴ ص.

علوی نائینی، م.، شهرابی، م.، سعیدی، ع.، ۱۳۶۴- نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ چهارگوش ارومیه. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

## References

- Aleva, G. J. J., 1994- Laterites: Concepts, geology, morphology and chemistry. ISIRC, Wageningen, 169p.
- Bardossy, G., 1982- Karst Bauxites. Elsevier Scientific, Amsterdam, 441p.
- Beyala, V. K. K., Onana, V. L., Priso, E. N. E., Parisot, J. & Ekodeck, G. E., 2009- Behaviour of REE and mass balance calculations in a lateritic profile over chlorite schists in South Cameroon. *Chemie der Erde - Geochemistry* 69, 61-73.
- Boulangé, B., 1984- Les formation bauxitiques lateriques de Cote d Ivoire. *Travaux et Documents ORSTOM*, Paris 175, 341p.
- Braun, J. J., Pagel, M., Muller, J. P., Bilong, P., Michard, A. & Guillet, B., 1990- Ce anomalies in lateritic profiles. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 54, 781-795.
- Calagari, A. A. & Abedini, A., 2007- Geochemical investigations on Permo-Triassic bauxite deposit at Kanisheeteh, east of Bukan, Iran. *Journal of Geochemical Exploration* 94, 1-18.
- Calagari, A. A., Kangrani, F. & Abedini, A., 2010- Geochemistry of major, trace and rare earth elements in Biglar Permo-Triassic bauxite deposit, northwest of Abgarm, Ghazvin province. *Journal of Sciences* 21, 225-236.
- Fernandez-Caliani, J. & Cantano, M., 2010- Intensive kaolinization during a lateritic weathering event in southwest Spain mineralogical and geochemical inferences from a relict paleosol. *Catena* 80, 23-33.
- Henderson, P., 1984- Rare Earth Element Geochemistry. Elsevier, Amsterdam, 510p.
- Hudson, E. A., Terminello, L. J., Viani, B. E., Denecke, M., Reich, T. & Allen, P. G., 1999- The structure of  $U^{6+}$  sorption complexes on vermiculite and hydrobiotite. *Clays and Clay Minerals* 47, 439-457.
- Karadag, M., Kupeli, S., Arik, F., Ayhan, A., Zedef, V. & Doyen, A., 2009- Rare earth element (REE) geochemistry and genetic implications of the Mortas bauxite deposit (Seydisehir/Konya-southern Turkey. *Chemie der Erde- Geochemistry* 69, 143-159.
- Laskou, M. & Economou-Eliopoulos, M., 2007- The role of microorganisms on the mineralogical and geochemical characteristics of the Parnassos-Ghiona bauxite deposits, Greece. *Journal of Geochemical Exploration* 93, 67-77.
- Ma, J., Wei, G., Xu, Y., Long, W. and Sun, W., 2007- Mobilization and re-distribution of major and trace elements during extreme weathering of basalt in Hainan Island, South China. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 71, 3223-3237.
- MacLean, W. H., Bonavia, F. F. & Sanna, G., 1997- Argillite debris converted to bauxite during karst weathering: evidence from immobile element geochemistry at the Olmedo deposit, Sardinia, *Mineralium Deposita* 32, 607-616.
- Mameli, P., Mongelli, G., Oggiano, G. & Dinelli, E., 2007- Geological, geochemical and mineralogical features of some bauxite deposits from Nurra (western Sardinia, Italy): Insights on conditions of formation and parental affinity. *International Journal of Earth Sciences* 96, 887-902.
- Meinhold, G., 2010- Rutile and its applications in earth sciences. *Earth Science Reviews* 102, 1-28.
- Marques, J. J., Schulze, D. G., Curi, N., and Mertzman, S. A., 2004. Trace element geochemistry in Brazilian Cerrado soils. *Geoderma* 121, 31-43.
- Mordberg, L. E., 1993- Patterns of distribution and behavior of trace elements in bauxites. *Chemical Geology* 107, 241-244.
- Mordberg, L. E., 1999- Geochemical evolution of a Devonian diaspor-crandallite- svanbergite bearing weathering profile in the Middle Timan, Russia. *Journal of Geochemical Exploration* 66, 353-361.
- Muggler, C. C., 1998- Polygenetic oxisols on Tertiary surfaces, Minas Gerais Brazil. Ph.D thesis. Wageningen university., Netherlands.
- Mutakyahwa, M. K. D., Ikingura, J. R. & Mruma, A. H., 2003- Geology and geochemistry of bauxite deposits in Lushoto district, Usambara Mountains, Tanzania. *Journal of African Earth Sciences* 36, 357-369.
- Newman, A. D. C., 1987- Chemistry of clays and clay minerals. Mineralogical society, monograph 6, p480.
- Oh, N. H. & Richter, D. D., 2005- Elemental translocation and loss from three highly weathered soil- bedrock profiles in the southeastern United States. *Geoderma* 126, 5-25.
- Panahi, A., Young, G. M. & Rainbird, R. H., 2000- Behavior of major and trace elements (including REE) during Paleoproterozoic pedogenesis and diagenetic alteration of an Archean granite near Ville Marie, Quebec, Canada. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 64, 2199- 2220.
- Rollinson, H., 1993- Using geochemical data: Evaluation, presentation, interpretation. Longman Scientific and Technical, 352p.
- Schellmann, W., 1983- A new definition of laterite. *Natural Resources and Development* 18, 7-21.
- Taylor, S. R. & McLennan, S. M., 1985- The continental crust: Its composition and evolution. Blackwell. Oxford, 312p.
- Valeton, I., 1972- Bauxites. Elsevier, 226p.
- White, A. F., Bullen, T. D., Schultz, M. S., Blum, A. E., Huntington, T. G. & Peters, N. E., 2001- Differential rates of feldspar weathering in granitic regoliths. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 65, 847- 869.

## Petrography and Geochemistry of Boket Residual Ores, NE Ajabshir, East-Azarbaijan Province, Iran

H. Khalilzadeh<sup>1</sup>, A. A. Calagari<sup>2\*</sup>, A. Abedini<sup>3</sup> & H. Rahimpour-Bonab<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Geology Faculty, College of Science, Tehran University, Tehran, Iran.

<sup>2</sup>Geology Department, Faculty of Natural Sciences, Tabriz University, Tabriz, Iran.

<sup>3</sup>Geology Department, Faculty of Sciences, Urmia University, Urmia, Iran.

Received: 2010 June 22

Accepted: 2011 February 19

### Abstract

Boket residual horizon is located in ~15 km northeast of Ajabshir, East-Azarbaijan province. This horizon was developed as stratiform lenses along the contact of Ruteh (middle-upper Permian) and Elika (Triassic) carbonate formations. The ores within this horizon display pelitomorphic, micro-granular, micro-oidic, pseudo-porphyrific, ooidic, pisoidic, pseudo-breccia, and nodular textures. Based on geochemical data, the ores within this horizon are divided into five types, (1) ferritic laterite, (2) bauxitic laterite, (3) kaolinitic laterite, (4) ferritic kaolinite, and (5) laterite. Comparison of distribution patterns of elements across a selected profile indicates the effective role of Al and Ti in distributing and concentrating of Zr, Ga, Nb, Th, V, and HREEs within the ores. Incorporation of data obtained from petrographical and geochemical studies shows that the ores have authigenic origin. Furthermore, factors such as chemical variations of weathering solutions, fixation in neomorphic phases, existing in resistant minerals, heterogeneity of protolith, differences in the degree of weathering intensity, and adsorption processes coupled with weak drainage, diagenesis, dynamic pressures, and fluctuation of underground water table played crucial roles in distribution and development of ores within this horizon. The most notable geochemical characteristics of the ores (except in kaolinitic laterite) is the greater mobility of LREEs relative to HREEs during weathering processes. This abnormal behavior within the horizon could be related to factors such as differences in stability of primary minerals containing REEs, the pH variation (from 6.7 to 7.8) of weathering solutions, and moderate degree of evolution of the profile.

**Keywords:** Ajabshir, Boket, Laterite, Distribution of Elements, Residual Horizon.

For Persian Version see pages 175 to 184

\*Corresponding author: A. A. Calagari; E-mail: calagari@tabrizu.ac.ir

## Facies Analysis and Environmental Interpretation of *Planolites* and *Palaeophycus* Trace Fossils from Paleozoic Sediments of Mid-Iran Zone

A. Bayat Gol<sup>1</sup>, N. Abbassi<sup>2\*</sup>, A. Mahboubi<sup>1</sup>, R. Moussavi-Harami<sup>1</sup>, H. Amin Rasouli<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Department of Geology, Faculty of Science, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

<sup>2</sup>Department of Geology, Faculty of Science, University of Zanjan, Zanjan, Iran

<sup>3</sup>Department of Geology, Natural Resources Faculty, Kordestan University, Sanandaj, Iran

Received: 2010 September 18

Accepted: 2011 January 08

### Abstract

Some of Paleozoic sediments from Alborz and Central Iran subzones from Mid-Iran zone evaluated for distinction of *Palaeophycus* and *Planolites* ichnofossils. These sediments include Shale Member of Lalun Formation, Shirgesht Formation, member 5 of Mila Formation and Geiroud Formation. A diverse ichnofauna has been found in these Formations, so *Planolites* and *Palaeophycus* are abundant between them. Ichnotaxa diagnosis and some determination problems of these ichnogenera was discussed here. Overall characteristics of *Palaeophycus* suggest dwelling structure made by predator or suspension-feeder and passive sedimentation in the open burrow. *Planolites*, on the other hand imply active backfilling structure in ephemeral burrows, which constructed by a mobile deposit-feeder. *Planolites* include unlined burrows with infilled sediments differ texturally from host rock. Whereas *Palaeophycus* is lined burrow filled by same sediments of surrounding matrix. Accordingly, *Palaeophycus* assemblage members made by opportunistic communities with r-selected population strategies in physically-controlled and unstable environment, whereas ichnofossils of *Planolites* assemblage are related to benthic communities with displaying K-selected or climax strategies in the stable environments and rather predictable conditions. Recognized ichnospecies of *Planolites* are