

ویژگی های ژئوشیمیایی نهشته لاتریتی شاه‌بلاغی، جنوب خاور دماوند، استان تهران

فاطمه کنگرانی فراهانی^۱، علی اصغر کلاگری^۲ و علی عابدینی^۳

^۱ دانشجوی دکترا، گروه زمین شناسی، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

^۲ استاد، گروه زمین شناسی، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

^۳ دانشیار، گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۰۴/۱۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۰۹/۲۶

چکیده

نهشته لاتریتی شاه‌بلاغی در فاصله ۴۰ کیلومتری جنوب خاور دماوند در استان تهران قرار دارد. این نهشته به شکل افق‌های چینه‌سان در درون شیل‌ها و ماسه‌سنگ‌های سازند شمشک (ژوراسیک) گسترش یافته است. مطالعات کانی‌شناسی نشان می‌دهند که کانی‌های اصلی این نهشته شامل هماتیت، بوهمیت و آنازاست که در مقادیر کمتر توسط گوتیت، مگنتیت، شاموزیت، کائولینیت، کوارتز، کلسیت، دیاسپور، زیرکن، پیریت، و روتیل همراهی شوند. شواهد میکروسکوپی مانند گسترش بافت‌های اسپاستوییدی در کانسنگ‌ها، یک محیط رسوبی پر انرژی و اشباع از آب را طی فرایند لاتریت‌زایی پیشنهاد می‌کند. با توجه به مجموعه کانیایی و ویژگی‌های بافتی، نهشت و دیاژنز این افق در یک محیط اکسیدان و تقریباً نزدیک به سطح زمین رخ داده است. بر پایه یافته‌های حاصل از مشاهدات صحرایی و ژئوشیمی عناصر اصلی، کمیاب و خاکی کمیاب افق لاتریتی شاه‌بلاغی احتمالاً از دگرسانی سنگ‌های مادر با ترکیب بازالتی تشکیل شده است. فرایند بوکسیتی شدن با مسیرهای کائولینیتی شدن، تخریب کائولینیت و آهن‌زدایی دنبال شده است. مطالعات ژئوشیمیایی نشان می‌دهند که توزیع عناصر جزئی در این افق توسط کانی‌های رسی و فازهای کانیایی فرعی کنترل شده است.

کلیدواژه‌ها: لاتریت، شاه‌بلاغی، دماوند، ژئوشیمی، توزیع عناصر، سنگ مادر.

*نویسنده مسئول: فاطمه کنگرانی فراهانی

E-mail: Farahani_1893@yahoo.com

۱- پیش‌گفتار

در طی دهه‌های اخیر، در سطح بین‌الملل بر روی کانسارهای لاتریت و بوکسیت پژوهش‌های گسترده زمین‌شناسی، سنگ‌شناسی، کانی‌شناسی و ژئوشیمیایی انجام گرفته است که می‌تواند راهنمایی برای شناسایی سنگ مادر و زایش این نهشته‌ها باشند (D'Argenio & Mindszenty, 1995; Horbe & Costa, 1999; Mordberg, 2001; Öztürk et al., 2002; Laskou, 2003; Laskou et al., 2005; Temur & Kansun, 2006; Calagari & Abedini, 2007; Mameli et al., 2007; Muzaffer-Karadağ et al., 2009; Calagari et al., 2010; Liu et al., 2010; Liu et al., 2012; Mesharm & Randive, 2011). در مطالعات مختلف برای تعیین رفتار و چگونگی توزیع عناصر اصلی، فرعی و کمیاب در طی فرایند هوازدگی روش‌های مختلف ژئوشیمیایی به کار برده می‌شود که می‌توان به استفاده از روش محاسبات تغییرات جرم با استفاده از یک عنصر شاخص بی‌تحرك (Mameli et al., 2007; Calagari & Abedini, 2007; Muzaffer-Karadağ et al., 2009) محاسبات تغییرات جرم بدون عنصر شاخص بی‌تحرك (Malpas et al., 2001) و بررسی روند تغییرات عناصر در طول نیمرخ با به‌کارگیری ضریب همبستگی میان آنها (Temur, 2006) اشاره کرد. استفاده از عناصر کم‌تحرك مانند Ti, Zr, Hf, Ni, Ta, Cr و Nb (MacLean & Barrett, 1993; Kurtz et al., 2000; Panahi et al., 2000; Calagari & Abedini, 2007) و الگوی REEs همراه با شاخص بی‌هنجاری این عناصر (مانند بی‌هنجاری (Eu) (Taylor & McLennan, 1995); Mongelli, 1997; Nyakairu & Koeberl, 2001; Mameli et al., 2007; Muzaffer-Karadağ et al., 2009; Liu et al., 2010) از روش‌های استفاده شده برای تعیین سنگ مادر نهشته‌های بوکسیتی کارستی در مطالعات گوناگون هستند.

وقفه رسوب‌گذاری طی تریاس تا ژوراسیک در ایران سبب گسترش و تشکیل افق‌های بسیار لاتریتی-بوکسیتی در نواحی مختلف رشته‌کوه‌های البرز و ایران مرکزی شده است. نهشته لاتریتی شاه‌بلاغی از جمله این افق‌ها در البرز

۲. روش مطالعه

۷۰ نمونه سنگی به طور سامان‌مند از کانسنگ‌های مختلف با در نظر گرفتن تغییر رنگ آنها در طول یک نیمرخ عمود بر افق لاتریتی شاه‌بلاغی برای آزمایش‌های ژئوشیمیایی و کانی‌شناسی جمع‌آوری شدند. از میان آنها، بر روی ۶ نمونه لاتریتی نماینده به منظور شناسایی فازهای کانیایی، تجزیه پراش پرتو X (XRD) در سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور صورت گرفت. مطالعات تکمیلی با میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) مدل XLC Philips صورت گرفت. برای تعیین ترکیب شیمیایی، ۱۰ نمونه در آزمایشگاه ACME کانادا مورد تجزیه شیمیایی قرار گرفتند. مقادیر اکسیدهای اصلی با ICP-ES تعیین شدند. حد آشکارسازی برای اکسیدهای اصلی ۰/۱ wt % (به‌جز برای Cr_2O_3 ، Fe_2O_3 که به ترتیب ۰/۰۴، ۰/۰۰۲ و ۰/۱ wt % هستند) بوده است. مقدار پرت دمایی (LOI) بر پایه دما دادن ۳ تا ۴ گرم از هر نمونه در دمای ۱۰۴۰ تا ۱۰۶۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۵ دقیقه تعیین شد. مقادیر عناصر فرعی، کمیاب و نادرخاکی با روش ICP-MS با حد آشکارسازی ۰/۱ppm برای عناصر فرعی و کمیاب و ۰/۰۵ppm برای عناصر خاکی کمیاب (به‌جز

(شکل ۳- c) و کلومورفیک جریانی (شکل ۳- d) نیز گاه در کانسنگ‌های مختلف این افق دیده می‌شوند. شکستگی‌های گسترش‌یافته در واحدهای بافت‌ساز و متن کانسنگ (شکل ۴- a) و تغییر شکل آئیدها (شکل ۴- b) نتیجه‌ای از تأثیر فشارهای زمین‌ساختی بر نهشته است. گسترش بافت‌های آئیدی - پیرویدی نشان‌دهنده محیط رسوبی پر انرژی و اشباع از آب به همراه نوسانات شدید آب زیرزمینی طی فرایند لاتریتی شدن است (Bardossy, 1982). قطعات مستقل، کنکرسون‌های آئیدی - پیرویدی و شکافه پرکن از نمادهای بافتی نمود یافته اکسید/هیدروکسیدهای آهن، اکسید/هیدروکسیدهای آلومینیم و کانی‌های رسی است. قطعات ریز پیریت، سوزن‌های روتیل (شکل ۴- c) و کانی‌های آناتاز و مگنتیت از کانی‌های بافت‌ساز شناسایی شده در واحدهای مختلف این نیم‌رخ هوازده هستند.

سنگ‌های بازالتی موجود در محل همبری کمی دگرسان بوده و بافت‌های پورفیری (شکل ۴- d)، اینترگرانولار و بادامکی نشان می‌دهند. بافت بادامکی در ملافی‌های بازالتی در اثر ورود بعدی محلول‌های سیلیس‌دار و تشکیل کوارتز در حفره‌های موجود تشکیل شده است. این سنگ‌ها به طور چیره دارای پلاژیوکلاز، پیروکسن و کانی‌های کدر هستند. پلاژیوکلازها (۴۰ تا ۵۰٪) بیشتر سریستی و زئولیتی شده‌اند. پیروکسن‌ها (۳۰ تا ۳۵٪) گاه به آمفیبول دگرسان شده‌اند. کانی‌های کدر (۲۰ تا ۲۵٪) به طور چیره شامل مگنتیت، ایلمنیت و پیریت هستند. بر پایه نتایج تجزیه‌های پراش پرتو X (XRD) کانی‌های گسترش یافته در طی فرایند لاتریتی شدن در این نهشته کانی‌های اصلی هماتیت، بوهمیت، آناتاز و کانی‌های فرعی شاموزیت، مگنتیت، گوتیت، کانولینیت و کوارتز هستند. دیاسپور و کلسیت نیز در مقادیر جزئی حضور دارند (جدول ۲ و شکل ۵). مطالعات SEM قطعات پراکنده آناتاز و زیرکن در زمینه، قطعات بوهمیت (شکل ۴- e) و رگه‌های اکسید/هیدروکسید آهن (شکل ۲- f) را در کانسنگ‌های لاتریتی آشکار می‌سازد.

۵- ژئوشیمی

۵-۱. سنگ مادر

عناصر Ti, Zr, Cr و Nb به عنوان عناصر کم‌تحرک در طی فرایند هوازگی در نظر گرفته می‌شوند (MacLean & Kranidiotis, 1987; MacLean & Barrett, 1993; Kurtz et al., 2000; Panahi et al., 2000). عناصر کم‌تحرک در ذخایر بوکسیتی همانند سنگ مادر است و به‌طور گسترده برای ردیابی سنگ مادر استفاده می‌شود (Valeton et al., 1987; MacLean, 1990; Hallberg (1984) نسبت Zr/Ti می‌تواند اطلاعاتی در مورد ترکیب شیمیایی سنگ مادر فراهم کند. Floyd & Winchester (1978) برای تعیین سنگ مادر لاتریت‌ها از نسبت Nb/Y در برابر Zr/Ti استفاده کرده‌اند (این روش به‌ویژه در مواقعی که سنگ مادر، سنگ آذرین بیرونی باشد، بسیار کاربردی است). نسبت Nb/Y سنگ‌های مادر در طی فرایند لاتریتی شدن ثابت باقی می‌ماند (Hill et al., 2000). نمونه‌های لاتریتی شاه‌بلاغی در نمودار Zr/Ti در محدوده بازالت قرار می‌گیرند (شکل ۶- a). به طور همانند اطلاعات رسم شده در نمودار Nb/Y-Zr/TiO₂ نیز ترکیب آلكالی‌بازالت را برای این افق بازتاب می‌کند (شکل ۶- b). مطابق نمودار سه متغیره Ga-Zr-Cr (Öztlü, 1983) سنگ‌های مادر باید ترکیب بازالتی داشته باشند (شکل ۶- c).

برخی از نسبت‌ها به‌ویژه بی‌هنجاری Eu در طی فرایند هوازگی ثابت می‌مانند (Mongelli, 1993). تغییرات Eu/Eu* در نیم‌رخ هوازده شاه‌بلاغی بسیار ناچیز است. Al و Ti نیز در طی فرایند لاتریتی شدن به صورت نامتحرک هستند (MacLean et al., 1997) و پتانسیل بالایی برای انتقال به سنگ‌های رسوبی دارند، بنابراین نسبت TiO₂/Al₂O₃ یک شاخص حساس برای تعیین سنگ منشأ است. بی‌هنجاری Eu در برابر نسبت TiO₂/Al₂O₃ برای ترکیب میانگین سنگ‌های

برای Ba, Ga, Sr, Pr, Nd, Eu, Tb, Ho, Er, Tm و Eu که به ترتیب ۱، ۰/۵، ۰/۵، ۰/۲، ۰/۳، ۰/۲، ۰/۱، ۰/۳، ۰/۱، ۰/۱، ۰/۳، ۰/۱ (است) مشخص شده‌اند. نتایج تجزیه‌های ژئوشیمیایی در جدول ۱ آورده شده است.

۳- مطالعات صحرایی

ناحیه مورد بررسی بر پایه طبقه‌بندی پهنه‌های ساختاری ایران (نبوی، ۱۳۵۵) (شکل ۱- a) متعلق به پهنه البرز مرکزی است و در خاور این پهنه قرار می‌گیرد (شکل ۱- b). کهن‌ترین رسوبات ناحیه مربوط به کامبرین شامل شیل و ماسه‌سنگ‌های لالون است. رسوبات سیلورین، اردوویسین و دونین آغازی در منطقه حضور ندارند. روی رسوبات میلا ماسه‌سنگ، شیل و آهک دونین بالایی (سازند جیروود) با ناپیوستگی همشیب قرار گرفته‌اند که با شیل‌های کربناتی و کربنات‌های سازند مبارک پوشیده شده‌اند. در طی کربنیفر میانی و بالایی رسوب‌گذاری صورت نگرفته است. سنگ‌های تریاس پیشین (سازند الیکا) با ناپیوستگی همشیب و در برخی نقاط با دگرشیبی بر روی ماسه‌سنگ‌های کوارتزی به سن احتمالی پرمین پیشین قرار گرفته‌اند. سازند الیکا در بخش زیرین شامل آهک‌های نازک‌لایه دانه‌ریز است که بر روی آن دولومیت‌های قهوه‌ای و زردرنگ نمایان می‌شوند. پس از تشکیل دولومیت‌های الیکا (تریاس زیرین)، در بیشتر تریاس بالایی رسوب‌گذاری انجام نشده است. فرسایش و هوازگی در طی این خشکی‌زایی سبب گسترش توپوگرافی کارستی در سطح دولومیت‌ها شده است. در بسیاری از مناطق رشته‌کوه البرز، همچون نزدیک به منطقه مورد مطالعه، سنگ‌های آتشفشانی بازالتی سازند الیکا را پوشانده‌اند. در اوایل ژوراسیک، رسوبات قاره‌ای کولابی سازند شمشک شامل شیل، ماسه‌سنگ همراه با رگه‌های زغال‌سنگ بر روی افق بازماندی و حتی در محل‌هایی که افق لاتریتی حضور ندارد، به طور مستقیم بر روی سنگ‌های آتشفشانی (ملافی) قرار گرفته‌اند. در این منطقه سازند شمشک یک بخش قاعده‌ای به صورت یک لایه با افق لاتریتی - بوکسیتی دارد. کنگلومرا و آهک فجن به سن پالئوسن توسط عملکرد گسل امتدادلغز در مجاورت رسوبات شمشک قرار گرفته‌اند. در منطقه جوان‌ترین رسوبات متعلق به کواترن هستند (شکل ۱- c).

افق لاتریتی - بوکسیتی در این منطقه به شکل چین‌سان و با روند ساختاری NW-SE (شکل ۱- c) با شیبی متغیر از ۳۰ تا ۵۰ درجه به سوی S-SE و با سبزیابی حدود ۳ تا ۱۸ متر و به طول حدود ۲ کیلومتر امتداد دارد. در عرض یک نیم‌رخ انتخابی، واحدهای لاتریتی مختلف با رنگ‌های گوناگون از پایین به بالا شامل سرخ (RB)، سبز تیره (DGB)، سبز گرهکی (NGB)، سبز زیتونی (OGB)، سبز خاکستری (GGB)، خاکستری (GB)، زرد (YB)، سفید (WB) و کرم (CB) است (شکل ۲- a). جابه‌جایی این افق توسط گسل‌های عرضی با امتداد NE-SW و تبدیل آنها به ۴ افق جدا، از تأثیرات نیروهای زمین‌ساختی حاکم بر روی ریخت‌شناسی محدوده مورد مطالعه بوده است. مرز مشخص و تندی میان این افق با سنگ‌های بستر و پوشش وجود دارد. آثاری از اشکال آئیدی و پیرویدی در واحدهای لاتریتی - بوکسیتی سرخ و سبز گرهکی (ندولار)، اکسایش برون‌زاد در سطح کانسنگ‌های بوکسیتی سبز زیتونی، حضور مقادیر زیادی از مواد آلی (شکل ۲- b)، الگوهای چندرنگ در واحد بوکسیتی سفید (شکل ۲- c) و حضور باند ملافی‌ری در محل همبری سازندهای الیکا و شمشک (در مواردی که افق لاتریتی در میان این سازندها وجود ندارد) از ویژگی‌های برجسته ریخت‌شناسی واحدهای این افق است.

۴- ترکیب کانی‌شناسی

مطالعات میکروسکوپی بر روی نمونه‌های سنگی واحدهای افق لاتریتی شاه‌بلاغی و سنگ‌های آذرین در همبری سازندهای الیکا و شمشک نشان از حضور بافت‌های چیره آئیدی و پیرویدی دارند (شکل‌های ۳- a و b). بافت‌های پورفیری دروغین

زیرکن و اکسیدهای تیتان را برای این عنصر نشان می‌دهد. الگوی تغییرات Ga مشابه Al بوده (شکل ۱۰-۱) و معمولاً در سامانه‌های طبیعی این دو عنصر رفتار یکسانی نشان می‌دهند. احتمالاً Ga در ساختار اکسید/هیدروکسیدهای آلومینیم جانشین شده است (Mordberg, 1999; Ozturk et al., 2002).

روند تغییرات Th و U در طول نیمرخ هوازده همانند روند تغییرات Al، Ti، Nb و Zr است (شکل ۱۰-۱) که می‌تواند نشان از کنترل توزیع آنها به وسیله کانی‌های رسی و یا دیگر فازهای (فازهای حامل تیتانیم- نیوبیم) مرتبط با کانی‌های رسی داشته باشد (Gonzales-Lopez et al., 2005). همچنین، زیرکن نیز دارای مقادیر قابل توجهی از U و Th در ساختار خود است (Deer et al., 1992). کلویدهای آهن نقش مؤثری در تمرکز و انتقال گروهی از عناصر کمیاب طی فرایند هوازده‌دگی دارند (Pokrovsky et al., 2006). با توجه به اینکه Fe دارای الگوی تغییرات متفاوت با Cr و V و مشابه Co و Ni است (شکل ۱۰-۱)، می‌توان به نقش کلویدهای آهن در غنی‌شدگی Ni و Co و حضور این عناصر در اکسید/هیدروکسیدهای آهن در نیمرخ هوازده پی برد. همچنین روند تغییرات Ni و Si در واحدهای پایینی مشابه یکدیگر بوده که می‌تواند مبتنی بر جایگزینی این عنصر در کانی‌های رسی در این واحدها باشد. شباهت الگوی تغییرات Cr و V با Al احتمالاً کنترل توزیع این عناصر توسط کانی‌های رسی را نشان می‌دهد (Gonzales-Lopez et al., 2005). اگرچه V ممکن است در درون شبکه کانیایی یا به صورت جذب سطحی در اکسیدها و هیدروکسیدهای آلومینیم تمرکز یابد (Mordberg, 1999; Öztürk et al., 2002).

۴-۵. ژئوشیمی عناصر خاکی کمیاب

به طور کلی در طی هوازده‌دگی شیمیایی، REEها در اثر واکنش با محلول‌های pH پایین از کانی‌های اولیه آزاد می‌شوند و با افزایش قلیابینیگی محیط در محصولات هوازده باقی می‌مانند (Mongeli, 1993; Boulange & Colin, 1994). با این حال اگر شدت هوازده‌دگی زیاد باشد، REEها نیز از محصولات هوازده خارج می‌شوند و در این سازوکار تحرک LREEها کمتر از HREEها است (Nesbitt, 1979). در نهشته لاتریت-بوکسیت شاه‌بلاغی مقادیر Σ REE، LREEها و HREEها به ترتیب دارای محدوده ۲۱ تا ۲۷۷/۵ ppm، ۱۲/۷۳ تا ۲۴۵/۶۱ ppm و ۸/۳۰ تا ۳۱/۹۰ ppm هستند (شکل ۱۰-۱). الگوی توزیع REEها در واحدهای مختلف افق بازماندی بهنجار شده به ترکیب کندریت (Taylor & McLennan, 1985) (شکل ۱۱) نشان می‌دهد که هم LREEها و هم HREEها نسبت به کندریت غنی شده‌اند با این تفاوت که LREEها بیشتر از HREEها غنی شده‌اند. در واحد لاتریتی WB، LREEها نسبت به بقیه واحدها تهی‌شدگی قابل ملاحظه‌ای نشان می‌دهند. این مسئله می‌تواند به دلیل فراوانی ناچیز کانی‌های کنترل‌کننده پراکندگی این عناصر در واحد یادشده باشد که سبب کاهش تمرکز LREEها می‌شود.

پژوهشگران کانی‌های متفاوتی برای میزبانی REEها در نیمرخ‌های هوازده گوناگون پیشنهاد کرده‌اند که مهم‌ترین آنها کانی‌های رسی (Muzaffer-Karadag et al., 2009)، کانی‌های فسفاتی (Banifield & Eggleton, 1989; Braun et al., 1993) و اکسید/هیدروکسیدهای آهن (Pokrovsky et al., 2006) و اکسید/هیدروکسیدهای منگنز (Koppi et al., 1996) هستند. همبستگی عناصر مختلف با REEها در جدول ۲ نشان داده شده است. در این نهشته همبستگی مثبت با Ba و P_2O_5 با Nd، Pr، Sm، Eu، Gd، Tb و Dy (به ترتیب $r < 0.6$ و $0.5 < r$) به ترتیب < 0.85 و < 0.65) احتمالاً میزبانی کانی‌های فسفاتی مانند مونازیت و رابدوفان [CeLa(PO₄)₂.H₂O] به ویژه کانی فسفاتی آلومینیم دار مانند گورسکسیت (Costa and Araujo, 1996) را برای این گروه از REEها نشان می‌دهد. همبستگی مثبت با Y یا HREE ($r > 0.75$) می‌تواند تمرکز این عناصر را در کانی‌های حامل Y مانند Xenotime و Churchite نشان دهد. REEها دارای همبستگی مثبت نه چندان بالایی با Si ($r > 0.4$) بوده که نقش کم‌رنگ کانی‌های رسی در جذب این عناصر

پوسته بالایی (UCC)، سنگ‌های مافیک و گرانیت (Mameli et al., 2007) و واحدهای مختلف نهشته شاه‌بلاغی (شکل ۶-۱) رسم شده است. نمونه‌های لاتریتی-بوکسیتی شاه‌بلاغی در محدوده سنگ بازالت قرار می‌گیرند. با توجه به موارد یادشده می‌توان پیشنهاد کرد که افق بوکسیتی شاه‌بلاغی از دید ارتباطات صحرائی، بافتی و ژئوشیمی می‌تواند با ملافیرهای بازالتی در مرز میان سازندهای الیکا و شمشک مرتبط باشد.

۵-۲. ژئوشیمی عناصر اصلی

TiO₂، SiO₂، Fe₂O₃، Al₂O₃ با داشتن بیشترین مقدار، از مهم‌ترین تشکیل‌دهنده‌های لاتریت شاه‌بلاغی به‌شمار می‌روند. به طور معمول نمودارهای سه‌متغیره SiO₂-Fe₂O₃-Al₂O₃ برای نمایش درجه لاتریتی شدن (Schellmann, 1981)، کنترل کانیایی (Bardossy, 1982; Bardossy & Aleva, 1990) و طبقه‌بندی بوکسیت (Balasubramaniam et al., 1984; Boulange et al., 1996) به کار برده می‌شوند. در نمودار شکل ۷-۱ a (Balasubramaniam et al., 1984)، کانسنگ لاتریتی CB در محدوده بوکسیت، کانسنگ GGB در محدوده لاتریت، کانسنگ‌های YB، NGB، DGB و RB در محدوده لاتریت آهن‌دار و واحدهای WB، OGB و GB در محدوده رس بوکسیتی قرار می‌گیرند. شکل ۷-۱ b مسیرهای ژئوشیمیایی تفکیک (Dismantlemen) با جهات مختلف را طی فرایند بوکسیتی شدن (Beauvais, 1991; Tardy, 1997) نشان می‌دهد. بر پایه این نمودار، کانسنگ‌های لاتریتی شاه‌بلاغی نتیجه‌ای از آهن‌زدایی (CB و GGB)، تخریب کائولینیت (CB) و حفظ کائولینیت (GB، WB، OGB) بوده‌اند. شماری از نمونه‌ها نیز در درون محدوده خاکستری (لاتریت‌آهن‌دار) (YB، NGB، RB و DGB) قرار گرفته‌اند و جدایش ژئوشیمیایی نداشته‌اند.

روند تغییرات Al و Ti در طول نیمرخ لاتریتی مشابه یکدیگر و متفاوت از روند تغییرات Fe و Si هستند (شکل ۹). Al از هوازده‌دگی فلدسپارها آزاد شده و کانی‌های جدید آلومینیم (بوهمیت و دیاسپور) را تشکیل می‌دهد. Ti نیز به فرم کانی‌های آناز و روتیل در سامانه هوازده حضور دارد. با توجه به مطالعات سنگ‌نگاری، Fe احتمالاً از اکسایش پیریت و یا آزاد شدن آن در طی شکستن الیوین و پیروکسن حاصل شده که به صورت کانی‌های جدید هماتیت و گوتیت تثبیت می‌شود. سیلیس در طی فرایند هوازده‌دگی می‌تواند تشکیل کانی‌های ثانویه مانند کائولینیت را بدهد. عناصر قلیایی و قلیایی خاکی در نیمرخ مورد مطالعه مقادیر پایین دارند و در محدوده ناچیز (۰/۱ تا ۲ در صد وزنی) تغییر می‌کنند.

بارندگی‌های فصلی می‌تواند عامل کنترل‌کننده بسیار مهم در فرایندهای تفریق در طی هوازده‌دگی بازالت باشد. به گونه‌ای که در هوای مرطوب (محیط اسیدی) اکسیدهای آلومینیم و در شرایط اقلیمی خشک (محیط قلیایی) اکسیدهای آهن در بخش‌های بالایی نیمرخ هوازده چیره هستند. در طی دوره خشک آهن به صورت اکسیدی پایدار می‌ماند ولی اگر آب‌وهوای مرطوب حاکم شود این پایداری رخ نمی‌دهد و از بخش‌های بالایی شسته می‌شود (Hill et al., 2000). با توجه به فزونی Al نسبت به Fe در بخش‌های بالایی واحدهای لاتریتی شاه‌بلاغی می‌توان احتمال داد این افق در شرایط اقلیمی مرطوب تشکیل شده است.

۵-۳. ژئوشیمی عناصر جزئی

الگوی عناصر جزئی نهشته لاتریتی شاه‌بلاغی بهنجار شده به ترکیب میانگین بازالت (Taylor, 1964) غنی‌شدگی عناصر V، Cr، Ga، Zr، Hf، Th و U را در تمامی واحدها نشان می‌دهد در حالی که Ni، Co در برخی از واحدها تهی شده‌اند (شکل ۸). همبستگی مثبت ضعیف Y با P_2O_5 ($r = 0.4$) می‌تواند نشان از حضور کم‌رنگ این عنصر در کانی‌های فسفات‌دار مانند Xenotime و Churchite داشته باشد. روند تغییرات Nb و Hf همانند با Zr و Ti (شکل ۱۰-۱) احتمالاً میزبانی فازهای فرعی مانند

۶- نتیجه‌گیری

افق لاتریتی شاه‌بلاغی، بر پایه مشاهدات صحرایی و ویژگی‌های فیزیکی به ۹ واحد قابل تقسیم است. این واحدها از دید بافتی و ویژگی‌های فیزیکی با یکدیگر تفاوت دارند، ولی در بیشتر کانسنگ‌ها بافت آئیدی - پیرویدی چیره است. بافت‌های کلومورفیک جریانی، پان ایدیومورفیک، پورفیری دروغین نیز از بافت‌های قابل تشخیص در کانسنگ‌های مختلف این افق هستند. بوهمیت کانی فراوان و مهم آلومینیم است و دیاسپور فراوانی نسبتاً کمی در این افق دارد. این نهشته از دید بافتی، کانی‌شناسی و ژئوشیمی با سنگ‌های بازالتی واقع در مرز سازند الیکا و شمشک مرتبط است و این سنگ‌ها می‌توانند سنگ مادر این افق به شمار روند. کانسنگ‌های مختلف این افق در محدوده‌های بوکسیت، لاتریت، لاتریت آهن‌دار و رس بوکسیتی طبقه‌بندی می‌شوند. در نهشته حاضر، بر پایه اطلاعات ژئوشیمیایی U و Th در زیرکن و کانی‌های رسی، Nb و Hf در زیرکن و آنتاز، Cr در کانی‌های رسی، Ni و Co در اکسید/هیدروکسیدهای آهن، V و Ga در اکسید/هیدروکسیدهای آلومینیم و REE‌ها به طور عمده در کانی‌های فسفاتی ثانویه مانند چورچیت، زینوتایم و گورسکسیت جایگزین شده‌اند.

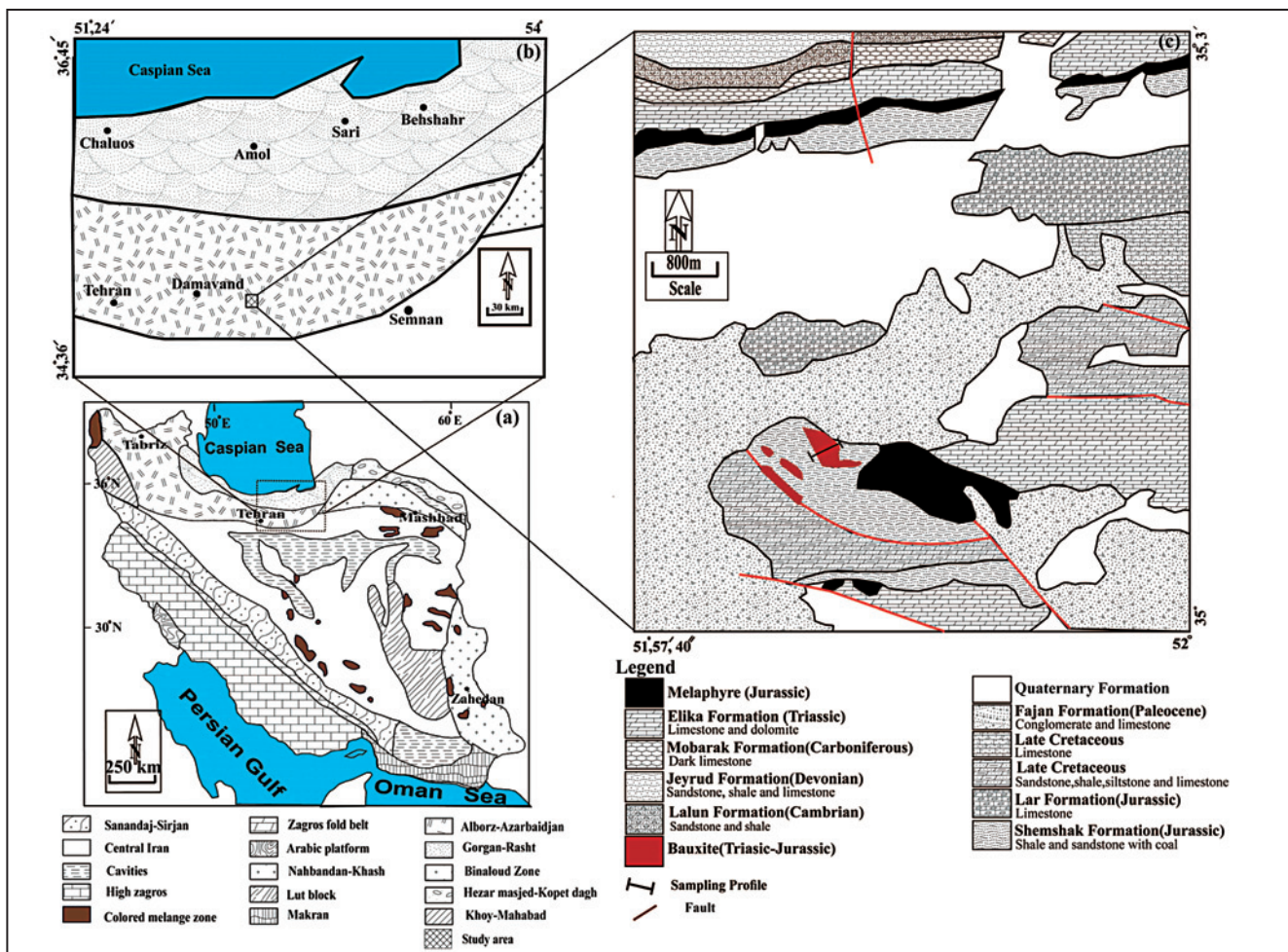
سپاسگزاری

نگارندگان از معاونت پژوهشی و مدیریت تحصیلات تکمیلی دانشگاه تبریز برای حمایت‌های مالی و از داوران مجله برای نظرات و پیشنهادات ارزنده‌شان سپاسگزاری می‌کنند.

را نشان می‌دهد. با توجه به همبستگی مثبت ولی ضعیف Mn با HREEها ($r > 0.35$) می‌توان نتیجه گرفت اکسید/هیدروکسیدهای منگنز نقش فرعی در کنترل پراکندگی این عناصر دارند. با توجه به همبستگی منفی Fe با REEها، اکسید/هیدروکسیدهای آهن در کنترل پراکندگی این گروه از عناصر در واحدهای مختلف افق شاه‌بلاغی نقشی مؤثری ندارند.

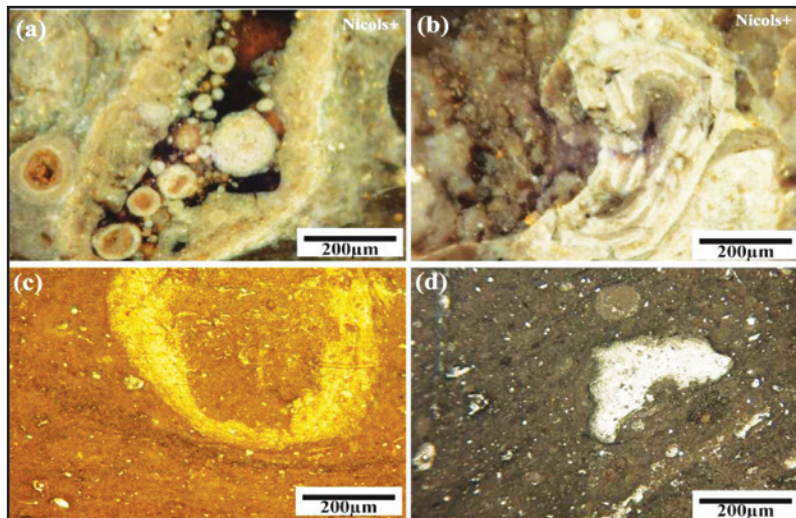
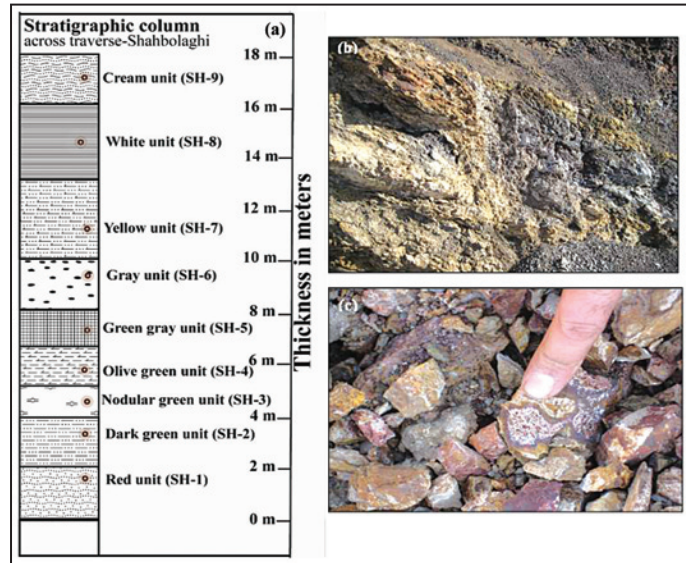
۶- محیط تشکیل ذخیره

ژئوشیمی محیط ته‌نشست/دیاژنز تشکیل بوکسیت- لاتریت می‌تواند به وسیله محیط‌های اکسایشی (Vadose) (سطوح بالایی زمین) و احیایی (Phreatic) (سطوح پایینی زمین) مشخص شود (Valeton, 1972; Bárdossy, 1982; Mindszenty, 1984; Mindszenty et al., 1986; D'Argenio & Mindszenty, 1995). بوکسیت‌های وادوز به وسیله طبیعت اکسایشی همگن متن کانسنگ‌ها و آئیدها، فزونی هماتیت و یا گوتیت به‌عنوان کانی‌های اصلی آهن همراه با گیسیت و یا بوهمیت شناخته می‌شوند. بوکسیت‌های فریاتیکی کمتر اکسیدی هستند، متن کانسنگ رنگ پریده و فقیر از آهن سه ظرفیتی است و کانی‌های آهن مهم آنها گوتیت، سیدریت و یا پیریت با یا بدون شاموزیت همراه با دیاسپور و یا بوهمیت به‌عنوان کانی‌های آلومینیم هستند. بر پایه مجموعه کانیایی و ویژگی‌های بافتی نهشته لاتریتی-بوکسیتی شاه‌بلاغی محیط ته‌نشست/دیاژنز این افق فریاتیکی نیست البته به طور کامل وادوز نیز نیست و در یک منطقه انتقالی که به محیط وادوز نزدیک‌تر از محیط فریاتیکی است، قرار می‌گیرد.

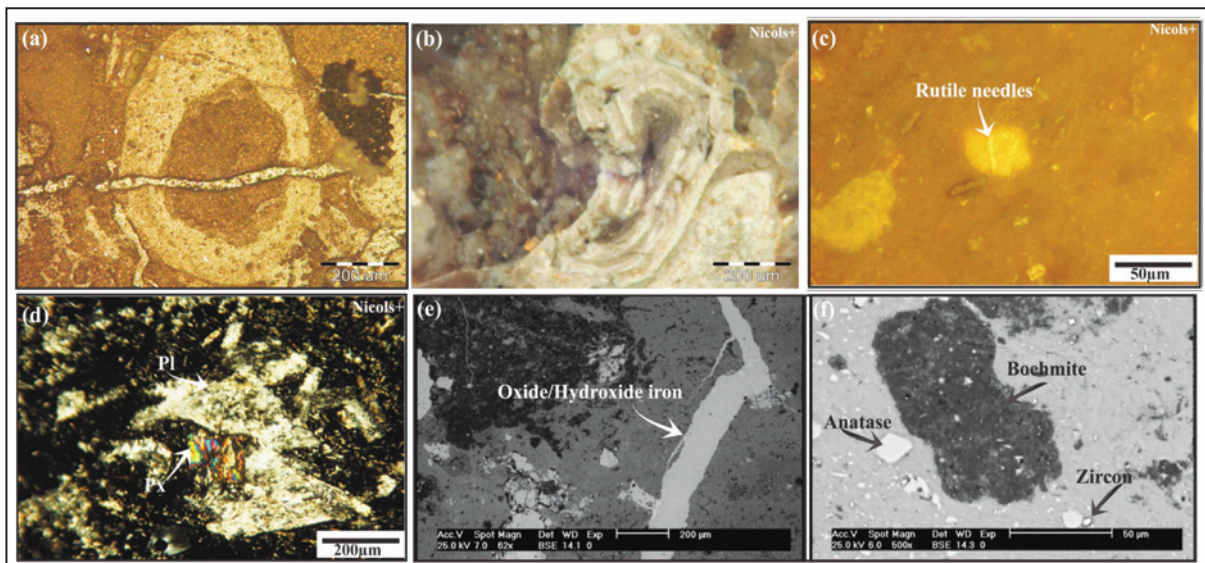


شکل ۱- (a و b) موقعیت منطقه مورد مطالعه در نقشه پهنه‌های ساختاری ایران (نبوی، ۱۳۵۵)؛ (c) نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه که موقعیت افق لاتریتی قاعده ژوراسیک شاه‌بلاغی را نشان می‌دهد.

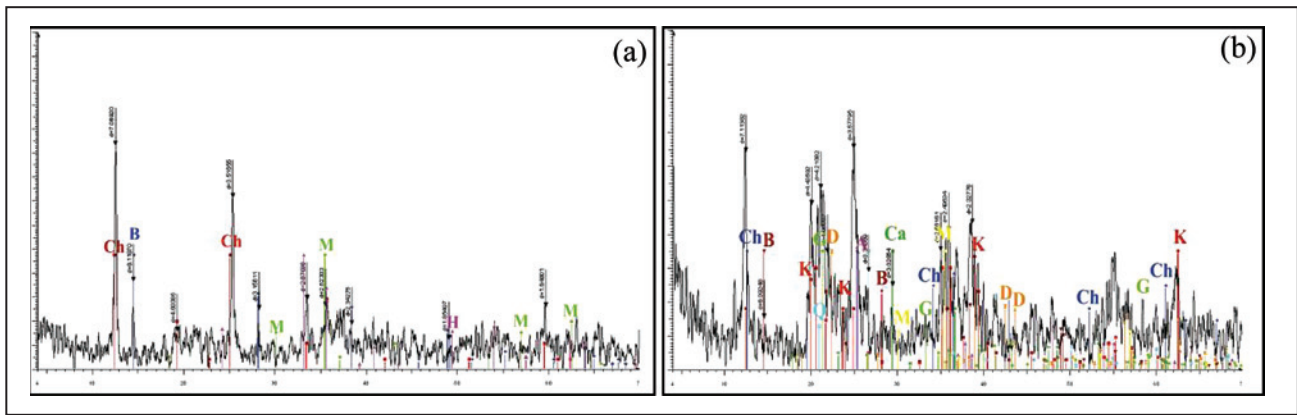
شکل ۲-ا) ستون چینه‌شناسی نیم‌رخ انتخابی در طول یک افق لاتریتی، نمونه‌های برداشت شده برای انجام تجزیه‌های ژئوشیمیایی با دایر نشان داده شده‌اند؛ (b) مواد آلی فراوان در میان واحدهای بالایی افق لاتریتی؛ (c) الگوهای چند رنگ در واحد بوکسیتی سفید ناشی از فرایندهای پرون‌زاد.



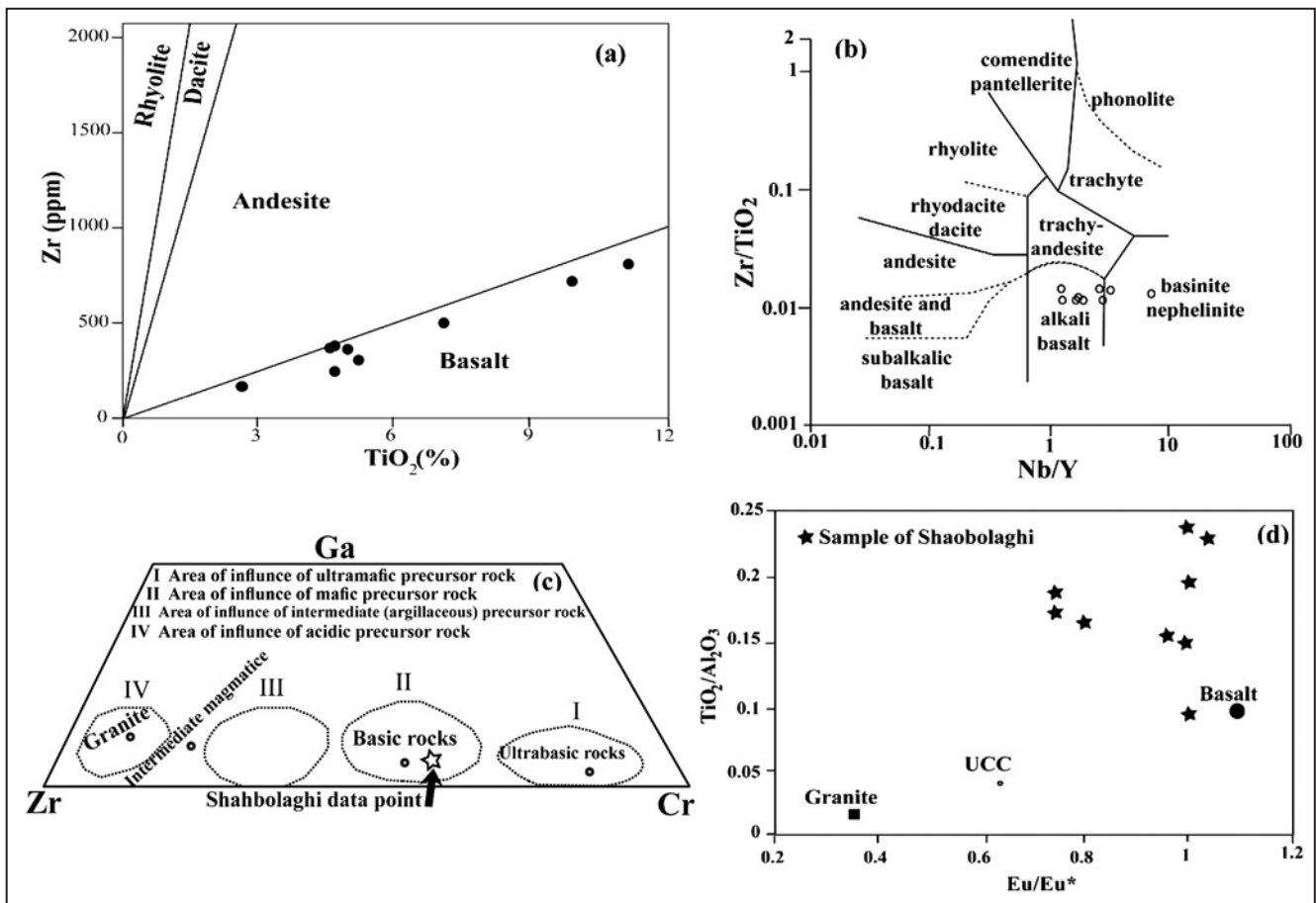
شکل ۳-ا) کنکریون‌های آئیدی؛ (b) بافت پیزوئیدی-آئیدی؛ (c) بافت کلو مورفیک جریان‌ی؛ (d) بافت پورفیری دروغین.



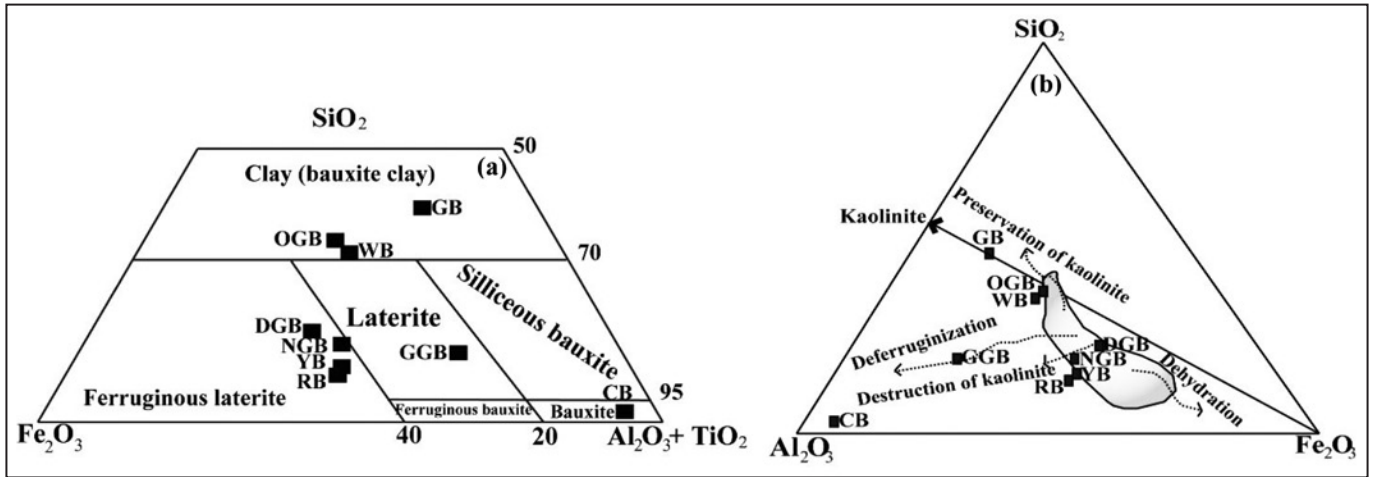
شکل ۴-ا) شکستگی گسترش یافته در آئید و متن کانسنگ؛ (b) آئید دمبلی شکل و از ریخت افتاده؛ (c) سوزن‌های روتیل؛ (d) بافت پورفیری در بازالت‌های ملافیری؛ (e) رگه‌های اکسید و هیدروکسید آهن؛ (f) قطعات بوهمیت، آناتاز و زیرکن.



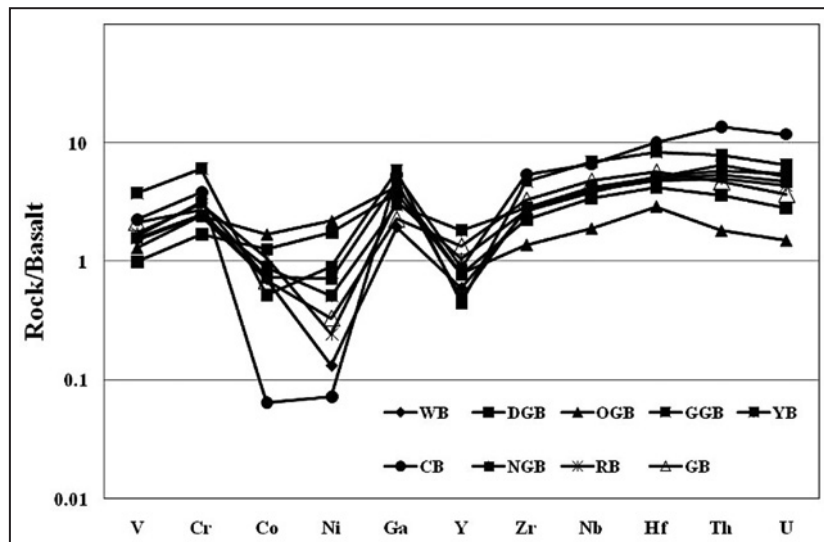
شکل ۵- الگوهای XRD دو نوع از کانسنگ‌های لاتریتی- بوکسیتی شاه‌بلاغی؛ a: خاکستری سیاه؛ b: خاکستری سبز؛ B: بوهمیت؛ D: دیاسپور؛ G: گوتیت؛ K: کانولینیت؛ M: مگنتیت؛ Ca: کلسیت؛ H: هماتیت؛ Ch: شاموزیت؛ Q: کوارتز.



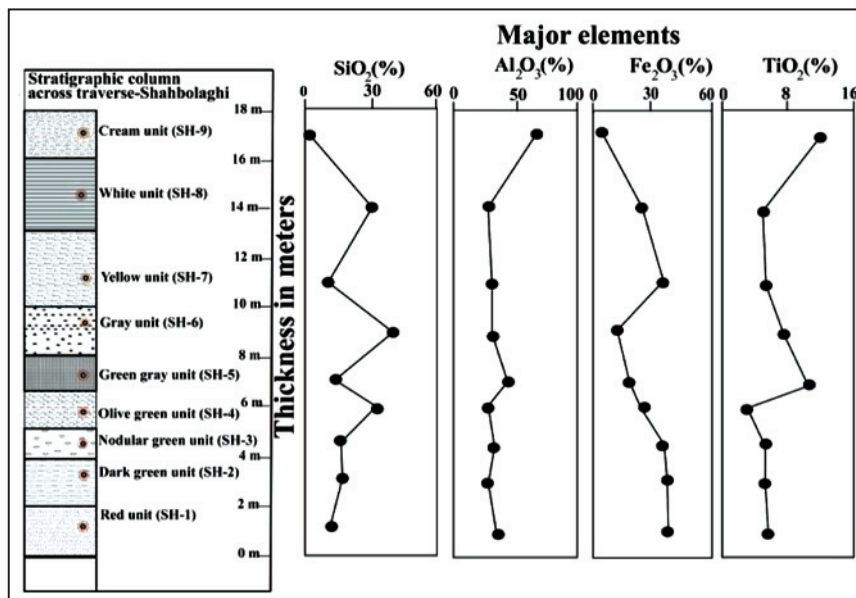
شکل ۶- (a) پراکنندگی Zr/TiO_2 در برابر Nb/Y (Hallberg, 1984)؛ (b) نمودار Zr/TiO_2 در برابر Nb/Y (Floyd & Winchester, 1978)؛ (c) نمودار سه متغیره Ga ، Zr و Cr و (d) داده‌های بوکسیتی شاه‌بلاغی؛ (Özlu, 1983) Zr در برابر TiO_2/Al_2O_3 برای ترکیب میانگین سنگ‌های پوسته بالایی، گرانیت، بازالت و نمونه‌های لاتریتی-بوکسیتی شاه‌بلاغی (Mameli et al., 2007).



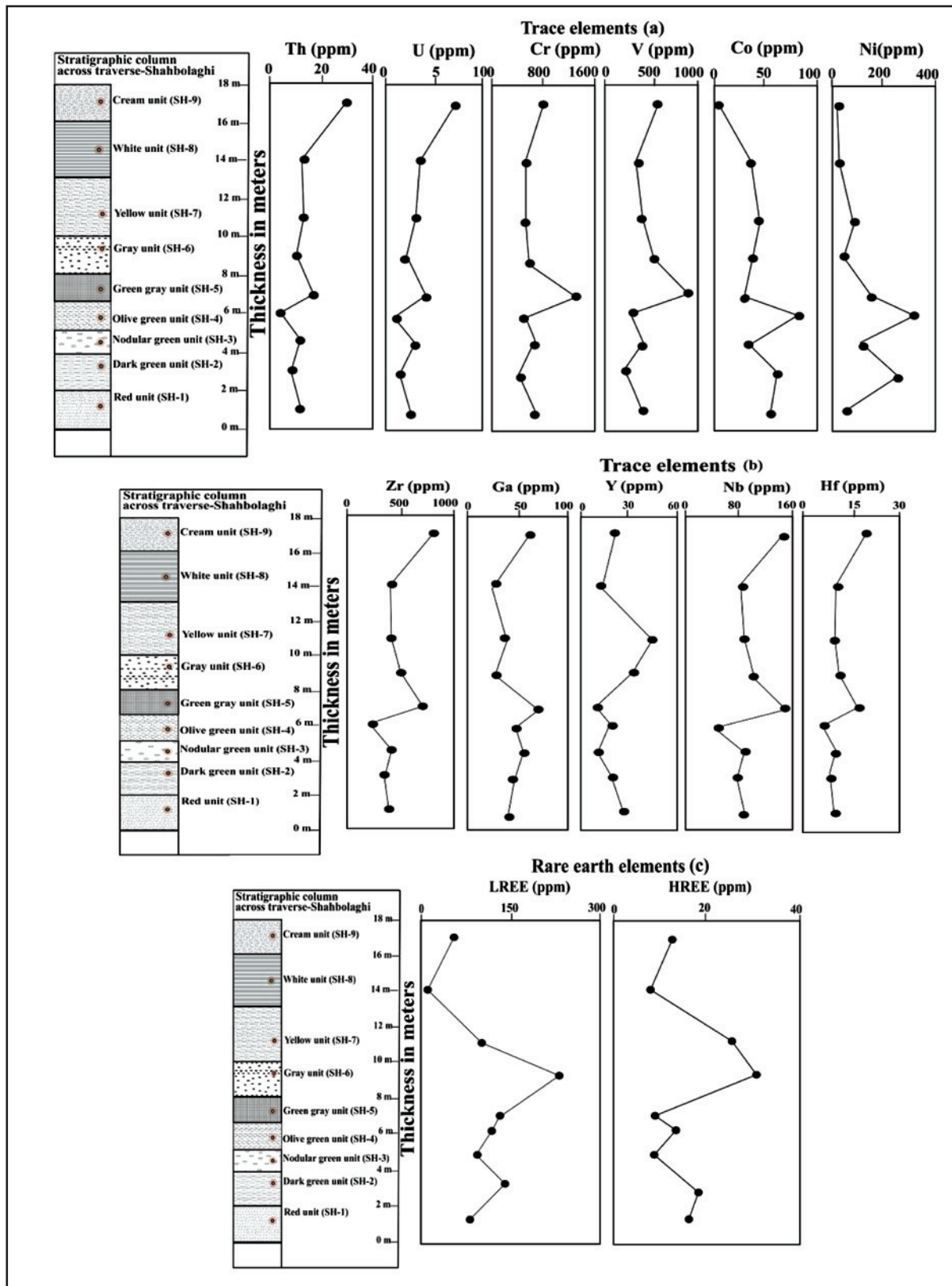
شکل ۷- (a) نمودارهای سه متغیره SiO₂-Fe₂O₃-Al₂O₃ (Balasubramaniam et al., 1984)؛ (b) مسیرهای جدایش ژئوشیمیایی در طی فرایند بوکسیتی شدن؛ محدوده خاکستری مربوط به لاتریت‌های آهن دار است (Tardy, 1995).



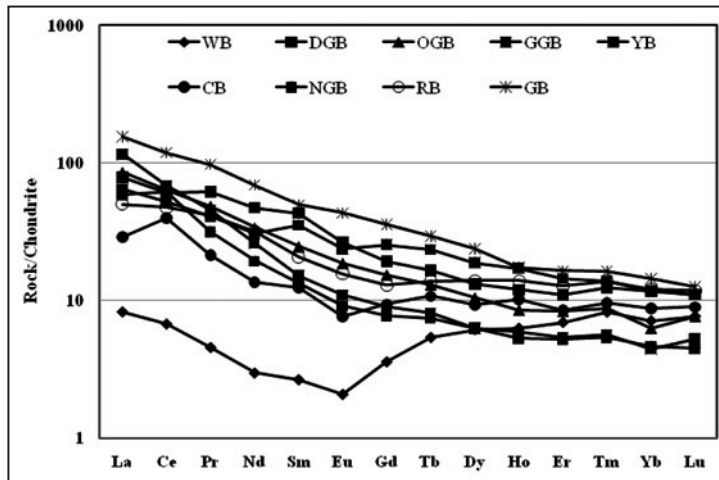
شکل ۸- الگوی عناصر کمیاب افق لاتریت-بوکسیت شاه‌بلاغی بهنجار شده به ترکیب میانگین بازالت (Taylor, 1964).



شکل ۹- الگوی تغییرات عناصر اصلی در نهشته لاتریتی-بوکسیتی شاه‌بلاغی.



شکل ۱۰- الگوی تغییرات a و b) عناصر کمیاب و c) عناصر خاکی کمیاب در نهشته لاتریتی-بوکسیتی شاه‌بلاغی.



شکل ۱۱- الگوی عناصر خاکی کمیاب بهنجارشده به ترکیب کندریت در واحدهای مختلف لاتریت شاه‌بلاغی (Taylor & McLennan, 1985).

جدول ۱- نتایج تجزیه شیمیایی ICP-MS و ICP-ES عناصر اصلی، فرعی، جزئی و خاکی کمیاب همراه با بی هنجاری Eu در نمونه‌های مورد مطالعه افق لاتریتی شاه‌بلاغی.

Sample No	B-1	SH-1	SH-2	SH-3	SH-4	SH-5	SH-6	SH-7	SH-8	SH-9
Name of unit	Basalt	RB	DGB	NGB	OGB	GGB	GB	YB	WB	CB
(%SiO ₂ wt	۵۴/۱۳	۱۰/۵۲	۱۵/۹۵	۱۴/۷۵	۲۸/۷۷	۱۳	۳۵/۲	۱۰/۲۶	۲۶/۸۷	۱/۷۳
Al ₂ O ₃	۱۷/۳۹	۳۳/۲۹	۲۴/۷۸	۳/۲۶	۲۶/۱۲	۴۲/۸۵	۲۹/۹	۲۹/۹۳	۲۶/۵۶	۶۷
Fe ₂ O ₃	۱۲/۳۹	۳۸/۲۷	۳۸	۳۶/۵۲	۲۵	۲۰/۷۳	۱۱/۷۷	۳۵/۹۹	۲۴/۲۷	۵/۱۸
MgO	۰/۵	۰/۱۱	۰/۸	۰/۹	۰/۵۷	۰/۸۲	۰/۲۴	۰/۱۶	۰/۱۸	۰/۱۳
CaO	۲/۲۳	۰/۲۵	۰/۱۶	۰/۱۴	۰/۴۳	۰/۱	۰/۳۸	۰/۲۲	۲/۲۸	۰/۱
Na ₂ O	۸/۲	۰/۱۵	۰/۰۳	۰/۰۵	۰/۰۸	۰/۰۳	۰/۰۶	۰/۰۳	۰/۰۶	۰/۰۱
K ₂ O	۰/۰۵	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۴	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱
TiO ₂	۲/۱	۵/۱۷	۴/۸۲	۴/۸۱	۲/۷۸	۹/۹۳	۶/۹	۴/۹۴	۴/۷۹	۱۱/۱۸
P ₂ O ₅	۰/۲۵	۰/۰۶	۰/۱	۰/۱۳	۰/۱۶	۰/۱۴	۰/۲۳	۰/۳۷	۰/۰۶	۰/۱۲
MnO	۰/۰۵	۰/۰۹	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۶	۰/۰۹	۰/۰۸	۰/۰۱
LOI	۲/۲	۱۱/۸	۱۰	۱۲	۱۵/۷	۱۱/۸	۱۴/۹	۱۳/۶	۱۴/۶	۱۴/۲
Sum	۹۹/۴۸	۹۹/۷۸	۹۴/۸۴	۹۹/۷۴	۹۹/۷۸	۹۹/۶۵	۹۹/۷۲	۹۵/۶۷	۹۹/۸۳	۹۹/۶۹
(Ba (ppm	۶۸	۸۰	۱۰۷	۸۱	۴۳۵	۱۲۳	۱۷۱	۱۰۴	۶۴	۸۳
Co	۱۵/۷	۵۱	۶۰	۳۴/۷	۸۰	۲۵	۳۲/۹	۴۲/۵	۳۴/۱	۳/۱
Ga	۱۳	۳۸/۶	۴۵/۴	۵۶/۳	۵۱/۴	۶۹/۹	۲۷/۱	۳۵/۶	۲۳/۴	۶۴/۸
Nb	۲۳/۶	۷۸	۶۷/۹	۷۷/۹	۳۷/۸	۱۳۸/۴	۹۴/۷	۸۴/۲	۷۶/۲	۱۳۲
Rb	۰/۶	۰/۳	۰/۱	۰/۱	۰/۷	۰/۱	۱/۷	۰/۱	۰/۴	۰/۱
Sr	۴۵۷	۱۱۷	۱۲۱	۱۴۲	۲۱۹	۱۱۰	۱۶۳	۳۵۹	۶۶/۹	۹۰
Th	۲/۸	۱۰/۹	۷/۹	۱۱/۷	۴	۱۷/۲	۱۰/۳	۱۴/۳	۱۲/۸	۳۰/۱
U	۰/۵	۲/۶	۱/۷	۲/۸	۰/۹	۳/۹	۲/۲	۳/۱	۳/۳	۷/۱
V	۲۷۹	۴۲۷	۲۴۸	۳۹۹	۳۲۳	۹۳۸	۵۳۲	۳۹۲	۳۸۰	۵۶۲
Zr	۱۷۰	۳۹۶	۳۳۵	۴۲۱	۲۰۶	۷۰۵	۴۹۰	۴۲۱/۶	۴۰۴	۸۱۶
Y	۲۰/۴	۲۶/۳	۱۹/۴	۱۲/۲	۱۹/۷	۱۱/۱	۳۳/۴	۴۵/۲	۱۵	۲۲/۳
Ni	۵۰	۳۶	۲۶۴	۱۰۷	۳۲۷	۱۳۳	۴۹/۵	۷۶	۲۰	۱۱
Cr	۱۷۶	۶۰۰	۳۴۰	۶۲۵	۴۸۲	۱۲۰۰	۵۳۷	۴۸۹	۴۸۲	۷۶۱
La	۱۶/۹	۱۸/۳	۲۹	۲۱/۴	۳۱/۳	۴۲/۴	۵۷/۲	۲۳/۶	۳	۱۰/۵
Ce	۳۸/۷	۵۴/۳	۵۸/۶	۵۸/۸	۵۹/۹	۶۵	۱۱۴/۳	۴۹/۷	۶/۴	۳۷/۸
Pr	۵/۰۹	۵/۶۶	۸/۴۸	۴/۳۱	۶/۶۱	۶/۲۳	۱۳/۴۲	۵/۵۸	۰/۶۲	۲/۹۱
Nd	۲۰/۱	۲۲/۶	۳۳/۶	۱۳/۷	۲۳/۹	۱۸/۴	۴۹/۲	۲۱/۹	۲/۱	۹/۶
Sm	۵/۱۰	۳	۹/۹۷	۳/۰۷	۵/۶۵	۳/۵	۱۱/۴۹	۸/۱۶	۰/۶۱	۲/۸۵
Eu	۱/۶۴	۱/۳۶	۲/۳۱	۰/۷۹	۱/۶۱	۰/۹۵	۳/۷۷	۲/۰۶	۰/۱۸	۰/۶۶
Gd	۴/۹۲	۳/۹۳	۵/۸۴	۲/۳۶	۴/۶۶	۲/۷۵	۱۰/۹۲	۷/۷۵	۱/۰۹	۲/۸۵
Tb	۰/۸	۰/۸	۰/۹۵	۰/۴۳	۰/۷۵	۰/۴۷	۱/۷۱	۱/۳۶	۰/۳۱	۰/۶۲
Dy	۴/۵	۵/۲۸	۵	۲/۳۷	۳/۹۴	۲/۴	۹/۰۴	۷/۱۶	۲/۳۲	۳/۵۴
Ho	۰/۸۴	۱/۱۸	۱	۰/۴۵	۰/۷۲	۰/۵	۱/۴۷	۱/۴۶	۰/۵۳	۰/۸۶
Er	۲	۳/۱۹	۲/۷۱	۱/۳	۲	۱/۳۴	۴/۰۹	۳/۵۹	۱/۷۱	۱/۲
Tm	۰/۳۱	۰/۴۹	۰/۴۴	۰/۱۹	۰/۳۱	۰/۲	۰/۵۸	۰/۴۹	۰/۲۹	۰/۳۴
Yb	۱/۷۱	۲/۹۹	۲/۸۸	۱/۱۴	۱/۵۴	۱/۱۰	۳/۶	۲/۹۲	۱/۷۵	۲/۱۵
Lu	۰/۲۶	۰/۴۵	۰/۴۲	۰/۱۷	۰/۲۹	۰/۲	۰/۴۸	۰/۴۲	۰/۲۹	۰/۳۴
Eu/Eu*		۰/۹۵	۰/۹۲	۰/۸۹	۰/۹۵	۰/۹۳	۱/۰۲	۰/۷۹	۰/۷	۰/۷

جدول ۲- کانی‌های شناسایی شده توسط پراش پرتو X (XRD) درافق بوکسیتی شاه‌بلاغی.

	Major	Minor	Trace
Hematite	*		
Anatase	*		
Boehmite	*		
Kaolinite		*	
Goethite		*	
Chamosite		*	
Magnetite		*	
Quarz		*	
Calcite			*
Diaspore			*

جدول ۳- ضرایب همبستگی رتبه‌ای میان برخی عناصر انتخابی با REEها در نیمرخ انتخابی

	Si	Al	Fe	P	Mn	Y	Ba	Ti
La	۰/۴۶	-۰/۲۳	-۰/۱۵	۰/۷	-۰/۲۶	۰/۰۵	۰/۹۰	۰/۱۳
Ce	۰/۵۵	-۰/۱۳	-۰/۱۵	۰/۶۸	-۰/۲۹	-۰/۱۰	۰/۸۲	۰/۰۸
Pr	۰/۵۴	-۰/۴۱	۰/۱۰	۰/۴	-۰/۱۳	۰/۲۰	۰/۸۰	۰/۰۶
Nd	۰/۴۶	-۰/۴۸	۰/۲۵	۰/۳۷	۰/۱۰	۰/۴۴	۰/۶۸	-۰/۰۱
Sm	۰/۳۵	-۰/۴۶	۰/۲۱	۰/۵۳	۰/۱۸	۰/۵۳	۰/۶۶	۰/۰۳
Eu	۰/۳۵	-۰/۴۶	۰/۲۱	۰/۵۳	۰/۱۸	۰/۵۳	۰/۶۶	۰/۱۶
Gd	۰/۱۶	-۰/۳۳	۰/۰۵	۰/۵۸	۰/۲۵	۰/۷۸	۰/۶۱	۰/۲۵
Tb	۰/۰۸	-۰/۲۵	۰/۱۱	۰/۵۰	۰/۳۰	۰/۸	۰/۵	۰/۲۸
Dy	۰/۰۳	-۰/۱۵	۰/۱۳	۰/۴۸	۰/۴۰	۰/۸۵	۰/۴۵	۰/۳۰
Ho	۰/۰۰	-۰/۱۶	۰/۰۳	۰/۲۸	۰/۵۰	۰/۹۱	۰/۲۵	۰/۳۰
Er	۰/۰۰	-۰/۱۶	۰/۰۳	۰/۲۸	۰/۵۰	۰/۹۱	۰/۲۵	۰/۳۰
Tm	۰/۰۰	-۰/۱۵	۰/۰۵	۰/۲۲	۰/۵۰	۰/۹	۰/۱۹	۰/۲۵
Yb	۰/۰۱	-۰/۱۵	۰/۱۳	۰/۰۵	۰/۶۰	۰/۸۷	-۰/۳۳	۰/۳۰
Lu	۰/۰۴	-۰/۱۶	۰/۰۹۲	۰/۰۶	۰/۵۰	۰/۸۵	۰/۱۰	۰/۲۰

کتابنگاری

نبوی، م. ح.، ۱۳۵۵- دیباچه‌ای بر زمین‌شناسی ایران، سازمان زمین‌شناسی کشور، ۱۰۹ص.

References

- Balasubramaniam, K. S., Surendra, M. & Kumar, T. V., 1984- Genesis of certain bauxite profiles from India. *Chemical Geology* 60, 227–235.
- Banifield, J. F. & Eggleton, R. A., 1989- Apatite replacement and REE mobilization, fractionation, and fixation during weathering. *Clays and Clay minerals* 37, 113–127.
- Bardossy, G., 1982- *Karst bauxites*. Elsevier Scientific, Amsterdam, 441p.
- Bardossy, G. & Aleva, G. J. J., 1990- *Lateritic bauxite*. Elsevier, Amsterdam, 624p.
- Beauvais, A., 1991- *Palaeoclimats et dynamique d'un paysage cuirasee du Centrafrique*. Morphologie, petrologie et geochimie. Thesis, University Poitiers, 315 p.

- Boulangé, B. & Colin, F., 1994- Rare earth element mobility during conversion of nepheline syenite into lateritic bauxite at Passa Quatro, Minais Gerais, Brazil. *Applied Geochemistry* 9, 701–711.
- Boulangé, B., Bouzat, G. & Pouliquen, M., 1996- Mineralogical and geochemical characteristics of two bauxitic profiles, Fria, Guinea Republic. *Mineralium Deposita* 31, 432–438.
- Braun, J. J., Pagel, M., Herbillon, A. & Rosin, C., 1993- Mobilization and redistribution of REEs and Th in a syenitic lateritic profile: a mass balance study. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 57, 4419–4434.
- Calagari, A. A. & Abedini, A., 2007- Geochemical investigations on Permo-Triassic bauxite horizon at Kanisheeteh, east of Bukan, West-Azarbaidjan, Iran. *Journal of Geochemical Exploration* 94, 1–18.
- Calagari, A. A., Kangarani, F. & Abedini, A., 2010- Geochemistry of major, trace, and rare earth elements in Biglar Permo-Triassic bauxite deposit, northwest of Abgarm, Ghazvin Province, Iran. *Journal of Sciences, Islamic Republic of Iran* 21(3): 225–236.
- Costa, M. L. & Araujo, E. S., 1996- Application of multi-element geochemistry in Au-phosphate-bearing lateritic crusts for identification of their parent rocks. *Journal of Geochemical Exploration* 57, 257–272.
- D'Argenio, B. & Mindszenty, A., 1995- Bauxites and related paleokarst: tectonic and climatic event markers at regional unconformities. *Eclogae geologicae Helvetiae* 88 (3), 453–499.
- Deer, W. A., Howie, R. A. & Zussmann, J., 1992- The rock forming minerals. Longman, London, 720 p.
- Floyd, P. A. & Winchester, J. A., 1978- Identification and discrimination of altered and metamorphosed volcanic rocks using immobile chemical elements. *Chemical Geology* 21, 291–306.
- Gonzales-Lopez, J. M. G., Bauluz, B., Fernandez-Nieto, C. & Oliete, A. Y., 2005- Factors controlling the trace element distribution in fine-grained rocks: the Albian kaolinite-rich deposits of the Oliete Basin (NE Spain). *Chemical Geology* 214, 1–19.
- Hallberg, J. A., 1984- A geochemical aid to igneous rocks type identification in deeply weathered terrain. *Journal of Geochemical Exploration* 20, 1–8.
- Hill, I. G., Worden, R. H. & Meighan, I. G., 2000- Geochemical evolution of a palaeolaterite: The Interbasaltic Formation, Northern Ireland. *Chemical Geology* 166, p. 65–84.
- Horbe, A. & Costa, M., 1999- Geochemical evolution of a lateritic Sn–Zr–Th–Nb–Y–REE bearing ore body derived from apogranite: the case of Pitinga, Amazonas-Brazil. *Journal of Geochemical Exploration* 66, 339–351.
- Koppi, A. J., Edis, R., Foeld, D. J., Geering, H. R., Klessa, D. A. & Cockayne, D. J. H., 1996- REEs trends and Ce-U-Mn associations in weathered rock from Koongarra, northern territory, Australia, *Geochimica et Cosmochimica Acta* 60, 1695–1707.
- Kurtz, A. C., Derry, L. A., Chadwick, O. A. & Alfano, M., 2000- Refractory element mobility in volcanic soils. *Geology* 28, 683–686.
- Laskou, M., 2003- Geochemical and mineralogical characteristics of the bauxite deposits of Western Greece. *Mineral Exploration and Sustainable Development* 77 (1), 93–96.
- Laskou, M., Margomenou–Leonidopoulou, G. & Balek, V., 2005- Thermal characterization of bauxite samples. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry* 82, 1–5.
- Liu, X., Wang, Q., Deng, J., Zhang, Q., Sun, S. & Meng, J., 2010- Mineralogical and geochemical investigations of the Dajia Salento-type bauxite deposits, western Guangxi, China. *Journal of Geochemical Exploration* 105, 137–152.
- Liu, X., Wang, Q., Zhang, Q., Feng, Y. & Cai, S., 2012- Mineralogical characteristics of the superlarge Quaternary bauxite deposits in Jingxi and Debao counties, western Guangxi, China. *Journal of Asian Earth Sciences* 52, 53–62.
- MacLean, W. H., 1990- Mass balance calculations in altered rock series: Mineral. *Deposita* 25, 44–49.
- MacLean, W. H. & Barrett, T. J., 1993- Lithogeochemical techniques using immobile elements. *Geochemical Exploration* 48, 109–133.
- MacLean, W. H., Bonavia, F. F. & Sanna, G., 1997- Argillite debris converted to bauxite during karst weathering: evidence from immobile elements geochemistry at the Olmedo deposit, Sardinia. *Mineralium Deposita* 32, 607–616.
- MacLean, W. H. & Kranidiotis, P., 1987- Immobile elements as monitors of mass transfer in hydrothermal alteration: Phelps Dodge massive sulfide deposit. Matagami. Quebec. *Economical Geology*, 82, 951–962.
- Malpas, J., Duzgoren-Aydin, N. S. & Aydin, A., 2001- Behavior of chemical elements during weathering of pyroclastic rocks, Hong Kong. *Environment International* 26, 359–368.
- 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.
- Meshram, R. R. & Randive, K. R., 2011- Geochemical study of laterites of the Jamnagar district, Gujarat, India: Implications on parent rock, mineralogy and tectonics, *Journal of Asian Earth Sciences* 42 (7), 1271-1287.
- Mindszenty, A., 1984-The lithology of some Hungarian bauxites: a contribution of the paleogeographic reconstruction. *Acta Geologica Academiae Scientiarum Hungaricae* 27 (3–4), 441–455.
- Mindszenty, A., D'Argenio, B. & Bognar, L., 1986- Cretaceous bauxites of Austria and Hungary: lithology and paleotectonic implications. The International Committee for study of Bauxite, Alumina & Aluminium, *Travaux* 16, 13–39.
- Mongelli, G., 1993- REE and other trace elements in a granitic weathering profile from “Serre,” Southern Italy. *Chemical Geology* 103, 17–25.
- Mongelli, G., 1997- Ce-anomalies in the textural components of Upper Cretaceous karst bauxites from the Apulian carbonate platform (southern Italy). *Chemical Geology* 140, 69–79.
- Mordberg, L. E., 1999- Geochemical evolution of a Devonian diasporite–crandallite–svanbergite-bearing weathering profile in the Middle Timan, Russia. *Journal of Geochemical Exploration* 66, 353–361.
- Mordberg, L. E., 2001- Mineralogy and geochemistry of trace elements in bauxites: the Devonian Schugorsk deposit, Russia. *Mineralogical Magazine* 65 (1), 81–101.
- Muzaffer- Karadağ, 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.
- Nesbitt, W. H., 1979- Mobility and fractionation of rare earth elements during weathering of a granodiorite", *Journal of Nature* 279, 206–210.
- Nyakairu, G. W. A. & Koeberl, C., 2001- Mineralogical and chemical composition and distribution of rare earth elements in clay-rich sediments from Central Uganda. *Geochemical Journal*, 35, 13–28.
- Özlu, N., 1983- Trace element contents of karst bauxites and their parent rocks in the Mediterranean belt. *Mineralium Deposita* 18, 469–476.
- Ozturk, H., Hein, J. R. & Hanilc, N., 2002- Genesis of the Dogankuzu and Mortas- Bauxite deposits, Taurides, Tur key: Separation of Al, Fe and Mn and implications for passive margin metallogeny. *Economic Geology* 97, 1063–1077.
- 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 (13), 2199–2220.
- Pokrovsky, O. S., Schott, J. & Dupre, B., 2006- Trace element fractionation and transport in boreal rivers and soil porewaters of permafrost-dominated basaltic terrain in Central Siberia. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 70, 3239–3260.
- Schellmann, W., 1981- Considerations on the definition and classification of laterites, in *Proceedings, International Seminar on Lateritization Processes, Trivandrum, December 1979: Rotterdam, A.A. Balkema*, p. 1–10.
- Tardy, Y., 1997- *Petrology of Laterites and Tropical Soils*. Oxford and IBH Publishing Co. Pvt. Ltd., 408 p.
- Taylor, S. R. & McLennan, S. M., 1985- *The continental crust: Its composition and evolution*. Blackwell. Oxford, 312p.
- Taylor, S. R., 1964- Abundance of chemical elements in the continental crust: a new table. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 196, 1273–1285.
- Taylor, S. R. & McLennan, S. M., 1995- The geochemical evolution of the continental crust. *Reviews of Geophysics* 33, 241–265.
- Temur, S., 2006- A geochemical approach to parent rocks of the Maşatdağı diasporic bauxite, Alanya, Antalya, southern Turkey: *Geochemistry International*, v. 44, no. 9, p. 941–952.
- Temur, S. & Kansun, G., 2006- Geology and petrography of the Masatdagi diasporic bauxites, Alanya, Antalya, Turkey. *Journal of Asian Earth Sciences* 27, 512–522.
- Valeton, I., 1972- *Bauxites. Development in Soil Sciences*. Elsevier, Amsterdam. 226 p.
- Valeton, I., Biermann, M., Reche, R. & Rosenberg, F., 1987- Genesis of nickel laterites and bauxites in Greece during the Jurassic and Cretaceous, and their relation to ultrabasic parent rocks. *Ore Geology Reviews* 2, 359–404.

Geochemical Characteristics of Shahbolaghi Laterite Deposit, Southeast of Damavand, Tehran Province

F. Kangarani Farahani ^{1*}, A. A. Calagari ² & A. Abedini ³

¹ Ph.D. Student, Geology Department, Faculty of Natural Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran

² Professor, Geology Department, Faculty of Natural Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran

³ Associate Professor, Geology Department, Faculty of Sciences, Urmia University, Urmia, Iran

Received: 2012 July 09

Accepted: 2012 December 16

Abstract

The Shahbolaghi laterite deposit is located in ~40 km southeast of Damavand, Tehran province. This deposit was developed as stratiform horizons within the shales and sandstones of Shemshak formation (Jurassic). Mineralogical investigations show that the major minerals in this deposit include hematite, boehmite, and anatase accompanied by lesser amounts of goethite, magnetite, chamosite, kaolinite, quartz, calcite, diaspore, zircon, pyrite, and rutile. The microscopic evidences such as development of spastoidic textures within the ores suggest a high energy water-saturated sedimentary environment during the lateritization processes. By considering the mineral assemblage and textural characteristics, deposition and diagenesis of this horizon occurred in an oxidizing and almost near surface environment. Based on the obtained data from the field observations, geochemistry of major, trace, and rare earth elements the lateritic horizon at Shahbolaghi was developed probably by alteration of parent rocks with basaltic composition. The bauxitization process was occurred in trends of kaolinization, destruction of kaolinite, and deferrugenization. The geochemical investigations indicated that the distribution of trace elements in this horizon was controlled by clays and minor mineral phases.

Keywords: Laterite, Shahbolaghi, Damavand, Geochemistry, Distribution of Elements, Parent Rocks

For Persian Version see pages 165 to 176

*Corresponding author: F. Kangarani Farahani; E-mail: Farahani_1893@yahoo.com