ويژگيهاي زمين شناسي و اكتشافي بوكسيت جاجرم (جنوب باختري خراسان شمالي- شمال باختري خراسان بزرگ)

نوشته: دكتر حبيب ملائي* و رضا شريفيان عطار*

Geological and Explorational Characteristics of Jajarm Bauxite Deposit in the South West of Northern Khurasan-Northwest of Greate Khurasan

By: Dr. H. Mollai* & R. Sharifyan Attar*

چكيده

كانسار بوكسيتي جاجرم كه بزرگ‌ترين كانسار بوكسيت شناخته شده در ايران مي‌باشد، در زون ساختاري رشته كوه البرز واقع شده است. در اين منطقه، دو افق بوكسيتي به نامهاي A و B تشكيل شده است. سنگ بستر افق A را كربناتهاي سازند مبارك و سنگ پوشش آن را سازند نسن تشكيل مي‌دهد. افق بوكسيتي B كه كانسار جاجرم را تشكيل مي‌دهد، بر روي دولوميتهاي سازند اليكا قرار گرفته و توسط سازند شمشك پوشيده شده است. همبري مشخص بوكسيت با اين دو سازند بر يك منبع مستقل تأمين كننده بوكسيت دلالت دارد. وجود ريخت شناسي ناهماهنگ همراه با ساختارهاي زمين ساختي، از ويژگيهاي مهم كانسار جاجرم است. گسلهاي تشكيل شده در دو جهت خاوري- باختري و شمالي- جنوبي، ماده معدني به طول 16 كيلومتر را به چهار زون زمين ساختي تقسيم كرده است . بررسيهاي انجام شده نشان مي‌دهد كه حركات زمين ساختي تأثير بسزايي بر كيفيت و كاني شناسي بوكسيت داشته‌اند، به گونه‌اي كه كارستهاي ايجاد شده بيشتر در امتداد صفحه گسل بوده و بين كيفيت بوكسيت با ستبراي آن (ژرفاي كارستي) ارتباط مستقيمي وجود دارد. تشكيل بوكسيت بسيار سخت و فراورده دياسپوري به جاي بوهميت و گيبسيت و تكرار لايه‌هاي بوكسيت از نتايج اين فرايندهاي زمين ساختي است. لذا اين بوكسيت سخت دياسپوري تاثير قابل توجهي بر فرايند توليد آلومينا خواهد داشت. وجود نيمرخهاي ثابت در لايه‌هاي بوكسيت (كائولين- بوكسيت سخت- بوكسيت شيلي-كائولن) در كليه كارستها و حفاريها مشاهده مي‌شود. البته ماهيت كائولن بالايي و پاييني با يكديگر تفاوت دارد. تغييرات شديد تركيب شيميايي بوكسيت (اكسيد آلومينيم بين 30 تا 60 درصد و اكسيد سيليسيم بين 5 تا 39 درصد) از ويژگيهاي خاص بوكسيت جاجرم است. در نهايت، مطالعات فوق وجود يك بوكسيت دياسپوري با بيش از 22 ميليون تن ذخيره تا ژرفاي 250متر در امتداد لايه ماده معدني و كيفيت بين 47 تا 48 درصد Al_2O_3 و حدود 10 درصد SiO_2 را به طور ميانگين تأييد مي‌كند.

كليد واژه‌ها: بوكسيت ، بوكسيت جاجرم ، ويژگي اكتشافي، ويژگي زمين شناسي ، دياسپور

Abstract

The Jajarm bauxite deposit is so far the biggest known bauxite deposit in Iran. This deposit is located in structural zone of Alburz. In this area two bauxite horizons, called A and B, with two stratigraphic gaps can be found. The A horizon is underlained by carbonate rocks of Mobarak Formation and covered by Nesen Formation. The B horizon that constitutes the Jajarm bauxite deposit overlies the dolomite of Elika Formation of the Upper Triassic age and covered by the Shemshak Formation. Sharp contact between bauxite deposit and overlaying as well as underlying units indicate an independent source for bauxite deposit. One of the most important characteristics of Jajarm bauxite deposit is its asymmetrical morphology along the tectonic structure of the area. The geologic setting is striking16 kilometers in E-W direction. In addition to major tectonic elements parallel to the strike, there are a number of minor north-south faults in the area that have tectonically divided the mine area into four regions. Based on these studies the tectonic activities have important role in mineralogy and improving the quality of bauxite deposit. Most of the karsts and sinkholes are along the fault planes and show a positive relationship with thickness and bauxite quality. Hard bauxite and diaspore formation instead of bohemite and gibbsite as well as the repetition of different bauxite layers are the result of these tectonic activities. Therefore, the hard diasporic bauxite has played very important role in the process of alumina production. Constant profiles of: Kaolinite clay-Hard bauxite- Clayey soft bauxite and Kaolinitic clay, from top to bottom can be seen in different

Archive of SID

www.SID.ir

karst and drill holes, respectively. But the nature of upper top kaolinite is different from the bottom one. Mineralogy and variation in chemical composition (Al2O3=30% to 60% and SiO_2 between 5% to 39%) are other special characteristics of Jajarm bauxite deposit.
Based on the exploration activities 22 million tones of diasporic bauxite, up to 250 meters of depth along the layer of ore deposit and Al2O3 content range between 47% to 48% with about 10% of SiO_2 , have been proved.

Key words: Bauxite, Jajarm, Jajarm bauxite, Exploration characteristic, Geological characteristic, Diaspore.

مقدمه

كارخانه ايرالكو اراك به عنوان اولين توليد كننده آلومينيم ايران، در سال 1972 با ورود سالانه 45 هزار تن پودر آلومينا از خارج، كار خود را آغاز كرد . در حال حاضر توليد سالانه كارخانه ايرالكو 120000 تن و نياز واقعي آن 240000 تن پودر آلومينا است. در راستاي قطع وابستگي و استقلال ملي، حذف هزينه ارزي خريد پودر آلومينا و تأمين نياز سالانه از منابع داخلي براي كارخانه ايرالكو در اراك، در اولويت برنامه‌هاي توسعه اقتصادي دولت قرار داشته است. لذا انديشه توليد آلومينا از منابع داخلي مطرح و از سال 1982 با حمايت سازمان ملل، مراحل اجرايي آن آغاز و با جديت بيشتر پيگيري شد. مسائل ارزي، خودكفايي، امنيت در توسعه صنعتي و وجود منابع مختلف كشور همراه با نيروي كارشناسي بالقوه و بالفعل، منجر به بررسي امكان توليد آلومينا از بوكسيت، آلونيت و ديگر مواد آلومينوسيليكاتي مانند نفلين سينيت شد. اين مطالعات اوليه نشان داد كه احداث يك واحد توليد آلومينا با ظرفيت 150 هزار تن در سال، با توجه به وجود معادن مختلف بوكسيت، بويژه بوكسيت جاجرم و فناوري مناسب مانند روش باير، از بوكسيت جاجرم امكان پذير است زيرا تجزيه بيش از هزار نمونه آزمايشگاهي و نمونه‌هاي آزمون فناوري، ميانگين كيفيت بوكسيت بين 47 تا 48 در صد Al_2O_3 و 10/5 درصد SiO_2 را تأييد مي‌كند. مطالعات بعدي در امتداد خاوري منطقه كانسار نشان داده كه هنوز منابع قابل اكتشاف و بررسي در اين منطقه وجود دارد. اصلي‌ترين هيدروكسيدهاي آلومينيم كه به صورتهاي مختلف در سنگ بوكسيت وجود دارد عبارتند از گيبسيت($Al(OH)_3$) و چند ريختي بوهميت و دياسپور با فرمول AlO (OH) . از نظر تئوري، گيبسيت داراي 63/4 درصد اكسيد آلومينيم و36 درصد آب مي‌باشد، درصورتي كه بوكسيتهاي منوهيدرات داراي 85 درصد اكسيد آلومينيم و 15 درصد آب هستند (Sinha, 1986). ذخيرة برآورد شده بوكسيت در دنيا 55 تا 77 ميليارد تن است كه از اين مقدار 33 درصد در آمريكاي جنوبي، 22 درصد در آفريقا، 17 درصد در آسيا، 13 درصد در اقيانوسيه و 10 درصد ديگر در ساير نقاط دنيا كشف شده است. براي توليد يك تن آلومينا، نياز به دو تا سه تن بوكسيت و براي توليد يك تن فلز آلومينيم، نياز به دو تن آلومينا است (Alumina production 2000,Neil N 1998 Petterson 1984).

هدف و روش كار

هدف از اين مقاله بررسي زمين شناسي و ساختاري محدوده كانسار و ارتباط
بين ماده معدني با سنگ بستر و پوشش، نقش ريخت شناسي و زمين ساخت در اكتشاف و استخراج، كاني شناسي، مطالعه تغييرات ماده معدني در ژرفا و طول، مطالعه ارتباط بين كيفيت بوكسيت با ستبرا و در نهايت تعيين نوع بوكسيت جاجرم بر اساس نتايج تجزيه موجود مي‌باشد. روش كار را در سه بخش مي‌توان خلاصه كرد :
مرحله اول : كارهاي زمين شناسي صحرايي
مرحله دوم:مطالعات اكتشافي (اكتشافات سطحي و عمقي)
مرحله سوم : مطالعات آزمايشگاهي
كارهاي آزمايشگاهي در چهار مركز تحقيقاتي بوكسيت انجام شده است. 1) مركز تحقيقات آلوترو- اف ك - مجارستان كه در اين مقاله از داده‌هاي آن مركز استفاده نشده است، 2) مركز آزمايشگاهي جاجرم، 3) مركز تحقيقات كرج وابسته به وزارت صنايع و معادن، 4) مركزتحقيقات آلومينياي جواهر لعل نهرو در ناگپور هند براي مطالعه فازهاي كاني شناسي و تهيه استاندارد.

موقعيت جغرافيايي كانسار بوكسيت

كانسار بوكسيت جاجرم در 15 كيلومتري شمال خاوري شهرستان جاجرم (شمال باختري خراسان) و در 175 كيلومتري جنوب باختري بجنورد قرار دارد كه در 600 كيلومتري شمال خاوري تهران و در فاصله 400 كيلومتري شمال باختري مشهد قرار دارد. كانسار بوكسيت جاجرم در كوه زو و در دامنه سلسله جبال البرز واقع گرديده است. كوه زو با شيب زياد و ارتفاع 800 تا 900 متر از دشت جاجرم و 1800 متر نسبت به سطح دريا قرار دارد . منطقه داراي آب و هواي خشك وكويري با بارندگي كم در حدود 150 ميلي‌متر در سال و بادهاي موسمي شديد است. جمعيت اين بخش نزديك به 12 هزار نفر است و با جاده‌هاي آسفالته با شهرهاي بجنورد، شاهرود

Archive of SID

www.SID.ir

و سبزوار و از طريق يك جاده آسفالته به طول 30 كيلومتر كه توسط طرح توليد آلومينا بازسازي و آسفالت شده است، به ايستگاه راه آهن جاجرم ارتباط دارد .

تاريخچه مطالعاتي

زون ساختاري البرز در شمال ايران و بويژه سازند شمشك، به دليل اهميت اقتصادي آن هميشه مورد توجه بوده و توسط افراد مختلف، با اهداف گوناگون مورد مطالعه قرار گرفته است كه نام بيشتر آنها در رساله دكتراي افشار حرب(1979) آورده شده است. اولين گزارش از منطقه توسط واله با بررسي عكسهاي هوايي و به عنوان يك نقطه سياه ارائه شد و در همان سال توسط صميمي نمين و ملاك پور 100 نمونه جمع آوري شده از صحرا، مورد تجزيه شيميايي قرار گرفت. نتايج حاصل نشان داد كه Al_2O_3 بين 41/30 تا 69/2 درصد و SiO_2 بين 4 تا 19/3 درصد در تغيير است. مطالعات بعدي توسط Balky et al.(1972) نشان داد كه دامنه تغييرات بوكسيت جاجرم به مراتب بيشتر از اين ارقام است. چينه شناسي و زمين ساخت منطقه توسط افشار حرب(1979) مطالعه و ستون چينه شناختي آن رسم گرديد . جمشيد پور(1987) مطالعه البرز را با نگاهي ويژه به سازند شمشك انجام داده است. خيري (1988) در رساله كارشناسي ارشد خود كاني شناسي بوكسيت را مورد مطالعه قرار داد و از سال 1983 مطالعات سيستماتيك اكتشافي توسط وزارت معادن و فلزات آغاز شده و در حال حاضر مراحل پاياني اكتشافي خود را براي تأمين خوراك يك كارخانه 280 هزار تني توليد آلومينا واقع در مجاورت معدن طي مي‌كند. ملائي و همكاران (1993) مقاله‌اي درمورد ژئوشيمي بوكسيت جاجرم ارائه دادند. ملائي (1373) مقاله‌اي در مورد مطالعات اكتشافي و فناوري بوكسيت در چهارمين سمپوزيوم معدنكاري ايران ارائه داده‌اند. ملائي (1994) مقاله‌اي با عنوان زمين شناسي و كانه آرايي ارائه نموده و در آن علت عدم كانه آرايي جاجرم توضيح داده شده است. بزرگ ابراهيمي(1994) در رساله كارشناسي ارشد خود روشهاي استخراج بوكسيت جاجرم را مورد مطالعه قرار داد. ملائي و ترشيزيان (2002) در دو مقاله جداگانه به اهميت ژوراسيك و اهميت اقتصادي سازند شمشك در ژوراسيك با نگاه ويژه به معادن زغال سنگ و بوكسيت پرداخته‌اند. جعفر زاده(1379) و ناصري(1382) در رساله‌هاي كارشناسي ارشد خود ژئوشيمي و ژنز بوكسيت را مورد مطالعه قرار داده و براي اولين بار به عناصر كمياب در بوكسيت جاجرم پرداخته‌اند. به اعتقاد ايشان منشأ بوكسيت جاجرم، سنگهاي آتشفشاني زير سازند شمشك است. قصراني (1373) در رساله كارشناسي ارشد خود مطالعاتي درباره اكتشاف بوكسيت كال جعفرآباد كه بي ارتباط با بوكسيت جاجرم نيست انجام داد. داودي و همكاران(2002) درمقاله‌اي به ويژگيهاي بوكسيت البرز و فلات مركزي ايران براي فرايند انحلال لوله‌اي پرداخته و به عنوان نمونه بوكسيت مناطق شاهبولاقي، ماندون و صدرآباد را بررسي كرده‌اند. اين بوكسيتها از نظر كاني شناسي مانند كانسار جاجرم و ذخيره آنها حدوداً 4/855 ميليون تن گزارش كرده‌اند. در اين مقاله، ذخيره بوكسيت ايران بين 80 تا 100 ميليون تن برآورد شده است در صورتي كه ذخيره بزرگترين كانسار بوكسيت ايران 22 ميليون تن است.

زمين شناسي منطقه

كانسار بوكسيتي جاجرم در كوه زو كه بخشي از زون ساختاري البرز خاوري در شمال ايران است، رخنمون دارد. در چاپ اول نقشه زمين ساخت اروپا (1962)، البرز به شكل يك ائوژئوسنكلينال از چين خوردگي آلپي نشان داده شده كه جزئي از كمربند چين خوردگي آلپ به شمار آمده و ادامه قفقاز كوچك و تركيه شمال خاوري است (نبوی، 1355؛ افتخارنژاد، 1359؛ درويش زاده،1370؛ حداد كاوه و حسن عليزاده، 1368). بر اساس مطالعات افشـــــــار حرب (1979) و واحد اكتشاف طرح توليد آلومينـا (گزارش اكتشافي 1369-1371) قديمي‌ترين رسوبات بيرون زده ساختار منطقه متعلق به سازند پادها با سن دونين زيرين است كه بر روي اين سازند به ترتيب سازندهاي خوش ييلاق (دونين مياني و بالايي) و سپس سازند مبارك (كربنيفر) قرار دارد. بر روي اين سازند، يك افق بوكسيتي به نام بوكسيت افقA قرار دارد. به نظر افشارحرب(1979)، جعفر زاده (1379)، ناصري (1382) و واحد اكتشافي بوكسيت جاجرم(1369-1371) سنگ پوش اين بوكسيت را سازند سرخ شيل (تریاس زيرين) تشكيل مي‌دهد ولي در مطالعات انجام شده توسط آقايان علوي نائيني (1372)، درويش زاده (1370)، پرتوآذر (1374)، مذاكرات شفاهي با فرخ قائمي و آريائي، سنگ پوش اين افق بوكسيتي را سازند نسن تشكيل مي‌دهد. مرز رسوبات سازند نسن با رسوبات تریاس (سازند الیکا) تدريجي است. بين اين سازند و سازند الیکا در برش آمل وخاشاچال، قشرنازكي از لاتريت و بوكسيت وجود دارد كه تجزيه شيميايي عناصر لاتريتي، 39 درصد اكسيد آلومينيوم، 42 درصد اكسيد سيليسيم و3 درصد اكسيد آهن را گزارش شده است. اين لايه لاتريتي نشانگر سطح فرسايش است. اين ويژگي بيانگر اين است كه لايه‌هاي سنگ آهك سازند الیکا با ناپيوستگي همشيب سازند نسن را مي‌پوشاند(پرتو آذر،1374). سازند دولوميتي الیکا (تریاس زيرين- مياني) سنگ بستر ماده معدني بوكسيت جاجرم يا افق بوكسيتي B را تشكيل

www.SID.ir
Archive of SID

مي‌دهد (شكل 1). سنگ بستر در بيشتر نقاط در تماس با ماده معدني، در سطح به رنگ صورتي يا سرخ روشن درآمده است. اين تغيير رنگ نتيجه نفوذ تدريجي محلولهاي آهن دار از ماده معدني به درون درز و شكافهاى موجود در دولوميتهاي سنگ بستر است. سازند شمشك (ژوراسيك) سنگ پوش يا كمر بالیا كانسار را تشكيل مي‌دهد (جدول 1). شكل 2 مقطع شماتيك سازند شمشك را نشان مي‌دهد. دوره ژوراسيك در اين منطقه دربرگيرنده سه سازند مهم شمشك (ژوراسيك زيرين) دليچاي (ژوراسيك مياني) و سازند لار(ژوراسيك بالايي) است. دشتهاي اطراف با رسوبات جوان اواخر دوران سوم پوشيده شده است. لذا تشكيل بوكسيت از نظر زمين‌شناسي و آب هوايي مربوط به شرايطي است كه در محدوده زماني بين توقف رسوبگذاري در سازند اليكا و شروع رسوبگذاري سازند شمشك قرار گرفته است. اين افق بوكسيتي بر اثر فرسايش و انتقال بخشي از سازند شمشك از منطقه، پديدار شده است . هرچند در بعضي نمونه‌هاي دستي، آثار همبري تدريجي با سنگهاي سازند شمشك مشاهده مي‌گردد ولي بوكسيت هميشه داراي يك همبري واضح با كمر پايين (دولوميت) و همچنين كمر بالا (شمشك) در روي زمين مي باشد. اين مرز مشخص دليل بر توقف رسوبگذاري قبل و بعد از تشكيل بوكسيت است زيرا در غير اين صورت، بايد ارتباط ماده معدني با سنگ بستر و يا پوشش به صورت تدريجي باشد.

از نظر زمين شناسي ساختاري، منطقه مورد مطالعه شامل تعدادي تاقديس و ناوديس با امتداد تقريبي خاوري تا شمال خاور- جنوب باختر است (خاک خوب، 1372). منطقه، تحت تأثير رخدادهاي زمين ساختي شديدي قرارگرفته و اين امر موجب تشكيل چين خوردگي در سازند شمشك و گسلهايي در سنگهاي كربناتي شده است. گسلها در دو جهت تقريباً خاوري- باختري و شمالي- جنوبي رخ داده‌اند (شكل 3). اين امر موجب شده تا بتوان معدن بوكسيت جاجرم را با در نظرگرفتن خصوصيات ريخت شناسي و ساختار زمين ساختي از خاور به باختر به چهار بخش اصلي تقسيم بندي كرد:

1- سنگ تراش در بخش انتهايي خاوري معدن
2- تاگويي در بخش باختري بعد از سنگتراش
3- بلوك زو در بخش مركزي معدن
4- بخش انتهايي باختري موسوم به بلوك گلبيني .

توصيف ماده معدني

ريخت شناسي منطقه به دليل پديده هاي زمين ساختي، ناهماهنگي بسيار زيادي پيدا كرده است به طوري كه در انتهاي باختري كانسار از يك شيب ملايم حدود 30 درجه شروع و به طرف خاور، بر ارتفاع و ستيغ و نيز شيب اضافه شده به طوري كه تا حدود 80 درجه شمالي مي‌رسد. در اين منطقه ارتفاع ستيغ كوه زو از دشت جاجرم به 800 تا 900 متر مي‌رسد. در اين منطقه، دو افق بوكسيتي به نامهاي A و B مربوط به دو دوره مختلف زمين شناسي رخنمون دارند و هر دو افق با روند خاوري ـ باختري به طول تقريبي 16 كيلومتر، بر روي يال شمالي كوه زو قرار گرفته‌اند.كوه زو به شكل يك تاقديس با دو پلانج خاوري ـ باختري توسط يك راندگي در اين امتداد به صورت چين تك شيب پديدار شده كه نواحي ستيغ و يال جنوبي آن فرسايش يافته است.

افق بوكسيتيA در مرز بين سازند مبارك و نسن اما افق B بر روي دولوميتهاي سازند اليكا قرار دارد و توسط شيل و ماسه سنگهاي سازند شمشك پوشيده شده است. اين افق دربخش باختري معدن در نتيجه يك گسل رورانده در دولوميت اليكا تكرار شده است. در افق بوكسيتي A دو نوع ماده معدني با تغييرات زياد ديده مي‌شود، نوع اول شامل كائولن، هماتيت و بخشهاي پيزوليتي به رنگهاي سرخ ارغواني و سرخ تيره و نوع دوم داراي بوكسيت خيلي سخت و دياسپوري به رنگ سرخ تيره و سرخ مايل به قهوه‌اي به صورت پاكتهاي پراكنده با ستبرايي متغير مي‌باشد. تجزيه چندين نمونه نشان داد كه درصد Al_2O_3 كمتر از 40 درصد و SiO_2 بيشتر از 20 درصد است، در صورتي كه مدول مورد قبول براي كارخانه حداقل 4 مي‌باشد (جدول 2 تجزيه چند نمونه از اين بوكسيت را نشان مي‌دهد). با توجه به مطالعات صحرايي و نتايج اوليه حاصل از داده‌هاي آزمايشگاهي و پارامترهاي حاكم بر اكتشاف و استخراج، مشخص شد كه افق بوكسيتي A از كيفيتي قابل قبول براي توليد آلومينا برخوردار نيست و به همين دليل به آن بوكسيت غير صنعتي گفته مي‌شود، لذا مطالعات زيادي روي آن صورت نگرفت. (جدول 1 تجزيه چند نمونه از اين بوكسيت را نشان مي‌دهد). در صورتي كه كيفيت بوكسيت افق B به مراتب بهتر از افق A است و به همين خاطر بيشترين كارهاي اكتشافي و استخراجي بر روي اين افق، بويژه در محدوده گلبيني و زو، انجام مي‌شود كه مجموعاً 8/25 كيلومتر از 16 كيلومتر را در بر مي‌گيرد. گسترش بوكسيت در سطح زمين به صورت لايه‌اي به نظر مي‌رسد در صورتي كه مطالعات زيرزميني و استخراج بلوك 2 نشان داده كه بوكسيت در بعضي از نقاط به شكل لايه‌اي غير پيوسته، عدسي و عمدتاً به صورت كارستهاي ژرف با ستبراي تا 40 متر بر روي سنگ بستر(دولوميتهاي اليكا كمر پايين) قرار دارد. شكل 4 تصاوير رخنمونهاي بوكسيت را نشان مي‌دهد.

Archive of SID

www.SID.ir

بوکسیت به دلیل هوازدگي سازند شمشك (کمر بالا) و انتقال مواد از محیط، رخنمـــون پیدا کرده است. این ساختـــار تقریباً شبیه به ساختـــــار بوکسیت دوگنا کوزو و مورتاس (Dougna Kuzu & Mortas) ترکیه مي‌باشـــــد که سنگ بستر آن غیر همسطح و موجي شکـــــل بوده و بوکسیت با ستبراي بین 1 تا 40 متر حفـــــره‌هاي بزرگ و گودالهاي کـارستي را پر کرده‌اند (Hoseyin Öztork et al., 2002).

کاني شناسي ماده معدني

در کانسار جاجرم دو نوع بوکسیت با دو کیفیت متفاوت وجود دارد، یکي بوکسیت نرم وشیلي که گاهي اثر لایه بندي در آنها دیده مي‌شود. این بوکسیت داراي لمس صابوني و نرم شبیه کائولن بوده به طوري که مدتي بعد از استخراج که در معرض هواي آزاد قرار مي‌گیرد، از هم پاشیده شده و در دست به پودر تبدیل مي‌شود. رنگ این بوکسیتها غالبا سرخ روشن تا سرخ جگري است. از نظر کاني شناسي عمدتا از کائولن وهماتیت همراه با مقدار ناچیز دیاسپور و تیتانیم تشکیل شده‌اند. این نوع بوکسیت به عنوان بوکسیت شیلي، باطله و غیرصنعتي توصیف مي‌شود. نوع دیگر بوکسیت، بوکسیت سخت دیاسپوري است. این بوکسیت داراي لمس زبر و سختي بین 5 تا 6 داردکه گاه به 7 نیز مي‌رسد وبه عنوان بوکسیت صنعتي نامگذاري شده است. رنگ کانیها علاوه بر شرایط تشکیل، عمدتاً به ترکیب کاني شناسي مانند کانیهاي آلومینیم، آهن و سیلیس و بویژه مقدار آهن موجود در آن بستگي دارد. طي چهار سال فعالیت در معدن بوکسیت جاجرم به کمك واحد اکتشاف، افزون بر دوازده رنگ بوکسیت با کیفیتهاي متفاوت از هم تفکیك شده است. به گونه‌اي که رنگ بوکسیت از سفید مایل به خاکستري، خاکستري روشن تا تیره، قهوه‌اي روشن و قهوه‌اي جگري در تغییر است. زمینه‌هاي مختلف رنگهاي سرخ، به دلیل اکسایش سوپرژن هماتیت موجود در سنگ است. بر اساس مطالعات کاني شناسي انجام شده در چهار مرکز مختلف تحقیقاتي بوکسیت، بوکسیت جاجرم یك بوکسیت دیاسپوري همراه شاموزیت است که کانیهاي آهن، تیتانیم و سیلیسیم به عنوان کانیهاي اصلي، آن را همراهي مي‌کنند.

مهمترین عوامل کنترل کننده فرایند تشکیل بوکسیت عبارتند از : شرایط آب وهوایي، پوشش گیاهي، ریخت شناسي، زهکشي محیط، PH و Eh . به طور کلي پس از هوازدگي کامل فیزیکي و شیمیایي کانیهاي آلومینوسیلیکاتي سنگهاي آذرین ویا انحلال سنگهاي کربناتي، سیلیکاتهاي آلومینیم هیدرولیز گردیده و اسید سیلیسیك کلوییدي و هیدروکسید آلومیتیم تشکیل مي‌شود. بعضي از کانیهاي سیلیکاتي به صورت محلول در مي‌آیند و در سطح هر بلور، ظرفیتهاي سیر نشده‌اي وجود دارد که مي‌تواند به عنوان کانون واکنش با مولکولهاي آب عمل کند. در طي این عمل (هیدراسیون وهیدرولیز) بازهاي قوي مانند پتاسیم، سدیم، کلسیم و منیزیم از محیط خارج شده و بخشي از آنیونهاي اکسیژن موجود در شبکه‌هاي بلور، احتمالا به وسیله یونهاي هیدروکسید جایگزین مي‌شوند. آلومینیم براي تشکیل همارایي شش ترجیحي خود، شش یون OH را به دور خود خواهد کشاند، در حالي که سیلیسیم با همارایي چهار باقي خواهد ماند. یونهاي فلزهاي قلیایي باثبات‌ترین یونها بوده و به دنبال آنها یونهاي قلیایي خاکي قرار مي‌گیرند و بخش عمده این عناصر به صورت محلول حمل مي‌شوند. از سوي دیگر، آلومینیم تا سیلیسیم و آهن، معمولا خیلي زود به صورت نامحلول مجدداً رسوب مي‌کنند. pH محیط در انتقال اکسید آلومینیم و اکسید سیلیسم به صورت محلول وهمچنین در رسوبگذاري دوباره آنها نقش اساسي دارد.

$$CaCO_3 + H_2O \longleftrightarrow Ca^{+2} + HCO3^{-} + OH^{-}$$

$$CaAl_2Si_2O_8 + 6H_2O \longrightarrow 2Al_2Si_2O_5(OH)_4 + 2Ca^{+2} + 4OH^{-}$$

شرایط اسیدي زماني رخ مي‌دهد که اسیدهاي آلي با اسیدهاي معدني وجود داشته باشند و در نتیجه، هیدرولیز شدن آلومینیم و هیدراته شدن آهن به وسیله واکنش اکسیدي رخ مي‌دهد و براي آنها فرایندهاي زیر پیشنهاد مي‌شود (Dominique et al.,1984).

$$4FeS_2 + 15O_2 + 10H_2O \longrightarrow 4Fe\,O(OH) + 8H_2SO_4 \quad (PH = 2\text{-}3)$$

$$Fe^{3} + H_2O \longleftrightarrow Fe(0H)_2 + H^{+}$$

$$Al^{+3} + H_2O \longleftrightarrow Al(OH)^{2} + H^{+}$$

از دیدگاه ترمودینامیك انتظار مي‌رود که بر اثر هوازدگي اولیه فلدسپار، کاني گیبسیت تولید شود(White,1999).

$$KAlSi_3O_8 + 7H_2O + H^{+} \longleftrightarrow K^{+} + 3H_4SiO_{4(aq)} + Al(OH)_{3(Sol)}$$

PH در انتقال اکسید آلومینیم و اکسید سیلیسیم به صورت محلول و همچنین در رسوب گذاري دوباره آنها نقشي اساسي دارد. در PH کمتر از 4، اکسید آلومینیم به آساني قابل حل بوده، اما سیلیس انحلال پذیري کمتري دارد. در این گستره از pH، اکسید آلومینیم از محلول خارج مي‌شود اما سیلیس با مواد مادر باقي مي‌ماند. به هرحال، pH محیطهاي عادي به ندرت به این حد مي‌رسد. از pH 5 تا 9 سیلیس اندکي افزایش یافته اما اکسید آلومینیم در این pH عملا انحلال ناپذیر است(Mason,1966).در هر صورت، دریك محیط با شدت هوازدگي مناسب، کانیهاي اولیه مانند پیروکسن، اولیوین و هورنبلند، درمرحله اول تبدیل به اکسیدهاي آبدار بي‌شکل مي‌شوند و در مرحله بعد هریك از عناصر آزاد شده

Archive of SID

www.SID.ir

مانند تیتانیم،آلومینیم، آهن و سیلیسم،کانیهاي ثانویه خود را به ترتیب مانند آناتاز، گیبست، بوهمیت،گوئتیت، هماتیت و مونتموریلونیت تشکیل مي‌دهند.

مطالعات اکتشافي

مطالعات اکتشافي در دو بخش سطحي و عمقي انجام شده است. بخش سطحي شامل تهیه نقشه‌هاي توپوگرافي، نقشه‌هاي زمین شناسي و زمین ساختي در مقیاسهاي 20000 / 1، 1/5000 و 1/1000 همراه با زدن ترانشه‌هاي مختلف در فواصل 100 متري از یکدیگر است که در بعضي مواقع این فواصل به 50 متر کاهش یافته است. در بخش عمقي تاکنون 35000 مترحفاري در350 حلقه گمانه با دستگاههاي وایرلاین (Wireline) حفر و نمونه گیري شده است. شبکه حفاري اولیه به ابعاد 400 * 100 متر در بعضي از نقاط مانند بلوك 6 گلبیني که عدسیهاي کارستي نسبتاً بزرگ مشاهده گردیده تا فاصله 25 * 25 متر کاهش یافته است. در شکل 5 مقطع تیپ گلبیني همراه با محل حفاري چند گمانه و رخنمون مربوطه دیده مي‌شود. اطلاعات مربوط به تناوب رسوب گذاري و تکرار لایه بوکسیت بر اثر عملکرد زمین ساخت در عمق به وسیله این گونه عملیات اکتشافي حاصل شده است(شکل 6). در ادامه اکتشافات به منظور آگاهي از تغییرات ماده معدني در امتداد طولي معدن 2 تونل به طول بیش از 350 متر حفرگردیده است. بر اساس حفاریهاي انجام شده، ستبراي واقعي بوکسیت بین 2 تا 40 متر و ستبراي ظاهري 2 تا 100 متر متغیر است که البته از کیفیت یکساني برخوردار نیستند و نیمرخ افق بوکسیت از سطح به پایین به طورکلي در برگیرنده لایه‌هاي زیر است:

1- کائولن به ستبراي 0/75 تا 0/25 متر
2- بوکسیت سخت به ستبراي بین 30 تا 2 متر
3- بوکسیت شیلي به ستبراي بین 5 تا 3 متر
4- کائولن پیریت‌دار به ستبراي0/25 تا 1/5 متر.

به طورکلی تغییر کانی شناسی در نیمرخهای بوکسیت امري طبیعی است ولی در کانسارهای مختلف با هم فرق مي‌کند(کلاگریو همکاران،1382 ;Maclean,1997;Leonid,1999). ستبراي بوکسیت در کیفیت آن تأثیر بسزایي داشته است. بدین معني که در کارستها و عدسیهاي نسبتاً بزرگ و ستبر، بوکسیت کیفیت بالایي دارد، به گونه‌اي که اکسید آلومینیم آنها به 60 درصد مي‌رسد. ولي جاهایي که ستبراي بوکسیت در آنها از 2 مترفراتر نمي‌رود، Al_2O_3 حدود 40 درصد و SiO_2 حدود 10 درصد و یا بیشتر است. در نتیجه کارستهاي موجود در سنگ بستر، حوضچه‌هاي بسیار خوبي براي انباشت و گرفتار شدن بوکسیت همراه با دیگر عناصر کم تحرك مانند تیتانیم، زیرکنیم و غیره بوده‌اند(Maclean,1990). هر چند که حرکات زمین ساختي همیشه با تشکیل لایه باریك کائولن همراه بوده ولي درمجمـوع بر کیفیت بوکسیتهاي اطراف تأثیر مثبت داشته‌اند. فعالیتهاي زمین ساختي در بعضي از نقاط، موجب حذف و در بعضي از نقاط موجب تکرار لایه بوکسیت شده است(شکل6). آبخور بودن شدید بعضي از گمانه‌ها، نتایج به دست آمده از گمانه ها و مطالعه نمودار چاهها، نظریه فوق را در عمق نیز تأیید مي‌کند. همان طور که اشاره شد، بهترین مورد این پدیده در روي زمین، تکرار افق بوکسیتيB در منطقه گلبیني و در بین دولومیت الیکا است.

نمونه‌گیري از مغزه‌هاي بوکسیت حداکثر به فاصله 1/5 متر از آن انجام شده ولي از ترانشه‌ها به صورت کانالي و پیوسته نمونه‌برداري شده وحداکثر فاصله هر نمونه یك متر است و این فاصله با تغییرات سنگ شناسي بوکسیت به کمتر از یك متر تغییر یافته است. به منظور مطالعه کمي و کیفي ماده معدني، تهیه نقشه‌هاي هم ژرفا و هم ستبرا جهت محاسبه ذخیره کانسار و نیز شکل آن، کاني شناسي و عناصر اصلي تشکیل دهنده بوکسیت مانند اکسیدهاي آلومینیم، آهن، سیلیسیم و تیتانیم و عناصر فرعي بیش از 5000 نمونه در مرکز آزمایشگاه جاجرم و مرکز تحقیقات کرج مورد مطالعه قرار گرفته است. جدول 3 ترکیب شیمیایي بعضي از عناصر اصلي همراه با دامنه تغییرات آن را نشان مي‌دهد. نتایج حاصل از مطالعه اکتشافي بوکسیت جاجرم همراه با مطالعات سطحي و عمقي، در حال حاضر وجود 22 میلیون تن ذخیره بوکسیت تا ژرفاي 250 متري را در امتداد لایه بندي ماده معدني با کیفیت بین 47 تا 48 درصد Al_2O_3 و حدود 10/5 درصد SiO_2 و مدول تقریبي 4/7 به اثبات رسانیده است. تغییرات شدید ریخت شناسي از باختر به خاور موجب شده که بوکسیت به دو روش روباز و زیر زمیني استخراج شود و این در حالی است که 80 درصد معادن بوکسیت جهان به روش روباز و بدون انفجار استخراج مي‌شوند زیرا ستبراي باطله در روی ماده معدنی از 3 متر فراتر نمي‌رود و ماده معدني نرم است، هر چند در بعضی موارد به علت سختی ، ماده معدنی به کمک انفجار برداشت مي‌شـود (Neil et al.,1998) البته معادني که به صورت زیرزميني استخراج مي‌شوند مانند معدن باکونی مجارستان(Beda et al.,1997) و همچنین بوکسیت در منطقه بارناس قیونای یونان(Ing-Spyro et al.,2002) بسیار محدود مي‌باشند.

بحث و نتیجه گیري

1) با توجه به مطالعات انجام شده، اولین مسئله قابل توجه در منطقه، ریخت شناسي ساختار کانسار است.

www.SID.ir
Archive of SID

ريخت شناسي ناهماهنگ منطقه موجب ايجاد شرايط متفاوت در روش استخراج شده، به طوري كه فقط دربلوك گلبيني استخراج به روش روباز امكان پذير است ولي در بقيه بلوكها مانند زو و تاگوئي، استخراج بايد به روش زيرزميني صورت گيرد، زيرا ارتفاع ستيغ كوه زو و تاگوئي از دشت جاجرم حدود 800 متر و ستبراي سنگ پوش ماده معدني به چند صد متر مي‌رسد و مناطق صعب العبوري همراه با پرتگاههاي مرتفع و غير قابل دسترس را ايجاد كرده است. اين درحالي است كه استخراج 80 درصد معادن بوكسيت جهان به روش روباز و بدون انفجار صورت مي‌گيرد زيرا ستبراي باطله در روي ماده معدني از 3 متر فراتر نمي‌رود و ماده معدني بسيار نرم است (Neil et al.,1998) .

2) همبري مشخص سنگ پوش و بستر با بوكسيت و نبود يك زون هوازدگي تدريجي، مشخص كننده يك منبع مستقل تغذيه بوكسيت است. به اعتقاد درويش زاده (1370) يك تغيير رژيم رسوبگذاري در سيمرين پيشين در دوره لياس در سراسر ايران به وجود آمده است . عدم رسوب گذاري در تريلس پسين و همچنين وجود رسوبات دريايي كم‌ژرفا و قاره‌اي در ژوراسيك پيشين و مياني، شرايط مناسبي را براي تشكيل كانسارهاي بوكسيت، بويژه بوكسيت جاجرم فراهم كرده است. درشمال و قسمتهايي از ايران مركزي، نخست مقداري گدازه بازالتي تشكيل شده و سپس در شرايط آب و هوايي گرم و مرطوب در تريلس، شرايط مناسب براي هوازدگي فيزيكي و شيميايي ايجاد گرديده و در نهايت فرايند تشكيل بوكسيت انجام شده است. بدين معني كه بازالتهاي قاعده شمشك، محتمل‌ترين سنگ منشأ بوكسيت جاجرم هستند. بر اساس مطالعات چينه شناسي و جغرافياي ديرينه، محيط تشكيل كانسار جاجرم شبه قاره‌اي بوده و به تدريج با پيشروي دريا حوضه ژرف‌تر شده و تغييرات لازم درآن صورت گرفته است. ضمن اينكه مطالعات ميكروسكوپي بافتهاي ائوييدي، پيزوييدي و بافتهاي آواري ميكروكلاستيك، آرنايتي، كنگلومرايي و همچنين وجود شكـــــافهاي ناشي از تراكم ژل در پيزوييدها به ترتيب شرايط برجا و نابرجا براي تشكيل بوكسيت را نشـــان مي‌دهد (جعفر زاده،1379). بدين معني كه بوكسيت لاتريتي به صورت برجا بر اثر هوازدگي سنگهاي بازالت تشكيل شده و سپس در اثر فرسايش به صورت تخريبي وارد حوضه رسوبي و سنگ بستر دولوميتي همراه با كارستها گرديده است. سپس در يك شرايط اشباع تا نيمه اشباع همراه با فشارهاي سنگ ايستايي، به ترتيب زمينه خروج عناصر پرتحرك تا كم تحرك فراهم شده است و از درزه‌هاي مگاسكوپي و ميكروسكوپي موجود در سنگهاي كربناتي از محيط خارج شده‌اند. در نتيجه، زمينه تجمع عناصر بي تحرك مانند آلومينيم وتيتانيم و عناصر كم تحرك مانند سيليسيم و آهن فراهم شده است. در نهايت، عناصر در شرايط مناسب ودر يك فرايند طولاني كانيهاي حاضر مانند دياسپور، آناتاز، روتيل، هماتيت و كانيهاي كائولينيتي را تشكيل داده‌اند.

3) از نظر زمين ساختي، شرايط زمين ساختي نه تنها بر ريخت شناسي و ساختار كانسار تأثير داشته، بلكه بر كاني شناسي و كيفيت بوكسيت نيز تأثير بسزايي داشته است زيرا دياسپور در ساختارهايي تشكيل مي‌شود كه تحت تأثير زمين ساخت متوسط تا شديد قرار گرفته باشند (Bardossy,1984) مانند بوكسيت تيمان روسيه كه از نوع دياسپور است (Leonid,1999). بنابراين اگر تغييرات بسيار شديد مي‌بود، كانيهاي اصلي مي‌بايست كرندوم و دياسپور باشند. در جاهايي كه اصلاً تحت تأثير دگرگوني قرار نگرفته‌اند گيبسيت و بوهميت كاني اصلي هستند. به اعتقاد بسياري از دانشمندان مانند باردوشي (1984)، والتون (1972)، شهرياري (1365) معمولاً كاني اوليه بوكسيت يعني گيبسيت با توجه به تأثير فشارهاي سنگ ايستايي ناشي از مواد روي آن و همچنين چين خوردگي و زمين ساخت با از دست دادن دو مولكول آب به بوهميت و سپس در نتيجه دگرگوني خفيف به دياسپور با يك مولكول آب و در شرايط دگرگوني شديد به كرندوم يعني اكسيد آلومينيم بدون آب تبديل مي‌شود. شهرياري (1365) دماي تبديل بوهميت و يا حتي گيبسيت را به دياسپور 375 درجه سانتي‌گراد بيان كرده است. به طور كلي دياسپور، نتيجه عمل دگرگوني حركتي و يا زمين ساخت متوسط است و تشكيل كرندوم نتيجه دگرگوني شديد مي‌باشد. از ديگر شرايط تشكيل دياسپور و شاموزيت كه از كانيهاي اصلي جاجرم مي‌باشند، محيط بازي ضعيف و كاهيده مي‌باشد، در صورتي كه كاني هماتيت از كانيهاي اصلي آهن دار جاجرم است و در كليه نمونه‌ها گزارش شده است در محيط اكسيدي تشكيل مي‌شود. لذا بر اساس نمودار ارائه شده توسط والتون (1972) براي تشكيل دياسپور و هماتيت نياز به محيطي با Eh خنثي است. اين شرايط نشان مي‌دهد كه تشكيل دياسپور در فرايندي بسيار آرام با تغيير محيط از كاهشي به اكسيدي صورت مي‌گيرد. در صورتي كه نمودار متغير بين دياسپور و هماتيت و همچنين بين اكسيد آلومينيم و آهن رابطه‌اي منفي را به نمايش مي‌گذارد(شكل 7). بدين

Archive of SID

www.SID.ir

معني كه افزايش آلومينيم با كاهش آهن و سيليسيم همراه است لذا در فرايند غني شدگي بوكسيت، شرايط فيزيكوشيميايي از محيط اكسيدي به كاهشي و احتمالاً با افزايش دما همراه است. زمين ساخت، بوكسيت را از حالت لايه‌اي اوليه به نوع گرابن ويا كارستهاي كوچك وبزرگ وعدسي مانند تبديل كرده كه اين پديده در زمان حفاري مشخص شده است. شكل 8 تصوير شماتيك بوكسيت و ارتباط آن با كارستهاي كوچك و بزرگ سنگ بستر را نشان مي‌دهد. كارستها، با اندازه‌هاي مختلف، بيشتر بر صفحه گسلي منطبق بوده و ضمن اينكه جايگـــاه بسيـــار مناسبي براي تشكيل بوكسيت با آلومينا‌ي نسبتاً بالا (50 تا 60 درصد) را فراهم نموده‌اند از جمله بهترين شرايط اشباع شدگي را نيز براي تشكيل دياسپور به وجود آورده‌اند. به اعتقاد والتون (1965) دياسپور ناحيه پيرميس فرانسه در شرايط اشباع طولاني آب راكد زيرزميني تشكيل شده‌اند. ضمن اينكه دياسپور (AlOOH) و گوئتيت (FeOOH) همريخت هستند و ممكن است تا چند درصد جابه جايي مولكولي در شبكه دياسپور (حدود 10 تا 20 درصد) يا در شبكه گوئتيت (حدود 40 درصد) رخ دهد. بوهميت و گيبسيت در نتيجه نفوذ شديد آبهاي زيرزميني به داخل زون تشكيل شده در حالي كه شاموزيت در شرايط دريايي نزديك ساحل و در محيط كاهشي تشكيل مي‌شود.

مطالعه رابطه ستبراي بوكسيت نسبت به مدول و همچنين درصد Al_2O_3 و تيتان در اين گونه كارستها نشان مي‌دهد كه كيفيت بوكسيت و تيتان به عنوان عناصر بي تحرك با ستبراي آن نسبت مستقيم دارد و به همين نسبت از درصد اكسيد سيليسيم و آهن به عنوان عناصركم تحرك كاسته مي‌شود. شكلهاي 9 و 10 اين روابط را نشان مي‌دهند. تشكيل كاني دياسپور در اين شرايط يكي از مهمترين مسائل فناوري در توليد آلومينا‌ست زيرا فرايند توليد آلومينا از بوهميت و گيبسيت نسبت به دياسپور به مراتب ساده‌تر، متداول‌تر و كم هزينه‌تر است. فعاليتهاي زمين ساختي در جاجرم، موجب تشكيل بوكسيت سخت با بافت پليتومورفيك شده است، ولي اين تغييرات در حد دگرگوني شديد و تبلور دوباره نبوده تا بلورهاي نسبتاً درشت با حاشيه‌هاي مشخص و سختي متفاوت با زمينه و كانه‌هاي بافت ساز را به وجود آورد كه امكان غني سازي فراهم شود. لذا با توجه به نوع بافت و ساخت بوكسيت جاجـــــرم، امكان هيچ گونه كانه آرايي وجـــــود ندارد (ملائي،1994). همچنين مقايسه بوكسيت جاجرم با بوكسيتهای نقاط ديگر دنيا مانند هند، گينه، استراليا و غيره نشان مي‌دهد كه درصدSiO_2 فعال در جاجرم گاه به بيش از 3 برابر ميانگين بوكسيت ديگر نقاط دنيا مي‌رسد. اين امر علاوه بر افزايش مصرف سود سوز آور، به همان نسبت موجب از دست دادن اكسيد آلومينيم نيز مي‌شود ضمن اينكه اين مقدار سيليس از نظر خردايش بر سيستمهای خردايش و نرمايش تأثير منفی بسزايی خواهد داشت. بويژه افقهايي كه تفكيک بوكسيت سخت و شيلی در آنها امكان پذير نيست موجب آميختگي بوكسيت خوب با بوكسيت كم كيفيت مي‌گردد و درنهايت موجب افت شديد كيفيت بوكسيت مي‌شود.

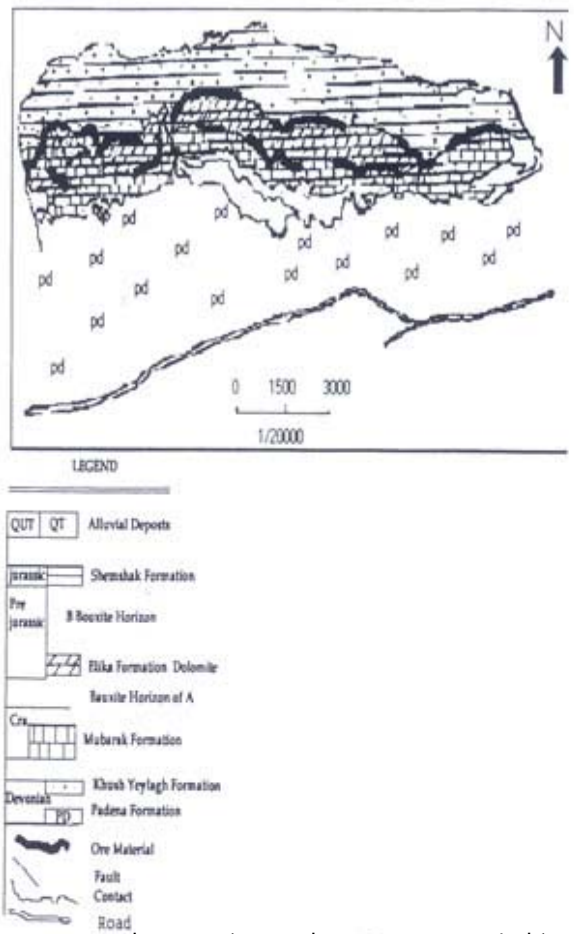
4)كاني دياسپوري نسبت به كانيهاي بوهميت و گيبسيت سخت‌تر ومقاومتر است. لذا برای خردايش و انحلال و در نهايت استحصال آلومينا، نياز به انرژي و سود سوز آور بيشتري خواهد بود.

5) وجود يك نيمرخ نسبتاً متقارن به ترتيب از بالا به پايين شامل بوكسيت كائولينی يا شيلي، بوكسيت سخت، بوكسيت شيلي و در نهايت كائولن پيريت دار، در بيشتر نقاط افق بوكسيتي جاجرم ديده مي‌شود. همان گونه كه اشاره شد، درصد Al_2O_3 نسبت مستقيم با ستبراي افق بوكسيتي دارد (شكل 11 و 12). در صورتي كه مطالعات طولي در تونل شماره يك هيچ گونه تغييري را نشان نمي‌دهد. بوكسيت كائولينيتي در سطح و بالاي بوكسيت سخت با بوكسيت شيلي يا كائولينيتي زير بوكسيت كاملاً ماهيت متفاوت دارند بدين معني كه بوكسيت شيلي قاعده بر اثر غني سازي بوكسيت سخت و آزاد شدن سيليس و آهن از افق بالايي و تجمع آن در اين افق بوكسيت تشكيل شده و وجود كاني پيريت به علت محيط كاهشي و آزاد شدن آهن و گوگرد موجود به وجود آمده است ولي بوكسيت شيلي لايه بالايي، از راه يك فرايند ثانويه توسط آبهاي جاري و فعاليت گياهي اتفاق افتاده است، ضمن اينكه فرايند غني سازي بوكسيت سخت به طور آرام ادامه دارد.

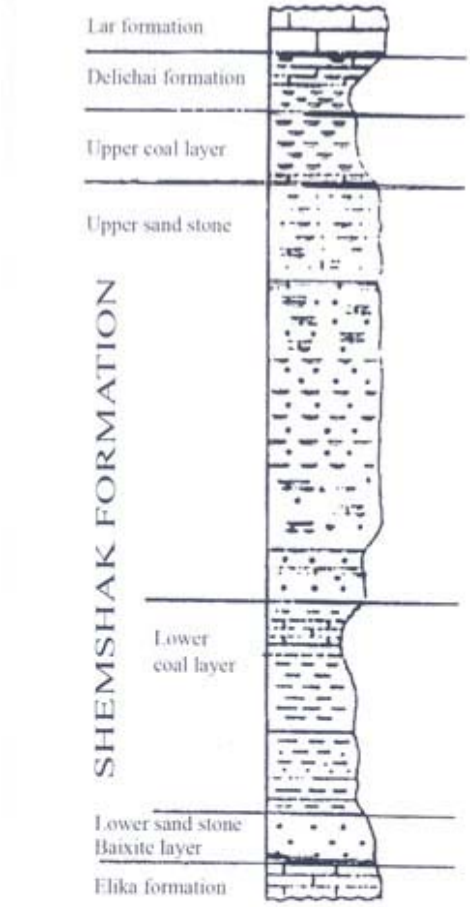
6) اين مطالعات، وجود 22 ميليون بوكسيت را در امتداد لايه بندي با كيفيت 47 تا 48 درصد اكسيد آلومينيم با 10 درصد سيليسيم تأييد مي‌كند.

Archive of SID

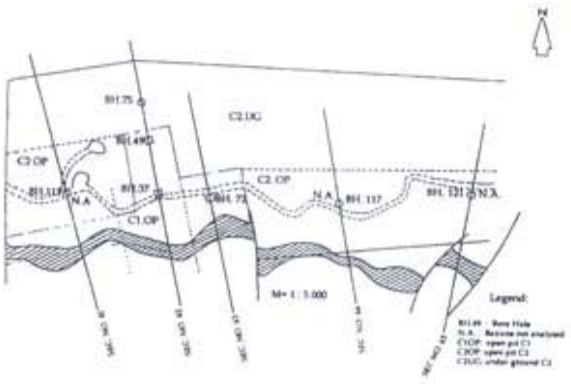
www.SID.ir



شكل 1- نقشه زمين شناسي بوكسيت جاجرم



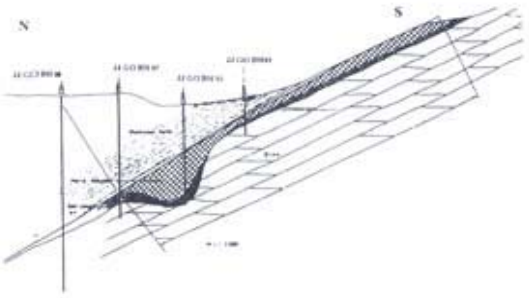
شكل 2- مقطع شماتيك سازند شمشك



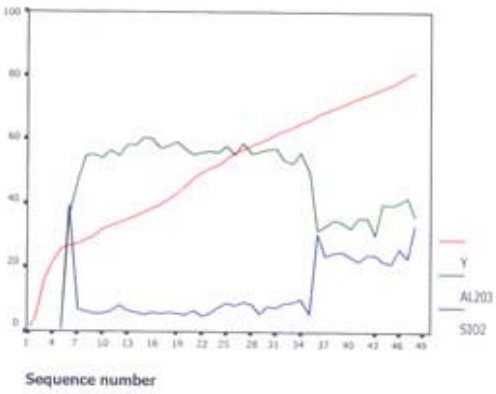
شكل 3- نقشه زمين ساخت كانسار (خاك، خوب مقياس 1/5000)

شكل 4- رخنمون بوكسيت در سطح زمين منطقه گلبيني .ديد به طرف جنوب

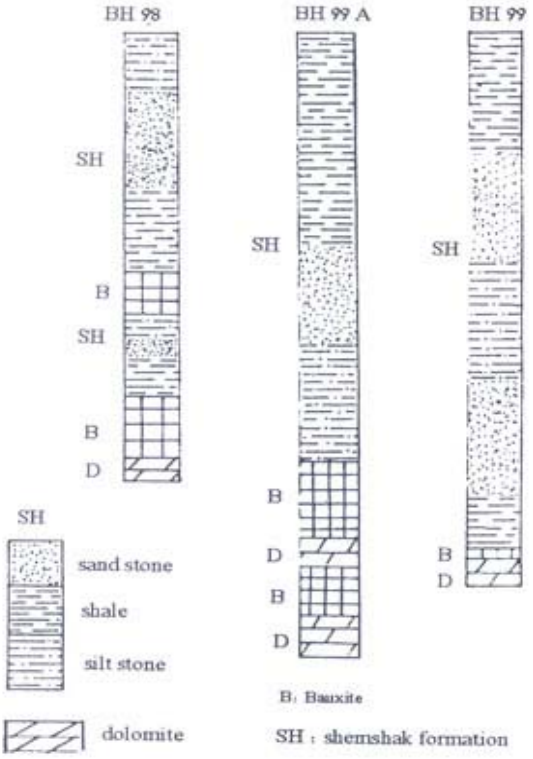
www.SID.ir



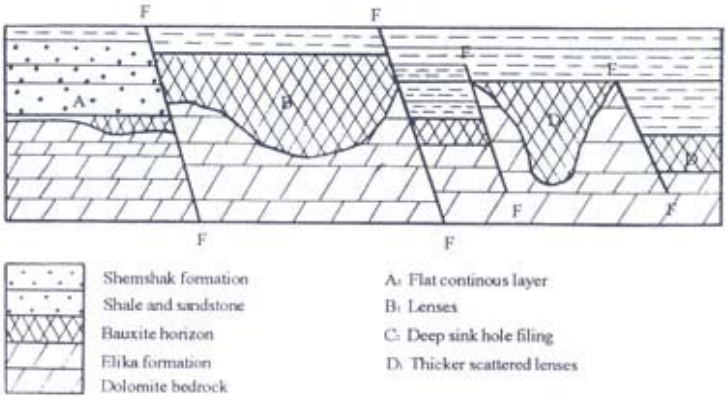
شکل 5- مقطع تیپ گلبيني همراه با چند گمانه
(گروه اکتشاف مقیاس 1/2000)



شکل 7- نمودار تغییرات درصد Al_2O_3 و SiO_2 نسبت به ژرفا



شکل6 - اطلاعات مربوط به چاه پیمایي چند گمانه، تناوب رسوب گذاري وتکرار لایه‌هاي بوکسیت به دلیل فعالیتهاي زمین ساختي



شکل 8- تصویر شماتیك بوکسیت و سنگ بستر(بدون مقیاس)

www.SID.ir

جدول 1- ستون چينه شناسي منطقه معدن بوكسيت جاجرم با بازنگري (از افشار حرب، 1979)

سازند	سن	سنگهاي تشكيل دهنده
8 ـ لار 7 - دليجاي 6 ـ شمشك	ژوراسيك پسين ژوراسيك مياني ژوراسيك پيشين	آهك فسيل دار مارن و آهك شيل، ماسه‌سنگ، شيل زغالي
		افق بوكسيت B
5- اليكا	تر ياس	دولوميت بلورين خاكستري به ستبراي 200 متر با قاعده‌اي ازشيلهاي سرخ كم ستبرا ولي رنگ مشخص آن اين بخش را از سازندهاي بالايي و پاييني جدا مي‌سازد.
4- نسن	پرمين پسين	سنگ آهك وشيل
		افق بوكسيت A
3ـ مبارك	كربنيفر پيشين	248 متر ماسه سنگهاي آهك و دولوميت اسپاري متراكم
2ـ خوش ييلاق	دونين پسين	98 متر تناوبي از آهك فسيل‌دار دولوميت ، شيل و ماسه‌سنگ.
1ـ پادها	دونين پيشين	492 متر دولوميت ماسه با لايه‌بندي مشخص ماسه سنگ و گچ

جدول2- تركيب شيميايي افق بوكسيتA
(Mo=Module)

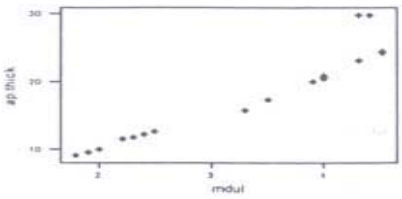
NO.	Fe_2O_3	Al_2O_3	SiO_2	TiO_2	CaO	MgO	LOI	Mo
j1	6	35.5	39	4	0.3	0.3	12.7	1.02
j2	38.5	32.9	13.6	4	0.8	1.2	8.9	2.42
j3	9.7	36	35.7	4	0.4	0.3	12.4	1.01
j4	55.4	16.2	9.6	2.6	6.1	0.7	10.3	1.69
j5	23.4	38.4	19.4	4.4	1.2	0.3	10.8	1.98
j6	13.8	33.4	32.2	4	0.5	0.4	14.4	1.09
j7	18.8	37.7	15.9	4.7	1	0.4	11	2.37
j8	18.5	39.8	23.5	4.8	0.4	0.3	11.2	1.69
j9	21.5	43.9	10.5	5.4	4.7	0.2	13.4	4.18
j10	11.3	31.9	34.6	4	3.6	0.2	13.8	1.05
j11	18.8	32.9	26.7	4.1	4.1	0.1	13	1.23
j12	10.6	36.3	31.4	4.3	1.2	0.2	13.7	1.14
j13	18.8	40.1	21.7	5.7	1	0.3	10.3	1.85
j14	14.1	34.2	30	3.6	0.3	0.2	15.4	1.14
j15	16.6	37.3	24.8	4.3	2	0.3	12.7	1.5
j16	30.4	34.4	16.1	4.3	0.6	1.4	12.39	2.14
j17	28.6	40.9	12.3	5.2	0.6	0.8	11.3	3.33
j18	38.8	31.3	13.3	6.1	0.5	1	9	2.35
l19	13.7	41.9	24.5	5	0.4	0.5		

Archive of SID

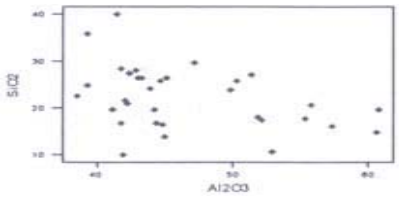
www.SID.ir

جدول 3- تركيب شيميايي كلي بوكسيت جاجرم ازگمانه‌هاي مختلف

Char.sample No.3	Fe_2O_3	Al_2O_3	SiO_2	TiO_2	CaO	MgO	LOI
BH3-O2	6.9	44.8	28.2	4.9	0.2	0.2	12.5
BH3-O5	11.7	39.3	29.9	4.1	0.7	0.2	12.6
BH4-1	25	47.8	7	4.8	2.5	0.2	12.1
BH4-2	29.2	40.7	6.9	4.6	4.9	0.2	12.9
BH4-3	24.9	40.5	9.5	4.1	6.8	0.3	13.9
BH6-3	23.6	50	7.6	5.3	0.5	0.7	12
BH12-O3	20.1	50.4	8.5	5.5	2.2	0.3	11.8
BH15-O3	10.8	57.8	8.3	7.1	0.3	0.2	12.5
BH19-O1	26.5	40.2	7.3	4.9	2.1	0.2	13.8
BH19-O2	22.8	44	9.5	5.3	4.1	0.4	13.7
BH19-O6	23.6	43.2	11.3	4.8	3.3	0.2	11.9
BH19-O8	27.2	41.8	12.2	5.2	1	0.5	11.1
BH19-O9	24.2	46.5	9	5.9	0.7	0.5	11.9
BH19-O10	26.4	41.7	12.9	5.1	0.5	0.6	11.6
BH20-2-27	23.3	42.7	11.9	4.9	2.8	0.6	12.9
BH20-3-28	22.8	47.2	8.7	5.7	2.2	0.6	12.4
BH20-5-30	22.1	48	5.9	5.5	2.7	0.6	12.7
BH20-6-31	18.2	50.5	10.4	5.9	0.8	0.4	12.1
BH22-1-56	12.6	44.8	21	5	1.4	0.2	12.4
BH22-6-61	19.3	49.6	7.1	6.2	2	0.6	13.4
BH22-	7.62	58.8	9.1	7.3	0.4	0.1	13.1
BH22-8-63	11.7	55.4	9.2	7	0.1	0.1	13.4
BH24-5-13	23	47.5	7.7	5.1	0.7	0.7	13.2
BH-24-6-14	14.3	56.5	7.4	5.6	0.3	0.3	12.6
BH26-O2	27.6	40.5	7.7	3.7	1	1	16.1
BH26-O5	28.7	49.7	1.3	5.3	0.3	0.3	11.9
BH26-O8	20.8	52.4	5.2	6.1	0.3	0.3	12.5
BH26-12	18.5	54.2	5.8	6.2	0.3	0.3	12.8
BH5-1-36	14.5	54.4	8.3	6.5	0.3	0.3	13.5
BH5-2-37	13.5	57	8	6.6	0.4	0.4	13
BH5-3-38	20.2	45.7	14.9	4.9	0.4	0.4	12.3
BH6-2	30.5	39	12.3	4.5	0.7	0.7	11.3
BH8-O1	24.8	42.7	15	4.8	0.7	0.7	11.3
BH8-02	21.2	46.8	12.5	5.2	0.6	0.6	12
BH8-03	11.7	47.3	21.5	4.6	0.3	0.3	12.7
BH12-O4	30.1	40.5	11.6	4.4	0.7	0.7	10.9
BH14-O4	31.2	40.9	9.9	4.3	0.5	0.5	10.9
BH15-O1	17.3	48.6	13.9	5.2	0.3	0.3	12
BH15 02	29.9	40.8	12.4	5.4	0.9	0.9	10.2
BH15-3	10.9	39.3	30.6	4.5	0.2	0.2	12.6

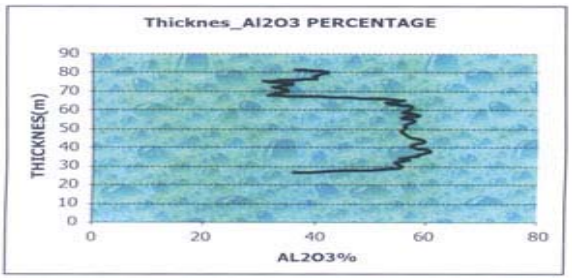


شكل 9- نموگراف مدول و ستبراي واقعي وظاهري



شكل 10- نموگراف Al_2O_3 و SiO_2

Archive of SID
www.SID.ir



شكل 11- تغييرات بوكسيت نسبت به ژرفا

كتابنگاري

بذرافشان، ع. ا.، جليليان ، ع. ا. ، قندهاريان، ا. ،1371- تهيه و توليد آلومينا از بوكسيت منطقه جاجرم . فصلنامه تحقيق شماره 7
بزرگ ابراهيمي، ا. ،1373- انتخاب بهترين روش براي باز كردن معدن زيرزميني در كانسار بوكسيتي جاجرم. پايان نامه فوق ليسانس . دانشگاه تهران.
پرتوآذر، ح.،1374- زمين شناسي ايران ،سيستم پرمين در ايران .طرح كتاب ،سازمان زمين شناسي كشور.
جمشيد پور، ن. ،1366- مطالعه البرز با نگاه ويژه به سازند شمشك. پروژه كارشناسي.
درويش زاده، ع.،1370- زمين شناسي ايران ، نشردانش امروز.
شركت ايتوك ،1374- آشنايي با طرح و پروژه هاي آن . وزارت معادن و فلزات، طرح تجهيز معدن و احداث كارخانه توليد آلومينا از بوكسيت
شهرياري، م. ،1365- ذخاير بوكسيت كارستي (با بستر كربناته) .جهاد دانشگاهي دانشگاه تهران.
گروه اكتشاف ،1374- گزارش اكتشافي. وزارت معادن و فلزات, طرح تجهيز معدن و احداث كارخانه توليد آلومينا از بوكسيت گروه اكتشافي جاجرم 1370 . گزارش عملياتي 1370
علوي نائيني، م.،1372- زمين شناسي ايران ،پالئوزوئيك ايران .طرح تدوين كتاب ،سازمان زمين شناسي كشور .
قصراني، ج. ر. ،1374- اكتشافات مقدماتي بوكسيت جهان آباد (كال جعفر آباد). پايان نامه فوق ليسانس دانشگاه صنعتي اميركبير.
مر، ف.، شرفي، ع. ا. ،1375- ترجمه اصول ژئوشيمي نوشته بريان ميسون و كارلتون مر. جاپ دوم انتشارات دانشگاه شيراز
ملايي، ح. ، 1373- مطالعه اكتشافي و تكنولوژيكي بوكسيت جاجرم جهت توليد آلومينا . چهارمين سمپوزيوم معدن كاري ايران . دانشگاه يزد.
ملايي، ح.، آريايي، ع.ا.، عباسيان ، م. ،1371- ويژگيهاي تاقديس زو و ارتباط آن با ژئو شيمي و ژنز بوكسيت در ناحيه جاجرم (استان خراسان) . اولين سمپوزيوم زمين شناسي شرق ايران. دانشگاه فردوسي مشهد.
ناصري، م. ، 1382 - كاني شناسي و ژئوشيمي بوكسيت جاجرم – پايان نامه كارشناسي ارشد زمين شناسي (گرايش زمين شناسي اقتصادي) – دانشگاه فردوسي مشهد .

References

Alluterv-FKI ,1987 - Techno-Economic opportunity study with Bench-Scale testing of bauxite for the Islamic Repulic of Iran.
Baksa,Gy., Sitkei,F., Szabo,B., Grelinger,G., Vallo,F., Balogh, Z. ,2002- Production of special aluminum hydroxides at the Ajka Alumina Plant of MAL Hungrian Aluminium Company. Mining ,Metallurgy Millennium. M3 .University of Vienna. Germany .
Balkay, B. and Samimi Namin, M.,1994 - Preset state the search for bauxite in Iran. Geological Survey of Iran.
Bardoss, G.Y. and Aleva, G.Y. Y.,1990- Lateritic Bauxites.Akademia,Kiado.Budapest 646p.
Boda,E., Dioszegi, S.,2002- New possibliteis in underground minning of dep sinkhole type karst bauxite at Bakonyi Bauxite Mines in Hungry. Mining Metallurgy Millennium. M3 . University of Vienna. Germany.
Butty,D.E. and Chapellaz,C.A.,1984- Bauxite Genesis. proceeding of the 1984 Bauxite Symposium February 27-March1.Edited by Leonard Jacob, Jr.
Davoodi M.Gh., Heidar,M.R., Janfada,M., khabazade,H., Dashtebozoeg, A.R. ,2002- Characterization of Alborz,Zagros and Central Iranian Plateau Bauxites for tub Digestion Processing.Mining , Mining ,Metallurgy Millennium .University of Vienna .Germany .
Harben, P.W. and Dickson, E.M. ,1984- World distribution of Metal Grade Bauxite. Bauxite proceeding of the 1984 Bauxite Symposium February 27- March1.Edited by Leonard Jacob, Jr7-
Henderson III, F.B., Penfeild, Gh.T. and Grubbs, D. K. ,1984- Bauxite exploration by satellite. proceeding of the 1984 Bauxite Symposium February 27- March1.Edited by Leonard Jacob, Jr.
Hill.V.G.and Slavko Ostojic,1984- The characteristics and classification of bauxite. proceeding of the 1984 Bauxite Symposium February 27- March1.Edited by Leonard Jacob, Jr.

Archive of SID

www.SID.ir

Ikonnikov, A. B. ,1984- notes on geology of bauxite deposits in China. proceeding of the 1984 Bauxite Symposium February 27- March1.Edited by Leonard Jacob, Jr.
Lancashiere, R.J. ,2003- The chemistry and processing of Jamaican Bauxite.The Department of Chemistry ,University of the West Indies.Mana Camus,Kingston7 Jamaica.
Lancashiere, R.J.,1982- Bauxit and Aluminum production .Education in Chemistry. pp62-Roskill World Material Overview. (2002). Aluminum Production. Bauxite and Alumina Report on Metal and Mineral. World Aluminum Organization .home of the international Aluminum institute.
Macleon, W.H. ,1990- Mass change calculation in altered rock series. Mineralium Deposit vol.25 pp44-49.
Macleon,W.H., Bonavia, F.F. and Sanna, G.,2002- Argillite debris converted in bauxite during karst weathering Evidence from immobile element geochemistry at the Olmedo Deposit ,Sardinia. Mineralium Deposit vol 32 pp607-616.
Mensah, Addai J., Gerson,A.R., Zheng,K., Odea,A., Smart, R.St.C., Work, I.,1997- The precipition mechanism of sodium alminosilicate Scalen Bayer Plant. 1997 TMS Annual Meeting.Alumina and Bauxite Technology.
Miason, B. ,1966- Princples of geochemistry.Third edition.John Willy and Sons.
Mollai, H. ,2002- The economic importance of Jurassic system in Iran ,with special reference of the Shemshak Formation .6th International Symposium on Jurassic system 12-22 September 2002, Torino ,Italy.
Mollai, H. and Torshizian ,2002- The importance of Jurassic sedimentation in the north and north east of Iran, with special reference to the Shemshak and Mozduran Formation.16Th International Sediment logical congress ,8TH -12TH July 2002 RAU University Johannesburg South Africa
Mollai,H. ,1994- Geology, Mineralogy and Beneficiation of Jajarm Bauxite, NW of Mash had , Iran. International symposium, Recent Trend Beyond 2000AD,Nagpur,India 1994.
Mordberg, L.E.,1999- Geochemical Evolution of a Devonian Diasporic –Crandallite –Svanbergite - bearing weathering profile in Middle Timan, Russia. Journal of geochemical Exploration.Vol 66 .pp353-361
Nandi, A.K.,2002- Processing low alumina bauxite. Mining Metallurgy Millennium. M3. University of Vienna. Germany.
Neil N.B. and PaoloLozi, G. ,1984- Bauxite.Geoscience Canada Valume 20 No.1Otis M. Clarke , Jr.(1984) .Bauxite deposit of the United State. proceeding of the 1984 Bauxite Symposium February 27- March1.Edited by Leonard Jacob, Jr.
Ozturk,H., Hin,J.R. and Hanlet,N. ,2002- Genesis of the Dogan Kuzu and Mortas Bauxite Deposits ,Taurids Turky: Separation of Al, Fe and Mn implication for. Passive Margin Metallogeny. Journal of Economic Geology Vol.97 pp1063-17
Patterson, S.H.,1984- Bauxite and Non bauxite Resources an update. Bauxite proceeding of the 1984 Bauxite Symposium February 27- March1.Edited by Leonard Jacob, Jr.
Pepos,Th., Christay,N.K. ,2002- Bauxite Mining Activities of Silver and Baryte Ores Ming Co S.A. Metallurgy Millennium. University of Vienna. Germany
Plunkert, P.A. ,2001- Bauxite and Alumina. U.S.Geological Survey .Minerals Year book.- Pengzhiheng, Lixiaobin.(1997). A study of disilication of alumina solution with HCAC. 1997 TMS Annual Meeting.Alumina and Bauxite Technology.
Rayzman, V.L and Shcherban, S.A. ,1997- Recovering Alumina, Silica and by products from caolash through the use of process for silicon pre-extraction.1997 TMS Annual Meeting ,Alumina and Bauxite Thecnology
Russia. M3 . Mining Metallurgy Millennium. M3 . University of Vienna. Germany.
Tillt-D. ,1998- Models of bauxitic pisolith genesis : Data from Weipa Queensland.Centre for Australian Reglith studies.
W. Tedder, D., 1984 - Bauxite residue fractionation with magnetic separation. Bauxite. Leonard Jacob, Jr. Editor.
White, W.M.,1999- Geochemistry .online geochemistry web site.
World –Aluminium organization ,2000- Aluminium s Economic Contribution. Home of the international aluminium institute.htm

*دانشگاه آزاد اسلامي مشهد، دانشكده علوم، گروه زمين شناسي

*Dept. of Geology, Faculty of Sciences, Islamic Azad University of Mashad

Archive of SID
www.SID.ir