

بررسی کانی‌شناسی و ژئوشیمی متابوکسیت-لاتریت کرندومدار حیدرآباد، جنوب خاوری ارومیه، شمال باختری ایران

علی‌امامعلی پور^{۱*}، میرصالح میرمحمدی^۲

۱- دانشگاه رومیه، گروه مهندسی معدن

۲- دانشگاه تهران، پردیس فنی، دانشکده مهندسی معدن

(دریافت مقاله: ۸۸/۱۰/۲۲، نسخه نهایی: ۸۹/۴/۲۳)

چکیده: کانسار بوکسیت-لاتریت حیدرآباد در فاصله‌ی ۶۳ کیلومتری جنوب خاوری شهرستان ارومیه واقع شده است. این نهشته‌ی معدنی به شکل لایه‌ای هم شیب در میان واحدهای کربناتی (آهکی-دولومیتی) پرمین بالایی و تربیس زیرین جای گرفته است، اگرچه در امتداد خود دارای جابه‌جایی زمین‌ساختی است. ضخامت افق مورد بررسی ۱۵ تا ۲۰ متر و در راستای خاوری-باختری در حدود ۳/۵ کیلومتر گسترش دارد. کانسار از دو بخش تیره رنگ غنی از همانیت و کرندوم (افق بالایی) و روشن غنی از آلمینوسیلیکات‌های ورقه‌ای (افق پائینی) با گذر تدریجی تشکیل یافته و بافت‌های پیزولیتی، گرهکی، اووئیدی و تودهای در آن شایع است. بر اساس بررسی میکروسکوپی و آنالیز XRD، هماتیت، دیاسپور، کلریتوئید و کرندوم کانی‌های اصلی تشکیل‌دهنده هستند. کلریت، روتیل، مگنتیت و پیریت در مقادیر کم یافت می‌شوند. نبود بوهمیت، کاولینیت و سایر کانی‌های دیگر رسی و نیز فراوانی کرندوم، کلریتوئید، کلریت و روتیل افق بوکسیت-لاتریت حیدرآباد را از کانسارهای بوکسیتی دیگر واقع در کمرنند Irano-Himalayan در شمال باختری ایران متمایز می‌کند. شواهد زمین‌شناسی و کانی‌شناسی حاکی از این است که تاثیر یک رخداد دگرگونی گرمایی پس از فرآیند بوکسیتی شدن مسئول پیدایش این مجموعه کانی‌های شاخص بوده است. بر پایه‌ی شواهد زمین‌شناسی، ویژگی‌های کانی‌شناسی و شیمیایی، سنگ خاستگاه (مادر) احتمالی برای کانسار حیدرآباد، دایک-سیل‌های مافیک (دیابازی) پیشنهاد می‌شود. به دلیل این باشت قابل توجه کانی‌های با سختی بالاتر از ۶ (در گستره‌ی ۵۶-۹۲ درصد)، این نهشته معدنی را می‌توان به عنوان پتانسیلی در کاربردهای ساینده معرفی کرد.

واژه‌های کلیدی: بوکسیت؛ لاتریت؛ کرندوم؛ دیاسپور؛ کلریتوئید؛ دگرگونی؛ ژئوشیمی؛ حیدرآباد؛ ارومیه.

(۵درصد)، ساینده (۴درصد)، تولید سیمان (۳درصد)، صنایع شیمیایی و فولاد (۲درصد) و جوشکاری (۱درصد) به کار می‌رود [۱].

ذخایر بوکسیتی را بر اساس سنگ‌شناختی بستر می‌توان به دو گروه اصلی بوکسیت‌های با سنگ بستر آلمینوسیلیکاتی و کربناتی تقسیم کرد [۲]. بر این اساس بوکسیت‌های نوع اول

مقدمه

ذخایر بوکسیت و بوکسیت - لاتریت در حال حاضر تنها کانسنسنگ‌های بالرزشی هستند که از آن‌ها آلمینیوم و در مواردی عناصر با ارزشی مثل REE و گالیم استحصال می‌شوند. در حدود ۸۵ درصد تولید جهانی بوکسیت تبدیل به فلز آلمینیوم می‌شود و بقیه‌ی آن برای تولید مواد دیرگذار

*نویسنده مسئول، تلفن: ۰۴۴۱ ۲۹۷۲۸۳۷، نامبر: ۰۴۴۱ ۲۹۷۲۸۸۳، پست الکترونیکی: a.imamalipour@urmia.ac.ir

برخی از آن‌ها برای تهیه آجرهای نسوز از کیفیت قابل قبولی برخوردارند [۹].

به طور کلی ترکیب کانی‌شناسی ذخایر بوکسیتی استان آذربایجان باختری از ذخیره‌ای بهذخیره دیگر متغیر است. از این رو بر اساس رده‌بندی کانی‌شناسی، کانسار علی بالاتالو از نوع کائولینیتی و بوکسیت رسی، کانسار جوانمرد از نوع بوکسیت-لاتریت، قپی علی بابا در گستره‌ی فریت-بوکسیت لاتریتی و کانسار چپو از نوع کائولینیتی است. از نظر شکل انباشتگی، نهشته‌های بوکسیتی گستره‌ی جنوبی این استان به‌طور معمول از نوع پهنه‌ای و لایه‌ای هستند و گاه به شکل عدسی و پاكتی نیز پدیدار می‌شوند [۱۰]. در این بین کانسار حیدرآباد از نظر مجموعه کانی‌شناسی با دیگر کانسارهای بوکسیتی استان آذربایجان باختری متفاوت بوده و در میان آن‌ها استثنای شمار می‌رود.

پهنه‌های ساختاری باختر و جنوب دریاچه‌ی ارومیه شامل پهنه‌ی پلاکفرمی باختر دریاچه ارومیه و پهنه‌ی اشنویه-مهاباد هستند. پهنه‌ی اشنویه-مهاباد از جنوب شرق دریاچه‌ی ارومیه شروع می‌شود و از نظر ساختاری ادامه‌ی شمال باختری زون دگرگونی سنندج-سیرجان به شمار می‌آید. به دلیل قرارگیری در همی‌ری پهنه‌های ساختاری، تنوع سنگ‌شناسی و پیچیدگی چگونگی سازنده‌ها در این ناحیه بیش از دیگر نواحی استان آذربایجان باختری است [۱۱] و به نظر می‌رسد که ناحیه‌ی حیدرآباد به‌طور کلی از رخدادهای زون‌های البرز غربی-آذربایجان و سنندج-سیرجان متاثر شده است. به‌طور کلی، جایگاه چینه‌شناسی افق‌های بوکسیتی در گستره‌ی استان آذربایجان باختری، سازنده‌های پرمین (برای مثال کانسار آغازی)، پرمو-تریاس (قپی علی بابا و کانی شیته) و ژوراسیک (چپو و علی بالاتالو) هستند.

در منطقه‌ی حیدرآباد سنگ‌های آهکی نازک تا متوسط لایه که در بخش‌هایی به آهک‌های دولومیتی و دولومیت تبدیل می‌شوند، رخمنون قابل توجهی دارند. این سنگ‌ها کمر پایین افق بوکسیتی حیدرآباد را تشکیل داده و متعلق به سازند روته به سن پرمین وابسته‌اند (شکل ۱). کارستی بودن ضعیف تا متوسط، وجود حفره‌ها و کانی‌های انحلالی و نیز تبلور دوباره‌ی شدید، از شواهد تاثیر دگرگونی بر این سنگ‌ها محسوب می‌شوند. افق بوکسیتی-لاتریتی مورد بررسی با ضخامت متغیر ۱۵

خود شامل بوکسیت‌های لاتریتی و تیخووین یا آلوکتون (نابرجا) هستند. بوکسیت‌های با بستر کربناتی نیز که بوکسیت‌های کارستی هم نامیده می‌شوند، بر اساس ریخت‌شناسی، ترکیب و ویژگی‌های جغرافیایی و جغرافیای دیرین به چند نوع تقسیم بندی شده‌اند [۲،۳]. بوکسیت‌های کارستی حدود ۱۴ درصد ذخایر بوکسیت جهان را تشکیل می‌دهند و در میان آن نوع مدیترانه‌ای به صورت گستردگی بررسی شده است [۶-۴،۲].

ذخایر بوکسیتی مهم و شناخته شده در ایران که اغلب در کمریند موسوم به Irano-Himalayan یافت می‌شوند از نظر موقعیت مکانی در چهار منطقه واقع شده‌اند:

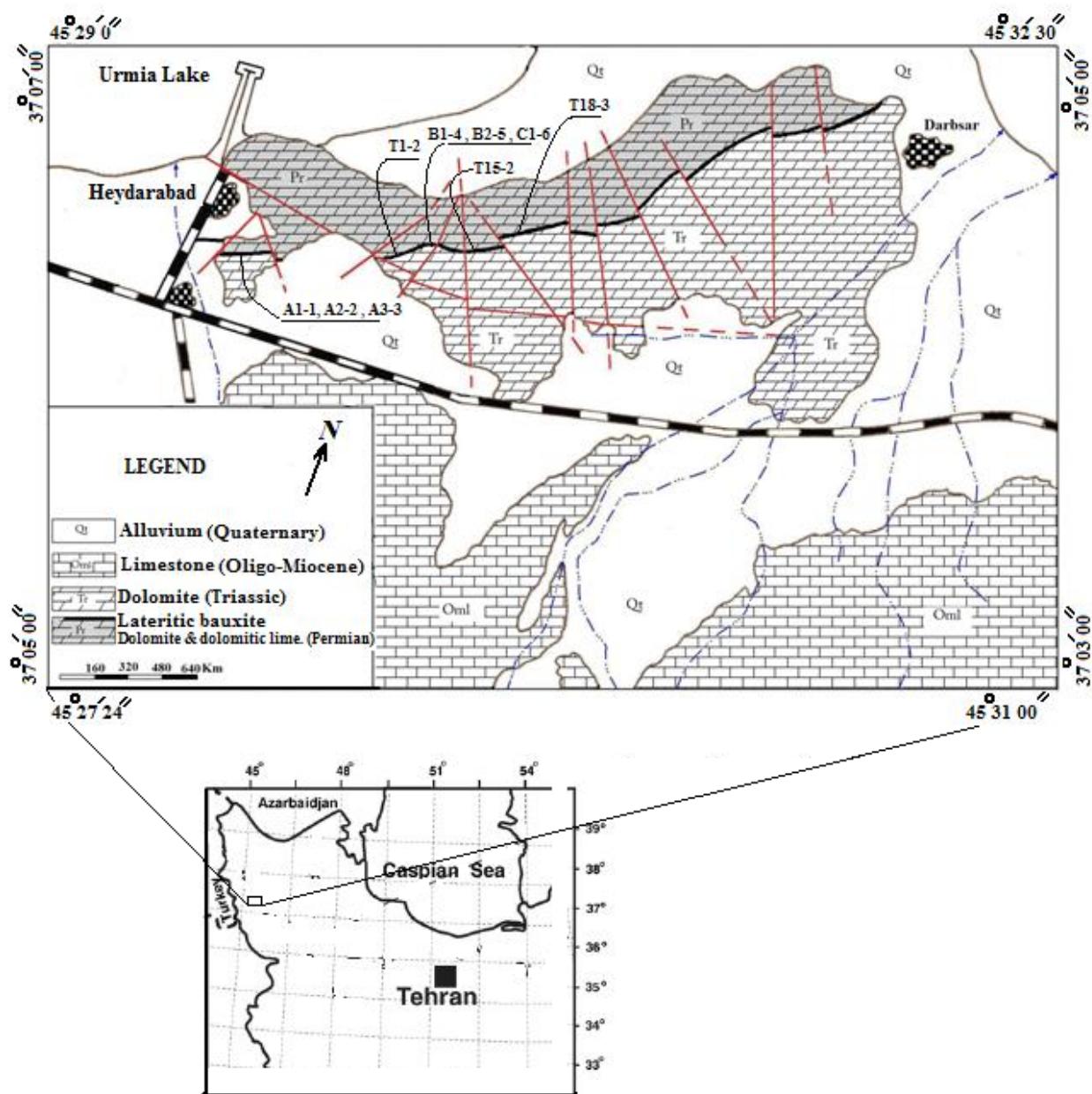
- (۱) شمال باختری ایران (مثل بوکان و شاهین‌دز)،
- (۲) ارتفاعات زاگرس چین خورده،
- (۳) رشته کوه‌های البرز،
- (۴) فلات مرکزی ایران [۷]. این بوکسیت‌ها از نظر زمانی محدود به پرمو-تریاس، تریاس پسین و کرتاسه میانی (سنومانین-تورنین) هستند.

در این پژوهش ویژگی‌های زمین‌شناسی، کانی‌شناسی، ژئوشیمیایی و ژئو احتمالی یکی از نهشته‌های بوکسیتی-لاتریتی واقع در شمال غربی ایران بنام کانسار حیدرآباد مورد بررسی قرار گرفته و به عنوان یک افق دگرگون شده (متا بوکسیت-لاتریت) حاوی مقادیر قابل توجهی کانی کرندوم و متفاوت از ذخایر بوکسیتی دیگر ایران معرفی شده است.

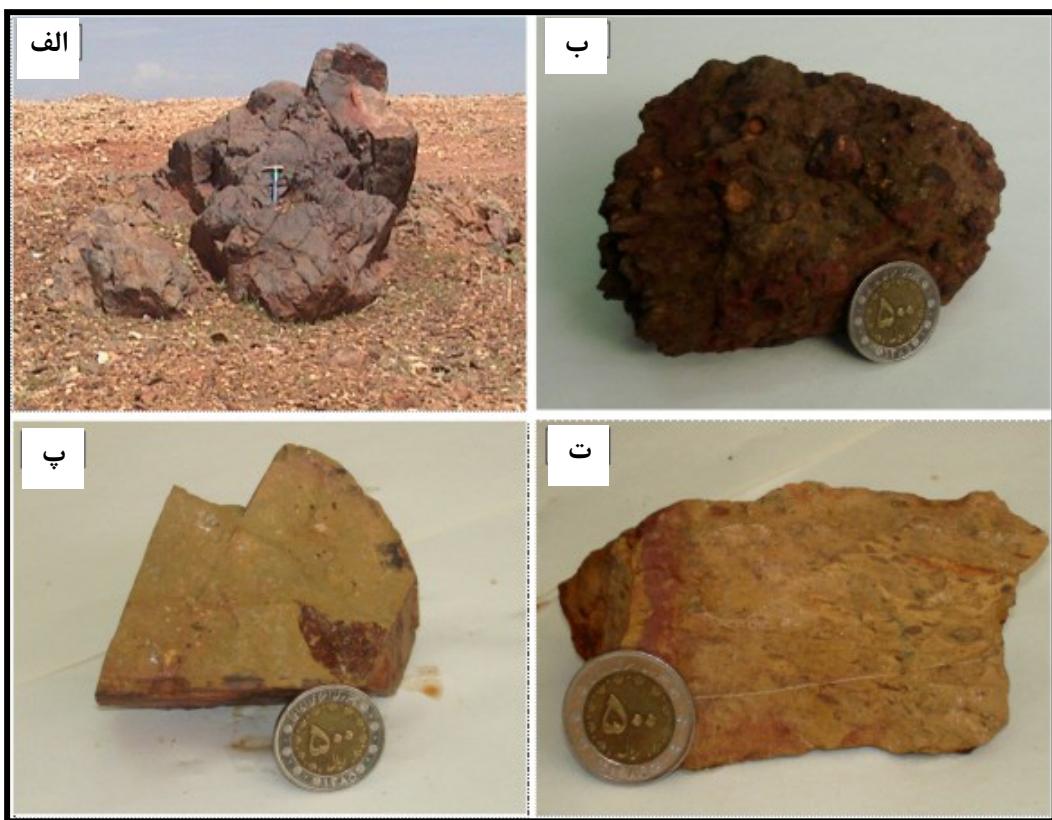
زمین‌شناسی عمومی و روابط صحرایی
نهشته‌ی بوکسیت حیدرآباد در فاصله‌ی ۶۳ کیلومتری جنوب خاوری شهرستان ارومیه، در مسیر ارومیه-مهاباد و در فاصله‌ی اندکی از جاده در کنار دریاچه‌ی ارومیه قرار دارد (شکل ۱). استان آذربایجان باختری از نظر ذخایر بوکسیت غنی بوده و در گذشته تعدادی از آن‌ها نیز به عنوان معدن نسوز بهره‌برداری شده‌اند [۹]. کانسارهای بوکسیتی این استان در نواحی بوکان (کانی شیته، جوانمرد)، شاهین‌دز (علی بالاتالو، نوروز‌آباد، چپو، آغازی و...)، محور میاندوآب-مهاباد (قپی علی بابا) و جنوب شرقی ارومیه (حیدرآباد) و برخی مناطق دیگر پراکنده‌اند. بررسی‌ها نشان می‌دهند که بیشتر این ذخایر به دلیل پایین بودن مدول آلومینیوم، ترکیب کانی‌شناسی نامطلوب و بالا بودن سیلیس و آهن برای بهره‌برداری آلومینا مناسب نیستند ولی

جلای فلزی، سبز تیره، قهقهه‌ای مایل به سرخ و کرم رنگ است (شکل ۲). توده‌ی معدنی در کانسار حیدرآباد به مانند اغلب نهشته‌های بوکسیتی استان از دو بخش لاتریتی با رنگ ظاهری سرخ تا قهقهه‌ای (افق بالایی) و بوکسیتی با رنگ ظاهری خاکستری، کرم-سبز (افق پایینی) تشکیل یافته است. در افق لاتریتی اکسید های آهن و در بخش بوکسیتی کانی‌های آلمینیوم دار غالب هستند.

تا ۲۰ متر و راستای عمومی N77E بر روی این سنگ‌ها قرار گرفته است (شکل ۱). این نهشته‌ی معدنی در راستای تقریباً شرقی- غربی و در حدود ۳/۵ کیلومتر گسترش دارد. با توجه به سختی بالای افق بوکسیتی، بخش‌های مقاوم در برابر هوازدگی و فرسایش در صحرا به خوبی دیده می‌شوند (شکل ۲). رنگ عمومی و ظاهری افق یاد شده تیره است، ولی کانسنگ بسته به ترکیب شیمیایی و کانی‌شناسی خود دارای رنگ‌های تیره با



شکل ۱ نقشه زمین‌شناسی ساده شده از کانسار بوکسیت-لاتریت حیدرآباد اقتباس از [۸] با تغییرات جزئی، موقعیت نمونه‌های برداشته شده در شکل نشان داده شده است.



شکل ۲ تصاویر صحرایی و نمونه دستی از بوکسیت- لاتریت حیدر آباد؛ (الف) بروند افق بالای مقاوم در برابر هوازدگی و فرسایش، (ب) بافت گرهکی، (پ) بخش کرم مایل به سبز توده‌ای، (ت) قطعات دگرشکل یافته در زمینه ریزدانه و توده‌ای.

می‌توان آن را بوکسیت استراتی فرم (لایه‌ای پیوسته تا نیمه پیوسته) با بستر کربناتی دانست.

روش پژوهش

در این پژوهش حاضر علاوه بر بررسی‌های صحرایی، تعداد ۱۰ نمونه نمادین از بخش‌های مختلف افق بوکسیتی-لاتریتی در یک نیمرخ نمونه برداری عمود بر راستای نهشته‌ی معدنی برداشت و مورد بررسی‌های کانی‌شناسی و آنالیز شیمیایی قرار گرفتند. سنگنگاری، ریزساخت و کانی‌شناسی کلی نمونه‌ها به- وسیله‌ی میکروسکوپ قطبشی در دانشکده‌ی مهندسی معدن دانشگاه تهران انجام گرفت و کانی‌شناسی دقیق کیفی و کمی آن‌ها به‌روش XRD با دستگاه فیلیپس مدل PW1800 بررسی شدند (جدول ۱). آنالیز شیمیایی نمونه‌ها نیز به- روشن XRF و با بهره‌گیری از دستگاه فیلیپس مدل PW1480 انجام شد. در این آنالیزها عناصر اصلی و تعدادی از عنصر کمیاب و نادر خاکی با به‌کارگیری پودر نمونه‌های ذوب شده به کمک لیتیم- تترابورات اندازه‌گیری شدند (جدول ۲). حد

افق بوکسیتی حیدرآباد به سمت جنوب، به وسیله‌ی سنگ- های دولومیتی خاکستری روشن که کم و بیش حاوی آثار فسیلی هستند به‌طور هم شیب پوشانده شده است (شکل ۱). این روند در سرتاسر راستای افق یاد شده ادامه دارد. این سنگ‌ها بر اساس رخنمونهای ناحیه‌ای و نیز نقشه‌ی زمین- شناسی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ (ورقه‌ی ارومیه چاپ سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور) سن تریاس دارند. سنگ‌های یاد شده کمر بالای ماده‌ی معدنی هستند و اثر دگرگونی به‌صورت تبلور مجدد شدید در آن‌ها نیز به مانند واحدهای سنگی کمر پایین ماده‌ی معدنی به چشم می‌خورد. این موضوع همراه با حضور کانی‌های دگرگونی در افق بوکسیتی حیدرآباد نشانگر رخداد و تاثیر فاز دگرگونی بر سنگ‌های منطقه است. از نظر ساختاری شبیه عمومی واحد های سنگی به سمت جنوب است و مجموعاً بخشی از یال یک ناویدیس را تشکیل می‌دهند.

بر اساس شواهد صحرایی هم بری افق بوکسیتی حیدرآباد با سنگ‌های کمربالا و پایین آن، تیز (واضح) است و در واقع

(Ignition) پس از گرمادهی نمونه‌ها در ۱۰۰۰ درجه‌ی سانتیگراد به مدت یک ساعت و مقایسه‌ی وزن پیش و پس از گرمادان آن‌ها به دست آمد.

اندازه‌گیری ۰/۰۱ درصد وزنی برای عناصر اصلی و ۱-۲ ppm برای عناصر فرعی و کمیاب بوده است. خطای آزمایشگاهی حدود ± 5 درصد و ± 2 درصد به ترتیب برای عناصر اصلی و کمیاب گزارش شده است. مقدار Total Loss on L.O.I

جدول ۱ نتایج تجزیه‌ی XRD نیمه کمی نمونه‌های معرف از کانسار بوکسیت-لاتریت حیدرآباد (مقادیر به درصد).

Sample no.	Colour	Hematite	Diaspore	Chloritoid	Corundum	Chlorite	Muscovite/Illite	Pyrite	Magnetite	Rutile	$\sum H \geq 6^*$
HD-A1-1	قرمز تیره	۴۰	۱۵	۱۶	۱۵	۸	-	-	-	۵	۹۱
HD-A2-2	سبز تیره	۳۷	۶	۱۰	۱۳	۲۵	-	۲	-	۶	۷۴
HD-A3-3	کرمی	۴	۳	۲۸	۸	۴	۳۸	-	۸	۵	۵۶
HD-B1-4	سیاه درخشان	۳۰	۱۱	۲۶	۱۰	۱۷	-	-	۵	-	۸۲
HD-B2-5	قهوه‌ای تیره	۳۷	-	۳۷	۱۲	۲۰	-	-	-	-	۷۷
HD-C1-6	قهوه‌ای تیره	۲۵	۹	۲۸	۱۷	۲۰	-	-	-	-	۷۹

* مجموع کانی‌های با سختی برابر یا بیشتر از ۶ در هر نمونه.

جدول ۲ نتایج تجزیه‌ی شیمیایی انجام شده روی اکسیدهای اصلی (بر جسب درصد وزنی) و عناصر فرعی (بر حسب ppm).

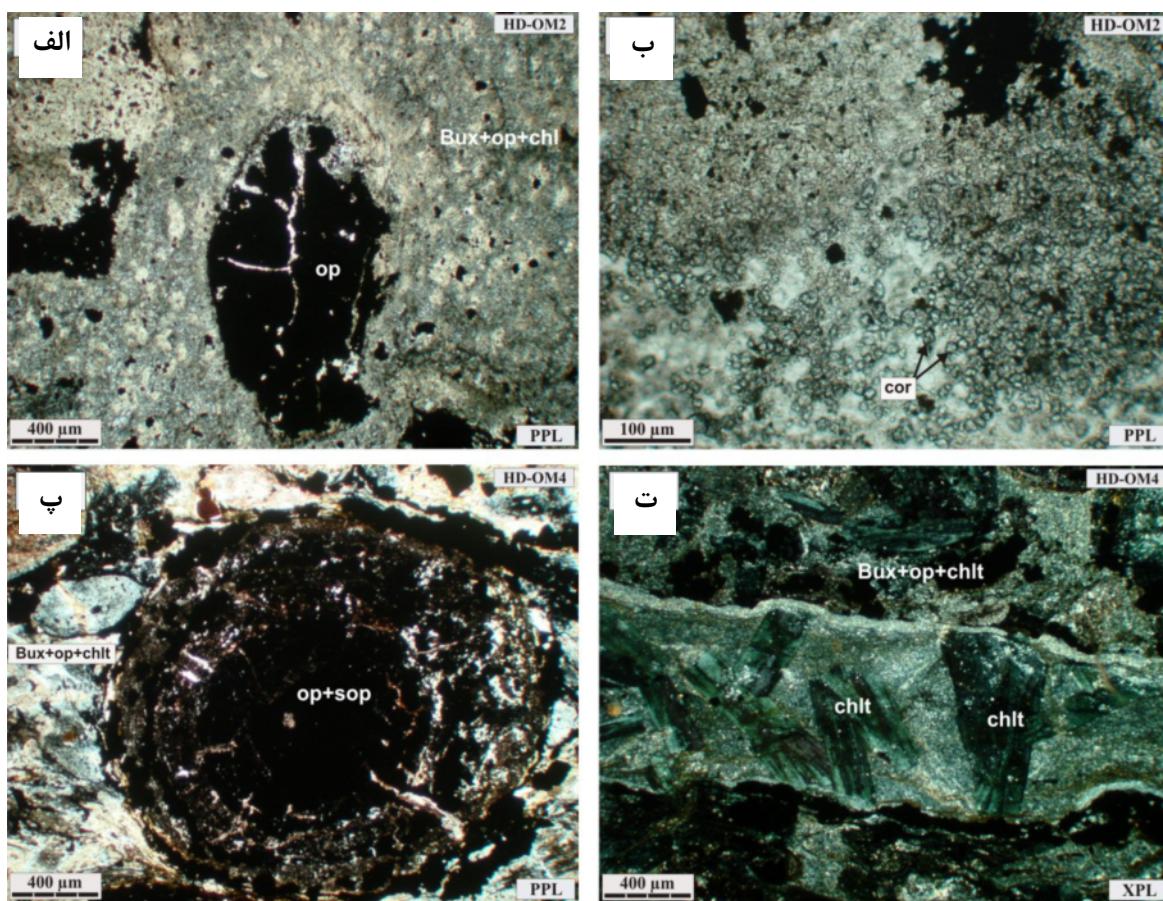
Sample no.	HD-A1-1	HD-A2-2	HD-A3-3	HD-B1-4	HD-B2-5	HD-C1-6	T15-02 ^a	T18-03 ^b	T1-02 ^c
SiO ₂	۷۸۰	۱۲۸۰	۲۵۹۰	۱۵۵۰	۱۸۲۰	۲۰۷۰	۳۳۱۴	۱۲۵۹	۳۳۴۱
Al ₂ O ₃	۳۳۹۰	۳۰۲۰	۲۲۳۰	۳۲۴۰	۲۸۴۰	۲۱۴۰	۲۱۸۴	۲۸۹۳	۲۹۸۷
Fe ₂ O ₃	۴۴۳۰	۴۰۱۰	۱۲۹۰	۲۶۹۰	۳۹۶۰	۳۲۴۰	۱۵۹۶	۴۵۱۷	۲۰۹۲
CaO	۰/۵۸	۰/۳۶	۱/۵۶	۱/۹۵	۰/۶۸	۰/۶۶	۹/۸۴	۲/۷۴	۰/۰۸
Na ₂ O	۰/۱۶	۰/۱۳	۳/۲۲	۰/۸۴	۰/۱۶	۱/۲۵	۰/۷۱	۰/۳۱	۰/۸۳
MgO	۰/۵۴	۱/۱۰	۰/۳۶	۰/۶۵	۰/۸۷	۰/۶۱	۰/۹۳	۰/۵۲	۰/۹۱
K ₂ O	۰/۰۳	۰/۰۱	۲/۱۵	۰/۱۰	۰/۰۷	۰/۶۹	۲/۹۴	۰/۱۴	۲/۶۱
TiO ₂	۵/۸۰	۶/۶۰	۵/۲۰	۵/۵۰	۴/۹۰	۵/۲۰	۳/۷۵	۴/۰۹	۲/۷۶
MnO	۰/۰۵	۰/۰۶	۰/۰۳	۰/۱۲	۰/۰۸	۰/۰۸	-	-	-
LOI	۵/۹۹	۵/۸۵	۵/۳۷	۴/۸۴	۵/۹۱	۵/۹۶	۱۰/۶۳	۵/۲۳	۷/۳۲
Total	۹۹/۱۵	۹۸/۲۱	۹۸/۹۹	۹۸/۸۰	۹۸/۸۷	۹۸/۹۵	۹۹/۷۴	۹۹/۷۲	۹۹/۷۱
Trace elements (ppm)									
Cr	۱۲۵۰	۱۷۰۰	۱۲۳۰	۱۵۸۰	۱۳۷۰	۱۵۰۰			
Co	۱۴۰	۱۲۰	۶۰	۱۳۰	۱۲۰	۱۵۰			
Ni	۵۰	۱۴۰	۶۰	۲۶۰	۱۴۰	۱۸۰			
Cu	۴۰	۶۰	۴۰	۲۰	۱۰	۱۰			
Zn	۶۰	۱۶۰	۳۰	۶۰	۱۲۰	۶۰			
Pb	۵۰	۱۰	۶۰	۱۰	۱۰	۱۰			
Rb	۱۰	۱۰	۱۱۰	۱۰	۳۰	۵۰			
Sr	۱۱۰	۲۵۶۰	۹۴۰	۴۶۰	۱۷۰	۳۵۰			
Y	۱۶۰	۲۱۰	۱۶۰	۲۰۰	۱۶۰	۱۳۰			
Zr	۱۳۵۰	۱۶۰۰	۱۳۰۰	۱۲۰۰	۱۲۰۰	۱۱۰۰			
La	۷۰	۴۰	۵۰	۵۰	۳۰	۱۰			
Ce	۲۰۰	۷۰۰	۱۸۰	۴۱۰	۴۱۰	۱۴۰			
Th	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰			
U	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰			
Ba	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰			
S	۱۵۰	۴۰۰	۵۰	۲۰	۴۵۰	۲۶۰			

.a,b,c : نمونه‌های بر گرفته شده از [۸]

روتیل، فلدسپات و به ندرت موسکویت یا (ایلیت) نیز به دلیل اندازه‌ی بسیار ریز به سختی قابل تشخیص‌اند. توزیع کانی‌ها در نمونه‌ها نایکنواخت بوده و اندازه‌ی آن‌ها و نیز قطعات پیزولیت، اووئید و گرهک‌ها نیز متغیرند (شکل ۳). اندازه‌ی بیشتر گرهک‌ها و پیزولیت‌ها بین ۰/۷ تا ۷ میلیمتر (فرافرآنی ۱-۳ میلیمتر بیشتر است) است و برخی از آن‌ها در اثر تاثیر تنفس پس از تشکیل، مثل فشرده‌گی، دستخوش خرد شدگی و دگرشکلی شده‌اند (شکل ۳). کانی‌های کدر و نیمه‌شفاف (با چیرگی اکسیدهای آهن) به دو صورت ریز دانه تا خمیره‌ی (۵ تا ۱۰۰ میکرون) و قطعات درشت کروی تا بیضوی و در مواردی بدون شکل هندسی خاص وجود داشته و بخش بزرگ قطعات پیزولیتی و گرهک‌ها (به ویژه مرکز آن‌ها) را به خود اختصاص داده‌اند (شکل ۳).

سنگ نگاری و ریز بافت

هدف از بررسی‌های سنگنگاری در این پژوهش در گام نخست شناخت ویژگی‌های بافتی و در مرحله‌ی بعدی کانی‌شناسی است. به دلیل خمیره‌ی بسیار ریز اغلب نمونه‌های مورد بررسی، به موازات بررسی‌های میکروسکوپی، کانی‌شناسی دقیق‌تر آن‌ها با بهره‌گیری از روش XRD انجام گرفت شد. بافت‌های اصلی در نمونه‌ها پیزولیتی، اووئیدی و گرهکی بوده و بافت‌های برشی، توده‌ای و پان ایدیومورفیک نیز در مواردی دیده می‌شود (شکل ۲ و ۳). خمیره‌ی بیشتر ذرات تشکیل دهنده نیز کوچک‌تر از ۱۰ میکرون بوده است. کانی‌های اصلی قابل تشخیص در سنگنگاری میکروسکوپی شامل اکسیدهای آهن، دیاسپور، کلریتوئید و کلریت هستند (شکل ۳). علاوه بر این‌ها کانی‌هایی مانند کرنودوم (با برجستگی زیاد و اغلب در خمیره)،



شکل ۳ تصاویر میکروسکوپی از نمونه‌های بوکسیت-لاتریت حیدر آباد و ریزبافت‌های آن؛ (الف) گرهک کدر (op) در زمینه ریزدانه متشکل از کانی‌های بوکسیتی (Bux)، کدر و کلریت (chl)، (ب) بلورهای ریز و نیمه شکل‌دار کرنودوم (cor) در زمینه‌ی کانی‌های بوکسیتی و کدر، (پ) پیزولیت ترک‌دار کدر و نیمه شفاف (sop)، (ت) بلورهای شکل‌دار کلریتوئید (chl) با ماکل ساعت شنبی.

از ویژگی‌های کانی‌شناسی مهم کانسار حیدرآباد در مقایسه با ذخایر بوکسیتی دیگر شمال باختری کشور وجود کرننوم در مقادیر متغیر (۸ تا ۱۷ درصد، جدول ۱) و در مرتبه بعدی فراوانی دیاسپور و نبود بوهیمت است. مقدار کرننوم در بخش‌های فوقانی به رنگ تیره تا سرخ تیره بیشتر بوده و در بخش‌های پایینی به رنگ کرم تا سبز اندک است. کلریتوئید یک سازنده‌ی اصلی در نمونه‌های بوکسیتی مورد بررسی بوده و مقدار آن از حداقل ۱۰ درصد تا حداکثر ۳۷ درصد در نوسان است. حضور این کانی در نهشته‌ی بوکسیتی حیدرآباد نشانگر رخداد تغییرات بعدی در مراحل پس از تشکیل کانی‌های اولیه است. به اعتقاد باردوسی [۲]، کرننوم معمولاً از سنگ‌های مادر اولیه منتج نمی‌شود و به صورت ثانوی در بوکسیت‌ها تشکیل می‌گردد. همین طور میکروکرننوم (بلورهای با ابعاد بسیار ریزکرننوم) در اثر دگرگون شدن سنگ‌های بوکسیتی پدیدار می‌شود [۲].

ژئوشیمی

برای بررسی ترکیب شیمیایی بوکسیت-لاتریت‌های دگرگون شده‌ی حیدرآباد از بخش‌های مختلف کانسار بر اساس تغییرات رنگ و بافت تعداد ۶ نمونه معرف برداشته شد و عنصر اصلی و کمیاب انتخابی آن به وسیله XRF آنالیز شدند.

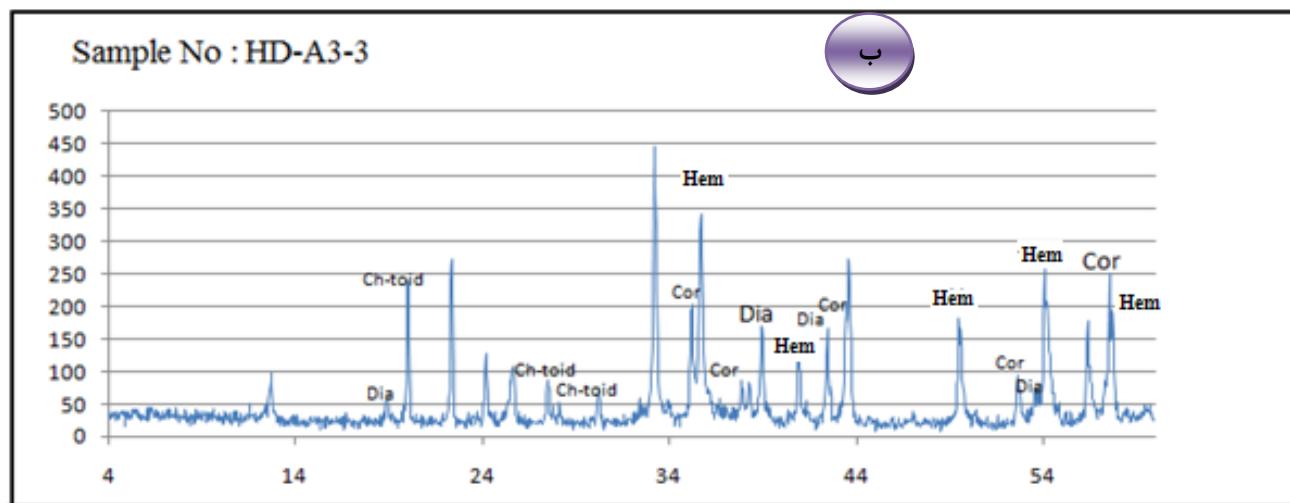
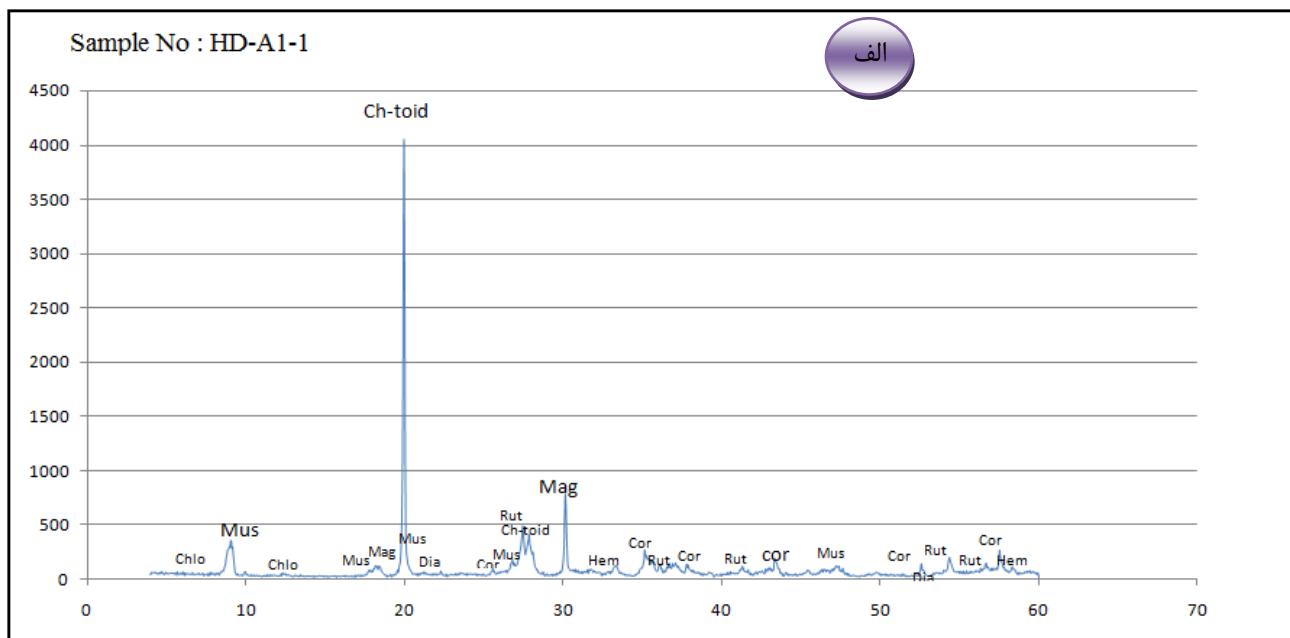
از نظر ژئوشیمیایی، بوکسیت-لاتریت‌های حیدرآباد اغلب با مقادیر بالا ولی متغیر اکسیدهای Fe_2O_3 (۴۵-۴۵٪)، TiO_2 (۲۷-۳۶٪)، Al_2O_3 (۱۲-۹٪)، SiO_2 (۳۳-۹٪) و MnO (۰-۰.۵٪) مشخص شده و علاوه بر این سازنده‌های اصلی مقادیر کمتری MgO (۰-۰.۵٪)، CaO (۰-۰.۵٪)، MnO (۰-۰.۵٪) و Na_2O (۰-۰.۵٪) می‌باشد. این علاوه بر این سازنده‌های اصلی از نظر قلیایی و قلیایی خاکی اندک و در طیف باریکی است (جدول ۲) که به احتمال زیاد به ویژگی شدیداً پویای این عناصر طی هوازدگی شیمیایی بستگی دارد، زیرا آن‌ها در این فرآیند و بوکسیتی شدن پیامد آن به راحتی شسته و به محیط‌های مجاور حمل شده‌اند. با توجه به بررسی‌های کانی‌شناسی و مقایسه‌ی آن با نتایج آنالیز شیمیایی (جدول ۲) آشکار می‌شود که Al_2O_3 در کانی‌های متعددی شامل کرننوم، دیاسپور، کلریتوئید و کمتر کلریت و موسکوویت/ایلیت (نمونه HD-TiO₂ و A3-3) مشارکت داشته و تنها کانی حاوی

کلریتوئید کانی نسبتاً فراوان غالب نمونه‌ها بوده و به صورت بلورهای شکل دار در اندازه‌های متفاوت (حداکثر تا ۱/۵ میلیمتر) و گاهی به صورت ماکل ساعت شنی دیده می‌شود (شکل ۳). برخی بلورهای درشت این کانی حتی در نمونه دستی نیز به رنگ سبز تیره قابل شناسایی است.

کانی‌های آلومینیم‌دار اصلی شامل کرننوم و دیاسپور بوده و بخش بزرگی از آن‌ها در خمیره تمرکز سنگ قرار دارند. بلورهای کانی کرننوم در اغلب نمونه‌های بررسی شده دارای اندازه‌های بسیار ریز بوده (حدود ۲۵-۱۰ میکرون) و در بزرگنمایی بالا ($\times ۲۰۰$) قابل شناسایی است. این بلورها با داشتن برجستگی زیاد و ته رنگ آبی-صورتی (در PPL)، رنگ تداخلی سری یک و ناهمسانگردی (در XPL) در بررسی میکروسکوپی از سایر کانی‌ها تمیز داده می‌شود (شکل ۳-ب). مهم‌ترین تغییر قابل ذکر در مجموعه کانی‌شناسی نمونه‌های مختلف، تفاوت در فراوانی آکسیدهای آهن است که از نمونه‌ای به نمونه دیگر مقدار آن‌ها متفاوت است.

کانی‌شناسی

برای بررسی ترکیب کانی‌شناسی افق بوکسیتی-لاتریتی حیدرآباد پس از نمونه‌برداری سیستماتیک از بخش‌های مختلف کانسار با توجه به تغییرات رنگ و بافت تعداد، شش نمونه معرف به روش XRD مورد بررسی قرار گرفتند. در این بررسی‌های علاوه بر شناسایی کانی‌های تشکیل دهنده‌ی اصلی و فرعی، کانی‌شناسی به روش نیمه کمی با خطای $\pm 10\%$ درصد نیز انجام گرفت. بر این اساس کانی‌های اصلی آلومینیم‌دار در غالب نمونه‌ها شامل کرننوم و دیاسپور (حداکثر ۱۵ درصد) بوده و همایت کانه‌ی آهن دار فراوان (۴۰ تا ۴۰ درصد) است. کانی‌های دیگر با فراوانی متغیر شامل کلریتوئید، کلریت، روئیل، مگنتیت، موسکوویت-ایلیت شناسایی شدند. در جدول ۱ نتایج آنالیز XRD کمی شش نمونه معرف از افق بوکسیتی حیدرآباد و در شکل ۴ نیز الگوی پراش XRD برای دو نمونه انتخابی نشان داده شده‌اند. چنانکه در جدول ۱ دیده می‌شود موسکوویت و ایلیت تنها در یک نمونه، بوکسیت کرم رنگ و متراکم (شماره HD-A2-2)، کانی اصلی بوده و در نمونه‌ها دیگر گزارش نشده است ولی شواهدی از وجود آن‌ها با مقادیر متغیر در بررسی‌های سنگنگاری میکروسکوپی وجود دارند (مثل HD-OM-2، HD-OM-3).



شکل ۴ نمودارهای پراش پرتو X وابسته به نمونه‌های شماره HD-A1-1 (الف) و HD-A3-3 (ب) از کانسار حیدرآباد، علائم اختصاری: کلریت (Cor)، موسکویت (Mus)، دیاسپور (Dia)، روتیل (Rut)، هماتیت (Hem)، کلریت‌تؤید (Chlo)، کلریت‌تؤید (Ch-toid).

مثبت Al_2O_3 در غالب نمونه‌ها با اکسیدهای آهن و تیتانیم دیده می‌شود که حاکی از تمرکز بالای کانی‌های تیتانیم و آهن‌دار در نمونه‌های غنی از Al_2O_3 است. این موضوع نشان می‌دهد که در افق‌های بیشتر هوازده، TiO_2 و Al_2O_3 با توجه به ماهیت نامتحرك آن‌ها تمرکز بیشتری دارند. با توجه به روند منفی آشکار بین اکسیدهای SiO_2 و Fe_2O_3 و نیز SiO_2 مشخص می‌شود که تمرکز کانی‌های آهن‌دار در بخش تیره‌ی

در نمونه‌ها روتیل است. در شکل ۵ نمودارهای دوتایی نشان دهنده‌ی تغییرات Al_2O_3 نسبت به اکسیدهای دیگر مانند TiO_2 ، SiO_2 ، Fe_2O_3 ترسیم شده‌اند. این نمودارها نشان می‌دهد که اکسید آلومینیم با SiO_2 روند منفی نسبی داشته و دلیل آن نیز عدم مشارکت Al_2O_3 ، در ساختار کانی‌های رسی مانند کائولینیت، با Al_2O_3 و SiO_2 بالا، به دلیل ناچیز بودن آن در نمونه‌های مورد بررسی است. از طرف دیگر روند نسبی

اینکه مقدار آب با مقدار Al_2O_3 تناسبی ندارد و قلمروهای متفاوتی را اشغال می‌کنند، باید گفت که کانی‌های آلومینیم‌دار با عامل OH بالا مانند گیبسیت در نمونه‌ها حضور ندارند.

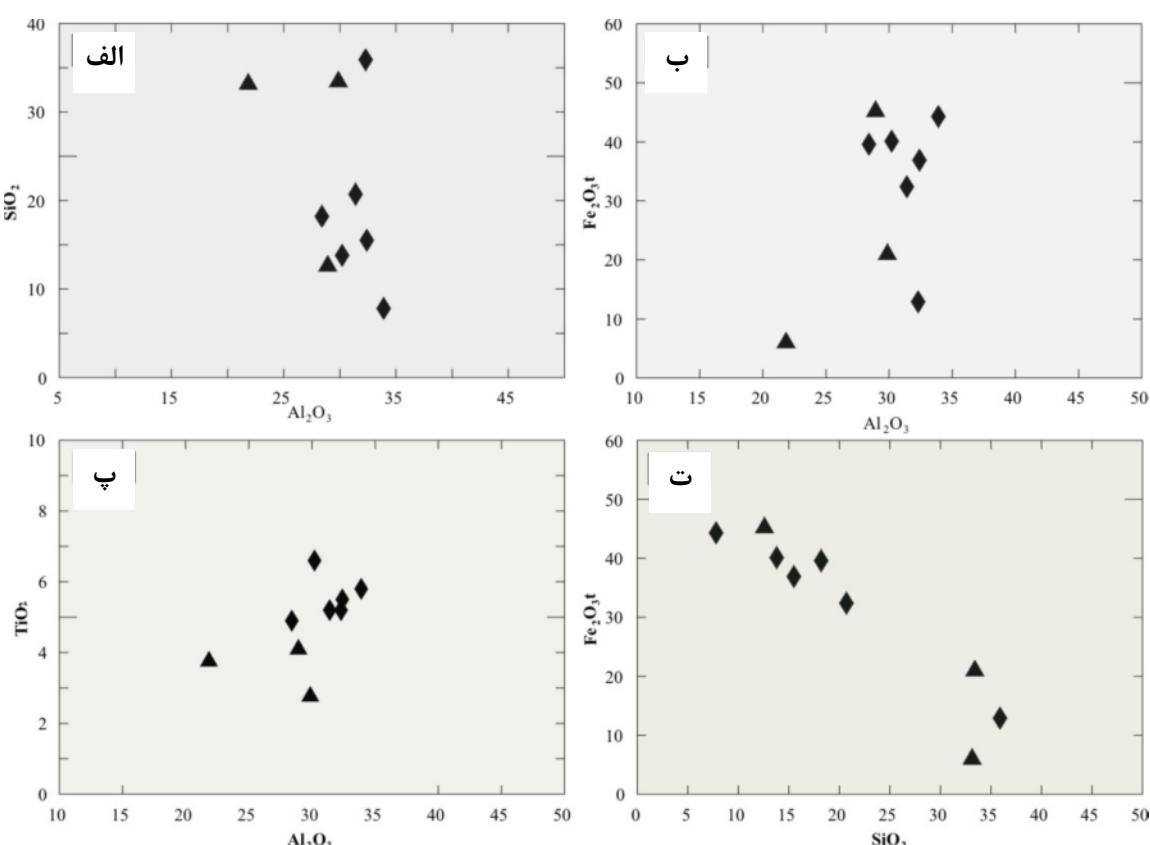
بحث و برداشت

شرايط تشکيل و ژنز احتمالي

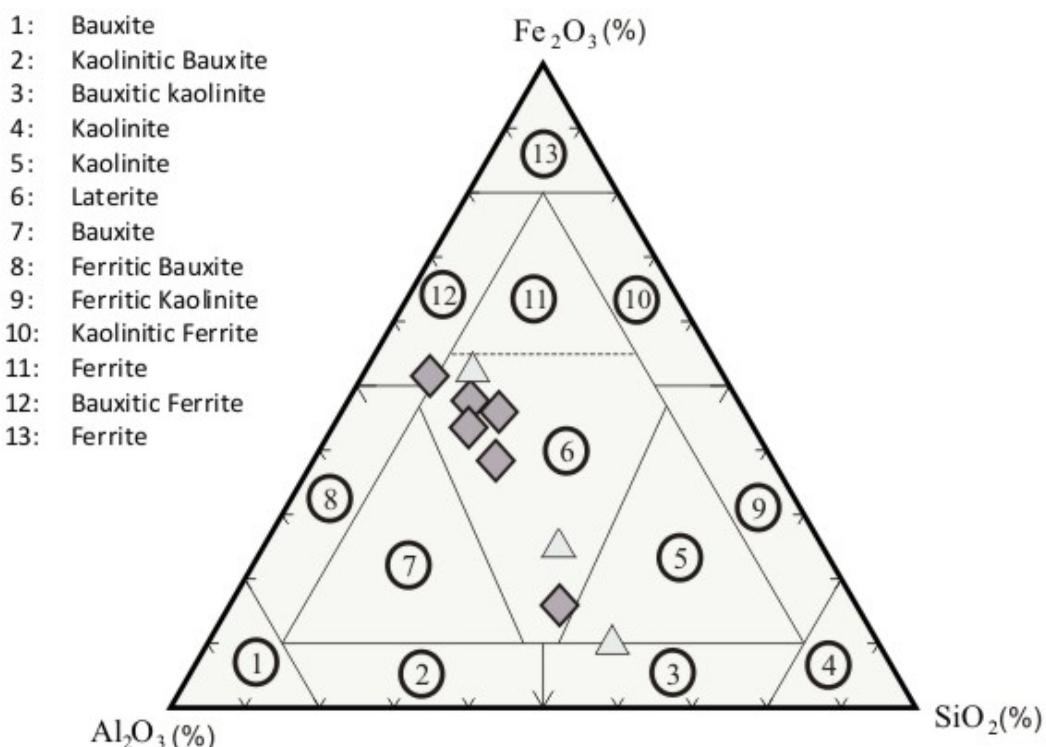
نبود چينه‌شناسي طي پرميin بالايي- ترياس پايني در بخش- های گسترهای از جنوب استان آذربایجان غربی و كردستان به‌وسيله تشکيل افق بوکسيت- لاتریت آشکار شده است. اين کانسار را می‌توان از نوع کارستی با بستر کربناتی (آهکی- دولومیتی) محسوب داشت که در بيشتر مناطق مورد بررسی با واحدهای سنگی به سن ترياس بالايي پوشانده شده است. شكل کانسار لایه‌ای پیوسته تا نيمه پیوسته (چينه‌ای) بوده و همبری آن به ویژه با سنگ‌های کمر پاين تيز (شارپ) است. افق معدنی حيدرآباد از مجموعه کانی‌های هماتیت، دیاسپور، كلریت‌وید، كرنودوم، كلریت و به مقدار كمتر روتیل، مگنتیت و پیریت تشکيل يافته و ایلیت/موسکویت نیز تنها در يك نمونه گزارش شده است (جدول ۱).

لاتریتی و در مقابل آلومینو سیلیکات‌ها در بخش روش بيشتر است. علاوه بر اکسیدهای اصلی تعدادی از عناصر کمیاب شامل عناصر نامتحرك مثل Zr و Cr نیز برای نمونه‌های معرف حيدر آباد آنالیز شدند (جدول ۲). با توجه به اين جدول روند سیستماتیک و معنی‌داری بين عناصر کمیاب با اکسیدهای اصلی در نمونه‌های مختلف دیده نمی‌شود. عناصر Zr, Cr در مقادير نسبتاً قابل توجهی در مقایسه با بوکسیت‌های مناطق مختلف جهان [۷] تمرکز دارند به طوری که ppm از Zr ۱۴۰۰-۱۶۰۰ و Cr ۱۱۰۰-۱۲۰۰ در نوسانند.

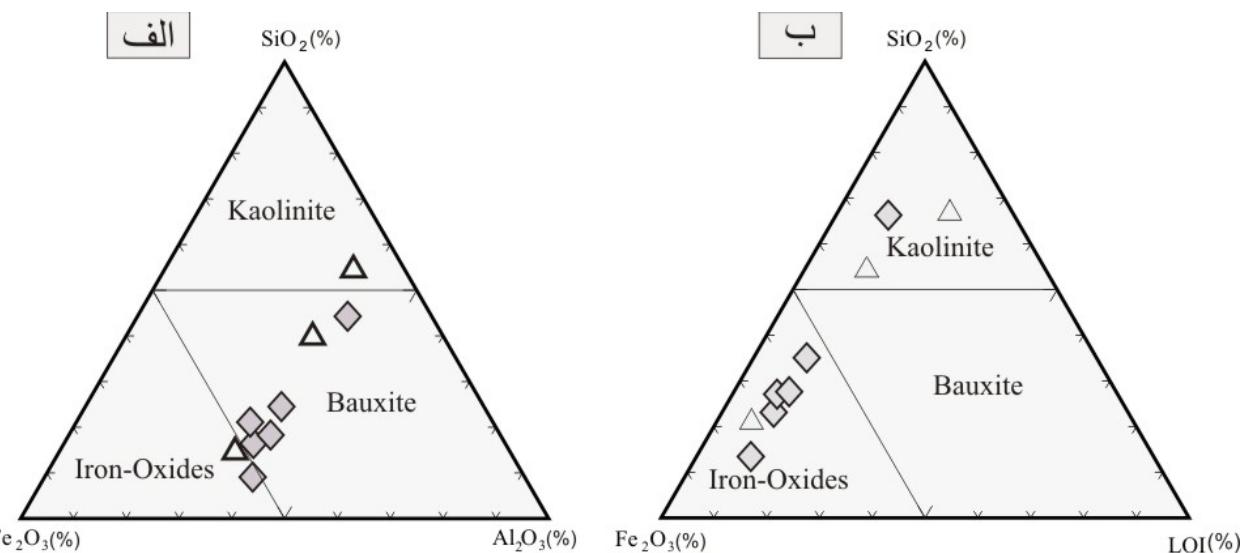
بر اساس تقسیم‌بندی کانی‌شناسی آليوا [۱۲] اغلب نمونه‌های مورد بررسی از کانسار حيدر آباد در گسترهای لاتریت و کمتر در گسترهای فریت بوکسیتی و کائولینیت بوکسیتی قرار می- گیرند (شکل ۶). با وجود بر این بنا بر نمودار سه تایي SiO_2 - Al_2O_3 - Fe_2O_3 (شکل ۷-الف) شرايط زمين‌شناسي- آب و هوایي ديرين در منطقه مورد بررسی فرايند لاتریتی شدن فرايند بوکسیتی شدن را ياري کرده است که اين می‌تواند سبب تحرك و تمرکز آلومینیم شود [۱۳]. شکل ۷-ب نيز با توجه به



شکل ۵ نمودارهای دوتایی تغییرات Al_2O_3 نسبت به اکسیدهای SiO_2 (الف)، TiO_2 (ب) و Fe_2O_3 (پ) و SiO_2 (ت)؛ نمونه-های با نماد مثلثی از کانسار حيدر آباد است و بر گرفته از [۸] است.



شکل ۶ نمودار سه تایی $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-Fe}_2\text{O}_3$ [۱۲] و موقعیت نمونه‌های مورد بررسی از کانسار حیدر آباد در آن؛ نمونه‌های با نماد مثلثی بر گرفته از [۸].

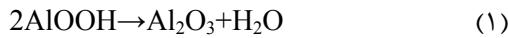


شکل ۷ نمودارهای سه تایی $\text{SiO}_2\text{-Fe}_2\text{O}_3\text{-LOI}$ (ب) و موقعیت نمونه‌های مورد بررسی از کانسار حیدر آباد در آن؛ نمونه‌های با نماد مثلثی بر گرفته از [۸]، نمودارها از [۱۳].

آهن‌دار (هماتیت) با تبدیل و گذر تدریجی قابل تفکیک است. وجود کانی‌های دگرگون شامل کرندوم، کلریتوئید و کلریت از یک طرف و آثار تبلور دوباره در سنگ‌های کربناتی کمر بالا و پایین، چگالی بالا و فشردگی ماده‌ی معدنی و نبود دگرشکلی

بر اساس بافت، رنگ و کانی‌شناسی، افق معدنی مورد بررسی به دو افق تیره رنگ غنی از کانی‌های آهن‌دار و کرندوم (افق بالایی) و کرم تا کرم-سبز رنگ غنی از آلومینوسیلیکات‌های ورقه‌ای مانند ایلیت-موسکوویت و فقیر از کرندوم و ترکیبات

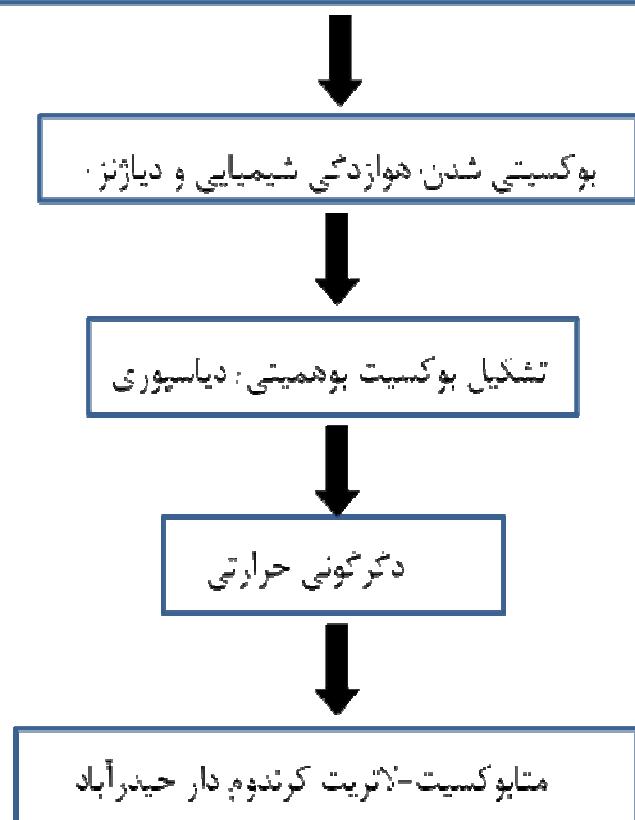
طی دگرگونی و در نتیجه واکنش‌های زیر، بخشی از بوهیمیت یا دیاسپور و هماتیت می‌تواند به کرندومن و مگنتیت تبدیل شود:



طی این نوع دگرگونی ترکیب شیمیایی کلی و ژئوشیمی عناصر کمیاب بوکسیت تغییر محسوسی نداشته و فرآیند ایزوشیمیایی است. این فرآیند بدون تاثیر موثر آبگون‌های گرمابی صورت گرفته است و اندک کانی‌های آبدار تشکیل شده در برخی رگچه‌های میکروسکوپیکی با مقدار محدودی از آب موجود در سیستم که در نتیجه‌ی تبدیل کانی‌های آلومینیم آبدار (بوهیمیت/دیاسپور) به کرندومن آزاد شکل گرفته‌اند، به وجود آمده‌اند. خلاصه‌ای از فرآیندهای موثر در شکل‌گیری کانسار حیدرآباد در نمودار شکل ۸ آورده شده است.

قابل توجه در تشکیل دهنده‌هایی همچون گرهک‌ها و پیزولیت‌ها حاکی از تاثیر گرمای توده‌های آذرین در دوره‌ی پس از تشکیل بوکسیت - لاتریت دارد. رخدمنوی از این توده‌های آذرین در منطقه‌ی بالستان به سن کرتاسه بالای - بالتوسن وابسته به فاز لارامید [۱۴] پدیدار شده است. در واقع بوکسیت - لاتریت حیدرآباد را می‌توان ارتوبوکسیتی در نظر گرفت که نخست در شرایط آب و هوایی گرم و مرطوب تشکیل شده و سپس علاوه بر تحمل فرآیندهای دیاژنیکی، دستخوش دگرگونی گرمایی آبزدایی شده و مجموعه کانی‌ای جدید با ماهیت دگرگونی پدیدار شده است. فقدان گیبسیت، گوتیت، کائولینیت و فراوانی کلریتوئید، کرندومن و پیدایش مگنتیت در برخی نمونه‌ها ویژگی‌های شاخص کانی‌شناسی بوکسیت - لاتریت حیدرآباد در مقایسه با کانسارهای بوکسیتی دیگر شمال غربی ایران است.

بالا آمدگی، فرسایش و انباشت سنگ مادر بوکسیت در دپرسیون سنگ‌های گربناته پرمن با لایه



شکل ۸ خلاصه‌ای از فرآیندهای موثر در تشکیل و شکل‌گیری کانسار بوکسیت-لاتریت حیدرآباد به صورت شماتیک.

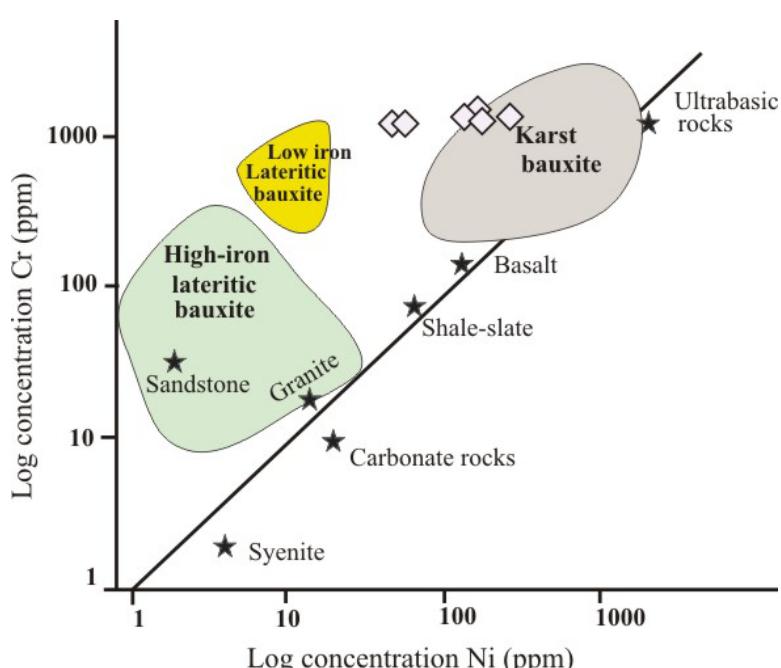
(آرژیلیتی) هستند، از نظر بافت و ترکیب به سنگ‌های در زیر قرار گرفته (بستر) به عنوان خاستگاه احتمالی، وابستگی خاصی نشان نمی‌دهند. بعبارت دیگر سنگ‌های خاستگاه احتمالی آن‌ها را بایستی از محیط اطراف، مانند خاکسترها آتشفشارانی، سنگ‌های مافیک یا قطعات ناشی از پی سنگ و اجزای آرژیلیت سنگ‌های کربناتی [۱۷، ۱۸].

با هدف کنترل سنگ خاستگاه احتمالی کانسار مورد بررسی از تمرکز عناصر Cr و Ni در نمودار دوتایی [۱۹] استفاده شده است (شکل ۹). چنانکه در این شکل دیده می‌شود، اغلب نمونه‌های معرف کانسار حیدرآباد در گستره‌ی بوکسیت‌های کارستی با سنگ مادر احتمالی واقع در ترکیبات اولترا بازیک و بازیک (مثل بازالت) واقع شده‌اند. وجود رخنمونی از دایک و سیل‌های مافیک (دیابازی) در ناحیه‌ی حیدرآباد- قپی‌علی بابا را شاید بتوان از این دیدگاه، یک پتانسیل احتمالی سنگ مادر برای بوکسیت- لاتریت پیشنهاد کرد. مقادیر اندکی از کانی‌های باقیمانده مانند پلاژیوکلاز در برخی نمونه‌ها در این خصوص قابل توجه است. چنین سنگ خاستگاه احتمالی برای بوکسیت منطقه‌ی "کانی شیته" بوكان [۲۰] و منطقه‌ی "علی بالتالوی" شاهین دز [۲۰] نیز قبلاً پیشنهاد شده است.

یک توافق کلی در مورد کانی‌شناسی بوکسیت‌ها وجود دارد و آن این است که اغلب بوکسیت‌های کارستی (به جز بوکسیت‌های جامائیکا) بوهمیتی یا دیاپسپوری هستند. همچنین توافق بر این است که بوکسیت‌های قدیمی معمولاً بوهمیتی و بوکسیت‌های جدید گیبسیتی‌اند. به باور برخی از پژوهشگران، گیبسیت اولین کانی است که در بوکسیت پدیدار می‌شود و دگرگونی ضعیف و شدید نیز به نوبه خود این کانی را به ترتیب به دیاپسپور و کرونودوم تبدیل می‌کند [۲۱].

در رابطه با انواع بافت‌های نهشته‌های بوکسیتی، ظهور بافت‌های گرهکی همراه با تجمع ترکیبات Fe دار در طی بوکسیتی شدن کارستی در شرایط آب و هوایی گرم‌سیری در مناطق مدیترانه‌ای به خوبی شناخته شده است [۱۵]. همچنین وجود اووئیدهای آهن‌دار مانند آنچه در حیدرآباد مشاهده می‌شود را می‌توان از هوازدگی تحت شرایط آب و هوایی گرم‌سیری از طریق یک فرآیند خاکزایی (Pedogenic) دانست [۱۵].

ماهیت سنگ مادر احتمالی
بوکسیت‌های لاتریتی با بستر کربناتی آهکی- دولومیتی خالص (مانند نهشته‌ی حیدرآباد) که بدون تشکیل دهنده‌های رسی



شکل ۹ نمودار دوتایی تغییرات عناصر Cr و Ni (لگاریتمی) [۱۹] و موقعیت نمونه‌های مورد بررسی از کانسار حیدرآباد در آن؛ موقعیت سنگ‌های خاستگاه احتمالی به نام و با علامت ستاره مشخص شده و قلمرو انواع بوکسیت نیز در نمودار نشان داده شده است.

- [۸] شرکت منطقه‌ای معادن آذربایجان غربی، "گزارش اکتشافی بوکسیت حیدرآباد ارومیه"، ۱۳۷۴، ۴۰ صفحه.
- [۹] امامعلی پور ع، "بررسی منابع اولیه کانی‌های ساینده در استان آذربایجان غربی و امکان کاربرد آن‌ها در صنعت، گزارش طرح پژوهشی"، سازمان صنایع و معادن آذربایجان غربی، ۱۳۸۶، ۱۴۷ صفحه.
- [۱۰] امامعلی پور ع، "بررسی فراوانی کانی‌های تیتانیم دار در نهشته‌های بوکسیتی استان آذربایجان غربی و امکان فرآوری آن‌ها"، سازمان صنایع و معادن آذربایجان غربی، ۱۳۸۳، ۱۹۲ صفحه.
- [۱۱] امامعلی پور ع، "بررسی فلززایی ذخایر معدنی در گستره استان آذربایجان غربی، گزارش طرح پژوهشی داخلی دانشگاه ارومیه، ۱۳۷۸، ۶۱ صفحه.

- [12] Aleva G.J.J., "Laterites: concepts, geology, morphology and chemistry, International Soil Reference and Information Centre (ISRIC)", Wageningen, The Netherlands, 1994, 169 pp.
- [13] Mutakyahwa M.K.D., Ikingura J.R., Mruma A.H., "Geology and geochemistry of bauxite deposits, Lushoto District, Usambara Mountains", Tanzania, Journal of African Earth Sciences, Vol. 36, 2003, pp. 357–369.

- [۱۴] امامعلی پور ع، "بررسی ژئوشیمیایی توده‌های گرانیتوئیدی و ارائه مدل ژئودینامیکی جای‌گیری آن‌ها در ناحیه شمال و جنوب شهرستان ارومیه، گزارش طرح پژوهشی داخلی دانشگاه ارومیه، ۱۳۸۳، ۴۳ صفحه.

- [15] Mongelli G., "Ce-anomalies in the textural components of Upper Cretaceous karst bauxite from the Apulian carbonate platform (southern Italy)", Chemical Geology, Vol.140, 1997 , pp. 69–79.

- [16] Nahon D., Carozzi A.V., Parron C., "Lateritic weathering as a mechanism for the generation of ferruginous ooids", J Sediment Petrol, Vol. 50, 1980, pp. 1287–1298.

- [17] MacLean W.H., Bonavia F.F., Sanna G., "Argillite debris converted to bauxite during karst weathering: evidence from immobile element geochemistry at the Olmedo Deposit, Sardinia", Mineralium Deposita, Vol. 32, 1997, pp. 607–616.

بر اساس ویژگی‌های زمین‌شناسی، بافتی، کانی‌شناسی و ژئوشیمیایی، افق بوکسیتی-لاتریتی حیدرآباد را می‌توان بوکسیتی کارستی دانست که پس از فرایند دیاژنز و بوکسیتی شدن در شرایط معمول این نوع کانسارها، دگرگونی‌های بافتی و کانی‌شناسی بعدی ناشی از دگرگونی گرمایی را پشت سر گذاشته است. از این رو بوکسیت اولیه می‌تواند ترکیب گیبسیتی داشته و طی فشرده شدن، دیاژنز و خروج یا کاهش آب به بوهیمت و سپس دیاپیور (تفییرات ساختار بلوری) و در ادامه با عملکرد دگرگونی به کرنودوم تبدیل شود. تبدیل و گذر از بافت‌های پیزولیتی و اوئیدی (محیط نهشته شدن پرانرژی) به انواع توده‌های مختلف را نیز می‌توان حاکی از تغییرات ناگهانی در شرایط نهشته شدن دانست.

مراجع

- [1] Harben P. W., "The industrial minerals handybook", 4th Edition, 2003, 296 pp.
- [2] Bardossy G., Karst Bauxites, "Elsevier Scientific Publication", Amsterdam, 1982, 441 pp.
- [3] Combes P.J., "Les diffé'rentes types de bauxites sur substratum carbonaté dans le Languedoc et l'Ariège. Remarques sur la notion d'allochtonie et d'autochtonie", Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, Vol. 274, 1972, pp. 1613–1616.
- [4] Laville P., "La formation bauxitique provençale (France). Séquence des facies chimiques et pale'omorphologie cré'tace'e, Chronique de la Recherche Minière", Vol.461, 1981, pp. 51–68.
- [5] Oggiano G., Sanna G., Temussi I., "Caractères géologiques, gitologiques et geochemiques de la bauxite de la Nurra", In: Cherchi A (eds) Livret-Guide excursion en Sardaigne, Vol. 24–29, 1987, pp. 72–124.
- [6] Combes P.J., "Typologie, cadre géodynamique et genèse des bauxites francaises, Geodinamica Acta, Vol. 4, 1990, pp. 91–109.
- [7] Calagari A.A., Abedini A., "Geochemical investigations on Permo-Triassic bauxite horizon at Kanisheeteh, east of Bukan, West-Azabaidjan, Iran", Journal of Geochemical Exploration, Vol. 94, 2007, pp. 1–18.

Molibdan in Bauxitischen gestermen und problem der stofflichen herkunft des Aluminiums", Travaux de ICSOBA, Vol. 5, 1968, pp, 83–96.

[۲۰] خواجه محمدلو ن، رسائے ا، امامعلی پور ع، "بررسی ژئوشیمیایی و زایش کانسار کائولینیتی-بوکسیتی علی بالتلائی شاهین دژ، فصلنامہ علوم زمین، شماره ۷۲، تابستان ۱۳۸۸.

[18] Brimhall G.H., Lewis C.J., Ague J.J., Dietrich W.E., Hampel J., Rix P., "Metal enrichment in bauxites by deposition of chemically mature aeolian dust", Nature, Vol. 333, 1988, pp. 819–824.

[19] Schroll E., Sauer D., "Beitrag zur Geochemie von Titan, Chrom, Nikel, Cobalt, Vanadium und