

ژئوشیمی کانسنگ‌های بوکسیتی - لاتریتی جوانمرد، شمال خاور بوکان، استان آذربایجان غربی

علی عابدینی^(*) و علی‌اصغر کلاگری^۲

۱. استادیار گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه ارومیه

۲. استاد گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز

تاریخ دریافت: ۸۷/۱۰/۳

تاریخ پذیرش: ۸۹/۳/۱۰

چکیده

افق بازماندی جوانمرد در ۲۵ کیلومتری شمال خاور بوکان، استان آذربایجان غربی واقع است. این افق به شکل چینه‌سان در مرز بین سازند کربناتی روتی (پرمین میانی - بالایی) و الیکا (تریاس) توسعه یافته و شامل ۳ واحد سنگ‌شناختی است: (۱) لاتریت آهن‌دار، (۲) بوکسیت سیلیسی و (۳) رس بوکسیتی. عملکرد فرایندهای هوازدگی در طی تشکیل این افق بازماندی سبب شستشوی Si, Na, Mg, Mn, P, Ca, Sr, Hf و HREEs، غنی‌شدگی Fe, K, Rb, Ba، تثبیت Th و Al, Ti, V, Cr, Ni, Y, Nb, Zr, U، و شستشو - تثبیت Co و LREEs شده است. یافته‌های ژئوشیمیایی نشان می‌دهد که سنگ بستر کربناتی نقش دوگانه‌ای در توزیع عناصر داشته است. کربنات‌ها از راه خنثی‌سازی محلول‌های هوازده کننده اسیدی، سبب رسوب‌گذاری Fe به شکل کانی‌های هماتیت و گوتیت شده‌اند. این کانی‌ها، خود، به وسیله فرایندهای جذب سطحی و روبش، منجر به تمرکز نسبتاً بالای V, Cr, Ni, Co, LREEs و Th در لاتریت آهن‌دار شده‌اند. این سنگ‌ها، با تشکیل کمپلکس‌های یونی پایدار کربناتی با HREEs، سبب خروج این عناصر از افق بازماندی شده‌اند. افزون بر این، تغییرات pH محلول‌های هوازده کننده، کنترل کانیایی، و حضور اسیدهای هومیک و کربنیک، نقش ارزنده‌ای در الگوی توزیع عناصر در این افق دارند.

واژه‌های کلیدی: بوکسیت - لاتریت، جوانمرد، ژئوشیمی، بوکان

مقدمه

منطقه جوانمرد، با مختصات جغرافیایی ۳۸'، ۲۳'، ۴۶° تا ۵۳'، ۲۵'، ۴۶° طول خاوری و ۲۲'، ۳۶'، ۳۶° تا ۲۲'، ۳۷'، ۳۶° عرض شمالی، در ۲۵ کیلومتری شمال خاور بوکان، در جنوب استان آذربایجان غربی واقع است (شکل ۱-الف).

وجود لایه‌ها و عدسی‌های بوکسیتی - لاتریتی از مهم‌ترین سیماهای زمین‌شناسی این منطقه است. ویژگی‌های زمین‌شناسی اقتصادی این مواد معدنی در سال‌های اخیر در قالب رساله‌های کارشناسی ارشد و دکترا بررسی شده است. حسامی (۱۳۷۰) به مطالعات زمین‌آمارای این نهشته‌ها پرداخته و معتقد است که پارامتر $P = (Al_2O_3 + L.O.I) / (SiO_2 + Fe_2O_3)$ ، نه به عنوان یک شاخص

ژئوشیمیایی قاطع، بلکه به عنوان عامل مهم و قابل قبول، می‌تواند در ارزیابی کیفیت مواد بوکسیتی به کار رود. خواجه محمدلو (۱۳۸۳) به بررسی کاربرد صنعتی این نهشته‌ها پرداخته است. بررسی‌های وی نشان داده است که واحدهای فقیر از آهن در آنها، در صنایع نسوز و سیمان کاربرد دارند. عابدینی (۱۳۸۷) کانی‌سازی تیپ کارستی مدیترانه‌ای را برای این نهشته‌ها پیشنهاد کرده است. عابدینی و همکاران (۱۳۸۷) کانی‌های دیاسپور، بوهمیت، هماتیت، گوتیت، کائولینیت، پیروفیلیت، کلینوکلر، ایلیت، مونت‌موریلونیت، آناتاز، روتیل، آلپیت، سانیدین، کوارتز و کلسیت را در کانسنگ‌های این افق شناسایی کرده‌اند. با نگرشی بر مطالعات انجام شده قبلی، مشخص می‌شود که به رغم توسعه روش‌های ژئوشیمی تعادل

* نویسنده مرتبط a.abedini@urmia.ac.ir

کانسنگ‌های انتخابی و سنگ مادر احتمالی، به روش‌های XRF و NAA، به ترتیب در شرکت کانساران بینالود و بخش مینیاتوری انرژی اتمی اصفهان برای تعیین مقادیر عناصر سازنده مورد تجزیه قرار گرفتند (جدول ۱).

جرم در سامانه‌های واکنشی آب-سنگ در سطح جهانی، تاکنون بررسی‌های جامعی در این مورد بر روی این افق انجام نشده است. در این نوشتار با استفاده از روش‌های ژئوشیمیایی تغییرات جرم به بررسی عوامل مؤثر در تحرک و توزیع دوباره عناصر در طی تشکیل این افق پرداخته می‌شود.

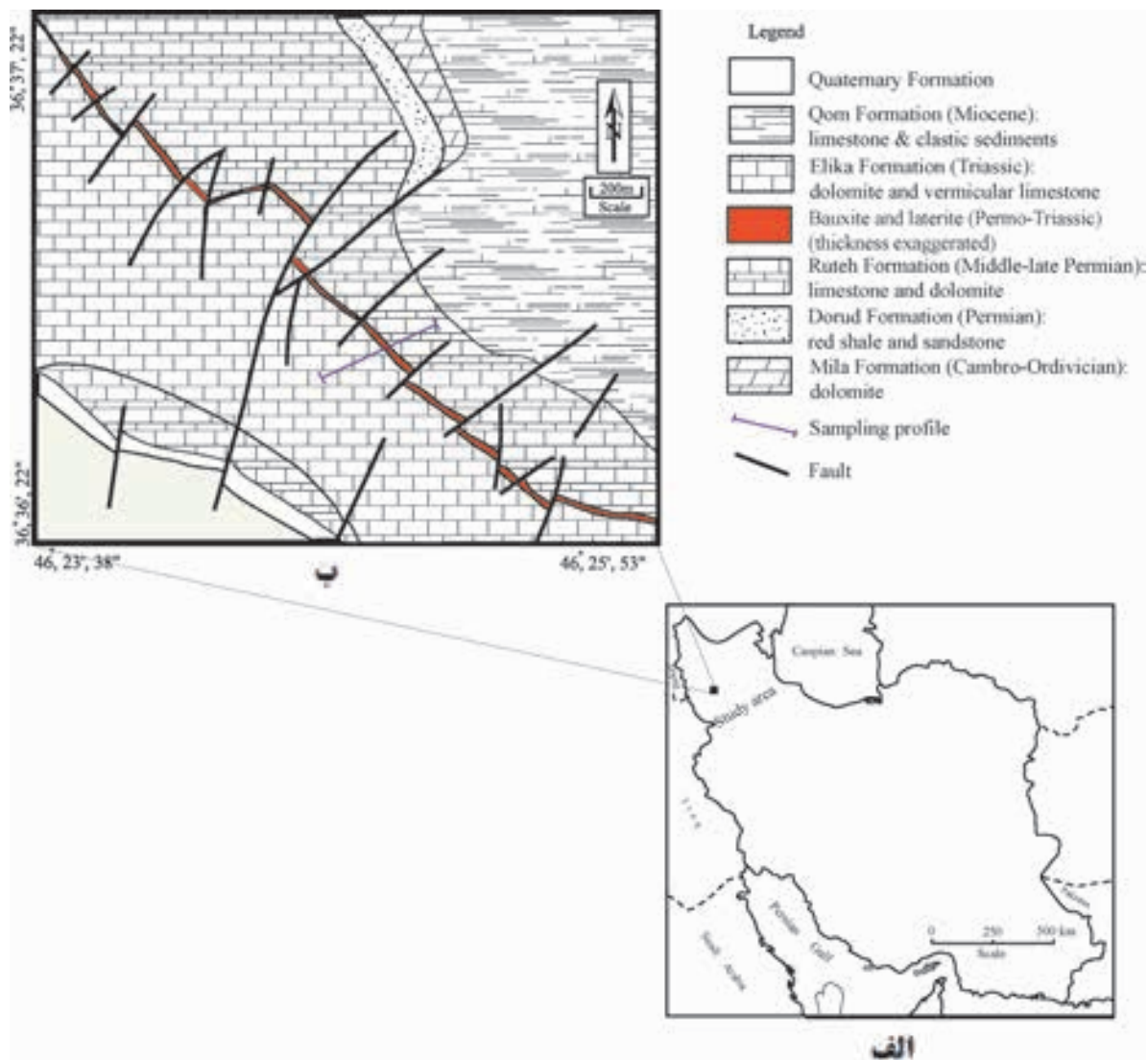
بحث

جایگاه زمین‌شناسی و هندسه ماده معدنی

بارزترین واحدهای سنگی منطقه جوانمرد به ترتیب از قدیم به جدید شامل سازندهای دولومیتی میلا (کامبرو-اردوویسین)، شیلی - ماسه‌سنگی درود (پرمین زیرین)، کربناتی روته (پرمین میانی - بالایی)، کربناتی الیکا (تریاس)، آهکی - آواری قم (میوسن) و رسوبات کواترنری است (شکل ۱-ب) (عابدینی و همکاران، ۱۳۸۷). وجود عدسی‌ها و لایه‌های بوکسیتی-لاتریتی در مرز بین سازندهای روته و الیکا، از مهم‌ترین ویژگی‌های زمین‌شناسی اقتصادی این منطقه به شمار می‌آید (شکل ۲).

روش مطالعه

مطالعات انجام‌شده در دو بخش صحرایی و آزمایشگاهی صورت گرفته است. در بررسی‌های صحرایی، ارتباط مواد معدنی با سنگ‌های درونگیر و شکل مواد معدنی مورد مطالعه قرار گرفته و پس از نمونه برداری سیستماتیک از یک نیمرخ انتخابی عمود بر امتداد افق بازماندی، در نهایت نقشه زمین‌شناسی از منطقه تهیه شده است. در بخش آزمایشگاهی، مطالعات میکروسکوپی بر روی ۱۴ مقطع نازک و صیقلی به منظور به دست آوردن شواهدی مناسب تعیین شیوه تشکیل کانسنگ‌ها انجام شده و ۱۱ نمونه از



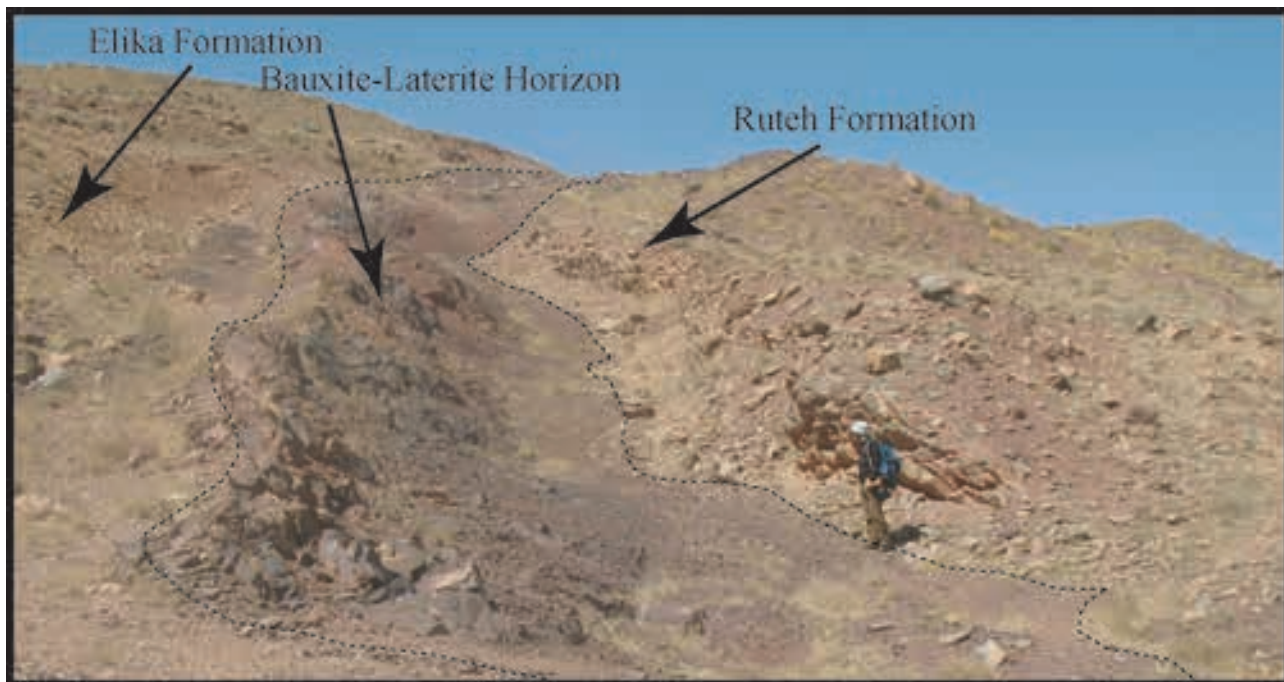
شکل ۱- الف) موقعیت منطقه مورد مطالعه در نقشه جغرافیایی ایران و ب) نقشه زمین‌شناسی منطقه که در آن موقعیت و نحوه توزیع افق بوکسیتی-لاتریتی در آن مشخص شده است (عابدینی، ۱۳۸۷).

با سنگ بستر کربناتی، از مهم‌ترین ویژگی‌های زمین‌شناختی این افق به شمار می‌رود (عابدینی، ۱۳۸۷). کانسنگ‌های این افق در بخش‌های بالایی به رنگ زرد و سبز خاکستری دیده می‌شوند که به سمت فرودیواره، به رنگ‌های قرمز آجری و قرمز قهوه‌ای تبدیل می‌شوند.

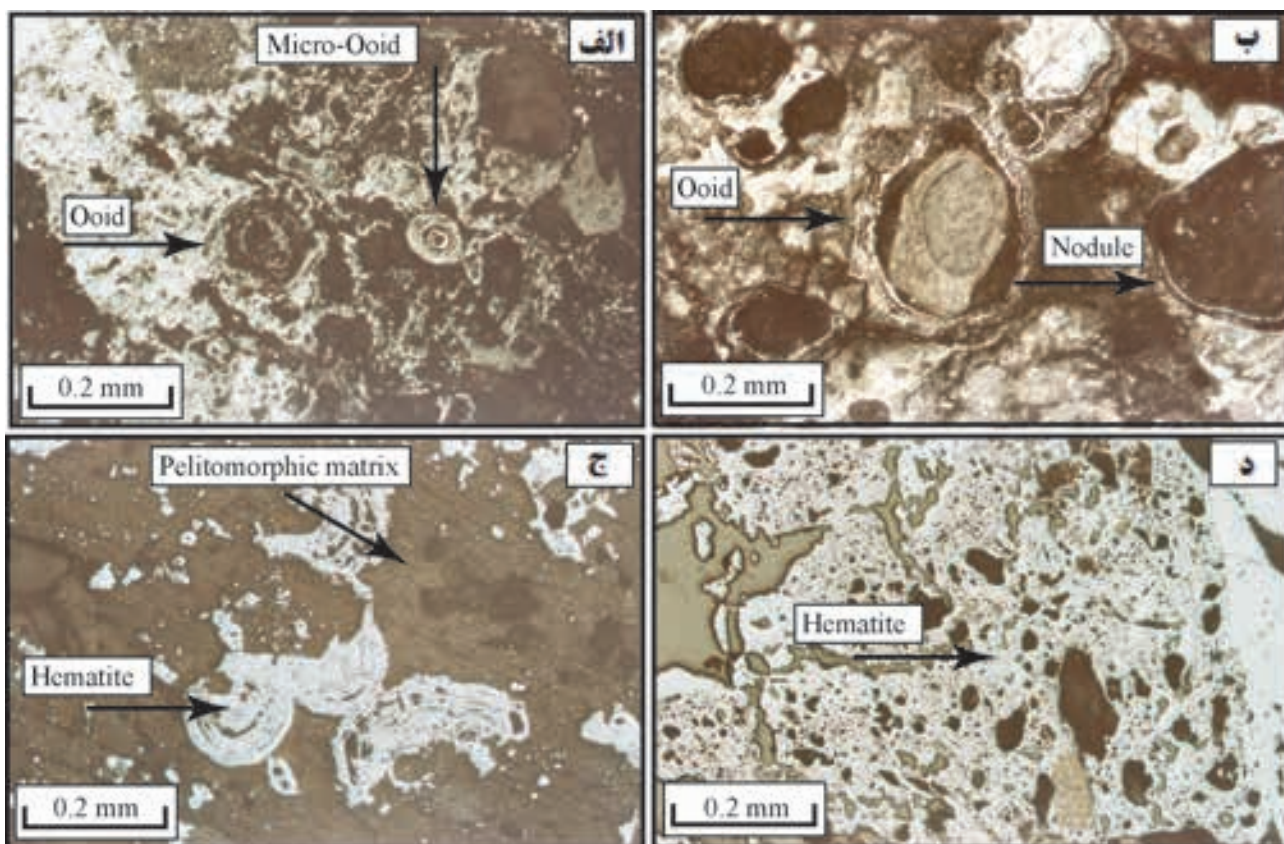
نظر هندسی، این افق بوکسیتی - لائیتی دارای روندی NW-SE است و ضخامتی متغیر از ۸ الی ۱۶ متر دارد. جا به جایی این افق توسط گسل‌های امتدادی، تغییر شدید شیب از ۳۰ تا ۸۵° وجود مرزهای کاملاً مشخص بین افق هوازده با سنگ‌های کربناتی کمر بالا و پایین و برونزدی از سنگ‌های بازالتی در همبری این افق

جدول ۱- نتایج تجزیه‌های شیمیایی با استفاده از روش‌های XRF برای عناصر اصلی، فرعی و جزئی و NAA برای عناصر خاکی کمیاب در کانسنگ‌های بوکسیتی - لائیتی جوانمرد.

	JV-0	JV-1	JV-2	JV-3	JV-4	JV-5	JV-6	JV-7	JV-8	JV-9	JV-10
SiO ₂ %	55.85	14.82	14.92	14.65	10.16	16.3	20.16	23.15	24.16	32.25	33.39
Al ₂ O ₃	13.78	22.95	24.9	25.37	26.05	25.5	25.8	48.49	47.11	38.81	39.66
Fe ₂ O ₃	9.24	51.86	49.13	47.7	47.95	43.35	36.4	6.07	5.89	7.74	9.32
CaO	6.97	0.23	0.24	0.23	0.38	0.13	1.83	0.24	0.27	0.29	0.76
Na ₂ O	3.63	0.56	0.5	0.41	0.08	0.02	0.27	0.13	0.16	0.21	0.22
MgO	4.34	0.34	0.63	0.93	0.85	0.11	0.12	0.47	0.43	0.11	0.21
K ₂ O	0.93	0.58	0.11	0.03	0.11	0.17	0.78	1.59	1.63	3.78	1.83
TiO ₂	1.7	2.57	2.32	2.16	3.92	4.23	4.73	7.03	8.01	4.76	4.55
MnO	0.33	0.14	0.12	0.10	0.09	0.03	0.01	0.02	0.01	0.02	0.03
P ₂ O ₅	0.89	0.14	0.12	0.1	0.09	0.09	0.07	0.06	0.07	0.05	0.09
L.O.I	2.23	6.4	7.26	8.82	10.21	10.1	9.59	12.67	12.11	11.59	10.7
Sum	99.89	100.59	100.25	100.5	99.89	100.03	99.76	99.92	99.85	99.61	100.76
U ppm	2	1	3	9	4	3	3	5	4	4	8
Ba	444	688	601	501	476	410	401	476	360	311	360
Th	9	24	22	15	14	12	11	9	10	11	10
Co	12	41	69	102	98	94	88	17	16	9	10
Cr	51	988	991	1001	946	388	451	416	312	380	170
Ni	32	288	191	166	130	130	140	99	102	109	111
Rb	11	10	9	6	7	6	6	23	29	38	49
V	107	966	811	961	1007	652	701	693	786	569	360
Y	27	41	48	47	46	44	49	51	59	48	46
Zr	228	421	421	340	355	375	389	612	655	402	403
Nb	32	43	47	44	52	56	55	76	83	53	49
Sr	310	170	163	152	96	187	116	41	49	214	266
La	33	117	104	87	91	90	88	29	27	24	31
Ce	41	395	383	294	226	213	201	36	37	38	40
Nd	32	86	77	64	52	46	50	24	21	23	28
Sm	6.8	28	25	20.7	15.66	15.12	14.96	7.02	7.2	4.99	5.53
Eu	1.65	8.53	7.96	6.79	5.67	5.11	4.74	1.12	1.03	0.6	0.68
Tb	0.91	0.71	0.74	0.73	0.88	0.86	0.86	0.84	0.85	0.58	0.61
Ho	1.1	0.76	0.77	0.8	0.76	0.89	0.85	0.86	1.03	0.79	0.84
Tm	0.56	0.33	0.33	0.35	0.31	0.31	0.32	0.39	0.36	0.3	0.33
Yb	2.76	1.26	1.31	1.37	1.56	1.66	1.71	1.78	1.8	1.96	1.97
Lu	0.41	0.06	0.06	0.08	0.19	0.21	0.24	0.24	0.25	0.39	0.41



شکل ۲- افق بوکسیتی - لاتریتی منطقه جوانمرد واقع در مرز بین سازندهای کربناتی روته و الیکا.

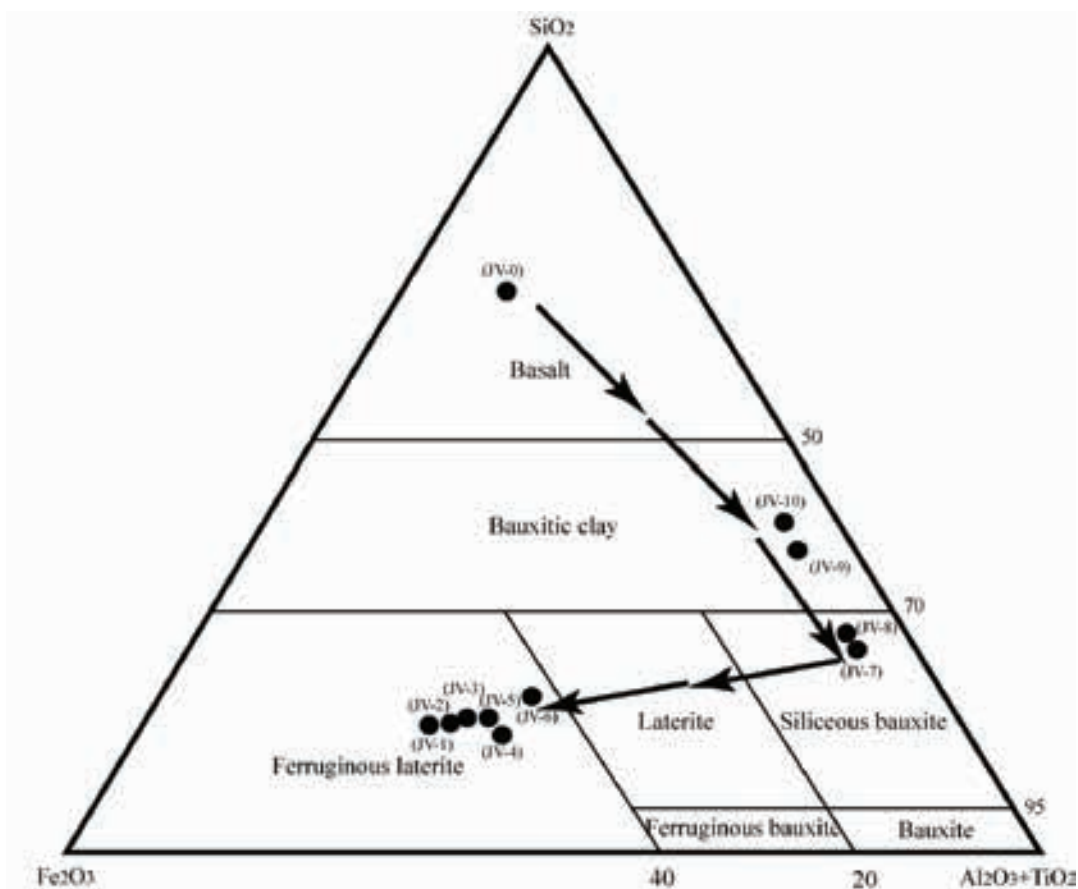


شکل ۳- تصاویر میکروسکوپی از کانسنگ‌های بوکسیتی - لاتریتی. الف) توزیع ائوئید و میکرو- ائوئید در کانسنگ‌ها. ب) قرارگیری ائوئیدها و گرهک‌ها در کانسنگ‌های مورد مطالعه. ج) بافت کلومورفیک- فلوئیدال و د) بافت برشی دروغین. همه تصاویر در نور انعکاسی و به صورت XPL گرفته شده‌اند

در زمینه کانسنگ‌ها نشان می‌دهند. تنها بافت‌های قابل تشخیص در این کانسنگ‌ها بافت‌های جریانی - کلوفرمی (شکل ۳-ج) و برشی دروغین (شکل ۳-د) هستند که به ترتیب نشان دهنده جابجایی کلویید در طی عملکرد فرایندهای دیاژنزی، و عملکرد فشارهای دینامیکی، آبدی کلویید و تبلور دوباره در طی فرایندهای هوازدگی هستند (Bardossy, 1982). با توجه به حضور و توسعه سنگال‌هایی چون گرهک‌ها و در مقادیر کمتر ائوئیدها، تغییرات آب و هوایی در طی تشکیل این افق، ممکن است در دو مرحله مختلف روی داده است: (۱) دوره نسبتاً دراز مدت با آب و هوای استوایی غالباً مرطوب و (۲) تناوب کوتاه مدت آب و هوای خشک و مرطوب (Mongelli, 2002).

مطالعات بافتی

بررسی‌های میکروسکوپی نشان می‌دهد که واحدهای بافت‌ساز در کانسنگ‌های مورد مطالعه شامل زمینه پلئومورفیک و ریز دانه هستند. واحدهای بافت‌ساز متمایز در این کانسنگ‌ها به ترتیب فراوانی شامل ائوئیدها (شکل ۳-الف)، میکرو - ائوئیدها (شکل ۳-الف) و گرهک‌ها (شکل ۳-ب) هستند. در مقاطع میکروسکوپی هماتیت تنها کانی قابل تشخیص در هسته میکرو - ائوئیدها و ائوئیدها است. واحدهای بافت‌ساز هم مرکز گاهی به دلیل تأثیر فشارهای زمین‌ساختی، پهن‌شدگی نشان می‌دهند. گرهک‌ها با اندازه‌های متغیر از ۰/۲ الی ۱۰ میلی‌متر، کم و بیش شکل کروی تا بیضوی دارند و گاهی جهت‌گیری‌های ضعیف را



شکل ۴- موقعیت کانسنگ‌های مورد مطالعه در نمودار سه متغیره $Al_2O_3-SiO_2-Fe_2O_3$ (Balsubramaniam et al., 1987).

pH محیط تشکیل و نقش آن در توزیع عناصر اصلی

ارزیابی تغییرات نسبت La/Y در عرض یک نیمرخ بوکسیتی - لاتریتی پارامتر بسیار مناسبی برای مشخص کردن محدوده تغییرات pH آن است. نسبت‌های $La/Y < 1$ و $La/Y > 1$ می‌تواند به ترتیب بیان کننده محیط تشکیل اسیدی و قلیایی باشد (Crinci and Jurkovic, 1990; Maksimovic and Panto, 1991; Laskou, 2005). بررسی نحوه تغییرات این نسبت در عرض نیمرخ مورد بررسی، نشان از نسبت < 1 در واحدهای سنگی رس بوکسیتی و بوکسیت سیلیسی و نسبت > 1 در واحد لاتریت آهن‌دار دارد (شکل ۵). بنابراین حاکم بودن شرایط اسیدی در تشکیل واحدهای

تیپ نیمرخ بوکسیتی - لاتریتی

در این مطالعه، با توجه به ریز بلور بودن کانی‌های سازنده کانسنگ‌ها، تعیین نوع کانی‌ها و در نتیجه برآورد مودال آنها امکان پذیر نیست و در نتیجه برای تعیین انواع واحدهای سنگی نیمرخ مورد مطالعه، از شیمی عناصر اصلی سازنده کانسنگ‌ها استفاده شده است. ترسیم اکسیدهای Al ، Fe و Si کانسنگ‌ها در نمودار سه متغیره $Al_2O_3-SiO_2-Fe_2O_3$ (Balsubramaniam et al., 1987) در نیمرخ انتخابی نشان می‌دهد که افق مورد مطالعه از ۳ واحد سنگی تشکیل شده است که به ترتیب از پایین به بالا عبارتند از: (۱) لاتریت آهن‌دار، (۲) بوکسیت سیلیسی و (۳) رس بوکسیتی (شکل ۴).

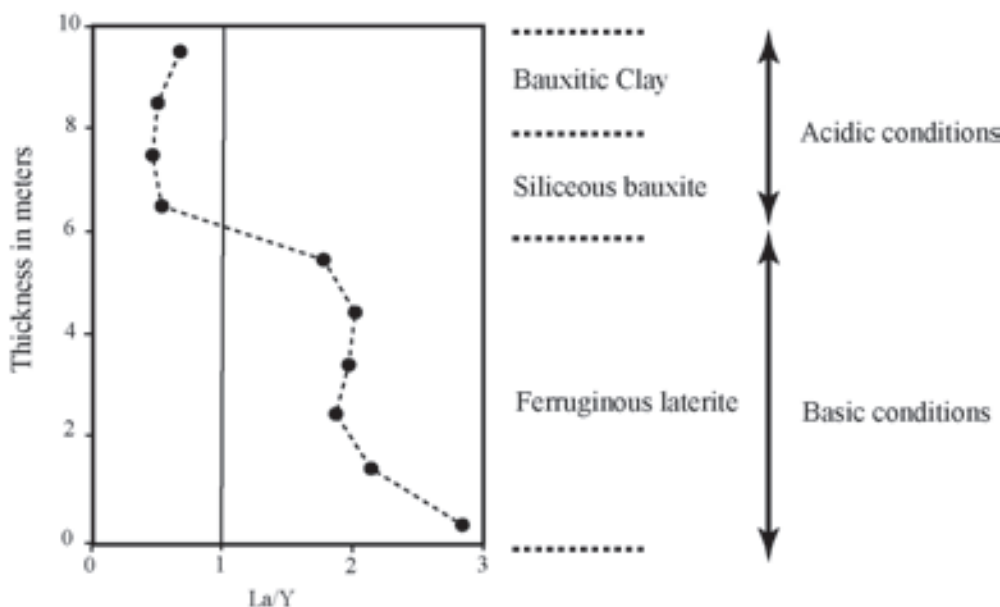
تغییرات عناصر در طی فرایند بوکسیتی شدن - لاتریتی شدن

با در نظر گرفتن منشاء برج‌آزاد افق هوازده و سنگ‌های بازالتی به عنوان سنگ مادر احتمالی (عابدینی و همکاران، ۱۳۸۷)، برای بررسی رفتار ژئوشیمیایی عناصر در طی فرایندهای هوازدگی از فرمول زیر (Malpas et al., 2001) استفاده شده است:

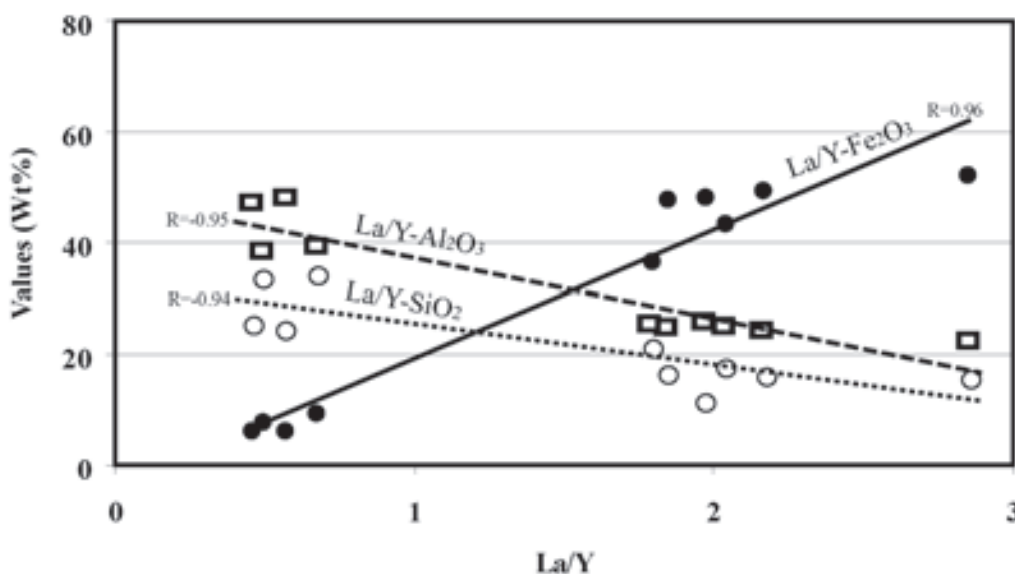
$$\%Change = [(X_{Ore} / X_{Basalt}) - 1] \times 100$$

نتایج به دست آمده نشان می‌دهند که فرایندهای هوازدگی در تشکیل این نیمرخ با شستشوی عناصر Si, Na, Mg, Mn, P, Ca, Sr, Hf و غنی‌شدگی عناصر Al, Ti, V, Cr, Ni, Y, Nb, HREE رخ داده است (شکل ۷).

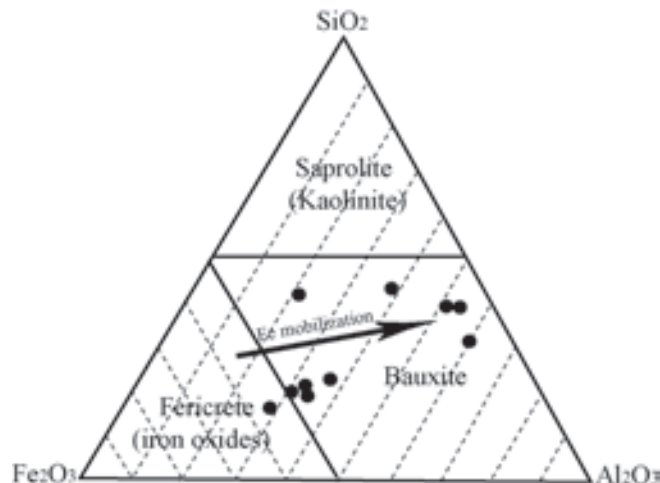
رس بوکسیتی و بوکسیت سیلیسی و شرایط به شدت قلیایی در تشکیل واحد لاتریت آهن‌دار محتمل است. رسیم نمودار دو متغیره La/Y در برابر Fe_2O_3 , Al_2O_3 و SiO_2 نشان می‌دهد که توزیع Fe در این نیمرخ با نسبت La/Y رابطه مستقیم و با توزیع Al و Si رابطه عکس دارد (شکل ۶). با توجه به این الگوی توزیع، به نظر می‌رسد که توزیع این عناصر رابطه مستقیم با تغییرات pH داشته باشد. همچنین رسیم SiO_2 و Fe_2O_3 , Al_2O_3 در نمودار سه متغیره Fe_2O_3 - Al_2O_3 - SiO_2 (Mutakyahwa et al., 2003) نشان می‌دهد که فرایند بوکسیتی شدن کانسنگ‌های لاتریتی جوانمرد از راه تحرک Fe رخ داده است (شکل ۷).



شکل ۵- نحوه تغییرات نسبت La/Y در عرض نیمرخ مورد مطالعه. تغییرات این نسبت به تشکیل رس بوکسیتی و بوکسیت سیلیسی در محیط اسیدی و لاتریت آهن‌دار در شرایط قلیایی دلالت دارند.



شکل ۶- الگوی تغییرات نسبت La/Y در برابر اکسیدهای اصلی تشکیل‌دهنده در کانسنگ‌های بوکسیتی - لاتریتی جوانمرد.



شکل ۷- نحوه توزیع کانسنگ‌های بوکسیتی - لاتریتی جوانمرد در نمودار سه متغیره Al_2O_3 - SiO_2 - Fe_2O_3 (Mutakyahwa et al., 2003).

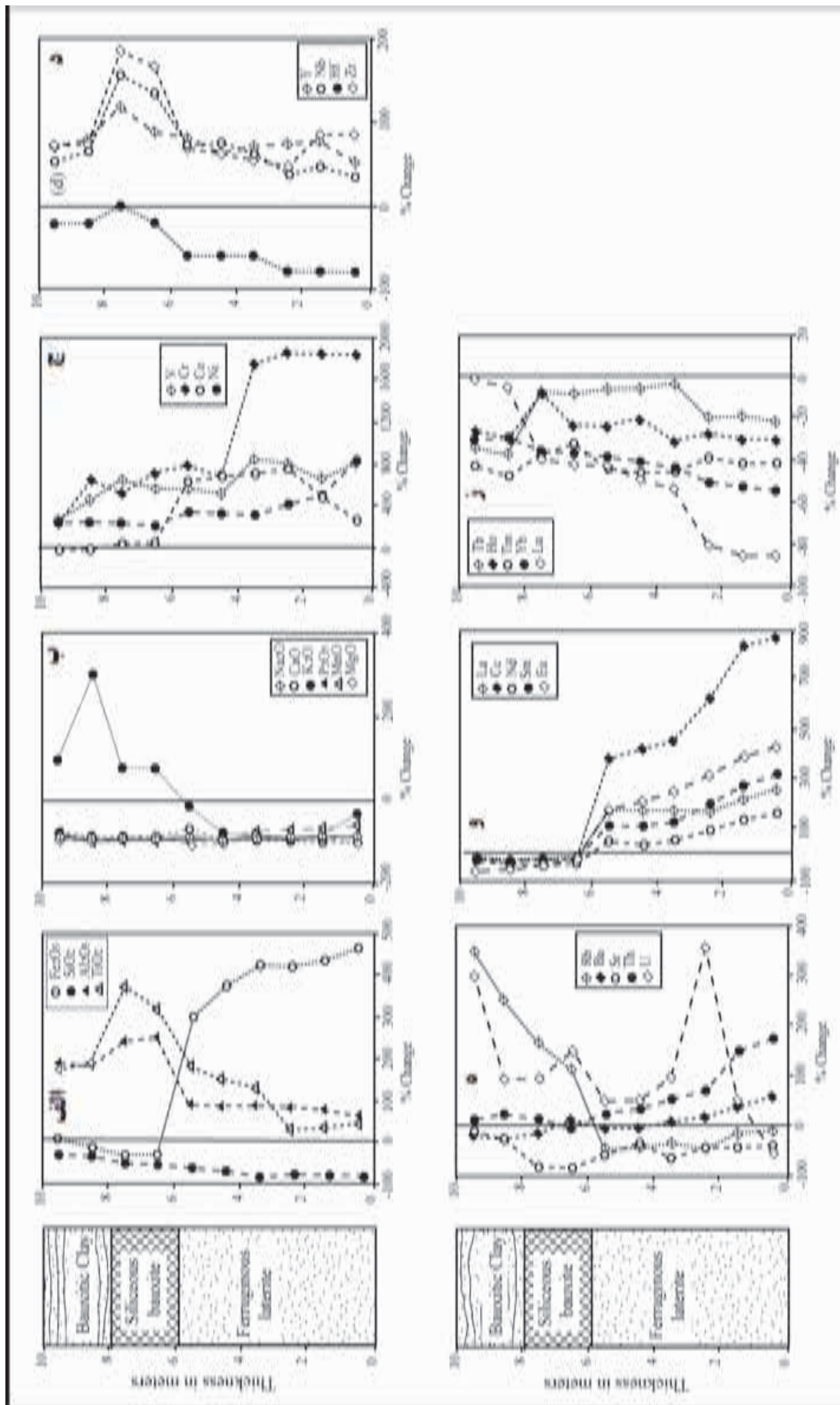
جدول ۲- الگوهای غنی‌شدگی - تهی‌شدگی عناصر اصلی، فرعی، جزئی و خاکی کمیاب در طی فرایندهای بوکسیتی - لاتریتی شدن.

Name of unit	Losses			Gains	
	High (70%-100%)	Average (40%-70%)	Low (0%-40%)	Low/Average (0%-100%)	High (100%<)
Bauxitic clay	P, Mn, Ca, Mg, Na	Si, Eu, Tm	Fe, Ba, Co, Sr, La, Ce, Nd, Sm, Tb, Ho, Yb, Lu	Th, Y, Zr, Nb	Ti, K, Al, U, Cr, Ni, Rb, V
Siliceous bauxite	P, Mn, Ca, Mg, Na, Sr	Si, Eu, Tm, Lu	Fe, Ba, La, Ce, Nd, Tb, Ho, Yb	K, Th, Co, Sm	Ti, Al, U, Cr, Ni, Rb, V, Y, Zr, Nb
Ferruginous laterite	P, Mn, Ca, Mg, Na	K, Sr, Tm, Yb, Lu	Si, Rb, Tb, Ho	Al, U, Ba, Th, Y, Zr, Nb, Nd	Ti, Fe, Co, Cr, Ni, V, La, Ce, Sm, Eu

و آزاد شدن عناصر مذکور به محلول‌های هوازده کننده صورت گرفته است. غنی‌شدگی K در دو واحد رس بوکسیتی و بوکسیت سیلیسی، احتمالاً توسط کائولینیت به دلیل ظرفیت تبادل کاتیونی بالای آن برای جذب یون‌های بزرگی مانند K صورت گرفته است (Mutakyahwa et al., 2003). K در طی شکل‌گیری واحد لاتریت آهن‌دار، سرنوشتی مانند Na و Ca داشته است. تهی‌شدگی Mn و Mg در نیمرخ هوازده (شکل ۸-ب) می‌تواند دلیلی بر شکسته شدن کانی‌های فرومنیزین و غنی‌بودن محلول‌های کانسنگ‌ساز از اسیدهای کربنیک و هومیک باشد (Karadag et al., 2009). تهی‌شدگی P در نیمرخ (شکل ۸-ب) نشان از تخریب آپاتیت‌های سنگ مادر در طی فرایندهای بوکسیتی شدن - لاتریتی شدن دارد. **عناصر جزئی:** شباهت نسبی در الگوی غنی‌شدگی Cr (شکل ۸-ج) با تغییرات Fe_2O_3 (شکل ۸-الف) و در مقادیر کم و بیش نامنظم با V, Co و Ni در نیمرخ، دلیلی بر تمرکز این عناصر جزئی توسط روبشگرهایی مانند هماتیت و گوتیت دارد (Laskou and Economou-Eliopoulos, 2007) (شکل ۸-ج).

و Zr, U، و شستشو - تثبیت عناصر Fe, K, Rb, Ba, Co و LREE همراه بوده است (جدول ۲).

عناصر اصلی و فرعی: غنی‌شدگی Al و Ti در طول نیمرخ هوازده، می‌تواند دلیلی بر تجمع بازماندی این عناصر باشد (شکل ۸-الف). در این افق، Al به دلیل عدم ظرفیت متغیر، به سختی تحت تأثیر محلول‌های هوازده کننده قرار گرفته (Nesbitt and Wilson, 1992) و Ti به دلیل قدرت میدان بالا (بار یونی / شعاع یونی) تحت تأثیر آب‌های سطحی حل نشده است (Etame et al., 2009). تهی‌شدگی Si از نیمرخ (شکل ۸a) احتمالاً در نتیجه کائولینیتی شدن فلدسپارها روی داده است (Karadag et al., 2009). تهی‌شدگی Fe در طی تشکیل واحدهای رس بوکسیتی و بوکسیت سیلیسی (شکل ۸-الف) از راه نفوذ محلول‌های هوازده کننده اسیدی و غنی‌شدگی آن در واحد لاتریت آهن‌دار از راه مصرف شدن H^+ محلول‌های هوازده‌دگی توسط سنگ بستر کربناتی رخ داده است. تهی‌شدگی عناصر Na و Ca (شکل ۸-ب) در نتیجه تخریب فلدسپارهای سنگ مادر



شکل ۸. الف) ستون چینه‌شناسی نیم‌رخ مورد مطالعه که در آن واحدهای سنگی بوکسیتی - لاتریتی مشخص شده‌اند. ب تا ز الگوی تغییرات جرم عناصر در طی فرایندهای بوکسیتی شدن - لاتریتی شدن.

شامل رس بوکسیتی، بوکسیت رسی و لاتریت آهن دار در افق مورد مطالعه دارند. بررسی های ژئوشیمیایی نشان می دهند که سنگ بستر کربناتی نقش دوگانه ای در توزیع عناصر در این افق داشته است. این سنگ به طور غیر مستقیم با خنثی سازی محلول های هوازده کننده و در نتیجه رسوب گذاری Fe به شکل کانی هماتیت و گوتیت، زمینه تمرکز عناصر Th, V, Cr, Ni, Co, LREEs را در بخش های زیرین افق فراهم کرده و از طرفی با تشکیل کمپلکس های یونی پایدار کربناتی با HREEs سبب خروج این عناصر از سامانه هوازده کننده شده است. همچنین این مطالعات نشان می دهند که تثبیت K, Rb و Ba توسط کانی های رسی به ویژه کائولینیت، U توسط کانی های رسی، هماتیت و گوتیت، و Y, Nb و Zr توسط کانی های روتیل، آناتاز و زیرکن صورت گرفته است.

منابع

- حسامی، ع.، ۱۳۷۰. بررسی های اکتشافی بوکسیت های شرق بوکان، پایان نامه کارشناسی ارشد گروه مهندسی معدن دانشگاه تهران، ۲۸۵.

- خواجه محمدلو، ن.، ۱۳۸۳. کانی شناسی، ژئوشیمی و ژنز نهشته های بوکسیتی جنوب استان آذربایجان غربی و تعیین کاربری آنها، رساله کارشناسی ارشد زمین شناسی اقتصادی دانشگاه شهید بهشتی، ۱۳۸.

- عابدینی، ع.، ۱۳۸۷. بررسی کانی شناسی، ژئوشیمی و ژنز نهشته های بوکسیتی - لاتریتی پرمین تا تریاس در شمال غرب ایران، پایان نامه دکتری گروه زمین شناسی دانشگاه تبریز، ۱۸۴.

- عابدینی، ع.، کلاگری، ع.ا.، حاج علیلو، ب. و جهانگیری، ا.، ۱۳۸۷. مطالعات کانی شناسی و ژئوشیمی عناصر خاکی کمیاب (REE) در نهشته بوکسیتی پرمو - تریاس شمال شرق بوکان، شمال غرب ایران، مجله بلورشناسی و کانی شناسی ایران، ۳، ۴۵۹-۴۷۲.

- Balsubramaniam, K.S., Surendra, M. and Kumar, T.V., 1987. Genesis of certain bauxite profiles from India. *Chemical Geology*, 60, 227-235.

- Bardossy, G., 1982. *Karst bauxites*. Elsevier Scientific, Amsterdam, 441.

- Crinci, J. and Jurkovic, I., 1990. Rare earth elements in Triassic bauxites of Croatia Yugoslavia. *Travaux*, 19, 239-248.

- Etame, J., Gerard, M., Bilong, P. and Suh, C.E., 2009. Behaviour of elements in soils developed from nephelinites at Mount Etinde (Cameroon): Impact of hydrothermal versus weathering processes. *Journal of African Earth Sciences*, 54, 37-45.

- Johannesson, K.H., Stetzenbach, K.J., Hodge, V.F. and Lyons, W.B., 1996. Rare earth element complexation be-

به نظر می رسد شدت جذب سطحی Ni و Co با افزایش pH (از واحد رس بوکسیتی به لاتریت آهن دار) شدیدتر شده است. این فرایند قبلاً توسط Sparks (1995) گزارش شده است. شباهت نسبتاً بالای بین الگوی غنی شدگی Y, Nb و Zr (شکل ۸-د) با الگوی غنی شدگی Ti (شکل ۸-الف) نشان دهنده تثبیت این عناصر جزئی توسط کانی های روتیل، آناتاز و زیرکن در نیمرخ هوازده است. Hf نیز به دلیل نبود یک روبشگر مناسب به طور بخشی از سامانه هوازده خارج شده است (شکل ۸-د). تهی شدگی Sr از نیمرخ هوازده، بیان کننده ورود بخشی این عنصر به محلول های هوازده کننده در طی دگرسانی فلدسپارهای سنگ های مادر است (شکل ۸-ه). شباهت نسبی نسبتاً بالای Th (شکل ۸-ه) با تغییرات Fe_2O_3 (شکل ۸-الف) نیز نشان دهنده تمرکز و تثبیت Th توسط کانی های هماتیت و گوتیت در این نیمرخ است (Ma et al., 2007). تهی شدگی Rb و Ba به ترتیب از واحدهای لاتریت آهن دار و رس بوکسیتی در اثر دگرسانی و هوازده فلدسپارهای سنگ مادر و غنی شدگی Rb در دو واحد رس بوکسیتی و بوکسیت سیلیسی و Ba در واحدهای بوکسیت سیلیسی و لاتریت آهن دار، از راه جذب سطحی این عناصر توسط کانی های رسی صورت گرفته است (Plank and Langmuir, 1988) (شکل ۸-ه). غنی شدگی U در نیمرخ مورد مطالعه احتمالاً از راه جذب سطحی توسط کانی های رسی در واحدهای رس بوکسیتی و بوکسیت رسی و کانی های آهن دار در واحد لاتریت آهن دار روی داده است (Taboada et al., 2006) (شکل ۸-ه).

عناصر کمیاب خاکی: شباهت نسبتاً بالای الگوی تهی شدگی غنی شدگی LREE ها با Fe_2O_3 (شکل ۸-و) نشان می دهد که pH مهم ترین عامل کنترل کننده توزیع LREE ها در این نیمرخ بوده است. به نظر می رسد

محلول های فرورو اسیدی سبب شستشوی LREE ها از واحدهای رس بوکسیتی و بوکسیت سیلیسی و تمرکز آنها توسط کانی های هماتیت و گوتیت را در طی شکل گیری واحد لاتریت آهن دار شده اند. در مورد HREE ها به نظر می رسد ماهیت pH پایین محلول های هوازده کننده فرورو سبب شستشوی آنها از واحد بالایی شده و چیزی که باعث شستشوی HREE ها از واحد زیرین (لاتریت آهن دار) شده است، تشکیل کمپلکس های پایدار کربناتی - HREEs از راه بافری شدن محلول های هوازده کننده توسط سنگ بستر کربناتی بوده است (Johannesson et al., 1996) (شکل ۸-ز).

نتیجه گیری

افق بوکسیتی - لاتریتی جوانمرد، در شمال خاور بوکان واقع است و به شکل چینه سان در مرز بین سازندهای روته و الیکا قرار دارد. مطالعات میکروسکوپی نشان می دهند که تغییرات آب و هوایی در دو مرحله مختلف به ترتیب، (۱) دوره نسبتاً دراز مدت با آب و هوای استوایی غالباً مرطوب و (۲) تناوب کوتاه مدت آب و هوای خشک و مرطوب، در تشکیل این افق رخ داده اند. شیمی عناصر اصلی نشان از حضور سه واحد بازماندی مختلف

havior in circum central pH groundwaters: assessing the role of carbonate and phosphate ions. *Earth and Planetary Science Letters*, 139, 305-319.

- Karadag, M., Kupeli, S., Arik, F., Ayhan, A., Zedef, V. and 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., 2005. Pyrite-rich bauxites from the Parnassos-Ghiona zone, Greece. In: Mao, et al. (Eds.), 8th SGA Meeting, "Mineral Deposits Research Meeting the Global Challenge" Beijing, August, 18-21, 1007-1010.

- Laskou, M. and Economou-Eliopoulos, M., 2007. The role of micro-organisms 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 redistribution of major and trace elements during extreme weathering of basalt in Hainan Island, South China. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 71, 3223-3237.

- Maksimovic, Z. and Panto, G.Y., 1991. Contribution to the geochemistry of the rare earth elements in the karst-bauxite deposits of Yugoslavia and Greece. *Geoderma*, 51,

93-109.

- Malpas J., Duzgoren-Aydin N.S. and Aydin A., 2001. Behaviour of chemical elements during weathering of pyroclastic rocks, Hong Kong. *Environment International*, 26, 359-368.

- Mongelli, G., 2002. Growth of hematite and boehmite in concretions from ancient karst bauxite: Clue for past climate. *Catena*, 50, 43-51.

- Mutakyahwa, M.K.D., Ikingura, J.R. and Mruma, A.H., 2003. Geology and geochemistry of bauxite deposits in Lushoto District, Usambara Mountains, Tanzania. *Journal of African Earth Sciences*, 36, 357-369.

- Nesbitt, H.W. and Wilson, R.E., 1992. Recent chemical weathering of basalts. *American Journal of Earth Science*, 292, 740-777.

- Plank, T. and Langmuir, C.H., 1988. The chemical composition of subducting sediments and its consequences for the crust and mantle. *Chemical Geology*, 145, 325-394.

- Sparks, D.L., 1995. *Environmental Soil Chemistry*. Academic Press, New York, 267.

- Taboada, T., Cortizas, A. M., Garcia, C. and Garcia-Rodeja, E., 2006. U and Th in weathering and pedogenetic profiles developed on granitic rocks from NW Spain. *Science of the Total Environment*, 356, 192-206.