

بررسی تغییرات ژئوشیمیایی و جرم واحدهای مختلف بوکسیتی در کانسار بوکسیت سرفاریاب، استان کهگیلویه و بویراحمد با استفاده از رفتار ژئوشیمیایی عناصر Al و Ti, Zr, Y

علیرضا زراسوندی^{۱*}، حسن زمانیان^۱، الهام حجازی^۲ و عبدالحسین منصور^۱

^۱گروه زمین شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران، اهواز، ایران

^۲گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه لرستان، خرم آباد، ایران

گروه زمین شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی خرم آباد، خرم آباد، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۸۷/۰۶/۲۵

تاریخ پذیرش: ۱۳۸۷/۱۱/۰۷

چکیده

بوکسیت سرفاریاب در ۲۵۰ کیلومتری خاور اهواز، در محدوده استان کهگیلویه و بویراحمد در زون ساختاری زاگرس چین خورده ساده و در میان سازندهای سروک و ایلام تشکیل شده است. واحدهای بوکسیتی این کانسار از پایین به بالا عبارت است از: آهک سروک، آهک مارنی، آرژیلیت‌ها، بوکسیت پیزولیتی، بوکسیت زرد، بوکسیت قرمز و بوکسیت سفید. در این مطالعه برای تعیین فرایندهای شیمیایی دخیل در تشکیل بوکسیت سرفاریاب و نیز بررسی نقش و رفتار عناصر در فرایندهای هوازدگی و نحوه تبادلات شیمیایی آنها، از روش ژئوشیمیایی محاسبات تبادلات جرم استفاده شد. در این روش، مقادیر تبادل جرم عناصر مختلف نسبت به یک عنصر یا چند عنصر بی‌تحرک که بیشترین ثبات شیمیایی را طی فرایندهای هوازدگی از خود نشان می‌دهند، محاسبه شد. در این مطالعه از عناصر Ti, Al, Zr, Y به عنوان عناصر بی‌تحرک یا چند عنصر بی‌تحرک که بیشترین ثبات شیمیایی می‌دهد که عناصر Si, Ca, Mg, K, Na طی فرایندهای حاکم، از محیط خارج شده و عناصر Al, Fe, Ti غنی شده‌اند. با توجه به مطالعات صورت گرفته چنین به نظر می‌رسد که ماده اولیه بوکسیت سرفاریاب، آرژیلیتی بوده که با توجه به برجا بودن بوکسیت سرفاریاب، می‌توان آهک سروک را که حاوی ذرات رسی است، منشأ این عناصر در نظر گرفت.

کلید واژه‌ها: تغییرات ژئوشیمیایی، بوکسیت، سرفاریاب، تغییرات جرم

*نویسنده مسئول: علیرضا زراسوندی

۱- مقدمه

بوکسیت‌های کارستی، محصول فرایندهای خاکزاد، در شرایط هوازدگی و فرسایش سطحی هستند و بیشتر با سیلیس زدایی و تجمع آلومینیم در خاک‌های برجا همراهند. بسیاری از بوکسیت‌ها ارتباط مستقیمی با شیمی و بافت سنگ بستر زیرین خود دارند، اما بوکسیت‌هایی که در بالای توالی‌های آهکی - رسوبی شکل گرفته‌اند، به مراتب پیچیده‌ترند و ترکیب آنها به دلیل مؤلفه‌های آرژیلیتی موجود در سنگ آهک بسترشان، به شدت متغیر است (Bardossy, 1982). با این وجود در تمامی ذخایر بوکسیتی، آلومینیم به دلیل ماهیت نامتحرک خود به صورت عنصر نامتحرک تجمع می‌یابد (Maclean et al., 1997). ردیابی سنگ مادر آلومینیم و همچنین محاسبه دقیق تبادلات جرم، در طی فرایند بوکسیتی شدن صرفاً با استفاده از عنصر آلومینیم ممکن نیست و استفاده از عناصر نامتحرک دیگری مانند Y, Ti, Zr, Nb, Th, Cr و پراکندگی آنها می‌تواند در شناسایی سنگ مادر (Precursor rock) که عامل مهمی در تشکیل بوکسیت است، مفید باشد (Maclean, 1990). به منظور بررسی ماهیت سنگ مادر بوکسیت و فرایندهای بوکسیت‌زایی در این مطالعه، از عناصر نامتحرک که در تشکیل بی‌هنجاری بوکسیت سرفاریاب به صورت درجا تجمع یافته‌اند، استفاده شده است. افزون بر این، افزایش و کاهش جرم در طی فرایند بوکسیتی شدن قابل محاسبه است. کانسار بوکسیت سرفاریاب در ۹۰ کیلومتری شمال دوگنبدان، در محدوده استان کهگیلویه و بویراحمد با مختصات جغرافیایی ۳۱° ۵۰' تا ۵۱° ۰۰' طول خاوری و ۴۵° ۳۰' تا ۳۱° ۰۲' عرض شمالی واقع شده است. بوکسیت این ناحیه از دیدگاه زمانی، مربوط به کرتاسه است و از دیدگاه ساختاری در زون زاگرس چین خورده ساده قرار دارد (شکل ۱). از نظر شرایط تشکیل سازندهای موجود تا زمان میوسن در مرحله رسوبگذاری بوده و پس از آن کوهزایی‌های انجام شده، اشکال فعلی را به وجود آورده است (Alavi, 2004).

۲- زمین شناسی

محدوده مورد مطالعه در محل بروزد تاقدیس‌های کوه سیاه، مندان و نیل قرار دارد. لازم به یادآوری است که کانسار بوکسیت سرفاریاب در هسته و یال جنوبی تاقدیس

مندان در ۴۰ کیلومتری شهرستان دهدشت واقع است. تاقدیس مندان در شمال دهدشت، درحد فاصل نیل و کوه سیاه قرار دارد (شکل ۲). طول این تاقدیس ۲۰ کیلومتر و پهنای آن ۵ کیلومتر است. چین خوردگی این تاقدیس نسبت به تاقدیس‌های مجاور با دامنه‌هایی با شیب ملایم است. در این تاقدیس، گسل‌هایی در سوی عمود برمحور چین‌ها عمل کرده‌اند که دره‌ها و تنگه‌های گسلی موجود در منطقه نتیجه عملکرد آنها است. تشکیل این گسل‌ها مربوط به پیش از زمان چین خوردگی است. این گسل‌ها بیشتر دارای امتداد شمالی - جنوبی تا شمال خاوری - جنوب باختری هستند و در سازندهای گروه بنگستان بویژه سازندهای سروک و ایلام تأثیر گذاشته و باعث رخنمون و بیرون زدگی آنها شده‌اند. گسل‌های دیگر مربوط به زمان چین خوردگی، بیشتر به موازات محور چین‌ها هستند و تخریب سازندهای جوان‌تر نزدیک به محور تاقدیس‌ها را موجب شده‌اند.

۳- روش مطالعه

براساس مطالعاتی که تا به حال بر روی ذخایر بوکسیت صورت گرفته است، این اصل که بوکسیت‌های کارستی توسط فرایندهای هوازدگی و فرسایش سطحی سنگ بستر زیرین خود شکل گرفته‌اند، به‌طور کامل پذیرفته شده است. برای شناسایی سنگ مادر ابق بوکسیت و محاسبه تغییرات جرم (Mass change Calculation method) در طی فرایند بوکسیتی شدن (Maclean, 1990) استفاده از عناصر نامتحرکی چون Th, Nb, Zr, Ti را پیشنهاد کرد. روش محاسبات تغییرات جرم، اولین بار توسط (Maclean & kranidiotis, 1987) در کانسار سولفید توده‌ای منطقه نوراندای کانادا پایه گذاری شد. این روش بر این اساس استوار است که نسبت عناصر نامتحرک به یکدیگر مانند Al/Ti و Zr/Ti در سنگ مادر و سنگ دگرسان شده حاصل از آن یکسان خواهد بود و بنابراین می‌توان از آنها برای تشخیص سنگ مادر و مراحل دگرسانی استفاده کرد. می‌توان از عناصر نامتحرکی که ضریب همبستگی بالایی نسبت به هم دارند و همچنین در نمودارهای دوتایی، روند خوبی از خود نشان می‌دهند، در این

افزون بر Ti، عناصری همچون Zr و Y هم، زمانی که در برابر AL رسم شوند چنین روندی را نشان می‌دهند؛ اما Ti بیشترین ضریب همبستگی را دارد بنابراین به‌طور معمول در محاسبات تغییرات جرم از آن استفاده می‌شود. با شناسایی نامتحرک ترین عناصر در طی فرایند بوکسیتی شدن و همچنین با استفاده از معادلات ۱، ۲ و ۳ می‌توان به‌ترتیب ضریب غنی‌شدگی، ترکیب بازساختی و تغییر جرم را در لایه‌های مختلف افق بوکسیتی بر اساس غلظت عناصر ذکر شده محاسبه کرد (جدول ۳ تا ۵). تغییرات جرم تمامی لایه‌ها برای هر عنصر در شکل‌های ۵ تا ۸ نشان داده شده است.

۶- بحث

با مراجعه به نمودارهای تغییرات عناصر در بخش ژئوشیمی مشخص می‌شود که عناصری همچون $Al_2O_3, SiO_2, Fe_2O_3, TiO_2$ در بخش‌های میانی و بالایی واحدهایی همچون بوکسیت سفید، سرخ و پیژولیتی مشهود است. MgO, CaO در لایه‌های بوکسیت سفید و پیژولیتی و سرخ تهی شده است. در مجموع با توجه به نمودارهای موجود می‌توان چنین استنباط کرد که از عناصر متحرک، Mg و Si از لایه‌های بوکسیتی و افق‌های پایین‌تر شسته و خارج شده‌اند. در مقابل، Fe در لایه‌های میانی همچون بوکسیت سرخ، زرد و مارن‌های آهکی افزایش یافته است؛ در حالی که Al در لایه‌های بوکسیتی افزایش یافته‌اند. محاسبات تبادلات جرم وضعیت غنی‌شدگی و یا انحلال عناصر را به شکل بهتری روشن می‌کند. مشاهده الگوی تغییرات تبادلات جرم Al_2O_3 نشان می‌دهد که تغییرات این عنصر در بوکسیت‌های سفید، سرخ و پیژولیدی به‌رغم غنی‌شدگی، یک نوع تبادل جرم منفی بیشتری نشان می‌دهد. Fe_2O_3 نیز به‌رغم غنی‌شدگی در افق‌های بوکسیتی تبادلات جرم منفی (کاهش) نشان می‌دهد که این مورد را می‌توان در ارتباط با تغییرات Eh آب‌های فرو رو از Eh بالا به Eh پایین دانست که ضمن این فرایند، مقداری از آهن موجود از محیط خارج می‌شود. روند تغییرات عناصر Mg, Mn, P_2O_5 , K, Na در نمودارهای تبادلات جرم به‌طور عمده ثابت است و یک کاهش اندک دارد. وضعیت نمودار تبادلات جرم SiO_2 بر اساس همه عناصر نشان می‌دهد که بر خلاف وضعیت غنی‌شدگی این عنصر در نمودارهای پیشین در افق‌های بوکسیتی، کاهش جرم نشان می‌دهد و با مقایسه آن با وضعیت غنی‌شدگی Al_2O_3 می‌توان احتمال داد که آب‌های فرو رو pH حدود ۸ داشته‌اند که باعث انحلال SiO_2 و بر جا گذاشتن Al_2O_3 شده است (Krauskopf, 1996). نمودارهای تبادلات جرم کل، وجود کاهش جرم (Mass loss) در افق‌های بوکسیتی را نشان می‌دهد که با مشاهده الگوی تبادل جرم کل، وجود هوازدهی ثانویه‌ای بر ML که کمترین کاهش جرم کل را دارد، قابل تشخیص است.

۷- محاسبه ستبرای اولیه سنگ مادر (سازند سروک)

با فرض همگن بودن تنوع سنگی سنگ مادر در طی فرایند هوازدهی، می‌توان ستبرای سنگ مادر اولیه مصرف شده را در طی این فرایندها که برای ایجاد ۱ متر از هر یک از لایه‌های تناوب استفاده شده است، محاسبه کرد. بدین منظور باید درصد وزنی را به درصد حجمی تبدیل کرد؛ بر این اساس که باید مقدار چگالی هر یک از لایه‌ها مشخص باشد. چگالی لایه‌های بوکسیتی در محدوده 2.55 gr/cm^3 و لایه‌های دیگر در محدوده 2.72 gr/cm^3 است. تعیین چگالی حالت برآوردی دارد و با استفاده از داده‌های ضمیمه AII در کتاب Manual of Mineralogy اثر Dana تعیین شده‌اند. با استفاده از فرمول $D=M/V$ مقدار تغییر حجم (Volume changes) در ضمن فرایندهای هوازدهی محاسبه شد که داده‌های آن در جدول ۶ آمده است. با استفاده از داده‌های جدول ۶ می‌توان ستبرای آهک تبدیل شده به ازای یک متر از هر لایه تناوب را محاسبه کرد که در جدول ۷ آمده است. در شکل‌های ۹ و ۱۰ ستبرای سازند سروک

مطالعات استفاده کرد. بررسی‌های پیشین (Maclean et al., 1997) نشان داده است که برخی از عناصر شیمیایی مانند Zr, Ti, Nb, Th در طی فرایندهای هوازدهی و دیاژنز بوکسیت به‌شدت نامتحرکند. بنابراین از مقایسه تجمع عناصر نامتحرک در سنگ نسبتاً غیر هوازده یا تازه (fresh) و نمونه‌های هوازده می‌توان در محاسبات تغییرات جرم ناشی از فرایندهای بوکسیتی‌زایی استفاده کرد. با در نظر گرفتن مطالب بالا و معادلات پایین (۱ و ۲ و ۳) محاسبات ضریب غنی‌شدگی (EF یا Enrichment Factor)، ترکیب بازساختی (RC یا Reconstructed composition) و همچنین میزان کاهش و افزایش جرم (MC یا Mass change) در طی فرایند بوکسیتی شدن قابل انجام است.

فراوانی عنصر در سنگ مادر

۱) $EF = \text{عنصر در سنگ}$

۲) $RC = EF \times \%$ فراوانی ترکیب در سنگ هوازده

۳) $MC = RC - \%$ فراوانی عنصر در سنگ مادر

۴- ژئوشیمی

در این مطالعه، برای محاسبه ضرایب یاد شده در بخش بالا و بررسی‌های ژئوشیمیایی، نمونه‌هایی از افق‌های بوکسیتی در معدن اصلی سرفاریاب انتخاب شد. نمونه‌ها از واحدهای مختلف بوکسیتی و از پایین تا بالای افق به‌ترتیب از سازند سروک (SR)، واحد آهک مارنی (ML)، واحد آرژولیتی (ARG)، بوکسیت اتولیتی- پیژولیتی (PB)، بوکسیت زرد (YB)، سرخ (RB) و سفید (WB) برداشت شدند. از هر افق چندین نمونه برداشت و پس از ادغام نمونه‌های پر عیار، یک نمونه به عنوان نماینده ترکیبی آن افق انتخاب شد. این نمونه‌ها برای تعیین عناصر اصلی و فرعی توسط روش XRF در شرکت کانساران بینالود تجزیه شدند که نتایج حاصل در جدول ۱ آورده شده است. با توجه به نتایج به دست آمده، وجود عناصری همچون Al, Si, Fe, Ti در بخش‌های میانی و بالایی همچون بوکسیت سفید، سرخ و پیژولیتی آشکار است و MgO, CaO در لایه‌های بوکسیت سفید، پیژولیتی و قرمز تهی شده است (شکل ۳). بیشترین مقدار آهن در لایه بوکسیت قرمز قابل مشاهده است. بیشترین مقدار Ba در سنگ آهک سروک گزارش شده است که دلیل آن را می‌توان شعاع یونی نزدیک این عنصر با Ca و جایگزینی گسترده کلسیم در کربنات دانست؛ در مقابل، لایه‌های میانی از این عنصر فقیر هستند. در محاسبات تغییرات جرم با توجه به برابر نبودن لایه‌های مختلف از نظر مقدار کلسیم و نیز میزان LOI (Loss or Ignition) نمی‌توان با صراحت فرایندهای غنی‌شدگی و تهی‌شدگی را مورد بررسی قرار داد؛ بنابراین برای بررسی این که چه عناصری به محیط اضافه یا از آن حذف شده‌اند، لازم است که بر روی داده‌ها عادی‌سازی کربنات و LOI صورت گیرد. به‌منظور عادی‌سازی کربنات، با این فرض که کربنات کلسیم تنها مؤلفه کربناتی است، میزان مناسبی از LOI به نسبت وزنی $CaO/CO_2 = 56/44$ به عنوان CO_2 به CaO موجود نسبت داده می‌شود. بدین نحو، مقدار کربنات کلسیم محاسبه و از داده‌های شیمیایی کسر می‌شود. برای عادی‌سازی LOI، مقدار باقیمانده آن که به عنوان آب ساختاری در نظر گرفته شده است، از داده‌های ژئوشیمیایی حذف و سپس داده‌ها بر اساس وزن آماری‌شان (statistical weight) به صد در صد رسانده می‌شوند. جدول ۲، داده‌های ژئوشیمیایی را پس از عادی‌سازی کربنات و LOI نشان می‌دهد.

۵- محاسبات تبادلات جرم در بوکسیت سرفاریاب

نمودارهای دوتایی عناصر نامتحرک در برابر Al_2O_3 (شکل ۴) روند واحدی را برای همه لایه‌های موجود در افق بوکسیتی نشان می‌دهد. این عناصر بسیار نامتحرک هستند و در تمام واحدهای بوکسیتی به صورت بازماندی انباشت یافته‌اند. همچنین

برای ایجاد ۱ متر از هر یک از واحدهای بوکسیتی بر اساس دو عنصر Al و Ti نشان داده شده است. لازم به یادآوری است که تغییر حجم را می توان با استفاده از چگالی سنگ مادر (D_p) و چگالی سنگ دگرسان شده (D_s) و ضریب غنی شدگی طبق فرمول زیر به دست آورد:

$$V = V_{\text{alteration zone}} \times \frac{DA}{DP} \times \frac{1}{EF}$$

ستبرای لایه هم متناسب با $\frac{1}{EF}$ خواهد بود که ستبرای آهک تبدیل شده بدین روش قابل محاسبه است.

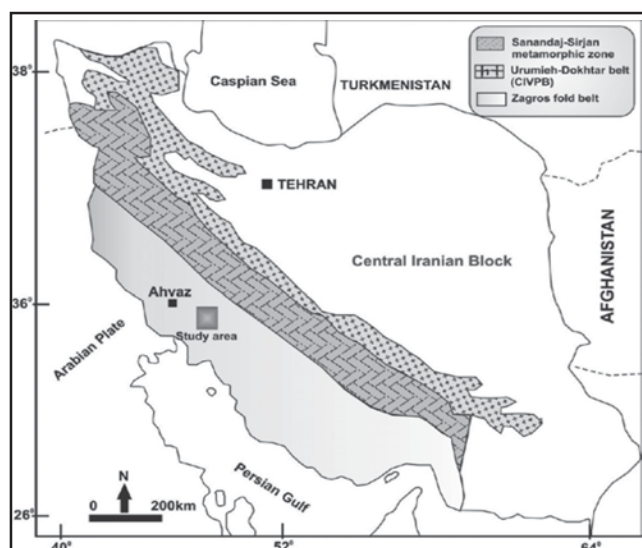
۸- نتیجه گیری

مطالعات ژئوشیمیایی تبادلات جرم مشخص می کند که عناصر Th, Ti, Cr, Zr, Pb, Y ضمن فرایندهای هوازدگی، بی تحرک بوده اند و در مقابل عناصری همچون

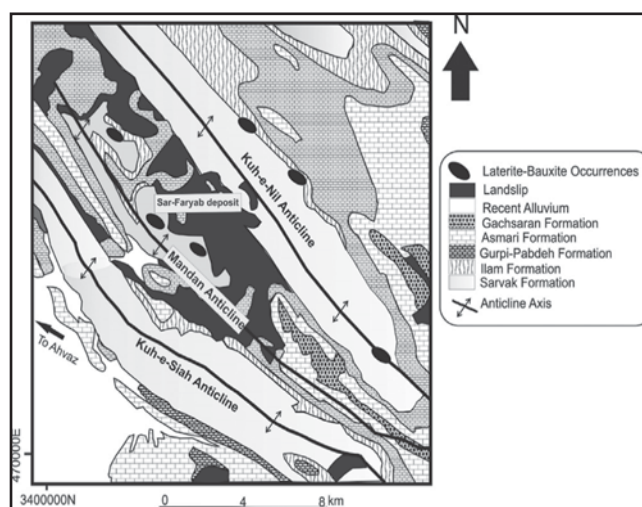
Ca, Si, Mg, Fe, Na, K, U, P, Rb و ... ضمن این فرایندها به دلیل تحرک شیمیایی از محیط خارج شده اند. در بین عناصری که در ضمن فرایندهای بوکسیت زایی متحرک بوده و از محیط خارج و یا به آن وارد شده اند، بالاترین تحرک در عناصر Si, Fe دیده می شود که می توان آن را در ارتباط با شرایط ژئوشیمیایی حاکم بر فرایندهای بوکسیت زایی در لایه های مختلف دانست. - روش محاسبات جرم از روش های بسیار مهم در تعیین سنگ مادر بسیاری از ذخایر آذرین و رسوبی (بویژه ذخایری که تحت تأثیر فرایندهای گرمایی و تغییرات شیمیایی ناشی از هوازدگی ایجاد شده اند) است؛ از جمله این کانسارها می توان به ذخایر کارستی بوکسیتی اشاره کرد؛ بر این اساس، نتایج حاصل از این پژوهش نشان می دهد که منشأ مواد در افق های بوکسیتی کانسار سرفاریاب، مواد رسی و آرژیلیتی موجود در آهک سروک است.

جدول ۱- نتایج حاصل از تجزیه XRF بر روی نمونه های برداشت شده از کانسار سرفاریاب

	SR	ARG	ARG+PB	PB	ML	YB	RB	WB
Al ₂ O ₃	0.25	7.06	17.05	50.91	0.25	7.70	48.12	63.06
SiO ₂	0.65	3.42	5.80	13.65	0.76	7.62	5.93	14.26
Fe ₂ O ₃	0.20	2.41	6.07	2.86	0.55	3.55	18.06	2.27
TiO ₂	0.040	0.396	0.963	2.575	0.023	0.420	2.984	2.914
MnO	0.001	0.005	0.010	0.011	0.002	0.027	0.044	0.020
CaO	54.05	44.64	34.54	0.21	52.43	41.59	7.77	0.46
MgO	0.70	0.43	0.37	0.24	0.42	0.41	0.21	0.21
Na ₂ O	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
K ₂ O	0.02	0.01	0.03	0.03	0.05	0.23	0.02	0.01
P ₂ O ₅	0.061	0.052	0.060	0.088	0.009	0.376	0.052	0.076
SO ₃	0.720	0.260	0.193	0.040	0.203	0.638	0.055	0.210
L.O.I	43.23	40.58	34.35	28.99	44.41	37.17	16.58	16.01
(Sr(ppm)	566	333	243	945	116	255	273	511
U	1	1	1	1	1	1	1	1
Rb	8	10	11	14	8	12	9	8
Co	1	1	1	2	1	1	1	1
Th	1	1	1	1	1	1	1	1
Pb	6	13	16	32	8	11	27	22
Zn	30	22	9	16	24	85	18	16
W	1	1	1	1	1	1	1	1
Cr	9	43	113	413	6	46	923	897
Ce	12	18	36	16	10	16	14	15
V	15	40	84	15	19	53	23	12
Ba	230	216	195	92	122	197	184	122
Nb	18	30	32	15	25	20	19	18
Cl	15	14	65	58	16	6	62	97
Ni	23	69	135	299	14	97	223	471
Zr	31	55	119	32	18	63	12	8
Y	5	10	16	14	6	55	14	8
Cu	28	29	24	10	28	31	15	6
La	2	4	15	3	2	6	4	5
Mo	1	1	1	1	1	1	1	1
As	2	3	2	4	2	1	3	2



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی و ساختاری منطقه مورد مطالعه (با تغییرات از Zarasvandi et al., 2008).



شکل ۲- زمین شناسی و چینه شناسی منطقه مورد مطالعه (با تغییرات از Zarasvandi et al., 2008).

جدول ۲- نتایج ژئوشیمیایی لایه‌های مختلف بوکسیتی پس از عادی‌سازی کربنات و LOI

	SR	ML	ARG	ARG+PB	PB	YB	RB	WB
Al ₂ O ₃	9.43	11.01	50.249	55.79	72.3	36.7	63.75	75.939
SiO ₂	24.52	33.48	24.34	18.979	19.38	36.32	7.85	17.172
Fe ₂ O ₃	7.547	24.22	17.15	19.86	4.06	16.92	23.92	2.733
TiO ₂	1.509	1.01	2.818	3.15	3.657	2.001	3.95	3.509
MnO	0.0377	0.088	0.035	0.0327	0.0156	0.128	0.058	0.024
CaO	0	0	0	0	0	0	0	0
MgO	26.41	18.5	3.06	1.21	0.34	1.95	0.278	0.2528
Na ₂ O	0.377	0.44	0.071	0.065	0.0142	0.047	0.013	0.012
K ₂ O	0.754	2.2	0.071	0.098	0.0426	1.096	0.026	0.012
P ₂ O ₅	2.3	0.39	0.37	0.196	0.124	1.79	0.068	0.091
SO ₃	27.16	8.94	1.85	0.63	0.056	3.04	0.072	0.2528
L.O.I	0	0	0	0	0	0	0	0
CO ₂	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	100.04	100.2	100.01	100.01	99.98	99.99	99.98	99.99
Sr(ppm)	566	116	333	243	945	255	273	511
U	1	1	1	1	1	1	1	1
Rb	8	8	10	11	14	12	9	8
Co	1	1	1	1	2	1	1	1
Th	1	1	1	1	1	1	1	1
Pb	6	8	13	16	32	11	27	22
Zn	30	24	22	9	16	85	18	16
W	1	1	1	1	1	1	1	1
Cr	9	6	43	113	413	46	923	897
Ce	12	10	18	36	16	16	14	15
V	15	19	40	84	15	53	23	12
Ba	230	122	216	195	92	197	184	122
Ni	18	25	30	32	15	20	19	18
Cl	15	16	14	65	58	6	62	97
Nb	23	14	69	135	299	97	223	471
Zr	31	18	55	119	32	63	12	8
Y	5	6	10	16	14	55	14	8
Cu	28	28	29	24	10	31	15	6
La	2	2	4	15	3	6	4	5
Mo	1	1	1	1	1	1	1	1
As	2	2	3	2	4	1	3	2

جدول ۳- ضریب غنی‌شدگی بر اساس عناصر نامتحرک مختلف در لایه‌های مختلف بوکسیتی

	بر اساس Al	بر اساس Ti	بر اساس Zr	بر اساس Y
SR	1	1	1	1
ML	0.856	1.494	1.722	0.833
ARG	0.187	0.535	0.56	0.5
ARG+PB	0.169	0.479	0.260	0.312
PB	0.130	0.412	0.968	0.357
YB	0.256	0.754	0.492	0.090
RB	0.147	0.382	2.583	0.357
WB	0.124	0.430	3.875	0.625

جدول ۴- الف) ترکیب بازساختی بر اساس عنصر Al در لایه‌های مختلف بوکسیتی

	RC(ML)	RC(ARG)	RC(ARG+PB)	RC(PB)	RC(YB)	RC(RB)	RC(WB)
Al ₂ O ₃	9.42	9.39	9.42	9.39	9.39	9.37	9.41
SiO ₂	28.65	4.55	3.207	2.51	9.29	1.153	2.129
Fe ₂ O ₃	20.73	3.20	3.35	0.527	4.33	3.516	0.338
TiO ₂	0.864	0.526	0.532	0.475	0.512	0.580	0.435
MnO	0.075	6.5×10 ⁻³	5.5×10 ⁻³	2×10 ⁻³	0.032	8.5×10 ⁻³	2.9×10 ⁻³
CaO	0	0	0	0	0	0	0
MgO	15.83	0.572	0.204	0.044	0.499	0.040	0.031
Na ₂ O	0.376	0.013	0.0109	1.8×10 ⁻³	0.012	1.9×10 ⁻³	1.4×10 ⁻³
K ₂ O	1.88	0.013	0.016	5.5×10 ⁻³	0.280	3.8×10 ⁻³	1.4×10 ⁻³
P ₂ O ₅	0.333	0.069	3.31×10 ⁻³	0.016	0.458	9.9×10 ⁻³	0.011
SO ₃	7.65	0.345	0.106	7.2×10 ⁻³	0.778	0.0105	0.031

جدول ۴- ب) ترکیب بازساختی بر اساس عنصر Ti در لایه‌های مختلف بوکسیتی

	RC(ML)	RC(ARG)	RC(ARG+PB)	RC(PB)	RC(YB)	RC(RB)	RC(WB)
Al ₂ O ₃	16.448	26.883	26.723	29.787	27.671	24.352	32.653
SiO ₂	50.019	13.021	9.090	7.984	27.385	2.998	7.383
Fe ₂ O ₃	36.184	9.175	9.512	1.672	12.757	9.137	1.175
TiO ₂	1.508	1.507	1.508	1.506	1.508	1.508	1.508
MnO	0.131	0.0187	0.0156	6.4×10 ⁻³	0.0965	0.0221	0.0103
CaO	0	0	0	0	0	0	0
MgO	27.639	1.637	0.579	0.140	1.470	0.106	0.108
Na ₂ O	0.657	0.0379	0.031	5.8×10 ⁻³	0.0354	4.9×10 ⁻³	5.1×10 ⁻³
K ₂ O	3.286	0.0379	0.0469	0.0175	0.826	9.9×10 ⁻³	5.1×10 ⁻³
P ₂ O ₅	0.582	0.197	0.0938	0.0510	1.349	0.0259	0.0391
SO ₃	13.356	0.989	0.301	0.0230	2.292	0.0275	0.0108

جدول ۴- ج) ترکیب بازساختی بر اساس عنصر Zr در لایه‌های مختلف بوکسیتی

	RC(ML)	RC(ARG)	RC(ARG+PB)	RC(PB)	RC(YB)	RC(RB)	RC(WB)
Al ₂ O ₃	18.959	28.139	14.50	69.98	18.05	164.6	294.2
SiO ₂	57.65	13.63	4.93	18.759	17.869	20.27	66.54
Fe ₂ O ₃	41.70	9.60	5.16	3.93	8.32	61.78	10.59
TiO ₂	1.739	1.578	0.819	3.539	0.984	10.20	13.59
MnO	0.151	0.019	8.5×10 ⁻³	0.015	0.062	0.149	0.093
CaO	0	0	0	0	0	0	0
MgO	31.85	1.713	0.314	0.329	0.959	0.718	0.979
Na ₂ O	0.757	0.039	0.016	0.013	0.023	0.033	0.046
K ₂ O	3.78	0.039	0.025	0.041	0.539	0.067	0.046
P ₂ O ₅	0.671	0.207	0.050	0.120	0.880	0.175	0.352
SO ₃	15.39	1.036	0.163	0.054	1.49	0.185	0.979

جدول ۴- د) ترکیب بازساختی بر اساس عنصر Y در لایه‌های مختلف بوکسیتی

	RC(ML)	RC(ARG)	RC(ARG+PB)	RC(PB)	RC(YB)	RC(RB)	RC(WB)
Al ₂ O ₃	9.17	25.124	17.406	25.81	3.30	22.75	47.46
SiO ₂	27.88	12.17	5.921	6.918	3.26	2.80	10.73
Fe ₂ O ₃	20.17	8.575	6.196	1.449	1.52	8.539	1.70
TiO ₂	0.841	1.409	0.982	1.30	0.18	1.41	2.19
MnO	0.073	0.0175	0.0102	5.5×10 ⁻³	0.011	0.020	0.015
CaO	0	0	0	0	0	0	0
MgO	15.41	1.53	0.377	0.121	0.175	0.099	0.158
Na ₂ O	0.366	0.035	0.0202	5×10 ⁻³	4.2×10 ⁻³	4.6×10 ⁻³	7.5×10 ⁻³
K ₂ O	1.83	0.035	0.0305	0.0152	0.098	9.2×10 ⁻³	7.5×10 ⁻³
P ₂ O ₅	0.324	0.185	0.0611	0.044	0.161	0.024	0.056
SO ₃	7.44	0.925	0.196	0.019	0.273	0.025	0.158

جدول ۵- الف) تبادلات جرمی عناصر بر اساس عنصر شاخص Al

	Al_2O_3	SiO_2	Fe_2O_3	TiO_2	MnO	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	P_2O_5	So_3
ML	0	4.13	13.18	-0.64	0.03	0	-10.5	-0.001	1.1	-1.96	-19.51
ARG	0	-19.97	-4.34	-0.98	-0.03	0	-25.8	-0.36	-0.74	-2.23	-26.8
ARG+PB	0	-21.3	-4.2	-0.97	-0.03	0	-26.2	-0.36	-0.73	-2.29	-27.05
PB	0	-22.01	-7.02	-1.03	-0.03	0	-26.3	-0.37	-0.74	-2.28	-27.15
YB	0	-15.23	-3.21	-0.99	-0.005	0	-25.9	-0.36	-0.47	-1.84	-26.38
RB	0	-23.3	-4.03	-0.92	-0.02	0	-26.3	-0.37	-0.75	-2.29	-27.14
WB	0	-22.39	-7.2	-1.04	-0.03	0	-26.3	-0.37	-0.75	-2.28	-27.02

جدول ۵- ب) تبادلات جرم عناصر بر اساس عنصر شاخص Ti

	Al_2O_3	SiO_2	Fe_2O_3	TiO_2	MnO	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	P_2O_5	So_3
ML	7.01	25.49	28.63	0	0.09	0	1.22	0.28	2.5	-1.7	-13.8
ARG	17.45	-11.5	1.62	0	-0.01	0	-24.7	-0.34	-0.71	-2.1	-26.17
ARG+PB	17.29	-15.43	1.96	0	-0.02	0	-25.8	-0.34	-0.70	-2.2	-26.85
PB	20.35	-16.53	-5.87	0	-0.03	0	-26.2	-0.37	-0.73	-2.2	-27.13
YB	18.24	2.8	5.2	0	0.05	0	-24.9	-0.34	1.5	-0.9	-24.8
RB	14.9	-21.5	1.59	0	-0.01	0	-26.3	-0.37	-0.74	-2.2	-27.13
WB	23.22	-17.1	-6.37	0	-0.02	0	-26.3	-0.37	-0.74	-2.2	-27.14

جدول ۵- ج) تبادلات جرم عناصر بر اساس عنصر شاخص Y

	Al_2O_3	SiO_2	Fe_2O_3	TiO_2	MnO	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	P_2O_5	So_3
ML	-0.26	3.3	12.6	-0.69	0.03	0	-11	-0.01	1.07	-1.9	-19.7
ARG	15.69	-12.35	1.02	-0.1	-0.02	0	-24.8	-0.34	-0.72	-2.1	-26.23
ARG+PB	7.97	-18.6	-1.3	-0.52	-0.02	0	-26.03	-0.35	-0.72	-2.2	-26.9
PB	16.38	-17.6	-6.09	-0.20	-0.03	0	-26.28	-0.37	-0.73	-2.2	-27.14
YB	-6.13	-21.2	-6.02	-1.3	-0.02	0	-26.2	-0.37	-0.65	-2.1	-26.8
RB	13.32	-21.7	0.99	-0.099	-0.01	0	-26.3	-0.37	-0.74	-2.2	-27.13
WB	38.03	-13.8	-5.8	0.68	-0.02	0	-26.2	-0.37	-0.74	-2.2	-27

جدول ۵- د) تبادلات جرم عناصر بر اساس عنصر شاخص Zr

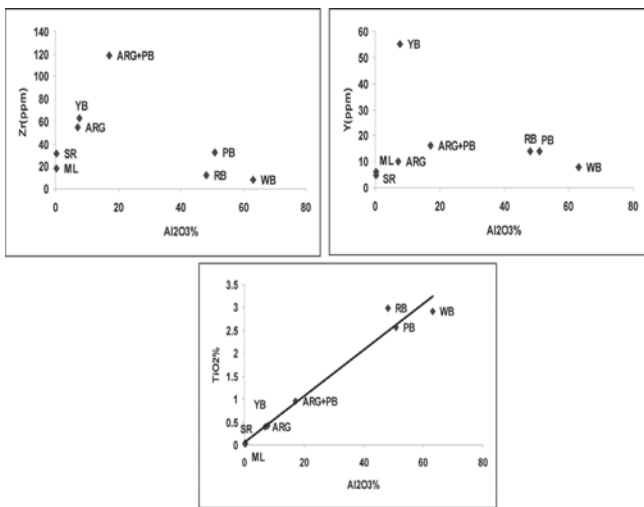
	Al_2O_3	SiO_2	Fe_2O_3	TiO_2	MnO	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	P_2O_5	So_3
ML	9.5	33.13	34.15	0.23	0.11	0	5.4	0.38	3.02	-1.6	-11.7
ARG	18.70	-10.9	2.05	0.06	-0.01	0	-24.6	-0.33	-0.71	-2.09	-26.12
ARG+PB	5.07	-19.5	-2.3	-0.69	-0.029	0	-26.09	-0.36	-0.72	-2.2	-26.9
PB	60.5	-5.7	-3.6	2.03	-0.02	0	-26.08	-0.36	-0.71	-2.1	-27.1
YB	8.6	-6.6	0.77	-0.52	0.02	0	-25.4	-0.73	-0.21	-1.4	-25.6
RB	155.17	-4.2	54.2	8.69	0.11	0	-25.6	-0.34	-0.68	-2.1	-26.9
WB	284.7	42.02	3.04	12.08	0.05	0	-25.4	-0.33	-0.70	-1.9	-26.1

جدول ۷- ستبرای سنگ منشأ تبدیل شده به ازای ۱ متر از لایه‌های موجود

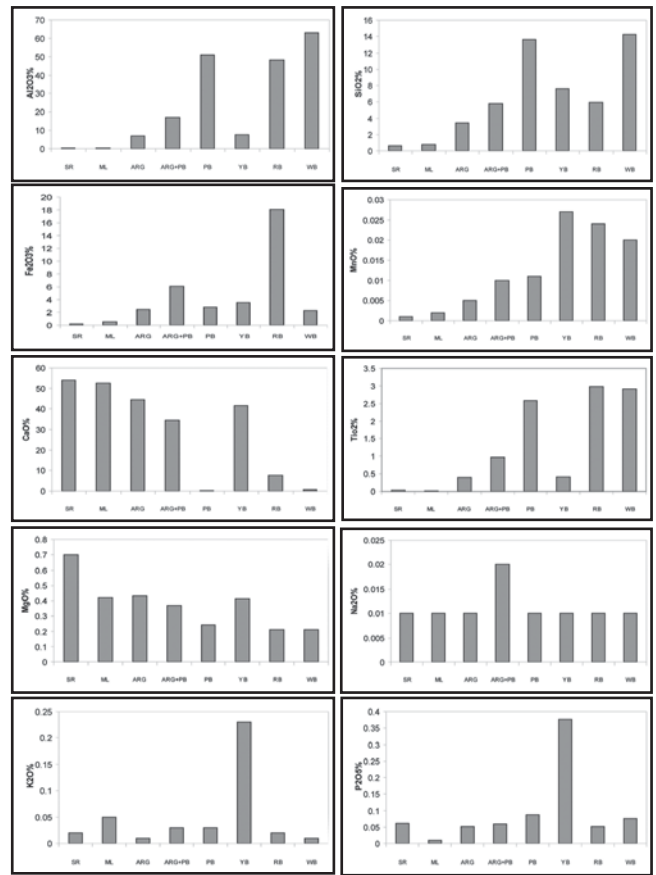
	بر اساس Ti	بر اساس Al	بر اساس Zr	بر اساس Y
ML	۰/۶	۱/۱	۰/۵۸	۱/۲
ARG	۱/۸	۵/۳	۱/۷	۲
ARG+PB	۲	۵/۹	۳/۸	۳/۲
PB	۲/۴	۷/۶	۱	۲/۸
YB	۱/۳	۳/۹	۲	۱۱/۱
RB	۲/۶	۶/۸	۰/۳۸	۲/۸
WB	۲/۳	۸	۰/۲	۱/۶

جدول ۶- درصد تغییرات حجمی در لایه‌های تناوب مورد مطالعه

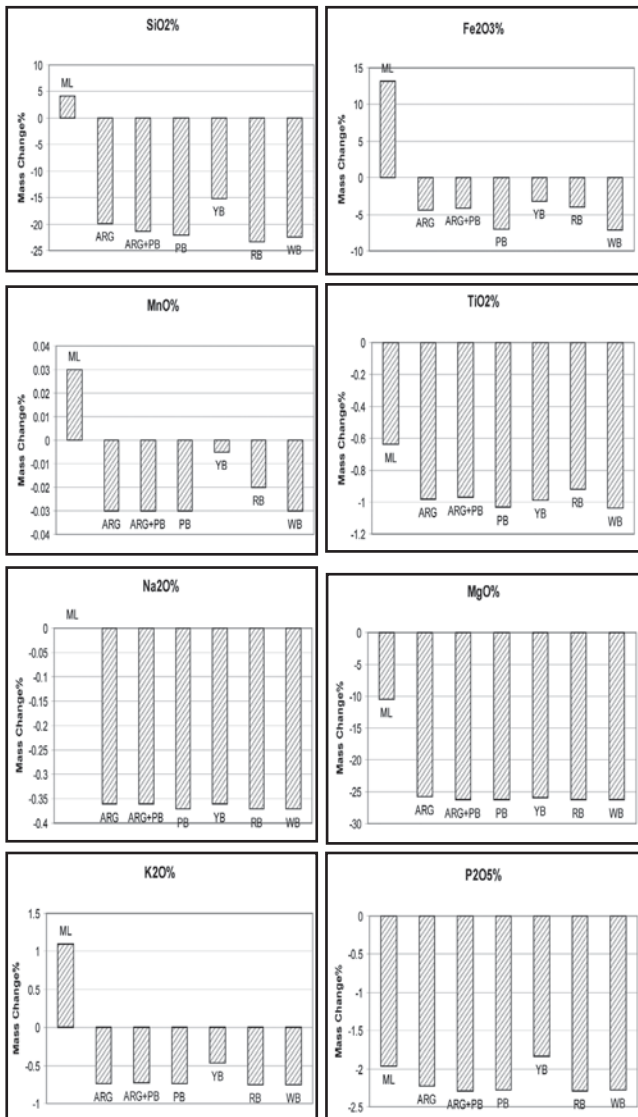
	بر اساس Ti	بر اساس Al	بر اساس Zr	بر اساس Y
ML	۱۸/۲۸	-۵/۲۱	۲۶/۷	-۶/۰۶
ARG	-۱۷/۰۸	-۲۹/۸۸	-۱۶/۱۵	-۱۸/۳۶
ARG+PB	-۱۹/۱۵	-۳۰/۵۶	-۲۷/۱۰	-۲۵/۲۴
PB	-۲۳/۰۲	-۳۴/۱۰	-۱/۲۳	-۲۵/۱۷
YB	-۹/۰۷	-۲۹/۱۸	-۲۰/۰۲	-۳۵/۶۰
RB	-۲۴/۲۲	-۳۳/۴۰	۶۲/۰۷	-۲۵/۱۷
WB	-۲۲/۳۶	-۳۴/۲۷	۱۱۲/۷۰	-۱۴/۶۶



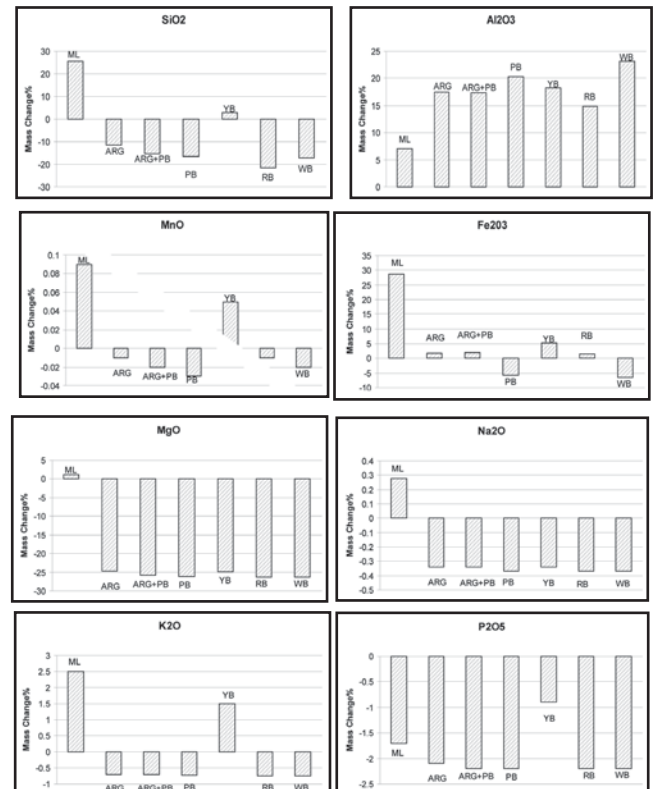
شکل ۴- همبستگی تغییرات عناصر نامتحرک مورد استفاده در لایه‌های مختلف بوکسیتی در کانسار سرفاریاب



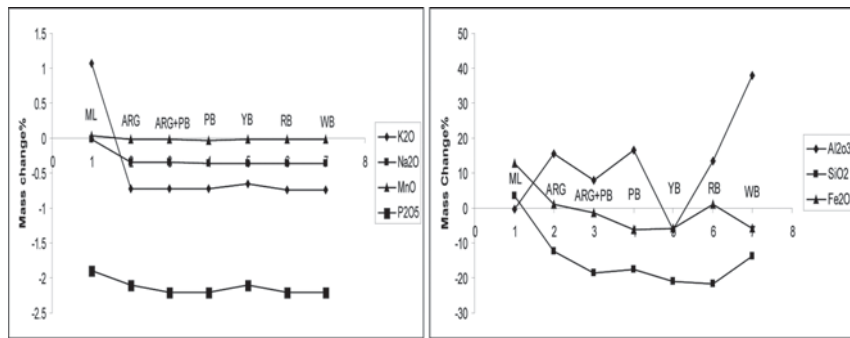
شکل ۳- نگاره تغییرات عناصر مختلف در لایه‌های مورد مطالعه در کانسار سرفاریاب



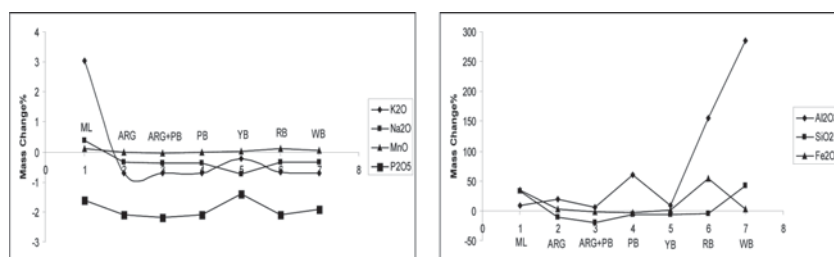
شکل ۵- نگاره تغییرات تبادل جرمی برای اکسیدهای مختلف در تناوب بر اساس عنصر Al



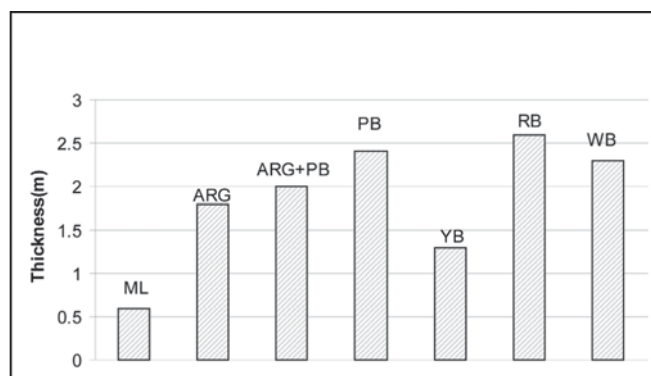
شکل ۶- نگاره تغییرات تبادل جرمی برای اکسیدهای مختلف در تناوب بر اساس عنصر Ti



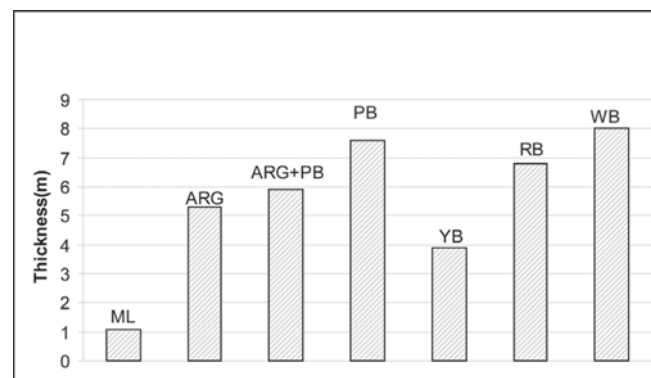
شکل ۷- نگاره تغییرات تبادل جرمی برای اکسیدهای مختلف در تناوب بر اساس عنصر Y



شکل ۸- نگاره تغییرات تبادل جرمی برای اکسیدهای مختلف در تناوب بر اساس عنصر Zr



شکل ۹- ستبرای آهک سروک هوازده برای ایجاد ۱ متر از لایه‌های موجود (محاسبه شده بر اساس عنصر شاخص Ti)



شکل ۱۰- ستبرای آهک سروک هوازده برای ایجاد ۱ متر از لایه‌های موجود (محاسبه شده بر اساس عنصر شاخص Al)

References

- Alavi, M., 1994- Tectonics of the Zagros orogenic belt of Iran: newdata and interpretations. *Tectonophysics* 229, 211–238.
- Bárdossy, G., 1982- Karst Bauxites. *Bauxite Deposits on Carbonate Rocks. Developments in Economic Geology*, 14. Elsevier. 441 pp.
- Dana, J. D., 2001- *Manual of Mineralogy*. John Wiley & Sons Inc., 583 pp.
- Krauskopf, K. B., 1996- *Introduction to Geochemistry*. McGraw-Hill, 721 pp.
- 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.
- MacLean, W. H., 1990- Mass change calculations in altered rock series. *Mineralium Deposita*. 25, 44–49.
- MacLean, W. H. and Kranidiotis, P., 1987- Immobile elements as monitors of mass transfer in hydrothermal alteration: Phelps dodge massive sulfide deposit, Matagami. Quebec. *Econ. Geol.* 82, 951–962.
- Zarasvandi, A., Charchi, A., Carranza. E. J. M., Alizadeh. B., 2008- Karst bauxite deposit in the Zagros mountain belt, Iran, *Ore Geology Reviews*, 32, P. 521-532.

contamination processes. In terms of geochemistry, the variations of Rb, Sr, Pb and Hf confirm this phenomenon as well. Based on low topography of volcanic rocks, suture zone, strike-slip faults, and petrologic evidence, low degrees of partial melting in source and crustal contamination in the region, the magmatism occurred in a tensional tectonomagmatic environment. Local tension and opening along the strike-slip fault zone provided a way for ascending of magma to the earth surface.

Keywords: Bijar, Alkaline Series, Sanandaj-Sirjan, Contamination

For Persian Version see pages 151 to 156

* Corresponding author: M. H. Razavi; E_mail: razavi@saba.tum.ac.ir

Geochemical and Mass Changes at the Sar-Faryab Bauxite Deposit, Kohgeloye and Bovair-Ahmad Province: Using Al, Ti, Zr and Y Geochemical Characteristics

A. Zarasvandi^{1*}, H. Zamanian², E. Hejazi³ & A.H. Mansour¹

¹ Department of Geology, Faculty of Earth Sciences, Shahid Chamran University, Ahvaz, Iran

² Department of Geology, Faculty of Sciences, Lorestan University, Khoramabad, Iran

³ Department of Geology, Islamic Azad University, Khoramabad, Iran

Received: 2008 September 15

Accepted: 2008 January 26

Abstract

The Sar-Faryab bauxite deposit is located in 250 km east of Ahvaz city in Kohgeloye and Bovair-Ahmad Province, Iran. Structurally the deposit is located in the Zagros Simply Fold Mountain Belt and was formed between the Ilam and Sarvak Formations. The bauxite horizon in this deposit consists of marly limestone, argillite, oolitic-Pisolitic, yellow, red and white bauxite. This study uses the geochemistry of immobile elements (Al, Ti, Zr and Y) to trace the precursor rock of the bauxite deposit and to calculate the mass changes that took place during weathering and bauxitization. The result indicates that Si, Ca, Mg, K, Na elements are depleted and Al, Fe, Ti elements are enriched during the weathering and bauxitization. Geochemical data show that argillaceous debris in the Sarvak limestone can be the source of the Sar-Faryab bauxite deposit.

Keywords: Geochemical Variations, Bauxite, Sar-Faryab, Mass Changes

For Persian Version see pages 157 to 164

*Corresponding author: A. Zarasvandi; E-mail: zarasvandi@yahoo.com

Inverse Modeling of Magnetic Data Using Subspace Method

A. Nejadi Kalateh^{1*}, M. Mirzaei², N. Gouya¹ & E. Shahin³

¹ Petroleum and Geophysics Engineering, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran

² Science Faculty, Arak University, Arak, Iran

³ Geological Survey of Iran, Tehran, Iran

Abstract

In this paper we used orthogonal basis functions and expansion coefficients for inverse modeling of magnetic data. The basis functions chosen are normalized eigenvectors of second derivation of the objective function (Hessian matrix) calculate for an initial model. Limited number of basis vectors obtained in this way defines a new subspace in model parameters space. A new objective function is defined in term of these new parameters and minimized in subspace of original space. As in geophysical inverse problems we need to inverse matrixes that are functions data and geometry of data and model parameters. The matrix inversion in new subspace of the original space will be better conditions due to less dimensionality in the inversion. Since the most significant eigenvectors corresponding the largest eigen values in Singular Value Decomposition (SVD) of matrixes. Others eigenvectors have less influence in fitting data or lead inversion procedures to local minima. With apply subspace method inversion will be fast and stable against the noise. The efficiency of the method is tested with synthetic and real magnetic data (acquired from Moghan area, north-west of Iran). The results proved fast convergence and stability of inversion against the noise.

Keywords: Inverse modeling, Subspace method, Convergence, Matrix Projection, Orthogonal Functions

For Persian Version see pages 165 to 172