

کانی‌شناسی، زمین‌شیمی و تعیین خاستگاه متابوکسیت‌های غنی از کربندوم-آزمیت کانسار لاوند، محلات، ایران مرکزی

نازنین برزگر^{۱*}، عباس ذوالفقاری^۱، محمد جبارناصر^۲، محمد مهری^۲

۱- گروه زمین‌شناسی اقتصادی، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

۲- شرکت ماگما معدن آریا، شیراز، ایران

(دریافت مقاله: ۱۴۰۴/۳/۲۸، نسخه نهایی: ۱۴۰۴/۶/۲۶)

چکیده: کانسار بوکسیت لاوند در ۱۱ کیلومتری غرب شهرستان محلات، در بخش شمالی ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ محلات واقع است؛ این کانسار از نظر ساختاری، بخشی از پهنه ایران مرکزی و از دگرگونی‌های پرکامبرین گلپایگان محسوب می‌شود. دو پهنه اصلی بوکسیتی-لاتریتی منطقه به سن پرمین به صورت میان‌لایه، در مرز بین واحدهای ماسه‌سنگ آרקوزی میکادار و آهک مرمریتی شده زرد رنگ قرار دارد. این کانسار تنوع کانی‌شناسی گسترده‌ای دارد که شامل اکسیدها و هیدروکسیدهای آلومینیم و آهن، سیلیکات‌ها، اکسیدهای تیتانیم و کربنات‌هاست؛ کربندوم و آزمیت، کانی‌های اصلی سازنده این افق‌ها هستند. بافت‌های شاخص این نمونه‌ها اولیتی-پیزولیتی، اولیتی-کره سان و اولیتی-اسپاستولیتی هستند. بوکسیت‌های منطقه لاوند دارای ۴۸-۵۶ درصد Al_2O_3 ، ۳ تا ۲۵ درصد Fe_2O_3 ، ۴ تا ۱۸ درصد SiO_2 و ۱ تا ۶ درصد TiO_2 هستند. نمودار $Al_2O_3-Fe_2O_3-SiO_2$ نشان می‌دهد که بیشتر نمونه‌های مورد بررسی منطقه لاوند در گستره بوکسیت و بوکسیت آهن‌دار قرار دارند؛ این نمونه‌ها غنی از Al_2O_3 هستند و طی فرایند شدید لاتریتی شدن تشکیل شده‌اند. براساس بررسی‌های انجام شده، بازالت‌ها و دایک‌های دایابازی پرمین را می‌توان به عنوان سنگ خاستگاه متابوکسیت‌های لاوند در نظر گرفت. با توجه به نمودار Eh-pH محیط‌های اتمسفری طبیعی و محیط پایداری کانی‌ها، در طی فرایند لاتریتی شدن، شرایط اکسیدان به طور مقطعی به شرایط احیایی تغییر پیدا کرده است. همچنین تنوع کانی‌شناسی در منطقه، موید چند فاز کاهشی و اکسایشی محیط طی فرایند تکامل کانسار لاوند است. هوازگی سنگ خاستگاه و اثر فرایندهای بوکسیت‌زا نیز باعث شستشوی عناصر قلیایی و قلیایی خاکی از محیط و تشکیل بوکسیت شده است؛ طی فرایندهای بعدی درونزایی و دگرگونی، کربندوم تشکیل شده است.

واژه‌های کلیدی: کانسار لاوند؛ متابوکسیت؛ کربندوم؛ آزمیت؛ دگرگونی.

مقدمه

ویژگی‌های زمین‌شناسی و زمین‌شیمیایی بیشتر بوکسیت‌های دگرگون شده و دگرگون نشده، سیر تکاملی از پرموتریاس تا کرتاسه پسین (سنومانین-تورونین) را در طول کمربند کوهزایی آلپ-همپالیا نشان می‌دهد. این رخدادها و الگوهای توزیع این سنگ‌ها با دگرگونی حوزه اقیانوسی تتیس ارتباط نزدیکی دارد

بوکسیت‌های کارستی و معادل‌های دگرگون شده آن (متابوکسیت‌ها/امری‌ها) نقش مهمی در شناسایی جایگاه زمین‌ساختی و همچنین تفسیر تاریخچه ساختاری-دگرگونی یک منطقه، بر اساس بررسی‌های زمین‌شیمیایی دارند [۱].

*نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۳۸۱۸۳۲۹۲۳، پست الکترونیکی: geo.barzegar@gmail.com



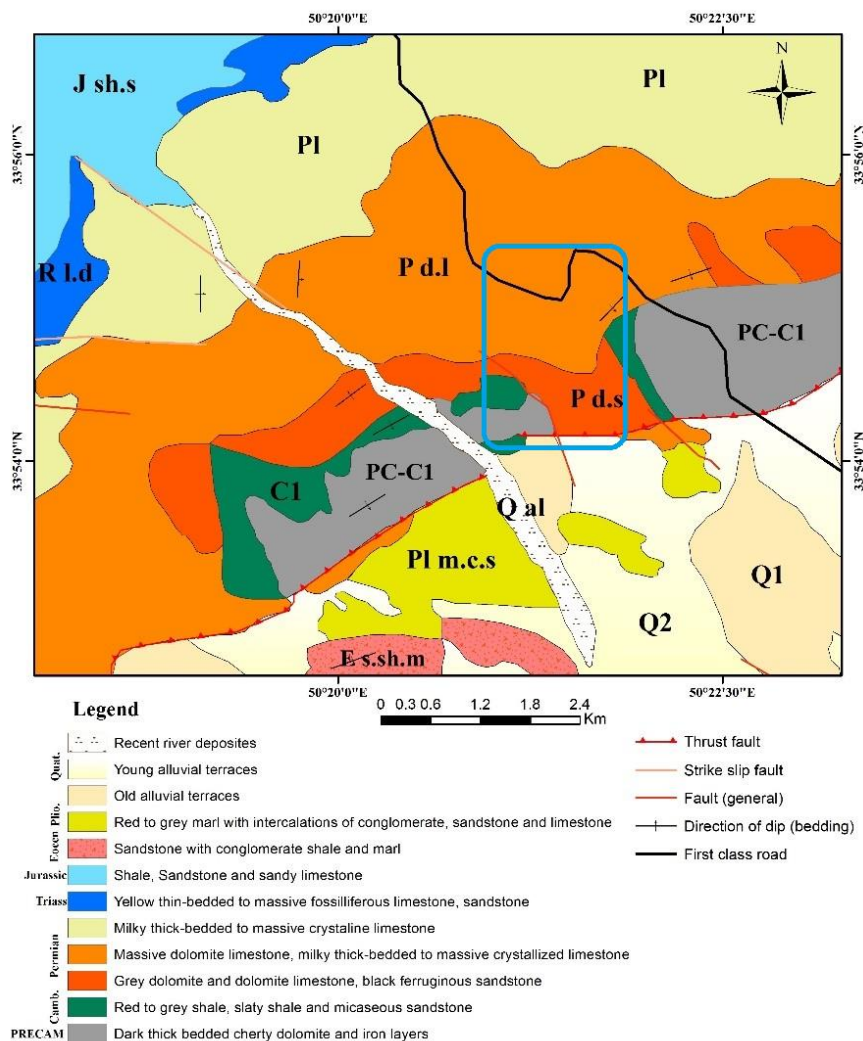
توجهی کانی‌های کربنوم و آمزیت معرفی شده است.

روش بررسی

پژوهش انجام شده، شامل دو بخش صحرایی و آزمایشگاهی است. در بخش صحرایی، پیمایش‌هایی عمود بر راستای گسترش مرز واحدهای زمین‌شناسی مستعد برای کانه‌زایی بوکسیت-لاتریت انجام شد. طی این پیمایش، ۲۰ نمونه از کانسنگ اصلی و سنگ بستر برای تهیه مقطع نازک-صیقلی و همچنین ۱۵ نمونه برای تعیین اکسیدهای اصلی و تجزیه زمین‌شیمیایی برداشت و به آزمایشگاه مرکز تحقیقات فرآوری مواد معدنی ایران ارسال شد. همچنین برای تعیین دقیق فازهای کانیایی منطقه، ۸ نمونه انتخاب و برای پراش پرتو ایکس (XRD) با دستگاه فیلیپس مدل PW1800 به آزمایشگاه کانساران بینالود تهران ارسال گردید.

[۱]. بوکسیت‌های کارستی و متابوکسیت‌های حوزه شرقی مدیترانه بیشتر در سنگ‌های صفحه‌ای ضخیم‌لایه از پرموتریاس تا کرتاسه در برگرفته شده‌اند. از این میان، متابوکسیت‌های غنی از کربنوم در سراسر جهان بسیار کمیاب هستند و اغلب در مجموعه‌های دگرگونی رخ می‌دهند؛ کانسار بوکسیت لاوند در این دسته از بوکسیت‌ها قرار می‌گیرد. کانسار بوکسیت لاوند با مختصات $50^{\circ} 19' 00''$ و $50^{\circ} 22' 00''$ طول شرقی تا $53' 00''$ و 33° و $33^{\circ} 56' 00''$ عرض شمالی، در ۱۱ کیلومتری غرب شهرستان محلات-استان مرکزی و در بخش شمالی ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ محلات واقع است (شکل ۱).

در این پژوهش، کانی‌شناسی، زمین‌شیمی و خاستگاه احتمالی کانسار بوکسیت لاوند بررسی شده که به عنوان یک افق دگرگون شده (متابوکسیت- لاتریت) دارای مقادیر قابل



شکل ۱ نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد بررسی (برگرفته از نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ محلات [۲]).

زمین‌شناسی

کانسار لاوند از نظر ساختاری، بخشی از پهنه ایران مرکزی و از دگرگونی‌های پرکامبرین گلپایگان محسوب می‌شود. واحدهای اصلی منطقه شامل واحدهای رسوبی به سن پرکامبرین پسین-پالئوزوئیک هستند. این واحدها از قدیم به جدید شامل: سازند سلطانیه، لالون-زاگون و نهشته‌های پرمین هستند (شکل‌های ۲ الف و ب). نهشته‌های پرمین گسترش زیادی دارند و بیشتر از لایه‌های ضخیم سنگ آهک و دولومیت دگرگون شده معادل سازند روته، ماسه‌سنگ، شیل و آتشفشانی‌های دایابازی تشکیل شده‌اند.

افق بوکسیتی-لاتریتی منطقه به سن پرمین به صورت میان لایه، در مرز بین واحدهای ماسه سنگ آرکوزی میکادار و شیل-دولومیت دگرگون شده در بالا و آهک مرمیتی شده زرد

رنگ در پایین در بر گرفته شده است (شکل ۲ الف). این بخش بوکسیت‌دار به صورت نواری و عدسی‌های گسسته با تغییر ضخامت بارزی دیده می‌گردد (شکل ۲ پ). در دو بخش این میان لایه‌ها و بخش نواری بوکسیت‌دار، دو گسل بزرگ اثر نموده و باعث بروز بخش‌های بوکسیت-لاتریت‌دار روی بخش نعل اسبی گردنه شده است (شکل ۲ ت). ویژگی مهم این دو پهنه کانه‌زایی، تعدد گسل خوردگی‌هاست؛ در واقع این دو پهنه به صورت دو نوار با راستای شمال شرق - جنوب غرب در دو بخش در اثر گسل خوردگی‌ها و ورود سیال‌های احتمالی در سنگ‌های خاستگاه ماسه سنگ آرکوزی میکادار و شیل‌ها، شرایط کانه‌زایی را فراهم کرده‌اند. شکل ۳ موقعیت این دو پهنه را در منطقه نشان می‌دهد.



شکل ۲ الف، ب) سنگ‌شناسی‌های اصلی منطقه به همراه عدسی‌های بوکسیتی (پ) ساختارهای گسسته تشکیل شده در اثر فرایند دگرگونی در عدسی‌های بوکسیتی در تماس با سنگ‌های آهکی منطقه (ت) عدسی بوکسیتی روبه‌برداری شده و راستای شیب لایه‌ها و همچنین جابجایی عدسی‌ها توسط گسل‌ها و مقادیر جابجایی.

سنگ‌شناسی

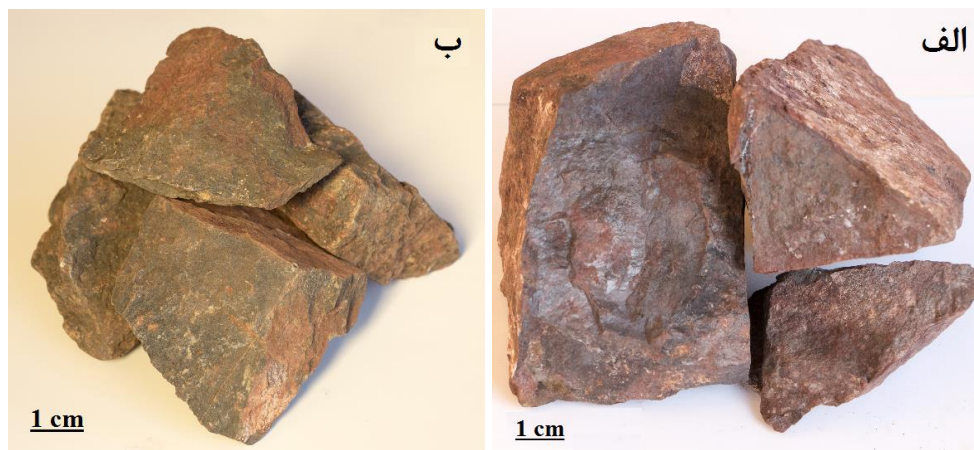
برای شناسایی دقیق ترکیب کانی‌شناسی افق بوکسیتی-لاتریتی کانسار لاوند، ۸ نمونه به روش XRD بررسی شدند. بر این اساس، کانسار لاوند تنوع کانی‌شناسی گسترده‌ای دارد که شامل اکسیدها و هیدروکسیدهای آلومینیم و آهن (کرنندوم، دیاسپور، هماتیت، مگنتیت و گوتیت)، سیلیکات‌ها (آمزیت، منیزیم کلریتوئید، مارگاریت، مسکوویت، ایلیت و کلریت)، اکسیدهای تیتانیم (ایلمنیت و روتیل) و کربنات‌ها (کلسیت) است؛ کرنندوم و آمزیت، کانی‌های اصلی سازنده این افق‌ها هستند (شکل ۴). برای نمونه دو طیف XRD در شکل‌های ۵ و ۶ آورده شده‌اند. براساس این آنالیز، در نمونه‌های غنی از کرنندوم تا ۳۸ درصد کرنندوم و نمونه‌های غنی از آمزیت تا ۴۰ درصد آمزیت موجود می‌باشد.

در پهنه ۱ در قاعده ماسه‌سنگ‌های میکادار، در برخوردگاه با آهک‌های زرد نخودی، عدسی‌های بوکسیتی تشکیل شده‌اند که توسط یک گسل معکوس با مولفه راستگرد جابجا گردیده‌اند. اثر سیال‌های ورودی با وجود دگرسانی سطوح بالایی این سنگ‌ها مشخص شده است. در واقع گسل موجود در این پهنه، عدسی بوکسیتی تشکیل شده را به دو بخش تبدیل کرده است. از سویی، عملکرد این گسل باعث شده است که بخشی از این عدسی نزدیک به سطح رخنمون یافته ولی بخش دوم در عمق پایین تر قرار گیرد (شکل ۳).

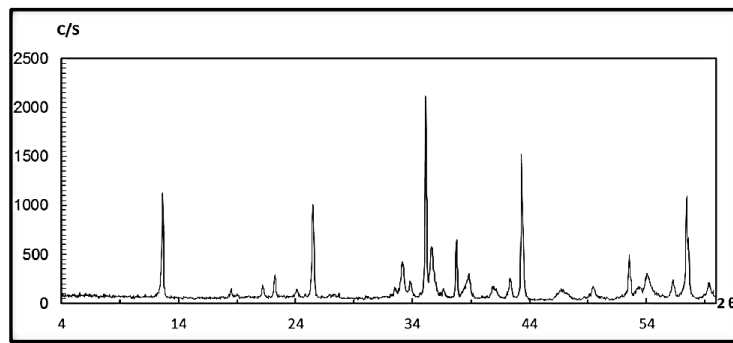
در پهنه ۲ نیز تمرکز گسل‌های متعدد در یک نقطه و نزدیک به راس باعث تشکیل عدسی‌های بوکسیتی شده است. در واقع در این گستره، دو عدسی اصلی بوکسیت در پهنه‌های کانه‌دار تشکیل شده‌اند که با فاصله گرفتن از پهنه‌های گسل خورده، این عدسی‌ها محو می‌شوند.



شکل ۳ دو پهنه اصلی کانه‌دار و دارای عدسی‌های قابل توجه بوکسیتی در منطقه.

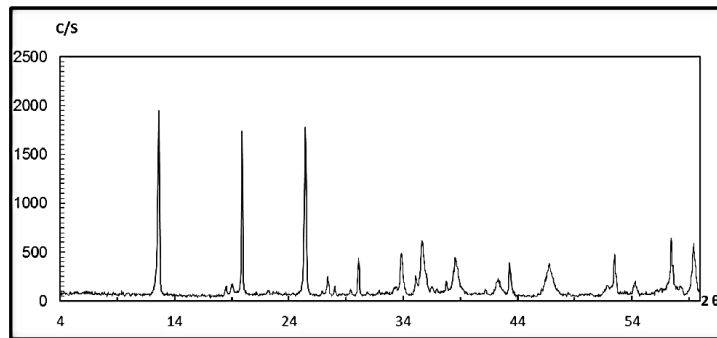


شکل ۴ نمونه‌های دستی از بوکسیت غنی از کرنندوم (الف) و غنی از آمزیت (ب).



Sample:	96MB/383	Phase(s)	Corundum (43-1484) = 38%	Phase(s)	Ilmenite (29-0733) = 7%	Phase(s)	Goethite (29-0713) = 10%
Az:	68970	Phase(s)	Al ₂ O ₃	Phase(s)	FeTiO ₃	Phase(s)	FeO(OH)
Date :	10/7/2017	Phase(s)	Hematite (33-0664) = 13%	Phase(s)	Magnesiochloritoid (44-1427) = 2%		
kV =	40	Phase(s)	Fe ₂ O ₃	Phase(s)	(Mg,Fe)Al ₂ SiO ₅ (OH) ₂		
mA =	30	Phase(s)	Amesite (37-0429) = 16%	Phase(s)	Magnesiochromite (10-0351) = 1%		
Ka. =	Cu	Phase(s)	(Mg,Fe) ₂ Al(Si,Al) ₂ O ₅ (OH) ₄	Phase(s)	MgCr ₂ O ₄		
Fil. =	Ni	Phase(s)	Magnetite (19-0629) = 2%	Phase(s)	Diaspore (05-0355) = 8%		
		Phase(s)	FeFe ₂ O ₄	Phase(s)	AlO(OH)		

شکل ۵ نتایج پراش پرتو ایکس (XRD) نمونه غنی از کوندوم.



Sample:	96MB/382	Phase(s)	Amesite (37-0429) = 40%	Phase(s)	Rutile (21-1276) = 5%	Phase(s)	Calcite (05-0586) = 1%
Az:	68969	Phase(s)	(Mg,Fe) ₂ Al(Si,Al) ₂ O ₅ (OH) ₄	Phase(s)	TiO ₂	Phase(s)	CaCO ₃
Date :	10/7/2017	Phase(s)	Magnesiochloritoid (44-1427) = 29%	Phase(s)	Diaspore (05-0355) = 3%		
kV =	40	Phase(s)	(Mg,Fe)Al ₂ SiO ₅ (OH) ₂	Phase(s)	AlO(OH)		
mA =	30	Phase(s)	Corundum (43-1484) = 13%	Phase(s)	Magnesiochromite (10-0351) = 1%		
Ka. =	Cu	Phase(s)	Al ₂ O ₃	Phase(s)	MgCr ₂ O ₄		
Fil. =	Ni	Phase(s)	Margarite (18-0276) = 4%	Phase(s)	Chlorite (29-0701) = 2%		
		Phase(s)	CaAl ₂ (Si ₂ Al ₂)O ₁₀ (OH) ₂	Phase(s)	(Mg,Fe) ₆ (Si,Al) ₄ O ₁₀ (OH) ₈		

شکل ۶ نتایج پراش پرتو ایکس (XRD) نمونه غنی از آمزیت

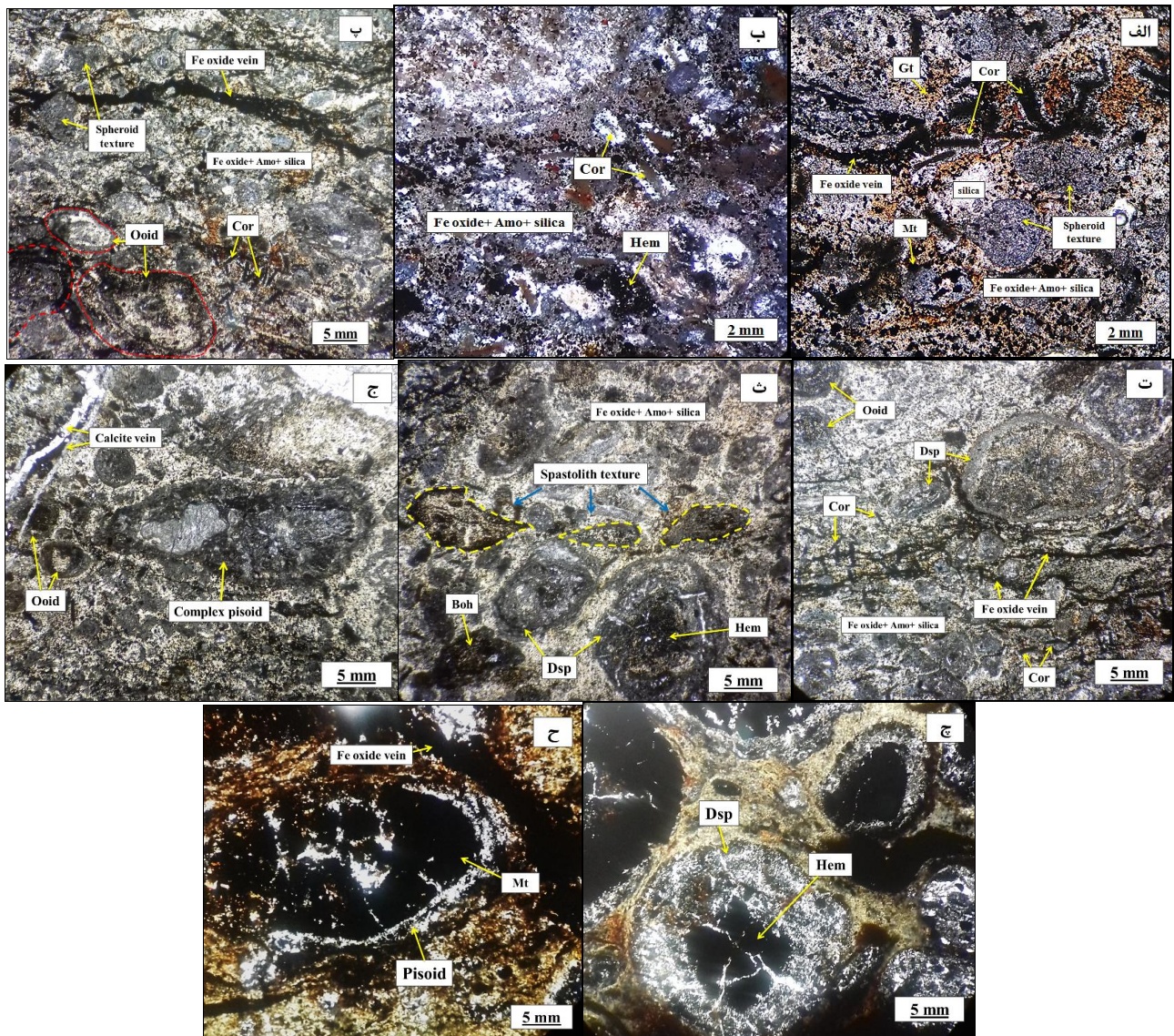
پراکنده بوده و شامل قطعه‌های پیژوئید و اوئید دیاسپوری است (شکل‌های ۷ پ، ت). اندازه این قطعه‌ها از ۰/۱ تا ۲/۵ میلی‌متر (با فراوانی در ۱ میلی‌متر) است که برخی از آنها در اثر تنش و فشردگی پس از تشکیل، دستخوش دگرشکلی شده‌اند. بیشتر پیژوئیدها ساده هستند و گاهی ساختار پیچیده-ای دارند (شکل ۷ ث) و اغلب ساختار درونی خود را از دست داده‌اند و بافت کره سان از خود نشان می‌دهند. بافت‌های شاخص این نمونه‌ها، شامل بافت اولیتی- پیژولیتی، اولیتی- کره سان و اولیتی- اسپاستولیتی هستند (شکل ۷ ج). اوئیدها و پیژوئیدهایی که در مرحله کلوئیدی بر اثر عملکرد نیروهای فشارشی و وزن طبقه‌ها دچار تغییر شکل برگشت ناپذیر شده و

کوندوم موجود در بوکسیت‌ها بیشتر خاستگاه اولیه ندارد و طی فرایندهای ثانویه چون درونزایی و دگرگونی‌های بعدی تشکیل می‌شود [۳]. در نمونه‌های میکروسکوپی منطقه نیز بلورهای ریزی از کانی کوندوم دیده می‌شود که به احتمال بسیار ناشی از دگرگون شدن بوکسیت در منطقه است. این کوندوم‌ها بیشتر به همراه دیاسپور و هماتیت در یک زمینه آمزیتی- اکسیدآهنی پراکنده هستند. کانی‌های فرعی بیشتر شامل کلسیت، مگنتیت‌های ریزبلور و کانی‌های رسی هستند (شکل‌های ۷ الف، ب).

مهم‌ترین کانی سیلیکاتی همراه بوکسیت در منطقه، کانی آمزیت است. در بررسی‌های سنگ نگاری، توزیع کانی‌ها بیشتر

به شکل‌های بیضوی و کشیده در می‌آیند، اسپاستولیت نامیده می‌شوند [۴].
 به طور کلی بافت‌های اولیتی، پیزوئیدی و اسپاستولیتی موجود در یک منطقه بیانگر خاستگاه درونزاد و از شواهد برجایزاد بودن کانسار هستند [۳، ۵]. که در منطقه لاوند این بافت‌ها بسیار دیده می‌شوند.
 گاهی شکستگی‌های شعاعی-انقباضی درون پیزولیت‌ها دیده می‌شود که خاستگاه این درزه‌ها مربوط به فرایندهای

خشک‌شدن ژل‌های اولیه است (شکل‌های ۷ چ، ح). همچنین در این نمونه‌ها، رگه‌های ثانویه‌ای از کلسیت و اکسید آهن نیز دیده می‌شود (شکل‌های ۷ پ، ث).
 با توجه به گسترش بسیار کانی‌های دیاسپور و کاردوم که در نتیجه تغییرساختار بلوری طی درونزایی و فرایندهای دگرگونی تشکیل شده‌اند و همچنین وجود بافت‌های برشی که ناشی از تنش‌های وارد شده هستند، این نهشته در مراحل هوازگی شدید همزمان با دگرگونی بوده است.



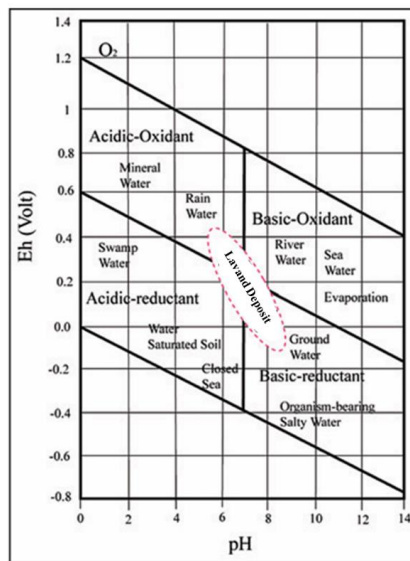
شکل ۷ (الف، ب) تصاویر میکروسکوپی بلورهای کاردوم، مگنتیت و هماتیت در زمینه‌ای از آمزیت، سیلیس و اکسیدهای آهن پ، ت- قطعه‌های پیزوئید و اوئید دیاسپوری و کاردوم در زمینه آمزیتی-سیلیسی (ث) از پیزولیت‌های پیچیده (ج) بافت اسپاستولیتی در نمونه بوکسیتی و شکستگی-های انقباضی درون پیزولیت‌ها (چ، ح) قطعه‌های درشت پیزوئید با هسته‌ای از اکسید آهن و ترک‌های شعاعی-انقباضی که با کانی‌های رسی و کربناتی پر شده‌اند (عکس ب در نور قطبیده متقاطع، XPL، و سایر عکس‌ها در نور قطبیده صفحه‌ای، PPL، گرفته شده‌اند) (Amo= آمزیت، Dsp= دیاسپور، Cor= کاردوم، Gt= گوتیت، Boh= بوهمیت، Hem= هماتیت).

بحث و بررسی

زمین‌شیمی

نتایج تجزیه به روش طیف‌سنجی فلئورسانس پرتوی ایکس (XRF) نشان می‌دهد که بوکسیت‌های منطقه لاوند دارای ۴۸-۵۶ درصد Al_2O_3 ، ۳ تا ۲۵ درصد Fe_2O_3 ، ۴ تا ۱۸ درصد SiO_2 و ۱ تا ۶ درصد TiO_2 هستند (جدول ۱). به دلیل تحرک بالای عناصر قلیایی و قلیایی خاکی در طی هوازدگی شیمیایی و شسته شدن آنها از محیط کانه‌زایی، مقدار این عناصر در بوکسیت‌های منطقه لاوند بسیار کم است [۶].

حضور کانی‌هایی چون هماتیت، مگنتیت، گوتیت، گیبسیت و روتیل نشان می‌دهد که این نهشته لاتریتی در محیطی با عملکرد آب‌های سطحی با ماهیت اسیدی-اکسیدی و وجود کانی‌هایی چون دیاسپور و آمزیت، نزدیکی با آب‌های زیرزمینی با ماهیت بازی-احیایی تشکیل شده است (شکل ۸). با توجه به نمودار Eh-pH محیط‌های اتمسفری طبیعی و محیط پایداری کانی‌ها، طی فرایند لاتریتی شدن این نهشته، شرایط اکسایشی به طور مقطعی به شرایط احیایی تغییر یافته است. از این رو تنوع کانی‌شناسی در منطقه، بیانگر چند فاز کاهشی و اکسایشی محیط طی فرایند تکامل کانسار لاوند است.



شکل ۸ نمودار Eh-pH محیط‌های اتمسفری طبیعی که با توجه به محیط پایداری کانی‌ها، موقعیت نهشته‌های بازماندی مورد مطالعه مشخص شده است [۷]. مقادیر Eh-pH کانی‌های گیبسیت، هماتیت، گوتیت و شاموزیت از [۸] گرفته شده است.

جدول ۱ نتایج تجزیه اکسیدهای اصلی (برحسب درصد وزنی) و عناصر فرعی (برحسب ppm)

	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵
Al_2O_3	۵۵.۵۲	۴۸.۶۵	۴۸.۰۱	۵۴.۲۲	۵۶.۰۲	۴۸.۱	۴۹.۷۹	۴۸.۵۶	۴۵.۴	۴۶.۴	۴۸.۷	۵۰.۵	۴۹.۹	۴۹.۷۵	۵۲
CaO	۲.۰۴	۱.۵۵	۱.۵۶	۱.۳۸	۰.۷۵	۱.۱	۰.۸۹	۱.۱	۰.۰۲	۰.۰۴	۰.۰۶	۰.۰۱	۰.۰۱	۰.۸۱	۱.۱
Fe_2O_3	۲۱.۰۴	۳.۸۶	۴.۱۴	۲۳.۸۶	۱۸.۳۲	۲۵.۴۷	۲۴.۲۹	۲۴.۰۹	۲۴.۲	۲۳.۵	۲۱.۵	۲۱	۱۹.۵	۱۹.۶۰	۱۸.۹
FeO	۹.۹۷	۱۶.۳۷	۱۵.۸	۶.۳۶	۷.۴۹	۱۰.۸۷	۸.۶۸	۱۳.۵۳	۴.۷	۳.۶	۴.۸	۵.۱	۱.۱	۸.۳۳	۱۱.۸
SiO_2	۴.۵۴	۱۷.۹۴	۱۸.۷۶	۱.۹۱	۱۰.۰۲	۶.۰۴	۶.۸	۶.۴۳	۱۱	۱۰.۵	۸.۸	۷.۷	۱۰.۲	۹.۲۸	۳.۸
TiO_2	۵.۱۱	۴.۸۱۱	۵.۰۵	۵.۱۲	۱.۷۷	۴.۸۶	۴.۹۲	۳.۰۸	۴.۷	۴.۴۵	۵.۸	۵.۱۲	۵.۶	۴.۶۵	۵.۰۱
K_2O	۰.۰۱	۰.۰۱	۰.۰۲	۰.۰۳	۰.۰۱	۰.۰۱	۰.۰۱	۰.۰۱	۰.۰۷۵	۰.۰۷۵	۰.۰۱	۰.۰۰۵	۰.۰۷	۰.۰۳	۰.۰۳
MgO	۰.۵۳	۰.۸۶	۱.۱	۰.۹۴	۰.۷۵	۰.۷۵	۰.۱۵	۰.۷۵	۰.۶۱	۰.۸۹	۰.۳۱	۰.۵	۰.۶۱	۰.۵۲	۰.۲۵
MnO	۰.۰۲	۲	۰.۰۴	۰.۰۵	۰.۰۹۱	۰.۰۶۴	۰.۰۶۸	۰.۰۴۲	۰.۰۳	۰.۰۴	۰.۰۲	۰.۰۵	۰.۰۶	۰.۲۰	۰.۰۱
Na_2O	۰.۰۷	۰.۰۴	۰.۱۲	۰.۰۹	۰.۱۵	۰.۲۴	۰.۲	۰.۲۱	۰.۰۷۵	۰.۰۷۵	۰.۰۱	۰.۰۶	۰.۰۴	۰.۱۱	۰.۰۸
P_2O_5	۰.۰۰۸	۰.۱۶	۰.۱۱	۰.۰۰۳	۰.۰۲	۰.۰۱	۰.۰۱	۰.۰۲	۰.۰۰۱	۰.۰۰۱	۰.۰۰۱	۰.۰۱	۰.۰۰۲	۰.۰۳	۰.۰۰۱
$L.O.I$	۳.۵۸	۴.۸	۴.۷۵	۵.۲۷	۵.۲	۳.۰۹	۳.۹۶	۲.۷۷	۹.۱	۹.۸۹	۹.۵	۹.۱	۱۲	۶.۳۹	۲.۸
Cu	۲۰.۹۷	۲۱۴.۵	۱۹۹.۳	۱۹۹.۵	۸۹	۹۸.۷	۲۸.۷	۱۳۴.۵	۱۸۵.۲	۲۰۰	۷۸	۹۵.۲	۴۸.۸	۱۲۷	۲۰۵.۵
Zn	۵۰.۳۱	۳۵۲.۱	۳۹۲.۸	۳۹۲.۸	۴۰۱.۲	۳۴۷.۵	۶۰.۱	۳۰۵.۲	۵۱۱.۱	۴۰۴.۲	۳۲۹	۵۲۵	۲۱۵	۲۱۴.۵	۳۹۵.۵
Pb	۴۰.۸۲	۳۱۹.۶	۳۵۷.۵	۳۷۰.۲	۳۰۹.۸	۳۹۰.۲	۳۰۴.۲	۳۲۵	۳۵۸	۲۴۵.۶	۴۵۲.۱۲	۷۲۱	۱۹۸	۲۱۱.۵	۴۰۲.۸
Ni	۴۱۷.۹	۷۹۵.۱	۴۶۴	۲۶۳.۳	۲۳۱	۴۲۱.۵	۳۲۱	۷۰۱.۲	۳۸۹.۸۵	۴۲۵.۵	۳۹۱.۲	۳۸۵.۴۵	۱۹۸.۴	۲۰۹.۵	۴۰۹.۵۲
Cr	۷۳.۴	۷۶.۴	۷۹.۱	۷۵.۲	۱۲۱.۴	۸۰.۱	۱۰۰.۲	۸۱.۵۴	۲۵.۸	۹۱.۴	۷۶.۳۶	۱۹.۸	۱۰۱.۲	۷۵.۲	۶۹.۸
V	۲۷.۲	۲۴.۱	۲۳.۶	۲۵.۲	۲۱	۳۱.۸	۱۲.۹	۵۸	۳۵	۲۱.۹	۱۷.۸	۱۹	۸۳	۲۰	۲۱
Co	۲۱۱.۶	۲۰۱.۳	۲۱۲.۴	۲۰۷.۲	۱۱۸.۲	۲۰۸.۲	۲۱۲.۸	۱۹۲.۳	۳۰۰.۵	۹۹.۵	۱۵۷	۱۸۲.۵	۱۹۲	۲۳۲.۲۵	۱۷۸.۵
Mo	۹	۱۱	۱۰	۱۵	۲۰	۳۰.۵	۴۱.۵	۱۲.۵	۹۳.۱	۹.۵	۱۴	۱۲.۲	۸.۸۹	۱۷.۴	۱۲
Ba	۲۴۴.۱	۲۱۲.۴	۲۳۶.۷	۲۵۱.۹	۱۲۰.۴	۱۸۹.۲	۲۰۱	۲۱۴.۵	۹۷.۵	۸۶.۵	۳۲۱	۲۱۴	۲۸۵.۱	۱۰۳.۵	۲۵۱.۴
Zr	۰.۷۵	۰.۷۵	۰.۷۵	۲	۱.۱	۳.۵	۴۱.۲	۱.۸	۹.۵۴	۰.۸۹	۳.۲	۴۱	۲۱.۲	۰.۸۹	۱

شیمیایی مختلفی استفاده گردید. طی رسم نمودار Cr نسبت به Ni، ترکیب نمونه های بوکسیت لاوند با سایر بوکسیت‌های کارست مدیترانه‌ای مقایسه شده است. این کانسار بیشتر شبیه بوکسیت‌های کارستی بوده و برآمده از یک سنگ خاستگاه بازالتی است [۱۵].

براساس بررسی های انجام شده (شکل ۸ ث)، بازالت‌ها و دایک‌های دایابازی پرمین را می‌توان به عنوان سنگ خاستگاه متابوکسیت‌های لاوند در نظر گرفت. به این صورت که هوازدگی سنگ خاستگاه و تاثیر فرایندهای بوکسیت‌زا باعث شستشوی عناصر قلیایی و قلیایی خاکی از محیط و تشکیل بوکسیت شده است؛ طی فرایندهای بعدی درون‌زایی و دگرگونی نخست کانی‌های آبدار بوکسیتی به دیاسپور و در پایان با تغییر ساختار بلوری به کرونوم تبدیل شده‌اند [۱۶].

کانی آمزیت نیز در نتیجه درون‌زایی و دگرگونی درجه پایین (در آغاز مراحل دگرگونی) سنگ‌های غنی از آلومینیم و منیزیم تشکیل شده است. سختی این کانی ۲/۵ تا ۳ است، اما در نمونه‌های مربوط به بوکسیت لاوند سختی بسیار بالایی از خود نشان می‌دهند که به احتمال بسیار ناشی از همراهی این کانی با کانی‌های دیگری چون کرونوم و دیاسپور است که سختی بالایی دارند.

برداشت

مهم ترین نتایج بررسی‌های کانی شناسی و زمین شیمی متابوکسیت غنی از کرونوم-آمزیت لاوند عبارتند از:

- این کانسار دارای دو پهنه (عدسی) اصلی بوکسیتی-لاتریتی به سن پرمین است که به صورت میان لایه در مرزبین واحدهای ماسه سنگ آرکوزی میکادار و شیل-دولومیت دگرگون شده در بالا و آهک مرمریتی شده زرد رنگ در پایین دربرگرفته شده‌اند.

- این کانسار تنوع کانی‌شناسی گسترده‌ای دارد که شامل اکسیدها و هیدروکسیدهای آلومینیم و آهن، سیلیکات‌ها، اکسیدهای تیتانیم و کربنات‌ها است؛ کرونوم و آمزیت، کانی‌های اصلی سازنده این افق‌ها هستند.

- بافت‌های شاخص این نمونه‌ها اولیتی-پیزولیتی، اولیتی-کره سان و اولیتی-اسپاستولیتی بوده که از شواهد برجزا بودن نهشته هستند.

همچنین پایین بودن مقادیر SiO_2 نشان دهنده درجه بالای لاتریت‌زایی در منطقه است. وجود مقادیر به نسبت بالای Fe_2O_3 به علت تشکیل کانی‌های هماتیت، مگنتیت و گوتیت است که در شرایط مناسب پتانسیل اکسایش-کاهش (Eh) و درجه اسیدی (pH) طی فرایند لاتریت‌زایی تشکیل می‌شوند [۶].

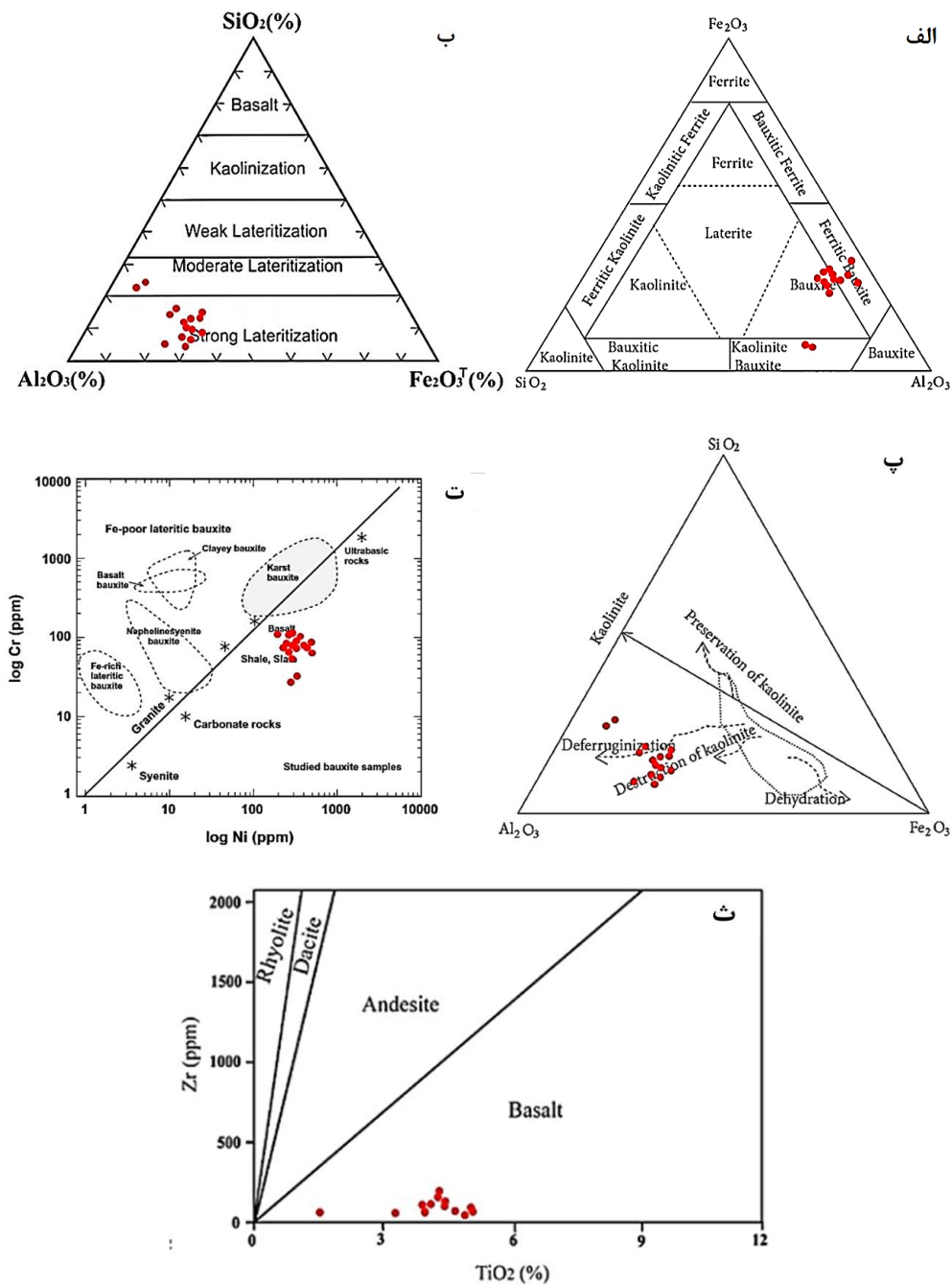
نمودار $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-Fe}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ برای بررسی کانه‌زایی، رده-بندی بوکسیت‌ها و تعیین درجه لاتریت‌زایی استفاده می‌شوند (شکل ۹ الف) [۹]. همچنین به طور تقریبی بیشتر نمونه‌های مورد بررسی منطقه لاوند در گستره بوکسیت و بوکسیت آهن-دار قرار می‌گیرند [۱۰].

چنان که در شکل ۹ ب دیده می‌شود، تنوع شیمیایی می‌تواند بیانگر درجه‌های متفاوت لاتریتی شدن باشد [۶]. در این نمودار، نمونه‌های غنی از Al_2O_3 نشان دهنده درجه‌های بالا و نمونه‌های غنی از SiO_2 نشان دهنده درجه‌های ضعیف لاتریتی شدن هستند [۱۱]. از این رو نمونه‌های بوکسیتی منطقه لاوند، غنی از Al_2O_3 هستند و طی فرایند شدید لاتریتی شدن تشکیل شده‌اند.

نمودار سه‌تایی $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-Fe}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ روندهای زمین-شیمیایی مختلفی را که در طی فرایند بوکسیت‌زایی رخ می‌دهد را نشان می‌دهد [۱۲] (شکل ۹ پ)، بر این اساس، بوکسیت لاوند طی تخریب کائولینیت و آهن‌زدایی خفیف تشکیل شده است

غلظت نیکل موجود در بوکسیت ممکن است که در اثر فرایندهای جذب تغییر کند که مربوط به حضور هیدروکسیدهای آهن است [۱۳]، با این وجود، یون Ni^{2+} در هوازدگی بسیار محلول است؛ بر این اساس، نسبت نیکل به کروم در سنگ معدن بوکسیت مورد بررسی لزوماً نشان دهنده سنگ خاستگاه بوکسیت نیست و نیاز به تفسیر دقیق دارد (شکل ۹ ت).

سنگ‌هایی با ترکیب بازالت و آندزیت محتمل‌ترین سنگ مادر برای کانسارهای بوکسیتی پرمین هستند [۱۴]. بنابراین حضور سنگ‌هایی با ترکیب بازالت در کربنات‌های سازند روته در منطقه مورد مطالعه می‌تواند شاهدهی بر این موضوع باشد. برای اثبات صحت و سقم این مسئله از نمودارهای زمین



شکل ۹ الف، ب- موقعیت نمونه‌های بوکسیتی منطقه در نمودار سه متغیره $Al_2O_3-Fe_2O_3-SiO_2$ [۱۰] پ- نمودار سه‌تایی $Al_2O_3-Fe_2O_3-SiO_2$ که روند زمین‌شیمیایی احتمالی طی فرایند بوکسیتی شدن را نشان می‌دهد [۱۲] (که به بودن یا نبودن کوارتز در زمینه ریز بوکسیت بستگی دارد). بخش خاکستری رنگ نشان دهنده یک محیط آهن‌دار است [۱۷]؛ ت) موقعیت بوکسیت‌های منطقه لاوند و سنگ‌های خاستگاه مختلف آنها بر اساس نسبت Cr/Ni [۱۴] ث- موقعیت نمونه‌های بوکسیتی مورد مطالعه در نمودار دو متغیره Zr/TiO_2 [۱۸].

- بررسی‌های زمین‌شیمی نشان می‌دهد که بیشتر نمونه‌های منطقه لاوند در گستره بوکسیت و بوکسیت آهن‌دار قرار می‌گیرند؛ این نمونه‌ها غنی از Al_2O_3 هستند و طی فرایند شدید لاتریتی شدن تشکیل شده‌اند.

- براساس بررسی‌های انجام شده، بازالت‌ها و دایک‌های دایابازی پرمین را می‌توان به عنوان سنگ خاستگاه متابوکسیت‌های لاوند در نظر گرفت، طوری که هوازگی سنگ خاستگاه و اثر فرایندهای بوکسیت‌زا باعث شستشوی عناصر

بررسی‌های زمین‌شیمی نشان می‌دهد که بیشتر نمونه‌های منطقه لاوند در گستره بوکسیت و بوکسیت آهن‌دار قرار می‌گیرند؛ این نمونه‌ها غنی از Al_2O_3 هستند و طی فرایند شدید لاتریتی شدن تشکیل شده‌اند.

Alanya, Antalya, Turkey”, *Journal of Asian Earth Sciences* 27 (2006) 512-522.

[9] Schellmann A., “*Considerations on the definition and classification of Laterites. Proceeding of International Union of Geological Sciences /United Nations Education, Scientific and Cultural Organization*”, Seminar on Laterisation Processes, Paris, and French (1982).

[10] Aleva G. J. J., “*Laterites: Concepts, geology, morphology and chemistry*”, ISIRC, Wageningen, (1994)- 169p.

[11] Meyer F.M., Happel U., Hausberg J., Wiechowski A., “*The geometry and anatomy of the Pijigaos bauxite deposit*”, *Venezuela. Ore Geol Rev* 20 (2002) 27–54.

[12] Beauvais A., “*Palaeoclimats et dynamique d'un paysage cuirasee du Centrafreque. Morphologie, petrologie et geochemie*”, PhD, University of Poitiers, Poitiers, France .

[13] Mongelli G., Acquafredda P., “*Ferruginous concretions in a Late Cretaceous karst bauxite: composition and conditions of formation*”, *Chemical Geology*, 158(3–4) (1999) 315–320

[14] Abedini A., Calagri A.A., “*Geochemical studies of Permian bauxite-kaolinite deposits in northern Saez, Kurdistan Province*”, *Quarterly Journal of Earth Sciences*, 20(79) (2011 A) 67-74, (in Persian).

[15] Schroll E., Sauer D., “*Beitrag zur geochemie von titan, chrom, nikel, cobalt, vanadium und molibdan in bauxitischen gestemen und problem der stofflichen herkunft des aluminiums*”, *Travaux de ICSOBA, Zagreb* 5 (1968) 83-96.

[16] Emamalipour A., Mirmohammadi M.S., “*Mineralogy and geochemistry of corundum-bearing metabauxite-laterite of Hyderabad, southeast of Urmia, northwest of Iran (in Persian)*”, *Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy*, No. 1 (2011) Year 19.

[17] Tardy Y., “*Petrology of Laterites and Tropical Solis*”, Oxford, UK: IBH Publishing Co. Pvt. Ltd (1997).

[18] Hallberg J. A., “*A geochemical aid to igneous rocks identification in deeply weathered terrain*”, *Journal of Geochemical Exploration* 20, 1- 8. Halvac, J., 1983 -The technology of glass and ceramics: An introduction. *Glass Science Technology* (1984) 431p.

قلیایی و قلیایی خاکی از محیط و تشکیل بوکسیت شده است؛ طی فرایندهای بعدی درونزایی و دگرگونی، نخست کانی‌های آبدار بوکسیتی چون گیبسیت و بوهمیت به دیاسپور و در پایان با تغییر ساختار بلوری به کوندوم تبدیل شده‌اند. کانی آمزیت نیز در نتیجه درونزایی و دگرگونی درجه پایین (در آغاز مراحل دگرگونی) سنگ‌های غنی از آلومینیم و منیزیم تشکیل شده است.

قدردانی

این پژوهش با حمایت فنی و مالی بی دریغ شرکت ماگمامعدن آریا انجام شده است که لازم است از ریاست محترم این شرکت جناب آقای مهندس حسین جبارناصر و سیاست‌گذاری شود. همچنین از همکاری همه عزیزانی که به هر شکل ما را در این پژوهش یاری رساندند، تشکر می‌نماییم.

مراجع

- [1] Aydogan M.S., Moazzen M., “*Origin and metamorphism of corundum-rich metabauxites at Mt. Ismail in the southern Menderes Massif, SW Turkey*”, *Resour Geol* 62 (2012) 243–262.
- [2] “*Geological and Exploration Organization of Iran*”, Geological map 1:100,000 of localities, (in Persian) (2005).
- [3] Bardossy G., “*Karst bauxites*”, Elsevier, Amsterdam (1982) 441 pp.
- [4] Reolid M., Abad I., Martin Garcia J. M., “*palaeoenvironmental implications of ferruginous deposit related to a Middle-Upper Jurassic discontinuity (Prebtic Zone, Betic Cordillera, Southern Spain)*”, *Sedimentary Geology* 203(2008) 1-16.
- [5] Petrascheck W. E., “*The genesis of allochthonous karst-type bauxite deposits of southern Europe*”, *Mineralum Deposita* 24 (1989) 77-81.
- [6] Gu J., Huang Z., Fan H., Jin Z., Yan Z., Zhang J., “*Mineralogy, geochemistry, and genesis of lateritic bauxite deposits in the Wuchuan–Zheng'an–Daozhen area, Northern Guizhou Province China*”, *Journal of Geochemical Exploration*, 130(6) (2013) 44–59.
- [7] Garrels R. M., Christ C. L., “*Solution, Minerals and Equilibria*”, Harper and Row, New York (1965) 450 p.
- [8] Temur S., Kansun G., “*Geology and petrography of the Masatdagi diasporic bauxites,*